

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue de l'exposition de 1867. Mines, métallurgie, chimie, mécanique, navigation, chemins de fer, constructions, sciences et arts
Titre	Revue de l'exposition de 1867
Adresse	Paris : E. Noblet, 1867-1869
Collation	4 vol. (504, 521, 710, 584 p.) : ill. ; 24 cm
Nombre de volumes	4
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 173
Sujet(s)	Exposition universelle (1867 ; Paris)
Notice complète	https://www.sudoc.fr/037671464
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE173
LISTE DES VOLUMES	
	1. Générateurs à vapeur. L'industrie en fer en 1867
	2. [Machines motrices. Machines à gaz]
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	3. [Industrie du fer en 1867. Marine à vapeur commerciale. La métallurgie à l'exposition de 1867]
	4. [Exploitation des mines. Machines à vapeur. Machines et appareils. Produits des mines et de la métallurgie. Produits céramiques. Industrie du fer en 1867. Les filons et les mines du Hartz]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	Revue de l'exposition de 1867
Volume	3. [Industrie du fer en 1867. Marine à vapeur commerciale. La métallurgie à l'exposition de 1867]
Adresse	Paris : E. Noblet, 1869
Collation	1 vol. (706 p.) : 38 pl. dépl. ; 24 cm
Nombre de vues	751
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 173 (3)
Sujet(s)	Exposition universelle (1867 ; Paris) Génie mécanique Machines-outils
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	06/10/2010
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/037671464
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE173.3

REVUE

DE

L'EXPOSITION DE 1867.

Paris. — Typographie HENNUYER ET FILS, rue du Boulevard, 7.

8^e Xae 79

REVUE

DE

8^o Xae 173

L'EXPOSITION DE 1867

MINES, MÉTALLURGIE

CHIMIE, MÉCANIQUE, NAVIGATION, CHEMINS DE FER

CONSTRUCTIONS, SCIENCES ET ARTS

APPLIQUÉS A L'INDUSTRIE

TOME TROISIÈME.



PARIS

E. NOBLET, Directeur-Propriétaire,

11, RUE SAINT-DOMINIQUE-SAINT-GERMAIN.

1869

Tous droits réservés.

REVUE DE L'INDUSTRIE DU FER EN 1867.



PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE.

CHAPITRE II. — GRANDE-BRETAGNE.



L'exposition sidérurgique de la Grande-Bretagne était, parmi toutes celles de même nature, la moins propre à donner au visiteur une idée de la puissance industrielle de nos voisins. Quelques usines seulement étaient représentées, et, pour la plupart, d'une façon peu en rapport avec leur importance. Aussi les visiteurs français, qui parcouraient l'étroit espace accordé aux usines à fer anglaises, répétaient-ils à l'envi que l'antique supériorité de nos voisins était enfin disparue, que les maîtres de forges français l'emportaient de beaucoup sur les maîtres de forges anglais ; beaucoup ont peut-être ajouté, comme quelques-uns que nous avons entendus, que la nécessité des droits protecteurs douaniers avait complètement disparu, et que les ports français devaient maintenant s'ouvrir librement à l'importation des produits sidérurgiques anglais. Si ce vœu devait être exaucé, les maîtres de forges anglais auraient obtenu ainsi un résultat sur lequel ils ne comptaient guère, en s'abstenant, pour des raisons d'économie et d'amour-propre, de paraître dans une exposition où un espace très-insuffisant était mis à leur disposition, et les usines françaises payeraient cher le succès, d'amour-propre surtout, qu'elles ont pu obtenir à l'Exposition. Nous considérons comme un devoir, dans l'étude qui va suivre, de détromper le lecteur qui aurait pu se méprendre sur l'importance et le degré d'avancement de l'in-

dustrie sidérurgique chez nos insulaires voisins ; et nous lui ferons comprendre d'abord, en quelques mots, comment la section britannique était si pauvrement représentée, et pourquoi la plupart des usines s'étaient abstenues d'y paraître.

En nous en tenant à la fabrication de la fonte, la Grande-Bretagne produit quatre fois plus que la France. Pour les autres métaux, la disproportion est encore plus grande. Or, l'espace accordé dans le palais à la classe 40, pour la Grande-Bretagne et l'Irlande, était moitié moindre que celui accordé en France, sans qu'elle eût, comme nous, la facilité de déborder et de s'étendre dans la grande galerie des machines ou dans une foule d'annexes indépendantes. Aussi voyait-on la grande usine de Dowlais, par exemple, qui compte 17 hauts fourneaux et 150 fours à puddler, occuper un espace de 1 mètre carré de base sur 2 mètres environ de hauteur ; la magnifique usine de Barrow, où se trouvent 12 hauts fourneaux à production énorme et autant d'appareils Bessemer, possédait un soubassement de 2 mètres de longueur sur moins de 1 mètre de hauteur ; trois petits morceaux de fonte, compris dans la vitrine d'un marchand de métaux, représentaient seuls au Champ de Mars le puissant district sidérurgique d'Écosse, dont l'importance, comme quantités annuelles produites, égale celle de toute la France, et qui envoie ses fontes de fonderie jusqu'au centre de notre pays lutter avec nos fontes indigènes. Les hauts fourneaux anglais et écossais s'étaient abstenus d'envoyer leurs produits à Paris en 1867, comme les usines françaises s'étaient abstenues à Londres en 1862, soit pour épargner les frais d'expédition de produits encombrants, soit parce que leurs propriétaires ne se souciaient pas de figurer dans un concours sous une échelle ainsi réduite.

Les pages suivantes montreront quelle est l'importance de la fabrication de la fonte chez nos voisins.

En 1854, la Grande-Bretagne et l'Irlande possédaient 555 hauts fourneaux ayant produit 3,115,885 tonnes (de 1,000 kilogr.) de fonte. Depuis cette date, la production a augmenté comme suit :

1854.	555 hauts fourneaux en feu	3,115,885 tonnes.
1857.	628 —	3,714,338 —
1860.	583 —	3,884,152 —
1862.	562 —	4,002,620 —
1863.	597 —	4,577,690 —
1864.	594 —	4,241,994 —
1865.	656 —	4,891,542 —
1866.	618 —	4,598,001 —

Toute cette quantité de fonte est fabriquée au combustible minéral pur, coke, houille ou anthracite, sauf celle provenant de 4 hauts fourneaux au charbon de bois, situés dans le Lancashire, les seuls en feu dans le Royaume-Uni.

Pour étudier les usines de la Grande-Bretagne, nous les diviserons en groupes, comme nous avons fait pour la France, et nous distinguerons :

1° *Le groupe d'Écosse*, comprenant toutes les usines à fonte écossaises ;

2° *Le groupe du Nord-Est*, comprenant les hauts fourneaux du bassin de Newcastle et du Cleveland, dans les comtés de Northumberland, Durham et Yorkshire (North Riding) ;

3° *Le groupe des Lacs*, comprenant les usines du Lancashire et du Cumberland ;

4° *Le groupe du Centre*, comprenant les usines du Yorkshire (West Riding), Derbyshire, North Staffordshire, Northampton et Lincolnshire ;

5° *Le groupe du Staffordshire*, composé des usines du South Staffordshire, auxquelles nous joignons celles du Shropshire et du Nord du pays de Galles ;

6° *Le groupe du pays de Galles*, formé des usines des comtés des South Wales, de Gloucester, de Wiltshire et de Somerset.

Nous commencerons par l'étude du premier de ces groupes.

PREMIER GROUPE.

GROUPE DE L'ÉCOSSE.

Les usines à fonte composant ce groupe sont situées sur les divers bassins houillers, qui forment une bande presque

continue depuis l'embouchure du Forth à celle de la Clyde, et sur le bassin houiller de l'Ayrshire, qui se détache de cette bande au sud-ouest sur le bord du golfe de la Clyde. Le terrain houiller a une puissance d'environ 1,400 mètres, divisés en deux étages par des couches calcaires, dont l'épaisseur varie de 15 à 20 mètres. L'étage supérieur forme plusieurs bassins, dont le plus important est celui de la Clyde, au sud-est de Glasgow : c'est lui qui alimente les usines condensées autour de Airdrie (Monkland, Calder, Gartsherrie). L'étage inférieur, plus étendu, est le seul existant dans diverses localités : c'est lui qui alimente les usines de l'Ayrshire (Glengarnock, Eglinton, etc.). La houille est assez abondante et assez facile à exploiter dans ces divers bassins pour que le prix du menu ne dépasse pas 2 fr. 50 c. par tonne de menu rendu-aux usines, ou 6 francs par tonne de gros; cette houille est sèche, à longue flamme. Les minerais de fer sortent des mêmes puits que la houille. Les transports sont très-facilités par le réseau des chemins de fer qui couvre la formation houillère, et par le canal Calédonien et ses embranchements. Il n'est donc pas surprenant que le nombre des hauts fourneaux soit considérable en Écosse; il atteint 173 au commencement de 1866.

Nous ne donnerons pas la liste complète de ces usines; on la trouvera dans les *Mineral Statistics* de M. Hunt, que nous mettons, du reste, déjà à contribution pour ce travail. Voici seulement les noms des usines les plus importantes :

COMTÉS.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Lanarkshire	Gartsherrie.	MM. William Baird et Co..	16
—	Coltness.	Société de Coltness. . . .	12
—	Monkland.	Société de Monkland. . . .	9
—	Summerlee.	MM. Wilson et Co.	8
—	Calder.	M. William Dixon	8
—	Govan.	Idem.	5
—	Langloan.	M. Robert Addie	6
—	Carnbroe.	MM. Merry et Cunningham.	6
—	Clyde.	MM. Colin, Dunlop et Co. .	7
—	Quarter.	Idem.	2

COMTÉS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Ayrshire.	Blair.	MM. W. Baird et C ^e .	5
—	Eglinton.	Idem.	8
—	Lugar.	Idem.	3
—	Muirkirk.	Idem.	3
—	Portland.	Idem.	6
—	Ardeer.	MM. Merry et Cunningham.	4
—	Glengarnock.	Société de Glengarnock.	9
Stirlingshire.	Carron.	Société de Carron.	4

Nous laissons de côté beaucoup d'usines parmi lesquelles il s'en trouve encore qui comptent 7 hauts fourneaux. Nous nommerons seulement le haut fourneau de Lorn, dans le comté d'Argyle, appartenant à MM. Harrison, Ainslie et C^e, le seul qui ait roulé au charbon de bois en Écosse, mais qui est éteint depuis plusieurs années, quoique sa marque ait été conservée pour des fontes d'autres provenances destinées aux fabricants de fonte malléable.

Minerais.

La très-majeure partie des minerais traités dans les hauts fourneaux d'Écosse provient du terrain houiller même qui en a fourni 1,600,000 tonnes en 1866, valant environ 6 francs la tonne (d'après M. Hunt) sur place. On ne connaissait autrefois que le fer carbonaté lithoïde à gangue argileuse, *clayband*, comme disent les Écossais, qui renferme de 30 à 40 pour 100 de fer et que l'on trouve en couches ou en nodules dans diverses parties du terrain houiller. Ce minerai est encore employé, mais en beaucoup moins grandes quantités qu'autrefois; on le grille toujours, généralement en tas, en le stratifiant, soit avec des charbons menus, soit avec des blackbands, pauvres en fer et riches en matière combustible. Mais le minerai, de beaucoup le plus important maintenant, est le fer carbonaté schisto-bitumineux ou *blackband*, qui s'exploite en couches dans l'étage supérieur du terrain houiller. C'est un carbonate de fer, à gangue surtout calcaire, d'une couleur plus

ou moins noirâtre, suivant qu'il renferme plus ou moins de matière charbonneuse interposée. Ce mélange de matière combustible est le caractère particulier de cette nature de minerai, qui peut être grillée sans addition de combustible étranger; il en renferme de 3 à 10 pour 100 ordinairement, mais quelquefois cette proportion va jusqu'à 20 pour 100. Le blackband cru contient de 25 à 41 pour 100 de fer; il perd de 40 à 45 pour 100 par le grillage et rend ensuite de 41 à 62 pour 100 et plus de fer. Le blackband grillé a un aspect analogue à celui du coke; sa réduction est si facile, qu'elle s'effectue quelquefois dans le tas où on le grille, et que les morceaux de minerai renferment déjà du fer à l'état d'éponge. Le grillage s'effectue d'une façon assez primitive en longs tas rectangulaires de 1,000 tonnes, recouverts de menus mouillés, et l'opération dure de six à huit semaines. Elle fournit des produits toujours passablement irréguliers, souvent frittés, et l'on trouverait probablement un avantage à griller dans des fours. Les blackbands, comme les claybands, contiennent du manganèse, et ne sont pas purs de soufre et de phosphore.

Le minerai dit *blackband*, ou quelquefois *minerai de Mushet*, a été découvert en 1801 par M. Mushet père, en traversant la rivière Calder, dans la paroisse de Old Monkland. « Je reconnus bientôt, dit Mushet, que cette couche appartenait à l'étage supérieur du terrain houiller. Après m'être convaincu de sa valeur, je poursuivis mes recherches dans d'autres localités, et je trouvai une couche plus riche dans les terrains de Clifton Hill. Pendant plusieurs années, après sa découverte, l'emploi de ce minerai resta confiné à l'usine de Calder, construite par moi en 1800-1802, où on le fondait en mélange avec les autres minerais argileux. Bientôt le blackband devint graduellement d'un usage général dans les fonderies écossaises, et il acquit tant de valeur, que la propriété d'Airdrie, par exemple, qui ne produisait pas un centime de revenu minéral à son propriétaire, lui rapporte maintenant par an 300,000 francs d'indemnités tréfoncières sur le blackband par moi découvert. » C'est l'emploi de ce minerai,

et la découverte des avantages du vent chaud par Neilson, qui ont fait la fortune des maîtres de forges écossais.

Nous donnons (pl. VII, fig. 1) une coupe du terrain houiller de Glasgow, comprenant les deux étages, qui fournira une idée de la situation des couches. Les blackbands des meilleures couches sont devenus plus rares et plus chers que naguère. D'après M. Moore, 1,000 kilogrammes de blackband grillé, rendus aux usines, coûtent de 14 fr. 65 c. à 21 fr. 74 c.

Voici l'analyse d'un clayband et d'un blackband, d'après le docteur Colquhoun :

Clayband de la Clyde. Blackband d'Airdrie.

Protoxyde de fer.	45,84	53,82
Peroxyde de fer	»	»
Oxyde de manganèse. . . .	0,20	traces.
Silice.	7,83	—
Alumine	2,53	2,00
Chaux	1,90	1,51
Magnésie	5,90	0,28
Soufre	traces.	0,23
Acide carbonique	34,62	34,39
Matière bitumineuse. . . .	1,86	7,70
Eau et perte.	»	»
	<hr/>	<hr/>
	100,68	99,93

Outre les blackbands et les claybands, les hauts fourneaux écossais consomment encore, dans quelques cas, des hématites rouges venant du Cumberland; mais la proportion en est faible, parce que ces minerais changent le grain de la fonte en le serrant, et ne dépasse pas un cinquième. On emploie, dans quelques cas rares, et seulement pour la fabrication de fontes de puddlage ordinaires, des scories de fours à réchauffer.

Combustibles.

Les charbons des bassins écossais sont maigres, à longue flamme, peu collants. On n'en a pas obtenu de bons coques avec les moyens de carbonisation un peu primitifs employés

dans ce pays. On les emploie dans les hauts fourneaux à l'état cru, malgré leur forte teneur en matières volatiles, et ils sont d'autant plus recherchés qu'ils sont plus purs de cendres et de pyrites. Le charbon dit *splint coal* est surtout réputé : à Langloan, 220 kilogrammes de ce charbon suffisent pour obtenir 100 kilogrammes de fonte, tandis qu'il faut 250 à 300 kilogrammes des autres charbons.

On fabriquait autrefois des fontes avec les charbons de bois des montagnes du comté d'Argyle à l'usine de Lorn ; mais elle est actuellement éteinte.

Fontes.

Les fontes d'Écosse sont connues du monde entier depuis de longues années ; on les emploie dans presque toutes les fonderies de tous les pays, et les tarifs douaniers les plus prohibitifs n'ont pas réussi à les empêcher de pénétrer partout. Ce sont des fontes d'un gris foncé, presque noires, présentant un large grain carré, de grosseur remarquablement uniforme, très-douces à l'outil, et pouvant être refondues, en mélange avec une très-forte proportion de bo-cages et de fontes truitées ou même blanches, sans fournir des moulages trop durs. Elles sont réputées surtout pour leur fluidité quand elles sont fondues, et pour l'homogénéité et la constance de leur grain, propriétés recherchées des fondeurs en deuxième fusion.

Les fontes numéros 1 et 2 sont les plus répandues dans le commerce ; le numéro 3 ne se vend que mélangé avec les numéros 1 et 2 sous la désignation de *numéros mélangés* ; le numéro 4 n'est plus employé que pour le puddlage ou des moulages spéciaux ; on ne le produit qu'accidentellement. Les hauts fourneaux fournissent de 60 à 65 pour 100 de numéros 1 et 2. Ces fontes sont en général peu tenaces, sans doute à cause de leur forte proportion de silicium et de la petite quantité de phosphore qu'elles renferment ; cependant l'usine de Carron a fourni des fontes réputées pour leur résistance. Les laitiers qui les accompagnent sont en général

pierreux, très-courts, sans parties vitrifiées, et extrêmement basiques; ils ne renferment que 32 à 35 pour 100 de silice, 20 à 25 pour 100 d'alumine, 30 à 48 pour 100 de chaux et de magnésie.

Voici, d'après Gurlt, les analyses des quatre numéros de fonte de Gartsherrie :

	N ^o 1.	N ^o 2.	N ^o 3.	N ^o 4.
Poids spécifique.	7,15	7,21	7,21	7,25
Graphite. Pour 100.	3,15	2,64	1,11	1,05
Carbone combiné. —	1,35	1,02	1,79	1,92
Silicium. —	2,74	3,06	2,16	1,89
Manganèse. —	2,40	0,83	1,59	0,57
Phosphore. —	0,84	0,93	1,17	1,81
Soufre. —	1,27	1,14	1,48	1,61

Les prix de vente des fontes d'Écosse varient beaucoup : outre les différences qui existent entre les premières marques (Gartsherrie, Summerlee, Glengarnock), les secondes marques et les marques mélangées ou *warrants*, il se produit, d'une année à l'autre, et même dans le cours d'une même année, des variations considérables en hausse ou en baisse, suivant le nombre de fourneaux en feu et la quotité des demandes. Pour en donner une idée, il nous suffira de dire que, de 1855 à 1865, le prix moyen annuel de la tonne anglaise a varié entre 90 fr. 60 c. plus haut et 61 fr. 55 c. plus bas, et que, dans les cinquante-deux semaines de 1866, le prix moyen de vente a varié entre 105 francs plus haut et 67 francs plus bas, la moyenne étant 80, 90 francs, d'après M. R. Hunt. A l'Exposition, les fontes d'Écosse n'étaient représentées que par trois petits fragments de gueusets de Carron, placées dans la vitrine d'un marchand de métaux et d'huiles. En 1862, à Londres, il y avait, au contraire, une fort belle collection exposée par l'Association des maîtres de forges d'Écosse; la fonte de Summerlee s'y faisait surtout remarquer par sa beauté; on trouvait encore ailleurs les fontes de Govan, des fontes de Gartsherrie, dont quelques-unes présentaient des facettes de graphite de 1 centimètre carré.

Usine de Gartsherrie.

Pour donner au lecteur une idée des usines écossaises, nous décrirons celle de Gartsherrie, d'après les notes de MM. Ulrich, Wiebmer et Dressler, ingénieurs prussiens, et de M. Zerah Colburn. Auparavant, nous ferons remarquer que MM. W. Baird et C^e, ses propriétaires, possèdent 41 hauts fourneaux, dont 36 sont ordinairement en feu ; cette société est la plus puissante productrice de fonte du monde entier. — L'usine de Gartsherrie est située entre deux lignes de chemins de fer et reliée à toutes les deux par des embranchements ; elle est, en outre, traversée par un canal de navigation. Les 16 hauts fourneaux sont disposés en deux rangées parallèles, de part et d'autre du canal, dont elles sont seulement séparées par les aires de coulée. Les voies ferrées qui apportent les matières premières se trouvent à un niveau plus élevé derrière les deux rangées de fourneaux et sont reliées par un viaduc qui traverse les aires de coulée et le canal.

Les minerais employés sont uniquement des blackbands que l'on grille au sortir des puits en tas de 1^m,50 à 2 mètres de hauteur, renfermant 2,000 tonnes environ et qui brûlent pendant trois à quatre semaines. Ces blackbands grillés, avant d'être chargés, sont soigneusement triés à la main ; les ouvriers sont payés d'après la quantité de matières étrangères ou impures qu'ils retirent, et cette quantité sert encore à contrôler le travail des entrepreneurs de grillage à la main. Le soin qu'on apporte à ces opérations ne contribue pas peu à maintenir la haute réputation de la marque *Gartsherrie*. La richesse du minerai est telle, que, lorsqu'il est employé seul, on n'en consomme que 1,600 kilogrammes, et quelquefois même un peu moins, par tonne de fonte. On y ajoute, dans quelques cas spéciaux, environ un cinquième d'hématite rouge pour produire des fontes plus résistantes ou des fontes d'affinage. Les charbons sont extraits en grande partie d'un puits qui est placé à 150 mètres environ des hauts four-

neaux. Les wagons d'extraction sont automatiquement amenés par la machine jusqu'aux cribles qui sont contigus aux gueulards et renvoyés vides au puits. Les fondants employés sont des calcaires houillers; on en emploie par tonne de fonte seulement 300 kilogrammes, lorsque cette castine est pure, ou 500 kilogrammes lorsqu'elle est alumineuse, comme on la recherche dans certains cas pour augmenter la masse des laitiers ⁽¹⁾.

Les hauts fourneaux sont de deux dimensions différentes : l'une des rangées comprend 8 hauts fourneaux semblables de 13^m,72 de hauteur; l'autre comprend 6 hauts fourneaux de cette hauteur et 2 fourneaux nouveaux de 19^m,82, le ventre ayant toujours 4^m,57 de diamètre. Nous donnons leurs profils (pl. VII, fig. 8 et 9). Ces hauts fourneaux sont tous à gueulard ouvert, et les gaz sont perdus sans être utilisés. On a fait en Écosse de nombreuses tentatives pour employer les gaz du gueulard; elles ont toujours échoué, surtout à cause des explosions, dues aux mauvais systèmes de prise de gaz, qui se produisaient, et venaient jeter le désordre dans le personnel et dans les appareils. A Gartsherrie, notamment, on a essayé de chauffer au gaz les appareils à air chaud que l'on plaçait au gueulard même; cette tentative n'a pas eu de succès, comme on pouvait s'y attendre. Il n'y a cependant aucune raison pour que les gaz des hauts fourneaux écossais ne soient pas aussi avantageusement utilisés que ceux des fourneaux allemands et français; et la routine extrême des maîtres de forge de ce pays est la seule cause des échecs qu'ils ont éprouvés jusqu'à présent. Les matières sont élevées au niveau du gueulard par un monte-charge hydraulique, ou balance d'eau à simple effet.

Chaque fourneau est soufflé par 7 buses ayant 60 millimètres de diamètre et fournissant du vent à 380° centigrades et 13 centimètres et demi de mercure. On a donné aux tuyères une légère inclinaison pour augmenter la production,

(1) D'après M. Moore, la castine coûte, rendue aux usines, environ 5 fr. 70 c. les 1,000 kilogrammes.

dit-on. Le vent est fourni par trois machines soufflantes, à balancier sans volant, du type le plus ancien. Voici les dimensions de ces machines :

	N ^o 1.	N ^o 2.	N ^o 3.
Diamètre du cylindre à vent.	1 ^m , 970	2 ^m , 370	3 ^m , 150
Section — —	3 ^m q,050	4 ^m q,410	7 ^m q,790
Course du piston soufflant.	2 ^m , 205	2 ^m , 205	3 ^m , 150
Volume d'un cylindre.	6 ^m c,725	9 ^m c,725	24 ^m c,538
Nombre de coups doubles par minute.	16	22	16
Volume théorique du vent par minute.	215,2	427,9	785,2
Vitesse du piston par seconde	1,17	1,60	1,68

Les trois machines réunies fournissent donc théoriquement 1,428 mètres cubes de vent par minute, c'est-à-dire environ 100 mètres cubes pour chacun des 14 hauts fourneaux en feu. La machine n^o 3 alimente seule les 8 fourneaux d'une rangée ; son cylindre à vapeur a 1^m,45 de diamètre et travaille avec de la vapeur à 1 atmosphère et demie, fournie par 6 chaudières de Cornouailles à double tube à feu, ayant 3 mètres de diamètre et 10^m,50 de longueur.

L'air est chauffé dans des appareils à pistolets ; ce type d'appareil a été inventé par MM. Baird et C^e. Ils sont chauffés, ainsi que les chaudières à vapeur, avec les menus séparés de la houille par le criblage, consommation qui s'élève à 250 kilogrammes environ par tonne de fonte. Il y en a 3 par fourneau avec 25 ou 30 pistolets chacun, pour chauffer de 350 à 400° les 90 à 100 mètres cubes d'air fournis par minute ; on les rapproche des embrasures de tuyères le plus possible, pour éviter les déperditions de chaleur ⁽¹⁾.

(1) On sait que l'emploi de l'air chaud fut inventé en 1828, par M. Neilson, directeur du gaz de Glasgow. Il a permis de remplacer l'emploi du coke, jusqu'alors consommé pour la fabrication de la fonte, par le charbon cru, dans toutes les usines d'Écosse. L'usine de la Clyde qui, la première, adopta l'air chaud en 1830, consommait en 1829, avec l'air froid, 8,050 kilogrammes de houille transformée en coke, par 1,000 kilogrammes de fonte ; en 1833, avec l'air chaud, elle ne consommait plus que 2,260 kilogrammes de houille crue. MM. Baird et C^e

On coule toutes les douze heures, et chaque coulée est d'environ 12 tonnes. La production hebdomadaire des hauts fourneaux, en tenant compte de l'arrêt du dimanche, est d'environ 160 tonnes : elle atteint 185 tonnés pour les deux grands fourneaux. Pour une tonne de fonte, on consomme, quand on emploie l'hématite rouge :

2,300 kilogrammes de houille en morceaux.		
1,390	—	blackband grillé.
310	—	hématite rouge.
520	—	calcaire houiller.

Le rendement du lit de fusion étant 45,5 pour 100. L'usine produit environ 120,000 tonnes de fonte par an; environ 80 pour 100 de cette qualité est du Gartscherrie n° 1, c'est-à-dire la fonte de moulage la mieux réputée du marché européen; le reste est des n°s 2 et 3 qui se vendent moins cher. On connaît la singulière faveur dont jouit à juste titre le Gartscherrie n° 1, auprès des fondeurs anglais et étrangers; elle est telle, que le prix de cette fonte, non-seulement est supérieur à la moyenne des cours ordinaires, mais est presque indépendant des fluctuations qui ont lieu sur les prix des autres fontes d'Écosse. Exportée au loin, la fonte de Gartscherrie trouvera toujours la même faveur, grâce à sa marque, indépendamment de sa qualité, car la même fonte privée de marque se vendrait 10 ou 12 pour 100 moins cher.

L'usine de Gartscherrie fait vivre un très-grand nombre d'ouvriers, de familles et de petits industriels et commerçants. Ses propriétaires, comme MM. Schneider et C^e, du Creusot, en France, ont, depuis longues années, considéré comme leur devoir de s'occuper de l'éducation et de pour-

adoptèrent le nouveau procédé en 1832, mais il fallut un procès resté célèbre dans les fastes de la sidérurgie anglaise pour leur faire payer une licence à Neilson. Dans ce procès, qui ne finit qu'en 1840, ils reconnurent avoir gagné avec les fontes à l'air chaud, pendant cette seule année (1840), 1,350,000 francs.

voir aux besoins de leur personnel. Plusieurs écoles fournissent une instruction élémentaire très-complète aux enfants des ouvriers ; plusieurs établissements d'un ordre supérieur, patronnés par MM. Baird et C^e, dans la ville voisine de Coatbridge, donnent une éducation plus avancée aux enfants des employés à très-peu de frais. La maison entretient à ses frais, au collège, les jeunes gens de Gartsherrie qui présentent des dispositions particulières pour l'instruction. Une société coopérative établie sous le patronage de la maison fournit aux ouvriers toute sorte de marchandises : ses bénéfices sont en partie partagés entre les membres de la société, en partie réservés pour une caisse de secours pour les malades, et une caisse de pension pour les veuves et les orphelins. On a trouvé, par expérience, que cette organisation empêchait très-efficacement les ouvriers de Gartsherrie de se joindre à ces *unions*, qui se sont acquis dernièrement une si triste notoriété.

Usine de Langloan.

Nous donnons (pl. VII, fig. 10) le profil des fourneaux de cette usine, au nombre de 6. On a le projet d'en construire 2 nouveaux qui auront 15 mètres de hauteur. Les 6 fourneaux sont desservis par 2 monte-charges hydrauliques à simple effet : la bêche à eau est cylindrique et a 1^m,25 de hauteur et 0^m,95 de diamètre ; la charge élevée pèse 1,000 kilogrammes. Chaque monte-charge peut élever, par jour, environ 440 tonnes de matières, et dessert 3 hauts fourneaux.

Chaque fourneau est soufflé par 5 tuyères, 2 de chaque côté et 1 à la castine avec des buses de 60 millimètres ; le vent est chauffé à 400° et a 16 centimètres de mercure de pression. Il est fourni par 2 soufflantes neuves à balancier, du système *horsehead*, accouplées et donnant 16 coups doubles par minute. Les cylindres soufflants ont 2^m,68 de course et 2^m,62 de diamètre, et fournissent, par conséquent, par minute, aux 5 fourneaux en feu, un volume d'air théorique

de 460 mètres cubes environ. Il y a, en outre, une ancienne soufflante à balancier sans volant, qui ne sert plus qu'en cas d'accident.

Chaque fourneau produit environ 150 tonnes, par semaine, de fonte grise à gros grains, avec un lit de fusion rendant 41,6 pour 100, composé de quatre cinquièmes blackband et un cinquième hématite rouge. On n'ose pas ajouter plus de ce dernier minerai, parce que le grain diminue de grosseur dans la fonte, ainsi que sa qualité, dit-on! On consomme, pour 1,000 kilogrammes de fonte :

2,200	kilogrammes de houille.
1,450	— blackband grillé.
350	— hématite rouge.
580	— castine.

Usine de Govan.

Cette usine a 3 fourneaux en feu; elle produit, actuellement surtout, de la fonte grise à grain serré, pour les 34 fours à puddler qu'elle possède. Ces fourneaux possèdent le plus grand nombre de tuyères qu'on trouve en Grande-Bretagne : elles sont au nombre de 9, régulièrement distribuées autour d'un creuset large de 2 mètres environ. Les buses ont 65 millimètres de diamètre et fournissent du vent à 350° et à 147 millimètres de mercure de pression. Les 3 fourneaux sont soufflés par une seule vieille machine à balancier sans volant, ayant 2 cylindres soufflants d'un même côté du balancier, l'un avec 3^m,15 de course et 2^m,52 de diamètre, l'autre avec 1^m,42 de course et 2^m,84 de diamètre; le nombre des oscillations doubles est de 15 par minute, de sorte que la machine fournit théoriquement environ 740 mètres cubes pendant ce temps. On chauffe l'air dans des appareils à pistolets qui consomment près de 350 kilogrammes de menus par tonne de fonte. Le monte-charge est à chaîne sans fin.

Chaque fourneau produit environ 200 tonnes par semaine; le lit de fusion, composé de blackbands, de claybands, d'hé-

matite, comprend aussi 15 pour 100 de scories de réchauffage et rend 40 pour 100 ; la consommation de houille est de 2,050 à 2,100 kilogrammes par tonne de fonte. On y consomme une certaine proportion d'hématite venant de l'île de Man, et des castines venant d'Irlande. Les charges de houille sont de 500 kilogrammes environ ; celles de minerais et castine, 750 kilogrammes.

Usine d'Ardeer (1).

Les 4 hauts fourneaux de cette usine avaient, en 1864, 15^m,86 de hauteur et 4^m,90 de diamètre au ventre, et produisaient en moyenne, par semaine, chacun 250 tonnes de fonte. On les soufflait avec du vent comprimé à 15 ou 16 centimètres de mercure et chauffé de 425 à 480° centigrades. Le mélange de minerais consommé comprenait environ deux tiers de blackband et un tiers de clayband ou d'hématite. Pour une tonne de fonte, on comptait sur la consommation de :

1,900 kilogrammes de minerais.		
1,800	—	houille crue.
300	—	castine.
500	—	houille menue pour chaudières à vapeur, appareils à air chaud et fours de grillage.

Généralités sur les usines écossaises.

La majeure partie des hauts fourneaux d'Écosse présente le profil ovoïde que nous indiquons à Gartsherrie ; cependant plusieurs usines s'en sont écartées. Ainsi, à Glengarnock, les fourneaux de 13^m,45 de hauteur et 4^m,90 de diamètre au ventre présentent des étalages et un creuset, ouvrage séparé comme dans la nouvelle forme de Gartsherrie. A Muirkirk, on a essayé, avec une hauteur totale

(1) Voir *Proceedings of the Inst. of Mech. Eng.*, 1864.

de 11^m,25, une cuve cylindrique de 3^m,60 de diamètre au ventre et au gueulard. A Dundyvan, on a imaginé les cuves cylindriques rétrécies au gueulard : on a essayé aussi, dit-on, récemment, une section horizontale elliptique. Les systèmes de construction sont assez variés : on trouve des fourneaux sur colonnes et d'autres avec base en maçonnerie ; les tours sont tantôt munies d'une enveloppe en tôle, tantôt simplement armées de frettes en fer ; mais les épaisseurs de maçonnerie, malgré la rigueur du climat de l'Écosse, sont toujours faibles et bien différentes des masses adoptées dans nos usines françaises (*). En 1864, le haut fourneau le plus élevé d'Écosse avait 16^m,75 de hauteur, l'élévation ordinaire étant 12^m,80 seulement. On commence maintenant à faire des fourneaux plus élevés, en suivant l'exemple du Cleveland. Nous avons dit déjà qu'on n'utilisait les gaz du gueulard dans aucune des usines écossaises. Cet état de choses changera sans doute prochainement.

A Coltness, d'après M. Fairbairn, les fourneaux reçoivent chacun environ 280 mètres cubes d'air par minute (!), chauffé à 320° centigrades et comprimé à 20 centimètres de mercure. Les appareils à air chaud présentent pour un fourneau une surface de 315 mètres carrés environ. Chaque fourneau produit environ 170 tonnes de fonte par semaine, et la consommation pour 1,000 kilogrammes de fonte est :

1,500	kilogrammes de houille crue.
1,850	— minerais grillé.
600	— castine.
200	— houille pour appareils à air chaud.
200	— houille pour chaudières.

Dans d'autres usines, toujours d'après M. Fairbairn, on consomme par tonne de fonte :

1,800	kilogrammes de minerai grillé.
500	— castine.
2,500	— houille (tout compris).

(*) On trouve dans Fairbairn, *le Fer*, les dessins d'un haut fourneau de Coltness.

Il y a eu, en 1866, 99 hauts fourneaux seulement en feu (au lieu de 141 en 1865) sur 165 existants, et ils ont produit 1,008,910 tonnes (de 1,000 kilogrammes) fonte (au lieu de 1,180,930 tonnes en 1865), c'est-à-dire environ 10,200 tonnes chacun, ce qui correspond à 34 tonnes par jour ouvrier.

DEUXIÈME GROUPE.

GROUPE DU NORD-EST.

Nous comprenons dans ce groupe les hauts fourneaux situés dans les comtés de Northumberland et de Durham et dans la partie nord du Yorkshire, sur une bande assez large du littoral de la mer du Nord, alimentés surtout par le bassin houiller de Newcastle et par les gisements sidérifères du Cleveland. Cette dernière région est une partie du district nord du Yorkshire, bornée au nord par la rivière Tees et la mer, au sud par Grosmont Bridge, et s'étendant de l'est à l'ouest entre Mulgrave Castle et Appleton-sur-Wisk. La ville de Middlesborough, bâtie dans la vallée de la Tees et située à 1¼ kilomètres environ de la mer, est le chef-lieu du district sidérurgique, et n'est pas moins remarquable pour sa rapide croissance et son industrie, que le Cleveland par ses beautés naturelles et ses richesses minérales : il n'y a pas quarante ans que les rues de cette ville moderne ont été tracées sur les prés et les marais de la vallée. Aussitôt qu'un embranchement du chemin de fer de Stockton à Darlington atteignit Middlesborough, elle devint un port charbonnier ; et bientôt, grâce à cette situation, aux forges construites par MM. Bolckow et Vaughan, et à une manufacture de poteries, elle posséda (1850) 7,000 habitants. Vers cette époque, la couche principale de minerai de fer du Cleveland fut découverte, et MM. Bolckow et Vaughan construisirent les premiers hauts fourneaux du pays. Depuis lors, plus de 125 hauts fourneaux se sont élevés pour le traitement de ce minerai, et Middlesborough compte maintenant plus de 40,000 habitants.

Les hauts fourneaux du groupe ne se trouvent pas tous dans le Cleveland; une bonne partie se trouvent plus rapprochés du combustible, de l'autre côté de la Tees, et sur le bassin houiller lui-même.

Voici l'énumération des usines les plus importantes du groupe :

COMTÉS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de fourneaux.
Northumberland.	Elswick.	Compagnie d'Elswick.	2
—	Lemington.	MM. Bulmer et C ^e	2
—	Walker.	MM. Losh, Wilson et Bell.	3
Durham.	Acklam.	MM. Stevenson, Jaques et C ^e	3
—	Bradley.	Compagnie des forges de Con-	17
		sett	
—	Consett.	Idem.	
—	Crookhall	Idem.	
—	Clarence.	MM. Bell frères et C ^e	8
—	Ferryhill.	Compagnie de Rosedale et Ferry-	6
		hill.	
—	Jarrow.	Compagnie Palmer	5
—	Norton.	Société limited de Norton.	4
—	Stanhope.	Compagnie de Weardale.	1
—	Towlaw.	Idem.	5
—	Stockton.	Compagnie de Stockton.	3
—	Thornaby.	MM. W. Whitwell et C ^e	3
—	Witton Park.	MM. Bolckow et Vaughan.	4
Cleveland.	Clay lane.	Compagnie de Clay lane.	6
—	Clev. ou Eston.	MM. Bolckow et Vaughan.	11
—	Middlesbro.	Idem	
—	Glaisdale.	MM. Firth et Hodgson	3
—	Grosmont.	MM. C. et P. Bagnall	2
—	Normanby.	MM. Jones, Dunning et C ^e	3
—	Ormesby.	MM. Cochrane et C ^e	4
—	South Bank.	Compagnie de South Bank	9
—	Tees.	MM. Gilkes, Wilson, Pease et C ^e	8
—	Tees Side.	MM. Hopkins, Gilkes et C ^e	4
—	Linthorpe.	MM. Lloyd et C ^e	4

Ces usines sont surtout condensées dans le Cleveland et dans la partie du comté de Durham qui avoisine la Tees; la plupart de celles du Northumberland, situées trop loin des minerais du Cleveland, sont maintenant éteintes.

Minerais.

On emploie presque uniquement, dans le groupe dont nous nous occupons, les minerais de fer oolithiques exploités dans le Cleveland; cependant quelques usines emploient d'autres minerais. Ainsi, Ferry Hill consomme des minerais magnétiques de Rosedale; Towlaw les minerais spathiques et hématites brunes de Weardale; divers hauts fourneaux améliorent la qualité de leurs fontes en introduisant dans leurs lits de fusion, soit des hématites rouges venant du district des lacs, soit des minerais riches et purs importés d'Espagne ou de l'île d'Elbe. Occupons-nous d'abord du *minerai du Cleveland*, en nous aidant des travaux de M. R. Hunt :

La découverte des puissants gisements sidérifères du Cleveland est assez récente; la chronique raconte qu'elle est due au hasard, mais la recherche de la vérité montre qu'il n'en est rien. On trouve en divers endroits de la Tees, jusqu'à Whitby, des scories qui prouvent que certains minerais du Cleveland étaient traités déjà à une époque fort reculée. En 1790, en 1811, on essaya le minerai de Whitby dans des hauts fourneaux sur la Tyne; mais on n'en tira qu'un mauvais parti. Diverses tentatives furent encore faites depuis, mais ce n'est qu'en 1840 que commença une exploitation régulière des mines de Whitby. En 1846, MM. Bolckow et Vaughan commencèrent à traiter ce minerai à leurs fourneaux de Witton Park; en 1850, ces maîtres de forges installèrent une exploitation à Eston où l'on découvrit une puissance de couche de près de 5 mètres. Depuis cette date, des exploitations se sont ouvertes en bien des endroits.

Le minerai du Cleveland se trouve en couches dans le lias; la couche principale est à la partie supérieure de l'étage moyen du lias; elle se divise en certains endroits en deux bancs séparés par une épaisseur de schistes. Les coupes (fig. 2, 3 et 4, pl. VII) donneront une idée de sa situation. Elle s'étend sur une surface considérable, et ces affleurements se remarquent pendant bien des lieues sur les collines du Cle-

veland. La puissance est variable : ainsi à Belmont, à Skelton, elle n'atteint que 2^m,50 à 3 mètres ; à Eston, à Upleatham, elle atteint 5^m,40. M. Bewick a calculé que la couche principale pourrait alimenter 200 hauts fourneaux pendant près de sept cents ans.

Le minerai est un carbonate de protoxyde de fer, présentant un lustre terreux, une couleur et un frottis gris verdâtre. Sa cassure est inégale et montre çà et là de petites cavités remplies de carbonate de chaux ; dans la masse sont répandues irrégulièrement de petites concrétions oolithiques qui sont des silicates de fer qui la colorent en vert. Il renferme toujours des traces de soufre et une proportion assez notable de phosphore, ainsi que de l'acide titanique (dans le résidu insoluble). Voici l'analyse de trois provenances différentes :

	Cleveland.	South Bank.	Eston Nab.
Protoxyde de fer	39,92	43,02	43,35
Peroxyde de fer	3,60	2,86	1,20
Protoxyde de manganèse..	0,95	0,40	»
Silice	7,12	7,12	7,65
Alumine.	7,86	5,87	9,88
Chaux.	7,44	5,14	0,58
Magnésie	3,82	5,21	5,35
Potasse	0,27	»	»
Pyrite de fer.	0,11	»	0,09
Acide phosphorique. . . .	1,86	1,81	3,87
Acide carbonique.	22,85	25,50	22,96
Eau.	2,97	3,48	5,07
Résidu insoluble	1,64	0,05	»
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	100,41	100,46	100,00
Fer métallique.	33,62	35,46	34,54

Aux usines d'Eston, chez MM. Bolckow et Vaughan, on distingue 4 bancs dans la couche : un banc supérieur ou *toit* (*dogger*) de 75 centimètres qui est le plus pauvre, souvent assez sulfureux pour qu'on ne puisse pas l'utiliser ; un banc de 15 centimètres (*sulphur*) rempli de pyrites et impossible pour la fabrication de la fonte ; un troisième banc de 3^m,60 (*block*),

qui est le plus pur et le plus riche; enfin, le quatrième banc, le *mur (bottom)*, de 75 centimètres, qui est très-argileux. On y emploie douze cents ouvriers qui, en 1865 ont extrait plus de 800,000 tonnes de minerai. Celui-ci est amené des chantiers aux galeries d'extraction par 180 poneys; puis il est sorti au jour par une traction par câbles; il descend par trois plans inclinés jusqu'à un chemin de fer, où on le charge dans des wagons, si on ne le garde pas en approvisionnement. Un mineur gagne, par poste de huit heures, 7 fr. 50 c. Une tonne de minerai se vend, rendue au chemin de fer, 6 fr. 25 c.

Aux mines d'Upleatham, qui appartiennent à MM. Pease, de Darlington, on est entré dans la couche par l'affleurement, et on l'exploite par galeries et piliers sans en abandonner plus de 6 à 8 pour 100. Des machines d'extraction extrayent de petits wagons qui circulent sur une voie de 62 centimètres, et qui, une fois au jour, sont conduits par de petites locomotives jusqu'aux plates-formes de chargement, où des culbuteurs les renversent dans les wagons du chemin de fer de Stockton Darlington; ceux-ci descendent par un plan automoteur jusqu'au chemin de fer proprement dit⁽¹⁾. Le minerai coûte environ 5 fr. 60 c. la tonne rendue à Middlesbro. Mais certains maîtres de forge, MM. Bolckow et Vaughan, ne payent pas plus de 3 fr. 50 c. par tonne le minerai qu'ils employent et exploitent eux-mêmes.

On a extrait, en 1866, des mines de Cleveland, d'après M. Robert Hunt, 2,850,000 tonnes de minerai, valant en moyenne 6 fr. 85 c. Ce chiffre fait comprendre l'importance de ce gisement, très-analogue à nos gisements français de la Moselle, et qui se prolonge vers le sud, avec quelques interruptions, dans une partie considérable de l'Angleterre (Lincolnshire, Northamptonshire, Oxfordshire), comme nous le verrons plus loin.

(1) On voyait à l'Exposition de Londres, en 1862, un modèle de ce plan incliné.

Le *minerai magnétique de Rosedale* mérite une mention spéciale ; on le trouve dans le voisinage de l'abbaye de Rosedale. Il a une couleur bleuâtre et une structure oolithique. Son gisement géologique n'est point complètement défini ; les uns y voient un *dyke* volcanique, les autres un métamorphisme du fer carbonaté. On en a extrait, en 1865, 253,750 tonnes, auxquelles M. Hunt attribue une valeur de 6 fr. 15 c. la tonne. Son analyse est, d'après M. Pattinson :

Protoxyde de fer	33,85
Sesquioxyde de fer . . .	32,67
Protoxyde de manganèse .	0,69
Silice	6,95
Alumine.	3,15
Chaux.	2,86
Magnésie	1,59
Potasse	traces.
Acide carbonique. . . .	10,36
Acide phosphorique. . .	1,41
Bisulfure de fer.	0,03
Eau	3,76
Matière organique. . . .	0,84
	<hr/>
	98,16

Il rend de 40 à 50 pour 100 de fer, suivant les échantillons.

Les *minerais spathiques de Weardale* présentent beaucoup d'intérêt. On les trouve dans une vallée du comté de Durham, jusque près des sources de la rivière Wear, sur les limites du Cumberland, en filons et en amas dans les calcaires carbonifères. Ce sont des fers carbonatés, quelquefois à cristaux bien développés et quelquefois en éléments plus petits ; dans certains endroits, le carbonate s'est décomposé et le minerai a passé à l'état de hématite brune. Il y a peu de temps qu'on a appris à les utiliser ; autrefois, on les exploitait peu, si ce n'est dans les filons de plomb, à Allenheads, par exemple, comme gangue ou *veinstone* du métal qu'on cherchait ; M. Attwood, de l'usine de Towlaw, a été l'introducteur de ce minerai spathique dans les usines. C'est ce-

pendant un excellent minéral, comme le montrent les deux analyses suivantes :

	Minéral spathique.	Minéral brun.
Protoxyde de fer. . .	49,77	»
Peroxyde de fer. . .	0,81	71,11
Oxyde de manganèse. .	1,93	6,60
Alumine	»	0,40
Chaux.	3,96	0,56
Magnésie	2,83	1,90
Acide carbonique . .	37,20	0,13
Acide phosphorique .	traces.	0,22
Bisulfure de fer. . .	0,04	»
Eau.	0,30	12,40
Résidu insoluble. . .	3,12	6,32
	<hr/>	<hr/>
	99,96	99,64
Fer.	38,95	49,78

Le minéral spathique est plus estimé maintenant que le brun ; ce devrait être l'inverse.

On a exploité 120,000 tonnes en 1865, estimées à 6 fr. 25 c. la tonne. — Aucun échantillon ne figurait à l'Exposition de 1867 pour représenter les mines de Weardale, qui avaient reçu une récompense en 1855. Le minéral magnétique de Rosedale, dont de gros blocs figuraient à Londres en 1862, était aussi absent.

Nous avons dit déjà que les hauts fourneaux de notre groupe consomment de riches hématites rouges arrivant par terre de Cumberland et du North Lancashire, ainsi que des fers oligistes de l'île d'Elbe ou des hématites brunes manganésifères d'Espagne importées par mer.

Combustibles.

On emploie pour la fabrication de la fonte, dans notre groupe, seulement des coques fabriqués avec les houilles du bassin de Durham (environs de Newcastle et Sunderland). La fabrication du coke est encore peu avancée dans ce district ; on y emploie presque uniquement des tout-venants et quel-

quefois même des gros charbons, qu'on carbonise dans des fours ronds ou carrés, sans sole ni parois chauffées. Quelques fabricants cependant emploient des menus lavés avec la machine de M. Bérard, et d'autres commencent à se servir de fours perfectionnés, plus ou moins analogues aux fours belges à une porte. Le coke de Durham, rendu aux usines du Cleveland, coûte environ 12 fr. 50 c. la tonne. MM. Pease, les riches quakers propriétaires de la minière d'Upleatham, possèdent d'immenses ateliers de carbonisation.

Les cokes du comté de Durham sont remarquables par leur résistance à l'écrasement. D'après des expériences faites à l'usine de Clarence par M. Bell, un cube de 5 centimètres de côté, fait avec ce coke, a supporté, avant de s'écraser, un poids correspondant à une barre de fer de la section du cube et de 17 mètres de hauteur. Leur teneur en cendres varie de 5 à 7 pour 100.

Voici l'analyse d'un de ces cokes, rapportée par MM. Stevenson, Jaques et C^e dans la description de leur usine :

Carbone	91,42
Hydrocarbures volatils.	0,64
Soufre	1,00
Cendres	6,66
Humidité	0,28
	<hr/>
	100,00

Castines.

On emploie comme fondants dans diverses usines des calcaires carbonifères qui viennent de Weardale, et qu'on préfère généralement aux calcaires magnésiens qu'on trouve plus près. La castine employée à Grosmont vient de Pickering, à 20 milles de distance.

Voici l'analyse d'une castine employée à Acklam :

Carbonate de chaux . .	95,38
Carbonate de magnésie.	2,46
	<hr/>
<i>A reporter.</i> . . .	97,84

<i>Report</i>	97,84
Alumine	0,38
Protoxyde de fer.	0,29
Matière siliceuse	1,83
Humidité	0,10
	<hr/>
	100,44

Usine d'Acklam.

Cette usine mérite d'être signalée en premier lieu, puisqu'une collection complète de ses matières premières et de ses produits figurait à l'Exposition. Elle est voisine de Middlesborough et occupe une superficie de 12 hectares environ; elle communique d'un côté avec la ligne Stockton-Darlington du North-Eastern Railway, par où lui arrivent toutes ses matières premières, et elle possède de l'autre côté une façade de 400 mètres sur la rivière Tees, avec des quais et des grues à vapeur pour l'exportation des produits de l'usine.

Les minerais qu'elle emploie proviennent uniquement des mines de MM. Morrison et C^e, à Brotton, près Saltburn-sur-Mer, et surtout de la couche de 3^m,45; il y a une couche de 90 centimètres à 1^m,30 plus bas qui fournit un minerai plus riche. Mais on consomme surtout celui indiqué ci-dessus, et dont voici l'analyse par M. J. Pattinson, de Newcastle :

Oxyde de fer	47,50
Protoxyde de manganèse	0,58
Silice.	10,30
Alumine	9,80
Chaux	4,28
Magnésie	4,32
Soufre	0,04
Acide phosphorique	1,12
Perte au feu	22,43
	<hr/>
	100,37
Fer métallique	33,25

Nous avons donné plus haut l'analyse de la castine et du coke.

Les hauts fourneaux seront au nombre de quatre : trois seulement sont construits et étaient tout récemment encore les plus grands du monde⁽¹⁾. Leur hauteur est de 21^m,35 et leur diamètre au ventre 6^m,86, tandis que leur capacité intérieure est de 520 mètres cubes environ. Ils sont bâtis sur pilotis, à cause de l'humidité du sol, et chaque tour est supportée par douze colonnes en fonte (voir pl. VIII, fig. 5). La tour, autour des étalages et du ventre, est entourée de tôle, et, à partir du ventre jusqu'au gueulard, elle est armée avec des cercles et des fers à T. Les étalages font un angle de 68° avec l'horizontale. — Les trois fourneaux sont munis d'appareils *cup and cone*, et les gaz servent à produire la vapeur et à chauffer l'air, sans que l'on ait besoin d'autre combustible.

La soufflerie comprend deux machines verticales du système Beckton et deux autres du système Coulthard. Les premières sont verticales, à action directe, ayant 1^m,35 de course; le cylindre soufflant a 2^m,500 de diamètre et le cylindre-vapeur 915 millimètres. Dans ce système, le cylindre-vapeur est placé sur le cylindre à vent, qui est supporté par de fortes colonnes; l'arbre du volant passe au-dessous. La bielle motrice est articulée sur la face inférieure du piston, et le couvercle du cylindre suit les oscillations de la bielle en glissant sur le fond et en entraînant, à l'aide d'un levier extérieur, le couvercle supérieur. Ces couvercles, en glissant, ouvrent et ferment les ouvertures d'admission et de sortie de l'air. Le système Beckton présente beaucoup de frottement : les orifices sont aussi ouverts trop tôt et fermés trop vite. Aussi a-t-il complètement échoué à Acklam : on ne pouvait donner à ces machines une vitesse assez grande pour obtenir une pression de vent suffisante, et on a dû surélever les cylindres, afin de pouvoir y adapter une tige de piston guidée, ainsi que des clapets. Ces machines fournissent, par minute, 225 mètres cubes d'air, à une pression de 22 centimètres de mercure. Les deux autres machines, construites par M. Coulthard

(1) Ils étaient les plus grands en 1864.

et fils, sont presque identiques à celles de Furness, dont nous donnons le dessin, pl. XI.

Ces quatre machines sont desservies par 10 chaudières cylindriques ayant chacune 21^m,35 de longueur et 1^m,37 de diamètre. Il y a 18 appareils à air chaud — 6 par fourneau — et le vent en sort à une température de 550 à 600° centigrades.

Les matières premières sont élevées dans des wagons de 10 tonnes, sur des estacades, au moyen de monte-charges à vapeur verticaux, à action directe. Les cylindres à vapeur, ayant 83 centimètres de diamètre et environ 7 mètres de course, sont supportés par des piliers au-dessus de la charpente de guidage. Les estacades desservent de grandes fosses pour emmagasiner le coke et des fours à griller le minerai. Au sortir de ceux-ci, en bas, le minerai est mis dans les wagons de chargement qui sont conduits, par un plan incliné, au sommet des fourneaux. Le mouvement des matières premières, pour les 3 fourneaux, atteint 5,000 tonnes par semaine, avec une production de 1,000 tonnes fontes.

MM. Stevenson, Jaques et C^e exposent des fontes de fonderie et des fontes de forge, grises, truitées et blanches. Leurs fontes de fonderie comptent parmi les plus résistantes du Cleveland. D'après des expériences faites par M. Jaffrey, dans une fonderie d'Hartlepool, une barre carrée de 25 millimètres de côté, fabriquée avec de la fonte Acklam n° 3, et posée sur des supports espacés de 90 centimètres, ne s'est rompue que sous une charge de 387 kilogrammes placée à son milieu, après avoir pris une flèche de 15 millimètres. Elles sont très-fluides et prennent bien les empreintes du moule, comme le prouvent les moulages d'ornement et autres exposés. Quant aux fontes de forge, elles étaient accompagnées de spécimens de barres, de billettes et de tôles en provenant et prouvant une bonne qualité moyenne.

Voici l'analyse de la fonte de moulage n° 1 :

Fer.	91,37
Carbone graphitique. . . .	3,40
<hr/>	
A reporter. .	94,77

<i>Report.</i>	94,77
Carbone combiné	0,08
Silicium.	2,73
Manganèse	0,64
Soufre	0,07
Phosphore.	1,33
Vanadium.	0,38
Calcium, magnésium, titane.	traces.
	<hr/> 100,00

Le laitier correspondant à cette fonte est exposé. Il est presque blanc. Voici son analyse :

Silice.	32,94
Alumine	23,32
Chaux	34,94
Magnésie	7,33
Protoxyde de fer.	0,46
Protoxyde de manganèse. .	0,09
Acide phosphorique	traces.
Soufre	1,88
	<hr/> 100,96
A déduire : oxygène de la chaux combinée au soufre.	0,94
	<hr/> 100,02

Il est à peu près de la formule $S_3 B_4$, très-basique, et fondrait difficilement s'il ne renfermait des bases multiples. Le laitier de la fonte de forge est noir et renferme 1,03 pour 100 de protoxyde de fer.

Les gaz entraînent une partie importante des matières terreuses de la charge, et on ne retrouve jamais dans les laitiers toute la silice du dosage. L'analyse suivante des poussières blanchâtres recueillies dans les carreaux où circulent les gaz le fera comprendre :

Silice.	22,60
Alumine	8,20
Chaux	12,32
Magnésie	5,03
	<hr/>
<i>A reporter.</i> . .	48,15

<i>Report.</i>	48,15
Protoxyde de fer	14,22
Oxyde de zinc	10,48
Sulfure de zinc	13,70
Chlorure de silicium. . .	4,74
Ammoniaque	0,70
Thallium	traces.
Acide sulfurique.	3,18
Soufre libre.	0,17
Matière charbonneuse . .	4,50
	<hr/>
	99,84

Usine de la Tees.

Cette usine très-importante ne figurait à l'Exposition que pour quelques gueusets de divers numéros de fontes de moulage, avec un tableau indiquant qu'elle avait fabriqué plus de 100,000 tonnes de coussinets. Elle indiquait la résistance de ses fontes de la manière suivante :

Une barre de fonte de 50 millimètres de largeur et 25 millimètres d'épaisseur, posée sur deux appuis distants de 90 centimètres, a supporté, en son milieu, une charge de 1,574 kilogrammes et ne s'est brisée qu'à 1,625 kilogrammes.

On trouve dans cette usine une machine soufflante horizontale de grandes dimensions : le cylindre-vapeur a 1^m,35 de diamètre, et le cylindre soufflant 2^m,75, la course étant aussi 2^m,75; le nombre de tours est de 17 par minute. On s'était proposé dans cette machine, avec raison, d'empêcher le contact du piston soufflant en fonte avec le cylindre, et la tige est supportée par deux guides massifs, l'un derrière le cylindre soufflant, l'autre entre le cylindre soufflant et le cylindre-vapeur, guides qui ont forcé d'allonger de 6^m,70 la plaque de fondation, qui a près de 27 mètres de longueur. Malgré cette précaution, les stuffing-boxes se sont usés, et le corps du piston porte maintenant sur le cylindre lui-même, sans doute parce qu'on a omis d'établir des moyens de réglage pour la hauteur des guides. Aussi cette machine est-elle critiquée par les ingénieurs du pays.

On élève les charges avec une balance d'eau dont le réservoir est alimenté par une pompe à incendie à vapeur de Merryweather et Field.

Autres usines du groupe.

Les autres usines du groupe n'avaient rien exposé au Champ de Mars. Pour gagner du temps, nous n'en parlerons que d'une manière collective, en groupant les éléments. Cette étude présente un grand intérêt, à cause de l'avance que le Cleveland a prise sur les autres groupes anglais dans la fabrication de la fonte.

HAUTS FOURNEAUX. — Les hauts fourneaux de notre groupe se distinguent par leurs grandes dimensions. Depuis une douzaine d'années, les maîtres de forge, poussés par le désir d'arriver à abaisser autant que possible la température du gueulard, en utilisant, pour l'échauffement d'une plus grande quantité de matières, la plus grande part possible de la chaleur développée par la combustion, n'ont cessé d'accroître la hauteur de leurs fourneaux et leurs dimensions transversales. Leurs tentatives dans cette voie ont été facilitées par la forte cohésion de leurs cokes et par la grosseur des morceaux de minerais qu'ils ont l'habitude de charger. Les dessins de hauts fourneaux que donnent les planches fournissent une idée du chemin parcouru.

En 1855, M. Cochrane construisait les quatre fourneaux d'Ormesby, les plus grands du pays, avec 4^m,80 au ventre et 17 mètres de hauteur (voir pl. VIII, fig. 1), les étalages faisant avec l'horizon un angle de 75°. Le sol étant peu résistant, les fondations étaient faites sur pilotis : une couche de béton recouvrait les pieux, puis 6 voûtes renversées supportaient les piliers de cœur en briques. La tour était armée avec des cercles de fer plat assez rapprochés pour empêcher les lézardes.

En 1858, on construisait les fourneaux de Jarrow, près Newcastle (pl. VIII, fig. 2), avec un diamètre au ventre de 5^m,40, une hauteur totale de 18 mètres et des étalages in-

clinés à 66°. Le sous-sol étant solide, on établissait la tour sur 12 colonnes en fonte, sur lesquelles reposait une enveloppe en tôle régnant depuis les tuyères jusqu'au ventre; au-dessus, la tour était armée au moyen de cercles en fer plat, supportés par des bandes verticales en fer à T, montant jusqu'au gueulard et rivées à un anneau plat assez fort pour supporter la plate-forme.

En 1860, les trois fourneaux de Normanby, construits d'une façon analogue à ceux d'Ormesby (pl. VIII, fig. 3), avaient 5^m,40 de diamètre au ventre, 17^m,40 de hauteur et 72° d'inclinaison aux étalages.

En 1862, à Thornaby, des fourneaux neufs construits sur 12 colonnes comme à Jarrow, avaient 6 mètres de diamètre au ventre, 18 mètres de hauteur et des étalages inclinés de 68°.

En 1863, on construisait à Grosmont deux fourneaux de 5^m,40 de diamètre au ventre et 19 mètres de hauteur totale avec un angle d'étalage de plus de 70° ⁽¹⁾.

Toutefois, les ingénieurs n'étaient pas tous d'accord sur la valeur réelle des fortes dimensions. En 1863, M. Lowthian Bell, en décrivant, dans un rapport à l'Association britannique, les hauts fourneaux du Cleveland, leur attribuait des dimensions ordinaires de 4^m,20 à 5^m,40 de diamètre au ventre, et 12^m,60 à 16^m,50 de hauteur.

En 1864, M. Beckton décrivait devant l'Institution des ingénieurs mécaniciens les fourneaux d'Acklam, qu'il venait de construire avec une hauteur de plus de 21 mètres, un diamètre de 6^m,86 au ventre et une inclinaison de 68° aux étalages, et les citait comme les plus grands qu'on eût encore construits.

Mais maintenant ces fourneaux ont été bien dépassés, ainsi que le montrent les derniers hauts fourneaux de Teesside et de Norton (fig. 1 et 2, pl. IX). A Teesside, la hauteur totale est de 22^m,875 et le diamètre au ventre 7^m,32. A Norton, la hau-

(1) Voir *Proceedings of Mechanical Engineers*, 1863.

teur est de 25^m,50 et le diamètre 7^m,50. Ces chiffres énormes ne sont même pas les dernières limites. M. Bolckow et Vaughan ont mis en feu en 1866, à Eston, deux hauts fourneaux ayant 29 mètres de hauteur ; et on annonce aussi la mise en feu à Ferryhill, par la Compagnie de Rosedale, de deux hauts fourneaux ayant 31^m,10 de hauteur et 8^m,24 de diamètre au ventre ; ceux-ci sont, à notre connaissance, les plus grands parmi tous les hauts fourneaux existants.

Les dimensions transversales énormes données à quelques-uns de ces nouveaux fourneaux nous paraissent, comme à M. Cochrane en 1864, dangereuses pour leur bon roulement, à cause de la difficulté de répartir régulièrement le courant de gaz sur des sections aussi grandes. Nous regarderions volontiers 6^m,50 de diamètre au ventre comme une limite qu'on ne doit pas dépasser ; toutefois, MM. Cochrane eux-mêmes sont en train maintenant de construire deux nouveaux fourneaux à Ormesby avec 7 mètres de diamètre au ventre.

Ces accroissements énormes de dimensions et de capacité intérieure ⁽¹⁾ n'ont pas été faits seulement en vue de l'accroissement de production journalière, mais surtout pour diminuer la consommation de coke par tonne de fonte, et, par suite, le prix de revient. On a agi sur la hauteur pour diminuer la température des gaz sortant au gueulard ; dans les anciens fourneaux, d'après M. L. Bell, la température de ces gaz (mesurée au calorimètre) paraissait être en moyenne de 385° à 425° pour des fourneaux de 12^m,60 à 14^m,50 de hauteur ; chez MM. Bolckow et Vaughan, la température au gueulard d'un fourneau de 22^m,50 n'était plus que de 275°. En augmentant la capacité plus que la production journalière, on a accru le temps que les minerais passent dans le fourneau. A

(1) Les anciens hauts fourneaux du Cleveland avaient 157 mètres cubes de capacité.

Celui de Thornaby (1862) a 349 mètres cubes de capacité.

Celui d'Acklam (1864) 520 — —

Celui de Teesside (1866) 565 — —

Celui de Norton (1866) 677 — — environ.

Ormesby, on comptait que ce temps était de trente-six heures pour une bonne allure; dans les nouveaux fourneaux les matières restent soixante-douze heures. En effet, la production journalière des hauts fourneaux d'Ormesby, comme des anciens fourneaux de dimensions analogues, était environ 30 tonnes de fonte d'affinage, tandis que celle des grands fourneaux de Teesside et de Norton n'est que 50 à 60 tonnes. Mais nous ne sommes point convaincus que les maîtres de forges du Cleveland ne dépassent pas le but en faisant séjourner leurs minerais aussi longtemps dans les fourneaux.

SOUFFLAGE DES FOURNEAUX. — Les anciens fourneaux du Cleveland recevaient par minute 140 à 170 mètres cubes d'air mesurés à la machine. On parle de 200 à 225 mètres cubes pour les nouveaux fourneaux de Teesside et de Norton. La pression du vent à la machine varie de 15 à 21 centimètres de mercure ⁽¹⁾.

La température du vent était autrefois de 300° à 375°. En 1864, on atteignait couramment 425° à 500°. Maintenant on chauffe aisément à 560°, et on arrive même, dit-on, dans plusieurs usines, à 600° centigrades (1100° Fahrenheit) et au-dessus ⁽²⁾.

M. Cochrane, ingénieur très-distingué, directeur de la grande fonderie d'Ormesby, est celui qui a montré le che-

(1) D'après M. Adamson (*Proceedings of Inst. of Mech. Engin.*, 1864), on aurait obtenu les résultats les plus avantageux en remplaçant dans un des anciens fourneaux de Norton 6 buses de 75 millimètres alimentées avec du vent à 14 centimètres de pression, par 3 buses de 150 millimètres, fournissant du vent à 2 centimètres et demi seulement; le fourneau étant alimenté avec un mélange de minerais de Cleveland et de Rosedale. On aurait obtenu ainsi une plus grande régularité d'allure, une plus forte proportion de fonte de moulage et une grande économie de puissance motrice. Mais, comme M. Lloyd et autres l'ont fait remarquer, ce fait serait contraire aux résultats d'expériences admis partout; avec une pression plus faible, on diminue la production du haut fourneau sans la rendre plus économique.

(2) Neilson ne chauffait le vent qu'à 150° ou 200° environ. Il était réservé aux maîtres de forges du Cleveland de tirer tout le parti possible de son admirable invention.

min, et marché en avant le plus vite dans cette direction des hautes températures. Nous croyons utile de citer quelques extraits de ses communications à l'*Institution of Mechanical Engineers* et à la *British Association* en 1864 et 1865. M. Cochrane considère comme les deux *desiderata* essentiels à obtenir pour la meilleure allure d'un haut fourneau :

1° Que les gaz sortent au gueulard avec la plus basse température possible ;

2° Que le point de température maximum soit le plus près possible du plan des tuyères.

On se rapproche du premier en élevant la hauteur du fourneau ; mais on arrive bientôt à une limite qui est de 22 ou 23 mètres, et au delà de laquelle les frais supplémentaires de construction et d'élévation des charges compensent l'avantage à obtenir de la faible diminution de température qu'on peut encore obtenir à cette hauteur. Il faut aussi tenir compte de la plus forte pression de vent nécessaire et des plus grandes difficultés d'allure.

Le second *desideratum* est atteint en élevant beaucoup la température du vent. En effet, lorsqu'on souffle dans l'ouvrage rempli de matières incandescentes avec du vent froid, le point de température maximum — ou *foyer*, comme nous avons pris l'habitude de le nommer dans notre cours à l'École centrale — est forcément à une hauteur notable au-dessus du plan des tuyères, et ce, pour deux raisons : 1° parce que la combinaison de l'oxygène de l'air froid avec le carbone ne se fait point instantanément ; 2° parce que l'azote de l'air injecté ne se trouve pas non plus instantanément porté à la température maxima. En chauffant l'air injecté, on augmente l'affinité, et on accélère la combinaison de l'oxygène avec le carbone, en même temps qu'on diminue le temps nécessaire pour l'échauffement de l'azote ; par suite, on abaisse le foyer et on diminue la hauteur de la zone d'oxydation qui se trouve dans l'ouvrage. On peut ainsi obtenir des fontes grises dans des fourneaux qui, à l'air froid, ne donneraient que des fontes blanches. Nous citerons l'un des fourneaux mêmes de M. Cochrane, où on essaya en vain d'ob-

tenir de la fonte de moulage à l'air froid : la température maximum se diffusait sur une zone trop élevée, et le foyer était trop haut ; la diminution de la charge de minerai ne servait qu'à faire monter la chaleur dans les régions supérieures du fourneau.

Lorsque ces deux *desiderata* sont obtenus, on utilise évidemment, autant que possible, le calorique produit dans le fourneau pour la fusion et l'échauffement des matières ; on est donc dans les conditions d'un roulement économique. On y est encore pour une autre raison importante :

Nous avons dit que la température maxima n'était obtenue que lorsque l'azote du vent était arrivé à cette température. Or, si cet azote arrive froid, il exige pour se chauffer de chaque centaine de degré : $100 \times 0,244 = 24,4$ calories par kilogramme d'azote ; et, comme 1 kilogramme de coke exige, pour être brûlé en oxyde de carbone, $5^k,78$ d'air, soit $4^k,44$ d'azote, il y aura par kilogramme de carbone brûlé dans le fourneau $4,44 \times 24,4 = 108,33$ calories absorbées pour chaque centaine de degrés dont il faudra que l'azote se chauffe. Comme 1 kilogramme de carbone produit 2,473 calories, on économisera 4,38 pour 100 du combustible consommé dans le fourneau, pour chaque 100° dont on chauffera le vent, uniquement du fait de l'azote et sans parler de l'oxygène de l'air. Pour une tonne de fonte consommant 1,200 kilogrammes de coke, par exemple, avec un vent modérément chauffé, on économisera $\frac{4,38 \times 1200}{100} = 50$ kilogrammes environ de combustible par chaque 100° de surélévation de température donnée au vent.

Ce calcul théorique, que nous établissons en partant des bases posées par M. Cochrane, se trouve confirmé par les résultats pratiques. Divers ingénieurs français ont pu entendre à l'Exposition un maître de forges anglais, bien connu, annoncer que, dans le Cleveland, on économisait un quintal anglais par tonne de fonte et par chaque 100° Fahrenheit de température donnée au vent (soit 50 kilogrammes par 56° centigrades), ce qui est plus que l'économie indiquée par notre

calcul. Ce chiffre s'explique par le fait suivant. Vers 1860, époque où on chauffait l'air dans le Cleveland vers 275° à 300° centigrades seulement, on consommait 1,500 kilogrammes de coke par tonne de fonte; aujourd'hui, en chauffant l'air à 550° , on ne consomme que 1,100 kilogrammes de coke, ce qui fournit une économie de 300 à 400 kilogrammes coke pour une différence de 250 à 300° centigrades.

A Ormesby, d'après M. Cochrane, on a obtenu, dès 1860-1861, de très-bons résultats avec une paire d'appareils à air chaud Cowper appliqués à une tuyère d'un haut fourneau (les autres tuyères étant alimentées avec le vent chaud ordinaire). Alors on a monté des appareils pour chauffer à haute température tout le vent d'un haut fourneau, et ils fonctionnent depuis plus de six ans avec les résultats suivants :

Accroissement de production de 20 pour 100;

Légère amélioration de la qualité de la fonte, grâce à la moindre quantité d'impuretés apportée par le combustible;

Économie de plus de 250 kilogrammes de coke par tonne de fonte, l'air étant chauffé à 620° centigrades, au lieu de 325° à 350° .

Mais l'échauffement du vent ne s'obtient pas gratuitement. Pour chauffer $4^{\text{e}},44$ d'azote de 100° dans le fourneau lui-même, nous avons vu qu'il faut 108,33 calories correspondant à $0^{\text{e}},0438$ de carbone consommé. Pour obtenir le chauffage de 100° dans un appareil spécial, il faut bien compter 120 calories. Mais ici on pourra brûler de la houille, dont la puissance calorifique est 8,000, et il suffira de $0^{\text{e}},015$ de houille, si on utilise toute la chaleur produite. Avec les appareils fondés sur le système Siemens, on arrive presque à ce résultat, de sorte que l'économie finale est toujours considérable, alors même qu'on n'emploierait pas les gaz du gueulard, sur lesquels il ne faut du reste plus trop compter, parce que toute économie de combustible dans le fourneau se traduit par une diminution de la puissance calorifique des gaz.

Cette économie est séduisante, et on se demandera de

suite pourquoi ne pas chauffer immédiatement le vent à la température nécessaire pour la fusion des matières, sans qu'il y ait consommation de combustible dans l'ouvrage. Mais il ne faut pas oublier qu'outre la fusion, il faut aussi produire dans le fourneau la carburation et la réduction, qui exigent de l'oxyde de carbone, et, par suite, une combustion imparfaite dans l'ouvrage. La limite de température à laquelle s'arrêtera l'économie est donc théoriquement celle avec laquelle on ne consommera plus dans le fourneau que le carbone nécessaire pour la réduction et la carburation; alors les gaz du gueulard ne seront plus combustibles, mais seront un mélange d'azote et d'acide carbonique.

Nous n'en dirons pas davantage sur cette importante question de l'emploi de l'air chaud; nous espérons en avoir assez dit pour montrer qu'elle mérite toute l'attention des maîtres de forges.

APPAREILS A AIR CHAUD. — On employait anciennement dans notre groupe, il y a vingt ans, des appareils de Calder qui ne présentaient que 80 à 160 mètres carrés de surface de chauffe par 100 mètres cubes de vent fournis à la minute. Depuis ont été imaginés les appareils à pistolets et les appareils à siphons droits et à boîtes; et on a porté les surfaces de chauffe à 400 mètres carrés, dit-on, par 100 mètres cubes de vent lancés par minute. On cite un fourneau qui reçoit 170 mètres cubes d'air par minute, et qui est muni de cinq appareils à air chaud à tuyaux elliptiques, présentant une surface de près de 700 mètres carrés. Aussi les tuyaux de chauffe en fonte durent-ils plus longtemps que dans nos usines françaises. On trouve encore dans les appareils de Clay lane des tuyaux placés en 1853, et qui dureront encore quatre ou cinq ans, dit-on.

Mais, maintenant que les hautes températures sont en vogue pour le vent, on a dû recourir à des systèmes nouveaux d'appareils à chauffer l'air. L'appareil de M. Cowper, fondé sur le système de MM. Siemens, est bien connu des lecteurs de *la Revue universelle*, où il a été décrit en 1861. A l'usine d'Ormesby, les appareils Cowper sont chauffés avec les gaz

provenant de générateurs à gaz Siemens ; mais on a essayé en 1865 d'employer à cet usage les gaz du gueulard en les débarrassant de la poussière qu'ils renferment ; il faut pour cela qu'ils circulent en couche mince avec une vitesse moindre que 0^m,30 par seconde dans des tuyaux ou réservoirs convenablement disposés. A Ormesby, on chauffe régulièrement avec ces appareils le vent à 620°, la température oscillant seulement de 675° à 565° pendant les quatre heures d'une période de chauffage. On s'assure de la température du vent au moyen d'éprouvettes en plomb, en zinc, en antimoine, et on la mesure exactement si l'on veut au moyen d'un calorimètre à eau. A l'usine de Thornaby, on emploie l'appareil Whitwell, également en argile réfractaire, chauffé aussi par le système Siemens, mais qui présente sur l'appareil Cowper l'avantage de pouvoir être nettoyé beaucoup plus facilement.

Ailleurs, on trouve l'appareil Player, qui est un appareil à siphons verticaux droits en fonte, chauffé par les gaz, et dans lequel le mélange d'air et de gaz s'enflamme et brûle dans une chambre séparée de celle où sont les tuyaux. On espère ainsi conserver plus longtemps ceux-ci, mais on chauffe moins bien et on consomme plus de gaz.

MACHINES SOUFFLANTES. — Presque tous les systèmes de machines soufflantes sont employés ou ont été essayés dans le Cleveland. Contrairement à la routine suivie dans d'autres groupes sidérurgiques anglais, on paraît être arrivé à préférer les machines de dimensions moyennes, à vitesse assez grande, soufflant chacune un seul fourneau, aux grosses machines à faible vitesse, soufflant plusieurs fourneaux (Staffordshire, pays de Galles).

Toutefois on trouve encore quelques machines à balancier, notamment à Elswick et à Teesside, avec le point d'attache de la bielle du volant situé entre la tête du piston moteur et le centre d'oscillation. Chez MM. Bolckow et Vaughan, on trouve 5 machines *horsehead* qui soufflent les 11 fourneaux de l'usine de Cleveland à Middlesbro.

Les machines horizontales ne sont pas non plus très-employées dans le Cleveland. On en trouve 1 à clapets et à faible vitesse (17 tours) dans l'usine de Tees; 4 autres à tiroir circulaire, système Slate, et à grande vitesse (80 tours), dans l'usine de MM. Cochrane, à Ormesby; leur course n'est que de 70 centimètres environ.

Les machines qui dominent dans notre groupe sont les machines verticales à action directe, avec le cylindre vapeur immédiatement superposé au cylindre soufflant, l'arbre du volant placé au-dessous de celui-ci et activé par des bielles pendantes, le piston vapeur et le piston soufflant se trouvant sur la même tige.

Parmi ces machines verticales, un certain nombre sont à grande vitesse et à tiroir de Slate. A Newport, on en trouve 3; à Thornaby, il y en a 4; à Grosmont, 2. Leur course varie de 0,90 à 1,50, et leur nombre de tours de 50 à 60. A Newport, on remarque une particularité intéressante: l'une des machines est à haute pression, et la vapeur, après y avoir travaillé, se rend dans une autre des machines, qui est à basse pression avec un cylindre à vapeur plus large; celle-ci est desservie par un condenseur à surface du système Cochrane. On trouve à Ormesby une disposition analogue; la vapeur, après s'être détendue dans les 4 machines horizontales dont nous avons parlé, se rend dans 2 machines verticales à basse pression munies de condenseurs. Ceux-ci sont rares dans le Cleveland, à cause de la difficulté de se procurer de l'eau douce.

Nous ne reviendrons pas sur les machines verticales, système Beckton et système Coulthard, qui sont employées à Acklam.

Les machines qui paraissent les plus en faveur en ce moment dans le groupe sont celles à clapets; on en trouve à Linthorpe, à Teesside, à Ormesby, au nombre de 9. Les cylindres soufflants ont de 1^m,65 à 2^m,50 de diamètre, 1^m,20 à 1^m,35 de course; et le nombre de tours par minute varie de 30 à 40. Les clapets, à sièges verticaux en forme de grilles, placés autour des bords supérieur et inférieur du cylindre, s'ouvrent dans des chapelles, soit pour l'aspiration, soit pour

le refoulement ; ils sont faits avec des plaques en caoutchouc vulcanisé, armées par derrière d'une légère tôle de fer. Mais la particularité la plus curieuse de ces machines est le mode d'aspiration du vent : au lieu de se faire dans la chambre de la machine, l'aspiration se fait dans un tuyau en tôle analogue au tuyau de refoulement. Le tuyau général d'aspiration débouche hors de la chambre de la machine, de façon à prendre l'air au dehors ; il n'y a ni mouvements d'air, ni absorption de poussière dans cette chambre. De plus, comme toutes les chapelles d'aspiration des diverses machines sont branchées sur ce tuyau général, il se forme dans ce tuyau un courant continu d'air aspiré, et on prétend assurer mieux par ce moyen le bon remplissage du cylindre pendant la période où les clapets d'aspiration sont ouverts. Ces machines, de plus, sont très-économiques, dit-on.

EMPLOI DES GAZ DES GUEULARDS. — C'est vers 1860 que l'on a commencé sérieusement dans le Cleveland à prendre et à employer le gaz des gueulards. M. Cochrane, après avoir essayé un système particulier qui a été décrit dans la *Revue universelle*, t. X, et dans l'appendice du *Traité de Métallurgie* de M. Percy, t. III, a été obligé de l'abandonner à cause des fâcheuses conséquences de la mauvaise répartition des matières qui se produisait. Il avait voulu éviter le système *cup and cone* (inventé par M. Parry, à Ebbw Vale), à cause de la présence du cône mobile de haut en bas au-dessous du gueulard et de la perte de la hauteur qu'elle entraîne ; mais son système amenait l'accumulation des matières menues, au centre de la section du gueulard et, par suite, une mauvaise allure. Il a été ramené forcément à l'emploi du système *cup and cone*, qu'il emploie depuis avec grand succès.

Il y a eu pendant quelques années, dans le Cleveland, une hésitation dans l'emploi des prises de gaz : parmi les ingénieurs, les uns condamnaient les gueulards fermés, les autres les préconisaient. On a fait aux usines de Grosmont et de Normanby deux essais malheureux du système de prise de gaz Smith, employé à Barrow, et que nous avons décrit dans la *Revue universelle*, t. XIII. Ce système, qui a fourni et fournit

encore les meilleurs résultats à Barrow, où l'on emploie des minerais assez menus et où les fourneaux marchent pendant les sept jours de la semaine, a complètement échoué dans le Cleveland, où les minerais sont jetés dans le fourneau en blocs volumineux, qui venaient détruire les arches de support du tuyau central, et où les alternances de soufflage et d'arrêt ⁽¹⁾ amenaient la ruine des parties réfractaires de la prise de gaz. Dans le Cleveland, on ne peut casser le minerai en petits morceaux ; il ferait trop de menus et de déchets. Cet échec de la prise centrale à gueulard ouvert a mis fin aux hésitations des maîtres de forges du Cleveland, et maintenant on trouve employé partout le système *cup and cone*. On verra que dans d'autres groupes, dans le Staffordshire par exemple, il n'en est pas de même. L'appareil *cup and cone* est connu : on en trouve encore le dessin sur les fourneaux de Normanby, Acklam et Teesside, pl. VIII et IX. Nous ne le décrirons pas ; nous dirons seulement quelques mots sur des détails de son établissement, très-importants en pratique.

Dans les premiers temps de l'emploi de cet appareil, on eut dans plusieurs usines à se plaindre de son fonctionnement : le fourneau ne pouvait conserver une allure régulière, et, de plus, il survint diverses explosions au gueulard. Ces inconvénients provenaient de mauvaises proportions données aux deux parties de l'appareil : la coupe et le cône. Celui-ci, lorsqu'il est trop grand, amène une mauvaise distribution des charges — d'où irrégularité d'allure — et gêne la sortie des gaz lorsqu'il est abaissé pour la charge — d'où des rentrées d'air et des explosions. D'après M. Riley, les dimensions les plus suivies sont, pour les diamètres ordinaires de gueulards dans le Cleveland : 2 mètres de diamètre à l'orifice inférieur de la coupe, qui a un angle de 35°, et 2^m,30 de diamètre à la base du cône, qui a un angle de 40° avec l'horizontale. L'angle de la coupe varie toutefois entre 35° et 45°, sans jamais dépasser cette dernière

(1) Voir *Proceedings of the Inst. of Mech. Eng.*, 1864.

inclinaison; l'angle du cône avec l'horizon est toujours plus grand que celui de la coupe, et son diamètre inférieur dépasse maintenant ordinairement de fort peu le diamètre inférieur de la coupe. Celle-ci est en fonte, coulée en segments, et son bord inférieur est formé par une couronne en fonte d'une seule pièce, rapportée et boulonnée après la mise en place du cône. Celui-ci, en fonte, est coulé d'une seule pièce : il est suspendu en son milieu par une tige, et porte, en outre souvent, à deux oreilles venues de fonte, deux chaînes lâches qui l'empêchent de tomber dans le fourneau si, par aventure, la tige de support vient à casser; on le manœuvre au moyen d'un levier.

A Teesside, l'ingénieur a imaginé d'ajuster le bord inférieur de la coupe et la surface extérieure du cône, auquel il donne une génératrice un peu curviligne, afin de mieux assurer l'étanchéité du joint.

La coupe est souvent assez grande pour contenir une charge de 8 à 10 tonnes. Le chargement se fait en quelques secondes, en ayant soin d'enflammer les gaz au moyen de quelques morceaux de coke enflammés qu'on jette sur la charge au moment d'ouvrir. Les gaz sont extraits au moyen de la pression assez considérable qui existe au gueulard, aidée par le secours d'une cheminée ayant une hauteur double de celle du fourneau. L'ouverture par laquelle ils sortent est très-voisine de la plate-forme du gueulard; les parois de la cuve se resserrent généralement en voûte à cet endroit au-dessus de la surface des charges, et c'est dans cette voûte que se trouve l'ouverture de sortie qui ne peut être obstruée par les matières.

Les gaz suffisent pour la production de vapeur nécessaire à la soufflerie, aux monte-charges et pour le chauffage de l'air : on n'emploie de combustible au dehors du fourneau que pour les fours de grillage du minerai. Mais pour arriver à cette économie, il faut que les gaz soient convenablement brûlés; on a eu d'abord quelques difficultés pour y arriver. Les ouvriers laissaient entrer de l'air dans la conduite des gaz, ou bien ils laissaient s'accumuler du gaz sans l'enflammer

dans le foyer, de sorte qu'il survenait des explosions lorsqu'on apportait du feu ; mais ils apprirent bientôt à éviter ces accidents en ne permettant jamais au gaz d'arriver au foyer sans s'y enflammer tout de suite. Puis on ne sut pas tout d'abord bien régler l'arrivée de l'air de combustion ; il en résultait qu'on n'obtenait pas assez de vapeur dans les chaudières, et que le gaz brûlait dans les cheminées, qu'on voyait souvent surmontées d'un panache de flamme. Celles-ci se lézardaient rapidement, et on était obligé de les armer, depuis la base jusqu'au sommet, avec des frettes de fer. Pour éviter cet inconvénient, on allongeait toujours la longueur des chaudières ; ainsi, M. Adamson dit avoir construit des chaudières cylindriques de 26 mètres de longueur et de 1^m,50 de diamètre, qui étaient soutenues par vingt tiges de suspension assemblées dans des poutres en fonte placées au-dessus du fourneau. A Grosmont, on trouve des chaudières de 22^m,25 de longueur, également suspendues par des tiges à des poutres courbes en fonte, qui s'appuient sur le dessus du fourneau. Par cette disposition, on veut laisser ces longs corps cylindriques sans bouilleurs complètement libres dans leurs mouvements de dilatation et de contraction. Mais maintenant on a reconnu que le gaz, lorsque l'air lui est convenablement mêlé, peut être parfaitement brûlé sur une longueur de 15 mètres, et les nouvelles chaudières ont une longueur qui ne dépasse guère 18 mètres ordinairement, avec un diamètre de 1^m,20, sans bouilleurs ni tubes intérieurs. On établit ordinairement un regard dans le carneau général de sortie d'une batterie de chaudières, et on y constate que, lorsque le règlement de l'air est bien fait, ce carneau reste complètement obscur. C'est le cas à l'usine de Linthorpe, où le gaz et l'air se mélangent dans une sorte de bec brûleur avant d'arriver dans le foyer.

ROULEMENT DES FOURNEAUX. — Les minerais de Cleveland sont toujours grillés avant d'être introduits dans les charges. Les fours de grillage sont établis d'après divers types. Un des plus récents est celui adopté à l'usine de Linthorpe. Les fours sont circulaires ; la chemise réfractaire, entourée

d'un manteau de tôle, repose sur un anneau en fonte, soutenu lui-même par huit colonnes, de sorte que l'extraction des matières grillées se fait sans difficultés; l'air nécessaire pour la suroxydation des carbonates grillés arrive par des ouvreaux ménagés dans la partie inférieure de la chemise et par un cône situé au centre. Il y en a de deux dimensions : les uns cubent 126 mètres cubes et grillent environ 500 tonnes de minerai chacun par semaine, avec une consommation de 1 tonne de menue houille et d'escarbilles de coke pour 20 tonnes de minerai cru; les autres cubent 225 mètres cubes et grillent chacun par semaine 850 à 900 tonnes de minerai avec une consommation de 1 tonne de combustible pour 25 tonnes de minerai. On a songé et même essayé déjà, dit-on, d'employer les gaz des gueulards des hauts fourneaux pour la calcination du minerai.

Le mode d'introduction du vent dans l'ouvrage des hauts fourneaux varie suivant les usines. Dans les unes, on souffle avec trois tuyères seulement (Eston, Linthorpe, Teesside, par exemple); ailleurs, avec quatre tuyères (Stockton), avec cinq tuyères (Grosmont); le nouveau fourneau de Norton sera soufflé par six tuyères.

Les anciens fourneaux de Norton, par exemple (15 mètres de hauteur et 4^m,20 de diamètre), consommaient, vers 1858, 1,800 kilogrammes de coke par tonne de fonte de moulage. En 1860, on construisit les fourneaux de Thornaby qui ne consommèrent plus que 1,350 à 1,400 kilogrammes de coke par tonne de fonte. En 1863, d'après MM. Bell et Adamson, la production hebdomadaire d'un haut fourneau du Cleveland variait de 200 à 220 tonnes de fonte, la consommation moyenne par tonne étant :

3,250 à 3,500 kilogrammes de minerai;	
1,300 à 1,400 —	coke;
750 à 800 —	castine;

sans compter le combustible pour le grillage des minerais, et le chauffage des générateurs à vapeur et appareils à air

chaud. Depuis cette époque, les progrès ont été rapides; la production hebdomadaire, en 1864, avait déjà atteint 300 tonnes pour les grands fourneaux, et la consommation était :

3,500 kilogrammes de minerai du Cleveland.

1,300	—	coke.
750	—	castine.
500	—	houille pour chaudières, chauffage de l'air et grillage des minerais.

Actuellement, on arrive à produire 350 tonnes par semaine, peut-être 400 tonnes (dans les grands fourneaux de Ferryhill et de Norton). La consommation de coke est descendue, depuis les nouveaux perfectionnements, à 1,100 kilogrammes, même 1,050, par tonne de fonte; on ne consomme plus de houille pour la soufflerie, et seulement 165 à 170 kilogrammes de combustible par tonne de fonte pour le grillage des minerais.

Voici, d'après MM. Ulrich, Wiebmer et Dressler, et d'après M. Colburn, quelques chiffres de roulement relevés en 1866 :

Cleveland ou Eston, 1865 (1). — 11 fourneaux à trois tuyères. Diamètre des buses : 75 millimètres. Pression : 169 millimètres mercure. Température de la fusion du plomb. Rendement du lit de fusion : 28 pour 100. Production hebdomadaire par fourneau : 210 tonnes de fonte grise à grain serré ou blanche.

Consommation pour 1,000 kilogrammes fonte :

1,630 kilogrammes coke.

2,840	—	minerai grillé.
700	—	chaux de Douvres.

Stockton, 1865 (1). — 4 hauts fourneaux à quatre tuyères. Diamètre des buses : 81 millimètres. Pression : 169 milli-

(1) Les chiffres recueillis par les ingénieurs prussiens cités plus haut sont en contradiction complète, en ce qui concerne la consommation du coke, avec ceux accusés par divers maîtres de forges anglais. Il y a peut-être lieu de craindre qu'ils aient été mal renseignés.

mètres mercure. Température du vent : 450°. Rendement du lit de fusion : 43,15 pour 100. Production hebdomadaire par fourneau : 200 tonnes.

Consommation pour 1,000 kilogrammes fonte :

1,600 kilogrammes de coke.		
1,320	—	minerai grillé.
250	—	scories de fours à souder.
750	—	castines.

Linthorpe, 1866. — 4 hauts fourneaux de 20^m, 50 hauteur et 6 mètres de diamètre au ventre, à trois tuyères. Diamètre des buses : 112 millimètres. Pression du vent : 208 millimètres mercure. Température : 600 à 650° centigrades. Rendement du minerai grillé : 42 pour 100 environ. Production hebdomadaire par fourneau : 300 tonnes fonte grise, nos 3 et 4.

Consommation par tonne de fonte :

3,330 kilogrammes de minerai cru.		
1,085	—	coke.
625	—	castine.
165	—	escarbilles de coke et menus pour grillage de minerais.

Les hauts fourneaux du Cleveland marchent avec des lits de fusion plus réfractaires que la plupart des autres fourneaux anglais; la cause en est à la forte teneur d'alumine des minerais; on en aura une idée en se reportant à l'analyse du laitier d'Acklam donnée plus haut. M. Bell, maître de forges, a adressé, en 1863, un mémoire à l'Association britannique sur la composition des laitiers. Il y a prouvé l'existence d'un fait qui doit être porté à la connaissance de tous les ingénieurs de hauts fourneaux qui ont des dosages à calculer. Une partie des bases terreuses du lit de fusion est emportée par les gaz, sans doute après décomposition; l'aluminium et le calcium arrivent au gueulard avec les gaz et sortent en s'oxydant de nouveau; on les retrouve dans les condensations des conduites de gaz. Aussi faut-il calculer les dosages un peu plus basiques qu'on ne les veut en réalité, afin de com-

penser cette perte. On trouvera dans Percy, *Métallurgie*, t. III, p. 289, des extraits du mémoire de M. Bell.

FONTES. — Les minerais du Cleveland renferment, comme on l'a vu, une proportion assez notable de phosphore, et les fontes qu'on en obtient sont phosphoreuses et souvent aussi sulfureuses. M. Bell a fait des essais, rappelés dans l'ouvrage de M. Percy, t. III, p. 371, sur l'emploi de l'oxyde de manganèse dans les charges pour obtenir des fontes épurées; mais il n'a pas obtenu de résultats satisfaisants. Il est vrai que, dans ses essais, les neuf dixièmes du manganèse introduit dans le lit de fusion ont passé dans le laitier, et qu'un dixième seulement s'est uni à la fonte.

On se préoccupe toujours des moyens par lesquels on pourrait obtenir, avec les minerais si économiques de notre groupe, des fontes de qualité supérieure. A l'Exposition internationale de 1862, à Londres, un industriel, M. Warner, avait exposé des fontes des usines de Wallsend et de Norton, épurées par son procédé breveté, ainsi que des fers en provenant; des essais pratiqués sur ces fers indiquaient une qualité bien supérieure à celle ordinaire dans le Cleveland. Je me suis procuré la patente de M. Warner, et j'ai vu que son procédé consistait à placer des boîtes de matières pouvant dégager du chlore et du fluor au fond d'une grande lingotière en tôle doublée de briques, et à faire passer la fonte dans cette lingotière au sortir du haut fourneau avant de la distribuer dans les moules de gueusets. La patente est fort compliquée et renferme les ingrédients les plus divers. Les frais du procédé coûtent, d'après M. Warner, de 1 fr. 85 c. à 7 francs par tonne, suivant la nature des minerais et des impuretés qu'ils renferment. Malgré la pompe avec laquelle ce procédé était produit à Londres en 1862, il paraît avoir eu peu de succès pratique, puisqu'il n'en est plus question maintenant. M. Cochrane, d'Ormesby, a reconnu que, depuis l'emploi du vent très-chaud, les qualités résistantes de ses fontes ont notablement augmenté, et il l'attribue à la diminution de la consommation de coke. Les fontes du Cleveland n'avaient pas autrefois une très-haute réputation comme

fontes de moulage, mais maintenant elles luttent assez avantageusement avec les fontes d'Ecosse, sur lesquelles elles ont l'avantage recherché, dans certains cas, d'une plus grande dureté. Le tableau suivant, extrait du journal *Engineering* (14 décembre 1866), donnera une idée des propriétés résistantes des fontes grises du Cleveland.

Les essais portaient sur des barres carrées de 25 millimètres de côté, posées sur des supports espacés de 90 centimètres et chargées en leur milieu. Voici les charges de rupture :

Acklam, n° 3. . . .	387 kilogrammes.	(Flèche de 15 millimètres.)
Clarence, n° 3. . . .	384	—
Clarence, n° 3. . . .	368	—
— n° 3. . . .	375	—
Consett, n° 4. . . .	311	—
South Bank, n° 4. . .	425	—
Ferry Hill, n° 4. . .	329	—
Weardale, n° 4. . . .	471	(Grande flèche.)
— n° 5. . . .	406	—
Carron, n° 1. . . .	362	(Fonte d'Ecosse.)
Shotts, n° 3. . . .	362	<i>Id.</i>
Pontypool, n° 3. . .	337	(Fonte galloise.)

On voit figurer dans ce tableau les fontes de Weardale. Celles-ci sont d'une nature toute différente des fontes ordinaires de notre groupe ; elles sont fabriquées dans les hauts fourneaux de Towlaw et de Stanhope, avec les excellents minerais de Weardale, dont j'ai parlé plus haut, et présentent une qualité supérieure, aussi bien pour le moulage que pour l'affinage. On en obtient même qui sont de véritables spiegeleisen, quoique leur teneur en manganèse soit bien inférieure à celle des spiegeleisen fabriqués en Allemagne ou en France (voir leur analyse par M. Percy, t. III, p. 341) ; elles figuraient avec distinction à l'Exposition de Londres en 1862 ; mais les propriétaires avaient eu l'idée malheureuse d'exposer à côté de leurs produits l'analyse faite par des essayeurs de Newcastle, qui n'avaient trouvé dans leurs spiegeleisen aucune trace de manganèse, et qui n'en avaient pas trouvé non plus dans le spiegeleisen prussien, dont ils expo-

saient aussi l'analyse!! Les directeurs de la compagnie de Weardale en concluaient que leurs fontes équivalaient aux fontes prussiennes. Les fontes grises de Weardale sont les plus résistantes connues en Angleterre pour les travaux de fonderie, et elles arrivent dans nos fonderies du Nord et des Ardennes pour donner de la résistance aux moulages (poterie et sablerie) qu'on y fabrique.

Le prix de vente des fontes ordinaires du Cleveland est inférieur à celui des fontes d'Écosse. D'après M. R. Hunt, il a été, en 1866, en moyenne de 62 francs la tonne anglaise. D'après le *Times*, le prix de revient, en 1866, aurait varié, suivant les usines et les moments, de 46 fr. 15 c. à 52 fr. 30 c. la tonne. Le Cleveland est le pays du monde où la fabrication de la fonte est la plus économique. On en aura une idée par le compte simulé suivant, établi d'après les roulements actuels des grandes usines du groupe :

Minerai cru, 3,500 kilogrammes à 5 fr. 60 c.	fr. 19,60
Coke, 1,100 kilogrammes à 12 fr. 50 c.	13,75
Castine, 625 kilogrammes à 5 francs.	3,12
Houille, 180 kilogrammes à 4 francs.	0,72
Main-d'œuvre totale	6,00
Entretien, direction, frais généraux	4,00
En tout pour le prix d'une tonne de fonte	fr. 47,19

prix qui est encore supérieur à celui qu'obtiennent plusieurs usines auxquelles le minerai revient beaucoup moins cher que le prix ci-dessus.

Mais lorsque les maîtres de forge du Cleveland veulent fabriquer des fontes de qualité supérieure, en introduisant dans leurs lits de fusion des hématites rouges du Cumberland ou des minerais de l'île d'Elbe ou de l'Espagne, les prix de revient haussent notablement.

Dans les hauts fourneaux des environs de Newcastle, situés plus loin des gîtes sidérurgiques du Cleveland, les prix de revient sont un peu plus élevés, malgré la proximité de la houille; les minerais houillers que l'on employait dans l'origine font maintenant presque défaut. Aussi les usines s'ap-

pliquent surtout à fabriquer de bonnes fontes d'affinage au moyen de mélanges du minerai du Cleveland avec des minerais supérieurs. La compagnie de Consett fonctionne un peu péniblement depuis longtemps déjà; créée pour traiter des minerais houillers qui ont fait défaut, elle a été ruinée par ce mécompte; sur 17 fourneaux qu'elle possède, 6 seulement étaient en feu en 1866. La compagnie de Weardale fabrique des fontes supérieures avec ses excellents minerais spathiques et hématites brunes; mais ses prix de revient, comme ses prix de vente, n'ont rien de commun avec ceux du Cleveland. On trouvera dans l'ouvrage de MM. Gruner et Lan (*État de la Métallurgie du fer en Angleterre en 1860*) la description des usines de ces deux sociétés.

Dispositions générales des usines.

Les usines à fonte du Cleveland, comme presque toutes les usines nouvelles construites en Angleterre, ont leurs fourneaux rangés en ligne avec leurs aires de coulée au devant, les appareils à air chaud rangés sur une ligne ou sur deux lignes derrière, et le bâtiment des machines soufflantes à l'une des extrémités de la rangée. Les matières sont élevées aux gueulards par des moyens fort divers. On peut étudier dans le Cleveland presque tous les appareils possibles pour ce but : plans inclinés, balances d'eau, monte-charges pneumatiques à cloche renversée, treuils à tambours, monte-charges à vapeur à action directe, monte-charges pneumatiques à piston contre-poids.

A Acklam, on emploie un plan incliné. Dans diverses suines, autour de Middlesbro, on a des balances d'eau; on leur reproche l'inconvénient d'élever quelquefois les matières trop haut, et d'être gênantes et dangereuses en hiver à cause de la glace. A Ormesby, on trouve des monte-charges pneumatiques à cloche qui obligent à la construction de cuves très-profondes. A Tees-Side, on a un monte-charges à vapeur, qui est une véritable machine d'extraction à tam-

bour sur lequel s'enroule un câble en fil de fer. A Normanby, à Thornaby, on emploie des monte-charges à vapeur à action directe.

Le système le plus nouveau et le plus curieux est celui établi par M. Gjer, à l'usine de Linthorpe. Un groupe de 2 fourneaux est desservi par un monte-charges formé d'une colonne creuse en fonte de 90 centimètres de diamètre intérieur environ, alésée sur toute sa hauteur. Dans ce vide peut se mouvoir un piston contre-poids pesant presque 4,000 kilogrammes. Autour de la colonne peut s'élever une plate-forme carrée, soutenue à chaque angle par un câble en fer, qui va passer sur une molette au sommet du tube pour aller se rattacher au piston contre-poids. A vide, la plate-forme pèse 1,000 kilogrammes de moins que celui-ci; chargée, elle pèse 1,000 kilogrammes de plus. Une pompe à air double peut à volonté comprimer ou aspirer l'air sous le piston, et le faire monter ou descendre avec une vitesse de 75 à 90 mètres par minute. On fait ordinairement dix opérations par heure, et on élève environ 360 tonnes par vingt-quatre heures et par monte-charge.

D'après M. Colburn, l'établissement d'un grand fourneau, y compris les fours de grillage, chaudières, soufflantes, appareils à air chaud, monte-charges, conduites d'air et de gaz, etc., mais non compris le terrain, coûte, dans le Cleveland, de 375,000 à 500,000 francs, suivant le nombre de fourneaux de l'usine.

Le nombre total des hauts fourneaux de notre groupe était, au commencement de 1867, de 155, sur lesquels 108 et demi avaient été en feu en 1866; plusieurs hauts fourneaux nouveaux ont été construits en 1867.

La production de fonte, en 1865, a été de 1,027,664 tonnes de 1,000 kilogrammes, c'est-à-dire près de 10,000 tonnes par fourneau; elle a été de 908,845 tonnes en 1866.

TROISIÈME GROUPE.

GROUPE DES LACS.

Les usines à fonte situées dans le Cumberland et la partie du Lancashire située *au delà des sables*, occupent une situation tout à fait particulière dans la sidérurgie anglaise. Elles fabriquent les fontes si connues dans le commerce sous le nom de *fontes d'hématite*, obtenues avec les riches minerais hématites rouges que l'on exploite dans les environs d'Ulverstone et de Whitehaven. J'ai déjà en 1862, au retour de l'Exposition de Londres, entretenu les lecteurs de la *Revue* de cet important district métallurgique. M. Greiner, ingénieur des usines de Seraing, vient de publier récemment (1867), également dans la *Revue*, un intéressant mémoire sur les usines à fontes d'hématite. Cependant, je ne crois pas faire double emploi en communiquant à mes lecteurs les renseignements nouveaux que j'ai eu occasion de recueillir pendant la durée de la dernière Exposition ; seulement, je m'efforcerai d'être bref.

Il y a une vingtaine d'années, on ne trouvait dans notre groupe que quelques hauts fourneaux au charbon de bois et deux ou trois hauts fourneaux au coke, qui vivaient assez péniblement, à cause de la fâcheuse réputation qu'avaient les fontes fabriquées avec des hématites pures, de fournir un fer rouverain. Les minerais étaient cependant connus et exploités depuis longtemps, mais sur une échelle fort restreinte ; on les expédiait au loin, par terre ou par mer, pour enrichir les lits de fusion des hauts fourneaux du Staffordshire ou du pays de Galles ; leur prix subissait des fluctuations excessives, suivant l'état du marché des fers. En 1854, l'usine de Cleator fonctionnait, et celle de Workington se fondait ; elles étaient situées sur le bassin houiller de Whitehaven et ne pouvaient vivre que grâce au bas prix de la fonte, dû à la coïncidence des deux gisements houiller et ferrière. A cette époque, M. Bessemer cherchait à rendre pratique

son procédé, en essayant de l'appliquer au plus grand nombre de marques de fonte possible; pendant assez longtemps, il ne réussit qu'avec des fontes de Suède ou exotiques, mais enfin il obtint le succès aussi avec ces fontes d'hématite si peu recherchées des usines de Cleator et de Workington. Le mémoire qu'il lut en 1859 à l'Institution des ingénieurs civils faisait connaître ce fait et cherchait à attirer l'attention des métallurgistes sur l'immense richesse minérale du district des Lacs. Malgré le scepticisme manifesté par plusieurs ingénieurs distingués, les paroles de Bessemer ne furent point perdues pour tout le monde. Dès 1859, MM. Schneider et Hannay commençaient la construction de leur usine de Barrow-in-Furness, à proximité d'Ulverstone. Leur premier haut fourneau était mis en feu à la fin de la même année. Depuis cette date, l'importance sidérurgique du district a pris rapidement une extension considérable : on le verra par le tableau des usines à fonte qu'il renferme actuellement. J'ai dit à propos du Cleveland, quelques mots du rapide développement de Middlesborough; celui de Barrow-in-Furness a été tellement prodigieux que je ne sortirai pas de mon sujet en en disant quelques mots. En 1859, Barrow était un village perdu dans la presqu'île du Bas-Furness, un petit port côtier d'une importance nulle; en 1862, lors de ma visite, c'était une station de chemin de fer autour de laquelle quelques maisons commençaient à s'élever. Maintenant Barrow est une ville de 20,000 habitants, un port de mer important par son tonnage; on y trouve des docks et un mouvement commercial considérable. Son accroissement est tellement rapide qu'on ne peut mieux comparer ses rues qu'à celles d'une foire où les baraques s'élèvent et se multiplient à vue d'œil; seulement, ici les baraques sont remplacées par des maisons. Il ne faudrait pas croire toutefois que la prospérité de Barrow dépend uniquement de celle de la grande usine qui s'y trouve; non, elle est sous ce rapport plus stable que celle de certaines de nos villes de France, complètement inféodées aux usines qui leur ont donné leur nom. Barrow, placé au centre de gise-

ments miniers inépuisables, pourvu de voies de communications ferrées et maritimes par où son commerce peut rayonner dans une foule de directions, vivrait et prospérerait indépendamment de son usine à fonte.

Voici la liste des usines à fonte de notre groupe :

COMTES.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de fourneaux.
Lancashire.	Barrow.	Compagnie des aciers d'hématite de Barrow. . . .	11
—	Kirkless Hall.	Compagnie des houillères et usines de Wigau. . .	10
—	Furness.	Compagnie des forges et aciéries de Furness. . .	2
—	Carnforth.	Compagnie des fontes d'hématite de Carnforth . .	6
Lancashire.	Newland.	MM. Harrison, Ainslie et Co. }	4
—	Backbarrow.	Idem. }	
Cumberland.	Whitehaven.	Compagnie des fontes d'hématite de Whitehaven. .	6
—	Workington.	Compagnie des usines de Workington.	6
—	West-Cumberland.	Compagnie des usines de West-Cumberland. . . .	5
—	Duddon.	MM. Harrison, Ainslie et Co. .	1

Les hauts fourneaux de Newland, Backbarrow et Duddon sont les seuls fourneaux au charbon de bois qui existent en Angleterre ; tous les autres sont au coke, et leur nombre tend encore à s'accroître.

Minerais.

Voici, d'après M. R. Hunt, une description des gisements : A Whitehaven, l'hématite rouge se trouve dans le calcaire carbonifère et le *millstone grit* (grès meulier) près des affleurements des roches schisteuses sur lesquelles reposent ces formations. Un examen attentif de toutes les circonstances de son gisement prouve qu'elle a été déposée par l'eau qui a jadis coulé à travers les crevasses, les trous et les cavernes dans lesquelles on la trouve. Ces magasins de minerai de

fer ont évidemment été formés par une action semblable à celle que nous constatons encore dans les pays calcaires : l'eau, chargée d'acide carbonique, dissout le calcaire, et produit ainsi des cavités aussi bien par dissolution que par désagrégation. Les minerais de Whitehaven et d'Ulverstone ont une origine commune. Il est probable que l'oxyde de fer qui préexistait dans des roches plus anciennes que celles où on trouve maintenant le minerai, a été dissous dans l'eau chargée d'acide carbonique et tenu en dissolution aussi longtemps qu'il y a eu un excès de cet acide ou de matière végétale en décomposition. Lorsque l'eau finit par perdre son acide carbonique, l'oxyde de fer se précipita d'abord près de sa surface et se déposa dans l'état où nous le trouvons aujourd'hui. Lorsque les dépôts de fer sont voisins du terrain houiller, ils se composent de carbonates argileux, et à Mylieate, on trouve quelques couches de minerai, peu puissantes (5 à 7 centimètres et rarement 30) qui appuient cette manière de voir. Les dépôts autour de Whitehaven sont en général très-massifs. A Todboles, où on a exploité à ciel ouvert, la couche a 6 mètres d'épaisseur ; aux mines appartenant à la compagnie minière de Park-Mine, on a rencontré une épaisseur de 21 mètres. Dans ces mines, on trouve fréquemment des cavités autour desquelles le minerai prend une forme mamelonnée ou en rognons (*kidney ore*) ; dans ces cavités, on rencontre du cristal de roche, du spath calcaire et de l'arragonite. Nous donnons (pl. VII, fig. 7) la coupe du gisement de Frizington qui fournit une idée exacte de ces dépôts.

Entre les collines schisteuses qui s'élèvent derrière Ulverstone et le nouveau grès rouge sur lequel reposent les pittoresques ruines de Furness-Abbey, on trouve le calcaire carbonifère, couvert presque partout de dépôts : c'est là, sur une surface de plus de 8 kilomètres de longueur sur 6 kilomètres de large, que le minerai a été exploité en une foule d'endroits ; quelques exploitations ont une antiquité considérable, comme le prouvent les chartes octroyées pour du minerai de fer aux moines de Furness-Abbey.

Les minerais d'Ulverstone diffèrent, sous quelques rapports, de ceux de Whitehaven. On en trouve une quantité considérable à l'état compacte, qu'on connaît sous le nom de *minerai à fondre (blast-ore)*; mais plusieurs fissures et amas sont remplis d'un agrégat moins cohérent de paillettes très-fines de fer micacé. On le vend sous le nom de *puddling-ore*, pour former les soles de fours à puddler, et il coûte plus cher que le précédent. On ne trouve nulle part, dans cet important district, de gîte qui ressemble à un véritable filon : on a été bientôt détrompé toutes les fois que, comme à Stainton, on a cru avoir affaire à un filon continu.

D'après M. W. Smith, on exploite par étage de 2^m,70 de hauteur, qu'on dépèle complètement avant de passer à l'étage suivant, en supportant le toit au moyen de forts piquets en pin de la Baltique, et en laissant dans les vides une certaine quantité de remblai stérile.

L'exploitation des hématites rouges dans les deux districts d'Ulverstone et de Whitehaven avait produit en 1855 :

545,680 tonnes de 1,000 kilogrammes;

elle a produit, en 1866,

1,546,630 tonnes de 1,000 kilogrammes,

dont la valeur est estimée par M. Hunt en moyenne à 13 fr. 35 c. la tonne, prise sur les lieux d'extraction (12 fr. 50 c. pour les minerais du Lancashire et 14 francs environ pour ceux du Cumberland).

On distingue ces hématites rouges, dans les usines, en trois variétés : le *minerai tendre*, qui est friable, en petits morceaux globuleux, donnant passablement de menus, à gangue un peu argileuse, avec une teneur en fer de 54 à 58 pour 100 ; le *minerai dur*, en fragments anguleux, à gangue uniquement siliceuse, plus riche en fer (sa teneur allant jusqu'à 60 pour 100); le *minerai agatisé* ou *glaskopf rouge*, en fragments mamelonnés, fibreux, très-denses, renfermant souvent jusqu'à 68 pour 100 de fer. La compagnie de West-Cumberland en avait exposé des spécimens magni-

fiques qui ont fait l'admiration des minéralogistes. On voyait aussi dans sa vitrine, comme dans celle de la Compagnie des mines et usines de Wigan, des spécimens des autres minerais du district des Lacs.

Outre les minerais exploités sur place, les usines du groupe emploient, à titre de fondants spéciaux, quelques autres minerais importés.

Ainsi, les minerais hydratés à gangue alumineuse (34 pour 100 d'alumine et 24 pour 100 de fer), de Belfast (Irlande) sont employés en grande proportion pour les dosages de fontes à Bessemer, surtout avec les hématites dures ⁽¹⁾. Les hématites tendres sont préférées aux dures pour ces mêmes dosages, où l'on recherche la présence de l'alumine. On se sert aussi de *black-ore*, minerai noir manganésé du pays, de minerai de Froghall, hématite hydratée venant du North Staffordshire.

Les castines du groupe ne présentent rien de particulier.

Voici, d'après M. Hunt, les analyses de deux hématites hydratées de Belfast :

	I.	II.
Peroxyde de fer.	35,90	27,93
Protoxyde de fer.	6,57	5,08
Silice	9,75	9,87
Alumine.	27,95	34,57

Combustibles.

Les anciens fourneaux du groupe des environs de Whitehaven consumaient des coques fabriqués avec les houilles extraites sur place : ces coques, fort impurs (18 pour 100 de cendres), renfermaient jusqu'à 2 pour 100 de soufre. Il n'est donc pas étonnant que les anciennes fontes d'hématite passassent pour fournir des fers rouverains. Les charbons du petit bassin de Whitehaven sont sulfureux, et ce n'est que

(1) Ces minerais d'Irlande sont des conglomérats de grains analogues à la *bauxite* du midi de la France.

dans quelques exploitations restreintes qu'on obtient des cokes assez purs pour servir, à Cleator et à Workington, à la fabrication des fontes à Bessemer.

Les grandes usines nouvelles, comme celles de Barrow, de West-Cumberland, font venir leurs cokes de Darlington (bassin de Durham); ils ne renferment que 4 à 6 pour 100 de cendres et moins de 1 pour 100 de soufre.

A Kirkless-Hall, on n'a pu employer le coke provenant des fameuses houilles de Wigan; elles étaient trop sulfureuses et trop terreuses. On a été obligé de monter des lavoirs à houille, système Bérard, et on n'emploie actuellement que des cokes lavés.

Le prix du coke rendu dans les usines du groupe paraît varier de 22 francs à 25 francs la tonne, suivant les combinaisons de transport par mer et par chemin de fer, où l'on emploie le coke et la houille comme fret de retour pour les minerais et les fontes expédiés au dehors.

J'ai dit que MM. Harrison, Ainslie et C^e, emploient du charbon de bois; je n'ai pu connaître le prix auquel ils le payent.

Usine de Barrow-in-Furness.

J'ai donné, en 1862, une description détaillée de cette usine; le lecteur me saura gré peut-être de lui dire ce qu'elle est actuellement devenue. Passée des mains de MM. Schneider et Hannay, ses fondateurs, dans celles d'une puissante compagnie (*limited*), elle a reçu des développements considérables, que j'indique d'après M. Colburn.

Les hauts fourneaux sont actuellement au nombre de douze, rangés sur une seule ligne; les six plus récents ont des dimensions plus considérables que les six premiers. L'immense quantité de laitiers déjà obtenue a servi à remblayer sur la mer, et à obtenir de la place pour la construction de nouveaux appareils. Le plan général que j'ai indiqué a continué à être observé. Le minerai arrive des mines directement aux halles de chargement, où on le décharge dans une série

de fosses, au moyen des wagons eux-mêmes qui, malgré leur capacité de 5 tonnes, se culbutent aisément. Les halles de chargement reçoivent à peu près 8,000 tonnes de minerais et de castine et 4,000 tonnes de coques par semaine de six jours. Les coques viennent de Darlington, où la Compagnie en conserve toujours un stock considérable pour parer à toute éventualité de grève ou d'accidents.

Les deux plans inclinés que j'ai décrits desservent les six anciens fourneaux. Les six nouveaux seront desservis par trois plans inclinés analogues ; deux plans seulement fonctionnent actuellement. Chaque plan a sa machine motrice.

Les nouveaux hauts fourneaux ont les dimensions que je figure pl. IX, fig. 4. Le système de construction est toujours le même, ainsi que celui de prise des gaz. On charge à chaque fois par cinq ouvertures seulement, en en laissant une sans chargement ; à la fois suivante, on opère de même, en tournant d'une ouverture ; il en résulte qu'il se forme dans le fourneau une sorte de spirale de matières peu serrées tout autour de la chemise qui, dit-on, conserve celle-ci en meilleur état et empêche tout accrochage. Dans un ou deux des nouveaux fourneaux, M. Smith, ingénieur de l'usine, a essayé des prises de gaz latérales, avec trémie ouverte, qui ont également donné de bons résultats. La pression intérieure seule des fourneaux envoie les gaz aux appareils de combustion, à travers une caisse à eau interposée entre chaque fourneau et la conduite générale des gaz. On a renoncé complètement aux ventilateurs qui, en 1862, aspiraient les produits de la combustion des gaz dans les divers appareils, et on les a remplacés par de simples cheminées d'appel. Les gaz servent à chauffer 42 chaudières à vapeur, dont 22 fournissent de la vapeur à 1 atmosphère trois quarts, et 12 de la vapeur à 2 atmosphères et demie. On ne brûle pas de houille sous ces générateurs ; on réserve ce combustible, si les gaz ne suffisent pas, pour les appareils à air chaud, qui sont du système que j'ai décrit en 1862.

La soufflerie se compose des trois machines *horsehead*, dont j'ai donné les dimensions en 1862 et qui forment un premier

groupe de soufflantes. Un deuxième groupe comprend deux cylindres soufflants verticaux de 1^m,80 de diamètre et 2^m,40 de course, mus par les anciennes machines horizontales qui actionnaient les extracteurs ou ventilateurs. Un troisième groupe, plus récent, est formé par huit machines verticales à action directe et à balancier d'Evans, dans lesquelles le cylindre soufflant est au-dessus du balancier et le cylindre vapeur au-dessous ; la course commune des pistons est de 2^m,40, le cylindre vapeur a 75 centimètres et le cylindre soufflant 1^m,80 de diamètre ; elles font 20 coups doubles par minute.

A Barrow, d'après M. Colburn, on consomme, par 1,000 kilogrammes de fonte grise :

1,700 kilogrammes de minerais.		
325	—	castine.
950 à 1,050	—	coke.

On coule toutes les six heures, et chaque coulée est de 20 tonnes environ. Chaque fourneau est soufflé par six tuyères dont le diamètre varie de 63 à 88 millimètres ; la pression du vent varie de 15,6 à 18,2 centimètres de mercure, et sa température de 300 à 350° centigrades.

On fabrique dans cette usine avec une remarquable économie ; la main-d'œuvre totale par tonne de fonte ne dépasse pas 4 fr. 50 c., d'après les chiffres qu'a communiqués M. Schneider lui-même à M. Tunner, en 1862. Les fontes produites servent à différents emplois, mais surtout à la fabrication de l'acier Bessemer, dans l'importante aciérie annexée à l'usine à fonte.

On voyait à l'Exposition des échantillons de fontes à Bessemer et une vue pittoresque de l'usine de Barrow.

Usine de Kirkless-Hall.

Cette usine, qui appartient à la Compagnie des mines et forges de Wigan, avait exposé des hématites rouges du North Lancashire, du calcaire et des cokes. Ceux-ci sont fabriqués

avec les houilles de la Compagnie, préalablement lavées, dans des fours à coke circulaires, de forme ancienne.

L'usine dont nous donnons le plan général (pl. VII, fig. 11) comprendra dix hauts fourneaux quand elle sera complétée (il n'en existait encore que sept, dont cinq anciens et deux nouveaux, au commencement de 1867). Les nouveaux fourneaux sont construits sur le type indiqué pl. IX, fig. 3.

Les cinq anciens fourneaux produisent chacun environ 60 tonnes de fonte grise par jour. Ils sont soufflés à une pression de 17 à 18 centimètres de mercure et à une température de 425 à 480° centigrades, et la consommation moyenne de coke par tonne de fonte est d'environ 1,000 kilogrammes. Elle est plus élevée pour les fontes n° 1 à Bessemer.

Les fontes exposées étaient des fontes grises n°s 1 et 2 pour Bessemer, n°s 3 et 4 pour fonderie, et n°s 5, 6, 7 et 8 pour forge. Voici l'analyse d'un laitier obtenu avec la fonte n° 1 à Bessemer :

Silice	31,46
Alumine.	8,50
Chaux.	52,00
Magnésie.	1,38
Protoxyde de fer.	0,79
Protoxyde de manganèse	2,38
Sulfure de calcium	2,96
	<hr/>
	99,47

Ce laitier présente fort peu de cohésion et se transforme, au bout de peu de temps, quand on le laisse en contact avec l'atmosphère, en une poudre blanchâtre analogue à de la chaux éteinte.

Usine de Furness.

Nous ne nous arrêterons à cette usine que pour dire un mot des machines soufflantes construites par M. W. Coulthard, d'après son système particulier. On trouvera, pl. XI, le dessin de ces machines, avec des chiffres indiquant leurs

dimensions et leur effet utile, tels que nous les trouvons dans l'*Engineering*. Les boulets qui remplacent les clapets sont en bois et recouverts de caoutchouc.

Usine de Carnforth.

Nous ne parlerons aussi que de ses machines soufflantes, dont nous donnons le dessin pl. X. Elles sont à balancier, du système *Horsehead*, et ont été construites par MM. Rothwell et C^e, de Bolton.

Le but qu'on a voulu atteindre dans les machines *horsehead* est de donner à la manivelle motrice du volant une longueur plus grande que la demi-course du piston, afin de diminuer les efforts sur la bielle motrice et sur les paliers de l'arbre du volant ; on a voulu aussi mieux assurer l'action régulatrice du volant sur la marche du piston vapeur, afin de permettre l'emploi plus facile de détentés assez fortes. On sait, en effet, que, dans les machines à balancier ordinaires, où la bielle du volant est articulée entre le cylindre du moteur et le centre d'oscillation, la manivelle motrice a une longueur moindre que la demi-course du piston, et les efforts sont augmentés d'autant sur la bielle et les tourillons, à chaque changement de sens dans la course du piston. Le point d'articulation de la bielle a été placé au-dessus de l'axe de figure du balancier, afin de rapprocher l'axe du volant du plan d'assise des cylindres. Ce système paraît inspirer une confiance générale aux ingénieurs anglais ; on le retrouve dans presque toutes les grandes usines nouvellement construites ou réparées : à Langloan, à Eston, à Barrow, à Carnforth, à Kirkless-Hall, à Workington, à Cleator, à West-Cumberland, à Rhimney, à Dowlais, à Lilleshall, à Shelton, etc.

Voici les dimensions principales des deux machines de Carnforth dont le balancier est en tôle, et qui sont accouplées sur un même arbre de volant :

Cylindres vapeur :	diamètre . . .	1 ^m ,15
—	course	3,05

Cylindres soufflants : diamètre . . .	2 ^m ,50
— course . . .	3 ,05
— longueur . . .	3 ,66
— espace nuisible	0 ,15 à chaque extrémité.
Surface d'aspiration	1 ^m q,86
Surface de refoulement	0 ^m q,93½
Longueur totale du balancier . . .	10 ,06 de centre en centre.
Saillie horizontale de la corne . . .	1 ,75
Saillie verticale de la corne	1 ,44
Poids du volant	18 tonnes.

Les 2 machines marchant à 15 tours doivent donner du vent à 6 hauts fourneaux, avec une pression de 156 à 182 millimètres de mercure, la pression de la vapeur étant 2^{atm},75 aux chaudières.

Usine du West-Cumberland, à Workington.

Cette usine est, de toutes celles du groupe, celle dont les produits étaient le mieux mis en évidence dans la section métallurgique anglaise. Les matières premières, minerais et cokes, exposées, attiraient l'attention par leur richesse et leur pureté. Quant aux fontes, elles étaient encore plus remarquables : nous nous y arrêterons un moment.

L'usine du West-Cumberland fabrique surtout de très-belles fontes à Bessemer, qu'elle fournit aux aciéries bien connues de MM. John Brown et C^e, à Sheffield, de MM. Cammell et C^e, dans la même ville, du *London and North Western Railway*, à Crewe. Ces fontes ont un beau grain ouvert, de couleur noire brunâtre, aussi gros que celui des fontes d'Écosse n° 1 ; le graphite y est en proportion telle, qu'après la coulée on en retire à la pelle, du creuset, des quantités considérables. Outre ces fontes n°s 1 et 2, destinées à l'affinage pneumatique, on fabrique aussi des fontes de fonderie n°s 1, 2, 3 et 4, remarquables par leurs qualités résistantes. L'usine en avait exposé des spécimens, et, en outre, des fontes de forge n° 5 (gris clair), truitées et blanches, employées au puddlage et avec lesquelles elle fabrique les tôles connues dans le commerce sous le nom de *tôles d'hématite*.

D'après M. Greiner, on consomme par tonne de fonte à Bessemer n° 1, dans l'usine de West-Cumberland, 1,400 kilogrammes de coke, 450 kilogrammes de castine et 1,700 kilogrammes de minerais.

Fontes à Bessemer du groupe des Lacs.

Pour terminer ce qui est relatif à notre groupe, nous donnerons quelques détails sur les fontes à Bessemer qu'on y fabrique, d'après nos propres renseignements et d'après un intéressant travail du docteur Tosh, résumé dans le *Practical Mechanic's Journal*. La connaissance exacte du prix de revient des fontes d'hématite pour Bessemer a une grande importance pour nos aciéries françaises appelées à lutter de concurrence sur les marchés étrangers avec les produits Bessemer anglais. Le seul point sur lequel il y ait doute est la consommation de coke par tonne de fonte. Nous avons vu fabriquer en 1862, à Barrow, des fontes d'hématite n°s 1 et 2, avec 900 à 950 kilogrammes de coke par tonne; M. Tunner, de Leoben, membre du jury de 1862, a reçu communication de chiffres presque identiques, par M. Schneider, propriétaire de l'usine. M. Colburn, dans son journal *Engineering*, en 1867, indique, comme consommation à Barrow, à Kirkless Hall, 1,000 kilogrammes de coke. Le rédacteur du *Practical Mechanic's Journal* déclare en 1868 qu'à Carnforth et à Kirkless Hall, avec les fourneaux à gueulard fermé, on fabrique les fontes à Bessemer avec 1,000 à 1,050 kilogrammes de coke. Tous ces dires sont d'accord. Mais nous trouvons des chiffres beaucoup plus forts dans le Mémoire récent de M. Greiner qui a noté à West-Cumberland, Workington, des consommations de 1,250 à 1,400 kilogrammes. Des ingénieurs prussiens, dans la *Preussische Zeitschrift*, qui visitaient le groupe en 1865, indiquent une consommation de 1,900 kilogrammes dans l'usine de Workington (1). Il pa-

(1) Toutes les consommations indiquées dans le rapport des ingénieurs prussiens nous paraissent exagérées, et en désaccord avec les renseignements puisés à d'autres sources.

raitrait donc en résulter que la production dans le Cumberland est plus chère que dans le North Lancashire, peut-être parce que les fourneaux ont des formes et des dimensions moins favorables.

Quoi qu'il en soit, voici quelques analyses de fontes d'hématite :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Fer.	93,201	93,420	91,420	93,552	93,190	92,850	92,798	92,802
Manganèse . .	0,133	0,153	0,570	0,216	0,288	0,140	0,140	0,288
Graphite. . . .	3,706	3,852	3,300	3,082	2,952	2,997	1,902	1,879
Carbone com- biné.	0,312	0,236	0,080	1,265	1,235	1,134	2,186	1,892
Silicium. . . .	2,581	2,195	4,500	1,389	2,286	2,706	2,714	2,753
Soufre	traces.	0,012	0,090	0,068	0,075	0,068	0,065	0,164
Phosphore . .	0,067	0,070	0,040	0,027	0,055	0,028	0,030	0,055
Titane.	0,000	» »	» »	0,006	0,006	0,007	0,007	0,005
Azote.	» »	» »	» »	0,056	0,041	0,051	0,051	0,049
Arsenic	» »	» »	» »	traces.	tr.	tr.	tr.	tr.
Aluminium . .	0,000	» »	» »	» »	» »	» »	» »	» »
Calcium. . . .	» »	0,062	» »	» »	» »	» »	» »	» »
	100,000	100,000	100,000	99,661	100,038	99,981	99,893	99,887

Le numéro I est une fonte de Cleator, échantillon recueilli par nous, en 1862, dans l'usine de M. Bessemer, à Sheffield, et analysé par M. Weil.

Le numéro II est une fonte n° 1 de Workington, analysée au laboratoire de Königshutte (Prusse).

Le numéro III est une fonte n° 1 de Kirkless Hall, analysée aussi à Königshutte.

Le numéro IV est une fonte de Cleator, fabriquée avec du coke de Newcastle, analysée en Angleterre.

Le numéro V est une fonte de Harrington et le numéro VI de Workington, toutes deux de bonne qualité pour Bessemer, analysées en Angleterre.

Le numéro VII n'a pu réussir au Bessemer, c'est une fonte de forge grise.

Le numéro VIII, fabriqué à Harrington, avec des cokes du pays, n'a pu servir au Bessemer non plus ; il renferme une forte proportion relative de soufre.

En Angleterre, on exige que les fontes à Bessemer ren-

ferment une forte proportion de graphite, et on attribue à la trop faible quantité de cette matière l'échec subi par la fonte n° VII ; aussi les fontes, en coulant, sont-elles recouvertes de graphite écailleux en forte proportion. Quant au silicium, nous dirons, à propos du procédé Bessemer, quelle est la discussion ouverte à son endroit. Les fontes d'hématite renferment souvent des traces de titane : on trouve dans le voisinage des creusets des fragments assez abondants d'azoto-cyanure qui présentent à l'intérieur une belle structure cristalline (*octaèdres*).

Les laitiers sont excessivement basiques : voici, d'après le *Practical Mechanic's Journal*, l'analyse d'un laitier typique :

Silice	30,200	Oxygène... 16,11
Alumine	12,007	} Oxygène... 21,58
Protoxyde de fer . . .	1,269	
Chaux	50,507	
Magnésie.	2,553	
Alcalis.	1,225	
Sulfure de calcium . .	2,400	
Acide phosphorique. .	traces.	
Acide titanique. . . .	traces.	
Oxyde de manganèse.	traces.	
	<hr/>	
	100,173	

Sa formule serait donc à peu près $S^3 B^4$. Aussi les creusets des fourneaux roulant en fonte à Bessemer s'usent-ils très-vite dans le Cumberland. Les campagnes ne durent souvent que six à neuf mois.

Le prix des fontes d'hématite est toujours assez élevé : en 1866, elles étaient offertes à 80 fr. 25 c. les 1,000 kilogrammes à Londres, et ce prix, considéré comme exceptionnellement bas, ne s'appliquait pas aux marques en faveur. Les fontes à Bessemer de Barrow coûtaient, en 1866, de 86 fr. 20 c. à 117 francs les 1,000 kilogrammes, rendus aux usines de Sheffield. Dans un prix de revient de rails Bessemer, fabriqués à Barrow, publié en 1866 par l'*Engineering*, la fonte est estimée à 62 fr. 50 c. les 1,000 kilogrammes dans

le convertisseur : ce prix est d'accord avec le prix de revient que j'ai publié en 1862.

Fontes d'hématite au charbon de bois.

Ces fontes, connues dans le commerce sous le nom de *fontes de Lorn*, sont fabriquées aux hauts fourneaux de Newland et de Backbarrow, près d'Ulverstone. Voici quelques détails sur cette fabrication :

Les hauts fourneaux ont 90 centimètres de diamètre au gueulard, 2^m,70 de diamètre au ventre et 60 centimètres à l'ouvrage ; ils sont soufflés à l'air froid au moyen de moteurs hydrauliques. Leur production hebdomadaire est en moyenne de 21,000 à 22,000 kilogrammes. Les charges, au nombre de 16 par coulée, se composent de 176 kilogrammes hématite rouge, 11 kilogrammes minerai argileux et environ 181 kilogrammes charbon de bois ; la coulée en fonte grise est environ 1,766 kilogrammes, de sorte que le rendement du minerai est de 59 pour 100 et la consommation du charbon de bois de 1,640 kilogrammes environ par 1,000 kilogrammes de fonte. Cette consommation est considérable et pourrait certainement être fort réduite.

On fabrique des fontes grises et des fontes blanches qui sont toutes les deux employées pour la fabrication des moulages en fonte malléable, et qui ont acquis pour cet emploi une renommée telle, qu'on les exporte à grands frais jusqu'en Allemagne et en France. Voici leur composition, d'après M. Percy et d'après une analyse exposée par une usine suédoise :

	Fonte grise.	Fonte blanche.
Carbone graphitique	2,83	»
Carbone combiné.	»	3,686
Silicium	0,59	0,280
Soufre	0,03	0,012
Phosphore	0,10	traces.
Manganèse	»	0,056

Les gueusets de fontes de Lorn ont une section très-faible

et se cassent très-facilement. Ils sont destinés à être refondus au creuset, comme on sait.

Le prix de ces fontes varie, en Angleterre même, de 240 à 270 francs la tonne. Cette élévation n'a cependant guère de raison d'être, en face des prix beaucoup plus bas des fontes de Suède ; mais la mode est aux fontes de Lorn ⁽¹⁾.

Le groupe des Lacs renfermait, en 1866, 43 hauts fourneaux, dont 31 ont été en feu (contre 24 et demi en 1865, et y compris 4 fourneaux au charbon de bois), et ont produit 411,100 tonnes (contre 317,040 tonnes en 1865), soit environ 13,300 tonnes par fourneau et par an.

En 1862, la production avait été seulement 245,648 tonnes avec 17 hauts fourneaux.

QUATRIÈME GROUPE.

GROUPE DU CENTRE.

Ce groupe est beaucoup moins intéressant pour nous que les précédents. Il comprend les usines à fonte du Yorkshire (West-Riding), du Derbyshire, du North Staffordshire, assises sur le bassin houiller du centre de l'Angleterre, et celles du Northamptonshire et du Lincolnshire, situées hors du bassin houiller et qui sont alimentées, soit par les houilles du Centre, soit par les houilles de Newcastle arrivant par mer. Un assez grand nombre de hauts fourneaux sont répartis dans ces comtés ; nous ne citerons que les usines les plus importantes :

(1) On pouvait voir à l'Exposition, dans la vitrine de MM. Cope, Miller et Co, des fontes marquées H. C. M. qui leur font concurrence et qui sont fabriquées, croyons-nous, à Harrington ; mais elles ne sont pas aussi en faveur auprès des fabricants d'objets en fonte malléable.

COMTÉS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de fourneaux.
Yorkshire	Bowling.	MM. Sturge et Co.	6
(West-Riding).	Elsecar. }	MM. W.-H. et G. Dawes . .	6
—	Minton. }		
—	Holmes. }	Société de Parkgate	4
—	Parkgate. }		
—	Farnley.	Société de Farnley.	4
—	Low-Moor.		
—	Bierley. }	MM. Hird, Dawson et Hardy.	9
Derbyshire.	Alfreton.	MM. Oakes et Co.	3
—	Butterley-Park.	Société de Butterley	7
—	Denby.	MM. W.-H. et G. Dawes. .	4
—	Sheepbridge.	Compagnie de Sheepbridge.	4
—	Stanton.	Compagnie de Stanton. . . .	5
North Staffordshire.	Apedale.	M. J.-E. Heathcote	4
—	Biddulph.	M. Robert Heath	6
—	Goldendale.	MM. Williamsons frères. .	4
—	Shelton.	Comte Granville	8
—	Silverdale.	Compagnie de Silverdale. .	4
Northamptonshire.	East-End.	MM. Bullin et Co.	4
—	Heyford.	Compagnie d'Heyford. . . .	3
Lincolnshire.	Trent.	MM. W.-H. et G. Dawes. .	3
—	Frodingham.	MM. Cliff et Hurst	2
—	North Lincoln- shire	Compagnie du North Lin- colnshire	1

Parmi ces usines, plusieurs de celles du Yorkshire ont acquis une réputation européenne par la qualité supérieure de leurs fers : Low-Moor et Bowling, entre autres. Mais ces fers, dont la qualité dépend surtout du soin méticuleux qui préside à leur élaboration, plutôt que de l'excellence des matières premières, trouvent maintenant des concurrents redoutables, même dans leur propre pays.

Minerais.

Les usines du West-Riding, comme celles du Derbyshire, traitent les carbonates lithoïdes à gangue argileuse du terrain houiller, minerais assez purs au point de vue du soufre et du phosphore et ne renfermant crus que 29 à 34 pour 100

de fer métallique. Dans le North Staffordshire, on a encore des minerais analogues en grande abondance, qui forment la masse de la consommation ; mais on emploie aussi le *minerai de Froghall*, qui s'exploite près de Cheadle à raison de plus de 500,000 tonnes par an. C'est une hématite brune, peu hydratée, qui se trouve en couche à la partie supérieure du *millstone grit* ; elle est très-recherchée par les producteurs de fonte de tout le Staffordshire et se paye un prix relativement élevé ; elle renferme 37 pour 100 de fer, et sa gangue est essentiellement calcaire. M. Hunt évalue ces divers minerais ainsi qu'il suit :

Minerais houillers du Yorkshire	6 fr. 15 c.	les 1,000 kilogr.	
— du Derbyshire	6	15	—
— du North Staffordshire	7	10	—
Minerai de Froghall cru	7	40	—
— de Froghall grillé	9	25	—

Les minerais des comtés de Northampton, de Lincoln et d'Oxford sont tout différents ; ce sont des oxydes hydratés, exploités dans l'oolithe inférieur et le lias supérieur¹, présentant un degré de parenté assez grand avec les minerais du Cleveland. Leur découverte est récente : ils ne figuraient qu'à l'état de curiosité à l'Exposition de Londres, en 1851, dans la collection de M. S. Blackwell, de Dudley, et l'ouvrage de MM. Grüner et Lan n'en fait encore aucune mention. En 1862, plusieurs maîtres de forges exposaient ceux du Northamptonshire et du Lincolnshire ; le duc de Marlborough exposait ceux exploités dans ses terres à Fawler (Oxfordshire).

Actuellement leur extraction a atteint 650,000 tonnes par an, dont la majeure partie est fournie par le Northamptonshire et une faible part seulement par l'Oxfordshire. On en trouve des gisements depuis l'Humber, au nord, jusqu'à quelques lieues d'Oxford au sud. Le *Traité de métallurgie* de M. Percy donne des analyses de minerais des comtés de Northampton et d'Oxford ; nous nous contenterons d'indiquer la composi-

¹ Voir (pl. VII, fig. 5) une coupe des couches du Lincolnshire.

tion de deux minerais du comté de Lincoln, d'après M. R. Hunt; ils sont plus estimés et plus chers que les précédents :

	Mineral jaune.	Mineral noir.
Peroxyde de fer.	81,12	62,71
Manganèse	4,25	2,20
Silice	2,14	5,97
Alumine	12,31	3,79
Chaux	0,03	1,45
Magnésie	0,15	0,53
Soufre	»	»
Phosphore.	1,32	2,00
Acide carbonique	»	»
Eau.	» »	20,82
	<hr/> 101,32	<hr/> 99,47

Ces analyses sont dues à MM. Pattinson, de Newcastle, et Sollitt, de Hull.

M. Hunt, dans ses *Mineral Statistics*, évalue ces minerais hydratés de l'oolithe et du lias à 6 fr. 25 c. environ la tonne prise sur place. On en a extrait près de 700,000 tonnes en 1866.

Combustibles.

Le groupe du Centre est alimenté de houille et de cokes par le grand bassin houiller du Yorkshire et par les trois petits bassins du North Staffordshire. La richesse et la puissance des houillères des environs de Sheffield et Leeds sont bien connues, ainsi que la qualité de la fameuse couche dite *de Barnsley*. Quant aux bassins du North Staffordshire, nous dirons seulement que, sur une puissance totale de 1,400 mètres, l'un d'eux, celui des Poteries, présente 62 couches de houille d'une épaisseur cumulée de 50 mètres environ et 22 couches de minerai de fer d'une épaisseur cumulée de plus de 10 mètres.

Usines du Yorkshire.

Les usines à fonte du Yorkshire sont réparties entre les deux districts de Leeds et Bradford, et de Sheffield et Rotherham.

Dans le premier se trouvent les célèbres usines de Low-Moor et Bierley, qui représentaient notre groupe à l'Exposition. avec celles de Bowling. Nous nous y arrêterons un instant.

La compagnie de Low-Moor possède neuf hauts fourneaux dont les installations, vieilles maintenant, ne présentent aucun intérêt. On y traite les excellents minerais houillers exploités sur place, et surtout le *black bed mine*, dont un échantillon était exposé ; ce minerai se trouve immédiatement au-dessus du *black bed coal*, en six couches distinctes, enfermées dans des schistes de 1^m,50 de puissance ; il contient 28 pour 100 de fer. Le *black bed mine* contient 1,38 pour 100 d'oxyde de manganèse. On mélange à ces minerais houillers une certaine proportion d'hématite rouge des Lacs, et peut-être des minerais un peu plus riches en manganèse, à en juger par l'aspect du laitier, dont les zones verdâtres indiquent certainement la présence du manganèse en proportion très-sensible dans les charges. Les minerais sont employés après un grillage en tas ou dans des fours à cuve ronds ; le fondant est la castine.

Les cokes brûlés dans les fourneaux de Low-Moor ont une apparence magnifique ; ils sont blancs argentins et ont l'aspect fondus. Ils sont fabriqués dans des fours avec les excellents charbons exploités sur place. Ceux-ci, de deux natures, l'une dure, l'autre tendre, s'exploitent à une profondeur variant de 60 à 145 mètres, en couches puissantes de 50 à 65 centimètres. Ils sont remarquables par leur pureté extrême, tant au point de vue de la teneur en cendres qu'à celui des pyrites. Aussi leur attribue-t-on, au moins en partie, la haute réputation des produits de Low-Moor.

On fabrique à Low-Moor la fonte à l'air froid, dans des fourneaux ouverts sans prise de gaz et avec les mêmes errements que ceux suivis depuis vingt ou trente ans ; on s'est bien gardé de rien changer aux installations et aux lits de fusion, de crainte de nuire à la qualité du produit. On obtient des fontes grises n^{os} 1 et 2 réservées pour la fonderie, et des fontes blanches fibreuses réservées pour l'affinage. L'aspect de ces fontes n'indique en rien une qualité extraordinaire, et

il y a lieu de croire que la réputation des fers de Low-Moor est due aux soins extrêmes qui président à leur élaboration, plutôt qu'à des propriétés particulières de la fonte.

La compagnie de Bowling possède 6 hauts fourneaux, également à l'air froid, desservis par 2 grandes souffleries. Elle extrait la houille de 5 couches de qualités diverses : l'une, la plus haute, est dure et sèche ; une autre, la plus basse (*better bed*) est friable, grasse, tachante ; elle contient seulement 4,70 pour 100 de cendres et 0,19 pour 100 de soufre. On en fait du coke, sans la laver, dans des fours où la cuisson dure de vingt-quatre à quarante-huit heures. Les minerais sont très-analogues à ceux employés à Low-Moor : ce sont des carbonates houillers ; on y mélange, en outre, un minerai oxydé jaune, relativement pauvre, qui vient des environs d'Halifax. On les grille dans des fours à cuve circulaires. La fonte coule à l'air libre ; les laitiers sont moulés en gros pains qu'on enlève et qu'on entasse.

Les hauts fourneaux de Low-Moor, de Bierley, de Bowling, de Farnley, qui fabriquent les fontes les plus estimées d'Angleterre pour le puddlage, sont de petites dimensions et ne produisent guère chacun que 9 à 10 tonnes par jour. Malgré la routine qui y règne, ces usines sont, dit-on, dans une position prospère, grâce au prix élevé de leurs produits : mais on a pu constater à l'Exposition que leurs produits trouvaient dans ceux de plusieurs de nos usines françaises, du Creusot notamment, des rivaux et des maîtres.

Le second district du Yorkshire n'était pas représenté à l'Exposition. Il s'étend dans les romantiques environs de Sheffield et de Rotherham, rendus si célèbres par les romans de Walter Scott et les exploits de Robin Hood, et qui maintenant sont enfumés par les importantes usines créées depuis cinquante ou soixante ans. Les deux plus considérables sont celles de Milton et d'Elsecar, qui communiquent par le moyen d'un plan incliné : les 2 fourneaux à Milton et les 4 à Elsecar produisent 150 tonnes de fonte chacun par semaine. Les fontes de ce district sont fort employées pour la fabrication des blindages à Rotherham et à Sheffield.

On trouvera, dans l'ouvrage de M. Percy, des analyses des minerais et des fontes à l'air froid du Yorkshire. Il est assez curieux d'y constater que ces dernières renferment tout autant de silicium que les fontes à l'air chaud du Cleveland, par exemple, et une proportion de phosphore s'élevant encore à plus de 0,50 pour 100.

Les petits fourneaux du Yorkshire, alimentés au coke et soufflés à l'air froid, consommeraient, d'après M. Fairbairn (1865) :

2,500 à 3,000	kilogrammes de combustible ;
3,500	— minerais crus ;
550 à 850	— castine ;

Ceux alimentés à la houille et à l'air froid aussi :

4,000	kilogrammes de houille ;
3,500	— minerais crus ;
1,000	— castine.

Mais nous croyons ces chiffres de consommation de combustible très-exagérés, au moins pour la moyenne des usines.

Usines du Derbyshire.

Nous renvoyons encore le lecteur à la *Métallurgie* de Percy, pour les analyses des minerais et des fontes de ce comté ⁽¹⁾. Nous remarquerons seulement que plusieurs usines, celles de Butterley, entre autres, emploient comme combustible, dans leurs hauts fourneaux, des houilles crues ; le vent est chauffé vers 300° centigrades.

Les hauts fourneaux d'Alfreton sont connus par les expériences de Bunsen sur la composition des gaz du gueulard.

Aucune de ces usines n'avait exposé. Le progrès n'a pas encore beaucoup pénétré chez elles. On ne sait pas utiliser les gaz des hauts fourneaux. On cite encore un essai malheureux qui a été fait vers 1850, à l'usine de Wingerworth ⁽²⁾,

⁽¹⁾ Les producteurs prétendent que leurs fontes sont spécialement avantageuses pour la fabrication des blindages. Exemples : usines de Sheep-bridge, Butterley, etc.

⁽²⁾ Voir *Proceedings of Mech. Engineers*, 1864.

pour brûler les gaz dans la partie supérieure de la cuve, au moyen d'une admission d'air dans un fourneau à gueulard fermé ; le résultat a été tel qu'on devait s'y attendre : les minerais fondaient dans la cuve et le roulement était mauvais.

Usines du North Staffordshire.

L'industrie du fer remonte très-haut dans ce district : au dix-septième siècle, on y trouvait des hauts fourneaux au charbon de bois, produisant 2 à 3 tonnes de fonte en vingt-quatre heures. On y traite les minerais houillers en mélange avec les hématites brunes de Froghall. M. Percy donne l'analyse des minerais, castine et fonte de l'usine de Goldendale.

A Shelton, se trouvent des hauts fourneaux ayant 18 mètres de hauteur et 4^m,50 de diamètre au ventre ; ils sont soufflés par 9 buses chacun, de 63 millimètres de diamètre chacune, la pression du vent étant 156 millimètres de mercure au régulateur et sa température 425° centigrades environ. Ces fourneaux sont servis par des machines soufflantes à balancier *horsehead*, dont M. Percy donne le dessin. L'installation de l'usine est nouvelle.

Usines du Northamptonshire et du Lincolnshire.

Ces usines sont de création récente et ne remontent pas au delà d'une dizaine d'années. Nous renverrons encore à M. Percy, pour la composition des minerais hydratés qu'on emploie et des fontes qu'on en obtient.

A l'usine de East-End, on emploie comme combustible, la houille crue de Barnsley et on souffle à l'air froid. On consomme par tonne de fonte :

2,900	kilogrammes de minerai cru.
2,800	— houille crue.
500	— castine argileuse.
100	— craie.

La fonte grise renferme jusqu'à 1,30 pour 100 de phosphore et 3,4 pour 100 de silicium.

A Heyford, on souffle au vent chaud et on emploie le coke

pur ou mélangé de houille de Barnsley (Yorkshire) crue. Les fontes obtenues sont analogues à celles de East-End.

Les usines du Lincolnshire doivent fournir des fontes de qualité un peu supérieure, à cause de la proportion de manganèse que contiennent les minerais. Nous ne possédons pas de détails sur elles. Celle de Frodingham a des soufflantes du système Coulthard.

Le groupe du Centre renfermait, en 1866, 128 hauts fourneaux, dont 99 et un tiers ont été en feu et ont produit :

Yorkshire.	121,544 tonnes.
Derbyshire	202,865 —
North Staffordshire	213,489 —
Northampton et Lincolnshire.	33,432 —
<hr/>	
En tout	571,330 tonnes.

Soit 5,770 tonnes par an et par fourneau en moyenne.

CINQUIÈME GROUPE.

GROUPE DU STAFFORDSHIRE.

Comme nous l'avons déjà dit, nous réunissons dans ce groupe les usines à fonte du South Staffordshire, du Shropshire et du nord du pays de Galles. Elles se trouvent, en effet, à peu près dans les mêmes conditions pour les matières premières qu'elles emploient et pour la qualité des fontes qu'elles produisent. Celles-ci servent surtout au puddlage, et sont meilleures pour l'obtention de bons fers que les fontes d'Écosse ou que celles ordinaires du pays de Galles ; le fer du Staffordshire est le type du bon fer marchand ordinaire en Angleterre. Les combustibles employés sont extraits des bassins houillers du Staffordshire et du nord du pays de Galles. Ce groupe a vu naître l'art de fabriquer la fonte avec le combustible minéral, dû au célèbre Dud Dudley, qui vivait au temps de Charles 1^{er} et de Cromwell, vers le commencement du dix-septième siècle. Actuellement, c'est la région

la plus importante du Royaume-Uni, comme production de fonte et de fer.

Voici une liste des principales usines :

COMTÉS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE des fourneaux.
Denbighshire.	Brymbo.	Compagnie de Brymbo . .	2
(North Wales.)	Ffrwd.	MM. Sparrows et Poole . .	2
—	Ruabon.	New British Iron Company.	3
Shropshire.	Dawley-Castle.	Compagnie de Coalbrookdale	2
—	Lawley.	Id.	1
—	Light-Moor.	Id.	2
—	Lodge Wood.	Compagnie de Lilleshall.	} 9
—	Prior's Lee.	Id.	
—	Malinslee.	Compagnie d'Old Park . .	4
South Staffordshire.	Birchills.	M. John Jones.	5
—	Bas Bovereux.	MM. W. Baldwin et C ^e . . .	7
—	Broadwaters.	MM. Sam. Groucutt et fils .	3
—	Brook à Bilston.	Compagnie des fourneaux de Brook	3
—	Chillington.	} Compagnie des forges de Chil- lington, à Wolverhampton.	9
—	Lea Brook.		
—	Bentley		
—	Capponfield.		
—	Coneygree.	} Comte de Dudley.	7
—	New-Level.		
—	Corbyn's Hall.	M. Will. Matthews	4
—	Corngreaves.	New British Iron Company.	6
—	Parklane.	MM. Colbourn et fils . . .	1
—	Crookhay.	MM. W. et A. Firmstone..	4
—	Oldbury.	M. W. Bennitt	4
—	Old Park (à Wednesbury).	MM. Lloyd, Foster et C ^e .	3
—	Parkhead (à Dudley).	MM. Evers et Martin.	2
—	Rough Hay.	MM. Addenbrooke et C ^e . .	3
—	Russell's Hall (à Dudley).	Compagnie de Russell's Hall.	5
—	Tipton-Green.	MM. Roberts et C ^e	4
—	Willenhall.	MM. Fletcher, Solly et Urwick.	3
—	Wolverhampton.	MM. Esäie Aston et C ^e . .	2
—	Woodside.	MM. Cochrane et C ^e	3

Je n'indique qu'une faible partie des usines, qui sont au

nombre de quatre-vingts environ, comptant près de deux cents hauts fourneaux. Malgré leur nombre, le Staffordshire nous présente moins d'intérêt que les groupes précédents ; il est resté fort en retard sur les autres parties de l'Angleterre dans la fabrication de la fonte, et les installations des usines, sauf quelques exceptions peu nombreuses, y sont vieilles et imparfaites. Les maîtres de forges du pays ont horreur de la théorie et des théoriciens, et rien ne vaut pour eux le *practical man*. Aussi voyait-on des journaux anglais annoncer en juillet 1867, comme une nouvelle découverte, l'emploi des gaz des hauts fourneaux par une usine du Staffordshire.

Minerais.

Les minerais exploités dans le South Staffordshire sont tous des carbonates lithoïdes à gangue argileuse du terrain houiller. D'après une coupe publiée dans les Mémoires du *Geological Survey*, le bassin houiller du Staffordshire comprend 15 couches de minerais d'une puissance totalisée de 15 à 50 mètres, et 9 couches de houille de près de 24 mètres de puissance. On trouvera dans l'ouvrage de M. Percy les analyses d'un certain nombre de minerais, qui renferment crus de 35 à 40 pour 100 de fer ; ces analyses ne présentent rien de particulier.

Les minerais houillers coûteraient, d'après M. Hunt, sur place, 7 fr. 10 c. les 1,000 kilogrammes. D'après MM. Grüner et Lan, leur prix, rendus aux usines, est beaucoup plus élevé et varie de 12 à 15 francs les 1,000 kilogrammes.

On emploie aussi dans le Staffordshire les hématites brunes de Froghall, dont nous avons déjà parlé, et des minerais houillers du North Staffordshire, avec quelques hématites rouges du Lancashire et de l'île de Man.

Dans le Shropshire, on exploite également des minerais houillers, carbonatés lithoïdes, analogues à ceux du Staffordshire, et qui coûtent, d'après M. Hunt, 6 fr. 20 c. la tonne sur place, en moyenne ; cependant quelques-uns, comme le *blue flat*, coûtent jusqu'à 20 francs la tonne, d'après M. Warington Smyth.

Combustibles.

Les hauts fourneaux consomment tantôt des gros charbons en nature, tantôt du coke fabriqué en tas avec ces mêmes charbons gros. La nature sèche des houilles des bassins du Staffordshire et du Shropshire empêche de fabriquer du coke avec les menus par les moyens peu avancés de carbonisation qu'on emploie dans le pays.

Les houilles et les cokes sont, du reste, assez chers : la houille en roche coûte 9 francs à 9 fr. 50 c. les 1,000 kilogrammes, le coke 18 fr. 50 c. à 19 francs. Certaines usines font venir des cokes du Yorkshire qui coûtent 24 francs la tonne rendue.

Usines du Shropshire.

Les plus importantes usines du Shropshire sont celles de la compagnie de Lilleshall, qui avait exposé un assortiment de ses matières et de ses produits, de concert avec lord Granville, propriétaire de l'usine de Shelton. Les usines de Lilleshall (près Shiffnal) et de Shelton produisent annuellement 135,000 tonnes de fonte.

Les minerais employés à Lodge-Wood et à Prior's Lee sont les carbonates houillers désignés sous les noms de *Blackstone*, *Ballstone* (sorte de poudingue), *Yellowstone*, *Whiteflat*, *Chance Pennystone*, *Main Pennystone*, dont on trouvera les analyses dans l'ouvrage de M. Percy. Les fontes à l'air froid de première qualité se font avec un mélange en parties égales de blackstone, de ballstone, de blue-flat et de Pennystone. Pour les fontes à l'air chaud, on mélange jusqu'à 40 pour 100 d'hématite. On voyait au Champ de Mars toute la série de ces fontes.

La compagnie de Lilleshall avait exposé à Londres, en 1862, une machine soufflante double à balancier *horsehead*, qui a été, depuis, installée à l'usine de Kirkless-Hall.

Dans l'une de ses usines, cinq hauts fourneaux sont soufflés au moyen de deux machines *horsehead* accouplées sur un

seul volant. Voici, d'après M. Colburn, les principales dimensions de ces machines :

Diamètre des cylindres à vapeur. . . .	1 ^m ,00
— des cylindres soufflants	2 ,15
Course.	2 ,60
Pression de la vapeur	2 ^{atm} ,40
Distribution à soupapes avec détente à	1/4
Surface totale d'admission du vent. . .	0,489
— de refoulement	0,124
Nombre de tours	17
Pression du vent	182 millim. de mercure.
Distance d'axe en axe des cylindres, mesurée sur le balancier.	9 ^m ,15
Distance du point d'attache de la bielle au centre d'oscillation.	4 ,06
Hauteur du balancier au milieu. . . .	1 ,42
Longueur de la bielle.	8 ,56
Poids du volant.	19 000 kilogrammes.

Ces machines, ornées dans le style dorique, ont un aspect robuste que l'expérience n'a pas démenti : elles fonctionnent depuis 1862. Elles sont desservies par 5 chaudières de Cornouailles à 2 tubes, chauffées avec les gaz des hauts fourneaux (longueur, 9^m,30 ; diamètre de la chaudière, 2^m,28 ; diamètre des tubes, 90 centimètres).

Les hauts fourneaux de Coalbrookdale, fondés en 1709, par Abraham Darby, ont une réputation très-étendue en Angleterre, à cause de leur spécialité de moulages d'ornements. Mais leurs produits, qui étaient exposés sur une grande échelle à Londres, en 1862, sont bien inférieurs à ceux de nos usines françaises de Champagne, aussi bien comme dessin que comme aspect du métal.

Usines du South Staffordshire.

Ces usines n'étaient représentées à l'Exposition que par les produits des hauts fourneaux de Level et de Conegree, appartenant au comte de Dudley. Le noble métallurgiste exposait de la fonte et du fer, et l'on pouvait voir, dans une autre galerie, des perles, des diamants et des émeraudes,

composant les magnifiques parures de M^{me} la comtesse de Dudley. Les fontes de Level et de Coneygree sont produites avec des houilles, des minerais houillers (*Pins, Gubbin, White ironstone*) et des castines exploités complètement dans les états (*estates*) du comte. Nous avons déjà dit que les Dudley sont métallurgistes depuis des siècles. Les hauts fourneaux, à tour ronde sur base carrée, sont cerclés en fer et réunis par des ponts de chargement en fer. Ils produisent par jour 22 à 23 tonnes de fonte d'affinage, et les gaz ne sont pas utilisés. Leurs produits paraissent être de qualité assez ordinaire.

L'usine de Old-Park, près de Wednesbury, possède trois hauts fourneaux produisant environ 150 tonnes de fonte chacun par semaine. Ils sont soufflés à l'air chaud, et une partie des gaz, que l'on prend par une prise centrale à gueulard ouvert, est utilisée pour chauffer cet air, tandis que le reste s'échappe. On y consomme de la houille crue et du coke. Le minerai, grillé d'avance en tas, renferme en moyenne 35 pour 100 de fer : il est assez phosphoreux pour que, malgré une allure extrêmement calcaire, on n'ait pu arriver à fabriquer des fontes à Bessemer, même avec un mélange d'hématite rouge.

L'usine de Rough-Hay, près de Darlaston, est une des premières du Staffordshire qui aient employé couramment les gaz pour produire de la vapeur et chauffer le vent. Nous donnons (pl. IX, fig. 5) le dessin d'un de ses hauts fourneaux, avec le système de prise de gaz imaginé par M. Addenbrooke. Ce système n'est qu'une imitation ou plutôt qu'une réinvention des prises de gaz à carreaux employées depuis plus de vingt ans en Allemagne et en France; avec cette particularité toutefois que les carreaux, au lieu d'être ménagés dans l'appareillage de la chemise, sont pratiqués dans des blocs de fonte que l'on encastre dans la maçonnerie. Il a été décrit en 1865 dans les *Proceedings of Mechanical Engineers*, et sa description même peut faire voir combien le Staffordshire est en retard sur la France et l'Allemagne comme sur d'autres parties de l'Angleterre. L'inventeur prend un soin extrême à

démontrer que les gueulards fermés ne valent rien, à cause de la contre-pression qu'ils causent à la partie supérieure de la cuve, et recommande les gueulards ouverts avec une aspiration à la circonférence produite par une cheminée, aspiration qui ne doit pas être assez grande, du reste, pour faire rentrer l'air par le gueulard. Il recommande aussi de brûler les gaz par aspiration, pratique qui a été reconnue vicieuse depuis longtemps dans nos usines françaises. Il a adopté les carneaux placés à la circonférence à une profondeur de 1^m,35 environ, après avoir employé longtemps le système de prise centrale dit à *cloche de Darby*, qui a été le premier en usage dans le Staffordshire, et auquel on reproche une dégradation rapide de la cloche en fonte plongeant au milieu des matières dans l'axe de la cuve. M. Addenbrooke attribue à sa disposition l'avantage de permettre la prise totale des gaz, si on exerce une aspiration suffisante dans le carneau annulaire, et il place un clapet à la sortie, avec lequel il gradue la quantité de gaz qu'il veut employer et celle qu'il veut laisser échapper par le gueulard. Il rappelle les dérangements d'allure qui se présentent lorsque les chargeurs, par négligence, laissent descendre le niveau des matières au gueulard, et montre qu'avec son système à gueulard ouvert, cette négligence devient impossible, tandis qu'avec un gueulard fermé, on ne peut l'éviter. Nous remarquerons, en passant, que la hauteur des fourneaux de Staffordshire n'est que de 12 à 15 mètres, et que probablement plusieurs d'entre eux ont une hauteur trop faible qui les rend très-sensibles au moindre changement du niveau des matières au gueulard. Quant au système de prise de gaz Addenbrooke, il est aussi bon que beaucoup de systèmes analogues à prise par la circonférence ; il n'a de particulier, du reste, que l'emploi de ces énormes blocs de fonte qui pèsent près de 1,000 kilogrammes pièce et dont on pourrait bien se dispenser. Les fourneaux de Rough-Hay consomment du coke et de la houille crue, et ils produisent jusqu'à 30 tonnes par jour de fonte d'affinage grise (grise n° 3 et truitée grise).

Les dimensions des hauts fourneaux dans le Staffordshire

sont de 12 à 15 mètres de hauteur, et de 4^m,20 à 5^m,40, au maximum, de diamètre au ventre. La nature friable des cokes et des houilles du pays gêne pour un accroissement de hauteur comparable à celui des fourneaux du Cleveland.

Quant au système de construction, il varie surtout entre deux types : le *haut fourneau massif*, tout en maçonnerie, dont celui de Corngreaves, décrit par M. Percy, donne un exemple, et le *haut fourneau cubilot*, à enveloppe de tôle et à colonnes de fonte, analogue aux fourneaux neufs du Cleveland et dont celui de Russell's Hall, décrit par M. Percy, est aussi un exemple. La construction des hauts fourneaux du premier type se fait fort économiquement : on indique, dans le district de Dudley, le coût de deux hauts fourneaux de 12 mètres de hauteur chacun, comme étant de 45,000 francs. Les appareils à air chaud, préférés dans le South Staffordshire, sont de forme rectangulaire et à tuyaux verticaux réunis à leur pied par des boîtes.

Les profils varient dans le groupe; mais depuis longtemps déjà on paraît préférer les formes ovoïdes à celles qui présentent des étalages et un ouvrage bien déterminé.

Voici maintenant quelques données sur les roulements : à Russell Hall, on emploie des charges de combustible de 1,000 kilogrammes environ, dont un huitième en houille crue et sept huitièmes en coke; le rendement du lit de fusion, castine comprise, étant 37,5 pour 100 environ, et la consommation de combustible par tonne de fonte grise de forge 1,250 kilogrammes environ, avec du vent chauffé à 316° centigrades, introduit sous une pression de 18 centimètres de mercure. En général, d'après M. Fairbairn, dans le South Staffordshire, on consommerait par tonne de fonte grise de forge obtenue avec les minerais houillers :

2,000 à 3,000 kilogrammes de minerai ;	
3,000 —	houille crue ou transformée en coke ;
750 à 900 —	castine ;

l'air étant chauffé à 316° centigrades.

Les fontes du Staffordshire sont surtout des fontes grises à grain serré et truitées, destinées au puddlage, pour fers

marchands ordinaires ; on les améliore cependant quelquefois par l'emploi, dans les lits de fusion, de minerais importés du groupe des Lacs, du Cornwall ou du Somersetshire.

On fabrique aussi des fontes de moulage tenaces à l'air froid. D'après M. Swindell, de l'usine de Parkhead, la résistance de ses fontes à l'air froid est de 22^k,7 par millimètre carré à la traction. D'après M. Bennett, fondeur à West-Bromwich, les fontes de Staffordshire, à prix égal, ont une ténacité moindre que les fontes d'Écosse : il a essayé les diverses fontes au moyen de barreaux d'essai de 50 millimètres de hauteur sur 25 millimètres de largeur, posés sur des couteaux espacés de 90 centimètres ; les fontes ordinaires du Staffordshire arrivaient difficilement à supporter 1,400 kilogrammes au milieu, tandis que les fontes d'Écosse supportaient facilement 1,600 kilogrammes. Il est vrai que les fontes à l'air froid des meilleures marques du Staffordshire sont arrivées à supporter 1,800 kilogrammes.

En avril 1867, les prix des fontes étaient les suivants dans le Staffordshire :

Best hot blast all mine (Fontes à l'air chaud de minerai pur, sans scories), 86 fr. 20 c. les 1,000 kilogrammes.

Fontes à l'air froid, 106 à 111 francs les 1,000 kilogrammes.

Le groupe du Staffordshire renfermait, à la fin de 1866, 206 hauts fourneaux dont 140 en feu. La production de fonte a été :

North Wales	25,898 tonnes.
Shropshire	122,978 —
South Staffordshire . . .	540,614 —
En tout. . .	689,490 tonnes.

Soit 5,000 tonnes par an et par fourneau en moyenne.

SIXIÈME GROUPE.

GROUPE DU PAYS DE GALLES.

Ce groupe comprend les usines à fonte du sud du pays de Galles et quelques usines réparties dans les comtés voisins

de Gloucester, de Somerset et de Wilts. Avant d'entrer dans leur description, on nous permettra de citer librement un intéressant rapport de M. E. Rogers, d'Abercarn, sur l'industrie de son pays.

La fabrication du fer existe dans le pays de Galles depuis une époque très-ancienne. Dans presque toutes les vallées, on peut encore trouver des scories d'anciens foyers de fusion, à plusieurs pieds au-dessous du sol actuel, recouvertes par les restes d'anciennes forêts qui existaient longtemps avant l'époque où remontent nos plus anciennes chroniques de la sidérurgie dans ce pays. L'ancien procédé de fusion s'effectuait dans des fourneaux à vent, presque comme actuellement dans les Indes ou l'Afrique. Les minerais de fer étaient tous exploités à la surface, en majeure partie au moyen de courants d'eau qu'on dirigeait sur les couches où le minerai se trouvait et qui, en délayant et emportant l'argile et les schistes mélangés, le laissaient nettoyé et prêt pour la fusion. On trouve maintenant, au chevet de presque toutes les vallées, des restes de ces torrents artificiels, encore employés en quelques endroits.

Autrefois, le bassin houiller du pays était presque complètement couvert de forêts. Les sommets de beaucoup de collines, maintenant nus et couverts de bruyères, étaient garnis de hautes futaies. On conduisait le minerai de fer dans les forêts, et on le fondait, autrefois, sur les flancs des collines exposés au vent, et, à une époque moins ancienne, dans les vallées où l'on pouvait utiliser les cours d'eau. Le minerai des affleurements se trouvait souvent, par l'action de l'air et de l'humidité, transformé en oxyde de fer; il devenait ainsi non-seulement plus aisé à fondre dans le fourneau, mais son rendement s'élevait souvent à 40 ou 45 pour 100 de fonte.

Le pays fut peu à peu déboisé par la consommation de charbon de bois nécessaire aux usines, jusque vers 1740, où le bois devint si rare que la sidérurgie dut s'éteindre presque complètement dans le pays de Galles, et que la production totale de fonte en Grande-Bretagne ne fut que de

17,610 tonnes pendant cette année. La nécessité amena forcément le progrès, et le système de fabrication à la houille inventé plus d'un siècle auparavant par Simon Sturtevant, Rovenston et Dud Dudley, fut enfin adopté. En 1755, M. Anthony Bacon construisit, à Merthyr, un fourneau pour fondre le fer à la houille ; on l'imita bientôt ailleurs ; l'industrie du fer reprit son essor, et avant la fin du siècle elle avait pris une telle importance, que des canaux et des tramroads avaient dû être construits pour mettre en communication les usines nouvelles avec les ports pour l'embarquement des produits.

Les districts miniers du pays de Galles sont situés au milieu d'un réseau de vallées, qui s'étendent depuis le nord des comtés de Glamorgan et de Monmouth, au nord, jusqu'au canal de Bristol au sud. Les usines à fer et les houillères les plus importantes se trouvent régulièrement toujours près des points les plus élevés de ces vallées, à des distances de 25 à 35 kilomètres de la mer, et sont séparées les unes des autres par les crêtes des collines. Ainsi, on trouve la vallée de Neath (*vale of Neath*), celle d'Aberdare, celles de Merthyr, de Rhymey, d'Ebbw (*Ebbw vale*) et beaucoup d'autres, toutes presque parallèles l'une à l'autre et s'ouvrant dans la direction de la mer. Des chemins de fer et des canaux, quelquefois tous les deux, descendent ces vallées, se rattachent les uns aux autres dans beaucoup de cas, lorsqu'ils arrivent dans les plaines au sud, et se terminent à Cardiff, Swansea ou Newport, les trois grands ports d'embarquement du pays de Galles, Cardiff étant le plus central et le plus important. Une petite partie du trafic sidérurgique du district trouve aussi des débouchés à Neath et à Briton Ferry.

Mais notre cadre ne nous permet pas une description plus complète de ce pays, où tout a été organisé en vue de rendre les exploitations minières et métallurgiques aussi faciles et fructueuses que possible. Nous renverrons nos lecteurs à l'intéressant voyage publié par M. Simonin, ingénieur, dans le *Tour du Monde* (1866), et nous passerons à l'énumération des plus importantes usines de notre groupe :

CONTES.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE DE fourneaux.
Glamorgan.	Abernant	Compagnie d'Abernant . . .	3 à l'anhracite.
—	Ystalyfera.	Compagnie d'Ystalyfera.....	11 —
Brennock.	Yniscedwyn.	Compagnie d'Yniscedwyn	2 —
Pembroke.	Kilgetty.	MM. Vickerman et Ce.....	2 —
Glamorgan.	Aberdare.	MM. Fothergill et Hankey....	} 5 à la houille ou au coke.
—	Abernaut.	Idem.	
—	Aberaman.	M. Crawshay-Bailey.....	3 —
—	Cwm-Avon.	Compe des mineurs de cuivre	} 7 —
—	Oakwood.	Idem.	
—	Cyfarthfa.	M. William Crawshay.....	} 11 —
—	Ynisfach.	Idem.	
—	Dowlais.	Compagnie de Dowlais.....	17 —
—	Llynvi-Vale.	Compagnie de Llynvi-Vale...	7 —
—	Penyddarran.	Compagnie d'Aberdare.....	6 —
—	Plymouth.	MM. Fothergill, Hankey et Bateman.....	} 11 —
—	Duffryn.		
—	Pontypridd.	M. Francis Crawshay.....	3 —
Brennock.	Beaufort.	Sir Jos. et C. Bailey.....	5 —
—	Hirwain.	Compagnie d'Hirwain.....	4 —
—	Onllwyn.	Compagnie d'Onllwyn.....	2 —
Monmouth.	Abersychau.	Compagnie d'Ebbw-Vale.....	6 —
—	Pentwyn.	Idem.	4 —
—	Pontipool.	Idem.	4 —
—	Sirhowy.	Idem.	} 13 —
—	Ebbw-Vale.	Idem.	
—	Victoria.	Idem.	
—	Blenavon.	Compagnie de Blenavon.....	6 —
—	Blaina.	MM. Levick et Simpson.....	} 6 —
—	Coalbrook-Vale.		
—	Cwm-Celyn.		
—	Cwmbrân.	MM. R. S. Roper et Ce.....	2 —
—	Nantyglo.	MM. J. et C. Bailey.....	7 —
—	Rhymney et Bute.	Compagnie de Rhymney..	9 —
—	Tredegar.	MM. Forman et Fothergill....	9 —
Gloucester.	Cinderford.	M. Henry Crawshay.....	4 —
—	Oakwood.	Compagnie d'Ebbw-Vale.....	1 —
—	Park-End.	Compe de la forest de Dean . .	3 —
Wiltshire.	Westbury.	Compagnie de Westbury.....	4 —
Somerset.	Ashton-Vale.	Compagnie d'Ashton-Vale....	1 —

On comptait en tout, à la fin de 1866, dans notre groupe, 24 hauts fourneaux à l'anhracite et 184 hauts fourneaux consommant du coke ou de la houille crue.

Combustibles.

D'après M. Rogers, le bassin houiller du pays de Galles a

été protégé de la dénudation par une chaîne de collines qui forment sa frontière nord, à l'est et à l'ouest, et par une autre chaîne parallèle sur sa limite méridionale. Une grande partie de l'étage supérieur a été emportée par les eaux. Les barrières protectrices ont aussi souvent été rompues par des courants venant du nord-ouest, courants qui ont creusé des vallées d'une profondeur dépassant quelquefois 400 mètres. Ces vallées, orientées presque nord et sud, se terminent aux divers ports, comme nous l'avons dit déjà, et ont procuré de grandes facilités pour l'établissement des voies de communication ; elles ont aussi fourni aux mineurs le moyen de foncer des puits à un niveau fort inférieur au niveau général du pays.

Le terrain houiller peut être divisé en deux étages qui sont séparés partout par des couches épaisses d'une roche siliceuse dure passant quelquefois à l'état de conglomérat, et qu'on appelle dans le pays les *Rocs blancs*. L'étage inférieur est souvent appelé *l'étage ferrifère* ; c'est celui où l'on trouve la majeure partie des couches de houille et de fer. Le charbon y est gras sur la frontière orientale, mais il change en allant vers l'ouest pour devenir anthracite au delà de la grande faille de la vallée de Neath. L'étage supérieur renferme peu de minerais de fer ; les charbons y sont partout gras, même dans les localités où, comme à Swansea, l'anthracite coexiste au-dessous. D'après M. Bedlington, de Rhymney, président actuel de l'Institution des ingénieurs gallois, le bassin contient encore 21 milliards de tonnes de houille à extraire, savoir : 2^m,40 de puissance dans l'étage supérieur et 12^m,50 de puissance totalisée dans l'étage inférieur, sans compter les couches d'épaisseur moindre que 60 centimètres.

Les houilles du pays de Galles sont grasses, demi-grasses ou anthraciteuses. Les houilles grasses ne peuvent être employées crues dans les hauts fourneaux, à cause de leur propriété collante et de leur foisonnement. Les houilles demi-grasses, au contraire, sont très-appropriées à l'emploi cru, et on ne les carbonise que pour utiliser les menus ou pour se

débarrasser d'une partie du soufre qu'elle renferme. Quant aux anthracites, on les emploie crues, ou en les carbonisant, mélangées à des charbons collants. La carbonisation est surtout considérée, dans le pays de Galles, comme un moyen de désulfurer les houilles et d'obtenir des fontes de qualité supérieure.

La carbonisation s'opère tantôt en tas allongés, tantôt entre murs, tantôt dans des fours rectangulaires allongés à une porte, mais toujours d'une façon assez primitive. On éteint souvent le coke avec de l'eau dans l'intérieur même des fours. Aussi, est-ce à la bonne qualité des houilles et non aux procédés suivis, qu'il faut attribuer la valeur des cokes du pays de Galles.

A Dowlais, la houille demi-grasse employée crue renferme 90 pour 100 de carbone. C'est un excellent combustible qui coûte 5 shillings la *longue tonne* de 22 quintaux, soit 5 fr. 53 c. environ les 1,000 kilogrammes, rendus dans l'usine.

Minerais.

Le pays de Galles reçoit considérablement de minerais étrangers à notre groupe et même étrangers à la Grande-Bretagne. Ces minerais étrangers jouent dans l'industrie du pays un rôle plus considérable que ceux indigènes. Disons d'abord quelques mots de ces derniers.

MINERAIS DU PAYS DE GALLES. — L'étage inférieur surtout du terrain houiller renferme un grand nombre de couches de *fers carbonatés argileux* d'une puissance totalisée de 6^m,40. Ce minerai produit une fonte résistante et dure, convenable pour les moulages, mais peu aisée à travailler ; il donne des fers cassants à froid, à cause de sa teneur en phosphore. La richesse en fer ne varie pas notablement dans le district ; on peut dire qu'elle est en moyenne de 32 pour 100 ; mais, au fourneau, il rend pratiquement un peu moins. On trouvera des analyses dans l'ouvrage de Truran et dans celui de M. Percy.

Le calcaire carbonifère renferme aussi des minerais de fer ; les uns en filons exploités à Pentyrch, dans la vallée de la

Taff, les autres en couche exploitée à Whitchurch, dans le Glamorganshire.

Les *hématites brunes* de Pentrych sont employées seulement dans l'usine de ce nom, qui a la spécialité de la fabrication des tôles minces et fers noirs. A Whitchurch, on exploite une couche d'*hématite rouge*, dont la découverte fut assez singulièrement faite, en 1861, par feu Ebenezer Rogers. Après avoir remarqué la position des oligistes oolithiques si employés depuis quelques années en Belgique, il rechercha la localité correspondante dans les couches du pays, savoir la base du calcaire carbonifère. Il y découvrit un gisement précisément semblable de minerai rouge oolithique, analogue à celui de la province de Namur, dont on trouvera l'analyse dans Percy.

Un autre gisement important d'hématite est exploité à Bute, à Mwyndy, près Llantrissant, à la base du conglomérat magnésien du terrain permien et dans les anfractuosités du calcaire carbonifère, ainsi que l'indique la figure 6, pl. VII. Ce gisement se manifeste encore en d'autres endroits, et le minerai y renferme des quantités de manganèse variables, mais quelquefois assez grandes. Il a fourni plus de 65,000 tonnes de minerai en 1866.

MINERAIS DU GLOUCESTERSHIRE. — On exploite dans ce comté les célèbres *minerais de la forêt de Dean*, depuis une époque très-reculée. On y trouve des tas de scories provenant des procédés grossiers usités par les anciens. Le roi Jacques I^{er} et Olivier Cromwell étaient des maîtres de forge dans la forêt de Dean. Ces minerais si célèbres sont des hématites brunes exploitées dans les couches supérieures du calcaire carbonifère et dans les couches inférieures du millstone-grit. Tantôt elles sont en rognons, mamelonnées, à surface semi-métallique, à texture fibreuse et rayonnée (*brush-ore*), tantôt en grains assez fins (*smith-mine*), tantôt à l'état de marne calcaire imprégnée de peroxyde de fer. La richesse en fer va jusqu'à 63 pour 100 ; la gangue est calcaire. C'est le principal gisement d'hématite brune d'Angleterre, et ses produits sont très-estimés, surtout à cause de l'absence du phosphore.

On en voyait de très-beaux échantillons stalactiformes, comme les *lepidokrokites* des Allemands, dans l'exposition de MM. Leach Flower et C^e, fabricants de fer-blanc, sous le nom de *minerais de Cinderford*.

Le Gloucestershire a fourni, en 1866, plus de 160,000 tonnes d'hématites brunes, qui servent à la fabrication des fers de qualité supérieure et des fers-blancs.

MINÉRAIS DU SOMERSETSHIRE. — Un important gisement de fers carbonatés spathiques a été découvert par M. E. Rogers dans les roches devoniennes au sud du comté de Somerset et au nord du comté de Devon. Ces minerais sont de qualité supérieure, et renferment une quantité considérable de manganèse; ils brunissent à l'air et se transforment assez rapidement en mine douce ou hématite brune.

Voici deux analyses, d'après M. Hunt :

	Minerai spathique.	Minerai brun.
Protoxyde de fer.	52,66	37,33
Peroxyde de fer.	»	8,52
Protoxyde de manganèse .	4,82	12,65
Magnésie	2,41	4,52
Chaux.	1,25	traces.
Acide carbonique	38,68	35,80
	<hr/> 99,72	<hr/> 98,82

Ces minerais sont particulièrement propres à la fabrication des fontes aciéreuses et notamment des *spiegeleisen*. Ils sont exploités par la Compagnie d'Ebbw Vale à Brendon Hills et à Eisen Hills. Le nom de cette dernière colline indique clairement que les mineurs allemands importés dans le pays par la reine Elisabeth avaient déjà découvert cet important gisement de minerai. Le filon varie d'épaisseur depuis 2 mètres jusqu'à 7 mètres. On a exploité environ 30,000 tonnes en 1866.

On trouve en outre, dans ce comté, des *hématites rouges* à Ashton Hill et des *minerais houillers* autour de Bristol; mais l'extraction en est peu importante.

MINÉRAIS DU CORNWALL ET DU DEVONSHIRE. — Il y a de

nombreux gisements d'*hématites brunes* dans la presqu'île de Cornwall, si riche en mines métalliques ; mais le nombre de ceux qui sont exploités est assez faible. Ces minerais, malgré leur bonne qualité, n'ont pas encore complètement vaincu les préventions des maîtres de forge gallois ; leur richesse en fer métallique est 36 pour 100 environ. On les exploite à Restormel, à Pawton, et dans le voisinage de Saint-Austell, et le tonnage expédié annuellement varie de 20,000 à 30,000 tonnes. M. Hunt signale l'existence à Perranzabuloe, dans le Cornwall, d'un remarquable filon qui contient en profondeur du *fer spathique*, tandis que la surface est de l'hématite brune. Les difficultés de transport s'opposent à son exploitation.

Dans le Devonshire, on trouve aussi des *hématites brunes* et des fers *spathiques*. A Exmoor, on exploite les unes et les autres. A Smallacombe, à Brixham, on exploite les hématites brunes. A Hatherley, à Dartmoor, on trouve, comme dans quelques localités du Cornwall, des *minerais magnétiques*. A Ladock, dans le Cornwall, il existe une couche de minerais magnétiques qui figuraient à l'Exposition de Londres en 1862 ⁽¹⁾.

Les deux comtés produisent environ 60,000 à 70,000

(1) Voici, d'après un ouvrage bien connu en Angleterre : *The Useful Metals*, les analyses d'une hématite d'Exmoor et d'un fer spathique du Cornwall :

	Exmoor.	Cornwall.
Protoxyde de fer	»	51,53
Peroxyde de fer	72,00	»
Protoxyde de manganèse	»	11,41
Peroxyde de manganèse.	14,26	»
Silice.	6,60	»
Alumine	2,10	»
Magnésie.	0,18	»
Acide carbonique. . . .	»	34,50
Acide phosphorique. . .	0,46	»
Eau et perte	4,40	2,56
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

tonnes de minerai par an. Les quelques détails que nous avons donnés sur la nature de ces minerais font comprendre leur importance pour les usines du pays de Galles et pour quelques usines du Cleveland qui les traitent.

MINERAIS DU WILTSHIRE. — On exploite depuis quelques années à Westbury, dans les bancs supérieurs du Coral Rag, un minerai hydraté oolithique qu'on traite sur place, sans grillage préalable, avec des fondants calcaires. Il est brun (hydroxyde), quand son gisement est peu distant de la surface du sol, vert (carbonaté siliceux), quand la profondeur est plus considérable. L'extraction atteint plus de 75,000 tonnes par an. On avait commencé à Hengistbury-Head, dans le Hampshire, une exploitation qui figurait à Londres en 1862, mais qui est actuellement arrêtée.

MINERAIS ÉTRANGERS. — Outre les minerais qu'on leur apporte du district des Lacs, de la forêt de Dean, des comtés du Somerset, Cornwall et Devon, les usines du pays de Galles fondent encore des minerais qui viennent d'Irlande, et qui sont des minerais hydratés alumineux et des carbonates houillers, mais le tonnage n'en est pas très-important. Les quantités de minerais étrangers, notamment des oligistes de l'île d'Elbe, des hématites brunes manganésifères d'Espagne, d'Algérie, atteignent des chiffres plus considérables; en 1866, il en est entré près de 50,000 tonnes. Actuellement les fourneaux du pays de Galles emploient des mélanges souvent assez complexes, où le minerai houiller du pays n'est pas l'élément dominant.

PRIX DES MINERAIS. — D'après M. Colburn, les minerais houillers coûteraient 11 fr. 50 c. environ les 1000 kilogrammes rendus dans l'usine de Dowlais. D'après M. Riley, ils seraient en général notablement plus chers dans le groupe. Les hématites rouges coûteraient 25 francs environ, et les hématites brunes, 17 fr. 50 c. à 18 fr. 75 c. environ. Voici les prix qu'indique M. Hunt pour les minerais estimés sur le lieu d'extraction :

Hématites brunes du Cornwall..	9 fr. »	environ la tonne.
— Devonshire.	7 50	—

Fers spatiques du Somerset . .	12 fr. 50 environ la tonne.	
Hématites de la forêt de Dean. .	11	25 —
Minerais houillers du pays . . .	8	75 —

Quoi qu'il en soit, les minerais coûtent relativement assez cher dans le pays de Galles. Heureusement pour les maîtres de forge, l'excellente qualité des houilles établit une compensation.

Usines à fonte à l'anhracite.

Le nombre des hauts fourneaux marchant à l'anhracite paraît tendre à diminuer : il était, en 1862, de 32; il n'est plus, en 1866, que de 24; toutefois, la production de fonte a augmenté (35,000 tonnes en 1866, au lieu de 31,000 en 1862), ce qui montre que le nombre des fourneaux en feu a été un peu plus grand, la production par année et par fourneau étant d'environ 3,300 tonnes.

Les usines à l'anhracite étaient représentées à l'Exposition par celles d'Ystalifera (la plus importante), et de Kilgetty. L'usine d'Ystalifera exposait des houilles et des anhracites, des minerais houillers crus et grillés et des fontes à l'anhracite de divers numéros. Ces fontes sont employées sur place pour la fabrication des fers marchands divers et surtout pour celle des fers noirs et des fers blancs. On trouvera dans le livre de M. Percy les analyses des minerais, fondants, combustibles et fontes d'Ystalifera; la fonte blanche fabriquée avec une certaine proportion de scories sert pour les rails et les fers en barres, la fonte grise sert pour la tôle.

L'usine de Kilgetty, appartenant à MM. Vickerman et C^e, de Tenby, exposait seulement des fontes à l'anhracite grises d'assez belle apparence, proposées pour la fabrication de l'acier Bessemer, et dont la composition était indiquée :

Fer.	94,08
Carbone . .	4,47
Silicium. . .	0,96
Soufre . . .	0,04
Phosphore .	0,08
Manganèse .	0,48
	<hr/>
	100,11

mais nous doutons fort que cette fonte pût être réellement avantageusement traitée par la méthode pneumatique, à cause de sa faible teneur en silicium.

Les usines d'Yniscledwyn et de Cwmtwrch, qui avaient exposé en 1862, n'ont pas paru en 1867.

Les hauts fourneaux à anthracite du pays de Galles ont une hauteur de 9 à 12 mètres; le ventre, situé à peu près à mi-hauteur, a 3^m,60 de diamètre, et le gueulard 2^m,50 à 3 mètres, de sorte que la cuve est presque cylindrique; l'ouvrage a 1^m,20 à 1^m,35 de diamètre devant les tuyères. La capacité intérieure du fourneau est du reste peu considérable: 80 à 85 mètres cubes. On traite dans ces fourneaux un mélange de carbonate houiller grillé et d'hématite brune, qui rend environ 40 pour 100; on y consomme de 1750 à 1850 kilogrammes d'anthracite et 850 kilogrammes de castine par tonne de fonte. On souffle par 6 ou 7 tuyères généralement, avec une pression de 25 à 26 centimètres de mercure, et une température de 300 à 400°. La production journalière d'un fourneau varie de 7 à 10 et 12 tonnes; on fabrique surtout des fontes grises de qualité supérieure, destinées à des affinages fins. La nature du combustible, qui décrépite toujours plus ou moins, empêche l'emploi de fourneaux trop élevés et oblige à de fortes pressions; malgré ces circonstances, il arrive encore souvent dans le creuset des menus d'anthracite non brûlés, et la poitrine doit être largement ouverte, afin que les fondeurs puissent faire des purges à la pelle. La production des fourneaux est faible. Le prix de revient de la fonte à l'anthracite est élevé; aussi le nombre des fourneaux en feu dans ce district diminue-t-il, et plusieurs d'entre eux, à Ystalifera par exemple, sont maintenant alimentés avec des mélanges de coke et d'anthracite.

Usines de Dowlais.

Ces immenses usines figuraient bien modestement à l'Exposition et n'y avaient pas envoyé de spécimens de leur fonte et de leurs minerais. Elles commencent à être assez connues en France: l'ouvrage de MM. Percy, Petitgand,

Ronna, donne des détails intéressants sur leur consistance et leur roulement dans son quatrième volume, les analyses des minerais, des fondants, des fontes et des laitiers, dans les deuxième et troisième volumes. Sans faire double emploi avec ces renseignements, nous croyons pouvoir nous arrêter un instant sur les usines de Dowlais.

L'usine de Dowlais, près Merthyr, a été fondée au moyen d'une concession donnée en 1748 par lord Windsor, de Cardiff, à l'honorable Thomas Morgan, moyennant un fermage annuel d'environ 700 francs. Mais l'usine avait encore peu d'importance, lorsque sir John Guest en devint le propriétaire principal et lui donna l'essor qu'elle a pris maintenant.

Il y a maintenant à Dowlais deux usines : l'une, l'ancienne, qui compte 14 hauts fourneaux ; l'autre, la nouvelle, dite *usine Ivor*, qui renferme 4 hauts fourneaux.

On consomme dans ces fourneaux les houilles extraites dans les propriétés de l'usine même, et les cokes provenant de ces houilles : le tonnage journalier de la houille extraite dépasse 2,000 tonnes, dont la moitié quelquefois est transportée dans les ports pour la consommation des steamers et des locomotives.

La quantité de minerai houiller argileux exploitée à Dowlais atteint 500 tonnes par jour. Le reste de l'approvisionnement des fourneaux vient des districts de Whitehaven et de Barrow, du Cornwall, de la forêt de Dean, du comté de Northampton, aussi bien que d'Espagne et de l'île d'Elbe. On consomme plus de ces minerais importés que des minerais exploités sur place. La découverte récente d'hématites dans le Pembrokeshire, tout près des bords du canal de Bristol, peut être de grande valeur pour Dowlais ; mais on ignore encore quelle est l'importance exacte de cette découverte. La castine est abondante dans tout le district.

Les 17 hauts fourneaux des deux usines sont adossés ; la hauteur n'est pas la même pour tous, et les profils varient aussi, comme on peut le voir dans l'ouvrage de MM. Gruner et Lan, et dans celui de M. Percy. D'après MM. Ulrich, Wiebmer et Dressler, les plus grands auraient environ

18 mètres de haut avec des diamètres de 6 mètres au ventre, 4^m,20 au gueulard et 2^m,40 à 2^m,70 aux tuyères. Les plus petits auraient environ 14^m,50 à 15 mètres de haut avec des diamètres de 5^m,10 au ventre, 3 mètres au gueulard et 2^m,40 à 2^m,70 aux tuyères. Mais ces chiffres nous paraissent pour la plupart trop considérables, d'après nos autres renseignements. Ils sont alimentés à la houille crue et soufflés avec du vent à 15 ou 17 centimètres de pression et 315° de température, avec 6 ou 7 tuyères. On prend les gaz à presque tous les fournaux et on les utilise pour les chaudières et les appareils à air chaud, et même, au moyen d'une conduite souterraine longue de 700 mètres environ, pour les chaudières de l'usine à rails. Les appareils de chargement et de gaz sont du système *cup and cone*. Les plus grands fourneaux à Dowlais ont 7 tuyères, dont une, placée sur la tympe à 30 centimètres au-dessus des autres, ne sert qu'en cas d'accident; les plus petits n'ont que 3 tuyères. La production journalière est assez variable, à cause des différentes dimensions des fourneaux, et suivant qu'ils roulent à la houille crue ou au mélange de houille et de coke, à l'air chaud ou à l'air froid, avec des lits de fusion riches ou avec des lits de fusion pauvres.

Voici, d'après MM. Ulrich, Wiebmer et Dressler, qui ont visité Dowlais en 1866, le roulement d'un grand fourneau soufflé par 7 tuyaux de 70 millimètres avec du vent à 17 centimètres de pression :

Production par semaine : 400 tonnes fonte blanche de forge.

Rendement du lit de fusion : 40 pour 100.

Consommation par tonne de fonte :

		540 kilogrammes de coke ;
1,080	—	houille crue ;
950	—	minéral houiller grillé ;
450	—	hématite rouge ;
450	—	hématite brune ;
150	—	scories de réchauffage ;
500	—	castine.

D'après les mêmes ingénieurs, on fabriquait, dans un des petits fourneaux soufflé à l'air froid, 160 tonnes seulement par semaine de fonte grise de moulage n° 1 avec 650 kilo-

grammes de coke et 1,550 kilogrammes de houille crue par tonne de fonte.

D'après M. Percy, le fourneau n° 12 produisait, en 1866, 180 à 190 tonnes de fonte grise n°s 2 et 3 par semaine, avec une consommation de 1,300 kilogrammes environ de houille par 1,000 kilogrammes de fonte.

On emploie à Dowlais, comme dans tout le pays de Galles, des proportions assez considérables de scories dans les lits de fusion destinés à produire des fontes pour puddlages communs; quelquefois jusqu'à 25 pour 100. Mais on n'en emploie pas pour les fontes de moulage ou de puddlage supérieures. Pour la fonte blanche de forge ordinaire, les fourneaux ont une allure très-froide avec surcharge de minerais, et avec laitiers presque noirs et peu chauds; ils conservent souvent assez longtemps cette allure. Les campagnes sont très-longues à Dowlais, grâce à l'excellente qualité des briques de Stourbridge, employées pour la construction des hauts fourneaux, leur durée moyenne est de six à sept années. Il y avait en 1866, à Dowlais, 2 fourneaux qui présentaient des cas de longévité assez rares chez ces appareils: l'un marchait sans interruption depuis dix-huit ans, l'autre depuis vingt-trois ans. Ils ont été visités par MM. Ulrich, Wiebmer et Dressler.

Les 17 hauts fourneaux sont soufflés par 6 machines en tout, 5 à l'ancienne usine de Dowlais, et 1 seulement à l'usine Ivor. Une des machines de l'ancienne usine, baptisée *Merthyr Guest*, était, jusqu'à ces derniers temps, la plus grande machine soufflante du monde; c'est une machine ordinaire à balancier, qui fonctionne depuis quinze ans environ; elle a été détrônée par la nouvelle machine de la Compagnie d'Ebbw-Vale. Voici ses principales dimensions:

Diamètre du cylindre vapeur.	1 ^m ,40
Diamètre du cylindre soufflant	3 ,66
Course du piston moteur.	3 ,965
Course du piston soufflant	3 ,66
Longueur du balancier.	12 ,00 environ.
Poids sur les tourillons du balancier	44,000 kilogrammes.

Rapport des deux demi-balanciers. . .	:: 12 : 13
Pression de la vapeur	4 atmosphères.
Détente à.	1/3 de course.
Nombre ordinaire de tours.	16 tours.
Poids du volant	35 tonnes.
Pression du vent	16 3/4 centimètres de mercure.

Avec 3 autres machines, elle souffle maintenant 12 fourneaux. Elle a marché à 20 tours, lançant alors par minute 1,450 mètres cubes environ de vent. Sa force est de 650 chevaux.

A l'usine d'Ivor, la soufflante a aussi un cylindre à vent de 3^m,66 de diamètre, mais sa course n'est que de 2^m,44.

Nous laisserons l'usine de Dowlais pour la retrouver plus tard à propos de la fabrication de fer. Elle possède, du reste, des institutions ouvrières en rapport avec son importance.

Usines d'Aberdare et d'Abernant.

Ces usines ne figuraient pas à l'Exposition de Paris en 1867, mais elles avaient envoyé à celle de Londres, en 1862, le modèle d'un de leurs hauts fourneaux, qui était, à cette époque, le plus grand haut fourneau d'Angleterre, et qui, produisant 60 tonnes par jour, eût été aussi le plus fort producteur sans l'existence de ceux de Barrow. Ce fourneau, le numéro 1 d'Aberdare, avait 13^m,33 de hauteur, 2^m,60 de diamètre à la sole, 5^m,25 de diamètre au ventre, 3 mètres de diamètre au gueulard. (Voir Percy, t. III, p. 242.) Il était soufflé par 7 tuyères, savoir : 2 à la rustine, 2 sur chaque costière et 1 à la tympe. Le chargement se faisait par un appareil *cup and cone*. On trouvera des renseignements sur ces usines d'Aberdare et d'Abernant dans la *Revue universelle*, t. XI, et dans le livre de M. Percy, t. III, p. 377 et suiv.

Usines de Cwm Avon et Oakwood.

Ces usines, appartenant à la Société des mineurs de cuivre, avaient envoyé à l'Exposition de 1867 des fontes brutes,

grises et blanches, avec lesquelles on fabrique des rails, des fers marchands et aussi des tôles à fer-blanc.

Usines des environs de Merthyr.

Les plus grandes et les plus riches des usines à fer galloises sont à Merthyr, ville située à l'extrémité de la vallée de la Taff, reliée avec Swansea par un embranchement du Great Western Railway, et avec Cardiff, par le canal de Glamorganshire et le Taff Vale Railway. Merthyr est pour ainsi dire la capitale de ces *rois du fer* (*iron kings*) qui gouvernent la sauvage population des mines et des usines du pays.

Nous avons déjà parlé des usines de Dowlais qui sont au nord de Merthyr. Celles de Cyfarthfa et d'Inisfach, appartenant à la famille Crawshay, se trouvent à l'ouest. L'usine de Cyfarthfa a été fondée en 1765 ; mais elle n'a commencé à s'accroître sérieusement que lorsqu'en 1783, elle devint la propriété de M. R. Crawshay. Elle compte maintenant 11 hauts fourneaux qui produisent chacun de 110 à 120 tonnes par semaine : on ne les pousse pas jusqu'à la limite de leur puissance, parce qu'on considère avec raison les trop fortes productions comme incompatibles avec la bonne qualité. L'air chaud est employé dans 5 hauts fourneaux sur 11. Les gaz servent à la génération de la vapeur, au chauffage du vent, ainsi qu'au séchage des moules dans les étuves de la fonderie : ils sont recueillis par le système *cup and cone*, presque général dans le pays de Galles. Les carneaux où circulent ces gaz servent de parapets à la plateforme des fourneaux, et des ouvertures permettent de les nettoyer facilement. On voit à Cyfarthfa de très-vieilles machines soufflantes qui fonctionnent encore.

La houille employée dans l'usine provient d'une houillère très-voisine. On extrait aussi sur place une quantité considérable de minerais houillers ; mais l'importation de minerais du Cumberland et d'ailleurs, par les ports de Cardiff, de Swansea et de Briton-Ferry, pour l'usage de l'usine, s'élève à 50,000 tonnes par an au moins. Le calcaire em-

ployé comme fondant dans les hauts fourneaux provient de l'extrémité nord du bassin ; les carrières touchent l'usine. Toutes ces matières sont apportées aux fourneaux par des chemins de fer et des *tramroads*.

L'usine de Plymouth, au sud de Merthyr, sur la route de Cardiff, fut fondée par M. Bacon, fils du premier propriétaire de Cyfarthfa. Actuellement elle comprend 10 hauts fourneaux soufflés par 3 machines soufflantes et 4 roues hydrauliques. Tous les hauts fourneaux sont soufflés à l'air froid (1865), parce que, dit-on, on ne veut que de la fonte de qualité supérieure. On ne prend les gaz qu'à un seul d'entre eux, et ils servent à produire la vapeur pour une machine soufflante. On extrait à Plymouth environ 290,000 tonnes de houille par an, et 40,000 tonnes de minerai houiller. Les propriétaires actuels de l'usine emploient dans leurs charges une plus grande quantité de coke et une moindre quantité de houille que leurs devanciers.

C'est M. Hill, l'un des anciens propriétaires de l'usine de Plymouth, qui eut le premier l'idée d'employer dans le fourneau les scories de finerie et de puddlage, et que le fit avec succès, en les mélangeant avec une gangue artificielle argileuse, dès 1831. Depuis cette époque, les maîtres de forges gallois ont usé et abusé même de l'invention de Hill ; ils sont obligés maintenant, poussés par la concurrence, de veiller plus soigneusement à la qualité de leurs produits.

L'usine de Penydarran est au nord de Merthyr, au-dessous de Dowlais ; elle est arrêtée depuis assez longtemps. C'est vers 1845 qu'elle était au faite de sa prospérité. Malgré son infortune actuelle, nous devons citer cette usine, qui a eu l'honneur de construire la première locomotive jamais construite en Grande-Bretagne. Cette machine fut faite en 1804, par MM. Trevithick et Vivian, pour porter le fer fabriqué à un port du Canal.

Ces diverses usines des environs de Merthyr ont longtemps employé, et emploient encore les moteurs hydrauliques distribués sur les canaux pour activer leurs souffleries et leurs trains de laminaires. Ce n'est qu'en 1840, que es

premiers trains de laminoirs, mus par la vapeur, furent mis en train à Cyfarthfa. Leur prospérité n'est plus maintenant ce qu'elle était autrefois : la concurrence des usines du Cleveland a fortement ébranlé la situation de l'industrie sidérurgique dans le pays de Galles.

Usines de Rhymney et Bute.

La vallée de Rhymney est contiguë à celle de Merthyr, et n'en est séparée que par les collines où s'adossent les hauts fourneaux. L'usine de Rhymney a été visitée par les ingénieurs prussiens que nous avons déjà cités, et nous en dirons quelques mots d'après eux.

Les hauts fourneaux y sont au nombre de 9, dont 7 en feu; il y en a de deux dimensions : les grands ont 15 mètres de haut, 6 mètres de diamètre au ventre, 4^m,20 au gueulard, et 2^m,40 à l'ouvrage ; les petits ont 15 mètres de haut, 4^m,20 de diamètre au ventre, 2^m,70 au gueulard et 2^m,25 à l'ouvrage. Ils sont soufflés par 3 tuyères, 6 à l'air chaud pour fonte de puddlage et 1 à l'air froid pour fonte de moulage.

On trouve à Rhymney un système d'appareils à air chaud assez particulier, du système hélicoïdal, qui a bien l'avantage de faire perdre peu de pression au vent, mais qui a beaucoup de joints dans le feu et est d'un entretien difficile et coûteux. Ce système est employé aussi à Dowlais, à Aberdare, etc.

Voici les consommations pour une tonne de fonte de puddlage :

Rendement du lit de fusion, 32,3 pour 100.

Production, 250 tonnes par semaine.

Consommation de coke	340 kil. par 1,000 kil. de fonte.		
— houille	1,360	—	—
— min. houiller grillé	1,130	—	—
— minerais divers	1,120	—	—
— scories	250	—	—
— castine	590	—	—

Usines de la compagnie d'Ebbw-Vale.

La vallée de l'Ebbw est parallèle aux précédentes et con-

tiguë à celle de Rhymney. Mais toutes les usines de la Compagnie d'Ebbw-Vale ne s'y trouvent point réunies : les 28 hauts fourneaux qu'elle possède sont répartis en plusieurs endroits, et l'un d'eux se trouve jusque dans la forêt de Dean ; tous ne sont pas en feu. En 1865, la Compagnie a produit 168,300 tonnes de fonte.

La Compagnie possède des houillères étendues qui ont produit près de 1 million de tonnes en 1865 ; elle exploite non-seulement les minerais houillers, mais aussi les célèbres mines de Brendon Hills et de Eisen Hill dans le Somersetshire, qui lui fournissent des minerais spathiques et des hématites brunes de première qualité. Les hauts fourneaux d'Ebbw-Vale, de Sirhowy, de Victoria, etc. (sur lesquels on trouvera des détails dans l'ouvrage de MM. Gruner et Lan), consomment du coke et non de la houille ; le coke est fabriqué avec de la houille lavée. L'emploi de la chaux vive en guise de castine est plus en faveur à Ebbw-Vale encore que dans d'autres usines du pays de Galles ; on prétend obtenir par ce moyen une économie importante de combustible ; cependant tous les ingénieurs gallois ne sont pas d'accord sur ce point. On fabrique des fontes à Bessemer avec les minerais de Somersetshire ; on les emploie aussi pour garnir les soles des puddlings, et toutes les scories qui en proviennent sont grillées et repassées au haut fourneau. Les gaz sont recueillis au moyen d'appareils *cup and cone* ; ce système a été inventé, comme on sait, par M. Parry, ingénieur de la Compagnie d'Ebbw-Vale, connu des lecteurs de la *Revue*, par son intéressante notice sur le chargement des hauts fourneaux, publiée en 1859. La production des hauts fourneaux est d'environ 250 tonnes par semaine chacun.

On remarque à Ebbw-Vale la plus grande machine soufflante qui ait été faite ; elle a un cylindre soufflant des mêmes dimensions que celui de Dowlais, mais le cylindre vapeur est plus grand. On la nomme la *Darby*, en l'honneur de l'un des premiers fondateurs de la Compagnie.

C'est un machine à balancier symétrique, avec la bielle du

volant articulée entre le centre d'oscillation et la tige du piston moteur. Le balancier est en fonte à l'air froid de Pontypool, formé de deux flasques distantes de 90 centimètres environ et hautes de 2^m,14 en leur milieu. La grande bielle est une solide pièce de forge à jour, remplie de chêne anglais bien serré ; elle a 9^m,607 de longueur de centre en centre. Voici les principales données de son établissement :

Diamètre du cylindre vapeur..	1 ^m ,83
Diamètre du cylindre soufflant.	3 ,66
Course commune.	3 ,66
Distribution de vapeur à soupapes à double siège.	
Section d'aspiration du vent. . .	1/5 de surface du piston.
Section de refoulement du vent .	Idem.
Diamètre du volant	9 ^m ,35
Poids du volant.	8,000 kilogrammes.

Cette machine, en faisant 17 tours, doit souffler 4 hauts fourneaux et 2 feux de finerie avec une pression de 208 millimètres de mercure : elle est alimentée par 9 chaudières chauffées par les gaz de 3 fourneaux, avec de la vapeur à 2 atmosphères trois quarts. Mais peu de temps après sa mise en train (août 1866), il survint divers accidents qui obligèrent à changer un grand nombre de pièces de la machine : l'arbre cassa, le volant perdit son aplomb ; il était trop léger, ainsi que ses paliers. Actuellement le nouvel arbre, forgé par la Compagnie de Millwall, a des tourillons de 50 centimètres de diamètre et 90 centimètres de longueur au lieu de 40 et 60 centimètres ; les nouveaux paliers pèsent 10 tonnes chacun au lieu de 3 tonnes ; le nouveau volant pèse 40 tonnes.

Ces détails, reproduits d'après M. Colburn, suffisent pour prouver que cette énorme soufflerie est une déplorable machine, et l'on aurait beaucoup mieux employé la somme énorme qu'elle a coûté en construisant plusieurs machines de dimensions moins colossales.

La Compagnie d'Ebbw-Vale n'était pas représentée à l'Exposition.

Usine de Blaenavon.

L'usine de Blaenavon comprend 6 hauts fourneaux, qui marchent tous à l'air froid, pour produire les fontes si réputées en Angleterre par leurs qualités résistantes. Ces fourneaux ont 14 mètres de hauteur et 4^m,75 de diamètre au ventre environ. Destinés à produire de la fonte grise, ils diffèrent de la plupart des hauts fourneaux du pays de Galles, par l'existence d'un ouvrage et d'étagères. Ils traitent surtout des minerais houillers grillés, entre autres ceux dits *Bottom Vein* et *Black Pins*, avec du coke et non de la houille crue. Leur production journalière est de 14 à 15 tonnes de fonte grise : ils sont soufflés par 3 tuyères avec du vent froid à 15 centimètres de mercure de pression. Le rendement des minerais est de 35 à 40 pour 100, et la consommation du coke par tonne de fonte paraît être d'environ 2,000 kilogrammes, d'après MM. Gruner et Lan ⁽¹⁾. L'usine avait exposé toute une série de ses fontes à l'air froid avec l'indication de leurs usages. Ces fontes étaient les suivantes :

Le numéro 1 de fonderie ; qualité résistante employée pour les canons. Il avait le grain ouvert, mais sans graphite et avec des taches à grain plus serré.

Le numéro 2 de fonderie, employé beaucoup par les fabricants de clous, présentait aussi des taches à grain serré.

Le numéro 3 de fonderie, très-résistant, mais moins doux que les précédents, est employé aussi pour donner beaucoup de nerf au fer brut laminé. Il a le grain ouvert au milieu du gueuset et serré sur les bords.

Le *grey forge* (fonte grise de forge) est employé pour la fonderie comme pour la forge : cette sorte est à grain ouvert, douce, très-résistante, propre à adoucir ou à tempérer des qualités plus dures. Elle fournit de très-bons fers.

Le *strong forge* (gris, à grain de n° 4, un peu truité) est

⁽¹⁾ Les chiffres donnés par M. Percy, d'après M. Finch, t. III, p. 379, ne paraissent point concorder entre eux.

employé pour les cylindres de laminoirs et pour donner de la résistance aux fontes de forge plus faibles.

Le *common forge* (gris, à grain de n° 3) s'emploie en fonderie pour des pièces lourdes, comme arbres, grandes roues, glissières, cylindres à vapeur et à vent, etc., aussi bien que pour la forge (fers à câble, boulons, tôles de chaudière, fers marchands supérieurs B B). Il est très-résistant.

Le *bright* (gris clair à grain fin de n° 4 avec des arrachements) s'emploie pour les moulages trempés (cylindres et projectiles).

Le *mottled* (truité gris) est employé aussi pour des cylindres trempés ou en mélange pour d'autres buts analogues.

L'usine de Blaenavon avait exposé des chiffres de résistance, d'après un rapport à la Chambre des communes. Les voici : 1° moyenne de 57 variétés de fonte (y compris Blaenavon).

Pesanteur spécifique	7 ^k ,140	(essais sur 850 spécimens).
Charge de rupture à la traction	16 ,463	par mill. car. (ess. sur 850 sp.).
— à la flexion.	5 ,027	(— 546 sp.).
— à l'écrasement	64 ,471	(— 273 sp.).

2° Moyenne de 5 numéros de fonte Blaenavon seule.

Pesanteur spécifique	7 ^k ,175	(essais sur 63 spécimens.)
— à la traction	18 ,112	(— 63 spécimens.)
— à la flexion.	5 ,297	(— 46 spécimens.)
— à l'écrasement	76 ,667	(— 21 spécimens.)

La rupture à la flexion était produite en appliquant la charge sur une barre encastrée de 25 millimètres de côté à une distance de 25 millimètres du point d'encastrement.

Ces chiffres indiquent une fonte de bonne qualité résistante, mais ne présentant rien de bien exceptionnel sous ce rapport.

Nos fontes françaises atteignent facilement des résistances égales à celles de la fonte de Blaenavon, sans être fabriquées à l'air froid. M. Love, dans son ouvrage *sur les Résistances de la fonte, du fer et de l'acier*, cite des expériences sur la

résistance à la traction de quelques fontes françaises, parmi lesquelles on trouve :

Fonte de 2 ^e fusion.	Marquise . .	18 ^k ,320	par millimètre carré.
—	Bességes . .	18 ,000	—
Fonte de 1 ^{re} fusion.	Tortieron . .	20 ,800	—
—	Montluçon .	18 ,560	—

Ces fontes étaient fabriquées avec des minerais indigènes plus ou moins impurs. Nous regrettons de ne pas avoir des chiffres analogues pour les fontes que fabriquent maintenant les usines de Bességes, Saint-Louis, Creusot, etc., avec les minerais riches et purs du littoral méditerranéen ; nous croyons qu'ils seraient bien supérieurs à ceux des fontes de Blaenavon. La composition de ces dernières, qu'on trouve dans Percy, n'a rien de remarquable que la faible teneur en silicum, particularité qui se retrouve aussi dans les fontes de moulage fabriquées avec les minerais riches de la Méditerranée. Les fontes de Blaenavon sont fort chères : on les cotait, en mars 1867, de 150 à 152 francs les 1,000 kilogrammes (d'après l'*Engineering*).

Usines de la Forêt de Dean.

Malgré l'excellente qualité de leurs minerais (hématites brunes manganésées), les hauts fourneaux de la forêt de Dean paraissent dans un état peu prospère. Une seule usine est en complet roulement, celle de Cinderford, qui avait exposé un magnifique échantillon de minerai stalactiforme, et ses fontes (grises à grain n° 2) employées pour la fabrication des tôles au bois et du fer-blanc dans les usines de la vallée de Neath.

Comme on l'a vu, notre groupe du pays de Galles peut produire des fontes des qualités les plus diverses, grâce à la variété de ses minerais et de ses combustibles ; mais la fabrication n'y a pas encore fait les mêmes progrès que dans les groupes plus récemment développés du Cleveland et des Laes.

Le prix des fontes galloises sur le marché varie beaucoup.

suivant qu'elles sont grises ou blanches, à l'air froid ou à l'air chaud, de minerais houillers, de minerais hydratés, d'hématites ou de scories (*cinder*) pures ou mélangés. Les écarts de prix entre les qualités extrêmes dépassent même 60 francs par tonne, c'est-à-dire que les prix peuvent varier du simple au double. D'après M. R. Hunt, les fontes de minerai galloises, ont eu pour prix de vente moyen, en 1866, 111 francs environ, le prix le plus élevé étant de 125 francs, et le plus bas, 106 fr. 50 c. ; mais ce prix s'applique probablement à de très-bonnes marques.

Notre groupe a produit, en 1865, 924,163 tonnes de fonte, et en 1866, 1,002,079 tonnes avec 208 hauts fourneaux, dont 142 en feu, c'est-à-dire 7,057 tonnes par fourneau et par an en moyenne.

RÉSUMÉ.

Après l'examen détaillé auquel nous venons de nous livrer, il convient de faire ressortir quelle est la situation actuelle de la production de la fonte chez nos voisins, en la comparant à la nôtre. Il est inutile d'expliquer pourquoi cette situation a une importance de premier ordre pour l'industrie du fer tout entière : malgré les progrès de notre art, il n'y a encore à l'horizon aucun procédé réellement commercial pour la fabrication directe des fers et des aciers avec les minerais.

La fabrication de la fonte en Grande-Bretagne est entrée depuis un an ou deux dans une troisième période de son existence. La *première période* a pris fin en 1740 : avant cette date, l'Angleterre possédait un très-grand nombre de hauts fourneaux au charbon de bois, qui traitaient surtout des minerais recueillis dans les forêts ; les comtés les plus producteurs de fonte étaient ceux de Sussex et de Kent⁽¹⁾. Mais le

(1) On voyait à Londres, en 1862, dans la collection du docteur Price, un spécimen du minerai, que l'on exploitait autrefois dans les formations wealdiennes du Kent et du Sussex et qui alimentait les au-

déboisement élevait de plus en plus le prix des bois et des charbons; en 1584, sous le règne d'Élisabeth, il était déjà tel, que le Parlement crut devoir passer un acte pour la préservation des forêts. En 1740, le charbon était devenu si rare, que la production de la fonte était tombée, pour tout le royaume, à 17,610 tonnes, produites par 59 hauts fourneaux. Les maîtres de forge furent bien obligés d'en revenir aux procédés de Dud Dudley pour fondre le fer à la houille, procédés qu'ils avaient repoussés et décriés un siècle auparavant. Ce fut le commencement de la *seconde période*. Les usines à fonte émigrèrent toutes sur les bassins houillers, abandonnant les comtés wealdiens où elles avaient si longtemps prospéré. En 1788, la production de fonte au coke était déjà quadruple de celle de fonte au charbon de bois, et la Grande-Bretagne produisait en tout 70,000 tonnes de fonte environ. Les nouveaux centres de production se développaient rapidement : le Staffordshire, le pays de Galles, le Yorkshire, l'Écosse voyaient s'agglomérer les hauts fourneaux. Les minerais autres que ceux extraits des houillères tombaient peu à peu en désuétude; les hauts fourneaux au charbon de bois disparaissaient presque complètement. Les qualités de fontes et de fers se spécialisaient suivant les districts. Le pays de Galles devenait la région des fontes communes, même médiocres, fabriquées par ses rudes habitants, avec des minerais houillers médiocres, plus ou moins mélangés de scories, et les houilles grasses de son bassin. Le Staffordshire, possédant des minerais et des combustibles plus purs, devenait la région des bonnes fontes à fers ordinaires. Le Yorkshire, avec ses excellents combustibles et l'industrie intelligente de ses hommes, fournissait les fers supérieurs. L'Écosse tirant de son riche bassin les blackbands et les houilles aptes à être employées crues au haut fourneau, inondait bientôt le monde de ses excellentes fontes de moulage. Aussi la fabrication de la fonte arriva bientôt à ce

ciennes usines de ces contrées, usines dont un des rares souvenirs qui restent est la balustrade en fer qui entoure Saint-Paul, à Londres.

degré de puissance et d'économie qui fit de la Grande-Bretagne la souveraine du commerce du fer.

Mais chacun de ces districts, favorisé par le bas prix des combustibles et des minerais, s'appliqua peu à perfectionner beaucoup ses méthodes et ses appareils; aussi, comme il était arrivé pour le charbon de bois, on put s'apercevoir, il y a déjà quelques années, que les prix de la houille et des minerais houillers devraient bientôt forcément s'élever. Des maîtres de forge intelligents allèrent hardiment installer des usines sur des gisements ferrifères éloignés de la houille, et jusqu'alors dédaignés, dans le Cleveland, dans le Cumberland, par exemple. Leurs fontes, fabriquées avec une économie plus grande, vinrent bientôt lutter sur les marchés avec celles des anciens districts. Le Cleveland fabriquait uniquement les fontes pour moulage et pour fers communs; le Lake district les fontes d'hématite. L'invention du procédé Bessemer, l'importance prise par la consommation de l'acier dans la mécanique et dans la construction, puis l'invention de divers procédés de fabrication exigeant tous des fontes spéciales, plus ou moins pures, ont achevé de mettre fin à l'ancien état de choses. Le temps est passé où l'on pouvait dire, comme on ne s'en faisait pas faute en France, que les Anglais ne faisaient que mettre au hasard dans leurs fourneaux des blocs de minerais et de houille extraits des mêmes puits, pour obtenir des fontes bon marché, mais bien inférieures à nos fontes françaises.

Une *troisième période* a commencé : les usines à fonte subissent une nouvelle perturbation; se raréfiant sur les bassins houillers, elles se condensent à proximité des gîtes de minerais oolithiques, liasiques, carbonifères, devoniens, etc. Le combustible, ayant des transports à supporter, coûte un peu plus cher, mais on l'économise davantage; on recueille et on emploie les gaz des hauts fourneaux, on chauffe le vent à des températures élevées, et en même temps on fabrique des fontes de qualités définies et spéciales qui luttent avec succès contre celles des anciens districts. Dans ceux-ci, les hauts fourneaux sont obligés, pour satisfaire aux besoins

modernes et pour subsister, de faire venir des minerais étrangers à leur bassin, et d'appliquer les perfectionnements qui leur viennent de leurs concurrents. Beaucoup d'entre eux passent par une crise violente d'où ils ne peuvent sortir victorieux qu'en transformant leurs systèmes de fabrication et leurs produits.

Ces faits ayant été plus ou moins vaguement connus de diverses personnes pendant l'Exposition de 1867, en même temps qu'elles constataient la pénurie de la classe 40 de la section anglaise, elles se sont hâtées de conclure, en signalant d'autre part les progrès de notre sidérurgie française, que c'en était fait de la supériorité de nos voisins, que le tour de la France était arrivé et que les barrières douanières pouvaient s'abaisser sans danger.

Cette conclusion flatteuse pour notre orgueil national a fait le tour d'un certain public, et, arrivant à la connaissance de nos voisins, a suscité une inquiétude qui s'est manifestée en diverses occasions.

On connaît fort peu en Angleterre ce qui se passe en France; il est facile de s'en apercevoir en lisant, par exemple, les *Proceedings* de l'*Institution of Mechanical Engineers* (1865), où l'on voit des ingénieurs, dont le nom fait autorité chez nos voisins, déclarer qu'en France on aspire le gaz dans les hauts fourneaux avec des ventilateurs, qu'on les prend très-profondément au-dessous du gueulard; en lisant encore l'*Engineer*, journal très-répandu et très-lu, qui, en pleine Exposition de 1867, déclare que pour tirer tout le parti possible des minerais d'Algérie, il faut des houilles anglaises, parce que le bassin houiller du Gard, fournissant peu de charbon, a ses débouchés vers le Nord. Les premiers industriels anglais qui sont venus à Paris en 1867 et qui ont constaté l'état de la sidérurgie en France, état mis en évidence avec cet art de la mise en scène que nos fabricants de fer, comme les boutiquiers de Paris, possèdent à fond, sont retournés chez eux très-étonnés, et ont créé une véritable émotion dans le public britannique. Cette émotion a été telle, que dans la session annuelle de l'Association britan-

nique qui s'est tenue en 1867 à Dundee, plusieurs maîtres de forges ont cru devoir prendre la parole pour rassurer leurs compatriotes. M. Fernie (des forges de Clarence, à Leeds) et M. Bell (des hauts fourneaux de Clarence, près Newcastle) ont plus ou moins longuement déclaré que leur pays conservait toujours la même place à la tête de l'industrie du fer. Le Mémoire de M. Bell, que nous avons lu, mérite quelques réflexions. Il est certainement dans le vrai quand il dit que le pays qui a vu naître les Dud Dudley, les Darby, les Cort, les Rogers, les Watt, les Neilson, les Nasmyth, les Armstrong, les Bessemer, les Siemens, peut regarder l'avenir sans crainte; le passé répond de cet avenir. Mais, nous regrettons de voir un maître de forges comme M. Bell faire peu de cas des travaux des Karsten, des Scheerer, des Tunner et déclarer que, pour le haut fourneau comme pour le four à puddler, le succès dépend surtout de l'ouvrier, et que, comme l'ouvrier du continent est tout aussi ignorant en chimie que l'ouvrier anglais, il n'y a pas plus de supériorité d'un côté que de l'autre. Une pareille assertion émise publiquement dans une circonstance pareille, n'est pas faite pour mériter aux maîtres de forges anglais la réputation d'hommes de progrès. M. Bell avoue ensuite que la nécessité nous a appris à mieux utiliser le combustible que chez nos voisins, et que nous sommes aussi experts qu'eux en matière de laminage. Puis, faisant le bilan comparé des deux industries rivales, il place à l'avantage de la France :

1° Des redevances moindres sur la houille et le minerai de fer (circonstance insignifiante, suivant nous, puisque le prix de revient final seul doit être mis en cause).

2° Des transports kilométriques un peu moins coûteux (mais des distances bien plus longues à parcourir par la voie ferrée).

3° Un coût de la main-d'œuvre notablement moins élevé.

Mais à ces avantages, il oppose les bassins houillers de la Grande-Bretagne et les facilités qu'elle possède pour les communications; aussi ne court-elle aucun risque de perdre sa souveraineté sidérurgique.

Tout récemment une circonstance nouvelle a réveillé l'émotion dans le public anglais. Quatre lettres, signées par M. Plimsoll, viennent de paraître dans le *Times* (février 1868), sur l'industrie du fer (*The Iron Trade*). Cet écrivain déclare qu'il a parcouru l'Angleterre et le continent pour étudier le meilleur emploi du combustible dans la sidérurgie, et il annonce à ses compatriotes qu'ils sont fort en retard et qu'ils ont beaucoup à apprendre, sous ce rapport, en Belgique et en France. Entre autres choses, M. Plimsoll conseille aux maîtres de forge anglais d'opérer plus soigneusement le chargement des matières dans les hauts fourneaux, de perfectionner leurs fours à coke, qui laissent beaucoup à désirer, d'organiser des expositions sidérurgiques ayant pour but de mettre en rapport les divers groupes les uns avec les autres et de répandre les perfectionnements utiles. Les lettres de M. Plimsoll, malgré son inexpérience évidente de la métallurgie, malgré les quelques idées bizarres et inexactes qu'il mélange à ses impressions de voyage, et malgré les erreurs qu'il commet en généralisant pour toute l'industrie anglaise des observations recueillies dans quelques usines arriérées, n'en renferment pas moins quelques bonnes vérités que nos voisins, avec leur sens pratique, ne laisseront pas improductives.

Notre examen des usines à fonte anglaises démontre, croyons-nous, d'une façon incontestable, qu'elles sont inférieures aux usines françaises et belges sous divers rapports :

1° La carbonisation de la houille se fait mal et peu économiquement, presque dans tous les bassins ;

2° La consommation de combustible dans les hauts fourneaux est très-exagérée dans le Yorkshire et le Staffordshire ;

3° L'emploi des gaz pour le chauffage du vent et la production de la vapeur est encore dans l'enfance, si ce n'est dans le Cleveland et dans quelques usines du pays de Galles ;

4° La fabrication des fontes spéciales est moins avancée qu'en France.

Mais l'énoncé seul de ces faits démontre que l'Angleterre, malgré le renchérissement de la houille et des minerais, peut encore réduire ses prix de revient en perfectionnant sa fabrica-

tion, et conserver ainsi la supériorité qu'elle leur doit surtout.

Prétendrait-on que les minerais de qualité supérieure lui feront défaut? Nous rappellerions alors les minerais magnétiques du Devonshire, du Cornwall, du Yorkshire; les fers spathiques du Cornwall, du Somersetshire, du Devonshire, du Northumberland; les hématites rouges du Cumberland, du Lancashire, du pays de Galles; les hématites brunes de la forêt de Dean, du Cornwall, du Devonshire, les minerais hydratés du Lincolnshire, du Froghall, etc. Nous dirions que bon nombre de ces gisements sont encore à peine exploités, que beaucoup restent à découvrir. Ainsi M. E. Rogers, pour ne citer que lui, frappé de la situation géologique des fers spathiques du Nassau et des oligistes oolithiques de Namur, a trouvé, par la recherche de localités analogues, des gisements importants à Brendon-Hills et à Whitchurch. L'Écosse paraissait à bout de ressources: nous lisons dans l'*Engineering* du 21 février 1868, qu'on y découvre des gisements d'hématite jusqu'alors inconnus.

Mais, sans escompter l'avenir, le présent est assez beau.

D'après les *Mineral Statistics* de M. Hunt, et d'après un Mémoire tout récent du même auteur, publié dans le *Quarterly Journal of science*, on peut diviser ainsi qu'il suit les 9,809,988 tonnes de minerai de fer que produit annuellement (1866) la Grande-Bretagne :

Hématites rouges. . . à 65,13	% de fer.	15	%	soit env.	24	% du fer total contenu.		
Oxydes magnétiques, à 56,10	—	2	—	2 1/2	—			
Hématites brunes. . . à 41,40	—	13	—	12 1/2	—			
Minerai oolithique, à 35,60	—	26	—	23	—			
Fers spathiques. . . à 40,95	—	2	—	2	—			
Blackbands à 37,8	—	} 42	—	36	—			
Carbonates lithoïdes, à 30,68	—							
		<hr/>		<hr/>				
		100		100				

Sur les 9,809,988 tonnes extraites et qui coûtent en moyenne 7 fr. 94 c. la tonne, il y en a 32 pour 100 de qualité supérieure, et qui représentent les 41 pour 100 de la masse totale de fer contenu dans l'ensemble des minerais.

Aux 9,809,988 tonnes extraites en 1866, il faut ajouter 57,538 tonnes importées de l'étranger, ce qui donne un total de 9,867,526 tonnes de minerais transformés en 4,591,754 tonnes de fonte. Le rendement moyen a donc été 46,50 pour 100, et le prix de revient moyen de la fonte, d'après M. Hunt, a été 61 fr. 50 c. par 1,000 kilogrammes.

En France, le rendement moyen des minerais a été, en 1863, 35 pour 100 seulement, d'après les documents officiels, et le prix de revient moyen de la tonne de fonte 118 fr. 50 c. Nous sommes donc malheureusement encore loin de pouvoir lutter à armes égales avec nos voisins, malgré les changements apportés depuis 1863 par l'importation de minerais méditerranéens.

La France a fait depuis quelques années des progrès considérables; l'*âge de l'acier*, qui commence, semble lui promettre de voir diminuer beaucoup l'intervalle qui la séparait de sa rivale insulaire dans l'*âge du fer à la houille*. Mais il ne faut pas se bercer d'illusions et se figurer que cet intervalle est déjà comblé. L'Angleterre a des minerais tout aussi abondants, tout aussi purs que les nôtres; elle a ses magnifiques bassins houillers, enfin elle possède son système inimitable de voies de communication maritimes, fluviales et ferrées. Si elle est en retard pour certains détails de fabrication, elle possède tout ce qu'il faut pour rétablir vite l'équilibre, et elle s'en occupe déjà activement, témoin les faits que nous avons rapportés.

Nous terminerons en donnant le tableau de la production dans chacun de nos groupes en 1866 :

GROUPES.	NOMBRE d'usines actives.	NOMBRE de fourneaux construits.	NOMBRE de fourneaux en feu.	QUANTITÉ de fonte produites.
Écosse. . . .	27	165	98	1,008,910 tonnes.
Nord-Est . .	28	155	108 1/2	908,845 —
Lacs.	7	43	31	411,098 —
Centre. . . .	40	128	99 1/3	571,330 —
Staffordshire.	69	206	140	689,490 —
Galles	44	208	142	1,002,079 —
Totaux.	215	905	648	4,591,752 tonnes.

L'Angleterre produit donc environ quatre fois autant de fonte que la France, avec un nombre de hauts fourneaux à peine double.

Nous passerons maintenant à l'étude des usines à fonte de Suède et de Norwége.

CHAPITRE III. — SUÈDE ET NORWÈGE.

Les produits industriels du Royaume-Uni de Suède et de Norwége ont occupé, à l'Exposition de 1867, une place des plus honorables, non-seulement dans la métallurgie, mais aussi dans les branches les plus diverses. Nous croyons qu'il est peu de visiteurs du palais du Champ de Mars qui n'aient été frappés de la somme considérable d'industrie et de travail manifestée par ce pays relativement petit. Si la Suède, depuis quelque temps, a joué un rôle peu important dans la politique européenne, elle a certainement conquis une grande place dans le commerce continental, par les développements qu'elle a su donner à son industrie. Elle a avancé sous ce rapport, et dans des directions bien variées, plusieurs grands États pourvus cependant de ressources naturelles au moins aussi abondantes.

L'exposition métallurgique scandinave, organisée avec une méthode rare, présentait un intérêt de premier ordre pour le visiteur compétent. On y trouvait à sa disposition les renseignements les plus circonstanciés, fournis avec une inaltérable complaisance par M. Rinman, l'un des directeurs de l'Association des maîtres de forges suédois, chargé de représenter à l'Exposition les intérêts métallurgiques de son pays. Nous lui devons la majeure partie des notes que nous publions ici, et il n'est que juste de lui en témoigner notre reconnaissance. Nous rappellerons que la sidérurgie scandinave a déjà fait l'objet de mémoires dans les *Annales des Mines* par MM. Leplay et Durocher, en 1843, 1846 et 1856. En Allemagne, M. Tunner en 1858, et M. Mosler en 1866 ont

publié des impressions de voyages métallurgiques en Suède et Norvège.

La superficie de la Suède est de 441,575 kilomètres carrés, dont 42,622 kilomètres carrés sont occupés par des lacs; la population était, à la fin de 1865, 4,114,141 individus, soit en moyenne 10,3 habitants par kilomètre carré de surface (déduction faite des lacs). Cette population est très-inégalement répartie, puisque certains départements du Sud comptent plus de 67 habitants par kilomètre carré, alors que, dans les départements du Nord, on ne trouve pas un habitant par kilomètre carré.

La Norvège occupe 315,000 kilomètres carrés et possède une population de 1,700,000 habitants, soit 5,40 individus par kilomètre carré.

La constitution géologique de la Suède est fort simple : presque toute son étendue se compose de terrains primitifs, principalement des gneiss, quelquefois aussi des mica-schistes et des quartzites. Les terrains de transition n'existent que dans quelques localités assez restreintes : la formation silurienne dans la pointe sud-ouest de la Suède, et dans le voisinage des lacs Wener et Wetter, la formation devonienne dans le voisinage du lac Siljan en Dalécarlie. Dans l'extrême sud de la Suède, on trouve quelques terrains triasiques et liasiques avec des couches de lignites à Hogenas, voire même quelques îlots de terrain crétacé. Nous ne parlons pas des couches d'alluvions anciennes et récentes, et des blocs erratiques qui se trouvent par bandes dans le sud et le centre de la Suède. Les terrains primitifs seuls présentent en Suède de l'intérêt pour l'industrie minière.

La géologie de la Norvège est tout aussi simple; presque partout des terrains primitifs, schistes cristallins et gneiss, sauf quelques lambeaux des trois formations de transition. Les terrains secondaires et tertiaires manquent complètement, et il n'y a point d'intervalle entre les terrains primitifs ou de transition, et les alluvions post-pliocènes qui reposent sur eux.

PREMIER GROUPE.

SUÈDE.

Nous étudierons d'abord les minerais, puis les combustibles, en donnant quelques détails sur l'organisation des mines en Suède ; puis nous passerons aux usines à fonte et à leurs produits.

Minerais.

Presque tous les minerais suédois sont des *minerais de roche* extraits de gites situés dans des roches primitives schisteuses, comme les micaschistes, les gneiss, etc. Une seule exception est relative aux *minerais de lacs* ou *de marais*. Ces derniers proviennent de dépôts ferrifères qui se forment dans les nombreux lacs et marais du pays, surtout dans les départements méridionaux (Calmar, Jönköping et Kronoberg). Ils se présentent sous forme de grains aplatis ou de plaquettes, de couleur ocreuse, formés de couches concentriques, et de grosseur très-variable. D'après M. Sjögren, ces grains ferrugineux ne seraient autre que le sépulcre d'un petit animal microscopique. Ils sont passablement chargés de soufre et de phosphore, et leur teneur en fer est d'environ 27 à 30 pour 100 en moyenne. On les emploie presque uniquement pour fabriquer des fontes de moulage destinées au commerce, dans les usines de la province de Smaland. Leur extraction n'offre plus une grande importance depuis 1856 : antérieurement à cette date, on en consommait davantage, parce que les seules fontes dont l'exportation fût permise étaient celles fabriquées avec ces minerais. Toutefois, en 1865, on a encore retiré du fond des lacs 20,298 tonnes de minerais.

Les *minerais de roche* offrent une très-grande variété. Ils diffèrent, et par leur teneur en fer, et par la nature des gangues qui les accompagnent, et par leur degré d'oxydation ; on pourrait ajouter aussi qu'ils diffèrent encore par leur densité.

La teneur en fer varie dans des limites très-étendues, depuis 28 pour 100, comme dans le minerai de Taberg (Jönköping).

ping), jusqu'à 70 pour 100, comme dans celui de Bisberg.

Les gangues des minerais de fer suédois sont le plus souvent le quartz seul, ou mêlé avec de petites quantités d'autres minéraux, comme dans les minerais d'Utoë, dans plusieurs de ceux de Norberg, de Graesberg, de Lomberg, de Ramsberg, de Linde, de Nora, de la province de Sudermanie, etc.; d'autres fois la chaux, comme dans plusieurs mines de Nora; quelquefois encore le grenat, l'épidote et d'autres minéraux fusibles, comme dans les mines de Persberg, Dannemora, Svartvik, etc., accompagnés du quartz ou de la chaux en diverses proportions.

Sous le rapport de l'état d'oxydation, les minerais peuvent être distingués en deux grandes catégories : ceux qui renferment le fer à l'état d'oxyde magnétique ou *minerais noirs*, et ceux qui le renferment à l'état de peroxyde. Ces derniers sont presque toujours siliceux et forment de vastes gîtes. Les deux espèces sont souvent mêlées. Les hématites rouges et les fers spathiques sont des raretés minéralogiques en Suède; on trouve quelques minerais lithoïdes dans le terrain houiller de Högenas seulement.

Voici, d'après M. Rinman, un tableau indiquant le nombre des mines, la quantité de minerai extraite et le nombre d'ouvriers employés en 1865 :

Provinces.	Nombre de mines.	Minerais.	Ouvriers.
Norrbotten. . . .	6	1,211 tonnes.	13
Jemtland.	3	138 —	5
Gefleborg.	31	13,659 —	262
Upsala.	32	27,795 —	569
Stockholm.	38	22,576 —	405
Stora-Kopparberg.	114	136,888 —	1,004
Westerås.	45	62,981 —	306
Oerebro.	147	109,289 —	1,208
Carlstad.	55	93,293 —	807
Nyköping.	20	12,587 —	255
Oester-Götland. .	6	5,270 —	44
Calmar.	4	1,135 —	112
Jönköping.	22	5,533 —	57
Kronoberg.	1	119 —	»
Totaux.	524	492,474 tonnes.	5,060

On voit que la plupart des mines sont dans les provinces de Stora-Kopparberg et d'Oerebro. Dans la première, ce sont surtout les grands gisements de Graengesberg, de Norrbecke et de Bispberg qui alimentent les principales exploitations. Dans la seconde, ce sont ceux de Nora, de Linde, de Nya-Kopparberg et de Høgborn. Les autres gîtes les plus connus sont ceux de Gellivara dans le Norrbotten, de Dannemora dans la province d'Upsal, de Norberg dans celle de Westeraes, de Persberg dans celle de Carlstad, et de Taberg dans celle de Jönköping.

Les mines s'exploitent généralement à ciel ouvert, par grandes excavations ou fentes creusées dans les filons ou amas de minerais dont l'inclinaison est presque toujours rapprochée de la verticale. On soutient avec des boisages les terres qui forment le bord supérieur de l'excavation, et on laisse le toit et le mur, formés de schistes cristallins solides, se soutenir d'eux-mêmes en ménageant seulement, de distance en distance, lors de l'abatage, de petits arceaux de roche. Le minerai est abattu à la poudre : on emploie depuis quelque temps dans certaines mines, pour forer les trous de mine, un appareil perforateur qui figurait à l'Exposition, inventé par M. Bergstrom. On a essayé la nitro-glycérine pour remplacer la poudre ; mais les dangers que présente son emploi l'ont empêché de s'étendre. L'épuisement est effectué au moyen de pompes en bois ou de bennes suivant l'importance des mines. L'extraction avec des bennes est faite au moyen de treuils ou de machines à molettes, suivant la profondeur des excavations. La force motrice est empruntée la plupart du temps à des chutes d'eau ; toutefois, à cause de la situation des mines, on ne le peut pas toujours, bien que l'on ait établi, dans plusieurs localités, des transmissions en bois (perches horizontales à mouvement de va-et-vient, soutenues au moyen de leviers oscillants sur des poteaux), qui transportent la force à de grandes distances, même jusqu'à une demi-lieue (mines de Dannemora, par exemple). On a eu recours aux machines à vapeur et on en trouve aujourd'hui quarante et une employées à cet usage.

Le salaire des ouvriers varie entre 1 fr. 50 c. et 2 fr. 50 c. par

jour. Le prix de revient des minerais est très-peu élevé et varie, d'après M. Mosler, de 5 à 10 francs la tonne de 1,000 kilogrammes, sur le carreau de la mine.

Tous ces minerais sont consommés dans le pays même. Toutefois, on exporte pour la Finlande quelques faibles quantités de minerai d'Utoë.

Tous les minerais de roche suédois ont une pureté remarquable, au point de vue du soufre et du phosphore, si on les compare à la plupart des minerais anglais et français. Quand ils sont accompagnés de pyrites, on les grille de façon à éliminer presque complètement le soufre, ainsi que nous le dirons; lorsqu'ils contiennent en même temps du carbonate de chaux, la disparition complète du soufre est rendue plus difficile, parce qu'il se forme du plâtre que la chaleur ne décompose pas et qui ne peut être séparé qu'au moyen de l'eau. Les minerais dont la gangue renferme de l'apatite ou phosphate de chaux, donnent un fer plus ou moins cassant à froid, comme on le sait, suivant la proportion de phosphore présente. Heureusement, d'après M. Rinman, ces minerais sont peu nombreux; et même on les utilise dans certains cas, au moins tant que la proportion de phosphore ne dépasse pas une certaine limite, par exemple pour la fabrication des fontes de moulage, des tôles à chaudières, etc.

On se préoccupe beaucoup, en Suède, de la teneur en phosphore des fers, des fontes et, par suite, des minerais. C'est à l'absence du phosphore qu'on attribue surtout la qualité spéciale des fers de Suède pour la cémentation, appelée *boddy* par les Anglais, et *propension acièreuse*, par M. Leplay. Il est, en effet, très-remarquable, comme le dit M. Rinman dans sa brochure : *Quelques renseignements sur la fabrication des fers et aciers de la Suède*, de voir que la proportion de phosphore qu'ils renferment classe les minerais et les fontes, etc., presque dans le même ordre que M. Leplay leur avait attribué, d'après les prix courants du marché de Sheffield (1).

(1) Voir *Mémoire sur la fabrication et le commerce des fers et aciers dans le nord de l'Europe*, par M. Leplay.

La proportion de phosphore ne dépasse pas 0,005 pour 100 dans les minerais de Dannemora, de Bispherg, de Persberg et de plusieurs autres mines. Ailleurs, comme dans les minerais de Gellivara, de Graengesberg et quelques autres, cette proportion est plus considérable et s'élève quelquefois à 1,5 et même 2 pour 100. Ces proportions peuvent paraître très-considérables, mais il faut se rappeler que la fonte n'absorbe pas tout le phosphore du lit de fusion, et que les minerais les plus phosphoreux sont toujours mélangés avec d'autres, de telle sorte que la fonte fabriquée ne renferme qu'environ 0,15 pour 100 de phosphore. Dans le même champ d'exploitation, on trouve souvent des minerais qui renferment moins de phosphore les uns que les autres, de sorte que plusieurs mines, même de Gellivara et de Graengesberg, etc, peuvent fournir du fer de qualité suffisante pour les emplois ordinaires; dans d'autres, on extrait des minerais qui ne renferment pas du tout de phosphore, à côté d'autres qui en renferment un peu. Quelquefois, dans la même mine, la teneur en phosphore du minerai varie avec l'année de l'exploitation. Aussi, pour bien connaître toujours la vraie qualité du fer ou de l'acier, il faut constamment faire de nombreuses recherches sur la teneur en phosphore des minerais. Ces recherches se font au moyen d'une méthode imaginée par M. Eggertz, professeur de métallurgie à l'École des mines de Falun. Cette méthode, fondée sur la précipitation de l'acide phosphorique par le molybdate d'ammoniaque à l'état de phospho-molybdate d'ammoniaque, a une sensibilité que n'ont pas les méthodes de dosage par le phosphate ammoniaco-magnésien; le précipité jaune que l'on obtient contient, en effet, 1,63 pour 100 seulement de phosphore. La description sommaire du procédé d'analyse, se trouve dans le tome II de *Percy's Metallurgy* : elle sera prochainement publiée plus en détail dans les *Annales des Mines*.

On recherche aussi, avec une grande attention, les moindres traces de soufre dans les minerais, et on emploie pour cet objet une méthode colorimétrique inventée par M. Eggertz. On prépare ensuite les minerais avant de les fondre au haut

fourneau, de façon à se débarrasser complètement du soufre.

Les minerais suédois renferment souvent une petite proportion de manganèse, qui s'élève de un demi à 1 pour 100 dans les variétés siliceuses (Bispberg), et jusqu'à 4 et demi pour 100 dans les variétés calcaires (Norberg, Garpenberg). Les minerais manganésés sont recherchés, parce qu'on leur attribue la propriété de fournir des fers jouissant de la *pureté acieureuse* (*soundness* des Anglais), recherchée des fabricants de Sheffield. Disons encore qu'on constate quelquefois la présence du cuivre (Dannemora, Fagerberg), du cérium (Grangaerde, Graengesberg), du titane (Taberg, Langhutt, Routivara). Pour donner une idée de la composition complète des minerais suédois, voici cinq analyses :

La première, n° I, faite par M. Rinman en 1861, s'applique au minerai de Granzot, dans le district de Norberg.

La seconde, n° II, faite par M. Fernqvist, en 1865, s'applique au minerai de Sodra-Silfberg, du district de Dannemora.

L'analyse numéro III, faite en 1865 par M. Lundström, est relative à la mine de Gustav Adolph, à Persberg.

Le numéro IV (1860, M. Troili) est l'analyse du minerai de Bispberg, l'un des meilleurs, sinon le meilleur, des minerais suédois.

Le numéro V (1866, M. Lundström) est l'analyse du minerai de Smedjegruvvan (Striberg) dans le district de Nora.

	I.	II.	III.	IV.	V.
Oxyde magnétique de fer.	71,40	85,80	73,35	88,90	»
Peroxyde de fer	»	»	»	»	71,40
Protoxyde de manganèse.	6,75	1,52	0,20	3,06	0,15
Silice.	3,75	4,12	13,75	5,31	26,70
Alumine	0,00	0,76	1,35	0,58	0,40
Chaux	3,65	2,75	5,65	0,98	1,60
Magnésie	3,25	2,54	6,01	1,16	0,30
Acide carbonique	11,20	2,50	0,20	»	0,00
Soufre	0,00	0,013	0,035	0,05	0,04
Phosphore.	traces.	0,0033	0,008	0,005	0,016
	100,00	100,0063	100,553	100,045	100,606

L'Exposition montrait aux visiteurs de magnifiques échantillons de minerais suédois, dans la salle de métallurgie, dans le parc suédois, et surtout à la base de l'intéressante pyramide sidérurgique élevée dans la grande galerie des machines par les soins de M. Rinman : à la base, de gros blocs de minerais de fer, au-dessus les fontes et les laitiers en provenant, plus haut encore, les fers, puis les aciers, terminant le monument, ombragé par la bannière suédoise. En suivant une génératrice de la pyramide, ou plutôt de ce cône, on passait d'une variété de minerai brut à tous les produits fabriqués avec cette même variété. Il est, certes, à regretter que ce monument métallurgique si instructif n'ait pu être transporté tel quel dans une des galeries du Conservatoire des arts et métiers.

Combustibles.

Le seul combustible employé pour la fabrication de la fonte, en Suède, est le combustible végétal, et presque toujours le charbon de bois ; rarement on emploie le bois sec avec le charbon dans les hauts fourneaux. On pense maintenant qu'il n'y a aucun avantage à employer une proportion, même faible, de bois sec en mélange dans les charges.

La Suède a un tiers de sa surface occupée par des forêts ; aussi leur exploitation est-elle, avec celle des mines, la principale source de ses revenus. Cependant, ce n'est que depuis quelques années que l'économie forestière s'est un peu répandue, et que l'on a mis un terme au gaspillage dont les forêts étaient l'objet. Il faut que la Suède y prenne garde et ait présent à l'esprit l'exemple de l'Angleterre, jadis si boisée et couverte d'usines métallurgiques au bois, et qui s'est trouvée, il y a un siècle et demi environ, dépourvue de combustible pour ses forges. Elle n'aurait pas la ressource des bassins houillers, puisqu'elle ne possède que le seul petit bassin de Hogenas, en Scanie.

Les essences qui peuplent les forêts sont surtout des conifères, sauf dans le sud de la presqu'île, où le chêne et le hêtre existent également. Celle qui est exploitée pour

l'industrie métallurgique est le pin sylvestre, dont le tronc sert pour les bois de charpente ou de sciage et les branches pour la carbonisation. C'est en mars et avril, avant que la sève monte, et pendant les loisirs que laisse l'agriculture, qu'on commence à préparer les bois pour la carbonisation en les coupant en bûches de 2^m,60 environ, et en les plaçant de façon à ce qu'elles sèchent pendant l'été. En octobre et novembre, on s'occupe de la fabrication du charbon de bois, généralement en charbonnières ou meules circulaires qui ont 6 à 10 mètres de diamètre et 3^m,50 de hauteur environ. Le travail de la carbonisation dure quinze ou vingt et un jours, à partir de la mise à feu. On préfère, en Suède, les meules à bois couché à celles à bois debout, parce qu'on obtient dans les premières un rendement de 70 pour 100 en volume, tandis que les secondes ne donnent que 60 à 62 pour 100. D'après M. Mathis (1), on compte ordinairement 84 francs de main-d'œuvre pour une meule donnant 12 à 13 tonnes de charbon, soit environ 6 fr. 50 c. par 1,000 kilogrammes, y compris la coupe et le transport des bois à la charbonnière.

Dans quelques localités peu nombreuses, on carbonise le bois, près des hauts fourneaux mêmes, dans des fours spéciaux. On voyait à l'Exposition le dessin d'un de ces fours, que nous avons reproduit pl. XVI, fig. 5, 6 et 7; il était exposé par M. Høegberg, de Hudikswalld-Stroembacka, et ne diffère pas sensiblement du four de Dalfors, publié par M. Percy, d'après M. Grill. Il se compose d'une grande chambre rectangulaire voûtée, qui reçoit par son centre, au moyen de quatre ouvertures recouvertes d'une plaque de fonte, les gaz brûlés et chauds provenant d'une chauffe extérieure; les produits de la distillation du bois s'échappent par quatre ouvertures inférieures aux angles, qui communiquent avec quatre cheminées en planches, dont la base est disposée de façon à former condensateur pour les goudrons et eaux goudronneuses. D'après la notice exposée, le volume intérieur de la chambre

(1) Rapport au ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics sur l'exposition de Stockholm, en 1866.

est 314,5 mètres cubes ; la carbonisation dure quarante-trois jours et fournit 311,6 mètres cubes de charbon de bois ; le rendement est 90 pour 100 (*). On carbonise du bois ordinaire flotté. Ce four, construit en 1857, près du haut fourneau de Moviken (province de Gessleborg), a coûté 5,700 francs.

Le mètre cube de charbon de bois de pin pèse, en Suède, 142 à 145 kilogrammes, et coûte, en moyenne, d'après M. Tunner, 4 fr. 25 c. environ. D'après M. Rinman, le prix de 6 fr. 50 c. le mètre cube (ou 1 franc par *tonne* suédoise de 165 litres) doit être considéré comme un maximum pour la plupart des usines. Dans le Norrland, ce prix descend jusqu'à près de 2 francs le mètre cube.

Préparation des minerais.

Tous les minerais de fer sont grillés avant d'être traités au haut fourneau, en Suède, sauf les minerais de lacs et marais. Ceux-ci, malgré leur impureté, ne sont pas grillés, parce que le grillage les rend plus difficiles à réduire. La silice, qui y abonde, disent les maîtres de forge suédois, entre en combinaison avec l'oxyde de fer, même à température assez basse, peut-être à cause de l'état pulvérulent et poreux des minerais. Mais les minerais de roche sont énergiquement grillés préalablement à leur réduction.

Le but de ce grillage à haute température est surtout de chasser le soufre que peut contenir le minerai. Celui-ci se ramollit considérablement ; une partie du soufre se dégage par distillation de la pyrite mélangée au minerai et est oxydée par l'air ambiant ; une autre partie du soufre est oxydée par l'oxygène du minerai lui-même. On grille quelquefois deux et trois fois de suite les minerais sulfureux. Un autre résultat, qui est également atteint par le grillage, est de rendre le minerai plus facilement réductible, surtout quand il est magnétique. Ce fait ne s'explique pas complètement ; on sait bien que les minerais oxydés abandonnent plus facilement leur

(*) Ce chiffre paraît très-exagéré.

oxygène que les minerais oxydulés, et que le grillage détermine quelquefois la formation de pores ou de vacuoles dans les minerais. Mais, en Suède, des analyses faites à Falun ont prouvé, dit-on, que les minerais magnétiques se péroxydaient fort peu par le grillage ; de plus, la température est si élevée, que les minerais semblent à l'œil avoir subi une demi-fusion. Ainsi, le minerai de Bispberg, l'un des plus riches de la Suède, est très-poreux, micacé et se désagrège facilement ; on croirait qu'il doit être aisément réductible, cependant il n'en est rien ; et, pour le traiter facilement, il faut le griller énergiquement. Malgré la compacité qu'il paraît prendre, il se réduit alors plus facilement qu'à l'état cru ; il est vrai qu'il se produit des fendillements favorables à une facile réduction.

Ces grillages énergiques ne s'effectuent plus entre murs ou dans les fours que décrivait M. Durocher, dans les *Annales des Mines*, en 1856, d'après des notes de voyage remontant à 1845. On emploie partout maintenant les fours à griller chauffés avec les gaz de hauts fourneaux, inventés par M. Westman, fours dont on trouve un dessin dans l'ouvrage de M. Percy, t. III, p. 90. Ces fours ne sont pas tous identiques. Dans les uns, destinés à griller des minerais qui n'ont pas besoin d'une très-haute température, les orifices d'entrée des gaz et de l'air qui déterminent la zone de combustion dans la colonne du minerai, se trouvent à une assez grande hauteur au-dessus des orifices de défournement ; le minerai chauffé continue à descendre au milieu de l'air affluant par ces ouvertures. Dans d'autres appareils, ceux employés à Dannemora, et décrits par M. Tunner ⁽¹⁾, on grille à une température plus haute, et comme les fragments de minerais, passablement ramollis, tendent à se coller les uns aux autres, on a réduit beaucoup la hauteur de chute entre le plan de combustion et les orifices de déchargement, et on a ménagé des ouvreaux pour pouvoir désagréger avec le ringard les engorgements qui se produiraient. A l'Exposition

(1) *Das Eisenhüttenwesen in Schweden, 1858.*

de 1867, M. Westman avait exposé un troisième type de four destiné à opérer le grillage à des températures encore plus élevées. Nous l'avons figuré pl. XVI, fig. 1, 2, 3 et 4. Dans celui-ci, l'arrivée des gaz combustibles s'opère tout à fait au bas de la colonne de minerai, et l'air est insufflé par une soufflerie, au lieu d'arriver par simple aspiration ; trois rangées d'ouvreaux superposés permettent de détruire les agglomérations qui se seraient formées. On charge les minerais par le haut au moyen d'une trémie et d'un monte-charges à godets.

Dans la planche XIV, représentant la disposition générale de l'usine de Langshytta, on voit un four à griller du système ordinaire.

Après le grillage, on réduit les minerais, pour le chargement, en morceaux de la grosseur d'une noix, ou même d'une grosse noisette. Ce cassage se faisait autrefois, d'après M. Durocher, au martinet ou au bocard ; maintenant il est effectué presque partout au moyen d'une paire de cylindres horizontaux cannelés en fonte trempée. Au sortir de cet appareil, les minerais tombent la plupart du temps (voir pl. XIV et XV) dans les godets d'un élévateur incliné qui les conduisent au gueulard du haut fourneau. On voyait à l'Exposition un petit modèle à l'échelle, soigneusement exécuté en bois d'acajou, qui représentait une roue hydraulique actionnant un bocard à trois flèches, une paire de cylindres broyeurs et un élévateur à minerais (*Stamp och Krosswerk*), d'après l'installation de l'usine de Gysinge. Depuis peu de temps cependant, on commence à employer des concasseurs Blake.

Hauts fourneaux et leurs accessoires.

Les hauts fourneaux suédois sont tous au charbon de bois, comme on le sait déjà. Ils présentent maintenant presque tous le même profil, que l'on peut voir dans les planches XIII et XIV, et qui est composé d'une partie cylindrique au ventre, d'un tronc de cône renversé formant le bas du fourneau et d'un tronc de cône au-dessus du ventre formant la

cuve. La plupart ont un vide de révolution à génératrice brisée formée de trois lignes droites ; dans quelques-uns seulement, on a arrondi les angles de façon à donner au profil une forme ovoïde. A Finspong, pour augmenter la capacité du creuset, on lui a donné une forme elliptique. Tous ces fourneaux sont du reste à poitrine ouverte, mais avec des avant-creusets de dimensions très-restreintes et quelquefois complètement supprimés.

Leur hauteur n'était, il y a quelques années, que de 9 à 10 mètres et demi ; mais maintenant tous les fourneaux remis à neuf ont 12^m,50 à 13 mètres. Cette hauteur tend même à s'accroître encore ; en 1867, on trouvait en Suède trois hauts fourneaux, Langshytta (voir pl. XIV) et Sandviken entre autres, ayant 15 mètres et demi de hauteur ; et actuellement on songe à construire des fourneaux de 18 mètres. En général, cette hauteur est divisée en trois parties à peu près égales par le ventre cylindrique et les deux troncs de cône qui forment le haut et le bas du fourneau ; le ventre a 2^m,10 à 2^m,40 de diamètre, le gueulard a 1^m,50 à 2 mètres, et la sole 90 centimètres à 1^m,05 de diamètre. La capacité varie notablement : de 40 à 70 mètres cubes environ.

Les massifs des hauts fourneaux sont construits de différentes façons ; tout en briques rouges ou avec des soubassements en granit ; il sont ronds (voir pl. XIV), ou carrés (voir pl. XIII). La chemise de la cuve et les contre-étalages sont en briques réfractaires : on prend de grandes précautions contre le refroidissement, en intercalant, entre la chemise et le massif, deux intervalles remplis de quartz concassé. La garniture réfractaire de la partie inférieure se fait ordinairement toute en pisé : celui-ci est formé de grès pulvérisé, mélangé de 1/8^e à 1/10^e seulement d'argile réfractaire. La sole est faite avec ce même pisé et repose sur une plaque de fonte rafraîchie en dessous par des courants d'air. La dame très-inclinée est établie de la même manière ; la tympe est munie d'un fer creux où circule de l'eau.

La plupart des fourneaux sont soufflés par deux tuyères, quelques-uns cependant par trois tuyères. A Sandviken, on

en a essayé six, dont deux placées sur la tympe. Les tuyères ont 60 à 75 millimètres de diamètre; les buses ont un diamètre un peu moindre.

On emploie partout les gaz, qui sont recueillis de deux manières différentes : ou bien avec des carneaux descendant à 3 ou 4 mètres au-dessous du niveau du gueulard et généralement au nombre de deux, l'un pour le four de grillage, l'autre pour l'appareil à air chaud, le gueulard restant complètement libre du reste; ou bien avec une trémie cylindrique, comme on le voit pl. XIII, le gueulard étant toujours ouvert. Il y a encore des progrès sensibles à faire en Suède, dans l'art de recueillir et d'utiliser le gaz. On n'emploie ceux-ci que dans les fours de grillage, et dans des appareils à chauffer l'air, généralement assez imparfaits (simples serpentins de Wasseraufhängen), placés au gueulard même ou au pied du massif. Les souffleries étant activées par des moteurs hydrauliques, n'ont pas besoin du secours des gaz. C'est sans doute cette circonstance qui cause l'imperfection des appareils actuels de prise des gaz : on a toujours assez de gaz.

On pouvait voir à l'Exposition le dessin d'un haut fourneau du système adopté par M. Westman; nous l'avons reproduit pl. XII et XIII, ainsi que le profil du haut fourneau de Harnaes construit d'après ce système. Un autre grand dessin représentait le haut fourneau de Langshyttan avec ses accessoires; nous l'avons reproduit sur les planches XIV et XV. On y trouvera la disposition générale de presque toutes les usines à fonte suédoises. Le haut fourneau est enfermé dans une sorte de donjon carré qui forme le centre de l'usine; il en sort les deux tuyaux qui portent le gaz aux fours de grillage et à l'appareil à air chaud. Un élévateur à godets monte les minerais au niveau du gueulard des fours de grillage. Au sortir de ceux-ci, ils passent entre deux cylindres cannelés qui sont activés par une turbine à axe horizontal; celle-ci sert aussi à commander l'élévateur déjà indiqué, ainsi que deux autres appareils semblables, l'un très-rapproché de la verticale pour monter au gueulard du haut fourneau les mi-

nerais cassés, l'autre beaucoup moins incliné pour amener les charbons et la castine.

A Langshyttan, la soufflerie se compose de deux cylindres horizontaux à double effet, mus par deux turbines, ou plutôt deux roues hydrauliques à axe vertical recevant l'eau en dessous. Mais cette disposition n'est pas celle ordinaire dans les usines suédoises. Presque partout, la soufflerie se compose de trois cylindres verticaux, à simple effet, dans lesquels se meut un piston à tige guidée, auquel le mouvement est donné en dessous au moyen d'une bielle, par un arbre horizontal à trois coudes que commande la roue hydraulique. On y remarque une disposition assez singulière propre à ces souffleries suédoises. Les axes des cylindres ne passent pas par l'axe de l'arbre moteur; mais ils se trouvent en avant d'une quantité égale au tiers du rayon; il en résulte que le piston monte plus vite qu'il ne descend, et que la bielle a une inclinaison moins grande sur la tige lorsqu'elle agit par compression, que lorsqu'elle agit par traction. Malgré ces avantages, la disposition suédoise n'est pas à conseiller à nos constructeurs français. Le diamètre des cylindres soufflants varie de 0^m,90 à 1^m,15 environ; on marche ordinairement avec un nombre de tours compris entre 18 et 25; on ne dépasse jamais 25, mais quelquefois on descend à huit ou dix tours. Le régulateur est formé par une capacité semi-cylindrique en tôle fixée sur les fonds supérieurs des cylindres; le vent est assez régulier: les oscillations des manomètres à mercure ne dépassent pas 2 à 3 millimètres. On voyait à l'Exposition le modèle en petit d'une soufflerie verticale à trois cylindres, d'un système nouveau, proposé par M. Holmgren, de Sala, mais peu apprécié avec raison par les maîtres de forges suédois. Dans ce système (voir pl. XVI, fig. 8, 9, 10 et 11), le piston, au lieu d'être guidé, a une garniture sphérique et oscille dans le cylindre en suivant les inclinaisons de la bielle; la garniture est pneumatique, formée d'un cuir, derrière lequel vient presser le vent pendant la course ascendante du piston. Il y a en Suède quelques souffleries à vapeur.

Roulement des hauts fourneaux suédois.

Dans les usines suédoises qui fabriquent de la fonte de forge, on cherche à obtenir un lit de fusion pour le haut fourneau renfermant des quantités de phosphore et de soufre aussi faibles que possible. Si l'on est obligé d'employer des minerais renfermant de l'apatite (phosphate de chaux), on s'arrange au moins de façon que la fonte ne renferme pas plus de 0,15 pour 100 de phosphore : c'est le cas près de Graengesberg, et peut-être aussi avec les minerais de Gellivara. Nous avons déjà dit quelle importance les maîtres de forges attribuent à l'absence du phosphore pour la fabrication des fers à acier : aussi ne négligent-ils pas les recherches les plus assidues et les plus minutieuses pour arriver à se débarrasser de ce métalloïde nuisible.

La plupart des minerais suédois n'ont pas des gangues fusibles par elles-mêmes ; on associe, dans le lit de fusion, plusieurs provenances, et on y ajoute ordinairement de la castine, souvent dolomitique. On cherche aussi à avoir dans le laitier une certaine proportion de manganèse, soit en employant des minerais manganésifères, soit en ajoutant même, comme fondant, du minerai de manganèse (Philippstadt). On attribue à la présence du manganèse la *pureté acieureuse* (*soundness*) des fers produits avec ces fontes ; toutefois, le manganèse manque souvent sans que la fonte semble pour cela être inférieure.

Le volume de la charge de charbon de bois varie, en Suède, de 990 à 1,320 litres ; les charbons gros et fins se trouvant entremêlés, mais toujours dans la même proportion, de façon à conserver une allure égale pour le haut fourneau : le poids de cette charge varie donc de 140 à 187 kilogrammes.

La charge de minerai et castine varie de 400 à 550 kilogrammes (ordinairement 420 kilogrammes avec la charge de 990 litres), le vent étant chauffé à 200° environ. Mais les hauts fourneaux du district de Dannemora, qui emploient de l'air froid ou chauffé seulement à 70°, ne peuvent

charger que 450 kilogrammes de minerai pour 1^m,32 de charbon de bois. On a reconnu, du reste, en Suède, comme ailleurs, que pour faire porter à une charge de charbon la charge maximum de minerai et castine, il faut diminuer l'épaisseur de celle-ci au centre et l'augmenter au contraire près des parois. On a constaté aussi, dit M. Rinman, que le poids de la charge maximum en minerai et castine dépend seulement du volume de la charge de charbon et est indépendant de la richesse du lit de fusion, toutes choses égales d'ailleurs, pourvu que celle-ci soit comprise entre 45 et 20 pour 100. Il y a toutefois une petite différence : des recherches, récemment faites par M. Rinman, ont prouvé que la quantité de chaleur contenue dans le laitier, à une même température, est beaucoup plus grande que celle contenue dans la fonte ; aussi un lit de fusion riche n'a pas besoin pour fondre les gangues et la fonte d'une quantité de combustible aussi grande qu'un autre lit de fusion plus pauvre en fer ; mais en pratique on admet la règle indiquée ci-dessus. Le lit de fusion le plus riche, employé en Suède, contenait 58 pour 100 de fonte ; le plus pauvre, au contraire, contient 19 pour 100.

Quand le fourneau doit produire de la fonte de moulage, on détermine le lit de fusion, dit M. Rinman, de façon qu'il donne un laitier très-siliceux, coulant lentement. Avec ce laitier, le fourneau donne de la fonte grise, si toutefois il n'y a pas dans le lit de fusion une quantité trop notable de manganèse. Pour couler en première fusion, on donne la charge de minerai maximum que le fourneau peut supporter sans se déranger. Pour la fonte à canons, on choisit un dosage un peu sulfureux, mais non phosphoreux ; le soufre fait rester une plus forte proportion de carbone à l'état combiné, et on obtient une fonte truitée résistante qui renferme à peu près 0,09 pour 100 de soufre. D'après M. Rinman, avec des minerais sulfureux, on peut, comme avec les minerais manganésés, obtenir des fontes blanches en allure normale sans surcharge de minerai. Ce directeur a, dans certains cas, obtenu des fontes à canons très-résistantes par

un tour de main qui consistait à ajouter dans les charges un peu de sulfate de fer. La proportion d'oxygène dans la silice et l'alumine est, pour un laitier de fonte de moulage, environ triple de celle des bases.

On souffle avec du vent comprimé ordinairement de 30 à 45 millimètres de mercure, et quelquefois de 53 à 60 millimètres pour les hauts fourneaux élevés. Sa température ordinaire est 200 à 230° centigrades, sauf pour les fourneaux travaillant en fonte à canons qui emploient l'air froid, et pour ceux de Dannemora qui chauffent l'air à 70° au plus.

La production hebdomadaire des hauts fourneaux suédois varie depuis 42 tonnes jusqu'à 93 tonnes, et même plus ; le chiffre le plus considérable est celui de 119 tonnes qui a été atteint par le grand haut fourneau de Langshyttta ; à Sandviken, on est arrivé à 106 tonnes, et à Langbanshyttan, en Wermeland, à 76 tonnes.

Les campagnes ne durent ordinairement pas une année.

La consommation de charbon par tonne de fonte est ordinairement de 5^{me},8 à 6^{me},7, soit 825 à 965 kilogrammes. Pour la fonte grise, de moulage ou Bessemer, on compte généralement sur 1^{me},9, soit 275 kilogrammes de plus par 1,000 kilogrammes de fonte. La consommation la plus faible a été obtenue à Langshyttan : 715 kilogrammes de charbon par tonne de fonte blanche fibreuse ; la plus forte est celle des fourneaux des environs de Taberg qui atteint 2,500 à 3,000 kilogrammes de charbon par tonne de fonte truitée.

Voici, d'après M. Mosler, le prix de revient de 1,000 kilogrammes de fonte dans la province de Stora-Kopparberg, approximativement :

Minéral : 2,000 kil. à 8 fr. 325 les 1,000 kil.	16 fr. 65 c.
Transport du minéral	19 60
Castine	1 71
Charbon de bois : 6 ^{me} ,7, à 3 fr. 731 le mètre cube . .	25 00
Main-d'œuvre, entretien de l'usine, etc.	9 55
Impositions et direction.	1 71
Transport de la fonte à la forge ou à l'entrepôt. . .	8 82

83 fr. 04 c.

Beaucoup d'usines, mieux situées pour leurs approvisionnements, fabriquent plus économiquement : celle de Langshytta, par exemple.

Usines à fontes.

Nous donnons d'abord, d'après M. L. Rinman, la distribution et la production des hauts fourneaux suédois pour l'année 1865 ; nous y joignons les noms des principales usines, choisies surtout parmi celles qui avaient exposé au Champ de Mars :

Noms des provinces.	NOMBRE de fourneaux.	NOMBRE d'ouvriers.	QUANTITÉS de fonte produites.	PRINCIPALES USINES à fonte.
Norrbotten . . .	2	26	332 tonnes.	Usines de Selet et d'Avfors.
Westerbotten . .	3	63	1,882 —	Usines d'Olofsfors, de Hornefors, de Robertsfors.
Wester-Norrland.	4	75	3,110 —	Usines d'Utansjö.
Jemtland	1	4	109 —	Usine de Ljusnedal.
Gefleborg	24	476	26,507 —	Usines d'Hammarby et Ilorsfors, de Kihlafors, de Forsbacka, de Sandviken, de Moviken.
Upsala	7	139	7,026 —	Usines d'Oesterby, de Harnaes.
Stockholm	1	20	973 —	Usine de Ranas.
Stora-Kopparberg.	42	764	50,609 —	Usines de Langshyttan, Wykmanhyttas, Bommarbo, Westansjö, Garpenberg et Horndal, Furudal, Dalfors, Siljansfors, Fredricksberg.
Westeraes	16	370	16,474 —	Usines de Fagersta, Svana, Engelsberg.
Oerebro	54	780	63,786 —	Usines du district de Nora (Hammarby, Bredsjö Carlsdahl), de Nya-Kopparberg (Stjernfors), de Ramsberg (Ramsberg, Gammelbo), de Hasselfors, de Breffen, de Oelsboda, de Laxa.
Skaraborg	1	18	1,020 —	Usine de Granviken.
<i>A reporter.</i>	155	2,735	171,828 tonnes.	

NOMS des provinces.	NOMBRE de fourneaux.	NOMBRE d'ouvriers.	QUANTITÉS de fonte produites.	PRINCIPALES usines à fontes.
<i>Report.</i>	155	2,735	171,828 tonnes.	
Carlstad	23	391	34,238 —	Usines du district de Filipstad (Raemen, Langbanshyttan, Ny-Kroppa), de Uddeholm, d'Oestanas, de Rada, du district de Christinehamn (Storfors, Alkvettern).
Elfsborg	1	20	938 —	»
Ny-Köping.	5	102	3,260 —	Usines de Forssjö, Staffsjö, Aker.
Oestergoetland . . .	3	58	5,192 —	Usines de Finspong et Sten.
Calmar.	10	147	4,437 —	Usines d'Ankarsrum, Hagelsrum.
Jönköping.	16	189	4,599 —	Usines de Nissafors, Bruzaholm, Taberg, Möbro.
Kronoberg.	6	41	2,284 —	Usines d'Oermo, Haryd.
Totaux.	219	3,683	226,676 tonnes.	

Si l'on compare la distribution des usines à fonte par provinces, à celles des mines de fer, on voit que les provinces de Westerbotten, de Westernorrland, de Gefleborg, de Skaraborg et d'Oestergoetland manquent de minerais; elles en importent des provinces de Westeraes (gisements de Norberg), de Stora-Kopparberg (Bispberg, Graengesberg), d'Upsala (Dannemora, Hammarin, etc.), et de Stockholm (Utön, etc.). La province d'Oerebro reçoit des minerais de Persberg (près de Filipstad, province de Carlstad) et de Graengesberg, et en expédie des siens aux autres provinces.

Le nombre total des hauts fourneaux en Suède est 300 environ, dont 219 seulement ont été en feu en 1865. Les usines à fonte, à peu d'exceptions près (Finspong, par exemple), ne comprennent qu'un seul haut fourneau et sont passablement éparpillées. En effet, les conditions qui déterminent leur établissement sont, ainsi que le dit M. Rinman, la présence d'une chute d'eau de force suffisante, l'existence de forêts d'une étendue convenable et des moyens de transport aussi faciles que possible.

La force motrice nécessaire pour un haut fourneau est

ordinairement d'environ 15 chevaux (pour la soufflerie et le cassage des minerais). L'étendue de forêts nécessaire pour l'alimenter peut être déterminée par cette considération que pour 100 kilogrammes de fonte il faut environ 90 kilogrammes de charbon, et que, pour fournir annuellement cette quantité, il faut une surface d'environ 5,000 mètres carrés. Cette surface paraîtra peut-être trop grande ; mais les forêts suédoises contiennent beaucoup de rochers et de marais, et la végétation y est très-lente, à cause de la rigueur du climat ; il y a cependant, au centre et au sud du royaume, des districts, où cette surface peut être réduite à 4,000 et même à 3,500 mètres carrés ; mais ce sont des exceptions. Il n'y a, du reste, que peu d'années qu'on se préoccupe sérieusement, en Suède, de l'économie forestière, et les progrès de la sylviculture amélioreront peut-être la situation actuelle.

Les usines sont en général aussi rapprochées des mines que possible : il existe quelques exemples où il n'y a qu'une lieue de distance entre la mine et le haut fourneau ; ce qui est considéré comme particulièrement avantageux. Comme pour fabriquer 1 tonne de fonte, il faut au moins 2 tonnes de minerais, et seulement 1 tonne, ou même 0,80 tonne de charbon, on peut transporter le charbon plus loin que le minerai pour arriver au même prix de revient. Lorsque le charbon est très-bon marché, on peut lui apporter le minerai de plus loin, surtout si celui-ci est riche en fer. La plus grande distance que franchissent par terre les minerais est celle (20 à 30 lieues) qui sépare la célèbre montagne de Gellivara des hauts fourneaux (Selet, Afvaforss) qui appartiennent à la même Compagnie. Souvent on transporte les minerais à 9, 10 et même 14 lieues ; mais alors on a toujours du fer en barres ou d'autres marchandises en retour, ce qui diminue les frais. Les transports par eau peuvent naturellement se faire à plus longues distances. Les transports se font surtout pendant l'hiver, alors qu'on n'a pas de charrois agricoles, et que, grâce à la congélation des lacs et des marais et à la neige qui recouvre la terre, on peut profiter de

l'économie qu'offre le trainage ; on voit alors, sur les routes provisoires créées entre les mines, les hauts fourneaux, les charbonnières et les forges, une activité de circulation inconnue dans nos pays tempérés. C'est dans cette saison, et grâce aux facilités du trainage, que les maîtres de forges peuvent obtenir les transports les plus économiques, faits par des paysans qui trouvent avantage, ou qui sont obligés par les circonstances, à gagner de l'argent comptant de cette façon, plutôt que de rester chez eux à soigner leurs terres ou leur bétail. Dans plusieurs districts, se trouvent des chemins de fer ou des canaux qui facilitent les transports à grandes distances : souvent le charbon de bois est amené des endroits où le bois est abondant jusqu'aux hauts fourneaux voisins des mines et distants de 20 à 30 lieues. Une partie des minerais de Norberg, et même de Graengesberg, est transportée par le canal de Stroemsholm jusqu'au port de ce nom, sur le lac Malar, d'où on les expédie par mer pour les hauts fourneaux des provinces du nord et du sud de la Suède, qui manquent de minerais de roche. Certains minerais du district de Nora sont conduits par chemin de fer à Arboga, et embarqués là pour les mêmes destinations.

D'après M. Rinman, le transport par terre, au moyen du trainage en hiver, coûte 20 à 30 centimes par tonne et par kilomètre ; par chemins de fer, le transport coûte de 3,4 à 13 centimes et demi par tonne kilométrique (le prix le moins élevé étant relatif à des distances d'environ 250 kilomètres, et l'autre pour des distances inférieures à 10 kilomètres) ; par eau, le transport ne coûte plus que 0^e,2 à 0^e,3 par tonne kilométrique. Le coût de la journée d'une charrette à un collier, avec son conducteur, varie de 4 à 7 francs. Le salaire des ouvriers des hauts fourneaux et des forges varie de 1 fr. 50 c. à 6 francs par jour.

Les mines nouvelles peuvent être exploitées sur une permission écrite du magistrat ; l'inventeur, d'après la loi, devient possesseur de la moitié. Lorsqu'une mine ancienne se trouve inexploitée, soit par abandon de ses propriétaires, soit parce qu'ils ont arrêté les travaux sans se munir d'une

permission spéciale du magistrat de les laisser arrêtés pendant quelques années, ou sans y effectuer annuellement les quelques travaux nécessaires pour s'en assurer la possession, cette mine peut être prise en propriété comme une mine nouvelle. Le propriétaire du sol reste toujours possesseur de la moitié de la mine, s'il le veut, en partageant les frais. Ces deux parts d'une mine sont regardées comme effets mobiliers, et peuvent être aliénées en totalité ou par parties; et chaque acheteur devient propriétaire d'une part de la mine.

Les propriétaires de mines vendent le minerai ou le consomment eux-mêmes, en se le partageant proportionnellement à leurs parts dans la mine. Ceux qui le peuvent, construisent un haut fourneau qui, ordinairement, coûte 60,000 à 70,000 francs tout compris. Plusieurs peuvent se réunir pour cette construction. C'est ainsi que la fabrication de la fonte a été faite par les paysans et les petits propriétaires du sol et des forêts depuis l'époque où elle a commencé en Suède. Il y a deux cents ans qu'on fabrique de la fonte; auparavant, on faisait des fers bruts par la méthode directe avec les minerais. Les districts où on trouve à la fois des gisements de minerai et des forêts et où la fabrication de la fonte s'établit autrefois comme une industrie populaire, ont pris le nom de *Bergslag*: ainsi on trouve les districts Dannemora Bergslag, Norbergs Bergslag, Filipstads Bergslag, Wester Bergslag, etc., où on fabrique la fonte Stora Kopparbergs ou Falu Bergslag où on fabrique le cuivre; Sala Bergslag, où on fait de l'argent et du plomb. Tous ces districts étaient autrefois soumis à des règlements particuliers, les investissant de certains privilèges et de certaines charges (comme d'exporter hors de leur périmètre toute la fonte y fabriquée); mais actuellement toutes ces entraves sont abolies.

On trouve encore, soit dans les mines, soit pour les hauts fourneaux, ces sociétés de petits propriétaires. Cependant, plusieurs propriétaires de mines possèdent assez de forêts pour soutenir la marche d'un haut fourneau par eux-mêmes, comme dans le Dannemora Bergslag, où chaque four-

neau a son propriétaire unique. Quand un individu possède une usine où on affine et étire le fer en barres, on l'appelle ordinairement du titre de *Brukspatron*, si sa situation sociale ne lui en confère pas un plus élevé. Quant aux petits copropriétaires de forges ou de hauts fourneaux, on les appelle *Bergsman* (homme de mine). Un grand nombre de hauts fourneaux appartiennent encore à ces propriétaires villageois pour lesquels avaient été rendus des décrets spéciaux, abolis pour la plupart maintenant depuis dix ans. Ces petits propriétaires ont chacun leur part dans le haut fourneau, et chacun fond ses minerais avec ses charbons, l'un après l'autre, suivant un tirage au sort. Ils choisissent parmi eux un intendant qui exerce les fonctions de gérant, comme dans les sociétés ordinaires. Leurs parts sont souvent si petites, que le haut fourneau peut avoir, comme on dit, deux ou trois propriétaires en même temps, c'est-à-dire que l'un fait couler sa dernière gueuse, alors qu'un autre a ses charges au milieu de la cuve, et que le troisième fait ses premières charges.

Plusieurs usines et établissements métallurgiques appartiennent à des sociétés d'actionnaires, et le plus souvent, un membre de la société est le gérant. Ces sociétés commencent quelquefois par hérédité, les enfants d'un propriétaire restant associés pour exploiter leurs biens au lieu de se les partager. Les maîtres de forges se réunissent ordinairement aux mines pendant le mois de novembre pour partager le minerai et s'assurer de leurs approvisionnements avant la mise en train des hauts fourneaux. Celle-ci se fait ordinairement près de Noël, au moment où la neige arrive et où les eaux se gèlent, parce qu'alors les transports sont plus économiques. On arrête les fourneaux ordinairement avant la fin d'avril, afin de pouvoir s'occuper de l'agriculture au moment où le dégel est arrivé. Quelques-uns des hauts fourneaux roulent toute l'année. Les maîtres de forges qui le peuvent épargnent une partie de leurs charbons dans une charbonnière pour pouvoir commencer à rouler avant que la neige tombe en automne, et pour pouvoir finir de

bonne heure au printemps. Les forges, au contraire, marchent toute l'année, excepté les dimanches.

Nous étudierons maintenant la marche de quelques usines.

Usines du district de Dannemora.

Le célèbre gisement de Dannemora comprend plusieurs amas de minerais entre lesquels il ne paraît pas exister de continuité. Le plus important est celui qui constitue le *Champ du Milieu* (Mellan Faeltet); puis viennent le *Champ du Sud* (Soedra Faeltet), le *Champ du Nord* (Norra Kungs), et d'autres moins importants. On voyait à l'Exposition des bocaux renfermant des spécimens de ces minerais grillés et préparés pour les charges. Nous avons fait analyser deux d'entre eux; voici les résultats obtenus :

	Mineral pauvre (Svag Malm).	Mineral du Champ du Sud (Soedra Faeltet).
Eau et perte.	0,30	1,20
Peroxyde de fer	44,43	55,93
Protoxyde de fer.	9,50	12,21
Manganèse métallique . . .	3,64	2,55
Silice.	8,25	9,00
Alumine combinée.	3,00	2,00
Alumine libre.	1,30	1,50
Chaux	21,00	10,00
Magnésie	5,83	4,40
Baryte	0,00	0,00
Soufre	0,00	0,013
Oxyde de manganèse et perte	2,75	1,197
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,000

Ces minerais se mélangent les uns avec les autres, de façon à donner un laitier fusible *per se* sans addition de calcaire. Ils renferment, du reste, d'après MM. Ullgren et Fernqvist, de 0,0026 à 0,008 pour 100 de phosphore, ainsi que des traces de cuivre; mais ces quantités sont tellement faibles que les fers de Dannemora n'en sont pas moins les plus estimés de Suède pour la fabrication de l'acier. Le rendement de ce lit de fusion est de 50 à 53 pour 100 de fonte.

Les minerais sont partagés entre les hauts fourneaux de

la province d'Upsala et de celle de Stockholm; celui de Gysinge, dans la province de Gefleborg, en traite aussi. On voyait à l'Exposition des fontes provenant de ces diverses usines et destinées à l'affinage pour fers à acier; elles étaient blanches rayonnées, truitées ou grisâtres serrées. Voici l'analyse de deux fontes provenant des hauts fourneaux de Harnaes et de Ranas :

Fonte.	De Ranas (truitée).	De Harnaes (grise).
Carbone combiné . .	4,04	1,04
Graphite	0,46	3,65
Silicium	0,46	0,35
Phosphore.	»	0,02
Soufre	0,03	0,02
Manganèse	non dosé	non dosé.

On trouvera (pl. XIII) le profil du haut fourneau d'Harnaes et son système de construction. On fait par jour, dans ce fourneau, 45 charges de 1,320 litres de charbon de bois, et 447 kilogrammes de minerais rendant 53 pour 100 de fonte. On souffle avec une pression de 43 millimètres de mercure et une température de 75°.

L'usine d'Oesterby, appartenant à M. le baron G. de Tamm, avait aussi exposé ses fontes, ainsi qu'un extrait du roulement de son haut fourneau. En 1865, ce fourneau a marché 110 jours et a produit par jour 8,287 kilogrammes de fonte de forge. Le mélange de minerais employé se composait de : 67 pour 100 Champ du Centre, 21 pour 100 Champ du Sud, 12 pour 100 Champ du Nord. On a consommé par tonne de fonte 6^{me},82, soit environ 970 kilogrammes charbon de bois. Comme tous les fourneaux qui fabriquent des fontes de forge avec les minerais de Dannemora, celui d'Osterby est soufflé à l'air froid ou chauffé à 70 degrés au plus. On y passe par jour 43 charges de 187 kilogrammes de charbon de bois, portant chacune 370 kilogrammes de minerais. On ne produit de fonte grise qu'au commencement de la campagne.

Usine de Langshyttan.

Le haut fourneau de Langshyttan, situé à Kloster, près de Hedemora, et appartenant à M. F. Lagergren, est un des plus grands hauts fourneaux de Suède. Nous donnons (pl. XIV et XV) les dessins de cette usine; on y remarquera que la hauteur du fourneau est de 15^m,44 et sa capacité intérieure de 70^{mc},30.

Ce haut fourneau est destiné à fondre le minerai de Raellingsberg. Cette mine, ouverte en 1841, sous une couche de terre de 10 mètres, présente une surface considérable; on en a extrait 8,795 tonnes en 1865. Le minerai est magnétique et sa gangue est un mélange d'épidote et de grenat. On le fond avec addition d'une castine de Norbacksbo, qui est un marbre blanc. Voici, à son sujet, un extrait du registre des expériences de l'École des mines de Falun, que nous ne faisons que traduire du suédois, en lui laissant sa couleur locale, et qui est signé Eggertz :

Minerai de fer grillé, échantillon moyen de la première qualité de la mine de Raellingsberg, à Husby Socken, près Dalarna, remis par l'usine de Kloster.

L'essai au creuset a donné :

1° Sans fondant, 65,1 pour 100 de fonte avec une scorie vitreuse verdâtre ;

2° Avec 2 pour 100 de quartz, 64,8 pour 100 de fonte (renfermant 0,008 pour 100 de phosphore et à peine 0,02 pour 100 de soufre), ainsi que 12,9 pour 100 de scorie vitreuse.

D'après l'analyse de cette scorie, et correction faite à cause du fondant, la gangue du minerai a pour composition :

Silice.	49,45
Chaux	23,77
Protoxyde de manganèse.	2,61
Alumine	9,79
Magnésie	15,17
	<hr/>
	100,79

Le minerai, qui renferme 84,24 pour 100 d'oxyde magnétique de fer, se compose donc pour 100 de :

Oxyde magnétique de fer..	84,24
Silice	7,73
Chaux	3,72
Protoxyde de manganèse. .	0,41
Alumine	1,53
Magnésie	2,37
	<hr/>
	100,00

Minerai non grillé de Raellingsberg, d'après des morceaux exposés à l'Exposition de Stockholm en 1866.

L'essai au creuset a donné :

1° Sans fondant, 67,4 pour 100 de fonte avec une scorie vitreuse presque blanche comme l'eau ;

2° Avec 4 pour 100 de chaux, 69,2 pour 100 de fonte avec une scorie vitreuse, un peu opaque, de couleur améthyste.

Fonte blanche cristalline fabriquée au fourneau de Langshyttan avec un mélange de :

90	pour 100	minerai de Raellingsberg.
7,5	—	minerai, 3 ^e qualité, de Bispberg.
2,5	—	calcaire de Norbacksbo.

Analyse faite à l'École des mines de Falun :

Fer (par différence).	94,981
Manganèse.	0,079
Carbone combiné. .	4,300
Graphite.	0,190
Silicium	0,112
Aluminium.	0,050
Calcium	0,260
Phosphore	0,017
Soufre.	0,020
	<hr/>
	100,000

Voici maintenant les résultats d'une campagne complète du haut fourneau de Langshyttan, d'après les livres de l'usine

pour 1865; ils sont très-remarquables au point de vue de la faible consommation de charbon de bois :

Nombre total de jours de marche	222,71
Nombre total de charges de charbon de bois, à 990 lit.	17 988
Consommation totale de charbon de bois hect.	178 077,9
Consommation totale de minerais :	
Minerai de Raellingsberg . . . kil.	5 477 585
— de Norberg —	266 366
— 3 ^e qualité de Bispsberg. —	382 570
} kil. 6 126 521	
Consommation totale de castine kil.	90 963
Consommation de castine pour cent de minerai.	1,48
Production totale de fonte. kil.	3 524 663
Fonte pour cent de minerais et castine.	56,69
Charbon consommé par 1,000 kil. de fonte hect.	50,4
Minerai et castine consommés par hect. de charbon. kil.	34,7
Charbon consommé par jour hect.	799,6
Fonte produite par jour. kil.	15 826
Pression du vent centimètres de mercure.	5,35
Température du vent degrés centigrades.	200°

La fonte de Langshyttan alimente les forges de Kloster; on en fait des moulages très-résistants et de l'acier Bessemer. L'Exposition en montrait des spécimens gris truités et d'autres blancs rayonnés.

Usine de Fagersta.

L'usine de M. C. Aspelin, à Norberg-Fagersta, attirait les regards de tous les métallurgistes, dans la section suédoise, par l'ampleur de son exposition et la beauté de ses produits en acier Bessemer.

Elle traite des minerais oxydulés de Norberg; voici, d'après M. Otto Kollberg, chimiste du Jern Contoret, à Falun, l'analyse du lit de fusion, avant grillage, employé à Fagersta pour l'obtention de fontes à Bessemer :

Acide carbonique.	8,00
Silice	17,35
Alumine.	0,95
Chaux.	6,50
Magnésie	4,35

A reporter. . . . 37,15

<i>Report.</i>	37,15
Protoxyde de manganèse .	3,35
Oxyde magnétique de fer.	32,15
Peroxyde de fer	27,40
	<hr/>
	100,05
Acide phosphorique . . .	0,03

Toute la fonte produite par ce lit de fusion a donné, d'après M. Aspelin, sans addition de spiegeleisen, un acier Bessemer qui n'était nullement cassant à chaud. Cette fonte était grise, à grain n° 3, ou truitée légèrement rayonnée ; on la coule en lingots plats d'assez petite dimension, portant en creux la marque de l'usine, qui est une fleur à quatre pétales. Voici sa composition :

	Fonte grise. »	Fonte truitée (2/3 grise, 1/3 blanche).
Carbone combiné.	1,012	2,138
Graphite.	3,527	2,733
Silicium	0,854	0,641
Manganèse.	1,919	2,926
Phosphore	0,031	0,026
Soufre	0,010	0,015

Les laitiers sont gris pierreux, un peu ponceux, avec une croûte vitrifiée foncée ; quelques morceaux, caverneux, sont un peu vitreux, même à l'intérieur. Voici la composition du laitier de fonte grise :

Silice	53,30	Oxygène.	27,65	} 29,05
Alumine.	3,00	—	1,40	
Chaux.	21,10	—	6,05	} 13,66
Magnésie.	13,95	—	5,60	
Protoxyde de manganèse.	7,85	—	1,75	
Protoxyde de fer	0,90	—	0,20	

La formule est donc à peu près celle d'un bisilicate avec excès d'acide.

Usine de Hammarby-Nora.

Le haut fourneau de Hammarby a 12^m,39 de hauteur, 90 centimètres de diamètre au creuset, 2^m,37 de diamètre au ventre cylindrique, qui occupe le tiers de la hauteur totale,

à égale distance de la sole et du gueulard, et 1^m,49 de diamètre au gueulard; son cube intérieur est environ 41^m³,500. Voici, d'après M. L. Rinman, les résultats de ce fourneau pendant dix années, y compris onze semaines de 1868. Ce roulement est présenté sous une forme usitée quelquefois en Suède et dont l'inspection fera comprendre l'utilité :

Pour 1 000 kilogrammes de minerai et castine, on a eu :

	Production de fonte.	Consommation de charbon.	Temps nécessaire pour la production.
En 1859	Kil. 405,1	Kil. 395,6	Heures. 1,26
1860	392,4	364,7	1,22
1861	395,3	373,9	1,15
1862	402,3	362,9	1,25
1863	401,2	361,9	1,29
1864	395,3	347,9	1,19
1865	406,9	353,6	1,27
1866	412,1	340,0	1,34
1867	440,3	352,3	1,40
1868	455,7	332,4	1,39

On employait, pendant les premières années, trois tuyères; mais depuis quelques années on a trouvé plus avantageux d'en employer seulement deux, placées sur les deux costières. Leur diamètre est d'environ 75 millimètres, et celui des buses n'est que de 63 à 66 millimètres. La pression du vent varie de 45 à 50 millimètres de mercure, et sa température de 200 à 230 degrés centigrades.

La charge ordinaire de charbon de bois est de 6 tonnes suédoises, c'est-à-dire environ 989 litres, pesant environ 140 kilogrammes. La production de fonte en 24 heures a été, en 1867 et 1868, de 7 500 à 7 700 kilogrammes, comme il résulte des chiffres ci-dessus. On fait environ 50 charges en 24 heures. Les minerais sont ceux de Hagby, Lerberg, etc., du district de Nora.

Les gaz sont recueillis partiellement par deux carneaux d'abduction inclinés, aboutissant tous les deux au commencement du ventre cylindrique, à 4^m,13 au-dessous du gueulard, et servant, l'un pour le grillage des minerais au four Westman, l'autre pour le chauffage du vent. Les tuyères sont à 52 centimètres au-dessus de la sole.

Nous ferons remarquer que, dans ce fourneau, ayant 12^m,39 de hauteur, 1 000 kilogrammes de minerai et castine fournissant 440^{kil},3 de fonte, en consommant 352^{kil},3 de charbon de bois, passent en 1 heure 40 minutes, tandis qu'à Langshyttan, avec une hauteur de 15^m,43, on obtient 566^{kil},9 de fonte en 89 centièmes d'heure, avec une consommation de 405^{kil},3 de charbon seulement. Aussi, les maîtres de forges suédois songent-ils à surélever encore leurs fourneaux.

Usine de Carlsdahl-Nora.

Cette usine, située près Nora et appartenant à M. C. Lindberg, avait exposé ses minerais, fontes et laitiers.

Les minerais, tous oxydulés, étaient ceux d'Asboberg, à facettes cristallines, de Striberg, à texture grenue, et de Vikér, à texture amorphe. Leurs analyses exposées étaient les suivantes :

	Asboberg.	Striberg.
Fer.	60,75	51,45
Manganèse. . . .	0,05	0,05
Soufre.	0,05	0,05
Phosphore. . . .	0,019	0,015

Le minerai de Vikér est plus pauvre en fer, mais plus riche en manganèse, et sa gangue est magnésienne.

Oxyde magnétique de fer.	56,40
Protoxyde de manganèse.	4,62
Silice	13,32
Alumine.	2,28
Chaux.	2,37
Magnésie	9,50
Acide carbonique. . . .	11,50
Soufre	0,40
Phosphore	0,023
	<hr/>
	100,413

Aussi on fabrique à Carlsdahl, avec des charbons de pin et de sapin, des fontes manganésifères rubannées, qui sont traitées au convertisseur Bessemer. Le laitier correspondant est blanc, à texture un peu saccharoïde, semi-vitreuse dans sa masse, avec une couche vitreuse gris violacé à la surface.

Usine de Hasselfors (d'après M. Mosler).

Le haut fourneau d'Hasselfors a (1866) une forme un peu différente de celle des hauts fourneaux décrits précédemment. Sa hauteur n'est que 10^m,40, et son profil se compose de deux troncs de cône réunis par leurs grandes bases, sans partie cylindrique; la cuve a 5^m,50 de hauteur, 1^m,49 de diamètre au gueulard, et 2^m,38 au ventre; le bas du fourneau, formant étalages, ouvrage et creuset, a 4^m,90 de hauteur et 75 centimètres de diamètre au creuset. Une ouverture dans la chemise, à 3 mètres au-dessous du gueulard, prend les gaz pour le four à griller; une autre, à 1^m,78, prend les gaz pour l'appareil à air chaud.

On fait en 24 heures 30 charges, se composant chacune de 1 320 litres charbon de bois, et 552^{kil},5 d'un lit de fusion, rendant 45,15 pour 100 de fonte blanche ou truitée. Le vent a une température de 200 degrés et une pression de 31 millimètres de mercure; il est lancé par trois buses de 78 à 86 millimètres de diamètre.

Usine de Sandviken (d'après M. Mosler).

L'usine à fonte de Sandviken, près Gefle, éteinte en ce moment par suite de mauvaises affaires, appartient à la société de Hogbo, fondée il y a quelques années pour la fabrication de l'acier Bessemer, avec le concours de capitalistes anglais. Le haut fourneau, mis en feu en 1863, était le plus grand de la Suède; il a 15^m,44 de hauteur, un ventre cylindrique de 2^m,82 de diamètre, et un gueulard de 1^m,78; sa capacité est de 79 mètres cubes. Il a six tuyères, deux sur chaque costière et deux qui traversent la tympe; mais on n'en employait que quatre habituellement. Il a deux trous de coulée, un pour la fonte, et un autre voisin pour les laitiers. Sa production hebdomadaire était environ 106 tonnes.

Usine de Forssjö (d'après M. Mosler).

Le haut fourneau a sa partie inférieure formée d'un tronc de cône qui a 4^m,16 de hauteur, 1^m,05 de diamètre aux

tuyères (élevées de 52 centimètres au-dessus de la sole), et 2^m,23 de diamètre au ventre. Le ventre cylindrique a 1^m,19 de hauteur ; et la cuve, tronc-conique, haute de 7^m,72, a 1^m,63 de diamètre au gueulard. La hauteur totale est donc 13^m,07. La prise de gaz pour le four de grillage est à 4^m,23 au-dessous du gueulard, et celle pour l'appareil à air chaud un peu plus haut. On souffle par deux tuyères de 95 centimètres de diamètre avec du vent chauffé à 170 degrés et comprimé à 35 ou 39 millimètres de mercure. On fait en 24 heures environ 50 charges de 1 320 litres de charbon de bois pour 421 kilogrammes d'un lit de fusion rendant 40,4 pour 100 de fonte truitée.

Usine de Finspong, près Norrkoeping.

L'usine à fonte de Finspong, appartenant au métallurgiste bien connu M. C. Ekman, avait exposé un beau modèle en relief de ses deux hauts fourneaux. Ceux-ci ont la forme ordinaire des fourneaux suédois ; leur capacité est environ 33 mètres cubes, et ils sont construits dans le même massif en maçonnerie de granit ; le creuset est ovale et soufflé par deux tuyères. On le construit en foulant, autour d'un cadre en bois d'une forme convenable, du quartz pur pulvérisé, légèrement humecté d'eau argileuse. L'usine de Finspong est surtout connue pour ses fontes à canons, spécialité qu'elle partageait autrefois avec celles de Stafsjoë et Aker, aujourd'hui éteintes (1).

Les minerais proviennent des mines de Foerola, Nartorp et Stenebo ; celui de Foerola est le principal, et on en emploie les huit dixièmes de la charge, les deux autres n'entrant chacun que pour un dixième. Voici, d'après la brochure publiée par M. Ekman, les compositions de ces minerais :

Minerai de Foerola. — Avec 15 pour 100 de chaux, on obtient :

Fonte	58,1	pour 100.
Scories	30,33	—

(1) Voir Durocher, *Usines à fonte et à fer de Suède, Annales des Mines*, 1856.

Le minerai contenait :

Phosphore . . . 0,01 pour 100.

La fonte contenait :

Soufre 0,06 pour 100.

D'après l'analyse des scories, et déduction faite de la chaux ajoutée, on voit que la gangue du minerai se compose de :

Silice.	91,75
Alumine.	4,22
Magnésie.	0,43
Chaux.	2,63
Protoxyde de manganèse	2,20
	<hr/>
	101,23

Ce minerai, composé de fer magnétique, à texture grossièrement cristalline, disséminé dans du quartz blanc et transparent, est accompagné de pyrite de fer, de manganèse, de pyroxène, de hornblende, etc. Depuis 1580 environ, il passe en Suède pour le minerai le plus propre à la fabrication des canons.

Minerai de Nartorp. — Fondu tout seul, il donne :

Fonte.	45	pour 100.
Scories émaillées vert clair.	38,53	—

Il contient 0,01 pour 100 de phosphore, et sa fonte 0,01 pour 100 de soufre.

La composition des gangues est :

Silice	54,60
Alumine.	10,98
Magnésie.	12,58
Chaux.	18,53
Protoxyde de manganèse	1,55
	<hr/>
	98,24

Minerai de Stenebo. — Avec 15 pour 100 de chaux, il donne :

Fonte	56	pour 100.
Scorie vitreuse translucide.		

Le minerai renferme 0,03 pour 100 de phosphore, et la fonte 0,09 pour 100 de soufre.

La composition des gangues est :

Silice.	81,40
Alumine	9,67
Magnésie	5,29
Chaux	3,26
Protoxyde de manganèse.	1,61
	<hr/>
	101,23

Ces minerais sont employés après un léger grillage seulement; on ajoute au lit de fusion environ 20 pour 100 de chaux et 10 pour 100 de tournures de fonte. La chaux est un calcaire pur. Le combustible est presque exclusivement le charbon de pin. On souffle à l'air froid avec une pression de 4 à 5 centimètres de mercure.

Le laitier qui accompagne la fonte à canons possède ordinairement un noyau amorphe ou cristallin, de couleur noirâtre, avec une croûte vitrifiée de couleur vert-poireau à l'extérieur, se fondant au blanc vers l'intérieur. Quand la fonte est moins truitée, la couleur du noyau s'éclaircit, tandis que, lorsque la fonte blanchit, le noyau devient noir. Voici l'analyse du laitier de la fonte à canons :

Silice.	58,80	Oxygène. 31,00	} 32,40
Alumine	3,05	— 1,40	
Protoxyde de fer	5,74	— 1,27	} 10,15
Protoxyde de manganèse .	1,16	— 0,26	
Chaux.	24,89	— 6,22	
Magnésie	6,16	— 2,40	
Acide phosphorique. . . .	0,02		
	<hr/>		
	99,82		

Sa formule est donc à peu près celle d'un trisilicate avec excès d'acide.

La fonte à canons a une cassure truitée mouchetée, tantôt truitée grise et tantôt truitée blanche. On classe, à Finspong, toutes les coulées au moyen de la cassure de barreaux d'épreuves, de 297 millimètres de longueur, et 89 millimètres de

diamètre, coulés avec les canons. Il y a dix numéros que voici :

N° 1. Fonte grise, plus ou moins graphiteuse, à grain étoilé. Densité : 7,15.

N° 2. Fonte truitée grise, à grains blancs fins disséminés dans le fond gris. Densité : environ 7,20.

N° 3. Fonte truitée grise, sans graphite, grains blancs mieux accusés. Densité : environ 7,24.

N° 4. Fonte truitée grise, à grains blancs. Densité : environ 7,26.

N° 5. Fonte truitée. Densité : environ 7,28.

N° 6. Fonte truitée, le gris et le blanc ayant une importance égale. Densité : environ 7,32.

N° 7. Fonte truitée blanche. Densité : environ 7,36.

N° 8. Fonte blanche et cristalline, à noyau truité. Densité : environ 7,38.

N° 9. Fonte blanche, à noyau moins truité. Densité : environ : 7,40.

N° 10. Fonte blanche et cristalline partout. Densité : environ 7,42.

Ce sont les numéros 3, 4 et 5, que l'on emploie surtout pour les canons. L'analyse de la fonte à canons donne :

Fer	93,660
Manganèse.	0,190
Graphite.	2,170
Carbone combiné. .	1,750
Silicium.	0,946
Aluminium.	0,173
Calcium	traces.
Magnésium	traces.
Cuivre.	0,005
Phosphore.	0,050
Soufre.	0,120
	<hr/>
	99,064

On voyait à l'Exposition une série de spécimens de fontes et de laitiers.

L'usine de Finspong produit par an 7 000 tonnes de fonte,

dont 5 000 tonnes sont affinées sur place ; 1 250 tonnes employées pour canons et projectiles, et 750 tonnes sont vendues à l'étranger pour fonte malléable.

Usine de Taberg (Joenkoepping).

Dans cette usine, les nouveaux fourneaux, formés de deux troncs de cône opposés, ont 13^m,66 de hauteur totale, 1^m,78 de diamètre au gueulard, 3^m,65 de hauteur au ventre, 2^m,38 de diamètre au ventre, et 89 centimètres de diamètre à la sole. Ils sont soufflés avec du vent à 180 degrés et à 58 millimètres de mercure de pression. Ils produisent 25 à 30 tonnes de fonte par semaine, avec un lit de fusion qui ne rend que 20 pour 100, en consommant 2 500 à 3 000 kilogrammes de charbon de bois par tonne de fonte truitée.

Le minerai de Taberg est une serpentine imprégnée de fer magnétique dont la composition est la suivante :

Oxyde magnétique de fer. . .	43,40
Protoxyde de manganèse . . .	0,38
Silice	21,49
Alumine.	5,61
Chaux.	1,67
Magnésie.	18,47
Bitume et hydrogène. . . .	2,60
Acide titanique.	6,37 ⁽¹⁾
Phosphore	0,056
Soufre.	0,013
	<hr/>
	100,059

On le grille très-fortement avant de l'employer et on le mélange avec 25 pour 100 de castine. On en obtient une fonte blanche spéculaire en marchant avec un laitier très-basique.

Fontes de Suède.

L'Exposition présentait, comme nous l'avons déjà dit, un assortiment fort instructif de fontes de Suède, accompagnées

(1) D'autres échantillons renferment jusqu'à 10 pour 100 d'acide titanique et une proportion de manganèse plus considérable.

de leurs minerais et de leurs laitiers. Les fontes de Suède sont employées, soit pour la fabrication des fers à acier, soit pour celle des fers doux pour tréfilerie ou pour forge, soit pour la fabrication directe de l'acier, soit pour celle de la fonte malléable, soit enfin pour le moulage.

Les fontes les plus recherchées pour l'affinage destiné à donner des fers à acier, sont celles produites avec les minerais de la province d'Upsal (mines de Roslag), parmi lesquels ceux de Dannemora, Hammarin, Ramhaell, Sahlsta (dont on se sert à Finspong pour les fontes de forge) et de plusieurs autres mines dans les environs des petites villes d'Oeregrund et Oesthammar; ceux de Dannemora et de Hammarin sont les meilleurs. Puis viennent les minerais de Bispberg, dans la province de Westeraes; ceux de Persberg et des autres mines autour de Philipstad, comme Nordmark, Taberg, Langban, etc., dans la province de Wermland; ceux de Vintjern et de Tuna Haestberg, de Graesberg, de Soerskog, ainsi que de Raellingsberg en Dalécarlie ou Stora-Kopparberg; ceux de Norberg et de Nora, de Linde et de Ramsberg, dans la province d'Oerebro. A ces minerais, il faut encore ajouter quelques provenances d'excellente qualité, comme ceux de Riddarhytta (Westeraes, Skimhatteberg), de Svartvik (Oerebro, Nya-Kopparberg), de Hoegborn (Oerebro, Grythytta), de Fagerberg (Oerebro, appartenant à l'usine de Hellefors), d'Oestanberg (Westeraes, Norrhecke), de Langvik (Stora-Kopparberg, Garpenberg), et ceux de Thorsaker (Gefleborg). Parmi eux on peut distinguer, pour leur pureté exceptionnelle, les minerais de Klacka et Lerberg, Mogrufva et Svartberg dans le district de Nora, de Granzot dans Norberg, et de Penninggrufva dans Thorsaker.

Les fontes d'affinage pour acier sont généralement blanches rayonnées ou truitées blanches; la présence d'une certaine proportion de manganèse les empêche de se charger d'une proportion un peu forte de graphite. Quelquefois elles sont rubannées et même un peu lamelleuses: ainsi, on voyait à l'Exposition la fonte de Nissafors, produite avec le minerai de Taberg, qui était un spiegeleisen à petites lames, et la

fonte d'Oelsboda, produite avec un lit de fusion auquel on a ajouté une certaine quantité de minerai de manganèse, et qui avait la même apparence. La fonte de Kihlafors, aussi produite avec un lit de fusion riche en manganèse, n'est pas spéculaire, mais seulement rayonnée, parce qu'elle est produite avec une allure un peu plus surchargée de minerai. Les fontes lamelleuses sont considérées avec raison, en Suède, comme plus difficiles à affiner, à cause de leur plus grande teneur en carbone et en manganèse. Nous avons déjà donné l'analyse des fontes d'affinage pour fers à acier, de Harnaes et de Ranas, fabriquées avec les minerais de Dannemora; nous donnerons plus loin celle de la fonte de Nykroppa, fonte blanche à noyau truité, fabriquée avec le minerai de Persberg.

Une grande partie des fontes d'affinage est employée pour la préparation des blooms et billettes destinées à la tréfilerie et à la clouterie, ainsi que pour la fabrication des fers du commerce. Les meilleures pour l'acier sont aussi les meilleures pour les autres usages. Mais on en emploie beaucoup pour la tréfilerie, qui ne sont pas ordinairement usitées pour l'acier : elles proviennent des minerais de la Sudermanie (Nykoeping), et surtout de ceux de Graengesberg et Gellivara. Ces fontes grises, truitées ou blanches, sont en général moins manganésées et renferment quelquefois des traces plus ou moins notables de phosphore. Celui-ci ne provient pas toujours des minerais, qui en sont quelquefois dépourvus, mais alors de la cendre du charbon de bois, qui en contient souvent 0,7 pour 100 de son poids. Nous donnerons l'analyse des fontes suivantes :

Langbanshyttan, fonte blanche fabriquée avec trois quarts de minerai de Persberg et un quart de minerai de Langban. L'usine produit annuellement 2 550 tonnes de fonte, dont 1 530 tonnes sont employées sur place à l'affinage pour fers à tréfilerie, à câbles, et un peu pour fers à acier, et dont le reste se vend à l'étranger pour puddlage, pour Bessemer et pour fonte malléable, le prix étant de 135 francs la tonne à Gothembourg. Westansjoe, fonte blanche fabriquée avec les minerais phosphoreux de Grangårde, contenant une

forte proportion de phosphore ; elle sert à fabriquer du fer pour outils d'agriculture.

La fonte de Moelnbacka (Carlstad), fabriquée avec le minerai de Persberg, est une de celles qui fournissent les meilleurs fers pour la tréfilerie fine.

D'autres fontes servent pour l'affinage pneumatique par le procédé Bessemer, comme celles de Carlsdahl, de Siljansfors, de Langshyttan, de Fagersta. Elles proviennent d'une allure plus chaude que les fontes d'affinage ordinaires, avec laitier très-fluide et basique. Quand il y a beaucoup de manganèse dans le lit de fusion, la fonte tend à devenir lamelleuse, si on la refroidit lentement ; autrement, elle est plus ou moins truitée ou grise, parce qu'elle se charge d'une proportion plus forte de silicium. En Suède, où les fontes sont relativement pures, on recherche moins qu'ailleurs pour le Bessemer des fontes siliceuses, parce que les opérations peuvent être courtes sans inconvénient. Nous avons donné l'analyse des fontes à Bessemer de Fagersta ; on trouvera plus loin celles des fontes grises de Siljansfors fabriquées avec les minerais de Soerskog.

A Graninge (Wester Norrland), on fait des fontes pour la fabrication de l'acier naturel avec une allure si chaude, que le haut fourneau ne peut marcher avec sa faible charge que quelques jours à peine, parce que le creuset s'encombre peu à peu de matières infusibles.

A Wiksmanhyttan, près Hedemora, on fait avec le riche minerai de Bispberg des fontes pour fabriquer l'acier Uchatius. A Kihlafors, avec le minerai de Hammarin, on fait des fontes qui servent à produire l'acier par réaction. Nous avons déjà parlé des fontes à canons de Finspong. On fait encore des fontes de moulage tenaces à Langshyttan, à Langsbanshyttan ; des fontes ordinaires de fonderie dans les usines du Sud qui traitent les minerais des lacs, par exemple, à Ankarsrum ⁽¹⁾.

(1) On ne fabrique de fer avec les fontes provenant de minerais des lacs que pour le marché local.

Voici les analyses annoncées ci-dessus :

	Nykroppa (blanche truitee).	Langbanshyttan (blanche).	Westansjöe (blanche).	Siljansfors (grise).
Carbone combiné.	0,59	3,680	4,07	1,12
Graphite	3,80	»	0,69	3,70
Silicium	0,16	0,154	0,17	»
Aluminium . . .	0,16	0,000	»	»
Calcium.	0,26	0,330	»	»
Magnésium . . .	»	0,130	»	»
Manganèse . . .	0,06	0,593	»	»
Soufre	0,06	0,022	0,00	0,01
Phosphore . . .	0,01	0,029	0,11	0,007

La fabrication des fontes pour l'affinage est particulièrement soignée et surveillée en Suède. Lorsque la même usine produit des fontes avec divers lits de fusion, elle a diverses marques de fabrique pour ses fontes et ses fers. Ainsi, Finspong, qui fabrique les fontes à canon avec les minerais de Forola, etc., traite pour les fontes à fer des minerais de la province d'Upsala, de Striberg, d'Utoë, et a quatre marques différentes. L'usine de Uddeholm (province de Carlstad) a six marques différentes suivant les minerais de Taberg, de Nordmark, de Persberg ou de Langban qu'elle traite. L'association des maîtres de forges suédois veille avec un soin scrupuleux à ce que les marques se maintiennent loyales et offrent aux acheteurs la garantie qu'ils y cherchent.

Les laitiers, correspondant aux fontes d'affinage, sont toujours, en Suède, des silicates tels, que la quantité d'oxygène qui se trouve dans la silice et l'alumine est double de celle qui se trouve dans la base ⁽¹⁾. On peut le constater dans l'analyse du laitier de fonte grise de Fagersta, que nous avons donnée plus haut, ainsi que dans les deux analyses suivantes dues à M. Rinman ⁽²⁾ :

	Bredsjöe (Nora).	Harnaes (Dannemora).
Silice	58	43,9
Alumine	4	8,6
	32 oxygène.	27 oxygène.

⁽¹⁾ En Suède, on compte toujours l'alumine comme acide à côté de la silice, et on a raison, suivant nous.

⁽²⁾ Dans ces analyses, les quantités d'oxygène sont établies d'après les équivalents suédois, un peu différents de ceux adoptés en France.

Chaux	16	} 12 oxygène.	31,4	} 14 oxygène.
Magnésie.	17		10,2	
Protoxyde de fer	5		4,5	
Protoxyde de manganèse.	0		0,3	

Ces laitiers sont des laitiers de fonte blanche ou truitée ; on fabrique peu de fontes grises proprement dites dans les usines couronnant les minerais pour fers à acier ou de forge ; on ne fait des moulages que par exception.

On sait que la fusibilité des laitiers a été étudiée en Suède par M. Sefstrom. M. Rinman a étudié leur capacité calorifique et la quantité de chaleur qu'ils contiennent au sortir du haut fourneau. Les recherches de cette nature ont une grande importance pour l'établissement de la théorie complète du haut fourneau, et il est à désirer qu'elles soient continuées et qu'on en publie les résultats. La limite de fusibilité à laquelle on est arrivé en Suède est le laitier à 44 pour 100 de silice et d'alumine et 56 pour 100 de chaux et magnésie ; à 42 pour 100 de silice et d'alumine, on n'a pas fondu. En France, dans les fourneaux au coke soufflés à l'air chaud, on a fondu des laitiers encore plus basiques, mais, il est vrai, avec une forte proportion de manganèse dans le lit de fusion et dans le laitier.

Les laitiers des fontes au bois suédoises ne ressemblent guère, ni pour la texture, ni pour la couleur, à ceux qui accompagnent nos fontes au bois de Franche-Comté ; leur faible teneur en alumine les empêche de prendre la texture vitreuse. La plupart ont une texture pierreuse, souvent analogue à celle du marbre, avec une croûte à demi vitrifiée ; quelquefois même on trouve des laitiers tout à fait cristallisés ⁽¹⁾. Voici, par exemple, l'analyse d'un laitier de Gammelbo-Ramsberg (Oerebroe), dont les cristaux sont rappor-

⁽¹⁾ On emploie, en Suède, les blocs de laitiers refroidis lentement, à diverses constructions. Les anciens hauts fourneaux des petits propriétaires paysans des environs de Filipstad et de Nora avaient un massif en terre soutenue par une charpente de bois bruts, sur une base en maçonnerie de laitiers. Ils disparaissent rapidement.

tés à l'augite par M. Rammelsberg ; ils sont en petites tables grises.

Silice.	54,70
Alumine	1,54
Protoxyde de fer . . .	0,08
Protoxyde de manganèse	1,66
Chaux.	23,56
Magnésie	15,37
Potasse.	1,15
Soude	1,94
	<hr/>
	100,00

Le rapport de l'oxygène de la silice et de l'alumine à celui des bases est 2,14.

On s'est habitué, en Suède, à juger de la qualité et de la pureté des fontes d'après la couleur des laitiers correspondants. Les laitiers qui accompagnent des fontes tout à fait dépourvues de soufre sont eux-mêmes tout à fait blancs. Si le lit de fusion est sulfureux et si le laitier ne renferme du reste pas de manganèse, la couleur du noyau amorphe du laitier se fonce à mesure que la proportion de soufre augmente ; si la fonte renferme 0,04 pour 100 seulement de soufre, le laitier est grisâtre ; il est noir pour une teneur de 0,09 pour 100 seulement de soufre dans la fonte. Mais si le laitier renferme une proportion sensible de manganèse, la couleur noire causée par le soufre disparaît ; le manganèse a pour effet de dissimuler la présence du soufre. La couleur grisâtre ou noirâtre peut être ainsi causée par la présence du titane, qui colore les laitiers de la même façon que le soufre (1). Nous avons déjà parlé de la couleur des laitiers trisilicatés sulfureux qui accompagnent les fontes à canons. Nous rappellerons aussi qu'en Suède, lorsqu'on veut obtenir des fontes dures, on emploie des dosages sulfureux.

(1) Les laitiers de Taberg sont noirâtres ; c'est à tort, croyons-nous, qu'on a attribué quelquefois au titane la coloration bleue de certains laitiers. Celle-ci provient plutôt d'un changement moléculaire ; on a constaté que le verre à bouteille, chauffé longtemps et lentement, prenait une coloration bleue au lieu de verte.

Avant d'abandonner ce sujet, nous croyons utile d'indiquer ici sommairement, et d'après les notices manuscrites exposées à côté des instruments, le procédé inventé par M. Eggertz, professeur de métallurgie à l'Ecole des mines de Falun, et qui est d'un usage constant dans les usines suédoises pour déterminer approximativement la quantité de soufre contenue dans le fer, l'acier ou la fonte.

On verse dans un petit flacon 1 décigramme de limaille ou de poudre du métal à essayer, ainsi que 1,3 centimètre cube d'acide sulfurique délayé, de pesanteur spécifique 1,23, et on suspend au bouchon une lame d'argent. Au bout de quinze minutes, on ôte la lame, qui a pris une coloration différente, suivant la quantité de soufre qui se trouve dans le métal.

La couleur n° 1, blanc d'argent, indique :	soufre	0,00	pour 100.
La couleur n° 1, avec une trace jaunâtre, indique	0,01	—	
La couleur n° 2, jaune de cuivre.	0,02	—	
La couleur n° 2 1/2, jaune teinté de brun . . .	0,03	—	
La couleur n° 3, brun de bronze.	0,04	—	
La couleur n° 4, bleue, indique plus de. . . .	0,10	—	

On trouvera dans la *Berg und Huttenmannische Zeitung*, 1862, n°s 10 et 11, la description complète de ce mode d'essai.

Nous avons dit plus haut quelle était la production de la Suède en fonte de fer. Nous passerons maintenant à la Norvège.

SECOND GROUPE.

NORVÈGE.

L'exposition norvégienne était séparée de celle de la Suède; elle présentait aussi de l'intérêt, mais une importance bien moindre.

Minerais.

Les minerais de fer de Norvège se trouvent surtout dans des filons; ce sont, soit des fers magnétiques, soit des fers

oligistes spéculaires ⁽¹⁾. Les principaux gîtes se trouvent dans le voisinage de la côte maritime, au sud, sur le Skagerack, entre Grimstadt et Christiania, et même dans les îles du littoral. Les mines sont à Arendal, à Naes et à Krageroe, surtout. Le minerai le plus riche et le plus pur est, dit-on, celui de Solberg, près Naes, qui renferme 90 pour 100 d'oxyde magnétique de fer, et qui a l'aspect d'un granit à petits éléments; on l'a appelé dans le pays *granit de fer*. On en voyait dans l'exposition des forges de Baerum, ainsi que des minerais des mines de Grevinde-Wedel et Fru-Anners.

On trouvait encore dans la section norvégienne un minerai exploité dans le nord du royaume, vers Bergen, le minerai magnétique de Lilledahl, dont voici l'analyse :

Protoxyde de fer . .	27,81	} 89,6 avec 64,88 pour 100 fer.
Peroxyde de fer . . .	61,79	
Silice.	8,57	
Alumine	1,37	
Chaux	0,06	
Magnésie	0,37	
Sulfure de fer. . . .	0,07 avec 0,04 pour 100 soufre.	
Phosphore	0,00	
	<hr/> 100,00	

On exploite environ 22,000 tonnes de minerai de fer par an en Norvège, dont 2,500 tonnes sont exportées.

Usines à fonte.

La Norvège possède 16 hauts fourneaux, dont 3 sont tout à fait éteints, et dont la plupart des autres ne fonctionnent que pendant trois à six mois d'hiver. Parmi les 3 fourneaux éteints, 2 se trouvent dans le voisinage de Trondhjem, et étaient autrefois alimentés avec des minerais venant de Laponie; tous les autres sont dans le voisinage de Christiania, Drammen et Laurvig.

(1) Voir, dans les *Annales des Mines*, 1866, le Mémoire de MM. Kjerulf et Dahll sur les gîtes de fer norvégiens, traduit par M. Fuchs.

Les hauts fourneaux sont de construction assez ancienne ; ils ont 9 mètres de hauteur, 2^m,20 à 2^m,50 de diamètre au ventre et 1^m,25 à 1^m,57 de diamètre au gueulard. On les souffle avec un vent peu comprimé, chauffé de 200° à 300°. Le combustible est du charbon de bois léger (de sapin) carbonisé en meules. La fonte varie du blanc au truité, ordinairement ; elle est plus rarement grise. La production hebdomadaire varie de 12 tonnes et demie à 17 tonnes et demie. Le travail est tout à fait analogue à celui des usines suédoises.

La production de fonte atteint annuellement au plus 10,000 tonnes, dont un tiers est employé au moulage et le reste à l'affinage ; on n'en exporte point.

Les usines appartiennent toutes à de grands propriétaires fonciers, qui ont leurs mines, leurs forêts, leurs chutes d'eau ; les sociétés industrielles ne sont pas encore connues en Norvège, et la dissémination de la propriété minérale entraîne une fabrication intermittente et peu économique. Voici les principales usines du pays ; elles étaient représentées à l'Exposition :

Usine de Baerum.

L'usine de Baerum, près Christiania, appartenant à M. le baron H. Wedel-Jarlsberg, ne compte qu'un haut fourneau ; mais le même propriétaire possède encore les hauts fourneaux de Moss, Fossum (1) et Hakedalen. On y traite les minerais de Langoe, de Solberg, de Fen, etc., tous oxydulés.

Le haut fourneau de Baerum est bien connu des métallurgistes par les expériences sur les gaz faites par M. Scheerer, alors professeur de métallurgie à Christiania, et rapportées par lui dans son excellent *Lehrbuch der Metallurgie* (2). On y fond des minerais magnétiques sans fondants, qui rendent

(1) L'usine de Fossum est la plus ancienne de Norvège, et sa création remonte au seizième siècle.

(2) Voir Percy, *Petitgand*, Ronna, t. III, p. 172.

40 à 42 pour 100 de fonte grise. Celle-ci, de grain n° 3, coulée en plaques unies, sert en partie pour le moulage et en partie pour l'affinage. La production journalière est de 3,200 kilogrammes environ, et la consommation de charbon de sapin, par tonne de fonte, 1,350 kilogrammes environ. Cette consommation est bien plus élevée que celle des hauts fourneaux suédois, comme on le voit. Les laitiers de Baerum exposés sont gris poreux sur les deux surfaces externes, plus clairs (gris cendré) avec des aiguilles cristallisées dans le centre des morceaux.

Les deux hauts fourneaux de Baerum et de Hakedalen ont produit 1,717 tonnes en 1863, d'après M. Mosler; celui de Baerum, seul, avait produit environ 1,150 tonnes.

Usine de Fritzoe-Laurvig.

Cette usine appartient à M. Treschow, qui possède encore les 2 hauts fourneaux de Moholt et de Froland; ce sont les plus importants établissements métallurgiques de Norvège.

Le haut fourneau de Laurvig est le plus grand de la Norvège et aussi le plus récemment construit (1847). Il a 14^m,15 de hauteur, 1^m,25 de diamètre au gueulard, 2^m,50 de diamètre au ventre. La tour est de construction légère, ronde, avec une enveloppe de tôle; l'ouvrage est en pisé; il y a 3 tuyères, dont on n'utilise que 2 (tous les autres hauts fourneaux de Norvège sont soufflés par une seule tuyère). La plate-forme du gueulard est réunie par un pont suspendu en fer avec la terrasse de chargement, où se trouvent 3 fours à griller le minerai et un concasseur pour le minerai grillé. Le vent est chauffé dans un appareil écossais. D'après M. Mosler, ce fourneau produit par semaine 56 tonnes, soit environ 8 tonnes par jour. Il ne consomme que des minerais purs des environs d'Arendal (Braastad, Thorbjørnsbo, etc.), auxquels on associe une petite quantité de castine, et dont le rendement est d'environ 40 pour 100 de fonte. Celle-ci est ordinairement blanche ou truitée, et sert

surtout pour la fabrication de fers fort estimés pour l'exportation, notamment pour l'Amérique.

Le minerai coûte, à Fritzoe, environ 9 francs la tonne, rendue à l'usine. Le bon charbon de bois coûte 30 à 35 centimes l'hectolitre. On y a fabriqué, en 1863, 1,748 tonnes de fonte.

Usines de Naes et Egeland.

L'usine de Naes, près Tvedestrand, appartenant à MM. J. Aal et fils, comprend 2 hauts fourneaux. Les mêmes propriétaires possèdent encore un troisième haut fourneau à Egeland. Ces fourneaux consomment les excellents minerais magnétiques grillés de Solberg, Langser et Vas, et obtiennent une fonte rayonnée blanche avec laquelle on fabrique des fers à acier et des aciers très-réputés en Norvège et en Allemagne. On obtient aussi de la fonte grise qui sert au moulage dans la fonderie attenante aux hauts fourneaux. La production des usines de Naes et Egeland a atteint, en 1863, 935 tonnes de fonte.

Il n'y a rien à dire des hauts fourneaux de Bolvig, de Holden, de Sjensjöfors; leur roulement est analogue à celui des anciens fourneaux de Baerum et de Naes.

RÉSUMÉ.

Parmi les trois États scandinaves, le Danemark ne renferme aucune usine à fonte; la sidérurgie n'était rappelée dans son exposition que par un échantillon de minerai de fer venant de l'île de Bornholm. La Norvège possède un certain nombre d'usines, comme on vient de le voir; mais la production minière et métallurgique n'occupe dans son industrie que le troisième rang; elle vient après l'exploitation des forêts et la grande pêche. En Suède, l'industrie forestière et l'industrie minérale occupent les premiers rangs dans la fortune du pays. Ainsi que le dit M. Ljungberg, dans

sa notice sur la Suède, publiée pendant l'Exposition, « l'industrie minérale a toujours occupé une place principale parmi les plus importantes de la Suède, d'autant plus importante que sur elle furent fondées les monnaies et les finances de l'État ; mais précisément par cette cause, dans les anciens temps, elle avait été entourée de tant de formalités réglementaires, de restrictions et de prohibitions, qu'il n'était pas une branche de l'industrie suédoise où la législation ne dût introduire des changements plus radicaux, pour la mettre en harmonie avec les principes libéraux de notre époque.

« Des restrictions arbitraires établissaient une alliance forcée entre la fabrication du fer et celle de la fonte, en limitant les droits des propriétaires et les empêchant souvent de vendre ou d'acheter de la manière la plus profitable à leurs intérêts. Ces restrictions, jointes à celles qui pesaient en même temps sur la vente du charbon de bois, ont dû succomber sous un nouvel ordre de choses équitable et rationnel, permettant d'appliquer à cette industrie le principe du libre échange.

« Maintenant, de même qu'on l'avait fait il y a quelques années pour les moulins et les scieries, les hauts fourneaux et autres usines minéralurgiques sont considérés comme des fabriques ordinaires, en ce qui concerne l'impôt et la production.

« Persuadé que la fabrication du fer suédois n'a pas beaucoup à craindre de la libre concurrence, le gouvernement a levé toutes les prohibitions sur l'importation et l'exportation de toute espèce de fer travaillé, et supprimé aussi les droits de douane à l'importation, sauf sur certains fers manufacturés et sur quelques articles de peu d'importance. »

Nous avons déjà dit que la production de fonte en Suède ⁽¹⁾ avait atteint, pour 1865, le chiffre de 226,676 ton-

(1) Cette production a plus que doublé depuis 1835, où elle était de 97,494 tonnes seulement. En 1855, elle était de 188,140 tonnes avec 234 hauts fourneaux en feu produisant en moyenne 5,040 kilogrammes par vingt-quatre heures.

nes. Sur cette quantité, 16,620 tonnes ont été exportées, dont 822 tonnes et demie pour la France. L'exportation de la fonte de Suède n'a pas pris jusqu'à présent une grande importance : il n'y a que peu de temps, du reste, que les restrictions s'opposant à ce commerce sont levées. Comme la Suède manque de houillères, il est possible que l'exportation de la fonte s'augmente : fabriquée au charbon de bois avec des minerais d'une richesse et d'une pureté exceptionnelles, elle pourrait être affinée par les nouveaux procédés dans les usines des pays mieux pourvus de combustible minéral. D'après M. Mathis (*Rapport au ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics*, 1867), le prix des fontes suédoises est de 100 à 120 francs la tonne, livrée sous palan, dans un port voisin de l'usine. Actuellement (avril 1868), le prix de vente des fontes bonnes ordinaires, comme plusieurs de celles de Nora, Norberg, etc., est de 89 fr. 30 c. les 1,000 kilogrammes à Nora ; il y a des fontes inférieures moins chères et des fontes supérieures plus chères. Les prix varient en suivant les lois de l'offre et de la demande : en ce moment, la production dépassant la consommation, les prix se sont abaissés. Les prix du minerai, du charbon et de la main-d'œuvre s'abaissent en même temps que ceux de la fonte et du fer.

Il y a quelques usines, comme celles de Langshyttan et d'Elfstorp (Oerebro), qui ont des forêts et des mines tout près du haut fourneau, dont les prix de revient sont exceptionnellement bas et qui gagnent beaucoup. Mais, en général, les usines qui ont les charbons bon marché payent les minerais cher, et réciproquement. Ainsi, l'usine de Finspong paye les charbons bon marché ; mais les minerais pour fonte d'affinage lui reviennent fort cher, parce qu'ils doivent être transportés depuis Nora et Upsal jusqu'à Sten, près de Norrkoeping. Par contre, l'usine de Dalkarlshyttan, près Linde (nord-est de Nora), paye ses charbons très-cher, mais non les minerais, qui viennent de Stripa, près de Guldsmeshyttan, par le lac Rosvalen, et qui ne coûtent presque rien de transport. Le prix le plus élevé du charbon de bois

dans les districts où les minerais sont abondants revient à 7 francs le mètre cube.

La Suède est le pays par excellence de la métallurgie au charbon de bois : elle peut fabriquer d'excellentes fontes avec ce combustible à un prix de revient que nous atteignons à peine en France pour les fontes au coke de qualité supérieure. Nous avons vu que, dans la province de Stora Kopparberg, le coût de 83 francs par tonne de fonte était à peu près une moyenne. D'après M. Tunner, l'usine de Langshyttan fabrique sa fonte pour 47 francs environ les 1,000 kilogrammes ; mais c'est une exception. Toutefois le prix du combustible végétal haussera sans doute en Suède ; jusque il y a peu d'années, les forêts étaient gaspillées, et les mesures prises pour améliorer l'économie forestière rappellent celles prises autrefois en pareil cas en Angleterre. Si le charbon de bois venait un jour à manquer ou à devenir trop cher, la Suède ne serait plus qu'un riche magasin de minerais pour les autres pays métallurgistes. Heureusement pour elle, elle est encore loin de ce moment, et elle peut réaliser des économies assez notables dans la consommation de charbon pour la fabrication de la fonte. Elle a fait de grands progrès depuis 1846, époque où M. Leplay publiait son beau travail : *Sur la fabrication et le commerce des fers à acier dans le nord de l'Europe*. A cette époque, on consommait 1,050 à 1,060 kilogrammes de charbon par tonne de fonte, en ne produisant que 4 tonnes et demie à 6 tonnes et demie par jour et par fourneau. Les hauts fourneaux avaient seulement environ 8 mètres de hauteur. A Langshyttan, avec un fourneau de 15^m,50 environ, on produit 15 à 16 tonnes par jour en ne consommant que 700 à 750 kilogrammes de charbon par 1,000 kilogrammes de fonte. On pourra encore accroître la hauteur et la capacité des fourneaux. Les gaz sont recueillis et utilisés pour griller les minerais (dans le système de fours inventés par M. Westman) et pour chauffer l'air ; mais les appareils de prise de gaz sont encore imparfaits, et leur perfectionnement introduira encore des économies dans la fabrication.

L'Exposition de 1867 a eu pour résultat de faire connaître et apprécier la Suède et ses produits métallurgiques à beaucoup d'industriels français et étrangers qui ne s'en étaient jamais préoccupés, et il n'est pas douteux que cet intéressant pays recevra, dans un accroissement de son commerce d'exportation, la récompense des efforts faits à Paris l'année dernière par ses représentants pour attirer l'attention du public compétent et pour lui fournir tous les renseignements désirables.

Nous passerons maintenant à l'étude des usines à fonte de la Prusse et de l'Allemagne du Nord.

MARINE A VAPEUR COMMERCIALE

Par M. E. FLACHAT,

Ingénieur.

L'histoire du travail, dans le petit nombre d'années qui s'écoulaient entre deux Expositions universelles, peut s'écrire en signalant d'abord les procédés récemment abandonnés par l'industrie, puis les progrès accomplis, et enfin les tentatives ou découvertes nouvelles à l'état d'expérience.

Dans la navigation maritime, la brièveté de l'existence des navires aide aux progrès et les révolutions marchent vite. Aussi une période bien plus courte que celle de la durée des navires suffit-elle à déterminer la transformation du matériel naval.

En cinq ou six ans, le clipper américain a répandu ses formes dans les chantiers de construction des navires de long cours.

L'emploi du fer a permis l'allongement des coques des bâtiments à vapeur et à voiles ; il a consolidé le gréement.

Le condenseur à surfaces est venu, à la suite du surchauffeur, arrêter la rapide destruction des chaudières.

Les machines d'une puissance de 5 à 6,000 chevaux-vapeur (Watt) ne présentent plus aucune difficulté de construction.

Dans la marine militaire, la construction des coques en fer, le revêtement des parois des navires en plaques du même métal, l'éperon de combat en avant, l'armement en pièces d'artillerie d'un calibre aussi fort que le permettent les moyens de fabrication et manœuvrées par des mécanismes bien protégés ; l'usage de machines d'une puissance toujours croissante attelées directement à des hélices animées de vitesses considérables, sont aussi des révolutions nées d'hier et devenues générales dès leur apparition.

Quelques gouvernements ne renoncent pas complètement aux anciennes méthodes. En France, par exemple, pays d'habitudes avant tout, la marine militaire construit presque exclusivement en bois ses navires de guerre ; le désir d'utiliser de vastes approvisionnements, le défaut de cohésion entre deux corps, celui des ingénieurs de la marine qui construisent les navires et celui des officiers de marine auxquels sont confiées l'attaque et la défense, sont l'explication naturelle de cette singulière persistance. — La marine marchande française suit cet exemple, du moins en partie, car elle n'adopte pas le fer pour la construction de ses navires à voiles. La cause en est moins à l'ignorance des avantages que le fer présente sur le bois, qu'à la continuation de la crise qui sévit depuis longtemps sur l'industrie d'armement et dont il est difficile de prévoir la fin.

En Angleterre, au contraire, l'emploi du fer à la construction des navires à vapeur et à voiles se généralise ; aussi jamais, à aucune époque, le commerce anglais ne s'est-il emparé plus rapidement des transports maritimes sur toutes les mers.

Chaque année voit surgir des lignes nouvelles de steamers à hélice, de fort tonnage, appropriés à des transports de marchandises, faisant des trajets de 4 à 5,000 milles, en s'aidant avec les voiles et à des *vitesse*s moyennes de 7 à 9 nœuds. Nos armateurs ont vu, cette année, avec surprise de semblables navires transporter les blés d'Odessa à Trieste et en Angleterre.

Nul doute qu'avant quelques années, des navires de ce genre n'aillent chercher les laines d'Australie, en y portant les produits des manufactures anglaises.

C'est à l'emploi du fer dans la construction des navires, à celui de l'hélice, seule conciliable avec la voile, c'est à ses vastes chantiers de la *Clyde*, de Liverpool, de Hull et de Londres, c'est aussi à la suppression de la marine américaine et aux mauvaises conditions des ports français, que l'Angleterre doit cet élan remarquable.

Il a fait naître un genre de navires à vapeur doués de vitesse moyenne, de forte capacité pour le fret et ayant des

installations pour un petit nombre de voyageurs, qui parcouraient les plus grandes distances dans des conditions d'économie telles, que le prix du fret descend rapidement au taux qu'il avait quand les navires à voiles étaient les seuls moyens de transport.

Le navire en fer doit à ses diverses conditions de construction des avantages qui lui assurent la supériorité sur les navires en bois. A volume égal, il laisse plus de place pour le fret et les installations. Il est plus long, sans accroissement sensible de résistance à la marche, et, sous ce rapport encore, sa contenance proportionnelle au moteur (vent ou vapeur) est plus grande.

Il est plus léger.

Il dure beaucoup plus.

Dans les grandes dimensions, il coûte moins.

Il est plus solide.

Son entretien est moins coûteux.

Il peut porter un moteur mécanique sans en être fatigué.

Il peut subir des transformations dans ses dimensions et dans son moteur, sans altération des autres parties.

Il est plus sûr, parce qu'il est divisé en compartiments.

Les divers climats sont sans influence sur sa coque.

Est-il surprenant qu'une si grande révolution au point de vue technique ait pour résultat d'assurer la supériorité maritime à la nation qui a su le plus tôt et le mieux en comprendre les avantages et les profits ?

Naguère encore, avant la lutte de la sécession, il n'y avait pas d'année où l'Angleterre ne vit diminuer l'importance relative de sa marine marchande, comparée aux progrès extraordinaires que faisait celle des États-Unis. Ceux-ci avaient pour eux les meilleurs bois, en qualité, dimensions et prix ; les ports et les chantiers les mieux disposés le long de leurs vastes baies fluviales et maritimes ; une population vouée à la navigation maritime, audacieuse, habile, laborieuse à outrance : là se trouvaient, sans contredit, les premiers constructeurs et les premiers marins entre tous.

La destruction partielle de leur marine marchande par

les pirates officiels du Sud, armés en Angleterre; l'inaction ou la vente du reste; la réduction de près des trois cinquièmes de la production du coton, du riz, du sucre et du tabac; les énormes droits d'entrée perçus, en apparence pour le paiement de la dette, mais en réalité pour donner aux manufactures des États du littoral nord le privilège d'alimenter seules les États du sud et du centre en produits fabriqués, ont amené le dépérissement presque complet de la marine américaine.

Elle ne peut plus se relever dans les mêmes conditions techniques, et, pour suivre l'Angleterre dans sa nouvelle voie, les éléments matériels lui manquent en partie; elle ne pourrait construire les navires en fer à aussi bas prix; sur la seule main-d'œuvre, la différence est énorme.

A la fin de 1866, il y avait en Angleterre 2,808 navires jaugeant 1,270,240 tonneaux et ayant coûté 1,175 millions de francs.

Deux ans avant, fin 1864, ce tonnage était de 992,500 tonneaux; il avait coûté 920 millions de francs. Ainsi, en deux ans, l'augmentation avait été de 277,690 tonneaux ayant coûté 255 millions de francs; les constructions pour les gouvernements et les industries de l'étranger ont dépassé, pendant la même période, 150 millions; les chantiers anglais peuvent facilement produire annuellement 200 à 220,000 tonneaux en navires à vapeur, en fer, valant 200 millions.

La France, à la même époque (1866), avait 407 bâtiments à vapeur, jaugeant 186,000 tonneaux, ayant coûté 172 millions, la plupart construits en Angleterre.

La suprématie de l'Angleterre dans la navigation maritime, aujourd'hui incontestée, semble devoir lui appartenir longtemps encore. Les États-Unis ont tari chez eux la source du travail en fermant leurs ports aux produits étrangers; la France n'a plus ni ports, ni chantiers, ni capitaux disponibles pour les grandes opérations d'armement. La Belgique n'a pas assez de relations commerciales; les autres nations sont pauvres, ou indifférentes à cet intérêt; leurs grandes opérations transatlantiques se font avec un matériel construit en Angleterre.

Il est naturel que la marine marchande anglaise soit supérieure en importance à celles des pays continentaux, puisqu'elle recoit et exporte uniquement par la voie maritime ; tandis que, pour d'autres nations, les relations de voisinage prennent une part considérable des échanges par les frontières de terre. Il en est en France particulièrement ainsi ; mais cela ne suffit pas à expliquer l'énorme différence que constatent les chiffres qui précèdent. — Il est également vrai que la navigation est, en Angleterre, favorisée par l'équilibre entre les importations et les exportations, mais cet équilibre existe aujourd'hui presque au même degré pour la France, si on considère que la houille n'entre pas pour une forte part dans les transports qui alimentent la navigation à vapeur de long cours.

Le mal est ailleurs et nous l'avons signalé : il est, en France, dans le défaut de ports profonds et spacieux, de baies d'un accès facile qui provoquent la formation des agglomérations industrielles. L'histoire de la navigation démontre que sa prospérité a toujours été associée à l'existence de grands ports devenus de grands centres de population où tout afflue, manufactures, commerce, capitaux, une population laborieuse dans laquelle tous les genres de travail trouvent des ressources toujours prêtes en main-d'œuvre : une classe de négociants, d'armateurs, de chefs d'industrie, dont l'activité s'accroît avec le succès et fait servir ses bénéfices au développement de ses entreprises. Londres, Glasgow, Liverpool, Hull, New-York en sont la preuve ; là se trouvent non-seulement toutes les ressources, hommes, matières, capitaux, mais aussi toutes les idées qui excitent l'activité.

Le Havre, Cherbourg, Brest, Saint-Nazaire et Bordeaux n'ont pas d'industries. Nantes n'est plus un port ; Marseille n'a pas de place sur son littoral. L'initiative des affaires ne part pas de là. C'est Paris qui a fondé la Compagnie des Messageries Impériales et la Compagnie Transatlantique ; c'est Paris qui est actionnaire des entreprises des Forges et chantiers de la Méditerranée, des Forges et chantiers de l'Océan, des Chantiers de Nantes et de Saint-Nazaire, des Docks du

Havre, de Marseille, des Magasins généraux de Bordeaux ; mais Paris ne fonde rien de grand s'il n'est aidé par les foyers d'industrie auxquels il fournit le capital, et cette aide lui manque, parce que ces foyers sont sans aliment et sans chaleur. Dans nos ports plus qu'ailleurs encore, on passe dans une industrie quelques années de sa vie, on n'y reste pas ; le succès ou l'insuccès en éloignent également ; les enfants ne continuent pas la profession du père ; une maison qui a deux ou trois générations de durée est un fait exceptionnel.

La marine commerciale à vapeur peut être classée en plusieurs catégories :

La première comprend les services postaux transatlantiques et internationaux ;

La seconde, les navires faisant le transport transatlantique des voyageurs, émigrants et fret ;

La troisième comprend le transport des marchandises seulement ;

Enfin, la quatrième comprend le cabotage de port à port, qui sur le littoral maritime s'est substitué à la voile.

C'est dans la première catégorie que se sont produites les améliorations les plus récentes, à la faveur d'une organisation financière puissamment aidée par les gouvernements.

Les services postaux ont, en effet, donné lieu à des entreprises dans lesquelles plus de 600 millions sont engagés, en Angleterre, en France, aux États-Unis et en Autriche. Les subventions accordées par les gouvernements varient suivant les mers, le trafic, le prix des charbons, etc.

Elles sont justifiées là où les relations internationales exigent des moyens rapides, réguliers et fréquents de correspondance.

A l'origine des services postaux transatlantiques, les éventualités plus ou moins redoutables qui pèsent sur les entreprises exigent que la subvention représente une part importante des dépenses ; puis, sous l'influence du développement du trafic et de l'extension des services, cette subvention diminue progressivement. Les contrats, qu'ils soient

passés pour de longues périodes ou pour une courte durée, sont bientôt modifiés en cours d'exécution par le consentement mutuel des parties engagées, parce que l'intérêt public s'impose toujours devant des faits nouveaux.

Sur New-York, la subvention donnée à la compagnie Cunard fut :

En 1840 pour 12 voyages par an	137 500 fr. par voyage	
1842 — 20 —	101 000	—
1846 — 44 —	83 000	—
1852 — 52 —	83 000	—
1868 — 208 { 52 Cunard (navires rapides)	38 000	—
{ 156 divers	11 860	—

Les administrations postales ont pris pour base du calcul de la subvention le *cheval-lieue*, c'est-à-dire la puissance nominale mécanique en chevaux-vapeur appliquée au parcours en lieues marines de 5,555 mètres.

Le *cheval-lieue* exprime donc un parcours de 5,555 mètres pendant lequel il a été fait usage, pour la marche du navire, de la puissance mécanique due à un cheval-vapeur.

Le cheval-vapeur marin varie suivant les pays et les constructeurs. Ses bases réelles de comparaison sont : 1° la surface de grille du foyer ; 2° la surface de chauffe ; 3° la pression ; et 4° le volume offert dans les cylindres à l'utilisation de la vapeur. — Sur les deux premiers éléments, le cheval-vapeur anglais est de 35 à 100 pour 100 plus puissant que le cheval français ; sur le troisième, le cheval français l'emporte de 15 à 18 pour 100, mais cet avantage ne dure que tant que les chaudières sont en bon état. Enfin, sur le quatrième, le cheval anglais l'emporte encore de 20 à 30 pour 100.

Dans le matériel à flot aujourd'hui, on peut considérer l'expression mécanique du cheval anglais comme égale à 450 kilogrammètres *aux essais*, soit plus de 6 chevaux-vapeur de 75 kilogrammètres. — D'après des comparaisons basées sur un grand nombre d'exemples, le cheval anglais peut être compté, *en service*, à 290 kilogrammètres. Le cheval-vapeur était évalué en France de la manière suivante : le

travail indiqué *aux essais* par le dynamomètre placé sur les cylindres était divisé par 200 kilogrammètres. Depuis l'année 1868, on divise par 300 kilogrammètres.

L'administration des postes prescrit, en Angleterre comme en France, la vitesse de marche. La force nominale des machines dont les navires sont munis et la dépense de la navigation lui sont connues; elle estime le revenu commercial, et, s'il est insuffisant, elle paye le transport des lettres à un prix qui permet l'établissement des services. Si le revenu commercial est suffisant, l'administration ne donne pas de subvention et elle paye le transport des dépêches à un prix réglé de gré à gré.

Un exemple d'application fera comprendre ce mécanisme. — Si un navire de 600 chevaux dépense 180,000 francs pour faire un voyage de mille lieues marines, ou 180 francs par lieue marine, sa dépense par cheval-lieue sera $(180/600) = 30$ c.

Si le revenu commercial est de 120,000 francs, le prix du transport des malles doit être, à peine de perte, payé 60,000 francs, soit 10 centimes par cheval-lieue.

La mesure du cheval-lieue prise par l'administration des postes est habituellement modifiée par les compagnies elles-mêmes. Lorsqu'elles présument que le revenu commercial ne sera acquis ou accru que par une augmentation de vitesse des navires, elles en accroissent la puissance mécanique; si elles veulent ne pas excéder la vitesse réglementaire, elles augmentent la contenance, c'est-à-dire les dimensions des navires et la force motrice en proportion. Presque toujours la puissance motrice et les dimensions des navires sont augmentées à la fois.

Le prix payé par l'administration par cheval-lieue s'abaisse ainsi proportionnellement à l'augmentation de puissance; mais le revenu doit, si les prévisions sont justifiées, s'être accru au delà.

En 1840, les navires de Cunard avaient 400 chevaux de puissance motrice. La subvention correspondait à 0 fr. 16.85 par cheval-lieue. De 1852 à 1868, les navires ayant une puis-

sance motrice de 600 à 1,000 chevaux, la subvention n'était plus que de 0 fr. 05.80 par cheval-lieue.

Dans ces données, les principaux contrats postaux se résument dans les chiffres suivants :

La compagnie du Royal Mail dessert le golfe du Mexique et le Brésil avec des navires dont la puissance nominale varie de 850 à 500 chevaux pour la ligne principale et 250 chevaux pour les annexes. Elle effectue un parcours de 171,110 lieues marines; son service se résume en 86,189,100 chevaux-lieues; sa dépense est de 17,337,590 francs ou par cheval-lieue	20 c. 45
La subvention moyenne qui lui est attribuée est de.	06 16
Elle doit donc couvrir par ses recettes commerciales.	14 c. 29

La concurrence que font à cette compagnie les deux entreprises françaises et les fâcheuses circonstances de l'année qui vient de s'écouler ont fortement réduit ses recettes.

La subvention donnée par le gouvernement anglais à la compagnie du Royal Mail, fut en 1840, de 6,080,000 francs (13 centimes par cheval-lieue). En 1864, de 5,122,078 francs (0 fr. 06.16 par cheval-lieue), c'est 30 pour 100 des dépenses (17,337,590 francs) et 34 pour 100 des recettes commerciales (15,520,000 francs en 1864). C'est 43 pour 100 des recettes de 1868 (12,319,272 francs) et les dépenses s'étant élevées cette année à 17,337,590 francs, sans la subvention la Compagnie eût perdu 5,018,318 francs, c'est-à-dire une somme presque égale à la subvention et, en outre, l'intérêt de son capital.

La Compagnie Péninsulaire et Orientale dessert les Indes, la Chine et le Japon, avec des navires de 260 à 490 chevaux. Elle effectue un parcours de 437,926 lieues marines. Son service se résume en 182,570,000 chevaux-lieues. Sa dépense est de 56 millions de francs, ou par cheval-lieue... 30 c. 70

La subvention moyenne étant de.....	05 16
les recettes commerciales doivent couvrir.....	25 c. 54

En 1840, la subvention était de 0 fr. 19 par cheval-lieue ; elle est descendue à 0 fr. 04.88, puis elle a été relevée, en 1868, à 0 fr. 05.16.

Le service de Pointe de Galles à Sydney n'est pas compris dans ces chiffres ; il est subventionné au taux de 27 c. 25 par cheval-lieue.

La Compagnie des Messageries impériales dessert le Brésil, la Méditerranée, la Réunion, l'Inde, l'Indo-Chine, la Chine et le Japon, avec des navires de 220 à 500 chevaux. Elle effectue un parcours de 500,000 lieues marines. Son service se résume en 163,000,000 chevaux-lieues. Sa dépense est de 40,000,000 francs, soit par cheval-lieue..... 24 c. 50

La subvention moyenne est de..... 7 84

Elle doit couvrir par ses recettes commerciales. 16 c. 66

La subvention varie sur les trois mers ; elle est, réglementairement, par cheval-lieue :

Sur la Méditerranée de 6 c. 10 et réellement 4 c. 04.

Sur le Brésil de 11 c. 65 et réellement 9 c. 22.

Sur l'Inde de 18 c. 59 et réellement 15 c. 90.

La Compagnie Transatlantique dessert le golfe du Mexique, et New-York avec des navires de 800 chevaux pour les lignes principales et 200 chevaux pour les annexes. Elle effectue un parcours de 170,730 lieues marines. Son service se résume en 115,375,000 chevaux-lieues. La dépense est de 20,000,000 francs, soit par cheval-lieue..... 17 c. 40

La subvention moyenne qui lui est allouée est de. 8 22

Les recettes commerciales doivent couvrir..... 9 c. 18

La subvention réglementaire varie : elle est de 10 c. 84 sur Aspinwall et la Vera-Cruz, et de 6 c. 42 sur New-York.

L'intérêt du capital n'est pas compris dans les chiffres qui s'appliquent aux quatre entreprises ci-dessus ; mais l'amortissement et l'assurance du matériel sont compris dans les

dépenses au taux de 5 pour 100 chacun sur le prix des navires en cours de voyage.

Les subventions anglaises s'élèvent :

Pour l'Amérique (Pacifique compris) à . . .	9,660,000 francs.
Pour l'Afrique à	1,110,000 —
Pour l'Asie et l'Australie à	13,610,000 —

La France paye ses services postaux :

Sur l'Amérique (Océan atlantique)	11,801,273 francs.
Sur l'Asie	7,756,682 —
Sur la Méditerranée.	3,794,437 —

Ces subventions vont s'accroître :

Sur l'Amérique (Pacifique sud) de	750,000 francs.
Sur l'Asie de.	3,405,450 —

Les États-Unis payent leur service postal :

De Californie en Chine 500,000 dollars . .	2,650,000 francs.
--	-------------------

Les vitesses exigées par les administrations postales varient beaucoup.

La Compagnie Transatlantique française doit sur New-York 11 nœuds 50 ; ses hélices réalisent 12 à 14 nœuds. Sur le golfe du Mexique, elle doit 10 nœuds 50 ; elle les obtient avec les navires à roues et les dépasse avec les hélices.

La Compagnie des Messageries impériales doit :

Sur la Méditerranée. 9 n. 5 et 10 nœuds; elle réalise 9 n. 67	
Sur le Brésil	9 50; — 9 70
Sur l'Indo-Chine	9 50; — 10 08

La Compagnie Péninsulaire et Orientale est, sur les mêmes lignes, dans les mêmes conditions de vitesse.

Une grave modification s'est accomplie dans l'organisation des services postaux anglais sur New-York :

Sous le régime de la convention passée avec M. Cunard, la malle anglaise était expédiée à New-York une fois par semaine. Depuis le commencement de cette année, elle est expédiée tous les jours, le dimanche excepté.

Savoir : Par la Compagnie Cunard,	2 fois par semaine.
Par la Compagnie Inmann,	2 —
Par la Compagnie de Brême,	1 —
Par la Compagnie de Hambourg,	1 —

La vitesse a été sacrifiée à l'économie, elle n'est pas imposée; on espère qu'elle se maintiendra ou qu'elle s'accroîtra par l'effet seul de la concurrence. Mais cet élément n'a plus le même avenir depuis que les navires à émigrants disputent aux navires postaux les voyageurs de première et deuxième classe et obtiennent des vitesses de 10 nœuds 5 à 11 nœuds.

Il arrivera souvent que des lettres expédiées le samedi seront rendues avant celles expédiées la veille et la surveillance. Cet inconvénient n'est pas sans gravité; il est plus important pour le public de savoir le jour d'arrivée de ses dépêches que le jour de l'expédition.

On ne peut regarder que comme transitoire une combinaison qui fait une part si faible à la vitesse et à la régularité du transport.

De ces données économiques, passons à l'examen de l'instrument en lui-même, du navire qui sert à ces transports rapides. — On ne construit plus en Europe de navires à roues pour la navigation transatlantique; la Compagnie Cunard a vendu cette année ses navires à roues, excepté le *Scotia*, qu'elle garde, à cause de sa rapidité exceptionnelle, pour des éventualités qu'on peut prévoir sans les affirmer; elle se contente des hélices, dont le type est un peu plus faible que celui du *Pereire* et de la *Ville-de-Paris*, qui appartiennent à la Compagnie Transatlantique française.

La Royal-Mail Company a, jusqu'à ce jour, conservé pour le service des Antilles ses excellents navires en fer, à roues, de 800 chevaux : l'*Atrato*, le *Shannon* et la *Seine*, qui naviguent depuis quinze ans et neuf ans, mais elle a l'intention de substituer des hélices aux roues et elle a remplacé les navires perdus ou vendus par des hélices de 500 chevaux.

La Compagnie des Messageries impériales conserve ses

bons navires à roues ; mais elle n'en construit pas de nouveaux. Elle n'envoie sur l'Inde que des hélices ; le nombre de ses navires à roues dans la Méditerranée diminue sensiblement.

La concurrence qui lui est faite sur le Brésil l'engage à placer sur cette ligne des navires à hélices d'une dimension exceptionnelle, pour porter un gros fret sans nuire aux installations des voyageurs.

La Compagnie Orientale et Péninsulaire ne conserve de navires à roues que sur la Méditerranée.

Constatons ici un progrès manifeste. L'échec habituel des steamers que le mauvais temps ne doit pas arrêter, ce sont les ponts bas sur l'eau. Non-seulement les lames les rendent inhabitables, mais elles enlèvent ou brisent les ouvrages saillants qui défendent les aménagements intérieurs. Les constructions navales de la Compagnie des Messageries impériales sont, dans la mer des Indes, très-supérieures aux navires anglais qui desservent les mêmes lignes.

La Compagnie Transatlantique, éclairée par les vitesses exceptionnelles du *Pereire* et de la *Ville-de-Paris*, a transformé en hélice un des navires à roues destinés à la ligne des Antilles, le *Saint-Laurent*. Avec les mêmes chaudières, ce navire, construit d'abord pour une vitesse réglementaire de 10 nœuds 50, a atteint une moyenne de 11 nœuds 80 et a pu être mis sur la ligne de New-York. Ce résultat a décidé la transformation en doubles hélices de deux navires à roues du même type, le *Washington* et le *Lafayette*. Nous reviendrons plus loin sur cette intéressante opération.

Les causes qui expliquent la supériorité de l'hélice sont multiples ; nous dirons les principales.

A égalité d'appareil de production de vapeur, la machine à hélice est un tiers moins pesante que la machine à roues.

L'immersion utilise mieux l'hélice ; elle paralyse les roues ; de là un accroissement de vitesse sensible.

La voilure est un auxiliaire faible des roues, mais puissant avec l'hélice ; autre cause d'accroissement de vitesse.

A immersion et déplacement égaux, l'hélice laisse beaucoup plus d'espace pour le fret et les installations des passagers.

Ces avantages sont faciles à apprécier ; mais la meilleure mesure en est dans les conséquences des transformations, dont on peut comparer les résultats avant et après cette opération.

L'économie de combustible est d'abord immédiate ; non-seulement la consommation en marche est moindre, mais elle est encore, en raison inverse de la durée de la traversée, diminuée de la part que prend la voile dans la puissance motrice. L'économie s'accroît des recettes sur le chargement supplémentaire que permet la capacité devenue disponible pour le fret et les installations des passagers. La dépense de transformation, dans ces circonstances, est de l'argent placé à 25 pour 100.

Il est des contrées cependant où le public préfère les navires à roues, notamment sur le golfe du Mexique ; on attribue au navire à roues un roulis et un tangage moindres.

C'est bien plutôt là une impression qu'une observation ; le roulis dépend de conditions de stabilité, qui s'obtiennent avec plus ou moins de bonheur en l'absence du calcul ; mais l'ingénieur est absolument maître de donner au navire qu'il construit les conditions d'un roulis doux sans trop d'amplitude et d'un tangage modéré, tous deux suffisamment efficaces pour que le navire s'élève sur la lame sans être couvert par elle. Si dans les moments d'agitation de la mer le navire ne s'élève pas à la lame, il faut qu'elle passe par-dessus. Entre deux coques exactement semblables, mais dont le poids à l'intérieur est disposé autrement, l'une traversera les temps les plus mauvais, leur fera tête en continuant à avancer ; elle n'embarquera pas de mer, quand l'autre en sera écrasée et sera obligée de fuir devant le temps.

C'est qu'il ne suffit pas qu'un navire soit droit sur l'eau, ou que son chargement soit bien arrimé dans sa cale. Cela peut donner la stabilité statique ; mais, pour la stabilité dynamique, il faut de bien autres conditions, où intervient un

effet des *moments*, c'est-à-dire de la distance du poids au centre de forme, et cet effet est trop généralement négligé.

Dans les navires à roues, le centre de gravité de la machine est plus élevé qu'avec l'hélice; mais cela a moins d'importance que n'en a l'élévation de l'arbre et des roues au-dessus de ce centre de gravité; le moment dû au poids de cette partie de l'appareil accroît la douceur du roulis, et c'est cette lenteur même de l'oscillation que le passager confond avec l'absence de roulis; en réalité, cependant, l'amplitude de l'oscillation est plus grande; or il est facile de réduire cet effet dans les transformations comme dans les constructions des navires à hélices et de déterminer la durée de l'oscillation du roulis par la disposition du poids de la coque.

Quant aux avantages théoriques de l'hélice comparés aux roues comme appareil moteur, en les supposant toutes deux dans leurs conditions normales de fonctionnement, ils ne sont pas encore affirmés, et il est probable qu'ils ne le seront pas de longtemps. On a, dans ces derniers temps, fait plusieurs applications de la double hélice; nous remettons ce que nous avons à dire sur ce sujet à la partie de ce travail où il sera plus spécialement question des moteurs.

C'est encore aux roues qu'appartient la supériorité de vitesse. Les navires postaux qui font le service entre Holyhead et Kingston ont réalisé 18 nœuds aux essais et marchent régulièrement à 16 nœuds; il est vrai qu'ils naviguent dans les meilleures conditions d'immersion pour l'énorme puissance dont ils sont doués. C'est, du reste, le seul exemple de ce genre, et il n'en résulte pas une preuve absolue en faveur de la roue. Dans le cas de la transformation du *Saint-Laurent*, navire postal de la Compagnie Transatlantique, le résultat est opposé, en ce sens qu'avec la même chaudière et une économie de un dixième de combustible, on a obtenu une vitesse moyenne de 11 nœuds 80 au lieu de 10 nœuds 50.

Il en a été de même avec la transformation du *Washington*, navire postal à roues, de la même Compagnie; muni de deux hélices, sa vitesse s'est accrue de 9 nœuds 86 à 12 nœuds, les chaudières restant les mêmes.

Parmi les progrès récents dans la construction du matériel postal, nous constaterons la disposition à l'ampleur dans les aménagements; plus de hauteur des ponts sur l'eau; de vastes roufs sur toute l'étendue du pont, laissant deux promenoirs, dont l'un est abrité du vent, et une plate-forme supérieure qui peut être couverte d'une tente; des pavois solides protègent le pont; enfin, une grande solidité d'attache des capots fermant, sur le pont, les orifices des aménagements intérieurs. Le confort des passagers, pendant leur séjour sur le pont, est d'autant plus recherché que l'encombrement des aménagements intérieurs y rend quelquefois l'habitation incommode.

L'importance des entreprises de navigation postale transatlantiques et les dimensions de leur matériel naval doivent les placer au premier rang dans la marine marchande. Nous les avons décrits ailleurs en détail (1). Après eux viennent les navires mixtes, portant à la fois les passagers des diverses classes, les émigrants et le fret.

Il y a quelques années à peine, les armateurs avaient limité leur trafic aux émigrants et à quelques voyageurs de troisième classe; mais à mesure que leurs navires sont devenus plus rapides, ils ont amélioré les aménagements destinés aux passagers des classes aisées; ils ont abaissé leur prix; et aujourd'hui ils font une rude concurrence aux navires postaux.

Leur nombre est considérable; il s'élève, en Angleterre, à environ quatre-vingts, qui effectuent chacun cinq à sept voyages par an sur New-York, Philadelphie et Boston. Ce sont des navires à hélice de 350 à 500 chevaux de force; ils sont fortement gréés et consomment 35 à 60 tonnes de houille par vingt-quatre heures; leur vitesse varie de 9 nœuds à 11 nœuds.

La Compagnie Inmann, celle de Brème et celle de Hambourg sont en première ligne pour la vitesse et les dimensions de leurs navires, qui sortent tous des bons chantiers

(1) *Navigation à vapeur transocéanique*, 2 vol. in-8°. Paris, 1866.

anglais. La régularité de leur service a engagé l'administration des postes, en Angleterre, à leur confier le transport des malles.

Les types de steamers employés aux transports simultanés des voyageurs et des marchandises à travers les grandes mers sont d'ailleurs peu nombreux.

Ce sont, pour le plus grand nombre, des hélices mues par des machines à pression de 110 à 125 centimètres de mercure, à mouvements directs, munies de condenseurs à surface, de surchauffeurs et de cylindres enveloppés de vapeur, consommant généralement de 8 à 10 tonnes par vingt-quatre heures pour 100 chevaux de force nominale. Toutes les coques sont en fer.

Viennent ensuite, sur la côte méridionale américaine du Pacifique, des navires ayant une vitesse de 9 à 10 nœuds, construits en grande partie par Randolph et Elder. Ces constructeurs font usage d'une pression de 220 centimètres de mercure dans la chaudière; ils sont les seuls qui aient largement profité encore du condenseur à surface pour élever la pression. La vapeur entre directement dans un cylindre, pendant toute ou partie de la course du piston; généralement elle s'y détend en partie; elle se détend de nouveau dans un second cylindre plus grand; le rapport des deux cylindres est généralement de 1 à 3. Le volume laissé par l'expansion de la vapeur est singulièrement augmenté; au lieu de $1^{\text{m}^3},06$ par cheval nominal et par minute, il est de $1^{\text{m}^3},94$, à la vitesse en service ordinaire. Les chaudières sont de grands corps cylindriques garnis de tubes courts à l'intérieur. La surface de chauffe est réduite; elle est plus faible dans le rapport de 10 à 7 que celle qu'offrent les chaudières des machines à basse pression (78 à 130 centimètres de mercure). La haute pression et une expansion considérable forment le caractère principal de ces appareils, qui sont, en outre, munis de toutes les améliorations dont les cinq dernières années ont généralisé l'application, telles que : surchauffeurs, enveloppes de vapeur, condenseurs à surface, petit moteur de mise en marche, etc.

A l'aide de ces améliorations rendues nécessaires par le haut prix du charbon (60 à 80 francs les 1,000 kilogrammes), ces constructeurs ont obtenu une économie exceptionnelle ; on leur doit d'être sortis du type de la chaudière marine à basse pression, d'avoir utilisé la vapeur dans une beaucoup plus forte proportion que les constructeurs du continent. Ces navires du Pacifique sud sont à roues, parce que les habitudes du public sont faites à ce moteur ; mais ils ne prennent qu'un fret insuffisant et laissent une trop forte part aux navires à voiles.

Un autre type plein d'intérêt est celui dont les Américains font usage. Ce sont de grands navires en bois, desservant la ligne de New-York à Hong-Kong, par Panama ; le trajet est effectué de New-York à Aspinwall, puis de Panama à San-Francisco, et de San-Francisco à Hong-Kong, sans perte de temps aux deux ports de transbordement. Ces navires peuvent charger 1,700 tonnes de charbon et d'eau, 2,000 tonnes de fret, 1,500 passagers avec leurs bagages ; ils sont munis d'une seule machine à balancier, fonctionnant à haute pression, avec tous les perfectionnements récents, condenseurs à surface, enveloppes, surchauffeurs, etc., ils ont une vitesse de 9 nœuds et consomment 40 tonnes de charbon par vingt-quatre heures. C'est assurément le plus grand résultat obtenu avec la moindre quantité de charbon. Le gouvernement fédéral leur a accordé une subvention de 2,665,000 francs pour douze voyages annuels (500,000 dollars).

Les Américains persistent à préférer, sur le Pacifique, ces navires en bois et à roues aux constructions en fer à hélice. Leurs motifs méritent d'être mentionnés ; ils n'ont pas, à New-York et sur le Pacifique, de chantiers de construction de navires en fer ; ils seraient obligés de demander ces navires à l'Angleterre et la loi ne le permet pas pour les services postaux. Ils n'auraient aucun moyen de les réparer dans les ports du Pacifique. Quant à appliquer l'hélice à leurs constructions en bois, le défaut de rigidité des coques s'y oppose, et d'ailleurs, leurs machines à roues d'un très-grand diamètre, à haute pression, détente et condensation, leur

donnent des résultats très-économiques. L'usage du condenseur à surface leur a permis l'emploi de la haute pression inconciliable, sans cet appareil, avec la conservation des chaudières. Le prix moyen du charbon est, sur le Pacifique nord, de 25 dollars la tonne (106 fr. 66 c.), il y vient de New-York, Philadelphie et Baltimore; en 1866, le chemin de fer de Panama en a transporté 13,418 tonnes; mais de puissants gisements houillers existent dans les États de l'Ouest, dans l'île de Vancouver, dans les possessions russes, au Japon, et au nord de la Chine dans le bassin de Yang-Tszé-Kieng. Les Américains font de grands efforts pour organiser d'une manière régulière l'exploitation de ces divers gîtes.

Il y a lieu d'espérer que le service postal de New-York au Japon et à la Chine par Panama et San-Francisco, aujourd'hui réglé mensuellement, deviendra, avant peu de temps, bimensuel. La Compagnie qui l'a constitué possède un capital de plus de 100 millions.

Le défaut spécial aux constructions navales américaines du type dont il s'agit ici, c'est de ne pouvoir supporter l'agitation de la mer sans se détraquer. Les assemblages de ces vastes charpentes laissent bien vite le passage à l'eau. Des exemples terribles n'effrayent pas; la spéculation a pris le pas sur le respect de la vie humaine; l'assurance couvre le capital; l'existence des passagers et de l'équipage est aux périls et risques individuels du voyageur et du marin; cela ne compte pas devant l'économie.

Un autre défaut aussi grave réside dans la forme et le fonctionnement des chaudières, qui sont sujettes à de fréquentes explosions.

Sous ce rapport, MM. Randolph et Elder ont donné un exemple qui prouve suffisamment que la haute pression ne constitue pas un danger; ils devraient être imités par les Américains.

L'avantage tout spécial de la construction des navires en fer est de résister, par la solidité de leurs coques, aux plus violentes agitations de la mer. L'échouage leur est, en général, tout aussi fatal qu'aux navires en bois; mais le pont des

uns et des autres est la partie faible du navire, et c'est par là que se sont produits, dans ces dernières années, des sinistres aussi déplorable qu'imprévu ; des navires ont disparu sans laisser de trace des causes de leur perte ; mais ce que l'on a appris de ceux dont quelques passagers ont été sauvés démontre que la cause générale est la destruction du pont par la mer furieuse. Les naufrages en pleine mer sont de ceux qui éveillent les plus vives préoccupations des constructeurs et des marins. Ces préoccupations sont légitimes, car si la mer seule suffit à détruire un navire, cela constate une défaillance de l'art. En réalité, cette crainte n'est pas fondée, il n'est pas d'agitation de la mer, quelque furieuse qu'elle puisse être, de quelque violence du vent qu'elle soit accompagnée, qui puisse détruire, en pleine mer, un navire en fer bien construit. Qu'il soit sans gouvernail et sans mâts, sans moyens de direction, mais stable et solide, son pont à une hauteur convenable au-dessus de la flottaison, et le volume de ses œuvres mortes et étanches égal aux deux tiers au moins de celui de son déplacement, afin que sa densité soit faible, ce navire bravera tous les dangers.

Malheureusement il n'en est pas toujours ainsi, et des naufrages récents et répétés ont démontré le vice d'un type de navire malheureusement trop général, et issu, il faut le reconnaître, d'une mauvaise législation.

On sait que la loi qui fixe l'impôt sur le tonnage des navires prend pour base leur volume. Ce droit se renouvelle à chaque entrée dans un port, il y a donc intérêt à réduire le volume des navires à la stricte capacité nécessaire pour porter le poids de la cargaison. Or il suffit, pour qu'un navire flotte, que son volume ait une densité un peu moindre que celle de l'eau. Mais à quelle densité faut-il s'arrêter pour donner à un navire les conditions nautiques sans lesquelles il sera détruit par la mer ? telle est la question. On peut affirmer *à priori* que la violence des réactions de la mer sur un navire est en raison inverse de sa densité. Si celle-ci est faible, il s'élève, il s'abaisse, en suivant les mouvements des vagues : il se soustrait ainsi à leurs chocs ; si, au con-

traire, sa densité approche de celle de l'eau, son moment d'inertie opposera à l'eau un obstacle presque immobile, la vague s'élèvera sans le relever, le dépassera et retombera sur lui avec violence ; alors les pavois et les capots d'écouille seront emportés, le pont ouvert, et, comme il suffira d'une faible quantité d'eau pour amener la densité du navire à celle de l'eau, il sombrera presque immédiatement.

C'est donc la loi sur le droit de tonnage qui a eu pour effet la construction de navires à ponts bas, ayant 1^m,50 ou 1^m,75 au-dessus de la ligne de flottaison, surmontés d'une dunette à l'arrière pour les passagers et d'une teugue à l'avant pour l'équipage. Dans l'intervalle, entre ces deux habitacles, l'eau embarquée par les lames ne trouve, par les dalots, qu'un écoulement insuffisant ; elle tombe avec violence sur le capot d'écouille de la machine, l'arrache, l'enlève et se précipite dans la chaufferie, où elle éteint les feux. Le navire, devenu ingouvernable par l'inaction du moteur, subit les coups de mer sans interruption et le séjour sur le pont devient impossible ; l'écouille ne peut plus être fermée, le navire se remplit et disparaît avec une coque intacte, une machine en état, un gréement encore complet, en un mot, dans toutes conditions qui sembleraient devoir le garantir contre un tel désastre. C'est l'histoire toute récente du *London*, beau et grand navire, partant pour l'Australie, qui a sombré au sortir du port, après quinze heures seulement de lutte avec la tempête.

Rien, dans les règles de l'art, ne prescrit des dispositions qui peuvent donner lieu à de telles conséquences. — Lorsque, pour des raisons spéciales, les hauts des navires, qui constituent les œuvres mortes, c'est-à-dire la partie située au-dessus de la ligne de flottaison en charge, doivent être élevées au-dessus de l'eau : comme, par exemple, dans les paquebots spécialement consacrés au transport des voyageurs, où deux étages de chambres se trouvent sous un *spar deck* et doivent prendre le jour au-dessus de la ligne de flottaison, alors le pont est élevé de 4 à 6 mètres au-dessus de cette ligne, et les qualités nautiques du navire, loin d'en

être diminuées, sont au contraire puissamment améliorées. La vague la plus forte, la plus furieuse peut étreindre le navire jusqu'aux pavois, mais l'effort énorme qu'elle exerce par cette immersion le soulève et le met hors de sa portée ; plus cet effort est rendu puissant par la dimension de la vague, plus il protège le pont au lieu de le menacer. La densité de ce navire, qui est le type des paquebots de la Compagnie Transatlantique, est de 0,56 : celle du type que nous avons décrit est de 0,77.

Mais cette condition toute protectrice de *hauts* élevés ne peut être remplie sans de lourds sacrifices, en présence d'une loi qui fait payer à un navire, chaque fois qu'il touche un port, un droit qui est basé sur son volume, qu'il soit plein ou vide, qu'il soit partiellement ou totalement chargé.

Ce n'est pas, du reste, la première fois que des bases légales de perception d'impôt, imposant des conditions fixes de construction ou d'usage qui, à l'origine, semblaient sans inconvénient, sont devenues désastreuses. L'administration n'a-t-elle pas dû céder aux conseils que la science lui donnait depuis longues années, d'affranchir l'industrie des règles d'épaisseur fixées pour le métal des chaudières à vapeur. Il a été enfin reconnu que ces règles, exagérant les garanties, conduisaient à l'emploi de tôles de basse qualité, là où il importe que la qualité soit la meilleure.

La quatrième catégorie de steamers transportant les voyageurs et les marchandises à courte distance et sur le littoral, a reçu dans ces dernières années des améliorations à signaler.

Les tentatives incessantes pour accroître la vitesse des paquebots qui font le service entre la France et l'Angleterre ont à surmonter un obstacle presque invincible, le défaut de profondeur de la mer sur les barres, à l'entrée des ports, pendant les basses mers de vive eau. De là l'impossibilité de réaliser les conditions de construction des paquebots qui ont si admirablement réussi entre Kingston et Holyhead, et d'atteindre des vitesses régulières de 16 à 18 nœuds.

Pour placer à bord des navires des moteurs très-puissants, il faut un déplacement considérable, et ce déplacement ne peut s'obtenir à la mer par la simple augmentation des dimensions horizontales, la largeur et la longueur des embarcations. Le tirant d'eau, c'est-à-dire la profondeur de la carène immergée, est un élément essentiel des qualités nautiques d'un navire; or, ici, elle est limitée.

Il a donc fallu essayer d'autres moyens. L'acier a remplacé le fer dans la construction de la coque, et le poids diminué sur celle-ci a été reporté sur le moteur; cette tentative a réussi et elle tend à se propager.

C'est dans le transport de la houille par les steamers qu'ont été réalisées les améliorations les plus complètes et les plus efficaces comme ensemble. Le lestage hydraulique et le délestage par les pompes, les moteurs mécaniques appliqués au chargement et au déchargement qui s'opèrent au prix de 12 centimes par tonne, la simplicité des machines à hélice, à mouvement direct, les aménagements des ports en vue d'éviter toute perte de temps, ont eu pour effet de donner au transport de la houille par la voie maritime une régularité analogue à celle des chemins de fer, et une activité qui est, comme toujours, suivie d'une grande économie.

Dans ces conditions, la voie maritime l'emporte sur les chemins de fer; mais elles sont bien rarement réalisables faute de ports spacieux, profonds et bien aménagés. — La France n'offre rien, sous ce rapport, de comparable aux ports anglais.

Pour terminer sur les progrès récents de la navigation à vapeur, en ce qui concerne la construction des navires, nous citerons l'emploi des fonds et parois cellulaires, qui s'est étendu en Angleterre aux steamers de l'État, destinés au transport des troupes dans les Indes, et à tous les navires de la marine militaire. — La première application a été faite au *Great-Eastern*; elle consolide le fond et les murailles, elle constitue pour le moteur une base très-rigide, elle fait du

vaigrage une double coque, et elle peut, en cas d'échouage, sauver le navire d'une perte certaine, si le fond est crevé ; il est bien désirable qu'elle se répande plus généralement.

L'attache des cloisons des compartiments aux murailles de la coque a été aussi heureusement modifiée ; cette attache était tellement rigide, qu'après plusieurs mois de navigation elle cessait d'être étanche. La nouvelle disposition lui donne plus d'élasticité et d'herméticité.

Une heureuse modification a été aussi introduite dans la disposition des crépines et des clapets des pompes de fond sujettes à être engorgées par le poussier de charbon ; ces appareils sont placés à l'extrémité d'un conduit à articulation et munis d'un flotteur guidé ; ils s'élèvent avec l'eau. — Que de sinistres sont dus à l'engorgement des pompes !

La multiplicité des orifices percés dans les murailles des coques pour l'entrée ou la sortie de l'eau a donné lieu souvent à d'inquiétantes invasions de la mer dans l'intérieur du navire, sans qu'on pût en connaître la cause. On a essayé de réunir dans des boîtes solidement rivées à la coque et pouvant être fermées entièrement les divers orifices dont la proximité rendait cette disposition facile.

Nous constaterons également les progrès qu'a faits l'installation des navires à vapeur transatlantiques, en ce qui concerne les engins mécaniques servant aux manœuvres de tous genres ; trop longtemps on avait redouté de mettre ces appareils à la disposition des marins, des simples matelots ; aujourd'hui, l'usage s'en répand, et il suffit de choisir, pour les manœuvrer, un homme intelligent ; ces appareils sont d'autant plus utiles que, dans les escales, les moments sont précieux, la main-d'œuvre dispendieuse, inintelligente et inactive ; l'économie de temps dans les escales est gagnée pour la route et compense les causes de retard.

Nous aborderons maintenant les questions qui se rapportent d'une manière plus directe aux moteurs.

Les roues cèdent d'une manière générale le pas aux hélices. — Il existait en Angleterre, au 1^{er} janvier 1865, 2,401 steamers, dont 863 étaient à hélice ; deux ans après, au 1^{er} janvier 1867, sur 2,808 steamers 2,254 étaient à hélice. Ces chiffres suffisent à montrer l'importance de la révolution qui se produit en faveur de l'hélice. Si on étend cette comparaison au tonnage et à la force en chevaux des navires à hélices et à roues, l'hélice domine dans une plus forte proportion encore.

Les ingénieurs et les constructeurs ne sont pas d'accord sur les meilleures conditions de marche de l'hélice ; les opinions varient sur le rapport du diamètre au pas, sur la vitesse la plus favorable, sur l'influence réelle d'une immersion plus ou moins forte. En Angleterre, on ne recule plus devant des vitesses d'hélice considérables et de très-faibles immersions. — Il est probable qu'il surgira bientôt, de ces tentatives, des lois plus précises sur la construction et le fonctionnement des hélices. Aujourd'hui l'expérience prend les devants sur la théorie, parce que celle-ci a fait défaut.

L'emploi des deux hélices à la place d'une seule attire fortement l'attention.

Sur trois lignes de navigation où ce système est en service, les résultats sont favorables.

La première, établie entre Paris et Londres, fonctionne depuis plusieurs années avec régularité ; et cet exemple n'est pas sans signification : le tirant d'eau des navires y est en effet très-variable et toujours faible ; la circulation sur la Seine et sur la Tamise y multiplie singulièrement les occasions de contact avec les embarcations et les francs-bords. L'enroulement des cordages dans les hélices est un danger permanent. A ce point de vue, la régularité du service est une réponse suffisante aux craintes d'accident, qui semblent très-légitimes au premier coup d'œil.

Le second exemple est celui du navire de 500 chevaux, le *Ruahine*, qui fait le service postal entre Panama et la Nou-

velle-Zélande, et le troisième est un navire qui fait un service du même ordre entre l'Angleterre et la côte ouest d'Afrique.

En ce moment, la Compagnie Transatlantique achève les transformations de deux navires à roues en navires à deux hélices, et comme elle a antérieurement transformé un navire semblable à roues, en navire à hélice simple, les éléments de la comparaison sont faciles :

Dans ces divers navires, qui sont exactement semblables, la chaudière est la même, elle a $47^{\text{m}^2},88$ de surface de grille, et 1395^{m^2} de surface de chauffe. — Le volume offert par les cylindres à la vapeur produite dans les chaudières était, dans le navire à roues, de $10^{\text{m}^3},30$ par seconde, il a été porté dans l'hélice simple à $12^{\text{m}^3},41$: il est, dans l'un des deux navires à hélices doubles, de $13^{\text{m}^3},25$; et dans le second, de $14^{\text{m}^3},25$; l'utilisation de la détente résultant d'un volume plus considérable offert à la vapeur n'est pas atténuée par la division de la vapeur en un nombre trois fois et demie plus grand de cylindrées, et par les étranglements et pertes de pression qui en résultent.

Déjà la transformation du premier navire à roues en navire à simple hélice, a suffi pour porter la vitesse de 10 nœuds 60 à 11 nœuds 80, en réduisant la consommation par vingt-quatre heures d'environ 10 pour 100 ; cette réduction peut être due, il est vrai, à l'emploi des enveloppes et du condenseur à surface ou au tirant d'eau un peu moindre ; mais l'économie attribuable à l'hélice resterait encore dans le rapport du temps de marche, c'est-à-dire en raison des vitesses.

L'hélice simple a $5^{\text{m}},40$ de diamètre, sa surface d'afflux est de $22^{\text{m}^2},90$; les hélices doubles ont $4^{\text{m}},60$ de diamètre, leur surface totale est de $33^{\text{m}^2},21$, elles ont donc une supériorité de $10^{\text{m}^2},34$ dans les surfaces d'afflux ; d'où il résulte que l'eau entrant dans les hélices simples pourra être animée d'une moindre vitesse à l'entrée et d'une vitesse égale à la sortie, et comme la force utile produite s'exprime par la différence des vitesses d'entrée et de sortie imprimées à l'eau par l'hélice, l'avantage, sous ce rapport, appartiendrait au système de la double hélice.

La double hélice se prête mieux que l'hélice simple à un faible tirant d'eau, parce qu'elle peut être plus immergée, étant d'un diamètre moindre.

Deux machines offrent plus de garantie qu'une seule pour des navires d'une valeur qui atteint 4 millions. — Une seule des deux hélices suffirait pour donner au navire les deux tiers de la vitesse qu'il atteint avec les deux hélices; il peut donc, en cas d'avarie à une machine, continuer son voyage, ou se soustraire aux effets du mauvais temps dont il deviendrait le jouet s'il était complètement désemparé de son moteur. Mais le navire sera-t-il facile à gouverner dans ces conditions?

Aujourd'hui, la puissance des machines s'arrête devant la possibilité de faire des arbres suffisamment résistants. — Aux dimensions de 40 à 45 centimètres de diamètre, un arbre sain est très-difficile à forger, et ne dure que quelques voyages, neuf à douze au plus. C'est là une des graves éventualités qui pèsent sur la régularité de marche des machines de 800 à 1,000 chevaux; elle est loin d'exister au même degré pour des machines de 400 à 500 chevaux.

La double hélice permet, dans les ports et en mer, en cas de rencontre, des évolutions plus rapides.

La conduite et l'entretien de deux machines sont, quant au personnel, d'un prix plus élevé que ceux d'une seule machine d'une force égale à la somme des deux; mais cet inconvénient est en partie compensé par l'avantage de trouver dans ce personnel, soit dans les escales, soit en cas d'accident, un secours plus prompt et plus efficace. Enfin, l'émulation qui existe entre les conducteurs de chaque machine tient le personnel en éveil.

L'intérêt qui s'attache à la transformation du *Washington* justifie quelques détails sur ses résultats.

Dans les traversées entre Saint-Nazaire et Aspinwall, la vitesse moyenne du *Washington* (roues) avait été de 9 nœuds 79, mais le navire partait à plein chargement; ses roues, fortement immergées, tournaient très-lentement; sa consommation moyenne, par vingt-quatre heures, était de 89 tonnes de charbon.

Sur New-York, la vitesse de ce navire était de 9 nœuds 88; il naviguait dans les mêmes conditions d'immersion et il était, en outre, poussé à outrance. Sa consommation de charbon était de 98 tonnes par vingt-quatre heures.

Aux essais de réception faits à mi-chargement et en temps calme, il avait obtenu une vitesse moyenne de 13 nœuds 35, et le maximum de puissance qu'il pût développer fut de 3,388 chevaux de Watt.

Le *Washington* (double hélice) a fait ses essais par un très-mauvais temps; il a néanmoins atteint 13 nœuds 83. Sa puissance maximum a été de 3,945 chevaux de Watt. Ses hélices ont un pas de 6^m,40, considéré comme trop faible; leur diamètre est de 4^m,60. De Greenock à Cherbourg, à mi-chargement, sa vitesse a été de 12 nœuds, avec une consommation de 75 tonnes de charbon par vingt-quatre heures. Dans sa première traversée de Saint-Nazaire à la Havane (4,608 milles marins), la vitesse a été également de 12 nœuds.

Le navire transformé contient 63 lits de passagers de plus et 150 mètres cubes de cale à marchandises (1083 m³ au lieu de 933).

Le *Washington* était le plus immergé et le moins rapide des navires de la Compagnie Transatlantique. Il va prendre un bon rang dans la flotte de cette Compagnie. Ce qui est le plus remarquable dans cette transformation, c'est la puissance supplémentaire qu'il a été possible de tirer de la même chaudière par l'accroissement du volume donné, dans les cylindres, à l'utilisation de la vapeur.

	Chevaux Watt.
Avec le <i>Washington</i> (roues), cette puissance a été aux essais de	3 277
Avec le <i>Saint-Laurent</i> (hélice simple),	— 3 182
Avec le <i>Washington</i> (à deux hélices),	— 3 856

Les trois chaudières sont exactement semblables.

La dispersion de la vapeur dans un nombre quintuple de cylindrées, les étranglements dans les tiroirs, le refroidissement résultant du contact de la vapeur avec des surfaces beaucoup plus étendues n'ont pas affaibli le rendement comparatif en puissance motrice.

Une des craintes qui ont arrêté les ingénieurs dans l'emploi des deux hélices a dû être dans le supplément de vitesse à donner à celles-ci, en raison de la réduction du diamètre ; mais, sous ce rapport, les idées se sont beaucoup modifiées dans ces dernières années : non-seulement on emploie des hélices accomplissant soixante-cinq à soixante-quinze révolutions par minute, mais on n'hésite plus à faire mener ces hélices directement par des machines à pilon ou autres. Il y a là un symptôme d'une grande importance ; il ferait supposer qu'on peut, dans ces vitesses d'hélice, faire abstraction de la déviation des filets liquides qui la traversent, déviation due à la force centrifuge. Cela semble irrationnel ; le contraire, c'est-à-dire la doctrine que la force centrifuge agit sur les molécules d'eau en contact avec les ailes de l'hélice, de façon à les éloigner de l'axe de celle-ci et à annuler ou modifier la vitesse d'impulsion horizontale imprimée par le pas aux filets liquides, serait plus admissible.

Une autre cause d'incertitude est dans l'effet sur l'eau d'afflux qui résulte d'une vitesse de rotation plus grande que celle du pas multiplié par le nombre de tours. La première s'accroît du centre à la circonférence, tandis que la vitesse de progression de l'hélice est constante en tous ses points.

Si la théorie de la vis dans un écrou est applicable à cette vitesse de progression, elle s'éloigne des conditions théoriques, quand l'écrou, au lieu d'être un solide, est essentiellement mobile, comme l'eau.

Une fois saisis par la génératrice d'entrée, les filets liquides sont sous l'influence : 1° de la vitesse initiale d'afflux correspondant, d'une part, à celle du navire, et de l'autre, à la profondeur d'immersion du point considéré, sans que ces deux vitesses puissent s'accumuler ; 2° de la vitesse constante due au pas ; 3° de la vitesse de giration ; 4° de la force centrifuge résultant du mouvement d'entraînement plus ou moins grand dans le sens de la rotation. Les deux premières vitesses ayant la même direction, la résultante sera la différence de leurs valeurs ; quels seront les effets des deux autres à la fois sur l'entrée et la sortie de l'eau passant par l'hélice ?

La vitesse de rotation peut être telle que l'eau ne puisse entrer librement et que la force centrifuge résolve en brouillard les molécules d'eau entraînée.

Quelle que soit donc la théorie qui s'adapte le mieux à l'ensemble des conditions de fonctionnement de l'hélice, il est évident qu'il faudra y faire une part à l'action de la force centrifuge.

Il semble y avoir deux doctrines : les uns, ne sachant quelle part il convient de faire aux diverses actions que nous venons d'indiquer, les appliquent également à toute l'aire de l'hélice, et, en particulier, à toute la masse du volume d'eau débité par elle, en affectant de certains coefficients les expressions des puissances vives correspondantes. Dans ce cas, la formule habituelle ne peut être d'aucun secours pour le calcul du propulseur. Les autres redoutent les effets de la force centrifuge due à l'accélération du mouvement de rotation. Ils ont exagéré cette crainte au point de reculer devant l'augmentation du nombre de tours résultant de la réduction du diamètre. Les premiers et les seconds ont été amenés à accroître très-sensiblement le rapport du pas au diamètre, et ce sont les heureux résultats de ce tâtonnement qui peuvent avoir pour effet la supériorité définitive de deux hélices sur une seule, à quantité égale de vapeur produite par le générateur.

En ce qui concerne la vitesse propre des machines, il y a une disposition générale à la suppression des engrenages. Mais, pour remédier aux vives réactions qui sont les conséquences de la transformation rapide du mouvement rectiligne en mouvement circulaire, et qui agissent sur les arbres coudés avec la plus grande intensité, on essaye les machines à trois cylindres. Les spécimens de ces machines qui ont été exposés ont vivement impressionné les constructeurs; beaucoup de critiques ont été faites sur leur agencement, aucune sur le principe en lui-même. La disposition pourra devenir plus compacte, plus légère, sans que les organes soient moins accessibles; mais il est évident que le travail sera mieux réparti sur l'arbre de l'hélice et le mouvement rotatif

plus régulier. Nous ne croyons pouvoir mieux faire que de citer en son entier la note présentée sur ces machines, à l'Académie, par leur auteur.

Note sur les machines à vapeur à trois cylindres égaux avec introduction directe dans un seul; par M. Dupuy de Lôme.

« En étudiant l'Exposition internationale au point de vue des machines marines, on a pu remarquer que les appareils à hélice construits pour la marine impériale française, aussi bien dans les ateliers de l'industrie privée que dans l'usine de l'Etat, à Indret, présentent tous une disposition nouvelle qui en est le trait caractéristique.

« Cette disposition principale consiste dans l'application que j'ai faite du système de Wolff, en opérant la détente de la vapeur dans des cylindres séparés de celui où se fait l'introduction directe; mais en modifiant ce système pour les machines marines, de manière à employer trois pistons de même diamètre et de même course, conjugués sur un même arbre sans qu'aucun des points morts se correspondent.

« J'ai pensé qu'il était intéressant de présenter à l'Académie l'exposé des dispositions principales qui constituent ce système. La plupart de ces dispositions, prises isolément, ne sont point sans doute des inventions nouvelles; mais leur ensemble réalise un progrès important.

« Les résultats principaux que je me suis attaché à obtenir par ces machines à trois cylindres, avec introduction directe dans un seul, sont :

« 1° Economie de combustible ;

« 2° Faculté de reculer la limite du nombre de tours qu'on peut obtenir pour les hélices sans engrenage multiplicateur ;

« 3° Equilibre statique presque complet des pièces mobiles autour de l'axe de l'arbre, quelle que soit au roulis la position du navire.

« J'emploie trois cylindres égaux de même diamètre et de même course, placés côte à côte, avec leurs axes dans un même plan, et leurs trois pistons agissant sur un même

arbre de couche à trois coudes. Les deux coudes des pistons extrêmes sont placés entre eux à angle droit, et celui du piston milieu (qui reçoit directement la vapeur) est placé à l'opposé de cet angle droit, dans le prolongement de la ligne qui le divise en deux parties égales. Enfin, deux condenseurs, munis chacun d'une pompe à air, sont destinés à condenser la vapeur à l'issue des deux cylindres extrêmes.

« En sortant des chaudières, la vapeur, séparée du contact de l'eau bouillante, circule dans un appareil sécheur pratiqué à la base de la cheminée ; cet appareil utilise une partie de la chaleur des gaz chauds, en leur en laissant encore assez pour le tirage naturel et en procurant à la vapeur une légère surchauffe. La tension de la vapeur correspondant à la charge des soupapes est de $2^{\text{atm.}},75$, ou 209 centimètres de mercure, soit 133 sur les soupapes de sûreté. C'est la limite supérieure des tensions compatibles sans danger avec l'alimentation à l'eau salée (1). La température de la vapeur saturée correspondant à cette tension serait de 131 degrés ; le sécheur amène cette vapeur à la température de 156 degrés, ce qui représente une surchauffe de 25 degrés.

« La vapeur venant du sécheur se bifurque dans deux tuyaux égaux, qui la conduisent dans deux chemises-enveloppes disposées autour de chacun des deux cylindres extrêmes, et circule ensuite dans ces enveloppes, à l'effet d'échauffer le métal des cylindres extrêmes, dans lequel elle laisse une portion de sa température de surchauffe ; et c'est à la sortie de ces enveloppes qu'elle arrive des deux côtés dans la boîte du tiroir du cylindre central. Deux valves de vapeur sont placées à la sortie des chemises des cylindres extrêmes, c'est-à-dire à l'entrée de la boîte du tiroir du cylindre milieu. Par cette disposition, lorsqu'on réduit l'ouverture de la valve pour modérer l'allure de la machine, on conserve néanmoins à l'intérieur des chemises, pour chauffer les cylindres extrêmes, de la vapeur à une ten-

(1) Cette machine n'est pas munie de condenseurs à surface.

sion élevée, ce qui est d'une grande importance. Lorsque les valves sont ouvertes en grand et que la pression de la vapeur aux chaudières est poussée à son maximum, elle arrive au cylindre central, à une tension d'environ 200 centimètres de mercure.

« La vapeur, après avoir poussé le piston du cylindre central, s'évacue en se partageant entre les deux cylindres extrêmes, en arrivant à leurs boîtes à tiroirs par de larges passages dont le volume fait, en partie, fonction de réservoir intermédiaire. Enfin, après avoir poussé les pistons des cylindres extrêmes, elle s'évacue dans le condenseur correspondant. La durée de l'introduction de vapeur dans les cylindres, abstraction faite des petites différences entre le dessus et le dessous, qui sont dues à l'obliquité des bielles, est réglée ainsi qu'il suit : pour le cylindre central, 0,84 de la course réalisant 0,80 ; pour chacun des cylindres extrêmes, 0,78 de la course réalisant 0,75. Avec cette régulation, avec la tension de vapeur précitée, avec la position décrite pour les trois manivelles de l'arbre de couche, avec des pompes à air bien disposées, comme je l'indiquerai plus loin, avec des sections suffisamment larges pour tous les passages de vapeur, c'est-à-dire avec une ouverture pour l'introduction représentant, à la position extrême des tiroirs, 3 et demi pour 100 de la surface du piston, multipliée par la vitesse moyenne de ce piston exprimée en mètres par seconde; enfin, avec des passages pour l'évacuation un peu supérieurs à la section précitée, on obtient (les valves ouvertes en grand) des pressions moyennes effectives qui sont de 88 centimètres de mercure sur le piston du cylindre central, et de 82 centimètres pour chacun des cylindres, ce qui fait pour les trois pistons une pression moyenne effective de 84 centimètres, répartis en trois diagrammes à très-peu près identiques avec ceux que représente la figure ci-jointe. En réalité, il y a de légères variations de la contre-pression au cylindre central; mais elles sont négligeables, et les diagrammes ci-après indiquent bien en moyenne le travail obtenu.

« Pour la machine de ce système qui fonctionne à l'Expo-

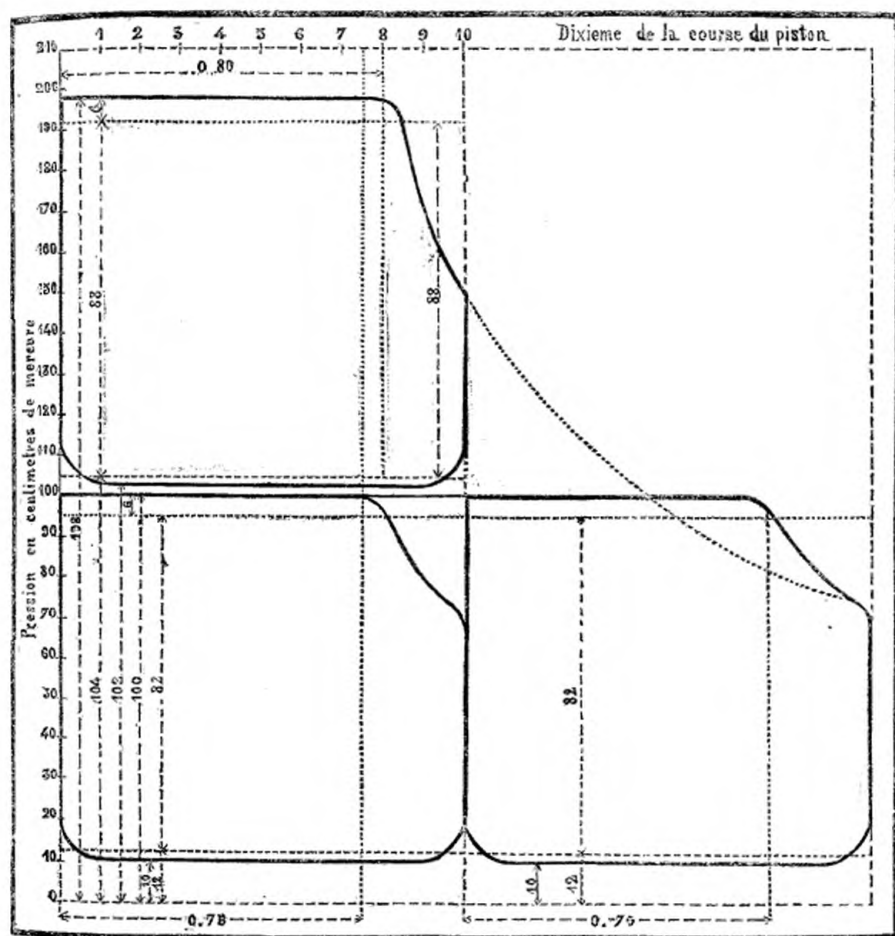
sition, le diamètre des trois cylindres à vapeur est de 2^m,10, et la course de leurs pistons de 1^m,30. Avec ces dimensions et des pressions moyennes de 84 centimètres de mercure sur les pistons, il faut faire 57 tours trois quarts par minute pour développer 4,000 chevaux de 75 kilogrammètres mesurés à l'indicateur. La vitesse moyenne des pistons est alors de 2^m,50 par seconde, et leur vitesse maximum à mi-course est de 3^m,93.

« Cette machine est destinée au *Friedland*, frégate cuirassée de premier rang, qui, avec son chargement complet de munitions et de charbon, pèsera 7,200 tonnes. L'hélice a 6^m,10 de diamètre et 8^m,50 de pas. A 57 tours trois quarts par minute, elle imprimera à cette frégate, par calme, une vitesse d'environ à 14 nœuds et demi, ce qui fait un peu plus de 27 kilomètres trois quarts par heure. Le poids de cet appareil complet, comprenant l'hélice, les parquets et tous les accessoires, se compose de : 415 tonnes pour la machine proprement dite ; 1280 tonnes pour les chaudières, sécheur, cheminée ; 115 tonnes pour l'eau des chaudières ; total : 810 tonnes, soit 203 kilogrammes par force de cheval de 75 kilogrammètres, eau comprise.

« Je ferai voir à l'instant qu'une machine ordinaire à deux cylindres de même puissance aurait au moins le même poids.

« Examinons maintenant les causes qui font que ces machines à trois cylindres possèdent les qualités que j'ai énumérées ci-dessus. D'abord on fait travailler la vapeur en la détendant dans le rapport de 4 à 10, tandis que dans les machines marines ordinaires à deux cylindres, afin d'obtenir la puissance voulue sans l'emploi de pistons présentant un moment d'inertie trop considérable en raison de leur poids ou de leur course, on introduit la vapeur jusqu'à 0,70 de la course, lorsqu'on veut faire développer à la machine toute sa puissance. Ce n'est que pour les vitesses réduites qu'on y emploie des introductions plus courtes. Mais, dans cette circonstance, les machines qui détendent la vapeur dans le même cylindre dans lequel se fait l'introduction à pression

élevée sont loin d'obtenir de cette détente le même avantage que procure la détente dans des cylindres séparés de celui où se fait l'introduction directe. C'est à tel point que, dans les machines marines ordinaires, lorsqu'on les fait fonction-



ner à grande détente, la puissance ainsi obtenue ne coûte guère moins en charbon que celle qu'on aurait également en étranglant les valves et marchant à une pression moindre avec l'introduction à 0,70 qui sert à toute vitesse, et cela malgré les chemises et les appareils de surchauffe, qu'on ne

saurait rendre très-énergiques sans s'exposer au danger de faire gripper les cylindres. Le refroidissement produit sur les parois internes des cylindres par l'emploi des longues détentés est la cause du peu d'économie qu'elles produisent dans les machines à moyenne pression et à condensation.

« Il est vrai qu'en introduisant à 80 pour 100 de la course dans le cylindre milieu de la machine à trois cylindres, au lieu d'une introduction seulement à 50 pour 100, qui serait nécessaire pour éviter la chute de pression entre la fin de la course du cylindre central et le début des cylindres extrêmes, j'ai accepté une perte de travail d'environ $\frac{1}{4}$ pour 100. Je l'ai fait afin de ne pas avoir de cylindres trop grands ou des pressions dépassant 2^{atm.}, 75 à des chaudières que je continuais à alimenter avec de l'eau de mer. J'en arrive aujourd'hui, pour des machines nouvelles en construction, à employer des condenseurs à surface, par suite à alimenter les chaudières avec de l'eau distillée, ce qui permet d'aborder sans danger des pressions plus élevées. Dans ces nouvelles machines, l'introduction dans le cylindre central pourra être coupée à 50 pour 100, ainsi que dans les cylindres extrêmes.

« L'économie de combustible dans les machines actuelles à trois cylindres, malgré cette chute brusque de pression, entre le cylindre central et les cylindres extrêmes, tient donc essentiellement à ce qu'on évite d'y introduire la vapeur à une forte tension dans des cylindres dont les parois internes seraient refroidies par la détente et par l'évacuation dans le vide de l'humidité déposée sur ces parois. C'est pour empêcher le refroidissement de ces parois internes, par suite d'un dépôt d'humidité et de sa vaporisation dans le vide, qu'il importe d'employer, autour des cylindres où se fait le vide, des chemises avec un courant de vapeur, *à une tension plus élevée* que celle agissant dans ce cylindre. Dans les machines en question, la vapeur arrive dans les chemises des cylindres extrêmes avec une tension de 200 centimètres de mercure et à une température d'environ 148 degrés, ayant déjà perdu 10 centimètres de pression et 7 ou 8 degrés de cha-

leur depuis sa sortie du sécheur. Les parois des cylindres extrêmes tendent donc à se mettre à une température d'au moins 145 degrés, tandis que, dans l'intérieur de ces cylindres, le vapeur n'y arrivant qu'à une pression maximum de 100 centimètres de mercure, n'aurait besoin que d'une température de 107 degrés pour ne pas déposer d'humidité sur les parois internes. Au contact de ces parois, cette vapeur à 100 centimètres de pression aurait donc plutôt une tendance à se dilater.

« En résumé, les machines marines à deux cylindres les mieux entendues, avec sécheur de vapeur et chaudières alimentées avec de l'eau de mer, consomment à toute vapeur au moins 1^k,60 de bonne houille par heure et par cheval de 75 kilogrammètres mesuré sur les pistons. La même consommation pour les machines à trois cylindres que je viens de décrire ne saurait être évaluée à plus de 1^k,28, ce qui fait une économie de 20 pour 100.

« Cette conséquence réagit sur le poids des appareils à trois cylindres, qu'on serait d'abord porté à croire plus élevé que celui des machines à deux cylindres de même puissance. Pour des machines à deux cylindres de 4,000 chevaux de 75 kilogrammètres, en supposant qu'on puisse avec deux cylindres aborder, sans danger d'échauffement, le même nombre de tours de 57 et demi par minute à toute vitesse, en supposant toujours des chaudières alimentées à l'eau de mer avec la même pression, en s'abstenant de chemises aux cylindres, on économiserait sur les poids de la machine proprement dite 90 tonnes. Elle pèserait ainsi 325 tonnes au lieu de 415; mais les chaudières devraient être accrues dans le rapport de ces consommations, c'est-à-dire dans le rapport de 160 à 128; elles pèseraient ainsi 350 tonnes au lieu de 280. Le poids de l'eau de ces chaudières, accru dans le même rapport, serait de 143 tonnes au lieu de 115. En résumé, le poids total de cet appareil à deux cylindres, avec chaudières pleines, serait de 818 tonnes, tandis que celui de l'appareil à trois cylindres de même puissance est de 310 tonnes. L'économie de combustible, avec les nouvelles

machines, reste donc tout entière à l'avantage du chargement du navire.

« En ce qui concerne la limite plus éloignée du nombre de tours auquel on peut lancer la machine à hélice à trois cylindres, sans être arrêté par les échauffements des coussinets des bielles et de l'arbre de couche, cette faculté tient à la réduction considérable de pression sur les coussinets, résultant des dispositions nouvelles, pour une puissance développée. A cet égard, il ne faut pas seulement considérer les pressions maxima initiales. Avec la machine à trois cylindres, la tension initiale dans le cylindre milieu est de..... 198 centimètres.
la contre-pression de..... 102 —

il reste pour la pression effective..... 96 centimètres.

« Dans les cylindres extrêmes, la tension
initiale est de..... 100 »
la contre-pression minimum de..... 10 »

 « Il reste pour la pression initiale..... 90 »

« Avec une machine à deux cylindres égaux, en diamètre et en course, à ceux de la machine à trois cylindres et faisant le même nombre de tours, il faudrait accroître la pression moyenne dans le rapport de 3 à 2 ; elle serait donc de 126 centimètres au lieu de 84. Mais, en outre, pour obtenir ce diagramme moyen de 126 centimètres, même avec une introduction à 0,70 et une contre-pression réduite à 10 centimètres, il faudrait la même tension initiale de 198 centimètres, donnant une pression effective de 188 centimètres ; nous venons de voir que, dans la machine à trois cylindres, avec une introduction directe dans un seul, cette pression est de 96 centimètres, c'est-à-dire qu'elle est réduite à près de moitié. Or, sur un piston de 2^m,10 de diamètre, dont la surface est de 34,600 centimètres carrés, une pression de 188 centimètres de mercure forme un total de 85,728 kilogrammes, et, dans la machine à trois cylindres, cet effort initial aux points morts est réduit à 43,776 kilogrammes. Si

l'on ajoute que le diamètre des tourillons de bielle ainsi chargés est de 42 centimètres, et que, à 27 tours trois quarts par minute, la vitesse circonférentielle de ces tourillons est de 1^m,27 par seconde, on comprendra l'importance de cette réduction dans la pression exercée aux points morts sur les coussinets de tête de bielle ; cette pression, quoique réduite ainsi à moitié, est encore de plus de 40 kilogrammes par centimètre carré.

« Le troisième avantage que j'ai signalé pour la machine à trois cylindres est l'équilibre statique presque complet que présentent toutes les pièces mobiles autour de l'arbre de couche, aussi bien durant les mouvements de roulis du navire que lorsqu'il se maintient vertical.

« Il est évident que cet équilibre serait complet si les trois manivelles étaient entre elles à une distance exacte de 120 degrés. Mais, pour obtenir un fonctionnement plus régulier, sans l'emploi d'un grand réservoir intermédiaire dans lequel viendrait s'évacuer la vapeur sortant du cylindre central avant de s'introduire dans les boîtes à tiroirs des cylindres extrêmes, j'ai reconnu préférable de placer, comme je l'ai dit, les deux manivelles extrêmes à 90 degrés entre elles et les manivelles du cylindre central divisant en deux parties égales cet angle à l'opposé. Avec cette division, l'équilibre n'est plus parfait, mais la situation, à ce point de vue, est évidemment bien plus favorable que s'il n'y avait que deux pistons attelés sur deux manivelles à angle droit, qui, à certain moment, sont ensemble toutes deux du même côté de la verticale.

« C'est en raison de cette disposition que la grande machine du *Friedland* qui figure à l'Exposition peut fonctionner régulièrement, depuis moins de 10 tours jusqu'à plus de 60 tours par minute, sans avoir de travail sérieux de résistance à vaincre et sans autre volant que l'hélice, dont le moment d'inertie est insignifiant par rapport aux moments des pièces douées d'un mouvement alternatif. Une machine à deux cylindres, avec manivelles à angle droit, serait, dans ces conditions, hors d'état d'échapper à l'alternative, ou de

s'arrêter si la pression de vapeur était insuffisante, ou de partir avec une violence dangereuse si l'on ouvrait les valves assez pour relever les pièces mobiles au moment où les deux manivelles remontent à la fois. Cette propriété des machines à trois cylindres ne présente pas seulement un intérêt de curiosité, elle est des plus précieuses pour les manœuvres à très-petites vitesses et pour la régularité du mouvement des machines par grosse mer.

« Enfin, il me reste à parler des dispositions des pompes à air qui permettent d'obtenir les plus beaux vides, malgré la grande vitesse des pistons de ces pompes. Dans la machine du *Friedland*, dont les pompes à air horizontales sont attelées directement sans balancier sur les pistons à vapeur, la vitesse de ces pistons à 57 tours trois quarts par minute est, comme je l'ai dit, de 2^m,50 par seconde en moyenne, mais à mi-course cette vitesse est de 3^m,93. Si cette pompe se composait d'un piston plein ordinaire, fonctionnant dans un corps de pompe, fût-il ouvert par les deux bouts de tout son diamètre, l'eau, poussée par une pression aussi faible que celle de 10 centimètres qu'on veut obtenir dans le condenseur, ne suivrait pas le piston à mi-course, quelle que fût la somme des orifices des clapets de pied; de là des chocs, des pertes notables dans le volume théorique décrit par le piston de la pompe à air, et, finalement, vide insuffisant dans le condenseur. On évite ces inconvénients, quelle que soit la vitesse du piston de la pompe à air, en le transformant en piston plongeur, fonctionnant dans deux larges boîtes à clapet, séparées par une cloison que traverse ce piston plongeur porté sur un coussinet formant presse-étoupe. Les mouvements horizontaux du piston plongeur se transforment en mouvements verticaux de montée et de descente de l'eau dans les boîtes à clapet, et, avec la faculté que l'on a de donner à la somme de ces clapets, conservés petits, la surface que l'on veut, l'excellence du vide des condenseurs n'est plus limitée par la vitesse du piston des pompes à air. »

Aux raisons qui ont déterminé M. Dupuy de Lôme à

adopter la machine à trois cylindres, on peut en ajouter une qui n'est pas sans importance.

Dans l'origine, la machine marine fonctionnait à basse pression ; la détente était relativement peu employée ; depuis, par un progrès lent mais sensible, la pression a été élevée, mais elle devait s'arrêter à 130 centimètres de mercure, qui est le point où la température communiquée à l'eau de mer amène la précipitation immédiate du sel marin qu'elle contient. Il a donc fallu, pour utiliser la détente de la vapeur, lui fournir, dans les cylindres, des volumes doubles et triples de celui que pouvait produire la chaudière à la pression initiale.

Aujourd'hui que l'application de plus en plus générale dans les nouvelles constructions navales des condenseurs à surfaces permet la marche à l'eau douce et l'usage des plus hautes pressions, le volume fourni dans les cylindres, pour l'expansion de la vapeur, doit s'accroître proportionnellement.

Mais alors la difficulté d'agencement du mécanisme de la distribution de vapeur apparaît dans une bien plus forte proportion, sous l'influence de la haute pression dont les tiroirs sont chargés. Ce mécanisme est resté la partie la plus défectueuse des machines, en ce sens qu'elle est la plus délicate et que la moindre altération dans l'ajustement apporte un trouble considérable dans les conditions d'emploi de la vapeur, et, par conséquent, dans la marche de l'appareil. Les expositions successives ont montré la variété innombrable de combinaisons ayant pour but de réaliser dans le temps le plus court possible l'ouverture la plus large et la fermeture des orifices de distribution ; dans les machines marchant à de faibles vitesses de piston, on a obtenu des résultats satisfaisants, mais à mesure que la vitesse a été augmentée, la difficulté s'est accrue et le mal est venu au point de contrarier sérieusement l'emploi de la détente à son maximum d'utilisation.

Dans une machine faisant soixante révolutions par minute, c'est-à-dire une course de piston dans une demi-seconde, si

la détente est au cinquième, le tiroir doit être ouvert en plein et fermé pendant la dixième partie d'une seconde. Cela devient presque impossible, il faut réduire considérablement les orifices, pour diminuer les espaces parcourus par le tiroir ; mais l'étirage de la vapeur abaisse, dans ce cas, la pression initiale. C'est en grande partie à cette cause qu'il faut attribuer le retour au système de Wolf, qui avait été depuis longtemps délaissé à cause de son prix élevé. Ce système permet de simplifier la distribution en demandant à un seul tiroir une introduction fixe du petit cylindre dans le grand cylindre. L'appareil d'introduction dans le petit cylindre peut être également simplifié ; les dimensions du tiroir peuvent être moindres que dans les machines à basse pression, et le mécanisme qui le conduit peut acquérir l'extrême rigidité qui distingue spécialement celui qui mène les tiroirs des machines locomotives. Les ingénieurs qui ont suivi les progrès de ces dernières machines savent combien l'appareil de distribution de vapeur a présenté d'importance et de difficulté ; rien ne le démontre mieux d'ailleurs que les dimensions relatives des pièces de ce mécanisme et les soins d'ajustement qui président à sa construction.

Poursuivant l'étude des progrès que l'Exposition a mis en lumière dans ce qui intéresse la navigation maritime à vapeur, nous devons parler d'abord de l'emploi de plus en plus général des condenseurs à surface.

Il est utile de rappeler que cet appareil fut inventé par Hall, en 1831, amélioré dans les années suivantes, et qu'il ne diffère pas sensiblement, dans son mode de construction, de celui qui est adopté aujourd'hui. On s'explique donc difficilement la lenteur de ce développement.

Rien ne peut mieux donner une idée de l'utilité de ces appareils que les faits suivants :

Un navire transatlantique ayant quarante-trois jours de mer, consommant 3,800 tonnes de charbon, rapporte dans sa chaudière 22 à 25,000 kilogrammes de dépôt consistant, en majeure partie, en sulfate de chaux, quoique la saturation ait été maintenue, par des extractions, entre 3 et demi

et 4 degrés. Ce dépôt, également réparti sur les parois de la surface de chauffe, aurait une épaisseur de 9 millimètres, réduisant ainsi notablement la conductibilité du métal pour le calorique ; une grande partie de ce dépôt est adhérente ; l'enlèvement en est très-coûteux. Sous l'influence de ces épaisses incrustations, les parois du foyer sont rapidement altérées, de telle sorte que le nettoyage, la réparation, le renouvellement partiel de la chaudière, sont le chapitre le plus important de la dépense d'entretien du navire.

Les effets du condenseur à surface étant de substituer l'eau douce à l'eau de mer pour l'alimentation de la chaudière, évitent tous ces inconvénients ; à l'arrivée comme au départ, les parois intérieurs de la surface de chauffe sont exempts de dépôt.

Pour neutraliser le dépôt sur les parois du condenseur à surface, des matières grasses provenant de la lubrification des *stuffen-box*, du tiroir et du piston, une légère quantité de carbonate de soude est introduite dans le condenseur, pour aider à la saponification qui s'y accomplit partiellement et se termine dans la chaudière. Le produit savonneux s'accumule dans celle-ci et flotte à la surface de l'eau d'où il est extrait par intervalles, suivant la méthode ordinaire. Une petite quantité d'eau de mer est ajoutée dans la bêche d'alimentation des chaudières, et l'eau est ainsi conservée à 0,5 ou 1 degré de saturation. On a fait beaucoup de bruit, pendant plusieurs années, des effets destructeurs de l'eau distillée dans le condenseur à surface, sur les parois des chaudières ; puis on a, plus tard, attribué ces effets à des actions galvaniques provenant du dépôt de molécules de cuivre enlevées aux parois des tubes du condenseur et entraînées dans la chaudière ; la science et l'expérience n'ont pas confirmé ces appréciations. On sait que certaines fontes employées à la fabrication des cylindres, condenseurs, bâches, etc., s'altèrent très-rapidement ; des chaudières de locomotives en tôle d'acier ont été perforées en mille places assez profondément ; des coques de bateaux en tôle d'acier ont subi les mêmes altérations ; mais ces exemples sont si rares qu'il est permis

d'en attribuer la cause aux vices de fabrication du métal.

Le fait ne s'est pas présenté dans les nombreux exemples que nous avons eus sous les yeux ; peut-être la mince coloration qui couvre les parois de la chaudière et qui est due à la première eau de mer prise au départ ; peut-être aussi la saponification des matières grasses ou bien le maintien d'un demi-degré de salure annulent-ils les effets observés il y a quelques années. Toujours est-il qu'il leur a été donné une telle importance, que cela avait retardé l'application, aujourd'hui générale, du condenseur à surface.

Après quelques heures de marche, le graissage ordinaire des pistons et des tiroirs peut être très-réduit, la vapeur transportant avec elle assez de matières savonneuses pour suffire, en grande partie, à la lubrification.

Des ingénieurs ont attribué le succès si général, dans ces dernières années, du condenseur à surface, à l'influence du surchauffeur, dont l'effet est d'empêcher l'entraînement de l'eau de la chaudière avec la vapeur dans les cylindres. Il paraît, en effet, constant que la régularité de marche du condenseur à surface est bien plus complète quand la chaudière est munie d'un surchauffeur, ou que la chaudière ne *prime* pas.

On comprend qu'il en doive être ainsi, et que la chaudière marine actuelle, dont le principal défaut est de *primer*, ait longtemps paralysé les effets de cet utile appareil. Le surchauffeur semble donc le complément du condenseur à surface.

L'emploi du condenseur à surface amènera comme conséquence inévitable l'élévation de la pression dans la chaudière. Un certain nombre de constructeurs, en tête desquels sont, depuis plusieurs années, MM. Randolph et Elder, ont élevé la pression à 220 centimètres de mercure. Les ingénieurs américains vont beaucoup plus haut ; mais cela exige d'autres formes de chaudière, et c'est, à plusieurs points de vue, une grave difficulté ; la transition sera difficile, mais le résultat est trop intéressant pour que le succès soit douteux.

Nous terminerons par l'un des progrès les plus essentiels à

la prospérité des constructions navales, celui de la fabrication du fer et de l'acier dans les formes d'emploi aux coques et aux moteurs de la marine.

Les appareils employés dans les forges pour donner les formes au fer n'ont pas encore atteint le degré de puissance nécessaire ; la clouure du bordé est à la fois dispendieuse et lente ; de plus, elle affaiblit toujours la coque ; c'est par l'accroissement des dimensions en largeur et longueur des plaques de tôle du bordé qu'on économisera la main-d'œuvre en gagnant en rigidité.

La forge des pièces d'étrave et d'étambot réclame également des outils plus puissants.

Les barrots, les varangues, les carlingues, doivent être étudiés de façon à produire, avec la moindre quantité de rivets, la forme définitive d'emploi.

Les fabricants anglais et l'usine d'Essen devancent de bien loin, sous ce rapport, les plus grands établissements métallurgiques de France et de Belgique.

Dans ces dernières années, l'élan donné aux usines à fer anglaises par les ateliers de construction navale a été considérable. Il est si lent parmi nous, que le jour où la France voudra faire de grands navires en fer avec les perfectionnements que ces dernières années ont vus éclore, il faudra s'approvisionner en Angleterre d'une grande partie des matériaux.

Les fabricants français et belges devraient avoir, sur le continent, un musée de tous les fers de forme nouvelle produits pour l'emploi immédiat dans l'industrie.

Quant à la fabrication des arbres en fer pour les moteurs de 800 à 1,000 chevaux, nous ne sommes pas autorisé à admettre l'infériorité des forges françaises ; les arbres fabriqués en Angleterre donnent lieu aux mêmes refus dans les ateliers, aux mêmes accidents en service, seulement ils coûtent moitié moins cher. C'est là la plaie de la navigation transatlantique, comme l'étaient les chaudières avant l'usage du condenseur à surface ; il a été facile de voir à l'Exposition qu'aucune plaque de blindage paraissant pleine et homogène

sur les tranches rabotées et polies, n'était en réalité soudée ; le projectile détache, comme les feuilles d'un cahier, toutes ces mises appliquées les unes sur les autres. Les soudures au borax de l'acier sur le fer, obtenues à la chaleur de fusion, sont plus adhérentes ; il en est en grande partie de même des arbres forgés.

Mais il en est tout autrement des fers acieureux de M. Krupp ; l'homogénéité en est complète, parce qu'ils proviennent de lingots fondus et forgés avec des marteaux d'un poids considérable. Les arbres fabriqués avec ces fers n'ont pas tous réussi, mais alors les engins de forge n'avaient pas la puissance qu'ils ont aujourd'hui et peut-être la préparation laissait-elle à désirer.

En ce moment, plusieurs constructeurs anglais, et notamment M. Caird, de Liverpool, donnent pour la marine transatlantique la préférence aux arbres de M. Krupp ; mais il ne paraît pas que l'application en ait été encore faite aux machines marines de 800 à 1,000 chevaux. Il serait bien désirable que cette fabrication pût s'établir en France. Les progrès qu'amènent des créations de ce genre ont les plus heureuses conséquences sur la fabrication du fer en général.

LA MÉTALLURGIE A L'EXPOSITION DE 1867.

LE CUIVRE,

Par M. E. PETITGAND,

Ingénieur.

§ 1^{er}.

INFLUENCE ET PROGRÈS DE LA MÉTALLURGIE.

Les expositions resteront l'expression la plus vraie de l'admirable activité de notre époque, excitée et favorisée par les inventions, les découvertes qui se succèdent de toutes parts et dans toutes les directions. Elles traduisent fidèlement le mouvement irrésistible qui entraîne les nations policées dans la voie industrielle. Ce mouvement est surtout caractérisé par les progrès réalisés depuis vingt ans dans l'exploitation des mines et par l'extension prodigieuse de la fabrication du fer et des métaux.

Source et origine de toutes les conquêtes de l'homme sur la nature, les mines et la métallurgie occupent de droit le premier rang dans ces grandes manifestations du travail humain. Elles y retracent l'histoire des peuples et les mobiles de leur existence ; pendant qu'elles nous initient à leurs origines, elles nous aident à suivre les diverses phases de leurs transformations et nous éclairent sur les causes de leur supériorité, de l'étendue de leur commerce et de leur opulence. Parmi les industries primordiales, il en est peu qui figurent au Champ de Mars aussi largement que la métallurgie, et qui représentent avec plus d'éclat les progrès de l'humanité. Aucune, en effet, ne témoigne plus victorieusement, dans ses évolutions successives, des luttes de l'homme, de ses efforts, de son intelligence et de son énergie. C'est elle qui permet, avec les mines, cette accumulation de richesses, cette

variété de produits qui attestent les ressources infinies et l'inépuisable fécondité de moyens des diverses nations chez lesquelles on les voit étalés.

Depuis l'Exposition universelle de 1862, l'industrie métallurgique n'a pas cessé de grandir; elle a marché à pas de géant. Rien ne l'arrête plus, le succès de ses tentatives a donné raison à toutes ses hardiesses. Sa puissance productive s'est accrue, ses méthodes et ses procédés se sont améliorés et simplifiés en se perfectionnant. Son outillage et son matériel agrandis d'une façon inusitée ont décuplé ses forces; de sorte qu'en dehors du choix des matières plus riches et plus pures, dont les propriétés ont été mieux étudiées, ses futurs développements ne paraissent plus dépendre aujourd'hui que d'une question de machines. C'est que jamais l'emploi des métaux ne s'est autant accusé et n'a créé des applications plus inattendues. Les métaux satisfont à toutes les conditions de durée et de résistance; ils se prêtent admirablement à tous les besoins, à toutes les formes que l'homme veut leur imposer pour satisfaire, soit aux exigences de la construction et de la mécanique, soit aux fantaisies de l'ornementation. Soumis aux règles de l'expérience pratique, ils se substituent tous les jours davantage aux autres matériaux et se propagent au delà de toutes les prévisions.

Liée désormais à tous les problèmes industriels, la fabrication des métaux exerce inévitablement son influence sur toutes les branches de travail qui vivent par elle, et qui, en retour de l'activité qu'elles lui impriment, concourent à son accroissement, au profit de leurs avantages communs. C'est dans les perfectionnements de la métallurgie que le génie civil, les sciences d'application, l'art militaire, l'art naval, les travaux publics cherchent et trouvent la solution de leurs conceptions et leurs éléments de force. En un mot, c'est dans l'emploi des métaux, dans leurs combinaisons multiples que les grandes industries découvrent le principe de leur action et le secret de leur grandeur. Si bien que la fabrication des métaux est, en réalité, chez toutes les sociétés mo-

dermes, l'affirmation la plus évidente de leur supériorité industrielle et le gage assuré de leur puissance politique et commerciale. Jamais elle ne s'était présentée avec un pareil relief; jamais ses développements n'ont été plus saisissants; partout ils répondent à la magnifique ampleur du concours auquel nous venons d'assister.

Peut-être aurait-on désiré, en parcourant cet immense déploiement de matières et de produits, voir les arts métallurgiques moins éparpillés, classés avec plus d'ordre naturel et moins de méthode prétendument philosophique. Pour mieux apprécier leur rôle dans l'économie sociale, on les aurait voulu rangés suivant leur importance, leur constitution, leurs applications relatives et leurs rapports entre eux, en remontant de la cause à l'effet, depuis leurs diverses transformations jusqu'à leur forme définitive. On voudrait voir le minerai, au sortir de la mine, enrichi par un travail préparatoire, passant successivement des mains du fondeur à celles du forgeron, jusqu'à ce qu'il sorte de l'atelier converti en machines ou instruments, trouvant dans le métal les éléments et les organes qui les animent ou le rendent propre à ces diverses fonctions. L'esprit qui s'égare au milieu de ces assortiments disparates, de toutes ces superfluités brillantes qui semblent s'exclure, aurait été ramené à son but : il eût saisi d'un coup d'œil, sans fatigue, leurs relations, les liens qui les rattachent et, par conséquent, mieux embrassé la portée d'un tel concours. Malgré ces imperfections, ce grand concours de tous les peuples constitue l'un des plus vastes champs d'études offerts à la curiosité des visiteurs et aux méditations des industriels.

Pendant que le souvenir en est encore vivant, arrêtons-nous sur un côté de ce magnifique ensemble : la *métallurgie du cuivre*. Sans prétendre refaire l'histoire du cuivre, j'en rappellerai les traits essentiels; j'exposerai ses caractères et ses emplois dans les arts et l'industrie. Je résumerai brièvement les méthodes de traitement là où il est exploité, en indiquant son importance dans l'échelle de la production des divers pays. Je terminerai par quelques observations sur les

améliorations apportées dans les procédés d'élaboration les plus usités, afin d'en faire ressortir les avantages ou les inconvénients.

§ 2.

LE CUIVRE. — SON HISTOIRE ET SES USAGES.

Après le fer et ses dérivés, la fonte et l'acier, le cuivre est, sans contredit, le métal le plus répandu; il se prête aux plus heureux emplois, on le rencontre dans tous les usages de la vie. Sa belle couleur, sa malléabilité, sa ténacité, sa ductilité, son rôle prépondérant dans les alliages et la facilité avec laquelle il accepte toutes les formes et reçoit toutes les empreintes, en ont fait le véritable Protée de l'industrie moderne. Ainsi nous le font apparaître ces produits si variés et si différents, sévères ou charmants, massifs ou délicats, exposés, de ci de là, dans les galeries des arts mécaniques, ou dans celles des arts décoratifs, du mobilier et de l'ameublement, où la fabrication parisienne étalait naguère ses trésors et sa supériorité. Car si la France ne produit que peu ou point de cuivre, et ne sait pas utiliser les richesses métalliques de son sol, c'est peut-être le pays où il est le plus travaillé, en quantité plus considérable et avec le plus d'habileté. Ce n'est pas que le traitement des minerais y soit ignoré, tant s'en faut; car on verra plus tard que la fonte des matières riches et pures du Chili et du Pérou, pratiquée d'ailleurs avec une rare entente, n'est guère que l'accessoire ou plutôt un des moyens d'affiner les cuivres bruts, que nos fabricants tirent de l'étranger, pour les approprier à leurs besoins : ces matières ne sont que le véhicule des nombreuses élaborations où ils excellent. Toujours est-il qu'on peut dire, en examinant les mille applications de ce métal, ses métamorphoses sans fin, que si tout cela n'est pas or, il le devient entre les mains de l'ouvrier français par la perfection du travail et le fini de l'exécution. Pénétrez avec celui-ci dans l'atelier, regardez-le travailler la matière, la pétrir, soit pour animer les créations d'un ar-

tiste, soit pour satisfaire aux exigences du consommateur, ou pour l'assujettir aux nouveautés de la décoration, à toutes les fantaisies du jour, à l'état de jouets, d'ornements, de parures et de toutes ces futilités enfantées par les caprices de la mode, qui encombrent les plus modestes boutiques, ou qui brillent dans les magasins les plus luxueux ; vous le verrez à chaque instant, artiste lui-même, assouplir ce précieux métal, le façonner de toutes les manières et lui imprimer toutes les formes utiles ou élégantes que peut rêver l'imagination, sans jamais épuiser ses combinaisons.

Ce n'est pas d'aujourd'hui que le cuivre a conquis ces faveurs ; il a joui de la même vogue dans l'antiquité, il y a régné sans partage ; c'était le métal préféré. A en juger par ces spécimens de l'industrie des premiers âges, réunis, avec un heureux à-propos, dans la galerie du travail, le cuivre semble avoir été connu et utilisé avant les autres métaux. On le retrouve partout où l'homme a laissé les traces de son passage, dans les sociétés primitives aussi bien que chez les peuplades sauvages modernes, comme la découverte de l'Amérique l'avait déjà appris aux premiers conquérants du Pérou et du Mexique où pourtant le fer abonde. C'est que, dans l'enfance des peuples, les besoins se traduisent partout les mêmes ; en recourant aux mêmes moyens pour les satisfaire, ceux-ci nous révèlent leur vie, leurs mœurs, leurs habitudes, et nous renseignent sur la portée de leur industrie. Les armes, les ustensiles domestiques, les instruments aratoires et les outils employés dans les arts, qu'on trouve rassemblés dans les musées ou les arsenaux, indiqueraient seuls, à défaut des témoignages des écrivains de l'antiquité, la multiplicité des emplois du cuivre et l'ardeur avec laquelle il a été travaillé. Tous ces vestiges du passé, à quelque date qu'ils appartiennent, expriment pour ainsi dire les divers degrés de civilisation des anciennes sociétés ; ils nous font suivre pas à pas leur avancement dans les arts métallurgiques, s'améliorant et se perfectionnant à mesure que l'aisance et les raffinements de la vie prenaient chez elles plus de développements. L'artiste, devenu plus exigeant

à mesure que le goût du consommateur s'épure et devient plus difficile, veut à son tour un métal plus docile, et son habileté à le façonner s'accroît dès que celui-ci sort plus souple des mains du fondeur. La beauté du travail se traduit bientôt par la pureté de la matière qu'il met en œuvre, et avec elle les progrès qui se réalisaient sous cette impulsion dans les procédés de fusion.

Lorsqu'on réfléchit aux difficultés que nous éprouvons encore pour amener les métaux à l'état de pureté parfaite, il est à présumer que les fondeurs des côtes d'Asie, de l'Étrurie, etc., avaient acquis, sinon des connaissances très-étendues des réactions chimiques qui se passaient dans leurs foyers, du moins une pratique très-délicate des méthodes que le développement graduel des arts et de l'industrie pouvait seul leur permettre d'atteindre. A défaut de la science qui nous a rendu les phénomènes de la fusion plus familiers et nous évite tant de tâtonnements stériles, ils avaient l'observation pour les instruire et les routines du métier pour les diriger. Mais comme les minerais de cuivre ne renferment presque jamais un seul et même métal, il est à croire qu'à l'origine et pendant longtemps, le cuivre n'a pu s'obtenir qu'à l'état d'alliage, ici sous le nom d'*æs*, là sous celui de *αλλᾶς* que lui donnaient les Grecs et les Romains. Au reste, qu'elle qu'ait été sa nature, seul ou mélangé d'étain, de zinc, etc., le cuivre servait aux usages divers auxquels nous l'avons appliqué à notre tour. Il n'a rien perdu de ses mérites et de sa valeur ; il n'a même pas abdiqué son droit d'aïnesse dans l'art de s'entretenir que nous ont transmis les héros d'Homère, art que nous avons si merveilleusement perfectionné en lui substituant le fer, l'acier, le plomb, avec une foule d'engins qui remplissent le même but avec tant de bonheur ; cet art va tous les jours progressant. On se tue maintenant avec bien autrement de science et de précision ; surtout plus vite, ce qui est un moyen, dit-on, d'abrégé les guerres et de ralentir cette frénésie meurtrière qui grandit avec les peuples. C'est, en vérité, un fort heureux dédommagement, mais que n'appré-

cient pas toujours bien les élus que le sort soumet à ces douloureuses expérimentations.

On dirait qu'il est dans les destinées humaines que le levier le plus puissant du progrès soit presque toujours le génie du mal, comme si les conquêtes de l'homme ne pouvaient s'acheter qu'au prix des ruines et de la destruction, et comme si l'industrie ne trouvait son principe et ne pouvait féconder ses germes que par les épreuves les plus contraires à son épanouissement. Étranges contradictions qui feraient douter des vertus de la civilisation, si, par une réversion de l'esprit humain, ces inventions de la guerre ne se retournaient contre elles et ne donnaient à la science et à l'industrie les moyens de la combattre avec ses propres armes et de la rendre de moins en moins terrible et aventureuse. Sans insister davantage sur ces considérations, n'est-ce pas aux progrès de l'art militaire, aux recherches de la balistique pendant ces dernières années, que la sidérurgie est redevable des améliorations considérables qu'on remarque et dans la qualité de ses produits, et dans la puissance de son outillage et de son matériel, pour arriver à ces formidables engins de guerre, à ces énormes blindages opposant à chaque nouvel effort du choc une force de résistance plus énergique, finissant par se neutraliser, ou les obligeant à de nouvelles combinaisons de matières et de résistances pour se dominer ? Mais, plus avide des perfectionnements qui aident à son essor et à sa prospérité, l'industrie, s'inspirant bientôt des découvertes qu'elle avait provoquées, s'est emparée de ces conquêtes de la force brutale pour les appliquer à ses besoins et les faire servir à la puissance du génie civil. C'est là sa gloire et ce qui rachète le concours qu'elle prête aux mauvaises passions de l'homme et à ses aberrations. Ainsi tout s'enchaîne fatalement dans la vie humaine, ce qui semble au début la ramener à la barbarie devient l'instrument de sa délivrance et de victoires plus durables.

§ III.

LES MINÉRAIS DE CUIVRE. — PROCÉDÉS DE TRAITEMENT.

La progression qui se manifeste de toutes parts dans l'industrie sidérurgique, s'accuse également dans la fabrication du cuivre ; elle a suivi l'impulsion des autres branches de la métallurgie. La production, qui était à peine de 50,000 tonnes en 1846, dépasse aujourd'hui 95,000 tonnes et paraît devoir s'élever encore.

La fabrication des métaux usuels peut être envisagée à deux points de vue : sous le rapport du travail de la matière première et sous celui beaucoup plus compliqué et plus étendu de l'ouvrison du métal, quittant la fonderie ou le laminoir pour devenir ailleurs l'agent ou le point de départ d'une nouvelle fabrication plus délicate ou plus variée, soit que de nouveaux besoins le réunissent à d'autres éléments, soit qu'il ait simplement à subir, à la suite d'un premier travail, les transformations dont l'exécution dépend de ces arts élémentaires. Nous n'avons à le considérer ici que sous le premier aspect, c'est-à-dire la fonte des minerais, et accessoirement les élaborations premières qui en résultent.

Les collections minéralogiques envoyées par les diverses puissances ont été appréciées ailleurs ; elles donnent la plupart une idée satisfaisante de leurs richesses minérales ; mais elles n'expriment, à vrai dire, qu'un des côtés de la question, les ressources du sol et, jusqu'à un certain point, les progrès de leur exploitation. Le côté de beaucoup le plus intéressant, l'élaboration de la matière brute, disparaît sous la masse d'échantillons choisis, disposés pour en faire ressortir les formes curieuses et leurs reflets brillants ; l'ensemble des manipulations auxquelles le traitement métallurgique est appliqué dans les fonderies, est tenu dans l'ombre ; il est à peine soupçonné. Et cependant ce n'est qu'en suivant la marche de ces opérations, en en comparant les produits qui se succèdent, qu'il est possible d'en saisir les résul-

tats et d'apprécier sainement les améliorations provoquées par l'emploi de tel ou tel procédé, par ses modifications ou par l'introduction de méthodes plus perfectionnées. A cet égard, l'Exposition laisse à désirer et il est nécessaire de suppléer à l'absence presque complète de ces détails.

Sans entrer dans toutes les particularités du traitement des minerais, il convient d'en signaler les caractères fondamentaux et de préciser sur quelles bases et sur quels principes repose la fabrication du cuivre.

Le cuivre existe dans une foule de combinaisons, mais on ne l'extrait que de celles où il se trouve à l'état d'oxyde, soit pur, soit combiné ou mêlé avec diverses substances dont il faut le séparer pour utiliser ses produits.

Les minerais traités dans les usines correspondent à la classification suivante :

1^o Le **CUIVRE NATIF** ;

2^o LES MINERAIS OXYDÉS, tels que l'*oxydure*, l'*oxyde noir*, les *silicates* et les *carbonates* ;

3^o LES MINERAIS SULFURÉS, de tous les plus abondants, comprennent le *sulfure*, le *cuivre pyriteux* et le *cuivre panaché*, les *cuivres gris*, contenant les uns ou les autres, en proportions plus ou moins considérables, de l'arsenic, de l'antimoine, du phosphore, etc., et qui constituent autant d'espèces minéralogiques différentes, dont le traitement ne diffère des premiers que par la multiplicité des opérations nécessaires à l'expulsion des métaux étrangers. Enfin, les eaux chargées artificiellement de *sulfate de cuivre*, ou provenant d'anciennes mines exploitées, qui font partie de cette classe. Elles ont suggéré l'idée du traitement par *voie humide*, de certains minerais très-pauvres et de divers résidus cuivreux des usines, toutes matières qu'on ne parviendrait pas à utiliser autrement.

Les minerais sulfurés, les sulfures de cuivre et le cuivre pyriteux forment la base de la fabrication.

Le *cuivre natif* existe en masses puissantes sur le lac Supérieur, dans l'Oural, accidentellement en Hongrie et dans

le Cornwall. Le *cuivre oxydulé* est généralement associé à des carbonates et à des sulfures ; c'est le minerai prédominant du Chili et du Pérou. Le *cuivre sulfuré*, qui se rencontre en Saxe, en Suède, aux mines de Monte-Cattini, en Toscane, en Algérie, et surtout en Australie, est un des minerais de cuivre les plus riches. Le *carbonate hydraté de cuivre* ou *malachite* abonde en Sibérie et de même en Australie. Le *cuivre pyriteux* est le plus commun de tous les minerais. Le *cuivre gris* ou *faulherz*, ou sulfure double de cuivre et d'antimoine mélangé à plus ou moins d'argent, n'est pas rare ; il se trouve en France dans les Cabrières et dans les Vosges, en Hongrie, etc., ainsi que dans la plupart des mines du Chili et du Mexique.

Les méthodes et les procédés d'extraction du cuivre sont fondés sur l'emploi du four à réverbère ou bien du four à tuyère, dit four à manche ou demi-haut-fourneau. Ces méthodes, qui ont leur mérite propre, tendent à s'associer dans une certaine mesure. Il en sera parlé en temps utile.

En réfléchissant à l'ancienneté du cuivre, à ses emplois si divers chez tous les peuples, attestés par les débris d'ustensiles et d'armures qu'on retrouve journellement en fouillant dans les ruines des plus vieux monuments et des cités disparues, il est permis de croire, eu égard à la pureté du métal de toutes les époques, que nous avons fort peu ajouté aux procédés d'extraction et peut-être bien aux appareils de nos devanciers. C'est tout au plus si nous les avons perfectionnés. Aussi, sauf l'augmentation dans les dimensions des premiers, on ne voit pas que le principe des réactions chimiques ait subi les changements qu'on pouvait attendre des découvertes de la science.

Quoi qu'il en soit, le traitement des minerais de cuivre peut se résumer en deux termes distincts : les réduire, après une ou deux opérations préliminaires, en *cuivre noir* et soumettre celui-ci à l'affinage pour le convertir en *cuivre rouge*, ou cuivre relativement pur. Mais cette formule se complique, en dehors des circonstances locales, de la composition particulière des minerais qui exigent des grillages et des fontes ré-

térées, pour transformer les corps plus oxydables que le cuivre en oxydes et en silicates qui sont expulsés par la volatilisation, sous l'influence de fontes réductives à haute température.

La fonte de tous les minerais de cuivre, à l'exception du cuivre natif, qui n'exige en réalité qu'une refonte, comprend donc une série de manipulations variant avec la nature et la qualité des matières premières, précédées et alternant avec des grillages pour obtenir le cuivre noir. Ce n'est pas le lieu de décrire cette opération, ni d'en exposer la marche détaillée. Tout ce qu'on peut en dire, c'est que tous les procédés de fusion reposent sur l'emploi des *fours à manche* et des *fours à réverbère* de grandeur et de capacité très-variables, qui caractérisent ceux-ci la *méthode allemande* et ceux-là, expression de la méthode anglaise, la *méthode galloise*, dont le mode d'action et les caractères diffèrent entre eux et déterminent des réactions chimiques également différentes.

Dans la première, les matières minérales et métalliques successivement obtenues sont placées au contact immédiat du charbon dans l'appareil même, activé par un courant d'air énergique; il en résulte un produit plus riche en cuivre, qui passe à l'état métallique, principalement à la fin de l'opération. Le four à manche exerce une action réductrice très-prononcée. C'est la méthode ancienne plus ou moins améliorée, se modifiant suivant les lieux et la nature des minerais, mais toujours identique dans son principe. Elle a le grand mérite, par la simplicité de ses moyens, l'économie de son matériel, de se prêter à toutes les exigences et de s'adapter, en se localisant, à toute espèce de minerai, riche ou pauvre, que chaque exploitation isolée oblige, plus ou moins, à traiter sur place. Nous entrerons plus tard, à ce sujet, dans des détails plus étendus, en parlant du traitement des usines d'Atvidaberg (Suède) et de la Briglia (Toscane).

Dans la seconde, les produits métalliques sont constamment séparés du combustible. Elle est basée sur une série d'opérations, en fin de compte très-complicquées, sinon très-déliées, ayant pour but d'obtenir des matières de plus en

plus riches en cuivre, puis de réduire ces produits à l'état métallique, à l'aide d'une double décomposition des combinaisons oxygénées et sulfureuses, résultant de mélanges appropriés et de la fixité de leurs proportions. Considérée dans son ensemble, la méthode galloise n'est qu'une exception dont le succès est subordonné à ces exigences non moins qu'à l'extrême habileté des ouvriers façonnés à ces manipulations complexes. Elle n'est susceptible d'être appliquée avantageusement que là où elle serait placée dans des circonstances analogues ou pareilles à celles de l'Angleterre, circonstances qu'il est à peu près impossible de réunir ailleurs. Pour tout dire, dans la plupart des fonderies du pays de Galles, le travail du cuivre n'est qu'un travail empirique, essentiellement routinier, basé presque entièrement sur des pratiques confuses dictées par l'habitude. C'est une sorte d'opérations traditionnelles, moins le raisonnement scientifique qui préside toujours dans les manipulations du continent. Les modifications que l'on peut observer d'une usine à l'autre s'écartent peu de l'idée première et n'altèrent jamais son principe fondamental ; elles sont d'ailleurs influencées par les exigences commerciales qui les régissent et qui ne laissent que peu ou point de marge aux innovations qu'on serait tenté d'introduire dans cette méthode pour en corriger les imperfections. Beaucoup plus compliquée que la méthode allemande, plus dispendieuse par rapport à la construction des fours, à la consommation du charbon et à la difficulté de son application, la méthode galloise ne s'est développée qu'à la faveur des conditions spéciales et toutes locales qui l'ont, à vrai dire, imposée. Jusqu'à présent et en raison même de ces conditions, c'est celle qui paraît le mieux s'adapter aux minerais impurs et complexes qui constituent l'approvisionnement des usines anglaises. Ce n'est pourtant pas à dire qu'on les associant ailleurs, ainsi que dans le travail du pays de Galles, à des minerais riches et purs, on ne parvienne avec la méthode allemande à des résultats aussi certains, plus sûrs et certainement plus économiques.

Pour bien saisir les distinctions que nous venons d'établir

et les faire pénétrer dans l'esprit du visiteur, il eût été convenable qu'à l'exemple du Creusot, par exemple, des aperçus synoptiques accompagnés des produits correspondant aux diverses périodes du travail, fussent placés sous ses yeux pour l'éclairer sur les phénomènes des réactions chimiques et les transformations que subissent les matières, afin d'arriver à l'état de pureté relative qui en permet l'emploi; on aurait pu juger par là des progrès que ces méthodes avaient réalisés. Nous n'avons rien trouvé, du reste, de nature à faire croire à des perfectionnements sensibles dans la fonte des minerais de cuivre. A cet égard, les collections que nous avons passées en revue ne renferment rien de neuf : il n'y a pas de modifications accentuées à signaler dans la conduite du travail depuis 1855.

Nous n'entrevoions d'améliorations possibles dans cette branche de la métallurgie et susceptibles d'une portée économique sérieuse, qu'en combinant dans ce qu'elles ont chacune d'avantageux et de plus favorable à la réussite des réactions chimiques les méthodes allemande et galloise, qui pourraient être ramenées à cette formule de beaucoup la plus rationnelle :

- 1° Grillage des minerais en tas ou à réverbère ;
- 2° Fonte du minerai grillé au four à manche ;
- 3° Grillage de la matte à l'air libre ;
- 4° Fonte au four à manche pour cuivre noir ;
- 5° Affinage et raffinage du cuivre noir au four à réverbère.

A défaut des renseignements que je réclamais tout à l'heure, il convient d'exposer succinctement l'économie de la méthode galloise et son mécanisme, méthode et mécanisme qu'on a beaucoup trop vantés, croyons-nous, parce qu'on ne s'est pas rendu un compte bien exact des conditions particulières qui la régissent.

La méthode galloise la plus usitée, — car cette méthode n'a pas une marche constante et régulière, une formule unique, — consiste en six opérations, dont le nombre est porté dans quelques usines à huit, par suite des modifications résultant de la nature des minerais traités ou des mélanges employés.

Ces conditions, nous n'avons pas à le dire, influent sur la marche des diverses opérations nécessitées par la nature du traitement. Il se résume dans les termes suivants :

I. Grillage à flamme très-oxydante que les Anglais désignent sous le nom impropre de *calcination* ; durée variable selon la nature du produit grillé et des minerais employés dans les opérations ultérieures ; transformation complète, sinon nécessaire, des sulfures en oxydes ; élimination d'une certaine quantité d'arsenic, d'antimoine ; formation d'antimoniates et d'arséniates.

II. Fusion à flamme peu oxydante du minerai grillé avec addition de scories de l'opération n° IV et des minerais pyriteux. Produits : matte bronze renfermant 35 pour 100 de cuivre et des métaux associés, étain, arsenic, antimoine, etc., et des scories qu'on rejette. Les oxydes et les sulfures réagissent les uns sur les autres, le fer se combine en grande partie avec la silice, la plus grande partie des métaux associés passe dans la matte qu'on grenaille.

III. Grillage de la matte bronze grenillée, oxydation lente à basse température, terminée par un coup de feu vif : élimination d'une partie de l'arsenic et de l'antimoine : travail régi par la nature de la matte et par celle des minerais employés dans les opérations ultérieures.

IV. Fusion de la matte grillée avec des minerais oxydés et carbonatés et des matières riches en oxyde de cuivre provenant des opérations V et VI. Produits : matte blanche renfermant environ 75 pour 100 de cuivre et scories qu'on repasse dans l'opération n° II. Réactions presque semblables à celles de l'opération n° II, elles se bornent presque à une double décomposition entre le sulfure de fer et l'oxyde de cuivre : c'est à ce but que tendent les mélanges. Les métaux associés restent presque entièrement dans la matte, l'oxyde de fer passe dans la scorie à l'état de silicate.

V. Rôtissage de la matte. Fusions et refroidissements successifs pour expulser le soufre et les métaux associés et scorifier une partie du fer et de l'étain. Séparation du cuivre à l'état de cuivre à ampoules. Produits : scories très-riches

qu'on repasse dans l'opération n° IV, et cuivre brut renfermant 95 pour 100 de cuivre.

VI. Affinage et raffinage. Produits : cuivre marchand, scories riches qu'on repasse dans l'opération n° IV. Affinage : oxydation des métaux associés qui disparaissent en partie dans les crasses ; élimination du fer et du zinc ; addition de plomb pour séparer, par précipitation, partie de l'antimoine et de l'étain ; formation d'oxydure de cuivre qui, déplaçant le soufre, se dissout dans le métal fondu en donnant du cuivre brut (*dry copper*). Raffinage du cuivre brut par la désoxydation et le brassage.

Nous nous contenterons d'indiquer les modifications introduites dans diverses usines ; elles donnent les mêmes résultats que le traitement ci-dessus.

A. 1° Calcination ; 2° fusion avec addition de scories ; 3° grillage de la matte obtenue ; 4° fusion de la matte avec addition de matte blanche, de carbonates natifs et de scories de rôtissage ; 5° fusion de la matte avec des scories d'affinage ; 6° rôtissage, production de cuivre brut ; 7° affinage et raffinage.

B. Teneur moyenne des minerais, 9 pour 100. 1° Calcination ; 2° fusion avec addition de scories riches ; 3° grillage ; 4° fusion avec addition de carbonates natifs et de scories riches des opérations V et VI ; 5° grillage de la matte obtenue ; 6° fusion avec scories d'affinage ; 7° rôtissage, production de cuivre brut ; 8° affinage et raffinage.

C. Teneur moyenne des minerais, 9 pour 100. 1° Fusion, on supprime la calcination ; 2° grillage ; 3° seconde fusion avec addition de carbonates natifs et de scories de rôtissage et d'affinage ; 4° transformation par le rôtissage de la matte bleue en une matte enrichie ou *blister metal* ; 5° transformation par le rôtissage de cette dernière en cuivre brut, *coarse metal* ou *blistered copper* ; 6° affinage et raffinage.

Expulser les produits étrangers par des grillages et des fusions plus ou moins réitérés, par des mélanges variables, soit de laitiers soit de scories, ou de minerais, successivement plus purs ou plus riches, par des sulfurations et des oxyda-

tions alternées, par la formation de scories et de crasses, telle est, pour la traduire en un mot, la méthode galloise. On comprend qu'un traitement aussi complexe, des manipulations aussi délicates exigent de la part des ouvriers une habileté peu commune, et chez les chefs d'ateliers non moins de vigilance et de sagacité, pour associer convenablement les matières de richesse et de nature si différentes qui interviennent chaque jour dans la fabrication, afin de ne pas interrompre la régularité du travail courant et de ne pas s'exposer à porter la perturbation dans la composition fondamentale des lits de fusion, d'où dépendent en si grande partie la sûreté des manipulations et partant les bénéfices que les fondeurs attendent de l'élaboration de minerais de nouvelle provenance.

Ce n'est pourtant pas à dire que la grande variété de composition des approvisionnements de la plupart des usines, les oblige à modifier, suivant chaque catégorie de minerais, la formule générale des mélanges déterminés par la pratique. Ils sont, au demeurant, de qualité assez uniforme pour qu'on ne puisse pas remarquer un mode de traitement spécial à chacune d'elles. Les modifications apportées d'une usine à l'autre sont en raison de ses approvisionnements et ne sont, en réalité, pas autre chose qu'un changement apporté aux proportions accoutumées pour déterminer plus activement les réactions voulues, ou pour extraire, à moins de frais, le métal d'une matière plus complexe. Ainsi, en dehors des minerais carbonatés et oxydés riches de l'Amérique du Sud, qui pourraient motiver et qui accidentellement motivent des manipulations spéciales, mais qu'on trouve infiniment préférable d'associer aux minerais sulfurés, on doit admettre que la composition des lits de fusion reste à peu près constante; d'abord, parce qu'on ne dérouté pas l'ouvrier dans l'appréciation des phénomènes auxquels il est habitué, ensuite parce que les fondeurs s'attachent à maintenir dans un cercle prévu les frais spéciaux de traitement qui servent à baser leurs offres d'achat. Nous avons pu nous rendre compte tout récemment de ces diverses circonstances en sui-

vant la marche du travail des principaux établissements du district de Swansea.

En principe et dans l'application, les lits de fusion se composent invariablement de minerais sulfurés grillés, auxquels on ajoute des carbonates crus. Les chiffres qui vont suivre, représentant une charge, serviront à donner une idée exacte des bases les plus usitées, du moins en ce moment :

Minerai grillé	1,800 kilogrammes	} 2,200
Scories riches	400 —	
Minerai cru, carbonates.		1,300
Total. . . .		3,500

Ces quantités, dont la teneur est calculée sur un rendement effectif de 8 à 9 et quelquefois 11 pour 100, peuvent sans doute varier avec la nature des minerais, leur fusibilité et les dimensions du fourneau, mais leurs proportions diffèrent généralement très-peu.

Dans les premières manipulations du travail, il est utile de remarquer que l'attention du chef d'atelier se porte bien moins sur l'élaboration du cuivre que sur la formation de la scorie, car du dégagement de la silice dépend l'obtention d'un bon silicate de fer, bien liquide, qui se sépare facilement de la matte. Aussi voit-on les efforts de l'ouvrier tendre à ce résultat. En effet, une scorie pâteuse retenant une partie de la matte à l'état de petites grenailles riches en métal, cause une perte de cuivre. Une scorie peu chargée est donc le meilleur indice de la bonne marche de l'opération ; de là les soins assidus des chefs de fabrication et des ouvriers à l'examiner attentivement.

Insister davantage sur ces détails serait reproduire sans nécessité des observations bien connues des praticiens ; il suffira de les ramener à une forme synthétique, appuyée des données numériques propres à chacune des opérations pratiquées, pour arriver à la production du cuivre marchand.

A. — **Méthode galloise. — Conduite et résultats.**

I. — Le *grillage* s'opère avec des fours à une sole ou à deux soles : dans les deux, le résultat final est le même. Ici, la charge, divisée en deux parties, s'échauffe sur la première sole, sans presque de changement dans la composition chimique, et passe au bout de six heures sur la seconde sole, c'est-à-dire sur la plus rapprochée du foyer, où elle reste le même laps de temps, soumise à une température plus élevée. Là, la charge entière est introduite dans le fourneau et y reste douze heures. Dans les deux cas, on parvient à griller sensiblement les mêmes quantités. Le four à une sole est de beaucoup le plus employé ; c'est le type des usines d'Hafod, de Middle-Bank, Morfa, etc. A Swansea ⁽¹⁾, on grille par semaine de 90 à 100 tonnes de minerai, un peu plus de 7 tonnes par charge, en consommant de 7 à 8 tonnes de charbon. Il n'y a pas de règle fixe pour la durée et le degré du grillage, parce qu'on ne cherche jamais à éliminer la totalité du soufre : toutefois, on admet qu'un laps de douze heures est suffisant, quoiqu'il soit parfois nécessaire d'aller jusqu'à dix-huit et vingt heures.

Un four de grillage est desservi par six ouvriers, travaillant par poste de douze heures, trois de jour, trois de nuit ; ils sont payés à la journée et reçoivent chacun par semaine (six jours) de 17 fr. 50 à 20 francs (14 à 16 shillings), car on ne travaille pas le dimanche.

Citons à titre d'exemple les changements qu'on peut observer dans un minerai qui aurait pour composition.

Cuivre	8
Soufre	23
Silice.	45
Fer	24

(1) Voir *Traité de Métallurgie*, Percy, Petitgand et Ronna, t. IV, fig. 3, 4, 5, 6 à 14, p. 167 à 170.

On aurait les résultats suivants :

Avant le grillage.		Après le grillage.	
Sulfure de cuivre	{ Cuivre 8	Sous-sulfure de cuivre	{ Cuivre 8
	{ Soufre 2		{ Soufre 2
Sesquisulfure de fer	{ Fer 24	Soufre 10 expulsé ou remplacé par	
	{ Soufre 21		
		{ Fer 12	
		Sesquisulfure de fer	{ Soufre 11
			{ Fer 12
Silice.	45	Silice	45

et quelque peu de sulfure de sodium, obtenu en refroidissant le minerai avec de l'eau de mer jetée sous la voûte.

II. *Fonte des minerais*. — Le lit de fusion est composé suivant les proportions indiquées plus haut, auxquelles on ajoute, selon l'occurrence, des fondants appropriés.

Le travail marche jour et nuit, le dimanche excepté; on peut passer par jour cinq et même six charges; le four est desservi par deux fondeurs alternant de jour et de nuit et un rouleur pour amener le charbon, dont le salaire est de 1 fr. 10 c. Les fondeurs sont payés par tonne de minerai chargé et reçoivent de 1 fr. 90 c. à 3 fr. 34 c. (1 s. 6 d. par 22 quintaux à 2 s. 9 d. par 33 quintaux), ou environ 35 francs chacun par semaine. Ils sont aidés dans leur travail par les ouvriers des fours contigus. On consomme par semaine, pour quatre ou cinq charges, 30 tonnes de charbon de bonne qualité.

Les matières enfournées doivent rendre une première matte, la *matte bronze*, composée de :

Cuivre	9	à 10 1/2
Fer	10 1/4	à 15
Soufre	10 1/4	à 7

et des scories renfermant :

Silice.	55	à 65
Fer.	24	à 29

avec des traces d'étain et d'antimoine. La scorie consiste

en un protosilicate de fer renfermant 34,62 de protoxyde de fer et 65,58 de silice, plus ou moins empâtée de fragments quartzeux.

III. *Grillage de la matte bronze granulée.* — Elle est chargée dans un fourneau pareil à celui qui sert au grillage et y subit un traitement analogue.

La charge, de 3 à 3 1/2 tonnes, séjourne vingt-quatre heures dans le four ; on l'agite avec un râble chaque deux heures ; au bout de ce temps, elle est précipitée dans les caves placées sous les fours, d'où le soufre, en se vaporisant, est entraîné vers la cheminée.

On passe environ six charges et on consomme par semaine sept tonnes de charbon, ici de qualité médiocre, là un peu meilleure, de nature flambante, qui est préférable. Deux hommes de jour et autant la nuit conduisent le four ; ils gagnent chacun de 22 fr. 50 c. à 25 francs (18 à 20 shillings) par semaine.

La matte granulée perd dans cette opération une grande partie de son soufre, en absorbant de l'oxygène qui a donné naissance à des oxydes de cuivre et de fer ; elle est généralement composée de :

Cuivre	33
Fer.	33
Soufre.	33

IV. *Fonte de la matte grillée.* — Elle s'exécute dans le même fourneau, ou dans un four pareil à celui qui sert à fondre le minerai (*ore-furnace*), dont nous donnons le dessin (pl. I, fig. 8, 9, 10 et 11).

La charge est uniformément comprise entre 52 et 48 quintaux, avec addition nouvelle de minerai brut et riche, carbonaté. La répartition des matières présente quelques variations, déterminées ou par l'état de la matte granulée, ou par les approvisionnements de l'usine ; en voici des exemples :

1° Matte grillée	24 quintaux. . . .	1219 kil.
Minerai carbonaté	24 —	1219
Scories d'affinage et de rôtiage.	1 —	50
		Soit 2490 kil.

2 ^o Matte grillée	23 quintaux.	1 168 kil.
Carbonate riche.	24 —	1 219
Scories d'affinage et de rôtissage.	5 —	255
		<hr/> 2642 kil.
3 ^o Matte grillée.	20 quintaux.	1 016 kil.
Carbonate riche.	20 —	1 016
Scories d'affinage et de rôtissage.	8 —	406
		<hr/> 2 448 kil.

La matte grillée et broyée pourrait très-bien se traiter avec des scories, ainsi que cela a eu lieu sur le continent avec les mattes riches et les oxysulfures riches du Chili; mais les fondeurs anglais, qui reçoivent beaucoup de ces minerais et des carbonates, trouvent plus avantageux de les réduire de cette façon.

Les matières qui entrent dans la composition des lits de fusion sont soigneusement mélangées avant d'être livrées aux ouvriers.

Une fonte dure six heures et se conduit comme le fondage des minerais, sauf que l'écumage est plus actif et que la coulée de la matte se fait au bout de deux charges.

Le four est desservi par deux fondeurs, se relevant chaque douze heures, et brûle environ 30 tonnes de bon charbon par semaine. Le salaire hebdomadaire des ouvriers s'élève de 68 à 70 francs environ; il est calculé sur l'élaboration de deux charges qui peut s'effectuer communément en douze heures.

On a pour produit de la *matte bleue* et des scories.

La matte bleue renferme de 70 à 83 pour 100 de cuivre et de 30 à 17 pour 100 de soufre.

Les scories sont des protosilicates de fer contenant du cuivre, de l'antimoine, etc. Une bonne scorie doit présenter une cassure brillante à vive arête et être dépourvue de grenailles à l'intérieur.

V. *Rôtissage de la matte bleue*. — Le four à rôtir est en tout semblable au four de fusion des minerais; seulement il n'a pas de trémie, le chargement se faisant par la porte latérale;

il est pourvu à chaque angle du pont d'un orifice qui permet de faire affluer l'air extérieur sur la sole.

Une charge se compose de 3 à 3 1/2 tonnes de matte, égale, ou à peu près, à la production de 2 1/2 à 3 tonnes de cuivre brut, dont l'élaboration dure de vingt-deux à vingt-quatre heures.

Au début, les prises d'air sont ouvertes; on élève graduellement la température, pendant huit heures, jusqu'au rouge; on l'augmente ensuite pendant les huit heures suivantes, de manière à mettre la matière en fusion lente et progressive. On ferme les ouvreaux; on calfeutre les portes avec de l'argile et l'on donne un vigoureux coup de feu pour mettre la charge en pleine fusion. Cette période du travail dure deux à trois heures, puis on ouvre la porte du travail, on agite le bain avec un râteau, on enlève les scories riches qui se sont formées et l'on coule le métal en pains.

Cette *purification* permet d'obtenir un métal propre à l'affinage. Il s'exporte assez souvent dans cet état sur le continent, notamment dans les usines françaises, où il est reçu sous le nom de *cuivre brut* ou *noir*, pour y subir les élaborations voulues. Il est alors coulé en saumons dans des moules en fer. C'est du cuivre à ampoules, *blistered copper*. De grandes ampoules sont un signe de bonne qualité du *cuivre noir*. Mais s'il est trop impur, ou s'il doit être raffiné sur place, il est coulé dans le sable et subit un second rôtissage qui dure de douze à quinze heures.

VI. — Les minerais très-impurs, qui parfois se trouvent en excès dans l'approvisionnement de certaines usines, et qu'il faut alors admettre dans les lits de fusion en plus fortes proportions, obligent à de nouvelles manipulations, qui conduisent à ce qu'on appelle la *matte blanche*, qui, à son tour, passe au rôtissage, partagé, comme le premier, en deux périodes plus rapides, parce qu'il y a moins de sulfure de fer et parce que les matières sur lesquelles s'opèrent les réactions se trouvent en moindre quantité que dans le premier rôtissage. La durée d'une opération est de quatre à cinq heures, exigeant tout près d'une tonne de houille; on ob-

tient des *mattes régules*, des débris et des fonds de sole ou *bottoms* très-impurs, imprégnés notamment d'antimoine, d'étain, d'arsenic, etc.

Les scories de la fonte pour matte bleue, mélangées avec les scories des deux rôtissages, qui entraînent avec elles la plus grande partie des métaux étrangers : étain, nickel, etc., sont refondues avec quelque peu de minerais pauvres quartzifères, dont on retire un cuivre noir impur, une matte blanche assez riche en cuivre plus pur, et un alliage d'étain, de cuivre et nickel, qui est soumis à un travail spécial pour Nickel.

Mais cette interversion dans la formule générale du traitement habituel n'altère pas son principe, c'est un complément plutôt qu'une modification, ne s'appliquant que dans des circonstances déterminées, et que l'on cherche d'ailleurs à éviter en revenant le plus vite possible aux éléments accoutumés.

Au demeurant, que ce soit une modification ou un complément de la méthode suivie dans telle ou telle usine, ces manipulations intermédiaires ont toujours pour conséquence d'enrichir la matte et de l'amener à un plus grand état de pureté par l'élimination des métaux étrangers, qui s'opère sous l'influence des rôtissages, sorte d'affinage préliminaire, tendant à produire un cuivre noir mieux purifié, pour subir les opérations ultérieures de l'affinage et du raffinage.

VII, VIII. *Affinage et raffinage*. — Le four d'affinage a les mêmes dispositions que les fourneaux de fusion; mais il est moins grand, n'a pas de trémie ni de trou de coulée. Il n'y a que trois ouvertures : celle du foyer, une porte latérale pour le chargement, et la porte de travail, où se fait le déchargement avec des cuillers garnies d'argile. La sole, un peu concave, incline légèrement de l'autel vers la porte de travail. Dans certaines usines, la sole est à une profondeur d'autant plus faible de l'autel que le cuivre contient une plus forte proportion de métaux étrangers.

La charge d'un fourneau de raffinage varie de 5 à 6 tonnes de cuivre brut en pains. L'opération dure un jour; on brûle

en moyenne de 2 à 3 tonnes de charbon, non compris le charbon de bois introduit sur la sole, ou, à défaut de celui-ci, de la houille maigre très-pure, qui coûte moins cher. Quatre ouvriers, dont un chef affineur, se relevant tour à tour, desservent le four; mais, au moment de la coulée, un nombre égal d'ouvriers supplémentaires viennent les aider.

Il nous paraît inutile d'exposer la conduite du raffinage et de l'affinage qui le précède invariablement, et de décrire les réactions caractéristiques de cette double opération; disons seulement que le travail se divise en deux périodes distinctes.

La première consiste essentiellement, de même que le rôtissage, à oxyder une partie du cuivre lui-même et les métaux étrangers; elle donne un cuivre cassant, sec (*dry*), d'un rouge pourpre foncé, à grain grossier, un peu cristallin, d'un éclat métallique faible, entièrement privé de l'éclat soyeux. — Le cuivre est amené à l'état de *cake copper*, qui correspond au *cuivre rosette* du continent. Les métaux étrangers ont passé dans la scorie, le soufre a été éliminé et la plus forte proportion de l'oxydure de cuivre contenu dans le bain a été réduite.

La seconde période commence aussitôt après l'accomplissement des réactions précédentes. Elle a pour but de réduire l'oxyde et de donner à la fois au cuivre de la ténacité et de la malléabilité. La quantité de charbon se règle d'après l'aspect du cuivre des derniers essais de la première période. Cette dernière partie du travail (raffinage) est délicate et exige une extrême attention de la part du chef affineur, pour l'arrêter au point voulu. Cette difficulté est d'autant plus grande que l'état chimique du cuivre se modifie avec une certaine rapidité, et qu'il faut, avant de le couler, saisir le moment précis où l'oxydure se trouve complètement dissous, sans production de carbure de cuivre, qui serait dû à un excès de température. Les prises d'essai doivent constater un grain plus fin, une couleur plus claire et l'éclat décidément soyeux. Le contact trop prolongé du charbon ou de la perche (*poling*) employée pour agiter le bain lui ferait absorber du carbone, rendrait le métal cassant, et accroîtrait

la difficulté de lui donner de l'homogénéité par une nouvelle oxydation; cet inconvénient se reconnaît à sa couleur jaunâtre et à sa texture grenue et fibreuse. Il faut, en outre, ne pas oublier que le cuivre impur ne doit pas être tout à fait désoxydé pour lui conserver le plus grand degré de ténacité.

Le cuivre raffiné, coulé en lingots, s'obtient des cuivres bruts soumis au traitement dans des proportions un peu variables; la moyenne est d'environ 85 pour 100.

Il se divise en plusieurs sortes, qui reçoivent dans le commerce divers noms : *best selected*, *tough copper*, *tile copper*, suivant qu'il provient de matières plus ou moins impures et qu'il a acquis des qualités de malléabilité et de ductilité plus ou moins parfaites.

Le cuivre de choix, *best selected*, présentant à l'analyse la composition suivante :

Cuivre.	99,80 à 99,85
Fer.	0,10 à 0,15
Plomb.	} Nul.
Antimoine.	
Oxygène.	Traces.

remplit les meilleures conditions de vente : s'il renfermait 0,01 ou seulement quelques traces d'antimoine, il serait refusé.

Le cuivre rosette, *cake copper*, composé de :

Cuivre	99,60 à 99,70
Fer.	0,10 à 0,15
Plomb	0,10 à 0,15
Antimoine.	0,04 à 0,06

est regardé comme un des meilleurs.

L'opération complète, affinage et raffinage, exige un travail de vingt-deux à vingt-trois heures avec les cuivres noirs ordinaires, et de vingt-quatre à vingt-cinq heures avec ceux de qualité inférieure.

Prix de revient. — Il est fort difficile d'évaluer d'une manière précise les frais de traitement; les éléments dont il faut tenir compte sont si mobiles et si divers, qu'on ne

peut les établir que très-approximativement. Rien que pour déterminer le prix du combustible, source principale de dépenses, la chose est déjà presque impossible, eût-on à sa disposition la comptabilité des usines, ce qui n'est pas le propre des exploitants anglais et encore moins des fondeurs gallois. Personne n'ignore, qu'en général, les fonderies possèdent à bail les houillères qui les alimentent; que celles-ci commencent par vendre les meilleures qualités et le gros charbon pour l'exportation, dont les proportions variables et le prix soumis aux fluctuations du marché servent à fixer la valeur du menu que les ateliers consomment. On voit tout de suite quelle incertitude règne à ce sujet. Ailleurs, les charbons menus et médiocres ne sont pas économiques, malgré leur bas prix relatif; ils produisent beaucoup de mâche-fers et supportent un énorme déchet. Ils rendent le travail des grilles plus malaisé en nuisant à la marche du fourneau, tandis que le bon charbon, plus avantageux comme élément de chauffage, donne une allure plus régulière, une température plus soutenue et des résultats plus certains. Or, de tels combustibles interviennent aujourd'hui dans le roulement des usines en proportions qu'il est impossible de fixer d'une façon absolue. Tout ce que l'on peut dire, c'est que les charbons pulvérulents, les anthracites, ne figurent que pour une faible part dans l'ensemble des opérations. Ajoutez à cela que la nature des minerais détermine des consommations plus ou moins fortes, que la main-d'œuvre est en relation avec le taux général des salaires, et que le prix des matières premières, etc., etc., se modifie d'après mille circonstances particulières dont l'analyse justifierait au delà la circonspection que ce sujet commande.

Les considérations si justes développées, à cet égard, par le docteur Percy ⁽¹⁾ sur l'appréciation du prix de revient de la fonte du cuivre, nous imposent la même réserve; elles correspondent avec nos propres études et avec les renseigne-

(1) *Traité de Métallurgie*, Percy, Petitgand et Ronna, t. V, p. 373.

ments particuliers qui nous ont été communiqués par les directeurs des usines que nous avons visitées.

Ainsi, dans l'état actuel et en dehors des classifications qu'on a pu faire sur telle ou telle espèce de minerai, — nous n'avons pas eu occasion d'observer ces distinctions, — on est fondé à admettre que les frais seuls de traitement, par tonne de cuivre, s'élèvent, suivant la consistance des mines, en évaluant le rendement effectif du minerai à 8 pour 100, de 218 à 250 francs. Mais dans ces chiffres ne sont pas compris les frais de transport, les frais de vente et d'achat des minerais, l'intérêt du capital et autres frais accidentels dépendant de la position locale et du voisinage du marché.

Il y a trente ans, on estimait que pour produire une tonne de cuivre, valant alors 2,380 francs, avec des minerais rendant 12 1/2 pour 100 de cuivre raffiné, il fallait dépenser en moyenne, savoir :

Charbon	165 francs.
Main-d'œuvre, entretien, réparations, frais accessoires et frais généraux, de . . .	250 à 300 —
Soit. . .	465 francs.

Dans son travail ⁽¹⁾ qui remonte à l'année 1848, M. F. Leplay, après des considérations auxquelles nous renvoyons le lecteur, émet l'hypothèse d'une fonderie pouvant produire annuellement 1,000 tonnes de cuivre. Partant de là, il estime que le capital employé doit être de 1,250,000 francs; un cinquième environ de ce capital est immobilisé sous forme de constructions; le reste, à l'état de fonds de roulement, est représenté par les minerais achetés, par les produits cuivreux en élaboration dans la fonderie, par les cuivres marchands en magasin, par les créances des acheteurs et enfin par les sommes disponibles.

⁽¹⁾ *Descript. des proc. mét. du pays de Galles pour la fabrication du cuivre*, p. 369. Voir § 14, p. 356 à 386. Frais du traitement métallurgique, etc.

Dans ces conditions, il évalue approximativement l'intérêt des capitaux engagés à 330,750 francs, savoir :

Capital des constructions. . . .	1,575,000 à 5 %,	78,750 francs.
— des fonds de roulement. 6,300,000 à 4 %,	252,000	—
Total. . .		330,750 francs.

• Résumant ensuite les dépenses de toute nature comprenant les charges imposées au fondeur par le transport des minerais, leur traitement métallurgique, etc., il groupe ces frais sous trois titres : 1° transport des minerais ; 2° traitement métallurgique ; 3° intérêt du fonds de roulement ; ils sont réunis sous cette forme dans le tableau suivant que nous transcrivons à titre de renseignement et pour faire voir combien les appréciations peuvent différer.

Tableau des frais relatifs à une tonne de minerais à la teneur de 0.137 et rendant effectivement 0.133.

DÉSIGNATION des CATÉGORIES DE FRAIS.	FRAIS ANNUELS.		FRAIS PAR TONNE.		OBSERVATIONS.
	Partiels.	Totaux.	Partiels.	Totaux.	
	shil.	shil.	shil.	shil.	
I. TRANSPORT DES MINERAIS.					
0t.70 minerais achetés en Cornwall.....	253.800	"	5.40	"	D'après ces données, la tonne de cuivre de qualité ordinaire exigeant 8t.12 de minerais mélangés, achetés en Cornwall et à Swansea, reviendrait à la fonderie, prise pour exemple, à raison de 36 fr. 60 c. (29 sh.28) par tonne de minerai : 8t.12 × 36 fr. 60c. = fr. 297.49.
0t.30 minerais achetés à Swansea.....	13.630	"	0.29	"	
Total des frais de transport.....	267.430	267.430	5.69	5.69	
II. TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE.					
Frais spéciaux.					
Main-d'œuvre.....	197.400	"	4.20	"	Laissant de côté les frais de transport, 5sh.69, et les intérêts du capital 4 sh.29, les frais spéciaux et les frais généraux du traitement métallurgique s'élèveraient uniquement à 19 sh. 30 ou à 24 fr. 13 c. Soit 8t.12 × 24 fr. 13 c. = 195 fr. 94c.
Combustible.....	345.920	"	7.36	"	
Matériaux et réactifs divers.....	75.670	"	1.61	"	
Total des frais spéciaux.....	618.990	618.990	13.17	13.17	
Frais généraux.					
Travaux et frais relatifs à l'ensemble du traitement.....	38.700	"	0.82	"	
Entretien du matériel de la fonderie.....	74.200	"	1.58	"	
Location de terrain.....	30.000	"	0.64	"	
Impôts, secours aux ouvriers; souscriptions aux établissements d'utilité publique.....	31.000	"	0.66	"	
Administration; direction de la fonderie et des opérations commerciales.....	51.000	"	1.09	"	
Intérêts des capitaux en construction et mobilier.....	63.000	"	1.31	"	
Total des frais généraux.....	287.900	287.900	6.13	6.13	
Total des frais du traitement métallurgique...	906.890	906.890	19.30	19.30	
III. INTÉRÊT DU FONDS DE ROULEMENT.					
Intérêts du capital de 50.40000 shillings..	201.600	201.600	4.29	4.29	
TOTAL GÉNÉRAL... 1 shilling = 1 fr. 25.	1.375.920	1.375.920	29.28	29.28	

M. Rivot, après avoir décrit, de son côté, les opérations de la méthode galloise, et venant à supposer que les minerais se divisent en trois catégories, a évalué de la manière suivante, les frais spéciaux de traitement pour chacune d'elles :

	I		II		III	
	Minerais ordinaires.		Minerais purs.		Minerais impurs.	
Main-d'œuvre.....	6 fr.	972	7 fr.	985	5 fr.	848
Combustibles.	Houille 11. 797..	11 706 1 t. 887	11 610 1 t. 648	10 187		
	Anthracite.....	0 103			9 004	
	Charbon de bois.		0 360			
	Bois.....	0 100	0 065		0 003	
Réactifs. Spath-fluor 01. 051.	0	643	0	643	0	643
Outils et frais divers.....	1	652	1	958	1	525
Total des frais spéciaux.....	20	576	21	721	27	210

D'après ces nombres et les rendements admis de 0,081 de cuivre marchand pour 1 de minerai, les frais spéciaux, rapportés à la tonne de cuivre marchand extrait de celui-ci, seraient respectivement de :

I	II	III
213 francs.	342 francs.	535 fr. 60 c.

Sans discuter ces chiffres, qui se rapprochent en somme le plus, quant à la première et à la seconde catégorie, de ceux qu'on trouve dans la *Métallurgie* de Percy, tout sera dit sur ce chapitre, en rappelant ce que celui-ci a exprimé touchant l'opinion du chef d'une des plus grandes usines des environs de Swansea, à savoir que les frais de traitement, par tonne de minerai, s'élèvent en moyenne à 29 fr. 15, dont le coût par rapport au cuivre contenu resterait dans la limite de 250 francs.

Lorsqu'on envisage la multiplicité des éléments et la diversité des conditions qui viennent concourir au succès des usines galloises, il est peut-être permis de se demander, en voyant le développement inattendu des usines à cuivre qui se sont élevées au Chili, aux États-Unis et en Australie, où les minerais riches et carbonatés abondent, si le traitement des minerais du Cornwall ne se trouverait pas compromis un jour

par l'absence de ceux-ci, et si le commerce de cuivre anglais serait lui-même exempt de toute vicissitude ! Joignez à cela la cherté croissante du combustible en Angleterre, et comparez sa consommation, de 15 à 20 tonnes, par tonne de cuivre, tandis que sur le continent elle ne s'élève habituellement que de 10 à 12 tonnes avec les minerais pauvres qui, en définitive, de même que dans les centres métallurgiques du continent où nous l'examinerons plus tard, constituent la véritable base de la fabrication et du commerce du cuivre, et l'on comprendra sans peine que ces questions excitent les préoccupations des industriels anglais.

Aussi, malgré les habitudes commerciales imposées par les coutumes qui continuent de régir la vente des minerais, auxquelles la méthode galloise s'est identifiée et a, peut-on dire, puisé ses principes, la méthode galloise, disons-nous, est peut-être bien en voie de transformation. Déjà les fondeurs gallois, contrairement aux opinions reçues, s'appliquent à diminuer leur énorme consommation de charbon, soit qu'ils mettent fin à ce gaspillage traditionnel de combustible, soit qu'ils utilisent dans leurs manipulations des matières jusqu'alors perdues, les escarbilles qui tombent des foyers, ou bien qu'ils modifient ces organes pour obtenir à la fois des effets plus utiles et plus économiques, ou qu'enfin ils substituent à l'antracite, — qui fait, quoi qu'on en ait dit, un mauvais travail, — un mélange de charbon sec et de charbon gras (1/3 sec pour 2/3 gras), beaucoup plus favorable et développant des températures plus efficaces et plus régulières.

Tels sont les faits nouveaux qui ont attiré notre attention ; il y a quelques mois, en examinant la marche et la situation des usines du pays de Galles ⁽¹⁾, j'ai pu constater com-

(1) Les améliorations signalées se remarquent principalement dans les vastes établissements de MM. Greenfeld et Co, Vivian et Co, etc., que j'ai été admis à visiter avec la plus entière courtoisie par les chefs de ces maisons ; je ne saurais trop reconnaître ici l'obligeance avec laquelle ces messieurs m'ont accueilli et la liberté qu'ils nous ont laissée, à mon ami M. Ronna et à moi, pour remplir le but de nos études.

bien certains détails de la fabrication s'étaient ou modifiés, ou avaient perdu de l'importance qu'on leur attribuait. Ainsi, l'emploi du spath fluor, considéré comme un élément de fondage essentiel, a à peu près disparu ; deux ou trois usines au plus y ont recours et n'en consomment pas plus de 80 à 100 tonnes chacune par an. Le four à fondre les minerais est toujours l'instrument le plus important de ce travail. Les dimensions du foyer dépendent surtout de celles de la sole, mais si elles varient dans l'estimation des praticiens, les rapports suivants semblent généralement acceptés, savoir : surface de la sole, 14^mq,30 ; surface du foyer, 1^mq,58 à 1^mq,76. On remarque que les grilles sont très-notablement surélevées, et, par conséquent, beaucoup moins profondes ; l'épaisseur de la couche de charbon, bien plus faible, est regardée comme n'ayant pas une aussi grande importance que la surface de charbon incandescent, alors beaucoup plus rapprochée de la sole qu'elle déborde en produisant une flamme plus active. Dans cet ordre d'idées, et pour amoindrir les frais de grillage des minerais, les torrents de gaz sulfureux qui se perdaient dans l'atmosphère sont utilisés à la fabrication de l'acide sulfurique ; si bien que cette branche d'industrie semble devoir devenir, dans une certaine mesure, le corollaire obligé de la fabrication du cuivre en Angleterre. L'appareil employé dans ce but est entré dans le domaine de la pratique, et réalise les avantages que son inventeur, M. Gerstenhöfer, avait annoncés ; il fonctionne depuis un an chez MM. Vivian et fils, à Hafod, avec un succès qui ne s'est pas démenti. Mais les tendances qui se manifestent dans le besoin de transformer la méthode galloise, et dont le four Gerstenhofer semble être le point de départ, ne s'arrêtent pas à cette tentative : elle a pour conséquence l'adoption des fours à cuve de 6 mètres de hauteur environ, de 3 mètres de diamètre au ventre, soufflés par quatre tuyères. Ces nouveaux fours, utilisés pour la fonte crue des minerais et celle des premières mattes, se combineraient alors avec l'emploi des fours actuels, qui ne serviraient plus qu'au travail des mattes enrichies et à la production du cuivre brut, qui serait ensuite affiné et raffiné par les procédés ac-

tuels d'affinage, dont la supériorité sur les méthodes du continent est désormais bien reconnue.

Dans cet ordre d'idées, la méthode allemande, représentée par ces fours à manche, aurait donc, avec moins de frais, le pas dans les préliminaires du grillage et dans les fontes d'enrichissement pour mattes et cuivre noir qui exigent une action réductrice plus continue et plus énergique; tandis que la méthode galloise terminerait la purification du métal brut avec le réverbère, dont le pouvoir oxydant est plus efficace et s'exerce plus économiquement sur les métaux étrangers. Le four à réverbère doit être, par ces mêmes raisons, préféré dans le traitement des cuivres natifs et des minerais oxydés, dont la réduction, plus rapide, s'accommode mieux de cet appareil.

Les tentatives dont nous avons été témoin aux usines d'Hafod, chez M. Hussey Vivian, semblent donner raison à la méthode mixte que j'ai esquissée plus haut. Elles autorisent à croire que le traitement des minerais sulfurés suivra tôt ou tard la voie que nous venons d'indiquer. C'est en l'adoptant résolument que les fondeurs anglais peuvent conjurer la concurrence que leur font actuellement les usines transatlantiques.

§ IV.

LE CUIVRE AU CHAMP DE MARS. — POSITION DES DIVERSES NATIONS DANS LA PRODUCTION. — SON IMPORTANCE.

GRANDE-BRETAGNE. — L'exposition anglaise, si complète en 1862, s'est abstenue cette fois. On n'y voit pas ces séries de minerais, de mattes, de régules, de cuivre noir avec les scories correspondantes de chaque opération, et de cuivre rouge à ses divers états de raffinage, qui faisaient suivre toutes les phases du traitement et donnaient tant d'attraits à la belle exposition collective de Swansea. C'est à peine si les vitrines de MM. Bankart et fils et de la Compagnie anglaise du cuivre d'Australie (*English Australian*

Copper Company) donnent une idée de cette industrie puissante; ni l'une ni l'autre ne représentent ses conditions fondamentales. Ces sociétés n'opèrent d'ailleurs qu'avec des éléments déterminés qui ôtent à la méthode galloise son originalité. L'association des fondeurs du pays de Galles se serait-elle émue des progrès de la fabrication du Chili et des États-Unis, qui ne s'accuse, il est vrai, que par de magnifiques échantillons de minerais de la plus grande richesse? Cependant ces producteurs lui disputent déjà la prééminence sur les marchés européens et semblent vouloir saper le monopole que celle-ci exerçait sans partage. La fabrication galloise aurait-elle jugé inutile de donner la mesure de ses moyens? Aurait-elle craint, en présence de l'appauvrissement des gîtes de Cornwall, d'avouer ses appréhensions? ou enfin, aurait-elle dédaigné de renouveler une épreuve qui n'ajoutait rien à sa supériorité ou qui l'aurait mise en suspicion? Quelles qu'en soient les causes ou les raisons, cette abstention est regrettable, parce qu'elle enlève à la métallurgie ses termes de comparaison et qu'elle supprime le mobile qui la stimule.

AUTRICHE. — Les usines de la haute Hongrie et du Tyrol, en Autriche, ont adopté la même réserve, pensant que deux épreuves suffisaient à leur gloire. Nous n'avons plus retrouvé ces modèles de préparation mécanique, de fours et d'ateliers minéralurgiques, accompagnés des nombreux produits dus aux méthodes ingénieuses qui ont fait la réputation de ces pays et contribué pendant longtemps à leur prospérité, en conservant les traditions et les préceptes de l'art qui les enrichissait. On ne sait si des améliorations ont été apportées à leurs procédés d'élaboration ou s'ils sont restés stationnaires. En tout cas, on pouvait, après un laps de douze années, les remettre en lumière. Les usines de la Styrie, avec leurs admirables aciers, ont seuls mérité cette faveur.

PRUSSE. — La Prusse n'est pas si discrète : elle a voulu qu'on sache bien que ses succès militaires ne sont pas seuls à

affirmer sa marche ascendante; elle y a réussi sans peine. La métallurgie y est en plein essor. Sans parler des exploitations du Harz, qu'elle vient d'ajouter à son domaine, les usines du Mansfeld se présentent escortées de leurs produits, depuis l'instant où la matière brute, telle qu'elle sort de ses gîtes, jusqu'à la matière préparée, enrichie, subit ensuite les manipulations de la fonderie, qui la rend sous forme de produit commercial, ou travaillée et façonnée pour les divers emplois de l'industrie. Dans les collections de ces usines figure encore l'argent obtenu par les procédés de M. Ziervogel; ils consistent dans le grillage des mattes cuivreuses argentifères, soumises à une température lente et graduée, afin de ne pas décomposer le sulfate formé, sans recourir, comme l'ingénieur Augustin, à aucun réactif étranger, — le sel marin; — de façon à produire des sulfates solubles, au lieu de chlorure d'argent, qui sont dissous et lavés dans l'eau chaude et précipités par le cuivre métallique. Après quoi, quand les lessivages sont terminés, les résidus cuivreux, débarrassés des matières étrangères, sont égouttés, mélangés avec de l'argile, convertis en briquettes, et finalement livrés à la fonte, qui s'exécute en suivant la marche ordinaire.

Il faut également signaler, dans cet ordre d'idées, emprunté aux principes du traitement qualifié de *traitement par voie humide*, les produits de la compagnie de Stadtberg, en Westphalie, qui traite annuellement de 70 à 75,000 tonnes de minerai, d'une teneur de 0,75 à 2 pour 100. Ceux-ci, les plus riches, sont attaqués par l'acide sulfurique, lessivés dans une dissolution aqueuse et précipités ensuite par un véhicule approprié, le fer; ils donnent du *cuivre de cémentation*, qui se réduit et se raffine par les méthodes habituelles. Les premiers, de beaucoup plus abondants, sont traités par l'acide hydrochlorique, mélangé des eaux mères de sulfate de fer, dont on précipite le cuivre passé à l'état d'oxyde en faisant intervenir un courant d'air forcé sur les récipients.

Les procédés de traitement par voie humide qu'on rencontre ailleurs dérivent plus ou moins des méthodes prati-

quées en Prusse; ils ne diffèrent entre eux que par la conduite des manipulations ou par des modifications dans les moyens d'attaque et de précipitation, soit par le fer ou la fonte, soit par la chaux ou d'autres substances peu coûteuses, qui agissent, il est vrai, moins activement. Ils sont applicables sur la plupart des minerais, en particulier sur ceux à gangue siliceuse et notamment pauvres; ces minerais se rencontrent dans presque tous les pays, où ils constituent en général des gisements très-étendus. Leur rôle considérable, dans la fabrication de l'acide sulfurique, leur donne, depuis quelques années, une importance réelle et explique la faveur qui semble s'attacher aux divers systèmes de traitement qui permettent de tirer parti des matières cuivreuses les plus pauvres, et jusqu'au fer que ces sortes de minerais renferment. J'y reviendrai dans un instant.

ESPAGNE. — Les mines de Rio-Tinto et d'autres mines de la province de Huelva, Santo-Domingo, Tharsis entre autres, ainsi que celles de la province d'Aveira, en Portugal, qui forment la suite de ces immenses gisements, déjà connues à l'époque romaine, sont exploitées très-activement et fournissent à l'Angleterre le principal appoint de ses fabriques d'acide sulfurique. La quantité des minerais espagnols importés dans ce pays est telle, que des usines spéciales s'y sont construites pour l'extraction de la faible proportion de cuivre renfermée dans les résidus du traitement pour acide. Les premières mines, qui appartiennent à l'Etat, traitent leurs minerais et les eaux chargées de cuivre qui s'écoulent des anciens travaux, par des méthodes de cémentation différant très-peu des procédés dont il a été question plus haut. L'administration espagnole a pris soin d'exposer nombre d'échantillons de ces mines célèbres, avant et après leurs diverses transformations pendant la durée du traitement. Ils sont accompagnés d'une série très-intéressante des eaux cuprifères à divers degrés de saturation, de ciments calcinés, de mattes et du métal raffiné dû à ces élaborations successives. Finalement, l'administration espagnole a joint à

ces produits des échantillons du combustible employé, les matériaux de construction des fours, et jusqu'à des débris de fonderies romaines, qui permettent de préjuger assez exactement le travail de l'antiquité. De telles expositions portent avec elles leur enseignement et apprennent ce qui pourrait s'entreprendre ailleurs, dans les contrées dotées des mêmes éléments.

SUÈDE.—En Suède, nous trouvons aussi les spécimens variés de la fabrication d'Atvidaberg, avec les modèles de fours et l'attirail des appareils consacrés au traitement métallurgique, dont les produits sont classés méthodiquement, avec la science du métier qui distingue ce pays. Les minerais d'Atvidaberg, de même que ceux plus connus des mines de Fahlun, appartiennent à la classe des minerais pauvres ; ils ne rendent que de $2 \frac{1}{3}$ à 3 pour 100. Mais ils peuvent aussi, comme on le voit, se traiter très-avantageusement par la voie sèche. A côté de ces produits s'étalent, disposés dans le même esprit, ceux d'autres usines, telles que Stora, Kopparberg, Gustaf et Carlberg, à Oerstersund-Husa, qui se font non moins remarquer par leur excellente qualité que par la belle facture des cuivres façonnés en feuilles ou étirés en fils. — Les cuivres ouvrés de Leren, les produits des mines de Roras et d'Espidel-Nickel, dont la teneur ne dépasse pas 1 à $1 \frac{1}{2}$ pour 100, et enrichis pour la fonte par un procédé particulier de grillage, qui concentre, au milieu de noyaux agglutinés, le cuivre réuni en noyaux, forment le contingent de la Norvège ; ils disent ce que peuvent ces procédés judicieusement appliqués à des minerais si pauvres.

ITALIE. — L'Italie est représentée par les mines de Monte-Cattini, traitées en partie à l'usine de la Briglia, près de Florence, par la méthode allemande, et par les mines d'Agordo, dans la haute Vénétie ; celles-ci donnent lieu à un procédé mixte, qui y est exploité avec la plus grande habileté depuis une époque déjà assez ancienne et dans lequel le grillage en noyaux ou de concentration joue le principal rôle.

RUSSIE. — Les échantillons de métal et de minerais exposés par la Russie n'ajoutent rien à la réputation des cuivres Demidoff et Parkhoff, si recherchés en France pour leur excellente qualité. Les produits des usines de Bogoslovsk, alimentées par des minerais d'une teneur de 1 1/2 à 2 pour 100, extraits des vastes gisements du gouvernement de Perm, sont également dans ce cas. Malgré l'abondance des gîtes de la Sibérie et l'économie du traitement, cette fabrication reste stationnaire.

GRÈCE. — La Grèce ne figure dans cette industrie que par quelques rares échantillons, n'ayant d'autre mérite que de rappeler les noms glorieux de Sparte et de Mantinée.

TURQUIE. — La Turquie n'apparaît également que pour rappeler le passé. Sauf les mines et les usines de Tocka, qui pourraient être si productives, rien ne témoigne des ressources de la mer Noire et des côtes d'Asie, et ne fait soupçonner l'ancienne splendeur des nombreuses mines de ces pays. — La PERSE est dans la même situation; le travail des cuivres du Khorasân lui a valu une juste célébrité, et parmi les nombreuses mines de son territoire qui approvisionnaient cette brillante industrie, il convient de citer encore celles de Nourabad et de Koskal, toujours aussi riches.

Je passe sous silence l'Inde, la Chine, l'Orient et l'Afrique. Les échantillons de minerais clair-semés, qu'on aperçoit de loin en loin, ne valent pas la peine d'être mentionnés; ils ne permettent pas de juger l'importance des ressources minières de ces régions extrêmes.

Pour compléter ces aperçus, nous les ferons suivre de quelques détails statistiques sur la production du cuivre métallique dans le monde entier. Ils sont réunis dans le tableau suivant, qui fera rapidement saisir l'importance de cette branche de l'industrie métallurgique et la part qui revient à chacun des pays producteurs dans ce bilan de la production.

Tableau de la production du cuivre en 1866.

Angleterre.		11,153 tonnes (1).	
Russie.		5,600	—
Suède et Norvège		2,850	—
Allemagne.	Empire d'Autriche.	3,775	8,700 — (2).
	Prusse	3,500	
	Saxe	370	
	Hanovre.	200	
	Hesse et Nassau.	355	
	Divers.	500	
France		2,500	—
Belgique.		1,825	— (3).
Espagne		975	—
Portugal.		125	—
Italie, côtes d'Afrique et de la Méditerranée.		850	—
Turquie d'Europe et d'Asie.		2,000	—
États-Unis	14,435	53,743	— (4).
République argentine	1,095		
Nouvelle-Galles	2,000		
Australie	2,250		
Chili et Pérou.	34,357		
Japon et Chine	2,700		
Total.		93,415 tonnes.	

(1) La Grande-Bretagne exporte annuellement de 28 à 30,000 tonnes de cuivre en lingots, mais ce chiffre résulte nécessairement du traitement des minerais importés de l'Amérique du Sud, Chili, Cuba, etc., et des autres pays, et dont le mélange avec les minerais indigènes est indispensable aux réactions de la méthode galloise.

(2) Quelques statistiques évaluent la production de la Prusse et de l'Association allemande de 10 à 11,000 tonnes; c'est vraisemblablement parce qu'elles comprennent non-seulement la fabrication de toute l'Allemagne, mais encore les importations de la Grande-Bretagne, du Chili et des États-Unis qui se font par Hambourg et Brême.

(3) La fabrication de la France et de la Belgique est basée sur le traitement des minerais riches du Chili, des mattes et l'affinage des cuivres noirs qu'elles reçoivent en partie d'Angleterre. La France retire à peine 100 tonnes de ses minerais. Ses principales usines d'élaboration sont situées dans la Seine, la Seine-Inférieure, l'Eure, le Pas-de-Calais, les Ardennes, la Charente et la Gironde.

(4) Dans la production du Chili, de l'Australie et des États-Unis, etc.,

Si on se rapporte à l'année 1846, on constate, d'après les documents statistiques de cette époque, que la production qui s'élevait approximativement à 52,000 tonnes, s'est accrue de 41,415 tonnes, c'est-à-dire qu'elle a presque doublé en vingt ans.

On remarque encore que la Grande-Bretagne, qui fabriquait alors de 28,000 à 30,000 tonnes en moyenne, n'en produit plus que 11,153, tandis que l'Amérique et l'Océanie, qui apparaissaient à peine dans la production générale, y figurent à présent pour plus de 52,000 tonnes, chiffre qui tend à s'accroître tous les jours. Il est permis de conclure de ces données, surtout en présence de l'abondance et de la richesse des gîtes cuprifères du nouveau monde, venant à coïncider avec l'appauvrissement continu des mines du Cornwall, que l'Angleterre ne tardera pas à perdre la prééminence qu'elle avait su conquérir.

Les conséquences de cette situation nouvelle ont amené, comme il était à prévoir, des changements notables dans la valeur commerciale des cuivres. Partout les prix, fixés par le marché anglais, que celui-ci ne peut plus soutenir, ont subi diverses fluctuations et se sont progressivement abaissés. La tonne de cuivre raffiné, qui a valu, en 1846, de 2,500 à 3,500 francs, s'est tenue pendant ces dernières années de 2,430 à 3,940 francs, se règle à présent de 1,950 à 2,100 francs, suivant les qualités, après être tombée à 1,750 francs. Il n'y aurait rien de bien étonnant, eu égard aux développements de la fabrication chilienne, à ce que d'ici à peu de temps la tonne de cuivre ne se payât encore de 1,600 à 1,800 francs.

La portée de ces renseignements serait plus instructive, si, à l'appréciation des circonstances qui ont amené cet état de

ne figurent ni les mattes ni les cuivres argentifères, qui donnent lieu à des opérations spéciales; mais il faut en distraire les exportations de métal en lingots et de cuivre noir en France, en Belgique et dans l'empire germanique, 4 à 5,000 tonnes environ. De sorte qu'en fin de compte, la production totale du globe peut être évaluée à 95,000 tonnes environ, c'est-à-dire bien près du double de ce qu'elle était il y a vingt-cinq ans.

choses, les exposants avaient joint à leurs produits quelques détails sur les conditions géologiques et industrielles où sont placées leurs exploitations et des instructions sommaires sur la nature et l'emploi de leurs procédés. On y aurait trouvé sans doute l'explication de divers faits intéressants à connaître, les causes de la supériorité relative de ceux-ci sur ceux-là, et, en tous cas, la raison des changements qui viennent d'être relatés. Les hommes du métier savent en général à quoi s'en tenir et pénètrent assez vite au fond de ces questions, mais il faut aux simples curieux qui cherchent à se rendre compte des phénomènes industriels ou qui aiment à connaître les avantages et le côté économique de certains procédés, des termes de comparaison fortifiés par des chiffres qui leur permettraient de mieux en apprécier les mérites et la convenance. Ce système, au demeurant, en éclairant tout le monde, et tout en assignant aux fabricants la part qui revient à leur habileté, fixerait la portée des améliorations résultant du choix des méthodes et des matières et donnerait en même temps la juste mesure de leurs progrès. Il aiderait à faire comprendre, sinon à expliquer, la raison des motifs qui font préférer dans une localité pourvue d'éléments similaires un procédé en apparence moins perfectionné, à tel autre, plus ingénieux ou plus savant, mais que bien souvent on ne pourrait adopter sans s'exposer, en voulant l'appliquer sur un autre point, à des mécomptes fâcheux.

Il est permis cependant de suppléer à l'absence de ces données par l'appréciation de quelques faits, ou par l'étude des procédés métallurgiques adoptés dans les centres industriels du continent les plus en vue. En abordant ce sujet, nous pourrions combler diverses lacunes que nous avons laissées subsister en parlant des produits de l'Allemagne, de la Suède, de l'Espagne, etc. Ce sera d'ailleurs une occasion de mieux préciser les différences qui existent entre la méthode galloise et la méthode allemande. C'est pourquoi nous croyons à propos d'entrer maintenant dans quelques détails sur la diversité de ses applications.

A. — *Méthode allemande.* — **Applications et résultats.**

J'ai dit les caractères généraux de la méthode allemande, en usage dans la plupart des usines de l'Europe occidentale, de la monarchie autrichienne et dans les centres miniers de la Russie, etc. ; elle semblerait devoir prédominer en Amérique. Elle repose sur l'emploi du four à manche ou à tuyères de formes et de dimensions extrêmement variables. D'origine très-ancienne, nous en sommes très-vraisemblablement redevables à l'Orient. On la retrouve encore appliquée chez les peuples de l'Inde, en Chine, au Japon, parmi les peuplades de l'Afrique et les régions écartées de l'Asie, avec ses moyens et ses artifices rudimentaires, que nous avons plus ou moins perfectionnés en les recevant de leurs mains.

Prise dans son ensemble, la méthode allemande comprend quatre opérations fondamentales.

1° Fonte précédée d'un grillage à air libre, dans laquelle se produit la matte ou sulfure double, enrichie par la séparation des matières terreuses.

2° Grillage de la matte.

3° Fonte de la matte grillée, suivie, dans certains cas, d'une fonte, dite de *concentration*, passant à un nouveau grillage, et finalement fondue pour cuivre noir.

4° Affinage du cuivre noir.

Mais l'extrême diversité des minerais, leur composition et leur nature changeante, non moins que la diversité des appareils, apportent dans son application des modifications nombreuses qui se traduisent par des nuances très-prononcées dans la conduite du travail et dans la durée des opérations, sans pourtant que le principe de la méthode éprouve une altération sensible. Il n'y a pas lieu de s'arrêter à l'étude de ces diverses circonstances, qui nous entraînerait dans des détails trop longs pour trouver place ici. Je me contenterai de faire observer que ces modifications sont plus apparentes que réelles et subordonnées, en dehors des causes déjà énu-

mérées, à la nature complexe des minerais et au choix des combustibles employés.

Les avantages de la méthode allemande sur la méthode galloise ont déjà été exposés, et je n'aurais plus à y revenir si je ne croyais devoir insister sur la répétition et la multiplicité des grillages, qui sont un de ses traits saillants, par la façon dont ils s'exécutent et par leurs résultats. Ajoutons que, comparée à la méthode galloise, elle consomme bien moins de combustible, employant indistinctement le coke ou le charbon de bois, le bois même, suivant les conditions d'approvisionnement des usines. D'une application facile et moins dispendieuse, elle permet d'obtenir promptement un personnel exercé. Elle a surtout le grand mérite de réduire, sans les adjoindre à d'autres minerais, des matières pauvres, les plus répandues, et dont la teneur ne dépasse pas, en général, 1 1/2 à 5 pour 100 de cuivre métallique, ce que les usines anglaises, avec leurs moyens habituels, sont dans l'impossibilité de faire utilement. Si celles-ci sont mieux adaptées avec le four à réverbère au traitement des minerais riches, purs ou oxydés, de son côté la méthode allemande avec le four à manche se prête néanmoins aussi avantageusement aux minerais impurs et aux cuivres gris, ainsi que cela ressort du travail des usines de la haute Hongrie, pourvu qu'on sache, à l'égal de ce pays, modifier à propos les lits de fusion par l'adjonction de minerais pyriteux et sulfureux, et qu'on retarde par une seconde et même une troisième fonte la formation du cuivre noir.

Les usines des bords du Rhin, du Nassau, de la Westphalie, du Harz, etc., ont exposé des cuivres rosettes dont on vante avec juste raison la pureté. Ils proviennent des minerais pyriteux et sulfurés, exploités dans ces contrées. Ils sont traités avec des fours à manche de 2^m,10 à 2^m,30 de hauteur de la sole au gueulard, et suivant la formule que j'ai résumée au commencement. Je n'ai pas relevé de changements assez notables dans son application habituelle pour être signalés. Il faut nous transporter ailleurs.

Usine de la Briglia. — L'Italie nous met à même, à propos des cuivres exposés par l'usine de la Briglia, à Prato, près de Florence, de parler plus amplement de cette méthode, et d'appeler l'attention sur quelques particularités du traitement pratiqué dans cette usine.

Les minerais appartiennent à la classe des minerais sulfurés : ce sont des *cuivres panachés* (Buntkupfererz) ou *philipsites*, répondant à la formule FeCu^2Su^3 ; ils proviennent de la mine si connue de Monte-Cattini, en Toscane.

Les minerais de choix sont exportés en Angleterre. On ne traite ici que les menus de l'exploitation, composés des cuivres panaché, pyriteux et sulfuré; ils sont mélangés de manière à former un mélange pouvant produire en moyenne 25 pour 100 de cuivre pur.

Four de grillage. — Les menus sont broyés et grillés, par parties égales, avec les schlichs dans un four à réverbère, chauffé au bois; ce four a 5 mètres environ de longueur de l'autel au rempant, sur 4 mètres de largeur, avec deux portes à chaque côté du laboratoire; il est pourvu de deux trémies dans la voûte, dont la hauteur moyenne, au-dessus de la sole et dans l'axe du four, est de 75 centimètres environ. On charge par opération, qui dure dix-huit heures, 4,000 kilogrammes de minerais, en brûlant 1,390 kilogrammes de bois de chêne et de fagots, en ayant soin de retourner fréquemment les matières en élaboration (voir pl. XII, fig. 1, 2, 3, 4, 5).

Four à manche. — La fonte des minerais et pour cuivre noir se fait dans un four à manche et présente une disposition que nous n'avons pas encore vue jusqu'ici. Il est représenté plan de coupes (pl. XII, fig. 6, 7, 8, 9, 10).

La section est quadrangulaire; elle se maintient telle dans les étagères, et rétrécit graduellement de la sole au gueulard, qui se termine par un petit évasement en forme d'entonnoir. Les deux côtés sont verticaux; la warme et la poitrine ont une inclinaison de 80 degrés, depuis la tuyère jusqu'au gueulard. La hauteur de la cuve, de la sole au gueulard, est de 2^m,55 et de 2^m,20 du niveau de la tuyère. La section du four, à ce niveau, est de 1^m,20 de profondeur sur 1 mètre de lar-

geur, et à celui du gueulard de 70 centimètres sur 60 centimètres. Il n'y a pas de creuset intérieur. La poitrine est verticale à partir de la tuyère. La sole, légèrement évidée dans la brasque qui recouvre la pierre de fond, s'incline de la warme à la poitrine, et est maintenue par un petit mur où sont percés les deux œils par où s'écoulent les matières pour remplir alternativement les deux bassins de coulée ou avant-creusets, pratiqués, de 25 à 30 centimètres du parement de la poitrine, dans le massif de brasque, construit au pied du fourneau sur le sol de la fonderie. Ces œils ont encore pour but et permettent de juger l'allure du fourneau.

Le fourneau, massif énorme de 5 mètres de côté à la base, et de 7 mètres à 8 mètres de hauteur, est construit en grès (?). La chemise, faite de briques réfractaires, est indépendante, afin de pouvoir être réparée sans toucher à la masse extérieure, consolidée par des armatures en fer qui n'ont rien de particulier. La chemise se corrode facilement du côté de la warme et sur les flancs : comme la poitrine est fermée, les réparations se font à l'arrière, du côté de la tuyère, en dessous d'une voûte qui soutient la maçonnerie. On fait habituellement une réparation chaque mois ; sa durée est de seize à dix-huit heures, et aussitôt achevée on continue les charges. Le vent est injecté par une seule tuyère ayant un diamètre de 5 à 6 centimètres, à la pression moyenne de 5 centimètres, croyons-nous, et dont le volume n'est pas très-exactement déterminé.

Avant de faire le premier chargement, on chauffe le four pendant trente-six à quarante heures avec du charbon de châtaignier (environ 1,400 kilogrammes). Seulement, on donne quelques paniers de scories pour former le nez, ce qui a lieu assez rapidement ; on lui donne avec un ringard, par les orifices de la tuyère, la forme et les dimensions voulues, en arrangeant les matières fluides que le vent coagule à son extrémité. Cet appendice est disposé comme un dôme ; il a pour but de protéger d'abord la warme de l'action oxydante, et de rabaisser l'air sur la sole, et de l'obliger à sortir par l'œil en même temps qu'il le force à remonter le long des parois la-

térales. Le nez n'est bien formé qu'au bout de douze à quinze heures. Lors de la mise à feu, on chauffe en même temps les bassins de coulée.

Fusion des minerais.—Le lit de fusion se compose de 50 pour 100 de scories des opérations précédentes, et de parties égales de minerai grillé et de scories riches. On consomme à peu près un tiers de charbon de chêne de la masse préparée. Les charges se font par le gueulard, de vingt minutes en vingt minutes, le charbon d'abord et le mélange ensuite, alternativement. Lorsque le four est en bonne marche, on passe par vingt-quatre heures vingt charges, représentant 5,000 kilogrammes de minerai, qui produisent environ 50 pour 100 de *métalline*, ou de mattes, et quelques morceaux de cuivre noir qui garnissent toujours le fond des avant-creusets, et des scories riches. Ces deux produits sont repassés directement dans la fonte pour cuivre noir.

Grillage des mattes.—Les *métallines* sont broyées très-fin au bocard et tamisées : elles passent ensuite au four de grillage à réverbère (pl. XII, fig. 1 à 5), 4,000 kilogrammes par opération. Elles sont grillées à un feu vif pendant trente-six heures, et nécessitent une consommation de 2,775 kilogrammes de bois de chêne et de fascines.

Fonte pour cuivre noir.—Avant de procéder à cette fonte, on chauffe pareillement le fourneau pendant trente-six heures, puis le lit de fusion est passé avec les précautions tracées plus haut. Ce four est représenté planche XII, fig. 12.

Le lit de fusion se compose de *métalline*, de scories riches et de débris de cuivre noir, d'écumes, de crasses et scories de raffinage, en proportions qui se déterminent au fur et à mesure, suivant la marche de l'appareil. La quantité totale passée en vingt-quatre heures s'élève à 8,000 kilogrammes, avec une consommation moyenne de 50 pour 100 de charbon de chêne. On a pour produits : 30 pour 100 de nouvelle *métalline*, 70 pour 100 de cuivre noir. Ces *métallines*, très-riches (ce sont des mattes fines), sont immédiatement broyées, grillées et ajoutées à l'opération courante.

Raffinage du cuivre noir.—Il s'opère au petit foyer, par la

méthode allemande. Ces foyers (pl. XII, fig. 11 et 13) sont disposés dans un massif au nombre de trois, pourvus chacun de leur tuyère sur une même ligne, et distante l'une de l'autre de 1 mètre environ; ils ont un diamètre de 70 centimètres chacun, sauf celui du milieu, plus profond et plus large de près de 1 mètre. On raffine, dans les petits foyers, 560 kilogrammes de cuivre noir en trois heures, en consommant 40 pour 100 du poids du cuivre chargé. Le cuivre est coulé en lingots ou enlevé en rondelles qu'on fait assez généralement refondre dans le foyer du milieu.

Un four en bonne allure, desservi seulement par trois ouvriers et un gamin, marche d'une manière continue, sauf la réparation de la tuyère et des costières, dont nous avons parlé, de soixante-cinq à soixante et dix jours, et parvient à réduire pendant ce laps de temps 410,000 kilogrammes de minerai grillé, dont le rendement a produit 102,500 kilogrammes de cuivre raffiné.

La méthode suivie à la Briglia sort des errements habituels, par la disposition spéciale de ses fours à manche, et par le grillage des minerais et des mattes au four à réverbère, dont l'emploi ne se justifie ici que par la pureté des minerais.

Il existe en Italie une autre méthode de traitement, fort originale, qu'il est intéressant de mettre en regard du traitement des minerais riches et purs de Monte-Cattini. Il s'agit de la méthode d'Agordo, qui emprunte ses moyens d'action aux procédés de la voie sèche combinés à ceux de la voie humide.

Nous allons la décrire.

LA MÉTALLURGIE A L'EXPOSITION DE 1867⁽¹⁾

LE CUIVRE,

Par M. E. PETITGAND,

Ingénieur.

Méthode d'Agordo. — *Usines d'Agordo.* — Cette méthode, pratiquée dans la haute Vénétie depuis le quinzième siècle, est également en usage à Mülbach, en Tyrol, ainsi qu'à Espédal-Nickel, en Norwége. Swedenborg en a donné une description, qui, malgré divers perfectionnements introduits à la longue, n'a pourtant pas subi de bien grandes modifications. Elle offre des manipulations et des particularités en général peu connues, à l'aide desquelles peuvent se traiter utilement des minerais sulfurés ferrugineux très-pauvres, dont la teneur en cuivre ne dépasse pas 1 1/2 pour 100. Il existe en Italie, en Espagne et même en France, des gisements importants de minerais analogues ou pareils, auxquels pourraient, sans doute, aussi s'adapter avec un égal succès les mêmes procédés, abstraction faite des conditions économiques propres à ces différents pays.

Les établissements d'Agordo sont situés à Agordo même, dans le val Cordovole, limitrophe du val Imperina, tous les deux creusés dans les contre-forts de la vallée de la Piave, où ils viennent déboucher à quelque distance de la ville de Bellune. Les principales exploitations sont ouvertes dans le massif montagneux du val Imperina. Les gîtes métallifères, disposés en amas très-puissants, se rencontrent à la séparation des schistes et des calcaires; ils sont formés de pyrites de fer cuprifère (FeS^2) et de pyrite cuivreuse ($\text{Cu}^2\text{S} + \text{Fe}^2\text{S}^2$),

⁽¹⁾ Voir, pour la première partie, p. 217.

plus ou moins mélangées de blende, de plomb, d'antimoine, d'arsenic, etc.

Peu boisée, la contrée fournit cependant le combustible végétal à un prix raisonnable; la main-d'œuvre n'est pas chère et les transports sont peu coûteux. Reliée à de bonnes routes en communication directe avec Bellune et Venise, on trouve un écoulement facile, pour les divers produits de la fabrication, sur ces villes et l'Adriatique.

Je passerai rapidement sur le mode de grillage et l'extraction du soufre, l'une de ses conséquences ⁽¹⁾, pour appeler plus particulièrement l'attention sur les procédés métallurgiques.

Le traitement des minerais est basé sur un ensemble de réactions dont je vais tâcher de faire saisir le principe et les caractères saillants. On a dit quelle était la composition des minerais. La mine en fournit trois sortes : la plus riche, la pyrite cuivreuse, est envoyée directement à la fonte crue; le reste subit un grillage préalable, qui forme la partie originale du traitement.

« Comme à l'ordinaire, le grillage n'a pas seulement pour but de chasser une partie du soufre, mais aussi de concentrer le cuivre dans un volume moindre de matières; pour atteindre ce résultat, l'opération doit être conduite avec une extrême lenteur. Le départ d'une partie du soufre s'opère progressivement, et à mesure que son appauvrissement se propage dans la masse, le cuivre se concentre à l'intérieur et en raison de son affinité pour celui-ci, par une action moléculaire analogue aux transports électro-chimiques ou à la cémentation de l'acier. On obtient des morceaux dont le centre est formé par un noyau ou *tazzone* dont la teneur en cuivre est devenue plus grande et qui se trouve entouré d'une enveloppe terreuse sensiblement appauvrie. Ces matières subissent un cassage et un triage à la main. Les

(1) On peut consulter à ce sujet la description des fours de grillage et de la fabrication du soufre dans le *Traité de Métallurgie* de Percy, t. V, p. 353 et suivantes.

noyaux sont envoyés à la fonte crue et la terre est traitée par la voie humide. Une partie du soufre, grâce à la lenteur du grillage, peut se dégager sans oxydation, être recueillie et ensuite purifiée, pour passer à l'état marchand. »

Les terres sont lessivées afin d'en retirer les parties salines et le résidu rejeté. Les eaux sont chargées de sulfates de fer et de cuivre; on les laisse reposer, on les décante dans des chaudières où elles sont alors chauffées jusqu'à saturation. La dissolution s'étant enrichie, on précipite le cuivre par le fer et l'on obtient un cuivre de cémentation en pâte très-fine que l'on fait dessécher et une eau saturée de sulfate de fer qui est abandonnée à elle-même pour que le sel se cristallise. Le ciment passe à la fonte et les sels du fer ou vitriol de fer sont livrés au commerce.

La première période du traitement emprunte donc ses moyens à la voie humide; la seconde repose simplement sur les procédés de la voie sèche, c'est-à-dire sur la fusion des matières obtenues, dans des fourneaux appropriés.

« Ce traitement, moins compliqué, comprend seulement une fonte crue, un grillage des mattes, une fonte pour cuivre noir et l'affinage. La fonte crue s'opère avec la pyrite riche, les noyaux résultant du grillage, le cuivre de cémentation, les crasses et les fumées des opérations ultérieures, en y ajoutant des scories riches et un fondant terreux. Le métal s'y concentre dans une matte qui est grillée à plusieurs feux et qui est ensuite livrée à la fonte pour cuivre noir, avec addition des mattes riches de cette opération qui sont encore grillées, des fondants et autres produits accessoires. Le cuivre noir est enfin affiné par la méthode allemande. »

Telles sont les opérations successives dont les traits essentiels vont être exposés; elles sont solidaires et leur enchaînement constitue tout l'ensemble de la méthode.

Arrêtons-nous quelques instants sur le grillage, point de départ et base des opérations subséquentes, et résumons brièvement sa théorie et ses conséquences. J'aurai recours pour compléter les détails qui me sont échappés depuis ma visite aux établissements d'Agordo, qui remonte déjà à plu-

sieurs années, à un mémoire rédigé postérieurement par M Hatton, ingénieur au corps des mines ⁽¹⁾, et dans lequel sont mentionnés divers perfectionnements intéressants.

Cette manipulation, fort simple en principe et en pratique, modifie considérablement la composition du minerai. Et d'abord, la majeure partie du soufre est oxydée partiellement et se dégage à l'état d'acide sulfureux, tandis qu'une autre portion se réduit en vapeur qui se condense pour être recueillie. Une autre partie se combine directement aux métaux dans l'intérieur du noyau ; enfin, une dernière partie reste dans l'enveloppe terreuse, combinée aux oxydes de fer et de cuivre. Les autres corps subissent de leur côté des modifications non moins importantes : l'arsenic, à la faveur d'une température lente, est expulsé partie à l'état gazeux et partie condensé à la surface des tas. Le fer reste combiné, d'une part, au soufre dans l'intérieur des noyaux, et s'oxyde d'autre part. « Une portion amenée seulement à l'état de protoxyde s'unit à l'état d'acide sulfurique ; la plus grande partie est changée en peroxyde et fixe même probablement une certaine quantité de cet acide à l'état de sous-sel. »

Les changements qui se traduisent à l'égard du cuivre ne sont ni moins importants ni moins curieux. Une partie se réunit dans l'enveloppe à l'état de sulfate et de sulfure, et le surplus passe à l'intérieur du noyau à l'état de sulfure riche. Le noyau formé correspond suivant les nuances nettement tranchées, disposées la plupart du temps en enveloppes concentriques, à des degrés de richesse différents, diminuant du centre à la circonférence avec l'intensité des couleurs. On considère que les noyaux remplissant les meilleures conditions doivent présenter une couleur bleu foncé avec un léger reflet violacé, analogue à celui de l'acier qui vient d'être trempé.

La minerai éprouve au grillage une perte de 30 pour 100, résultant de la différence entre le soufre chassé et l'oxygène

(1) *Annales des Mines*, 5^e série, t. VII.

fixé. Sous le rapport de la composition chimique, les noyaux se rangent au-dessous des monosulfures.

Passant sur les méthodes de grillage en meules ou par le four styrien, appliqué en dernier lieu, ainsi que sur les détails de la fabrication et du raffinage du soufre, récolté à l'aide de cette opération, je résumerai la série des manipulations assez compliquées propres aux terres enlevées aux *tazzoni* pour en retirer les sulfates métalliques.

« Les terres subissent trois digestions qui forment une première lixiviation : ces deux dernières sont faites avec de l'eau pure et donnent des liqueurs qui sont mélangées et servent pour la première opération. Celle-ci se pratique sur la terre neuve qui subit successivement les deux autres. L'eau (*aquâ saturata*) qui en résulte passe alors à la cémentation. A la suite de cette première lixiviation, la terre appauvrie est grillée de nouveau, et forme la base et la couverture des meules. La terre passe par une seconde lixiviation identique à la première, puis une nouvelle série de digestions qui constituent le lavage (*lavatura*). Elle comprend quatre périodes que traverse la terre pauvre. Celle-ci finit par être lavée à l'eau pure qui remonte dans cette série pour former l'eau pauvre (*acqua povera*). Après cette longue suite d'opérations, la terre n'est pas rejetée définitivement ; elle subit un grillage sur une grille qui a 15 millimètres de vide. Le menu, considéré dès lors comme stérile, est abandonné : les gros morceaux retournent au grillage et subissent de nouveau le traitement à partir de la seconde lixiviation. »

La teneur moyenne des terres neuves est 0,7 pour 100. L'eau des lixiviations est amenée à 38°,58 Baumé ; l'eau pauvre arrive à 13°,2, et le mélange soumis à la cémentation à 26°,75.

Toutes les manipulations s'effectuent dans des caisses carrées en planches, de 3^m,50 sur 1^m,30 de profondeur, dans lesquelles on charge, en moyenne, 13 kilogrammes de terre sèche traitée avec les deux tiers du poids d'eau. La digestion dure vingt-quatre heures. On extrait, à l'aide de pompes, l'eau qu'on fait couler par des canaux en bois à la caisse suivante, et

successivement de l'une à l'autre, d'où elle est amenée pour se clarifier dans des réservoirs. Avant de passer à la cémentation, on estime que la manipulation d'une tonne de terre vierge emploie $1\frac{1}{3}$ journée de main-d'œuvre.

Le cuivre est précipité des eaux chargées de sulfate de cuivre, suivant le procédé ordinaire, par du fer, ou de la fonte, qui est plus économique. C'est celui qu'on emploie aussi ailleurs, soit à Rio-Tinto, en Espagne, soit à Stadberg, en Westphalie, ou à Saint-Bel, en France, etc., pour recueillir le cuivre de cémentation. Il n'y a donc pas à insister sur cette manipulation suffisamment connue, ni sur l'application de la chaleur à la saturation des eaux, par des moyens analogues à ceux du procédé Bankart, exploité depuis plusieurs années déjà en Angleterre ⁽¹⁾. Il convient, toutefois, de placer ici les résultats numériques qui dérivent de ce travail, en indiquant la nature des produits obtenus.

D'après l'ancien procédé ou le nouveau, on traite respectivement :

Eau saturée.	15 ^m 3,815	12 ^m 3,305
Eau pauvre.	3 ,252	2 ,581
	<u>19^m3,067</u>	<u>14^m3,886</u>

donnant les produits suivants :

Les <i>grassure</i> . — Cuivre à 58,9 %.	260 ^k ,00	285 ^k ,85
Les <i>brunini</i> . — Cuivre à 10 % . . .	56 ,39	87 ,20
Cuivre pur.	159 ,04	182 ,09
Fer équivalent.	136 ,25	155 ,95

Chaque opération, en dehors de la fonte, dont la quantité s'élève ici à 402 kilogrammes et là 385 kilogrammes, exige les consommations suivantes :

Bois.	6 ^m 3,154	ou par mètre cube d'eau à traiter	2 ^m 3,471
Charbon de bois.	0 ,846	} ou — —	1 ,960
Tourbe	0 ,644		1 ,492
		Main-d'œuvre	0 j. 247

(1) *Traité de Métallurgie* de Percy, t. V, p. 364.

Lorsque les *brunini* sont déposées dans les caisses, on fait écouler l'eau vitriolique pour l'envoyer à la cristallisation ; ils sont lavés et décantés plusieurs fois, puis séchés et envoyés à la fonte crue. Les *grassure* sont lavés sur un crible fin.

On opère la cristallisation des sels de fer retenus dans les eaux des divers lavages, par évaporation naturelle, en les abandonnant dans des caisses en charpente de 7 et 12 mètres carrés de surface, sur 40 à 50 centimètres de profondeur, placées dans des ateliers couverts mais bien aérés. On fait plonger dans ces caisses des branchages suspendus à des poutres, auxquels viennent s'attacher les cristaux qui ne tardent pas à se produire. Une fois que l'eau est arrivée à 26 degrés Baumé elle est rejetée, et l'on retire les cristaux formés ; ils sont lavés à grande eau sur une aire inclinée et classés suivant la position qu'ils occupent, soit au fond, soit sur les parois des caisses, ou qu'ils proviennent des branchages ; ils sont ensuite séchés et emballés. Les cristaux détachés des parois sont les plus purs et les plus estimés. 1 mètre cube d'eau passé à la cémentation produit d'ordinaire 51^k,60. Les sulfates de fer ou vitriols vert d'Agordo renferment du zinc ; en voici la composition :

Sulfate de fer	49,73
— de zinc.	4,55
Peroxyde de fer hydraté .	3,20
Eau	42,52
	<hr/>
	100,00

Le vitriol de fer est un produit secondaire, d'une valeur notable, mais d'un écoulement difficile ; il doit être d'un beau vert sans rouille. La production annuelle s'élève à 58 858 quintaux (le quintal est de 50 kilogrammes).

Le soufre affiné, d'un beau jaune citron, est converti en canons ; il est très-pur. On en fabrique annuellement 2 962 quintaux.

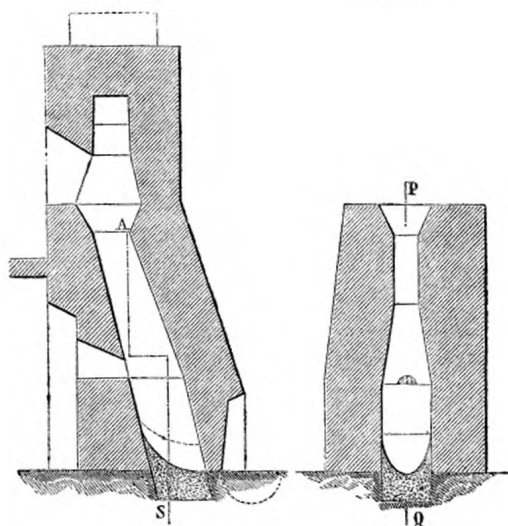
Examinons maintenant le traitement métallurgique. Il comprend la fonte crue des minerais, le grillage des matières, la fonte pour cuivre noir et l'affinage du cuivre.

La fonte crue se pratique à Agordo, dans deux espèces d'appareils qui demandent à être examinés séparément. Ce sont des demi-hauts fourneaux et des hauts fourneaux de formes particulières, dont nous empruntons encore les dessins et la description au Mémoire, déjà mis à contribution, de M. Hatton. Ils sont construits en schiste talqueux suffisamment réfractaire.

Les hauts fourneaux sont représentés par les coupes verticales des figures 1 et 2 ci-dessous.

Fig. 1.

Fig. 2.



Echelle de 0^m,008 p. mètre.

On remarquera la forme bizarre de ce type. La warme présente toujours une inclinaison de 78 degrés dans les étalages, de 74 degrés dans la cuve. La poitrine suit la même inclinaison dans la partie inférieure, et penche encore davantage au-dessus. La section est quadrangulaire; constante dans les étalages, elle se rétrécit (fig. 2) jusqu'au gueulard. A ce point, une espèce d'entonnoir, en maçonnerie, dans lequel on lance les charges, règne au-dessus de l'étranglement;

les gaz s'échappent par un rampant aboutissant à une cheminée qui sert à deux fourneaux accostés. Sur un massif, pourvu de conduits ménagés pour aider à la dessiccation, et convenablement garni de scories, s'élèvent la chemise et les parois du fourneau, au bas duquel on dispose la pierre de fond, appuyée sur une couche de brique inclinée à 30 degrés. A l'avant du four règne une autre masse de brasque formée de grès rouge pilé, de talc et d'un peu de menu charbon, et dans laquelle sont évidés deux bassins hémisphériques pour les coulées.

Le vent est fourni ou par des trompes ou par une machine soufflante composée de cylindres à double effet, de 1^m,18 de diamètre et 1^m,24 de course, activés par une roue en dessus de la force de vingt-cinq chevaux effectifs. Les pistons débitent 64 mètres cubes d'air par minute; le vent des trompes est, en général, plus régulier. Ces appareils sont construits d'après les principes suivis dans les forges catalanes. Le vent des différentes caisses sort par des tuyaux qui se réunissent en un seul, conduisant l'air à la tuyère de chacun des fourneaux.

Chaque fourneau n'a qu'une tuyère, les buses sont en bois avec un bout en cuivre rouge. L'orifice a la forme d'un rectangle, dont la base est double de la hauteur, et le diamètre de 6 centimètres. L'axe de la tuyère est incliné de 25 degrés, et rencontre la poitrine au milieu de sa hauteur. Le tuyau vertical, qui amène le vent, est percé à la partie inférieure d'un trou fermé par un tampon de bois, qu'on enlève lorsqu'il faut subitement l'amoiner ou le supprimer. La pression est, en moyenne, de 1 centimètre de mercure.

La forme singulière de ces fourneaux a sa raison d'être; l'idée qui a présidé à leur construction se justifie par des considérations que nous croyons utiles de transcrire en entier.

« Il est important, en effet, dit M. Hatton, d'augmenter la
« durée du séjour du minerai dans le fourneau, afin de gra-
« duer l'impression de la chaleur, tant pour volatiliser le
« soufre que pour préparer les matières à la réaction qui a
« lieu devant la tuyère. Il faut en même temps éviter d'avoir
« à ce point une trop grande vitesse, qui abrégerait trop la

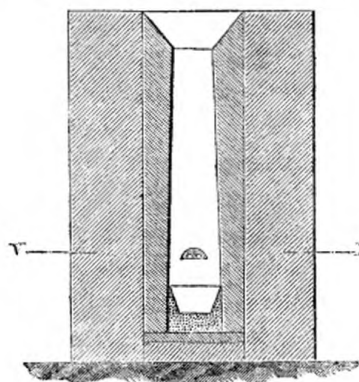
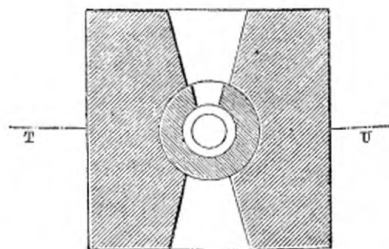
« durée des influences de la température et du vent. Or la
 « descente d'une masse de minerai en morceaux peut être
 « considérée comme un cas intermédiaire entre ceux d'un
 « corps solide ou d'une masse liquide. Pour ces deux der-
 « niers, la loi du mouvement est la même, et la vitesse à la
 « base ne dépend que de la hauteur... D'après cela, pour
 « augmenter le temps de la descente, on doit donc incliner
 « le fourneau, afin d'allonger le trajet. Il faut remarquer en
 « outre que l'influence du frottement vient en aide au but
 « qu'on se propose et que par cette disposition on utilise
 « mieux l'effet du combustible. De plus, il s'ensuit que la
 « durée de l'ascension des gaz, augmentée comme celle de
 « la descente des charges, l'est encore par l'influence du
 « frottement sur la paroi supérieure, qui force le courant à se
 « rabattre pour gagner l'ouverture du gueulard. Le gaz reste
 « donc plus longtemps au contact du minerai et peut mieux
 « se dépouiller de la température qu'il a acquise. »

Quel que soit le mérite de ces considérations théoriques, il est certain que lorsqu'on a voulu modifier la hauteur et l'inclinaison des fourneaux on n'a pu arriver à une marche satisfaisante, et qu'il a fallu y renoncer.

Les fourneaux pour la fonte crue ont d'autres dispositions, reproduites par les figures ci-dessous.

Fig. 3. Coupe verticale suivant V. X.

Fig. 4. Coupe horizontale suivant T. U.

Échelle 0^m,008 p. mètre.

008 par mètre.

La cuve, haute de 8^m,60, présente partout une section circulaire ayant un diamètre de 1 mètre au bas et de 80 centimètres en haut; elle se termine au gueulard par un entonnoir très-évasé, et à la sole par un creuset rétréci. Deux tuyères parallèles sont placées à côté l'une de l'autre, horizontalement à l'arrière, à 1^m,15 au-dessus du fond du creuset. Ces buses sont en tôle ayant un orifice circulaire de 87 millimètres de diamètre. Le vent est fourni par une machine soufflante, à la pression de 8 à 9 centimètres de mercure. On règle son admission et sa vitesse par un cône plein, qu'on manœuvre dans le cône vide au moyen d'une tige filetée qu'on serre ou que l'on desserre à volonté pour faire varier la section d'écoulement.

La sole du fourneau et les bassins extérieurs avec leurs trous de coulée pratiqués dans le massif qui s'élève au pied de la poitrine sont construits en brasque, pilonnée en couches successives, avec toute l'attention apportée ailleurs dans la construction de ces appendices. Il n'y a pas lieu d'insister sur ces détails connus, pas plus que sur la mise à feu, la conduite des premières charges, les soins à donner pour l'établissement du nez, rectifier sa forme et lui assurer la stabilité nécessaire, toutes circonstances qui se reproduisent, ici comme partout, sans modifications sensibles aux errements habituels.

Mieux vaut appeler l'attention sur le travail normal et la composition des lits de fusion en fonte crue.

La fonte crue s'opère dans les demi et dans les hauts-fourneaux, avec de la pyrite riche, partie telle que la fournit l'extraction et partie préalablement triée; des noyaux, des dépôts de cémentation, des crasses, des fumées de la fonte même ou provenant des opérations postérieures. On emploie comme fondant du grès rouge concassé et des scories riches du travail. On brûle du charbon de bois de sapin.

Les lits de fusion destinés aux demi-hauts fourneaux sont préparés sur une plate-forme disposée derrière les gueulards; chaque lit pèse environ 11 450 kilogrammes de ma-

tières à la teneur moyenne de 7,38 pour 100 de cuivre, réparties dans les proportions suivantes, en centièmes :

Noyaux riches.	46,08	pour 100.
— pauvres.	5,87	—
Pyrite riche.	11,43	—
Grassure	5,20	—
Brunini.	1,17	—
Crasses de fonte crue. . .	1,87	—
— de cuivre noir. . .	0,47	—
— d'affinage	1,84	—
Fusions de fonte crue. . .	0,26	—
— de cuivre noir. . .	0,15	—
Scories.	12,32	—
Grès rouge	13,34	—
	<hr/>	
	100,00	pour 100.

exigeant une consommation de 226 litres de charbon, indépendamment de celui employé pour la mise en feu et la fabrication des brasques, ce qui donne par rapport, au quintal de lit de fusion (50 kilogrammes), une augmentation de 1 : 1,22. Par quintal de cuivre contenu, on brûle 1 539 litres de charbon, et par quintal de lit de fusion, 114 litres.

Le lit de fusion est passé en vingt-quatre heures, par charges se succédant toutes les vingt-cinq minutes, lancées dans le four dans l'ordre suivant : charbon, scories, noyaux, grassure et brunini, pyrite riche, crasses, fumées et grès rouge. Le four est desservi par douze ouvriers divisés en trois postes de huit heures chacun. On recueille :

3 116 ^k ,50	de mattes	à 23,15	pour 100 de cuivre.
191 ,00	de crasses	à 10,00	—
28 ,00	de fumées	à 15,00	—
	Et des scories.		

La perte en métal sur la teneur des matières est d'environ 4,25 pour 100.

Dans les hauts fourneaux on passe, en vingt-quatre heures, des lits de fusion composés des mêmes éléments et dont les proportions sont très-peu différentes. Les matières réunies pèsent 16 325 kilogrammes, contenant 1 247^k,50 de cuivre, à la teneur de 9,62 pour 100.

Les charges se font toutes les dix minutes. On consomme pour la mise à feu 5 700 litres de charbon, et pour la fabrication des brasques 7 700 litres. On brûle par quintal de lit de fusion 57 litres, et 1 275^{lit},75 par quintal de cuivre.

Le four est desservi par un même personnel également divisé en trois postes.

On a pour produits :

4 956^k,00 de mattes à 23,98 pour 100 de cuivre.

131 ,50 de crasses à 10,00 —

26 ,35 de fumées à 17,00 —

Et des scories.

D'où résulte un rendement total de 1 202 kilogrammes de cuivre, au lieu de 1 247^k,50 contenu dans le lit de fusion, et partant une perte de 3,66 pour 100.

La théorie de cette opération n'est pas difficile à expliquer.

On estime que les matières mettent à parcourir le trajet du gueulard à la tuyère près de trois heures et demie ; elles sont pénétrées par le gaz que les ailes du nez obligent à remonter le long des parois ; ceux-ci sont suffisamment chauds pour expulser l'humidité, une partie du soufre, ramollir les éléments fusibles et les préparer enfin aux réactions qui se manifestent dans la zone oxydante et réductrice située à la hauteur de l'œil. Le cuivre, le fer, etc., s'unissent au soufre et donnent naissance à une matte formée de cuivre, de fer et de soufre, tandis que la silice du grès dissout l'excédant de fer et fait passer les corps terreux à l'état de scories qui s'appauvrissent en passant sur la brasque par son action réductrice et en cédant au cuivre, de préférence au fer, le soufre contenu dans la matte. Ces deux produits s'écoulent dans les bassins et s'y séparent suivant l'ordre de leur densité, surmontées par les crasses ou matières imparfaitement fondues qui sont renvoyées au fourneau. On recueille en outre des parcelles de cuivre entassées avec les poussières et les fumées dans la cheminée, pour les incorporer avec les crasses au lit de fusion.

Les avant-creusets se remplissent alternativement, mais au lieu d'enlever, après l'écumage des scories, la matte en

rondelles, comme cela se pratique habituellement ailleurs, on perce le trou de coulée ménagé dans la brasque et la matte se répand sur le sol de l'usine, où on la divise avec des râbles en bois. Cette méthode a pour but de restreindre la durée de l'opération et de rendre la matte poreuse, plus légère et partant plus facile à griller.

La diversité des éléments des lits de fusion complique le travail, sujet à de grandes irrégularités, et nécessite de la part du fondeur une extrême vigilance et beaucoup d'habileté, pour éviter les engorgements et les dérangements qui tendent à se produire assez fréquemment dans l'allure du fourneau. Ici aussi l'aspect de la scorie, celui du nez qu'il observe par la tuyère lui fournissent des indications utiles pour parer à ces inconvénients. Une scorie trop fluide dénote un excès de température qui détruirait le nez, il faut alors restreindre la quantité de charbon ; trop pâteuse, coulant mal, on force le combustible et le fondant. Une bonne scorie, à surface lisse et mamelonnée, dont la masse est bien fondue, la cassure un peu caverneuse, remplit les meilleures conditions. Lorsque ces caractères manquent, on doit la repasser au fourneau, amoindrir la partie riche des lits de fusion, afin de ne pas entraîner de cuivre et rendre l'allure moins chaude.

L'œil de la tuyère doit toujours être petit et très-brillant ; dès l'instant qu'il s'obscurcit, il risque de se boucher, on doit forcer le charbon et diminuer la charge. Mais si l'œil s'élargit, que le nez commence à se brûler, il est urgent de restreindre les charges et d'augmenter le fondant. Le dérangement venant à persister, tout se fond et l'on est obligé de ne plus charger que des scories et de rétablir le nez comme au début de la campagne.

Les engorgements ont surtout lieu au commencement des campagnes : les matières se figent devant les trous de coulée ou sur l'une des parois du fourneau, de façon que la descente ne s'opère plus que d'un côté. Dans le premier, on démolit la poitrine et l'on enlève l'obstacle ; dans le second, on cherche à rétablir l'équilibre en portant la masse de la charge sur le

côté libre ; ou bien encore le lit de fusion, trop fusible, se ramollit trop tôt et s'arrête trop haut aux parois pour que la chaleur puisse le fondre entièrement : alors il faut se hâter de détacher les matières figées à coups de ringard par le gueulard, car la descente des matières se trouverait interrompue, et la chaleur se portant sur le nez, qui serait bientôt fondu, le four serait arrêté.

On conçoit, d'après cela, que les parois du fourneau se corrodent rapidement ; il perd bientôt sa forme, la brasque se détruit, les scories s'épaississent, et il faut mettre hors feu. Aussi les campagnes ne durent-elles pas plus de dix-neuf à vingt et un jours.

Dès que ces désordres deviennent latents, on supprime le vent, on jette bas la poitrine et l'on se hâte de détacher, pendant qu'ils sont encore chauds, les dépôts ferreux et les parties scorifiées. On enlève les parties ravagées de la chemise, qu'on répare, si le massif est encore assez résistant, sinon on culbute entièrement le four pour le remettre à neuf.

Les mattes crues doivent subir, avant de passer à la fonte de concentration, une série de grillages qui se pratiquent dans des appareils et d'une façon analogue à ce qui se passe dans la plupart des usines allemandes. Nous ne nous arrêterons pas à cette opération, qui a pour but, on le sait, d'expulser le soufre et d'oxyder une grande partie du fer et des autres métaux. Celui-ci se scorifie dans la fonte suivante avec les autres éléments dont il faut débarrasser le cuivre. La matte de concentration doit pareillement passer par une même série de grillages avant d'être utilisée. Elles sont, comme les premières, traitées de la même façon.

Les mattes sont grillées à cinq feux en stalles accolées de 3^m,60 sur 2^m,60, sur deux rangées parallèles et abritées sous un hangar. Les tas, de 1 mètre de hauteur et contenant chacun 8 à 10 tonnes, sont stratifiés avec du bois de quartier, des branchages et de la tourbe. On allume et l'on dirige le feu avec les précautions ordinaires pour répartir uniformé-

ment la chaleur, et, au bout de deux jours, pour chaque feu, l'opération est terminée.

Cette manipulation, faite à la tâche, entraîne les consommations suivantes par tonne de matières :

	Mattes crues.	Mattes concentrées.
Main-d'œuvre. . .	4 journées 25.	4 journées 25.
Charbons.	425 litres.	566 litres.
Bois.	553 kil.	601 kil.
Tourbes.	94 kil.	» kil.

La teneur des mattes varie peu.

Mentionnons en passant une fabrication de vitriol bleu qui se faisait encore ces derniers temps et que la difficulté d'écouler ce produit a fait abandonner. On retirait le sulfate de cuivre des premières mattes après grillage par une lixiviation répétée quatre fois dans des conditions de température et de saturation particulière à chaque période de digestion.

Fonte pour cuivre noir. — Les mattes de la fonte de concentration, grillées, sont fondues pour cuivre noir dans des hauts fourneaux et des demi-hauts fourneaux.

Les premiers sont pareils à ceux pour la fonte crue (voir p. 272, fig. 1 et 2); ils ont l'inconvénient, comme ceux des usines à fer, de réduire le feu et de donner un cuivre noir très-impur; ils sont trop élevés pour ce travail.

Les seconds, représentés ci-contre par les figures 5, 6 et 7, sont très-bas et se rapprochent du profil des anciens appareils (voir p. 272). La chemise et la brasque, le creuset et les bassins de réception, le trou de coulée sont construits de la même manière. Comme dans ceux-ci, la warme et la poitrine sont encore très-inclinées de l'arrière à l'avant. Le foyer et le chio, formés de trois parties, sont verticaux, sauf au milieu, où ils sont déversés en dedans. Le vent est lancé par une seule tuyère, inclinée à 18 degrés et à la pression de 6 centimètres de mercure. La mise à feu et la conduite de l'opération se comportent de la même manière qu'avec les fourneaux marchant en fonte crue.

Les lits de fusion sont composés de mattes grillées de la

fonte crue et de l'opération elle-même, de fumées d'affinage, de débris provenant des rosettes, de scories sèches et de grès rouge, répartis dans la proportion suivante :

Première matte grillée.	53,10	pour 100.
Matte mince.	12,76	—
Fumées	4,64	—
Débris de rosette. . . .	1,09	—
Scories riches	14,54	—
Grès rouge.	13,87	—

100,00 pour 100.

Fig. 5. Coupe verticale suivant M.N. Fig. 6. Coupe suivant K. I.

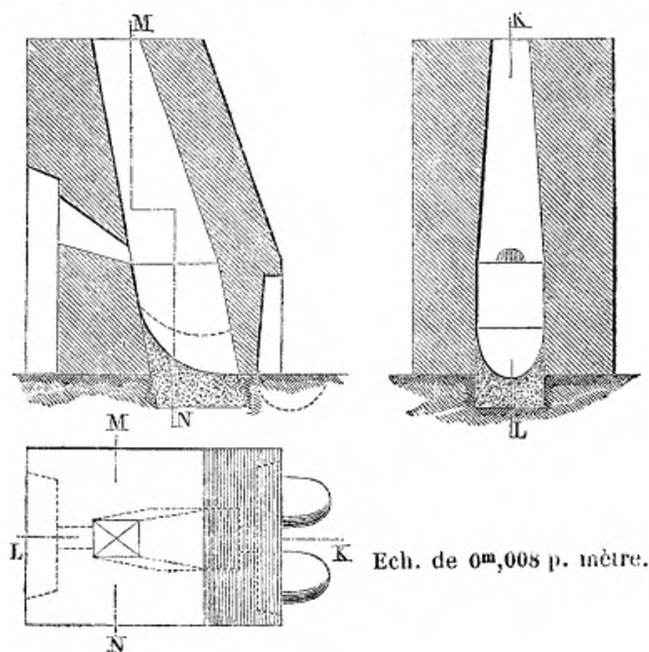


Fig. 7. Plan.

On fait trois charges par heure, en brûlant environ 142 litres de charbon par quintal du lit de fusion ; on passe en vingt-quatre heures 9155 kilogrammes de lits de fusion contenant à l'analyse 1967 kilogrammes de cuivre. On consomme, de plus, pour la mise en feu et la fabrication de la brasque 1,93 pour 100 de charbon.

Les réactions de cette fonte diffèrent peu de celles de la

fonte crue; seulement il n'y a pas assez de soufre pour que tout le cuivre passe à l'état de sulfure. Une partie se convertit en cuivre noir, riche de 93 à 94 pour 100, et le surplus en matte mince ou riche, composée de :

Cuivre.	60,74
Fer	8,90
Soufre.	30,36
	<hr/>
	100,00

quelque peu de cuivre passe encore dans les crasses et les fumées qui retournent à la fonte crue.

Le four emploie six ouvriers qui se relèvent par postes de six heures; d'où il suit que la manipulation d'une tonne de lit de fusion exige environ 0^h 70. — Les campagnes durent, en moyenne, dix jours.

On recueille par roulement de vingt-quatre heures :

Cuivre noir . . .	1 186 ^k ,50 à la teneur de 93,84 pour 100.		
Matte mince. . .	1 153 ,10	—	60,43 —
Crasses	157 ,78	—	17,58 —
Fumées	18 ,15	—	10,00 —

et des scories pauvres qui sont rejetées; elles contiennent pourtant encore environ 2 pour 100.

Les matières coulent sans interruption et remplissent à tour de rôle les bassins extérieurs, en se déposant dans l'ordre accoutumé. Il n'y a pas de faits nouveaux à signaler; on a les mêmes soins à observer dans la conduite du travail pour parer aux accidents qui peuvent survenir. On doit simplement faire remarquer que la matte solidifiée, noire, présente une quantité de fibres métalliques ayant l'éclat du cuivre et que l'indice d'une bonne allure se révèle lorsque le bain de cuivre noir donne des reflets bleuâtres.

L'affinage du cuivre se fait par la méthode allemande dans deux foyers pareils accolés, dans le même massif. Une seule tuyère de 4 centimètres de diamètre donne le vent à la pression de 4 à 5 centimètres de mercure.

La consommation et la production sont, en vingt-quatre heures :

Cuivre noir. . . 2 467 kilogrammes.

Cuivre rosette . 1 788 —

soit un rendement de 72 pour 100 de cuivre pur.

Dans chaque opération, on fond, d'après M. Hatton, 416^k,25 de cuivre noir à la teneur de 93 pour 100, et l'on retire :

Cuivre rosette . .	301 à 302 ^k ,00			
Crasses	118 ,45	riches de 30	pour 100.	
Fumées	19 ,30	—	64	—
Dépôts de cuves .	39 ,20	—	64	—

La rosette obtenue, 302 kilogrammes, et le cuivre resté dans les crasses, etc., s'élevant à 77^k,75, donnent un total de 379^k,75. Il suit de là que sur les 390^k,75 de cuivre contenu dans le cuivre noir, on subit une différence de 11,29, c'est-à-dire une perte proportionnelle de 2,89 pour 100.

On consomme, par opération, 1st,62 de charbon de sapin, ou par quintal de cuivre noir 38^{lit},97 et par quintal de cuivre rosette, 53^{lit},77.

Le raffinage de cuivre affiné exige, par quintal, 25^{lit},60 — plus 0^l,021 de main-d'œuvre.

Pour compléter ces détails, il convient de considérer la quantité de matière nécessaire à la production de 100 kilogrammes de cuivre rosette; pour cela, nous la suivrons dans toutes les parties de la fabrication, de manière à faire ressortir la proportion des consommations et des produits secondaires résultant de l'ensemble du travail. Nous les transcrirons d'après le mémoire que nous avons invoqué en commençant; ils ont cet avantage d'avoir été relevés sur la comptabilité même des usines, et de faire suivre le traitement métallurgique dans ses conditions habituelles.

1^o Mine.

Pyrite riche. .	233 ^k ,90	à la teneur de 6,05	pour 100.	
— bonne .	2 885 ,00	—	2,46	—
— pauvre .	3 682 ,00	—	0,63	—
Renfermant ensemble 107 ^k ,77 de cuivre				

2^o Grillage.

Noyaux bons. 884^k,45

Noyaux pauvres	111 ,60
Terre neuve	3 691 ,00

3° Lixiviation.

Eau saturée	41 ^m 3,230
— pauvre.	9 ,095

4° Cémentation.

Grassure.	106 ^k ,30
Brunini	24 ,29

5° Fonte crue.

Matte crue.	558 ^k ,67
Crasses.	36 ,23
Fumées	5 ,15
Scories repassées.	252 ,00

6° Fonte pour cuivre noir.

Matte riche	134 ^k ,01
Cuivre noir.	137 ,96
Crasses	13 ,98
Fumées	2 ,54
Scories repassées.	152 ,90

7° Affinage.

Cuivre rosette	100 ^k ,00
Crasses.	43 ,35
Fumées	5 ,66
Dépôts de la cuve.	11 ,43

A ces matières cuivreuses correspondent :

Soufre brut.	22 ^k ,59
— marchand.	18 ,92
Vitriol vert.	321 ,90
Grès rouge, fonte commune.	273 ,00
— fonte pour cuivre noir.	146 ,00

Motivant les consommations suivantes :

Charbon de bois.

Cémentation.	0 st ,29
Fonte crue, mise à feu.	0 ,64
— en roulement normal.	2 ,32
Grillage des mattes.	0 ,39
Fonte pour cuivre noir, mise à feu.	0 ,33
— roul. normal	1 ,51
Affinage	0 ,54
	<hr/> 6 st ,02

Bois.

Grillage.	0 st ,18
Cémentation.	0 ,37
Grillage des mattes.	0 ,41
	<hr/>
	0 st ,96

Tourbe.

Cémentation.	0 st ,22
Grillage des mattes.	0 ,02
	<hr/>
	0 st ,24

Fonte.

Pour la cémentation.	160 ^k ,90
------------------------------	----------------------

Et les dépenses ci-dessous en :

Main-d'œuvre.

Grillage du minerais. . . .	0	journ.	10
Travail du soufre.	0	—	21
Cassage et triage.	15	—	36
Lixiviation.	4	—	95
Cémentation.	1	—	26
Fonte crue.	4	—	16
Grillage des mattes.	2	—	36
Fonte pour cuivre noir. . .	0	—	66
Affinage.	0	—	48
			<hr/>
	19	journ.	54

Ce qui frappe le plus, en examinant ces résumés numériques, c'est la faible consommation du combustible, conséquence de l'emploi de la voie humide, à l'aide de laquelle on parvient à faire passer dans le ciment la plus grande partie du cuivre renfermé dans les minerais. Toutefois cette économie de bois, de charbon et de tourbe disparaît par la dépense de fonte et les frais nécessités par le cassage et le triage des minerais grillés.

Il est intéressant d'ajouter à ces données les indications suivantes sur le prix des matières et de la main-d'œuvre.

La journée se paye, pour les ouvriers ordinaires, de 1 à 1 fr. 25 c. et pour les ouvriers spéciaux, fondeurs, contre-mâtres, de 1 fr. 50 c. à 3 francs, etc. Mais il est assez dif-

ficile, en prenant ces bases, de déterminer d'une manière absolue le coût spécial de chaque manipulation, attendu les frais accessoires résultant de l'organisation spéciale des usines d'Agordo, par suite des maladies, des chômages, qui incombent au travail normal.

Le bois de corde flotté, pesant 380 kilogrammes en moyenne, se paye 4 francs le stère.

Le charbon de bois fabriqué avec des essences résineuses, sapin, pin et mélèze et quelque peu de hêtre, pèse de 140 à 180 kilogrammes le stère et vaut 9 fr. 20 c.

Le mètre cube de tourbe, du poids de 200 kilogrammes, coûte 2 fr. 25 c.

La fonte employée pour la cémentation est coulée en plaques de 3 centimètres d'épaisseur et revient à 22 fr. 90 c. le quintal métrique. Le fer destiné aux outils coûte 32 à 33 francs.

Pour conclure, nous dirons que les minerais traités s'élèvent annuellement à la quantité de 13 400 tonnes environ, dont on retire, en moyenne :

20 079 quintaux de cuivre marchand (affiné).

indépendamment de :

2 962 quintaux de soufre en canons valant 28 fr. 75 c. le quintal
et 58 818 — de sulfate de fer, à. . . . 5 81 —

Écartant les frais de fabrication afférents au soufre et au vitriol vert, qui viennent accroître les bénéfices de l'entreprise, on trouvera que le traitement d'une tonne de minerais, rendant 14^k,90 de cuivre seulement, calculé d'après les éléments groupés plus haut, entraîne, en frais spéciaux, les dépenses suivantes :

Combustible.	{	Charbon	8 fr. 52
		Bois	0 55
		Tourbe.	0 35
Matières. . .	{	Fondant, grès. . .	0 25
		Fonte pour la cémentation, 27 kil.	6 05
Main-d'œuvre			3 55
Frais divers : outils, brasques et réparations.			1 13
Total.			20 fr. 80

Soit, par quintal métrique de cuivre affiné, 140 fr. 85 c., non compris les frais d'exploitation de la mine et les frais généraux, qui varient d'une année à l'autre, suivant l'importance de la production.

Nous nous en tenons, en conséquence, à ces derniers chiffres bien moins destinés à établir le prix de revient exact, qu'à constater les frais de fabrication inhérents à l'emploi d'une méthode, permettant d'atteindre des résultats aussi avantageux. Il est assez probable que la méthode d'Agordo, appliquée à des minerais qui ne rendent, en définitive, que 1 1/2 pour 100 de métal, pourrait également conduire, dans d'autres localités, à des résultats pratiques tout aussi concluants. C'est pour cela que je me suis étendu sur des détails que le cadre de cette revue ne comportait peut-être pas.

Usines d'Atvidaberg. — *Fourneaux suédois.* — En regard de la méthode et des appareils d'Agordo, il est intéressant d'opposer les fourneaux des usines d'Atvidaberg, les plus importantes de la Suède; on y traite également des minerais de cuivre pauvres et complexes, renfermant du fer, de l'étain, du nickel, du plomb, de l'arsenic, du zinc, etc. — A côté des produits métallurgiques à leurs divers états, exposés par ces établissements, se trouvaient les modèles des fourneaux qui y sont employés; on peut les voir maintenant dans les galeries du Conservatoire des arts et métiers de Paris. Ils sont représentés, plan et coupes, pl. XI, fig. 1, 2, 3, 4 et 5. Il est aisé de saisir, à l'inspection, ce qui les distingue des autres appareils de ce genre et en quoi ils diffèrent de ceux qui sont affectés au traitement des minerais de cuivre des bords du Rhin et du pays de Nassau. Quelques mots suffiront pour compléter ce que le dessin laisse dans l'ombre et en faire ressortir les caractères particuliers.

Le fourneau n° 1, destiné à la fonte des minerais, préalablement grillés en tas, — ou fonte pour matte, — est un demi haut-fourneau qui rappelle par sa forme quadrangulaire le four Raschett, dont les dispositions peuvent bien

avoir été inspirées par celui-ci. Voici approximativement ses principales dimensions :

Du fond du creuset au gueulard.	7 ^m ,15
— au bas du diaphragme.	2 ,95
— aux tuyères	1 ,15
— à la tympe	0 ,80
Du fond au niveau du creuset	0 ,68
La largeur du fourneau au bas de la sole est de	1 ,08
— au niveau des tuyères.	1 ,20
— au ventre.	1 ,80
— au gueulard	1 ,78
La profondeur, c'est-à-dire de l'arrière à l'avant au bas de la sole	1 ,63
La profondeur de l'extérieur à l'intérieur du creuset. .	1 ,80
— de la poitrine à la warme	0 ,75
— au ventre (bas du diaphragme).	0 ,75
— au gueulard, 0,55 à	0 ,60 (?)

Le creuset est mi-partie à l'intérieur, mi-partie à l'extérieur du fourneau. La poitrine, mobile, haute de 1 mètre à 1^m,10 environ, construite en briques maçonnées avec de l'argile, repose sur la tympe placée en travers du creuset et s'élève verticalement jusqu'au ventre. A partir de ce point, la paroi interne du four s'incline de l'arrière à l'avant, tandis que la paroi opposée, ou du côté de la warme, monte perpendiculairement du fond du creuset au gueulard. Un diaphragme placé dans l'axe du four part de l'extrémité supérieure de la poitrine, et se termine au gueulard. Le trou de coulée C est ménagé au fond du creuset, à l'angle droit du massif établi à l'avant du four. Le fourneau est soufflé par quatre tuyères *a, a, a, a*, régulièrement espacées, très-légèrement inclinées de la warme à la poitrine. Une hotte placée à l'avant du four règne au-dessus des creusets extérieurs, et, communiquant à la cheminée construite au-dessus du gueulard, sert à entraîner les gaz sulfureux qui se dégagent de l'avant-creuset. Je passe sur les détails de la construction, relatés dans la *Métallurgie* de Percy ⁽¹⁾.

Ces dispositions se justifient par la nature des minerais exi-

(1) *Traité de Métallurgie* de P. Petitgand et Ronna, t. V, p. 289, etc.

geant une action réductrice très-énergique, et obtenue par les artifices indiqués qui conduisent à un rendement plus considérable, à une consommation de combustible moindre qu'avec les fourneaux moins élevés et dépourvus du diaphragme. Les charges, d'après l'expérience acquise, sont, paraît-il, beaucoup mieux réparties, les réactions mieux préparées avant d'arriver aux tuyères, et la formation des *skumnas* ou lours ferreux, imprégnés de sulfure de zinc, bien moins à craindre. Ces fourneaux restent en roulement trois à quatre mois, après quoi il faut les mettre hors feu pour réparer le bas de la chemise et le creuset, qui se dégradent par l'action corrosive des silicates, et qui s'engorgent surtout par l'accumulation des sulfures de zinc et de fer.

Les minerais ont une teneur de 2, 2 1/2 à 3 pour 100 de cuivre ; ils sont grillés en tas et fondus avec les scories des opérations précédentes. Proportionnellement aux matières chargées, on recueille de 20 à 23 pour 100 de mattes renfermant de 20 à 22 pour 100 de cuivre ; les scories contiennent tout au plus 1/4 pour 100 de cuivre. La fusion de 4 tonnes de minerais additionnés d'un cinquième de scories exige une tonne de charbon de bois, tandis que celui-ci, mélangé d'un quart environ de coke anglais permet de passer 5 tonnes de lit de fusion.

Le grillage de la matte s'opère dans des cases rectangulaires de 3^m,25 de longueur, larges de 1^m,25 et ayant 1^m,50 de hauteur. Elle passe successivement d'une case à l'autre ; ces cases sont adossées perpendiculairement à chaque côté d'une longue muraille, occupant l'axe d'une grande halle sous laquelle elles sont abritées. Les mattes sont grillées à *mort*, et dans ce but elles sont soumises à six feux et quelquefois à huit feux. C'est de cette opération, qui demande à être conduite avec beaucoup de soins, que dépendent le succès de la fonte pour le cuivre noir et l'élimination des métaux étrangers. Il ne faut pas moins de neuf à dix semaines, quelquefois davantage, d'autres fois moins, pour réaliser un grillage complet. Il arrive qu'en grillant de la matte et du minerai, on obtient, ainsi que dans le procédé d'Agordo, des

noyaux, à l'intérieur desquels se concentre le cuivre, et qui ressemblent, sous le double rapport de l'aspect et de la composition, aux *tazzoni*.

Le fourneau n° 2 (fig. 4 et 5), sauf la hauteur, qui n'est que de 5 mètres du fond du creuset au gueulard, et qui est soufflé à la pression de 2 centimètres de mercure, par deux tuyères seulement, plongeant sous un angle de 3° 1/2 à l'intérieur, est également pourvu d'un diaphragme et offre des dispositions analogues au précédent.

La matte grillée, ainsi qu'il vient d'être dit, est fondue dans le fourneau n° 2, avec un mélange de scories résultant de la réduction du cuivre noir, des scories d'affinage, des résidus des fourneaux, contenant du cuivre et des scories riches de la première matte. Les lits de fusion varient avec la nature des minerais ; voici cependant leur composition ordinaire :

Matte grillée	100 kilogrammes.
Matte mince.	20 —
Scories de la première fusion.	10 —
Résidus cuivreux	10 —
Quartz	10 —

Le fourneau marche avec la poitrine fermée, pourvue au bas d'une petite ouverture pour laisser échapper la flamme, et qui sert aussi à indiquer au fondeur l'allure de l'appareil.

On recueille trois produits qui se séparent par ordre de densité : du *cuivre noir* contenant de 88 à 95 pour 100 ; de la *matte mince*, renfermant de 50 à 72 pour 100 de cuivre, et de la scorie de cuivre noir, très-riche en oxyde de fer qui ronge énergiquement les parois du four, mais pauvre en cuivre. C'est cette matte mince qui s'ajoute au lit de fusion. Proportionnellement à la quantité des matières chargées, le rendement du cuivre noir varie de 20 à 30 pour 100.

Quant au four d'affinage, c'est le type des foyers des autres usines du pays, calqué sur les foyers analogues employés en Allemagne, et dont les dimensions varient avec l'état de pureté plus ou moins grande des cuivres noirs soumis à l'affinage. L'inclinaison des tuyères et la pression du vent dépendent également de la nature des matières, de la proportion des mé-

taux étrangers à expulser, et de la proportion du cuivre noir, répondant à la formule du cuivre panaché $3\text{Cu}^2\text{S} + \text{Fe}^2\text{S}^3$.

Le raffinage du cuivre noir, à l'aide du petit foyer donné pl. XI, fig. 7, s'accomplit dans les conditions ordinaires des usines où cet appareil est en usage.

On trouvait à l'Exposition, placée à côté des cuivres de la Suède, une note manuscrite sur le travail des mines d'Atvidaberg, dont j'extrais les détails suivants pour compléter ceux qui précèdent :

« Les mines de Bresbo forment la base de l'alimentation des usines ; celles du district métallifère occidental, Mormor-Hagg, Erin, Gronhog et Erikogrufrun, etc., n'y interviennent qu'en proportions restreintes. Les minerais, assez complexes, renferment de la pyrite cuivreuse, accompagnés de pyrite ordinaire, de chlorite, de quartz, etc. ; ils sont enclavés dans des roches de gneiss protogène.

« Les premiers sont grillés à un ou à deux feux, suivant la quantité de blende et de pyrite magnétique dont ils sont mélangés. Les seconds n'ont pas besoin de subir cette opération.

« En 1865, on a fondu pour mattes, dans sept fourneaux 27 928 tonnes de minerais, y compris 6 202 tonnes de scories, à la teneur de 1 pour 100, provenant de l'année précédente. Ce total de 27 928 tonnes contenait 4 010 tonnes de cuivre. Les analyses ont démontré, dans les lits de fusion, la présence de 20 à 22 pour 100 de cuivre, et, en outre, de 44 à 46 pour 100 de fer, de 5 à 7 pour 100 de zinc et de 25 à 28 pour 100 de soufre. On en a retiré 5 233 tonnes de matte cuivreuse.

« On fond par jour (vingt-quatre heures) et par fourneau 14 tonnes de lits de fusion qui produisent 21,05 de mattes. On consomme par tonne de mattes 1 473 kilogrammes de combustible, composé de 42 pour 100 de charbon de bois et de 58 pour 100 de coke anglais ; par rapport au volume du coke, le charbon de bois se trouve comme 8 : 22.

« La matte, concassée en morceaux de $0^{\text{m}^3},21$ à $0^{\text{m}^3},27$, est grillée en tas, à six feux, avant d'être envoyée à la fonte pour cuivre noir. Un tas renferme 5 100 kilogrammes de matières, subissant une perte de 1 1/2 à 3 pour 100.

« La matte ainsi grillée est fondue avec un mélange des scories de la première fusion et un peu de quartz ; on la repasse ensuite dans un fourneau plus petit, chauffé au charbon de bois seul, donnant le cuivre noir pour le raffinage, un peu de *matte mince* très-riche et des scories ferreuses.

« On a passé, pendant la campagne de 1865, 5 199 tonnes de mattes grillées à six feux, qui ont produit 972^t,7 de cuivre noir. Un fourneau absorbe en vingt-quatre heures 10^t,75 de lits de fusion, rendant 1 487 kilogrammes de cuivre noir et exigeant une consommation de 237 kilogrammes de charbon de bois pour 100 kilogrammes de cuivre noir.

« Le cuivre noir renferme 92 à 93 pour 100 de cuivre pur, 2 à 3 pour 100 de fer et environ 1 à 2 pour 100 de zinc.

« Le cuivre noir est traité dans les bas foyers, ou dans un four à réverbère. On a recours, à Atvidaberg, au réverbère d'affinage construit par le docteur C.-Th. Bottger, d'Eisleben.

« Dans l'année 1865, 571^t,37 de cuivre noir affiné au bas foyer ont rendu 494 tonnes de cuivre raffiné, tandis que 380^t,33 passées au réverbère ont produit 301^t,98 de cuivre marchand. Dans le premier cas, 100 kilogrammes de cuivre raffiné ont motivé une consommation de 50 kilogrammes de charbon ; dans le second cas, on a brûlé, pour la même quantité de cuivre affiné, 56 kilogrammes de charbon de bois.

« Il résulte de l'ensemble de ces diverses manipulations que les 5 199 tonnes de mattes grillées, ayant produit 796 tonnes de cuivre affiné, ont donné un déchet de 207^t,53, soit une perte de 20,67 pour 100 sur le traitement initial des minerais, le titre du cuivre contenu dans la matte étant calculé d'après la teneur de ceux-ci.

« On n'a pas encore pu établir la relation qui existe dans les pertes propres à chaque opération et dans quels rapports ces pertes interviennent respectivement de l'une à l'autre. »

Je laisse au lecteur le soin de tirer les conclusions que ces faits peuvent suggérer.

Usines allemandes. — Les cuivres du Mansfeld et du Harz,

étalés dans la belle et si complète exposition métallurgique de la Prusse, fourniraient des exemples non moins intéressants du traitement des minerais de cuivre par la méthode allemande et l'occasion de faire voir la diversité des fourneaux de réduction ; mais ce serait risquer de tomber dans des redites, ou de revenir sur des procédés qui se trouvent depuis longtemps décrits.

Il nous semble plus utile de nous arrêter sur les usines de Stadtberg, en Westphalie ; elles nous permettront de parler d'une autre méthode de traitement, la *voie humide*, qui s'adapte plus spécialement aux minerais pauvres. Cette méthode, seule ou combinée avec la voie sèche, s'exerce à Stadtberg et dans d'autres lieux sur une certaine échelle, et mérite d'être comparée à celle-ci ; elle peut, en effet, dans la plupart des cas, lui être substituée avec avantages.

§ V.

TRAITEMENT DES MINERAIS DE CUIVRE CARBONATÉS VERTS ET BLEUS PAR LA VOIE HUMIDE.

Méthode de Stadtberg. — Les minerais de cuivre de Stadtberg se trouvent en partie dans la formation du *Zechstein* (calcaire magnésien), et en partie dans les schistes dévoniens qui en forment le mur.

Les gisements principaux forment des failles (*Rücken*) remplies de schiste siliceux et d'argile ; mais la roche encaissante est en partie injectée de minerai et de manière à pouvoir être exploitée sur de grandes étendues.

Le cuivre carbonaté a pénétré dans une foule de petites fissures de la roche siliceuse (une espèce de *phlannite*) ; ce minerai n'a qu'une teneur moyenne de 1 1/2 à 3 pour 100. Le minerai des failles contient généralement plus de 6 à 10 pour 100 de cuivre ; une petite partie s'y trouve encore à l'état de sulfure, atteignant alors la teneur de 40 pour 100.

Un premier triage se fait dans la mine, pour séparer le sulfure des carbonates ; un second triage s'opère au jour.

Les sulfures ainsi recueillis sont traités par la voie sèche, dans un *fourneau à manche*, avec les crasses d'un fourneau à réverbère, dans lequel sont fondus le cuivre de cémentation et les crasses de l'affinage. Le rendement moyen de ces sulfures est de 20 pour 100.

Les minerais carbonatés, dont la richesse moyenne n'est que de 2 1/2 à 3 pour 100, sont traités par l'acide sulfurique, de la manière suivante :

La plupart des minerais se trouvent déjà, au sortir de la mine, en morceaux de la grosseur d'une *noix* ou de petites *noisettes*. Les morceaux plus gros sont concassés à la main, et séparés ainsi des parties stériles et des sulfures qui peuvent encore s'y trouver mélangés. On passe ensuite le minerai dans un trummel, pour le classer suivant la grosseur du grain, et en même temps pour le délivrer de la boue adhérente.

L'extraction du cuivre a donc lieu à Stadtberg par trois procédés distincts :

A. Par le premier, tous les minerais renfermant plus de 3 pour 100 de cuivre sont traités par la méthode ordinaire (environ 50 tonnes par an).

B. Avec le second, les minerais contenant de 1 à 3 pour 100 de cuivre sont dissous dans l'acide sulfurique. Le cuivre est précipité par le fer. Le cuivre de cémentation, lavé, est traité pour cuivre rosette et pour cuivre en barres (*hammergaar*). Mais ce traitement n'est avantageux qu'autant que les minerais ne renferment pas plus de 1 pour 100.

C. Pour les minerais de 1 pour 100 et au-dessous, on applique depuis peu, dans les deux plus grandes usines de la Compagnie, un nouveau procédé qui permet de traiter dix fois plus de minerais (60 000 tonnes au lieu de 6 000, que par l'emploi de l'acide sulfurique seul.

Je ne m'arrêterai qu'à ces derniers.

Procédé B.

Pour être soumis à l'action des vapeurs sulfuriques, on entasse le minerai dans des caisses en maçonnerie (*Säuer*

Kasten), de 50 mètres carrés environ de superficie et de 1^m,50 de profondeur. A 40 centimètres au-dessus du fond, on forme une grille par des solives de bois, posées sur un retrait ménagé dans la maçonnerie, et soutenues par plusieurs traverses.

On charge d'abord sur cette grille le minerai le plus gros. Sur cette première couche on étend une seconde couche de minerai à grains moyens, et enfin sur celle-ci une troisième formée avec les grains les plus fins. En été, quand les boues sont bien sèches, on en charge également une partie.

Chaque caisse contient environ 75 000 kilogrammes.

De quatre jours en quatre jours, on retourne la couche supérieure avec une pelle, afin que tous les grains soient bien exposés à l'action des vapeurs de l'acide sulfurique.

On laisse ainsi le minerai exposé à la lixiviation, jusqu'à ce que toutes les parties vertes ou bleues soient entièrement dissoutes, ce qui a lieu ordinairement au bout de vingt-cinq à vingt-huit jours.

On fait alors écouler la solution par un robinet, disposé au fond de la caisse sous la grille, dans un réservoir où la cémentation s'opère; puis on lave le minerai avec de l'eau, pour enlever les dernières traces de la lessive.

A chaque caisse est adaptée une pompe, avec laquelle on puise la lessive de temps en temps. Quand la lessive n'est pas entièrement concentrée, après la lixiviation complète du minerai chargé, on s'en sert pour arroser le minerai placé dans une autre caisse. Cet agencement est représenté par la coupe de l'usine (pl. XI, fig. 6).

La cémentation se fait avec des rognures de tôle de fer (riblons), qui servent six fois. Après chaque cémentation, on lave les riblons dans des cribles; une grande partie du cuivre tombe en poudre, et ce qui reste adhérent est détaché à la main. Le ciment contient, à l'état humide 64, à l'état sec 80 à 85 pour 100 de cuivre pur. Il est fondu dans un fourneau à réverbère pour cuivre noir, que l'on affine, couvert de coke (l'ancienne méthode allemande) sur une sole libre (*Gaarherdt*) et sous l'action d'une tuyère.

La poudre fine de cuivre de ciment, obtenue au lavage, est fondue pour cuivre noir dans le fourneau à manche, avec des sulfures et les crasses.

La lessive résultant de la cémentation est concentrée dans des bassins de plomb, après quoi on fait cristalliser le sulfate de fer.

Procédé C.

Les dissolvants employés dans le second procédé, ou procédé C, sont les suivants ⁽¹⁾ : 1° les eaux mères provenant de la fabrication du sulfate de fer; ces eaux mères contiennent des sulfates de protoxyde et de sesquioxyde de fer et du sulfate d'alumine; 2° de l'acide chlorhydrique; 3° des liqueurs de cémentation renfermant du sulfate et de l'acétate de protoxyde de fer.

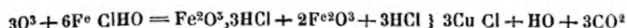
L'action des dissolvants 1 et 2 est connue; celle de l'acétate de protoxyde de fer l'est beaucoup moins. Le chlorure de fer seul exerce une faible action dissolvante sur le carbonate de cuivre. La décomposition s'opère si lentement et si superficiellement, qu'il n'y a pas avantage à recourir à ce réactif. Avec l'acétate de fer au contraire, les résultats sont très-remarquables.

Toutes les liqueurs, d'où l'on a précipité le cuivre par le fer, sont soumises à l'influence de l'air comprimé. Ces liqueurs sont soutirées dans une grande citerne en bois, de 1^m,60 de hauteur, au milieu de laquelle est placé un tuyau vertical de 5 centimètres de diamètre intérieur. A ce tuyau sont fixés, près du fond, quatre bras équidistants et horizontaux; chacun de ces bras est perforé par une rangée de trous espacés de 2 centimètres. L'air est refoulé dans le tube central par une pompe; le liquide prend ainsi un mouvement de rotation qui permet d'achever l'oxydation de la masse liquide, en quinze minutes environ.

(1) Cette notice m'a été communiquée, par le docteur Percy, qui l'a reçue manuscrite du docteur G. Rentzky.

La liqueur est alors ramenée par une pompe sur les minerais et aérée de nouveau de la même manière.

Voici la formule qui a été donnée pour expliquer la réaction sur du carbonate de cuivre (3CuOCO^2) :



Les liquides soumis à l'influence de l'air comprimé sont d'excellents dissolvants; ils servent continuellement et ne sont jamais rejetés. L'extraction du cuivre dure dix jours, dans l'ordre suivant :

1^{er} *jour*. — Minerai neuf; liqueurs à peu près neutres, c'est-à-dire à peu près saturées de cuivre.

2^e *jour*. — Les liqueurs du jour précédent sont écoulées sur du fer pour la précipitation, et de nouvelles liqueurs à peu près neutres sont versées sur les minerais.

3^e *jour*. — Les liqueurs du deuxième jour séjournent sur le minerai.

4^e *jour*. — Les liqueurs sont écoulées pour la cémentation; puis, après avoir été débarrassées du cuivre qu'elles contenaient, elles sont foulées par l'air comprimé et ramenées sur le minerai.

5^e *jour*. — Les mêmes liqueurs séjournent sur le minerai, en ayant soin d'insuffler l'air de temps en temps.

6^e *jour*. — Les mêmes liqueurs sont additionnées de la moitié de l'acide chlorhydrique nécessaire.

7^e *jour*. — Les mêmes liqueurs sont mélangées avec l'autre moitié d'acide chlorhydrique.

8^e *jour*. — Les liqueurs du jour précédent sont élevées par la pompe, sur du minerai neuf déposé dans un autre réservoir. Le minerai déjà lavé est repris par l'eau provenant des *abzüssen* (résidus) du ciment de cuivre.

9^e *jour*. — Le lavage se poursuit à la température de 50 à 60 degrés Réaumur.

10^e *jour*. — Le minerai, débarrassé de tous les résidus de cuivre, est mis en tas et remplacé.

Les vapeurs d'acide sulfurique qui sont employées pour

le traitement des minerais de cuivre sont produites de la manière suivante :

Un fourneau à cuve, de 5 mètres de hauteur environ, ayant 1^m,35 de diamètre au ventre, 50 centimètres au gueulard et 1 mètre au creuset et dont les tuyères sont placées à 1^m,20 de la sole, est rempli de *blende* ou de *pyrite*. Pour mettre le fourneau en feu, on charge un peu de combustible, au fond sur la sole ; à l'aide du vent que les tuyères lancent dans le fourneau, les sulfures commencent bientôt à s'oxyder, et, une fois le fourneau allumé, les sulfures continuent à brûler seuls, sans autre consommation du combustible. La charge du fourneau est de 1 000 kilogrammes environ, qui y restent vingt-quatre heures. Sur chaque charge on introduit 1 kilogramme de *nitre* et 2 kilogrammes de *sel marin*.

Toutes les vingt-quatre heures (à Linz cela se fait deux fois et même trois par vingt-quatre heures), on tire par la porte, qui se trouve au bas de la sole, toute la *blende* placée sous les tuyères, et qui est en grande partie désulfurée, puis l'on introduit une nouvelle charge par le gueulard. La *blende*, grillée ainsi, est retirée du four, triée et lavée, et toute celle qui n'est pas encore suffisamment désulfurée est repassée avec la charge suivante.

Les vapeurs d'acide sulfurique qui se forment pendant le grillage s'échappent par un canal maçonné situé près du gueulard ; elles se réunissent, avant de descendre sous la grille, dans des caisses de lixiviation, avec des vapeurs d'eau, qu'on produit dans des chaudières plates. Il se forme ainsi des vapeurs d'acide sulfurique aqueux, qui descendent par des canaux maçonnés sous la grille des caisses où le minerai est entassé ; ces vapeurs pénétrant de là dans toutes les fissures du minerai, dissolvent alors le cuivre, en dégageant l'acide carbonique, et tombent, après s'être condensées goutte par goutte, au fond des caisses.

Les chaudières affectées à la production des vapeurs d'eau ont 8^m,25 carrés de surface.

Un four à cuve fournit avec une chaudière les vapeurs nécessaires pour deux caisses de lixiviation.

L'usine de Stadtberg, composée de l'ancienne usine et de la nouvelle, renferme actuellement six fourneaux à cuves, six chaudières, douze caisses de lixiviation. Elle consomme journellement 150 000 kilogrammes de minerai, soit environ 4 500 tonnes par an. Sa production s'élève à 120 tonnes de cuivre et à 900 tonnes de sulfate de fer.

Méthode de Huelva. — Les gites de pyrites de fer cuivreuses traitées dans le sud-ouest de l'Espagne, notamment ceux de Tharsis et de Calañas, qui appartiennent à la Compagnie des mines de Huelva, se rencontrent dans les schistes de transition, sous forme d'amas lenticulaires qu'on a comparés, avec assez de raison, à la carène d'un navire. Le grand axe de ces amas dépasse souvent 1 000 mètres, tandis que le petit axe est à peine de 100 à 120 mètres.

A Tharsis, ainsi qu'à Rio-Tinto, les principaux gisements sont limités par des salbandes d'argile blanche; à leur contact s'élèvent des roches quartzo-ferrugineuses, désignées sous le nom de *crestones*. Ces salbandes renferment une roche rouge, désagrégée et friable, à noyaux d'oxyde de fer, souvent ravinée par suite des pluies et offrant des dépressions plus ou moins considérables.

A Calañas, la masse minérale, est recouverte en grande partie par des schistes stratifiés plus ou moins ferrugineux; elle est divisée en deux parties inégales par un énorme coin de grauwaacke intercalé dans le minerai.

Le minerai, généralement pur, ne nécessite pas de triage. Sa teneur en cuivre varie de 2 à 6 pour 100 et atteint quelquefois 12 pour 100; mais la masse ne dépasse guère 2 1/2 pour 100 en moyenne.

En 1859, le prix de revient du minerai exploité à ciel ouvert, basé sur une extraction annuelle de 60 000 tonnes environ, était évaluée à 5 fr. 25 c. par tonne; celui du minerai exploité par puits et par galeries, calculé sur une extraction annuelle de 25 000 tonnes environ, revenait à 9 fr. 20 c. Ces derniers minerais, les plus riches, sont destinés à l'exportation et vendus en Angleterre aux usines de

produits chimiques qui en extraient d'abord le soufre ; les résidus sont mis de côté et réservés pour le traitement du cuivre. La teneur des minerais traités sur place pour cuivre varie de 2 à 3 pour 100.

La calcination des minerais se fait à l'air libre et dans des fours. La première manière est employée à Tharsis pour le minerai en morceaux ; la seconde n'est appliquée que pour le minerai menu ou en poussière.

Dans le grillage à l'air libre, le minerai est concassé en morceaux de 5 ou de 6 centimètres. Les tas ont la forme d'un prisme triangulaire terminé par des pyramides obliques à base quadrangulaire ; ils sont connus dans le pays sous le nom de *taleras*. Les menus sont étendus en forme de sole rectangulaire de 10 mètres sur 5 mètres et entourés à la base d'un cordon de fagots. Au-dessus, le minerai est entassé et recouvert de menus non grillés des opérations antérieures, ou de résidus de lavage des opérations suivantes. Le feu est mis aux quatre angles, et la durée du grillage est de six à sept mois. Les *taleras* renferment chacun 140 tonnes environ ; par les moyens usités aujourd'hui à Tharsis, on obtient à peu près 1 1/2 pour 100 de cuivre. Avec un ensemble de 200 *taleras*, renouvelé deux fois l'année, on arrive à une production de 600 à 800 tonnes de cuivre brut.

La tonne de minerai grillé correspond en moyenne à 1,28 tonne de minerai cru.

Pour régulariser le grillage des tas, empêcher la fusion partielle, diminuer la fumée et mettre à profit, en le sulfatissant, une bonne partie du cuivre qui reste dans le menu, on recouvre les tas d'une couche épaisse de menu grillé au four et lavé. La couverture des *taleras* est une excellente opération, à la condition toutefois de séparer du traitement ultérieur les couvertes, sous peine de produire des cuivres de qualité plus inférieure. En effet, l'arsenic, qui, dans les tas découverts, s'échappe en grande partie avec l'acide sulfureux, peut en se volatilissant, dans les tas couverts, se condenser presque en totalité sous la couche de menu, ainsi qu'il est facile de s'en assurer en examinant la couche mince de

poussière blanche d'acide arsénieux et les cristaux qui tapissent toutes les fissures.

Le minerai en poussière est grillé dans les fours à réverbère. Ces fours sont au nombre de cinquante. Leur tirage se fait au moyen de canaux rampants qui vont se réunir à des cheminées verticales construites sur la partie supérieure du terrain auquel les fours sont adossés. Bien que ce système de grillage produise de bons résultats, tant sous le rapport du rendement que sous celui de la qualité du cuivre, il ne faut cependant le considérer ici que comme un accessoire.

Les fours à réverbère, fort ordinaires, sont construits en briques communes ; ils grillent le menu avec une faible consommation de combustible, environ 3 pour 100 de son poids. Encore est-il indispensable, comme l'opération ne s'effectue bien que sur la poussière, de séparer les grenailles qui restent d'ordinaire à l'état d'incuit, à cause de la faible température des fours. La séparation des grenailles s'opère à l'aide d'un crible cylindrique.

Le minerai, grillé en tas et dans les fours, est transporté à l'aide de petits chemins de fer, dans cent cinq bassins disposés sur trois rangées, parallèles entre elles et avec les fours.

L'opération de la dissolution est des plus simples : les bassins sont en maçonnerie, revêtue d'un enduit bitumineux et munis d'un plancher supportant le minerai, et qui permet la circulation de l'eau. Les bassins une fois chargés de minerai calciné, on y introduit les eaux qui arrivent par la galerie d'écoulement, se réunir de tous les points des travaux, dans un bassin pratiqué à cet effet. A leur défaut, on a recours en temps de pluie aux eaux de la Tiesa, et à celles qui sont retenues par la digue derrière laquelle on dépose les minerais déjà lavés. Grâce à cette digue, on peut arriver à emmagasiner des eaux très-chargées de cuivre, et par cela même à augmenter dans une assez forte proportion la production annuelle.

On fait passer sept ou huit fois les eaux dans les bassins, sans renouveler le minerai ; elles y restent chaque fois vingt-quatre heures ; après ce laps de temps, le minerai lavé est remplacé par des matières neuves.

En 1859, on ne lixivait qu'avec cinq eaux. La première eau séjournait un quart d'heure dans les cuves, puis on la laissait couler :

la 2 ^e	eau séjournait	24 heures ;
la 3 ^e	—	— 48 —
la 4 ^e	—	— 48 —
la 5 ^e	—	— 48 —

Réunies, ces eaux cubaient environ 50 mètres cubes. Le chargement et le déchargement exigeaient chacun un jour.

Les eaux de chacun de ces lavages successifs sont recueillies dans des bassins de décantation, dans lesquels les eaux, de richesses diverses, se mélangent et laissent déposer les particules terreuses qu'elles tiennent plus ou moins en suspension, lors de leur sortie des bassins de dissolution. De ces bassins de décantation, représentant un volume de 48 mètres cubes environ, les eaux chargées de sulfate acide de cuivre sont dirigées dans les bassins de cémentation, où l'on a, au préalable, déposé des lingots de fonte ; là s'opère à l'état métallique la précipitation du cuivre sur le fer. Le nombre des bassins de précipitation est de 33 ; leur volume total représente en été le tiers de celui des bassins de dissolution, mais en hiver, il en faut au moins la moitié de plus, sous peine d'avoir à agiter constamment le liquide pour activer l'opération.

Ces bassins, qui mesuraient 5 mètres sur 4 mètres, avec 1^m,25 de profondeur, recevaient de 15 à 16 mètres cubes de liquide, et de 10 à 20 tonnes de fonte de fer en gueusets rangés sur le plancher, avec autant de vides que possible. La précipitation durait en été vingt-quatre heures et le double en hiver. Le chargement et le déchargement de la fonte, la sortie des ciments et des boues (*cascara*, *papucha*, etc.) duraient douze heures.

Le produit de l'opération s'élevait en moyenne à 1400 kilogrammes de *cément*, perdant 30 pour 100 au séchage. La teneur ordinaire de la *cascara* sèche est de 45 pour 100 de cuivre.

Pour le traitement des minerais grillés en tas, il convient

DÉSIGNATION DES DÉPENSES.		JANVIER — 105 590 kilogr.			FÉVRIER — 89 580 kilogr.			MARS — 105 550 kilogr.			AVRIL — 119 000 kilogr.			MAI — 119 070 kilogr.			JUIN —		
		Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.
Main- d'œuvre.	Surveillance	730 »			1 008 »			806 »			768 »			806 »					
	Chargement des chars....	7 266 »			6 636 »			7 938 »			6 743 50			7 062 »					
	Voituriers de la Compagnie....	7 859 50			» »			» »			» »			» »					
	Voituriers à journée.....	» »			7 501 »			8 649 »			8 711 50			8 455 25					
	Chargement et déchargement cementadores	3 475 50			2 502 »			2 610 »			2 610 »			2 853 »					
	Chargement et déchargement disolvedores	9 291 »			7 461 75			9 460 50			9 371 50			9 269 »					
	Dissolution.....	5 849 55			1 341 »			3 506 50			1 553 »			1 829 »					
	Remuage des eaux.....	» »			2 991 50			» »			2 674 49			1 828 11					
	Séchage et pesage (Cascara)...	2 269 74	44 438 23	421 65	1 981 »	34 938 27	390 02	2 078 50	39 854 36	378 30	1 967 44	38 645 66	324 75	2 202 87	39 205 75	329 26			
	Séchage et pesage (Papucha et ch ^e console).....	1 499 86			219 »			378 50			326 »			112 50					
	Séparation du minéral.....	1 032 »			745 »			945 »			965 »			1 254 50					
	Réparations. — Bassins.....	4 642 83			1 852 02			2 637 36			2 370 23			2 588 02					
	Réparations. — Outils et rigoles.	» »			» »			» »			585 »			945 50					
	Service des pompes.....	822 25			700 »			845 »			» »			» »					
Fournitures de magasin.	Huile.....	40 50			69 92			33 97			32 40			66 60					
	Fers.....	97 168 78			82 910 58			93 143 05	94 752 46	899 40	95 947 14	98 993 34	831 87	95 825 25	96 406 76	809 66			
	Bois.....	» »			» »			» »			250 »			» »					
	Divers.....	1 607 80	98 817 08	937 63	3 465 38	84 445 88	942 68	1 575 44			2 763 80			514 24					
Fournitures des ateliers.	Fournitures des ateliers	» »			Etuves 556 50	1 392 50	15 43	» »	» »	» »	» »	1 323 45	11 12	» »	» »	» »			
	Fournitures des combustibles.	849 50	849 50	8 06	Asphalte. 826 »	7 859 52	87 73	» »	295 »	2 80	» »	358 50	3 01	» »	791 50	6 64			
	Emploi des bêtes.....	8 580 »	8 580 »	81 41	» »	» »	» »	» »	112 »	1 06	» »	9 052 24	76 06	» »	8 915 87	74 87			
	Amortissement du matériel de service.....	» »			» »	» »	» »	» »	8 548 23	81 14	» »	» »	» »	» »	» »	» »			
	Dépenses diverses	» »	152 684 81	1 448 75	» »	» »	» »	» »	» »	» »	» »	» »	» »	» »	680 »	5 71			
Dépenses réparties	Minéral calciné.....	» »	178 673 60	1 695 35	» »	138 520 84	1 546 43	» »	196 854 17	1 868 57	» »	195 685 60	1 644 41	» »	186 438 17	1 565 78			
	Frais généraux.....	» »	2 009 »	18 97	» »	2 000 »	22 32	» »	2 000 »	18 98	» »	2 000 »	16 80	» »	2 000 »	16 79			
		» »	333 358 41	3 163 09		269 156 01	3 004 64	» »	342 416 22	3 250 27	» »	346 058 79	2 908 05	» »	334 438 05	2 808 75			

N B — Les chiffres représentent des réaux et des centièmes de réal. Le réal de Vellon est calculé au change fixe de 19 réaux pour 5 francs soit 0,2631 p. réal.

FRAS DIRECTS DE CALCINATION

DÉSIGNATION DES DÉPENSES.		JANVIER — 3 115 020 kilogr.			FÉVRIER — 4 922 600 kilogr.			MARS — 2 934 850 kilogr.			AVRIL — 4 381 450 kilogr.			MAI — 2 983 500 kilogr.			JUIN —					
		Sommes	Totaux.	Moyenne	Sommes.	Totaux	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.	Sommes	Totaux	Moyenne.	Sommes.	Totaux.	Moyenne.			
Main- d'œuvre.	Surveillance.....	1 054	»		»	»		744	»		720	»		744	»							
	Cassage du minéral.	3 645	48		672	»		4 778	62		1 998	24		1 914	»							
	Criblage.....	»	»		»	»		»	»		»	»		»	»							
	Charge en teleras de première.	6 253	21		3 435	75		3 947	05		7 500	»		7 160	11							
	Charge en teleras lavé.....	1 721	37		9 636	50		3 492	09		1 744	72		808	50							
	Affiquoleurs	277	50		2 198	35		249	25		197	50		235	25							
	Capeadores.....	»	»	5 44 ³	189	50	21 771 03	4 42 ⁷	500	»	21 280	»	7 25	»	»	19 944 94	6 68 ³					
	Criblage, résidus lavés.....	2 140	11		2 828	35		3 229	25		2 940	29		1 845	98							
	Descapadores	960	»		80	»		»	»		»	»		»	»							
	Séparation.....	913	61		1 895	58		2 182	24		2 104	99		2 932	98							
	Calcination de la poussière riche	»	»		»	»		1 331	50		2 536	75		3 548	»							
	Travaux divers.....	»	»		835	»		826	»		1 476	»		766	12							
	Fournitures de magasin. Ateliers	»	»	1 967 50	»	63 ¹	»	»	361	»	»	12 ³	»	»	251	»	»	05 ⁷	»			
	Fournitures de combustibles pour teleras... ..	2 273	»		16 486	78	»	»	»	»	2 273	50		2 338	»							
	Fournitures de combustibles pour fours.	197	82	2 470 82	»	79 ⁴	11 906 68	4 580 10	»	93	990 77	3 264 27	1 11 ¹	4 266 96	»	97 ³	»	4 836 49	1 62			
Fournitures de magasin.	Amortissement du matériel 1/2 réal p. T.	»	»	1 557 51	»	50	»	»	2 461 30	»	50	»	»	2 190 72	»	50	»	»	1 491 65	»	50	
	Frais divers. Emploi des bêtes..	»	»	1 532 86	»	49 ⁷	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12	»	06	
	Huile.....	»	»		»	»	22 08	»	»	33 12	»	»	»	10 80	»	»	18	»				
	Divers.....	»	»		»	»	828 50	»	47	»	2 522	»	»	»	»	48 ⁹	»	2 018	»	67 ⁵		
														2 131 50			2 000	»				
	Minéral cru.....	»	»	97 219 77	»	31 21	»	»	149 799 64	»	30 43	»	»	87 212	»	29 71	»	»	123 605 08	»	28 21 ¹	
	Frais généraux.....	»	»	2 000	»	»	»	»	2 000	»	»	»	»	2 000	»	»	»	»	2 000	»	»	67
		»	»				181 824 65	»	36 93	»	»	»	»	118 439 81	»	40 25	»	»	155 644 55	»	35 52 ¹	

N. B. — Les chiffres représentent des réaux et des centièmes de réal. Le réal de Vellon est calculé au change fixe de 19 réaux pour 5 francs, soit 0f,2631 p. réal.

de séparer le minerai employé aux couvertes des taleras, qui interceptent l'acide arsénieux. En effet, cet acide, en se dissolvant, vient se précipiter dans les bassins de cémentation à l'état de sous-arséniate de fer, qui se mélange en grande partie avec la *cascara*. En traitant les couvertes à part, on obtient, il est vrai, un peu de cuivre très-mauvais, mais la plus grande partie de la production est alors d'une qualité supérieure. On peut encore améliorer le produit, en séparant avec soin les sous-sulfates et la *papucha* de la *cascara*, au lieu de les réunir et de les fondre tout ensemble.

D'après les comptes de fabrication de l'année 1859, qui nous ont été remis par notre ami M. V. Baron, on calculait ainsi les frais de calcination du minerai :

Minerai 1,250 kilogrammes.	6 fr. 60
Frais de toute nature	2 60
Prix de la tonne grillée. . . .	9 fr. 20

La perte au grillage est de 25 pour 100.

D'autre part, pour une production de 100 à 120 tonnes de *cascara* ou de ciment, par mois, le prix de revient, tous frais compris, était de 750 francs environ par tonne. Le minerai grillé entre dans ce prix pour 425 à 450 francs.

Les tableaux ci-contre reproduisent les détails du prix de revient du minerai calciné et de la *cascara* durant le premier semestre de 186...

La *cascara* due à la précipitation par le fer est traitée sur place.

Les bâtiments affectés à la fonderie de Tharsis sont assez complets pour suffire à une production beaucoup plus considérable que la production actuelle. Les fours sont soufflés par des soufflets de forge au lieu de ventilateurs; chaque soufflet est mis en mouvement par une brigade de quatre hommes (*palanqueros*), qui se relèvent chaque douze heures. Ces hommes sont payés à raison de 2 fr. 60 c. par jour, ce qui fait pour chaque soufflet et pour chaque four une dépense de 20 fr. 80 c. par vingt-quatre heures. Les fours à manche, très-bas, sont desservis chacun par un soufflet; un four peut

donner trois tonnes de cuivre noir par vingt-quatre heures. Les soufflets coûtent généralement de 750 à 800 francs, et leur durée ne dépasse guère trois ans. Des ventilateurs pouvant souffler à la fois à deux fours à manche et deux bas foyers remplaceraient avantageusement ce système de soufflets.

Les transports de Tharsis à la mer, ou au Charco, sur la rive droite de l'Odiel, que les navires peuvent remonter à 18 ou 20 kilomètres du port de Huelva, se font au moyen de chars à deux roues portant de 2 à 3 tonnes et ordinairement attelés de trois mules. Presque tous les transports intérieurs se font par de petits chemins de fer à traction animale.

Les usines de Calañas sont situées dans la vallée où débouche la galerie d'écoulement des mines, à 65 mètres en dessous du niveau des ateliers de grillage, et à 1 kilomètre de distance horizontale de celle-ci. Le transport du minerai grillé aux bassins s'effectue, avec des charrettes à bœufs, par la route qui réunit les taleras à l'usine, ce qui augmente notablement le prix de revient.

Dans les deux localités dont il s'agit, le minerai rend environ 1,25 pour 100 de cuivre, et l'on consomme de 2 à 2,50 de fonte pour 1 de cuivre.

D'après M. Emile Bézard, qui dirigeait l'exploitation de Calañas, les résidus lavés, mis en magasin, contiennent encore du cuivre à l'état de sulfure et à l'état d'oxyde et de sous-sulfate renfermé dans les incuits et les noyaux de matte formés au centre des fragments de minerai. Ce cuivre se sulfatise à la longue, de sorte qu'en disposant convenablement les résidus et en ayant soin de les arroser, on peut encore retirer du métal à peu de frais. Les rigoles ou *canales* de Tharsis peuvent ainsi donner de 13 à 30 pour 100 du cuivre. Le prix du cuivre produit par ces rigoles serait environ :

Fonte, 2 pour 1 de cuivre.	290 fr. »
Nettoyage, transport, grillage des noyaux.	39 50
Fusion et repassage des scories.	52 »
Transport, droits de 3 pour 100 à l'Etat et navigation	93 »
	<hr/>
	474 fr. 50

Si l'on évalue le prix de revient moyen du cuivre cimenté directement, sans frais généraux, à 1 040 fr. 60 c., on aurait pour :

100 tonnes produites directement.	104 060 fr. »
Moins 15 pour 100 ou 15 tonnes de cuivre des rigoles à 474 fr. 50.	7 117 50
Total pour 115 tonnes.	96 942 fr. 50

soit par tonne, sans frais généraux, environ 970 francs.

Procédé de Mona-Mine. — Le procédé de Mona-Mine, tel qu'il était appliqué ces derniers temps, offre sur les précédents quelques modifications qui ressortiront des détails suivants.

L'eau utilisée provient de deux sources : l'eau de pluie qui, en traversant à la surface les déchets de la mine, se charge de matières minérales, et l'eau des travaux souterrains provenant de l'épuisement et de beaucoup la plus abondante.

Les bassins de précipitation ont une forme rectangulaire : 30 mètres de longueur sur 8 mètres de largeur et 50 centimètres de profondeur. Ces bassins sont remplis en partie de rognures et de débris d'ustensiles de fer-blanc. L'eau coule dans le premier bassin, passe par un robinet dans le second, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle ait traversé la série entière de bassins, dont le nombre varie suivant le volume d'eau, la proportion de cuivre dissous dans l'eau et le précipité obtenu dans les bassins inférieurs. L'eau sort toujours des bassins à l'extrémité opposée à celle où elle a été admise. Quand on décharge les bassins, on fait trois lots distincts du précipité ; le plus riche, qui provient des quatre premiers bassins, tient environ 13 pour 100 ; le précipité intermédiaire, recueilli dans les six bassins du milieu, renferme environ 8 pour 100 ; enfin le moins riche, qui contient 5 pour 100, est enlevé sur les bassins en *queue*, ou les plus bas. On fait des essais fréquents sur ces derniers, afin de s'assurer que le dépôt offre une teneur assez élevée pour être

traité avec avantage. Le fond de ces bassins est ondulé, à peu près, comme la tôle destinée aux toitures.

Au bout de dix semaines environ, et plus en hiver, on fait écouler l'eau des bassins avant de recueillir le dépôt vaseux. Pour cela, on rassemble les débris de fer sur les parties élevées du fond, après les avoir bien lavés dans l'eau qui est restée dans les sillons, et en avoir détaché toutes les particules de cuivre adhérentes au fer. Le liquide est mis en barils et transporté dans un réservoir de 21 mètres de longueur, de 6 mètres de largeur sur 1 mètre de profondeur, où on le laisse s'évaporer. La vase ayant acquis une consistance pâteuse, telle qu'on puisse la découper à la bêche, on la fait sécher au-dessus des fours à réverbère, à basse température et jusqu'à ce qu'elle ne renferme plus que 25 à 40 pour 100 d'eau.

On obtient encore du curage des bassins un produit désigné sous le nom de *rowings*, qui tient près de 30 pour 100 de cuivre. Après avoir enlevé la boue, les débris de fer les plus fins sont rassemblés, puis lavés et criblés sur un tamis percé de quatre trous par centimètre carré. Le sédiment recueilli représente les *rowings*.

On a recours à la méthode suivante pour la fusion :

1° Fonte pour matte au four à réverbère pendant quatre heures ; on obtient une matte renfermant 60 pour 100 de cuivre et des scories à 1 pour 100. Les scories servent de flux pour convertir le minerai grillé en cuivre brut.

2° Grillage et fonte de la matte précédente pendant douze heures, produisant une matte à 65 pour 100.

3° Grillage et fonte pendant vingt-quatre heures, qui donne une matte à 80 pour 100.

4° Rôtissage et fonte pendant vingt-quatre heures avec *fonds cuivreux* provenant du procédé d'épuration (*selecting process*), qui donne du cuivre à ampoules (*blister copper*), riche à 90 pour 100 environ.

5° Premier raffinage dont la durée est de vingt-quatre heures.

6° Enfin deuxième raffinage et affinage pendant vingt-quatre heures.

§ VI.

FOURNEAUX DE GRILLAGE.

En présence des applications de la voie humide et du développement de la fabrication de l'acide sulfurique avec les pyrites de fer et les pyrites cuivreuses, il n'est pas hors de propos de jeter un coup d'œil sur les appareils de grillage employés dans le traitement de ces matières, qui jouent d'autre part dans la production du cuivre un rôle assez significatif. Ils ont donné lieu en Angleterre à des usines spéciales qui ne fabriquent pas moins de 500 tonnes de métal par an, provenant exclusivement des pyrites de fer cuivreuses d'Espagne, de Norwége, etc., qui s'importent depuis quelques années dans ce pays avec un empressement que le prix élevé des soufres de Sicile semble particulièrement favoriser.

Le grillage des pyrites et des autres minerais sulfurés s'opère généralement dans des fours à grilles ou à moufles.

Dans les fours à grilles, tels que ceux de Stadtberg, dont il a été parlé, les minerais pulvérulents sont grillés sous la forme compacte, c'est-à-dire qu'on les mélange avec de l'argile ou des résidus vitrioliques pour en former une pâte qui est ensuite façonnée en briquettes. La chaleur que ces briquettes, une fois allumées, dégagent en se brûlant, suffit pour en griller de nouvelles qu'on ajoute successivement, de sorte qu'en chargeant périodiquement le four, l'opération se continue sans interruption.

Dans les fours à moufles, on étale les pyrites broyées sur des aires en terre réfractaire et chauffées en dessous par un foyer indépendant; l'air chaud circule sous les soles et revient au-dessus des moufles. On agite fréquemment les minerais avec un râteau, *stirring rabble*, de manière à renouveler fréquemment les surfaces pour que les sulfures métalliques puissent bien s'oxyder.

Ces deux modes sont imparfaits, coûteux, et, dans plusieurs cas, presque impossibles, du moins au point de vue de la production de l'acide sulfurique. Avec les fours à grilles, la conversion des minerais pulvérulents est chère, le grillage incomplet, les gaz moins sulfureux et partant d'un rendement médiocre en acide sulfurique; l'azotate de potasse consommé n'est plus en proportion avec la quantité d'acide recueillie. — Avec les fours à mouffles, le prix de revient du grillage s'accroît de la dépense du combustible et le brassage exige une certaine main-d'œuvre. D'un autre côté, le grillage, encore moins parfait que par la première méthode, émet des gaz plus pauvres en acide sulfureux.

Si l'on réfléchit qu'il se fabrique en Angleterre près de 6,000 tonnes d'acide sulfurique par semaine, on conçoit que cette énorme production, qui s'élève annuellement à plus de 330,000 tonnes, constitue un des éléments les plus précieux de l'activité industrielle du pays, et que toutes les tentatives qui concourent à développer cette production et à en amoindrir le prix de revient, aboutissent en même temps à abaisser le prix des produits chimiques nécessaires à tant d'autres fabrications, parmi lesquelles il suffit de nommer celles de la soude, du savon, des superphosphates, etc. En outre, on sait que dans le pays de Galles seulement, les fonderies de cuivre, ainsi que plusieurs auteurs l'ont démontré, laissent s'égarer dans l'atmosphère, à l'état de gaz, pour une valeur annuelle de 5 millions de francs de soufre contenu dans les minerais sulfurés. Il y a dans ce fait, et en dehors de l'influence délétère exercée par ces gaz empoisonnés sur l'économie animale et végétale, des questions d'une importance toute particulière dont le côté commercial ne pouvait échapper à l'attention, et c'est surtout dans cet esprit qu'ont été conçus les appareils qui devaient utiliser cette source permanente d'acide sulfurique. Parmi ceux-ci il convient de parler des fours Spence et de Gerstenhöfer.

Four Spence. — Ce four a motivé la prise d'un brevet

en 1861⁽¹⁾. Il peut servir au grillage des pyrites de cuivre, et pareillement, dit-on, au traitement des minerais de soufre. Il présente une aire de 15 mètres de longueur sur 2^m,75 de largeur ; la sole, légèrement inclinée, est chauffée par un foyer placé à la partie inférieure, de manière à aider à la combustion du minerai. Le minerai s'enfourne à la partie supérieure de la sole et se pousse progressivement vers le bas, où il est ensuite défourné. L'air qui alimente la combustion circule à l'inverse de la descente des matières, et vient, en descendant au bas de la sole, se mélanger avec les fumées nitreuses qu'il entraîne avec lui dans les chambres de plomb. Une charge de minerai met douze heures à parcourir la longueur du four ; chaque deux heures on la fait avancer de 2^m,50, en ayant soin de la remuer activement.

Les expériences auxquelles se sont livrés le docteur Percy et le docteur Angus Smith, pour apprécier le mérite de ce système de grillage, les ont autorisés à dire que le four Spence offrait, abstraction faite de la récolte d'acide sulfurique, des avantages évidents sur les appareils communément appliqués aujourd'hui au grillage des minerais de cuivre. Ce four a l'avantage d'opérer d'une manière continue, et, par ses dispositions, de soumettre les minerais à une température progressivement croissante, qui empêche la formation des grumeaux et réalise en même temps toutes les conditions d'un bon grillage.

D'après le rapport de ces savants⁽²⁾, on serait en droit d'attendre les avantages suivants de la fonte des minerais de cuivre associée à la fabrication de la soude, par le système Spence :

1° La perte de soufre subie par les fondeurs devient une source de bénéfice ;

2° Le fabricant de soude peut avoir pour rien ce qu'il n'obtient aujourd'hui qu'à prix d'argent ;

(1) A. D. 1861. 9 juillet, n° 1695. — Brevet P. S. Spence.

(2) Exposé des fours Spence par la Compagnie *Copper Smelting and chemical*.

3° L'association des deux fabrications, cuivre et soude, permet d'augmenter considérablement les sources de bénéfice;

4° L'inconvénient dû aux fumées sulfureuses répandues dans l'atmosphère disparaît;

5° La dépense est moindre pour utiliser des fours Spence que pour construire séparément des fonderies de cuivre et des usines à soude;

6° L'utilisation de l'acide sulfureux des fumées de cuivre ne modifie en rien le système actuellement suivi dans chacune de ces fabrications;

7° On peut évaluer, avec le four Spence, le bénéfice à 2 livres sterling (50 francs) par tonne de soufre obtenue, indépendamment de celui réalisé par la suppression du grillage dans la fabrication du cuivre.

Dans un second brevet additionnel pris au nom de Pierre et de J. Berger Spence ⁽¹⁾, la chaleur perdue des fourneaux de fusion est utilisée pour le grillage des minerais de cuivre. Le four de fusion est celui qui est ordinairement employé; le fourneau de grillage est le même que celui breveté par P. Spence.— Les deux fours communiquent par un carneau où le minerai grillé est entraîné directement par un plan incliné dans le four de fusion, situé à un niveau inférieur du premier. Nous n'avons pas à discuter le mérite de cette combinaison, que nous n'avons pu étudier et dont nous ignorons les résultats pratiques.

En ce qui concerne l'emploi des flammes perdues, faisons remarquer ici qu'en principe et au point de vue financier, leur utilisation est généralement fort contestable. On a essayé en Angleterre, comme partout, et ainsi que je l'ai tenté moi-même en Tyrol et en Suisse, plusieurs projets pour appliquer au grillage des minerais la chaleur perdue des fours de fusion; on y a d'ordinaire trouvé peu de profit. Il n'y a pas d'avantages de les appliquer dans les pays où le bas prix du charbon peut dispenser de recourir à des dispositions pour le moins embarrassantes. Presque toujours, les frais de

(1) A. D. 1864, 11 juin, n° 1452.

toutes sortes provoqués par l'établissement d'appareils accessoires s'élèvent au delà des économies que l'on cherche à atteindre. D'un autre côté, il est bien rare que ceux-ci puissent fonctionner utilement sans nuire à la marche de l'engin principal.

Four Gerstenhöfer. — Ce four est également breveté, et, comme le précédent, il est surtout destiné au grillage des pyrites de fer et de cuivre ; je laisse la parole à l'inventeur, M. Moritz de Gerstenhöfer, de Freyberg (Saxe), pour en faire la description ⁽¹⁾ :

« Nous avons pour but de griller économiquement les pyrites pulvérisées pour en retirer le soufre, avant de le convertir en acide sulfurique. Le minerai, en arrivant d'une manière continue dans le fourneau de notre invention, laisse, grâce à la température à laquelle il est soumis, le soufre se volatiliser rapidement.

« Ce fourneau consiste en une chambre verticale en briques réfractaires, pourvue d'une série de gradins horizontaux (en briques réfractaires) disposés uniformément à l'intérieur, afin d'intercepter et de répartir le minerai au fur et à mesure qu'il pénètre par les trémies. Ces trémies sont agencées de manière à intercepter les gros fragments de minerai, et leur alimentation est régularisée par des cylindres rotatifs appuyés dans les ouvertures de la voûte. La face supérieure des gradins est plane ; le minerai s'y accumule et glisse d'un gradin sur l'autre jusqu'à ce qu'il tombe au fond du four, après avoir été dépouillé du soufre qu'il contenait.

« Au niveau de chaque gradin, des ouvreaux sont ménagés sur la face extérieure du four, à l'aide desquels on peut nettoyer les gradins qui se seraient encrassés. L'extrémité des gradins, à l'arrière, s'appuie sur une cloison qui sépare le four proprement dit de la chambre à air chaud, garnie d'une série de tuyaux horizontaux. Le tuyau horizontal supérieur communique avec le haut d'un carneau ménagé dans la cloi-

⁽¹⁾ A. D. 1863, 11 septembre, n° 2245.

son, et le tuyau inférieur avec une chambre à air froid construite sous le four même. Cette dernière chambre est alimentée d'air froid par un ventilateur ou autrement et communique directement avec le four proprement dit ou avec les tuyaux à air. Une porte au niveau de la sole du four permet de retirer le minerai grillé ; une seconde porte permet d'installer une grille mobile pour charger le combustible et mettre le four en activité. Dès que la température voulue est atteinte, on enlève cette grille et on ferme cette seconde porte.

« Le minerai descend par les trémies ; l'air est refoulé dans le système de tuyaux et de carnaux indiqués, jusqu'à ce que le minerai arrive sous les gradins, après s'être échauffé dans son trajet d'un gradin à l'autre. Les gaz et les fumées dégagés sont entraînés de haut en bas dans la chambre à air, en chauffant les tuyaux contenant l'air extérieur, et débouchent dans une grande chambre, où ils déposent leurs poussières avant d'entrer dans les chambres à acide sulfurique.

« Les principaux avantages de ce nouveau four, d'après les essais faits aux usines royales de Saxe, sont les suivants :

« 1° Les minerais sur lesquels on opère sont à un état de division très-grand, de façon à ce qu'une plus grande surface exposée à l'action de l'air soit constamment renouvelée ;

« 2° L'air est amené forcément au contact des minerais ;

« 3° Les minerais sont distribués mécaniquement en quantités telles que le grillage est continu ;

« 4° Le tirage artificiel, créé mécaniquement, peut être réglé sur la quantité de minerais, sans que l'on ait à craindre les coups de vent, etc., comme avec les fours ordinaires ;

« 5° La chaleur développée par les minerais n'est pas entraînée en pure perte par les gaz, mais elle sert à chauffer le minerai neuf et l'air. »

Le four de M. M. Gerstenhöfer est représenté dans la planche XIII.

Fig. 1. Coupe verticale du four suivant 1 et 2 (fig. 3) ;

Fig. 2. Vue de face du four ;

Fig. 3. Coupe verticale du four suivant 3 et 4 (fig. 2) ;

Fig. 4. Coupe horizontale suivant 5 et 6 (fig. 1);

Fig. 5. Coupe horizontale suivant 7 (fig. 1);

Fig. 6. Vue de face des trémies;

Fig. 7. Coupe montrant les carnaux à air et les valves.

Le four est représenté ici comme étant en communication avec d'autres fours identiques.

« Après avoir fait sécher le minerai pulvérisé, on le jette dans les trémies *a*, pourvues de grilles *b* qui retiennent les pierres et les gros fragments de nature à être broyés par les cylindres. Le four est divisé en trois compartiments. Les cylindres *cc*, sont de la longueur des trémies; ils tournent lentement et amènent la pyrite par les ouvertures verticales *d* dans la chambre du four. Les plaques de fer qui surmontent les cylindres peuvent être enlevées quand on veut nettoyer les ouvreaux *d*. Les cylindres sont mus par des roues *e* et *e'* communiquant avec le moteur. Les minerais tombent sur les trois gradins supérieurs *f*, d'où ils glissent, après avoir atteint un certain angle d'inclinaison, sur les gradins inférieurs. Ces gradins, en briques réfractaires, sont de forme prismatique... — L'air est refoulé dans le carneau principal *h* qui court sous les fours (fig. 1 et 3) et par les carnaux *ii*, dans chacun des fours, puis dans les boîtes à air *k* (fig. 7), et enfin par les valves dans le carneau *l*, ou par le carneau *m*. Le carneau *l* conduit par la voie la plus courte aux parties inférieures du four; on ne l'emploie que lorsque la température trop élevée exige l'entrée de l'air froid. Le carneau *m*, aboutit aux tuyaux de poterie *nn* (fig. 3) superposés. A partir du tuyau le plus élevé, le courant se rabat par le carneau *o*, de la cloison (fig. 1) et débouche, au bas du four, sous les gradins. Dans le four même, le tirage, s'opérant à travers les gradins, active la température et entraîne l'acide sulfureux; au sortir du four par l'orifice *p* (fig. 1 et 3), les gaz descendent forcément en chauffant l'air des tubes de poterie *n*, et s'échappent à la partie inférieure *q*, dans le carneau *r*, qui mène à la chambre *s*, où ils déposent les poussières et l'acide arsénieux provenant du grillage. Cette chambre est pourvue de plaques de fonte sur lesquelles on étend la pyrite en poudre pour la sécher. Les

minerais grillés sont expulsés par la porte hermétiquement close *t*. Au-dessus de cette porte, un espace libre permet d'introduire les barreaux *uu*, de la grille, servant à la mise à feu et au chargement.

« Le mur de face du four est construit de telle façon qu'il y ait des ouvreaux *vv*, entre chaque rangée de gradins; ces ouvreaux se ferment par des portes mobiles ou par des caisses en fonte avec tampons *v'*. Ils servent à décrasser les gradins.

« Au début du grillage, le feu s'allume avec du bois sur les barreaux *uu*, puis avec du coke, jusqu'à ce que le four soit au rouge. On enlève alors la grille *uu*, on ferme par une porte l'espace de chargement, on fait marcher le distributeur et l'on donne ensuite le vent. Le grillage continue sans interruption pendant que les pyrites tombent et que les gradins ne sont pas encombrés. Pour éviter l'agglomération des minerais riches par le sulfure formé sur les gradins, on mélange ces minerais avec du minerai déjà grillé, ce qui abaisse la température. »

Je m'arrête à ces derniers détails; ils suffisent pour démontrer l'étendue des moyens de la science métallurgique, la multiplicité de ses tentatives et de ses progrès.

En insistant sur les différents procédés de traitement des minerais pauvres, j'ai tenté de faire voir que le travail de ces matières avait sa raison d'être et n'était pas le fait de quelques contrées privilégiées. La diversité des moyens employés prouve combien il serait facile d'adapter ces méthodes plus ou moins perfectionnées pour les appliquer à des minerais analogues qui se rencontrent assez généralement dans une foule de localités où l'on les néglige mal à propos. Ces méthodes peuvent, en effet, avec des modifications convenables, se plier à tous les changements nécessités par la diversité des conditions économiques de chaque pays; elles sont susceptibles de recevoir presque partout des applications heureuses.

§ VII.

TRAITEMENT ET ÉLABORATION DU CUIVRE EN FRANCE.

Pour terminer cette revue, j'arrive enfin à la France, qui ne le cède en rien à ses émules ou à ses rivaux dans l'élaboration des cuivres. On regrette, en voyant l'Allemagne, la Suède, l'Espagne, etc., tirer avec tant d'habileté, un parti aussi avantageux des minerais pauvres, que notre pays ne s'inspire pas de leur exemple. On voudrait voir la France, qui consomme tant de cuivre et le travaille avec tant de perfection, — et qui n'est pas moins douée de ressources minérales que ses voisins, — ne pas oublier les richesses de son sol et qu'elle ne négligeât pas avec tant de persistance les éléments précieux qu'elle pourrait faire fructifier à l'égal de ceux-ci. Ce n'est pourtant pas que nos industriels soient moins aptes que ceux des autres contrées, et soient dépourvus de la puissance créatrice et des capitaux que leurs concurrents étrangers consacrent à ces entreprises; loin de là. Mais laissons de côté les réflexions auxquelles ce sujet pourrait m'entraîner; elles ont été, au surplus, si souvent exprimées en d'autres circonstances, qu'elles seraient dans ce moment sans objet.

En France, le traitement métallurgique des minerais de cuivre, on l'a déjà dit, ne s'exerce guère que sur les minerais riches de l'Amérique du Sud; le traitement des mattes et des cuivres noirs de diverses provenances, dont la réduction et l'affinage sont pratiqués avec une rare entente dans nos grands établissements, a rendu la présence des premiers nécessaire pour utiliser convenablement les scories et les déchets de ces élaborations. Au demeurant, on ne s'y livre qu'à un travail d'affinage et de raffinage, qu'ils ont amélioré ou corrigé suivant les exigences et leurs besoins, en modifiant quelque peu les pratiques de la méthode galloise. Toutefois la fusion des minerais riches et oxydés a pris ici une certaine importance; elle tend même à s'y développer ainsi qu'en

Belgique, laquelle, depuis quelque temps, a pareillement abordé cette industrie avec un certain succès.

Il est donc opportun de résumer la marche des procédés le plus ordinairement en usage. Le four employé est le réverbère gallois, dont le dessin se trouve pl. XI, fig. 9, 10, 11.

Lorsqu'à la suite d'une opération précédente, la sole est réparée, et qu'on en a détaché les parties de cuivre qui y restent plus ou moins adhérentes, le four, amené au rouge blanc, reçoit une charge de rognures, de crasses et de scories de cuivre et de fer, avec un peu de chaux par-dessus; dès que ce mélange est ramolli, on incorpore environ 300 kilogrammes de minerai oxydé riche. La masse étant entièrement fondue, on écume les scories qui recouvrent le bain, on charge une nouvelle quantité de minerai jusqu'à ce que le four ait absorbé 3 000 kilogrammes de minerai, poids qui doit se trouver réduit en vingt-quatre heures.

La masse entière parvenue à une fluidité complète, on la laisse refroidir en ouvrant le registre, la porte de travail et celle de la chauffe. Le foyer reste chargé et l'on repousse vers l'autel les crasses qui se forment, pour activer le refroidissement et l'oxydation. Aussitôt que le bain est pris superficiellement, ce qui a lieu au bout de deux heures environ, le feu s'active de nouveau; le bain redevenu liquide, on y lance des escarbilles et l'on enlève les scories.

Après trois ou quatre heures, suivant l'état du four, le bain se trouvant complètement liquéfié, on procède, comme dans la première période, à un nouveau refroidissement, et ainsi de suite jusqu'à ce que le fer et le soufre aient disparu. L'oxyde de fer détermine à la surface du bain de larges taches brunes; le soufre en se dégageant projette des étincelles, et dès qu'il n'y a plus de soufflures on commence le raffinage.

On donne un violent coup de feu et l'on prend des essais pour déterminer la quantité de plomb qui s'ajoute au bain, afin d'en neutraliser le soufre. On jette alors sur le bain et après l'avoir écumé, s'il y a lieu, un demi-hectolitre de charbon de bois et on ferme le registre. A ce moment, on procède au

bouillonnement en introduisant dans le bain une perche de bois vert en l'agitant vivement et l'on fait les prises d'essais. Dans l'espace d'une demi-heure à trois quarts d'heure, on fait ordinairement douze à quinze prises, après quoi le raffinage se trouve terminé. Mais il arrive souvent qu'il faut plus de temps pour arriver au grain fin et soyeux qu'on cherche à obtenir. Si les prises ont réussi, on s'occupe immédiatement de la coulée, en opérant par les moyens usités en pareilles circonstances. La coulée, dans des lingotières préalablement échauffées, dure une heure environ. Mais quelquefois le bain s'oxyde, on se hâte alors d'ouvrir le registre ; la combustion du charbon de bois s'accélère et ne tarde pas à ramener le bain à l'état convenable.

Telle est la méthode des usines françaises. Nos fondeurs lui attribuent la supériorité de leurs produits ; il ne faut pas discuter cette question. Seulement, il est permis de croire qu'en l'appliquant aux minerais impurs et complexes du Cornwall et de la Hongrie, ils n'arriveraient probablement pas à des résultats aussi concluants. Ce qui fait le mérite de leur travail, c'est la pureté des matières auxquelles s'ajoutent des déchets qui en facilitent singulièrement les manipulations.

Cette méthode éprouve cependant, dans certains cas, quelques légères modifications, lorsqu'on traite des sulfures riches et spécialement les oxysulfures du Chili, qui sont particulièrement recherchés. On opère ainsi : ces minerais, généralement riches de 30 à 40 pour 100, ne sont pas grillés. Ils sont fondus avec des minerais oxydés et des scories provenant des minerais de Corocoro, ou bien des mattes riches à 40 pour 100, traitées avec des scories d'affinage : celles-ci réagissent, à la faveur de leur oxyde, sur le soufre de la matte et qui se réduit conjointement avec celle-ci. De plus, le cuivre à l'état de grenailles, renfermé dans les écumes d'affinage, se réduit en cuivre et passe dans une seconde matte, enrichie à 75 pour 100, qui est alors soumise à l'affinage, en la faisant fondre au réverbère sous l'action directe d'un courant d'air énergique, arrivant des deux côtés de l'autel et

qui achève d'expulser le soufre et d'oxyder les matières étrangères, tout en réduisant un peu de cuivre de la scorie. On obtient un cuivre noir qui passe au raffinage et se convertit en cuivre rouge par les moyens accoutumés. Ce travail n'offre rien de bien extraordinaire; il ne tire, ici encore, ses avantages que de la qualité supérieure des matières soumises au traitement.

Les scories provenant du raffinage du cuivre donnent encore lieu, dans quelques usines françaises, à un travail particulier qui mérite d'être décrit. On sait que ces scories renferment, indépendamment des oxydes métalliques et des silicates contenus dans le cuivre noir, une assez forte proportion d'oxydure et de grenailles de cuivre disséminés dans la masse.

Les scories d'affinage sont concassées à la grosseur d'un œuf et déposées ensuite au pied d'un four à réverbère, dit *fourneau de revivification*, où, après avoir été mélangées d'une pelletée de charbon de bois menu et de gros fraisl et de quatre pelletées de chaux vive par brouettée de matières, avec lesquelles on les retourne à diverses reprises, elles sont chargées dans le fourneau, chauffé à l'avance pendant huit à dix heures et même douze heures, de façon à être porté au rouge blanc incandescent. Douze à quinze brouettées sont préparées de cette manière et renouvelées au fur et à mesure des besoins. Un ouvrier lance alors la charge voulue dans le four, contre l'autel, pendant qu'un second, armé d'un râble en fer, les égalise rapidement sur la sole, en évitant de les laisser glisser dans le bas du fourneau. Aussitôt après l'enfournement, la porte est fermée avec des scories. Au bout de trois quarts d'heure à une heure environ, les ouvriers agitent et retournent la charge dans tous les sens, bouchent ensuite la porte de chargement comme au début, et chauffent vigoureusement une heure durant. La charge est bientôt liquéfiée et entraînée au bas de la sole, et l'on procède à une nouvelle charge en opérant comme la première fois. Dès que les scories qui surnagent sur le bain ont atteint la porte du devant, percée d'un trou de 8 à

10 centimètres par lequel elles s'échappent, on y introduit une sorte d'entonnoir en tôle, garni de charbon de bois allumé, qu'on remplace à mesure qu'il se consume. Il arrive fréquemment, malgré ce soin, que les scories se figent et obstruent l'écoulement; il faut se hâter, avant de faire une nouvelle charge, de dégager le trou avec un petit ringard appointé, qui rend le passage libre et permet à ces matières de sortir du four. Quand elles sont refroidies, les ouvriers les enlèvent et les jettent dehors; mais auparavant ils doivent examiner avec soin si elles ne contiennent pas de grenailles, ce qui indique que le bassin est suffisamment rempli et qu'il faut le vider. L'enfournement cesse alors : on bouche la porte de chargement avec des briques garnies d'argile, on enlève l'entonnoir placé sur le devant du four en dégarnissant la porte des briques qu'on y avait maçonnées pour la rétrécir. Les fondeurs se mettent à retirer les scories qui couvrent le bain et rejettent sur le lit de fusion toutes celles qui renferment encore du cuivre.

Le métal des scories est toujours pâteux et se fige parfois dans le bassin. Aussitôt que les scories qui recouvrent le bain sont enlevées, on le garnit d'une couche de charbon de bois, l'on ferme la porte avec un châssis de briques réfractaires et l'on chauffe très-énergiquement le fourneau pendant une heure. Ensuite les ouvriers retirent les nouvelles scories qui se sont formées et puisent le métal avec des cuillers en fer enduites d'argile, pour le couler en plaques qui passent ensuite à l'affinage. Une fonte de scories dure de soixante-douze à quatre-vingts heures. Une nouvelle opération se recommence en suivant la même marche et après avoir convenablement nettoyé le four et la sole.

Lorsque les laitiers ou les scories sont pâteux, s'écoulent difficilement, on ajoute aux lits de fusion des scories très-fusibles, les plus noires de la fonte de minerais, et dont l'aspect vitreux dénote généralement la grande fusibilité.

Le raffinage du cuivre de scories est beaucoup moins actif que celui des cuivres provenant du traitement direct des minerais.

Les battitures du laminage et divers déchets des usines, les balayures d'ateliers, etc., donnent également lieu à un traitement spécial, qui témoigne encore en faveur de l'intelligence de nos fondeurs.

Ces oxydes et ces diverses matières se mélangent avec un peu de gros fraisl de charbon de bois et sont traités dans le four d'affinage. On charge une brouettée du lit de fusion par la porte du devant, on l'étend sur la sole et on donne un violent coup de feu pendant une heure et demie. Un ouvrier brasse alors la matière pendant huit à dix minutes, ferme la porte, donne une nouvelle chauffe et procède ensuite à une seconde charge, et ainsi de suite jusqu'à ce que le fourneau soit rempli. Le fondeur écume autant de scories qu'il a mis de battitures. Dès que la provision de ces matières est épuisée, ou bien que l'on veut affiner immédiatement le métal qui se trouve dans le fourneau, on nettoie soigneusement le bain, et l'on opère le raffinage dans les conditions habituelles. Les scories résultant du traitement des battitures sont traitées avec celles qui sont réduites par le procédé précédemment décrit.

Mais où les fabricants français se distinguent réellement, c'est dans l'élaboration du métal pour l'approprier, à la suite d'un premier travail, aux besoins des grandes industries, marine, chemins de fer, etc., qui le reçoivent de leurs mains, façonné à point, pour devenir, à la suite de ces manipulations, la base d'autres transformations plus étendues.

Dans la période de douze ans qui s'est écoulée depuis l'Exposition de 1855, des progrès remarquables se constatent ici dans toutes les directions. L'installation des usines et des ateliers a été agrandie, l'outillage amélioré, la puissance des engins et des appareils mécaniques portés à un degré de perfection qu'on n'avait pas encore atteint. Ils sont arrivés au point d'affranchir la France non-seulement du tribut qu'elle payait à l'étranger, mais encore d'obliger les pays voisins et l'Angleterre elle-même, à se fournir de certains produits spéciaux, que ceux-ci avaient le privilège de lui livrer. La coulée,

le laminage et le martelage des barres de cuivre sont arrivés, grâce à ces changements, à produire couramment des pièces, des plaques et des feuilles du poids de 1 500, de 2 000, jusqu'à 3 000 kilogrammes, qui auparavant dépassaient à peine 300 à 500 kilogrammes. Les plaques de foyer à bords relevés, à épaisseurs renforcées, les enveloppes formant le ciel et les parois latérales de ceux-ci, les entretoises qui les relient, les tuyaux sans soudure, martelés ou étirés, attestent à la fois, par leur belle exécution, l'habileté des fabricants et les ressources d'un matériel plus développé et plus perfectionné.

Trop long serait le détail des nombreux spécimens de ces produits réunis dans les trophées qui ornaient l'entrée de la galerie des arts métallurgiques. Signalons seulement, pour en faire comprendre l'importance : un plateau de cuivre de 2 650 kilogrammes destiné aux enveloppes de foyers de locomotive ; — une planche de cuivre rouge de 5^m,30 de longueur, épaisse de 33 centimètres, large de 1^m,60, pesant 2 250 kilogrammes ; — un fond circulaire plat de 2^m,43 de diamètre et de 4 1/2 millimètres d'épaisseur ; — une coupole martelée de 2^m,32 de diamètre sur une profondeur de 1 mètre avec rebords rabattus de 110 millimètres ; — des plaques d'avant et d'arrière de foyer du poids de 800 kilogrammes ; — des barres martelées pour pistons plongeurs des machines marines ; — enfin toute une série de tubes sans soudure de 125 à 500 kilogrammes ; d'autres de 5 mètres de longueur, avec des diamètres de 210, 325, 415 et 428 millimètres, pour enveloppes des arbres porte-hélices, et pesant de 344 à 356 kilogrammes.

On éprouve, en étudiant ces beaux spécimens, tous d'une si parfaite exécution, quelque embarras à dire quel est celui de nos exposants qui mérite de figurer au premier rang ; chacun, en effet, y déploie les mêmes aptitudes et rivalise par la puissance de son outillage et la variété de sa production. On est amené, pour leur rendre justice, à rechercher la spécialité à laquelle ils semblent donner le plus d'attention. — MM. J.-J Laveissière et fils, à qui toutes les élaborations

tions du cuivre sont familières, et qui savent, à la faveur de leur grand et légitime crédit, prendre l'initiative de toutes les innovations, possèdent les ateliers le plus puissamment organisés et les mieux outillés; mais ils paraissent s'attacher de préférence à la fabrication des foyers de locomotive, des doublages et des tuyaux sans soudure. — MM. L. Létrange et C^e les suivent dans cette voie où ils ont marché des premiers, en s'appliquant plus particulièrement aux laminages de grandes dimensions, soit en cuivre rouge, soit en cuivre jaune; leur grande largeur et leur poids énorme sont le fruit d'un matériel remarquable par sa puissance et sa précision. Les coupoles martelées de toutes grandeurs constituent chez eux une fabrication hors ligne. — MM. Estivant, frères, de Givet, comme ceux-ci, jouissent de longue date d'une réputation bien méritée; leurs laminages de cuivre jaune, cuivre tombac, minces ou épais, méritent d'être signalés; toutefois leur grande supériorité réside dans la fabrication des tuyaux sans soudure en cuivre rouge, qu'ils ont entreprise à l'exemple de ceux-ci, croyons-nous, et portée à son extrême perfection; compétiteurs de MM. Laveissière, ils ont acquis dans cette branche une estime qu'ils doivent aux améliorations qu'ils ont introduites aux premiers procédés, sans faire oublier pourtant la primauté qui revient à ces vétérans de la fabrication du cuivre en France, notamment dans le travail des tuyaux en cuivre jaune, inauguré par eux et où ils ont apporté, en dernier lieu, de remarquables perfectionnements mécaniques que nous ne pouvons, à notre regret, divulguer. On sait que cette invention consiste dans la coulée d'un manchon d'un diamètre et d'une épaisseur calculés sur l'échantillon qu'on veut obtenir. Ce manchon, fixé sur un mandrin manœuvré dans le sens simultané de la translation et de la rotation, est martelé au rouge par un instrument qui oblige le tube à s'allonger dans le sens longitudinal. Après cette première ébauche, il est achevé par les moyens ordinaires d'étirage. On obtient par ce procédé des tubes plus homogènes, d'une plus grande densité et, par conséquent, exempts des souf-

flures susceptibles de se produire avec la méthode habituelle. — MM. Oeschger et Mesdach se font remarquer même après ces maîtres de la fabrication et se sont fait une spécialité dans la préparation des flans destinées aux monnaies de cuivre des gouvernements égyptien, tunisien, d'Espagne et d'Italie. Pour le reste, ils suivent avec éclat, sur une moindre échelle peut-être, les traces de leurs concurrents; dans la fonte des minerais de cuivre et de plomb et le laminage du zinc, qu'ils accomplissent, comme ceux-ci, dans les usines qu'ils ont créées à Biasche, dans le Pas-de-Calais, ils marchent de pair. — M. E. Garnier, dans le travail du cuivre, où il occupe également depuis longtemps son rang, se recommande par le traitement des minerais de zinc, qu'il est parvenu, après tous les mécomptes qui semblaient devoir l'en écarter, à asseoir en France sur des bases solides.

A moins de franchir les limites de cette revue, nous ne pouvons que mentionner la tréfilerie des cuivres rouges et jaunes en fils de tous les diamètres et fins comme les cheveux les plus soyeux, et des laminages atteignant les plus minces épaisseurs, au point de ressembler à des pelures d'ognon. Ces industries constituent deux branches spéciales qui s'exercent à Paris, à Rouen et dans divers grands centres, avec la perfection rare qu'on peut observer dans les produits de MM. Cubain, Mouchel, Maldou, Mather, etc., et tant d'autres qui ajoutent à l'éclat de cette exposition.

La Belgique, les Pays-Bas se font de même remarquer, après la France, dans ces fabrications et nous montrent des produits ouverts d'une facture généralement supérieure à ceux de même nature que les divers États allemands, la Suède et la Russie avaient envoyés chacun de son côté.

Conclusions.

De quelque côté qu'on se retourne, ce qui frappe ici, comme dans toutes les parties de ce concours, ce sont les progrès que l'on observe non-seulement dans l'accroissement de la production, mais encore dans les perfectionnements apportés dans l'élaboration et les transformations du métal ;

c'est le trait saillant des arts métallurgiques dans tous les pays. Cette tendance s'était déjà révélée dans les précédentes expositions, mais aucune n'en avait encore offert de si nombreux et de si remarquables témoignages ; aucune non plus, croyons-nous, n'avait donné le spectacle de tant de peuples réunis dans le palais du travail, pour l'attester aussi brillamment.

D'autres pourront faire ressortir les enseignements de cette lutte grandiose, y entrevoir les destinées de l'industrie et présager ses futures conquêtes ; notre tâche est plus modeste. Nous nous contenterons uniquement de faire observer, comme au commencement, que la production des métaux reste encore dans cette occasion, ainsi que dans l'antiquité et à toutes les époques de la vie des Sociétés, l'affirmation la plus éclatante de l'avancement de la civilisation : on la voit s'épanouir partout où la métallurgie exerce son activité. Tous les peuples et tous les hommes se rapprochent sous son influence souveraine, cherchant à l'envi à développer ses moyens, à multiplier ses perfectionnements ; ils ont appris qu'ils ne sont véritablement riches et ne deviennent puissants qu'en la cultivant. Grâce aux communications qu'elle a rendues plus rapides et plus fréquentes, la métallurgie obligera bientôt les nations, il faut l'espérer, à ne plus ambitionner que les pacifiques victoires du travail, à ne plus rechercher d'autre suprématie que celle qu'elles s'appliquent à conquérir avec tant d'ardeur dans les arts et dans les sciences ; mieux que les canons rayés, et les frégates blindées, ceux-ci peuvent seuls les enrichir et les glorifier, en consacrant leur ascendant d'une manière plus durable et plus humaine. C'est la loi de notre temps. Chacun doit y obéir.

Lorsqu'on réfléchit à ce merveilleux mouvement et aux besoins créés par les aspirations qui entraînent les sociétés modernes dans la voie de l'industrie, il nous reste un vœu à former : c'est que la doctrine du *libre échange*, inaugurée par le coup d'Etat commercial du 5 janvier 1860, cesse d'être lettre morte et qu'elle fasse tomber toutes les *barrières*, tous les règlements surannés et oppressifs de l'administration,

qui gênent la liberté commerciale, et qu'avec ceux-ci s'écroulent enfin toutes les entraves que subit encore chez nous la liberté industrielle.

Respect de l'initiative individuelle et affranchissement de la tutelle gouvernementale quelle qu'elle soit, tel est le programme qui résume notre pensée. C'est en le réalisant que la France conservera sa supériorité et verra toutes ses industries grandir et prospérer au profit de sa liberté et de sa grandeur, de son bien-être et de la prospérité publique. Il n'y a pas de meilleur stimulant du progrès et des grandes choses.

PRÉPARATION MÉCANIQUE

DES MINÉRAIS ET DES CHARBONS

PAR A. HABETS

Ingénieur honoraire des mines,
Répétiteur des cours d'exploitation des mines et de métallurgie
à l'École des mines de Liège.

SECOND ARTICLE.

V. Classement des sables et des schlamms. —

VI. Enrichissement des produits classés. — VII. Lavage de la houille. —

VIII. Résumé.

V. — CLASSEMENT DES SABLES ET DES SCHLAMMS.

I. — Labyrinthe et caisses pointues. — Emploi du courant ascensionnel.

Les appareils qui classent les sables et les schlamms par l'intermédiaire de l'eau, se réduisent à deux types généraux : les *labyrinthes* et les *caisses pointues*. Les premiers sont loin d'avoir conservé la faveur qui les a implantés dans tous les anciens ateliers. Le labyrinthe ne possède, en effet, que l'avantage de la simplicité. Ses défauts sont nombreux et trop connus pour que nous y insistions.

Les caisses pointues (*spitzkasten*), inventées par M. de Rittinger et installées à Schemnitz en 1845, ont été substituées presque partout aux labyrinthes, non sous la forme massive et encombrante représentée par un dessin du type primitif dans l'exposition des mines de Schemnitz, mais plus généralement sous celle de petits appareils métalliques, réunis par longues séries, entre deux parois qui vont en s'écartant l'une de l'autre. Les ateliers de construction de Sievers et C^e

ont contribué à répandre cette dernière forme en Allemagne, sous le nom de *classificateur*.

On peut affirmer que l'emploi de ces caisses pointues a seul rendu possible l'introduction de la continuité dans certains ateliers de préparation mécanique ⁽¹⁾. La légèreté de ces appareils permet, en effet, de les suspendre au-dessus des tables, auxquels ils livrent directement leurs produits.

Le classement des sables et des schlamms est un objet de la plus haute importance, et l'on peut dire que tout perfectionnement obtenu dans cette voie correspond à un plus grand enrichissement des produits ultérieurs. Le travail des laveries, bien compris, se réduit, en effet, à une succession de classements et d'enrichissements. A moins de circonstances spéciales, c'est une faute de repasser plusieurs fois, comme on ne le fait que trop souvent, les produits d'un appareil classer ou enrichisseur au même appareil. L'action d'un appareil sur la matière qui lui est livrée doit être considérée comme à très-peu près épuisée après un passage. En repassant certaines classes, on obtient quelquefois plus de netteté, mais on ne peut espérer de changement sensible.

Prenons un exemple dans le travail des ateliers d'Engis (Nouvelle-Montagne), où ce principe, rigoureusement suivi, a donné la clef du traitement d'un minerai très-difficile. Le travail du crible y étant poussé jusqu'à ses dernières limites, par l'emploi des fonds de tamis ⁽²⁾, c'est du crible qu'il faut partir pour analyser le travail des matières fines.

Le classement par volumes égaux est, comme chacun sait, une spéculation théorique dont les appareils de classement, si perfectionnés qu'ils soient, ne permettent pas d'approcher; une classe de fin fournie par le trummel contiendra, outre les morceaux de grosseur moyenne, des grenailles trop petites et des grenailles allongées trop fortes. Supposons que le minerai ne contienne que deux matières de densités

⁽¹⁾ *Revue universelle*, t. XX, p. 15; t. XXIII et XXIV, p. 250.

⁽²⁾ *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 620.

voisines, telles que la pyrite et la blende. En passant ce mélange au crible, qui classe sensiblement par poids égaux, lorsque des inégalités de volume l'empêchent de classer par densités, il en résultera une couche supérieure contenant des grenailles de blende petites et moyennes avec de petites grenailles de minerai mélangé ; une deuxième couche contiendra les mélanges binaires de grosseur convenable avec de petites grenailles de pyrite et de grosses grenailles de blende ; la couche inférieure enfin ne contiendra que des pyrites. Les classes extrêmes seront donc, la plupart du temps, assez pures, pour être considérées comme des produits finis. La classe intermédiaire sera généralement envoyée au broyage.

Quand il s'agit de fines grenailles, l'on peut se demander si c'est là une pratique bien rationnelle et s'il n'y a pas moyen de diminuer les frais et les pertes, en cherchant à opérer sur cette classe une nouvelle séparation par volumes.

Les meilleurs appareils sont, pour cela, les tables et les caissons où l'eau agit principalement sur la surface que les grenailles opposent à l'entraînement. C'est en répartissant par volumes égaux les produits de même poids fournis par les classeurs de fin, que ces appareils de laverie jouent le rôle d'enrichisseurs. On tient, en général, trop peu de compte de cette manière d'agir. En nous reportant à l'exemple cité, le classement par volumes de la couche intermédiaire, séparera la blende, la pyrite et les mélanges binaires. C'est ainsi qu'à Engis, les classes intermédiaires des cribles à fond de tamis vont au caisson allemand ou aux tables à secousses, suivant leur grosseur.

On traite au caisson des grenailles de 1 3/4 à 7 millimètres ; aux tables, les sables de grosseur moindre.

Le classement du caisson ne pouvant toutefois être considéré comme plus rigoureux que celui du trummel, on repassera la classe intermédiaire au crible ; mais pour les matières plus fines provenant des tables à secousses, il faudra recourir à des appareils spéciaux, tels que le labyrinthe ou les caisses pointues, dont l'action est d'ailleurs analogue à celle du crible.

On se sert dans ce but à Engis, comme nous le verrons,

d'un appareil à courant ascensionnel, dit *lavoir à schlamms*, qui était exposé au Champ de Mars. Les produits de cet appareil passent, sans exception, aux tables à secousses. Celles-ci donnent de nouveaux produits intermédiaires qui repassent au *lavoir à schlamms*, et ainsi de suite jusqu'à enrichissement convenable.

Les principes que nous venons d'exposer donnent des résultats remarquables, tant à Engis qu'à Ampsin, près de Huy, et au Dam, à Anvers, eu égard surtout à la complication du minerai qu'on traite dans ces divers ateliers.

Il est clair que le degré de perfectionnement des classeurs de fin doit être en rapport avec l'importance qu'on leur attribue, nous aurons à citer tout particulièrement, à ce titre, les appareils à courant ascensionnel des derniers ateliers que nous venons de nommer.

L'emploi d'un courant d'eau ascensionnel est un moyen général de perfectionner le classement des matières fines. Une application très-simple en a été faite aux caisses pointues; il suffit, en effet, pour créer ce courant, de faire déboucher vers le fond de la caisse un tuyau vertical amenant l'eau d'un réservoir supérieur. Il est facile de se rendre compte de l'influence de cette disposition. Le courant ascensionnel agit de manière à maintenir en suspension les matières qui, en tombant dans une colonne d'eau, acquerraient une vitesse égale à celle de ce courant. Le dépôt de ces matières en sera par suite retardé. Sans courant ascensionnel, la classification ne peut être que confuse, par suite de l'action réciproque qui favorise la chute simultanée des matières pesantes et des matières boueuses plus légères. Ces dernières sont entraînées, soit par adhérence, soit par le sillage que laissent derrière eux les gros sables stériles en se précipitant. Le courant ascensionnel s'oppose à cette action. Il débourbe, en un mot, les parties fines.

Mais pour que des matières de poids différent se déposent successivement dans un appareil à courant ascensionnel, il est indispensable que la vitesse de ce courant aille en diminuant sur le parcours de ces matières.

Le courant ascensionnel ne présente d'autre inconvénient que d'augmenter considérablement la consommation d'eau.

Parmi les appareils classeurs des sables et des schlamms, nous étudierons d'abord les deux appareils qui figuraient au Champ de Mars :

1^o Le *lavoir à schlamms* de la Société de la Nouvelle-Montagne, à Engis, qui se rapproche du type des labyrinthes dont il partage la simplicité.

2^o Le *classificateur à caisse double (Spitzlutte)* de Schemnitz, qui rappelle le type des caisses pointues.

Nous continuerons l'étude des perfectionnements de ce type en décrivant les appareils à courant ascensionnel employés aux mines de Méchernich (Eifel), et les classeurs de M. Dor, appliqués aux ateliers d'Ampsins et du Dam, appareils qui ont puissamment contribué, en même temps que les tables à secousses latérales de M. de Rittinger, à la solution du problème ardu posé à la préparation mécanique par les blendes de Sardaigne.

II. — *Lavoir à schlamms de la Nouvelle-Montagne (Belgique).*

L'origine de cet appareil se trouve dans une modification apportée, vers 1859, aux ateliers de la Nouvelle-Montagne, à Engis, aux anciennes dispositions des labyrinthes. Pour remédier à l'inconvénient du déclassement produit par le travail à la pelle, on y avait composé le labyrinthe de deux parties : 1^o d'un chenal incliné en tôle, destiné à recevoir la matière ; 2^o d'une suite de loges inférieures où les diverses classes venaient se déposer en passant par des ouvertures longitudinales pratiquées dans le fond du chenal, au-dessus de chacune d'elles.

Le lavoir à schlamms, tel qu'il existe actuellement, fut essayé à Engis, en mars 1860, et y fonctionnait régulièrement à la fin d'avril de la même année. L'invention de cet appareil est due à M. GILLARD, sous-chef de préparation de l'atelier de La Mailleue ⁽¹⁾, dépendant de la même Société.

(1) Nous avons cité des dates, parce que l'invention du lavoir à schlamms a été fréquemment revendiquée en faveur de l'Allemagne,

Le lavoir à schlamms s'est rapidement répandu dans les ateliers belges et allemands. C'est, en effet, un appareil qui participe de la simplicité du labyrinthe et des nombreux avantages inhérents aux caisses pointues à courant ascensionnel. Les deux types principaux en sont représentés pl. XI. Les figures 1, 2, 3, 4 se rapportent à un lavoir à schlamms, construit en 1862, pour l'atelier d'Engis. Les figures 5, 6, 7 à un appareil construit, vers la même époque, pour l'atelier de La Mallieue.

Examinons d'abord l'appareil d'Engis. Les schlamms arrivent au lavoir après avoir traversé un trummei A (fig. 1 et 2), qui en sépare les grenailles supérieures à 1 3/4 millimètre. Celles-ci sont envoyées aux cribles. Les parties inférieures à 1 3/4 millimètre sont conduites dans un chenal en zinc B, dont le fond présente une fente longitudinale. Ce chenal est supporté au-dessus des loges destinées à recevoir les différentes classes de schlamms et désignées par des chiffres ro-

d'où le nom de *rigole allemande* qui lui est souvent appliqué. Les dates ci-dessus sont confirmées par un Mémoire de M. Coignet sur les ateliers de préparation des bords de la Meuse et de la Prusse rhénane, Mémoire publié dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, t. VI, p. 117, 1860. Ce Mémoire a été écrit à la suite d'un voyage que l'auteur fit en Belgique et en Prusse pendant le mois de mai 1860. A propos du classement des schlamms à Engis, M. Coignet mentionne l'appareil primitif que nous avons cité, et ajoute, en parlant du modèle qui servit aux premiers essais du lavoir à schlamms actuel :

« Les essais en petit ont parfaitement réussi; bientôt, un classeur à grandes dimensions va être employé et remplacera le précédent. Le changement apporté consiste simplement en ce que l'on fait arriver dans chaque compartiment un faible courant d'eau. Cette dernière ne pouvant s'échapper par les bords de la caisse, qui sont plus élevés que la partie inférieure du canal en tôle, passe par les ouvertures de ce conduit, soulève les grains qui étaient sur le point de se déposer, ajoute ainsi une nouvelle résistance au dépôt et produit un classement plus parfait. »

Tout le monde reconnaîtra dans ces lignes, l'appareil exposé.

M. Coignet décrit à la suite les ateliers allemands où l'invention est revendiquée et n'y cite rien de semblable. Nous persistons donc à considérer cet utile appareil comme originaire de l'usine d'Engis.

maines dans les figures. Les parois latérales de ces compartiments sont inclinées, de manière à faciliter le coup de pelle et revêtues de fonte pour être moins sujettes à l'usure. A la tête du chenal se trouve un réservoir C, où arrive constamment de l'eau pure. Une partie de cette eau se rend par les tuyaux D dans la loge I, où elle s'élève au niveau de la cloison *a* par-dessus laquelle elle s'écoule en déversoir dans la loge II, et ainsi de suite. Une autre partie se rend, par les tuyaux E, dans les canaux FF qui règnent latéralement à la partie inférieure du chenal (fig. 3).

La matière est donc soumise :

1° A un courant vertical résultant de la différence de niveau que présente le liquide dans le chenal B et dans chacune des loges ;

2° A un courant oblique fourni par les canaux FF et pénétrant dans le chenal à travers de petites pièces en zinc *g* disposées tout le long de la fente.

Ces deux courants sont respectivement indiqués par les flèches *h* et *k* (fig. 2). Ils se combinent pour donner un courant légèrement oblique, qui projette en avant les matières légères.

L'appareil d'Engis est plus simple dans sa construction que l'appareil de La Mallieue, mais la complication plus apparente que réelle du dernier nous semble se justifier. A La Mallieue, les schlamms sont livrés d'abord à deux trummels, donnant chacun quatre classes, par des trous de 1 3/4, 2, 2 1/2 et 3 millimètres. Les refus de ces classeurs passent à un troisième trummel placé en queue, qui donne des grenailles de 3 1/2, 4, 5 et 7 millimètres. Sauf les schlamms de moins de 1 3/4 millimètre, ces différentes classes sont livrées au setzage.

Ces trummels ont reçu une modification ingénieuse. La tôle perforée à trous de 1 3/4 millimètre, forme un cône de faible inclinaison, accolé par sa petite base au cône d'inclinaison contraire qui porte les subdivisions ultérieures. On évite de cette manière qu'une partie des schlamms ne soit entraînée par le courant général, comme il arrive dans les trummels

qui classent les fins en premier lieu. Ces trummels sont arrosés latéralement à l'extérieur.

Dans l'appareil de La Mallicue, le déchargement des loges ne se fait que d'un côté, cette disposition permet d'épargner l'espace (fig. 7). Les cloisons qui séparent les différentes loges s'élèvent toutes ici au même niveau, les loges ne communiquent entre elles que par l'intermédiaire du chenal B, dont le fond est horizontal et va en s'élargissant depuis 2 jusqu'à 10 centimètres à la dixième loge. Le changement de section qui en résulte favorise le dépôt successif des matières de poids différents. Celles-ci sont d'ailleurs soumises à un double courant ascensionnel comme dans l'appareil d'Engis (fig. 5 et 6).

L'eau pure destinée à alimenter ce courant, arrive par le tuyau C, tombe dans la caisse D, d'où elle s'écoule en déversoir dans un chenal couvert E. Ce chenal règne sur toute la longueur du lavoir; il est divisé en compartiments par des cloisons *f* de moins en moins élevées, que l'eau franchit en déversoir. La partie inférieure de ce chenal communique avec des pièces en zinc *g* (fig. 8), analogues à celles de l'appareil d'Engis. Avant d'y arriver, l'eau traverse des cribles *h* qui retiennent ses impuretés. Le second courant ascensionnel est produit par la différence de niveau de l'eau dans le chenal B et dans les loges. L'eau arrive dans celles-ci du chenal E, par des ajutages *f''f''*, fixés au niveau du déversoir correspondant. Le chenal se continue, à La Mallicue, jusqu'au quinzième compartiment, mais tout courant ascensionnel cesse à partir du dixième. Ce n'est plus à partir de là qu'un simple chenal en bois à parois verticales, allant en s'élargissant depuis 10 jusqu'à 30 centimètres.

Au delà se trouvent encore cinq bassins de dépôt.

Pour donner un bon classement, il est nécessaire que le courant ascensionnel soit plus rapide dans les premières loges que dans les dernières. Il est facile, en ouvrant un plus ou moins grand nombre des ajutages, de régler l'afflux d'eau dans chaque loge, et, en même temps, la différence de niveau entre celle-ci et l'eau du chenal. Les différences de

niveau des déversoirs *f* du chenal E sont, en outre, assez grandes pour que le courant qui pénètre à travers les pièces *g* diminue de vitesse à partir de la tête de l'appareil. L'élargissement du chenal a, en outre, une grande importance. Ces diverses conditions nous semblent moins bien comprises dans l'appareil d'Engis. Les différences de niveau des différents déversoirs y étant moindres que la pente du fond du chenal, le courant ascensionnel ne peut aller en diminuant vers l'extrémité de l'appareil. Le chenal étant, de plus, de section égale sur toute sa longueur, il arrive que, quand on traite des schlamms relativement légers, les loges ne reçoivent pas de dépôts et que tout se rend aux bassins. C'est pourquoi l'on se contente à Engis, pour traiter les schlamms légers, de supprimer le courant vertical, en ne conservant que le courant oblique. L'on ne fait usage des deux courants que pour traiter des schlamms contenant de la galène.

L'appareil de La Mallieue permet de traiter les schlamms les plus divers, en réglant convenablement les ajutages *f'*.

Une étude comparative de ces appareils conduirait, sans nul doute, à la création d'un type qui unirait la simplicité à la perfection du travail. Dans le principe, ces appareils n'étaient pas munis des pièces *g* et ils ne recevaient que le premier des deux courants mentionnés. Ce courant venait se briser à la tête du chenal sous une planche horizontale, suivie d'une ou deux rangées de petites lames en bois, inclinées dans le sens du courant, qui débouchait entre elles dans le chenal. Ces lames mettaient obstacle à la chute des matières en les divisant. Cette disposition est, croyons-nous, préférable à la construction actuelle, qui introduit une complication inutile et qui est, en même temps, une source de dépense, si même elle ne nuit pas parfois au classement. En effet, les fentes par où débouche le courant oblique s'obstruent rapidement; les pièces de zinc se détériorent fréquemment par un coup de pelle donné par inadvertance ou même par malveillance. Bref, le chenal en zinc est souvent à remplacer entièrement; une simple réparation ne peut suf-

fire : ce remplacement occasionne une dépense évaluée à 100 francs environ. Ce serait, semble-t-il, une raison très-suffisante pour revenir au système primitif, auquel on n'a d'ailleurs rien eu à reprocher.

Des expériences ont démontré que le classement est sans netteté, lorsque le fond du chenal est entièrement libre. L'on a établi, en 1866, aux ateliers de La Mallieue, un lavoir à schlamms différant en plus d'un point de ses aînés. Ce lavoir est destiné à des schlamms de calamine d'un classement facile. La tête du chenal de zinc est assez fortement inclinée, le fond en est occupé par des planchettes horizontales formant des gradins sur lesquels la matière descend en cascades, en recevant l'action d'un courant ascensionnel unique qui s'introduit entre les planchettes. Ce courant cesse de se produire après la première loge. A partir de ce moment, le chenal va en s'élargissant et le fond en est entièrement libre. Cette disposition très-simple est encore à l'étude et ne peut être considérée comme ayant donné des résultats définitifs.

Nous tenons encore à dire un mot de la disposition primitive du projet de M. Gillard, parce que cette disposition se rapproche beaucoup de celle qui a été adoptée depuis dans certains ateliers. Elle est représentée fig. 9. Le déchargement de l'appareil y était continu. Le but était de conduire directement les diverses classes du lavoir au sommet des tables tournantes, essayées à cette époque à Engis. Cet essai n'ayant pas abouti, le projet fut transformé comme nous venons de l'indiquer.

Une telle disposition serait avantageuse dans les ateliers où l'on recherche la continuité des opérations. Elle est appliquée, à Moresnet, à un classeur à schlamms de calamine de grandes dimensions (1).

(1) Dans l'appareil de Moresnet, la longueur du chenal a été portée à 16 mètres, mais on ne peut évaluer à plus de 12 mètres sa longueur utile. Le chenal mesure 20 centimètres de largeur à la tête, et la profondeur de l'eau y est de 60 centimètres; à 12 mètres de là, il s'est élargi jusqu'à 1 mètre, et, par suite de l'inclinaison du fond, la profondeur de l'eau a atteint 1^m,30. Ce chenal se compose, à proprement

Les matières passées au lavoir à schlamms de la Nouvelle-Montagne sont les schlamms du débouillage, les matières fines du broyage et les classes intermédiaires provenant du travail des laveries. Nous avons indiqué plus haut les motifs en vertu desquels le lavoir s'applique spécialement à ces dernières.

On passe au lavoir à schlamms 15 000 kilogrammes de matières par dix heures de travail, soit $7\text{m}^3,875$ à $10\text{m}^3,500$, selon la densité des matières et la difficulté de la séparation.

La consommation d'eau y est considérable, comme dans tous les appareils à courant ascensionnel. L'eau de la Meuse, élevée par des pompes, alimente abondamment les préparations d'Engis et de La Mallieue. On peut évaluer la consommation à 178 litres par minute à La Mallieue, en y comprenant l'eau de lavage des trois trummels classeurs placés en tête de l'appareil.

Pour faire saisir par des chiffres l'importance d'un classement, l'on ne peut mieux faire que d'interroger les résultats de la série d'opération qui le suit immédiatement. Le principe dont nous avons cherché plus haut à démontrer la rationalité est rigoureusement suivi dans cette série d'opérations : au classement par poids succède un classement par volumes aux tables à secousses ; à ce classement par volumes succédera un nouveau classement par poids des matières mélangées. En passant au lavoir à schlamms les classes intermédiaires au lieu de les broyer, on obtient des produits un peu moins purs peut-être, mais à beaucoup moins de frais que lorsque le broyage intervient.

parler, d'une série de caisses pointues dont le déchargement s'opère par des tuyaux recourbés ; les trois premières ont 50 centimètres de longueur. Cette dimension augmente progressivement et les dernières atteignent 95 centimètres. A ces caisses se trouve accolé un chenal amenant l'eau pure et produisant dans les compartiments un courant ascensionnel dû à une différence de niveau de 25 centimètres. Ce courant s'introduit dans les diverses caisses par des orifices latéraux dont on peut régler l'ouverture. Les deux premières caisses donnent de la calamine à 40 pour 100 de zinc pour la fonderie ; les autres classes sont traitées aux tables à toiles sans fin de M. Hartwig, sur lesquelles nous reviendrons.

338 PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINÉRAIS ET DES CHARBONS.

Le tableau suivant donnera une idée de la composition des produits obtenus par ce système de classement ; il fera en même temps connaître la nature des mélanges de sulfures traités à Engis, qui passent à juste titre pour un des minerais les plus difficiles.

	QUANTITÉS.		TENEUR p. 100.		QUANTITÉS DE MÉTAL.	
	Kilogr.	p. 100.	Zinc.	Plomb.	Zinc.	Plomb.
SCHLAMMS TRAITÉS.	53350	100	20,24	5,90	6748	1500
PRODUITS OBTENUS.					ki	kil.
Blende.....	11155	55,47	52,00	0,40	3566	45
Pyrite.....	5029	9,69	15,51	5,80	409	115
Galène.....	208	0,62	1,25	76,40	2	159
Galène mélangée ⁽¹⁾	75	0,22	3,68	56,50	5	41
Pyrite et galène...	3850	11,48	18,00	14,12	688	541
Blende et pyrite...	2441	7,52	26,25	1,00	641	24
Blende et pierre...	1315	5,94	18,78	—	244	—
Boues, etc.....	750	2,27	18,50	5,75	141	28
Pierres.....	4985	14,95	7,92	—	395	—
PERTES...	5544	16,64	11,90	6,24	659	347

La préparation de ces 33 330 kilogrammes de schlamms a coûté 118 fr. 75 c., à partir du transport au lavoir à schlamms, soit 3 fr. 56 c. par 1 000 kilogrammes de schlamms. On ne peut attribuer le peu d'élévation du prix de revient qu'au système de travail que nous avons cherché à esquisser plus haut. Les frais inhérents au lavoir à schlamms proprement dit sont, par dix heures :

3 ouvrières pour vider les loges, à 80 centimes. . .	2 fr. 40
1 ouvrier pour le chargement des schlamms . . .	1 45
2 ouvriers pour le transport des schlamms bruts et classés.	3 40
Dépense d'eau, entretien, etc.	3 09
Total.	10 fr. 25

Soit, par tonne, 68 centimes.

(1) Les produits mélangés sont repassés ultérieurement avec des produits similaires.

Il nous reste à dire un mot de l'appareil que le lavoir à schlamms a remplacé à la Nouvelle-Montagne.

Cet appareil était le *trieur à vent* dont un modèle figurait à l'Exposition de Londres de 1862. Cet appareil, dont l'utilité ne peut être contestée dans les pays où l'eau fait défaut, a été supprimé en 1863 à Engis. Le classement qu'il donnait n'était pourtant pas inférieur à celui du lavoir à schlamms. Ajoutons que les ventilateurs marchaient dans d'excellentes conditions de régularité, conditions souvent difficiles à obtenir. Cependant dans des ateliers où l'eau abonde, cet appareil n'était pas dans son milieu. L'immixtion du trieur à vent au milieu d'une préparation par voie humide nécessitait une dessiccation coûteuse qui se faisait dans des fours spéciaux. La charge des fours et la durée de la dessiccation dépendaient du degré de la dessiccation à l'air libre et, par suite, du degré de sécheresse. Le travail des fours était, par conséquent, peu régulier. On y passait environ 4 000 kilogrammes de schlamms par jour; quatre fours auraient donc suffi pour la quantité de schlamms passée en dix heures au lavoir.

Le trieur à vent demandant une dessiccation absolue de la matière, il en résultait la nécessité d'une attention très-soutenue de la part des ouvriers du four.

Outre la dépense, un des graves inconvénients de cette opération était l'altération de certaines matières qui, telles que la pyrite, subissaient un commencement de grillage et changeaient de densité.

M. Gillard a proposé d'opérer cette dessiccation dans des cylindres tournants enveloppés par la flamme. Ce mode de séchage n'eût pu avoir qu'une excellente influence sur la régularité de l'opération.

Le prix de revient de la tonne de schlamms ainsi préparés se trouvait grevé de 1 fr. 18 c. par l'emploi du trieur à vent, non-seulement du chef de cette dessiccation, mais par suite de ce qu'on admettait au trieur tous les sables inférieurs à 4 millimètres. Les classes du trieur passaient toutes aux appareils de laverie. Le lavoir à schlamms, au contraire, ne

classe que les sables inférieurs à 1 3/4 millimètre. Les numéros supérieurs sont séparés par les trummels et envoyés au travail moins dispendieux des cribles.

III. — Classificateur à caisse double de Schemnitz

(*Spitzlutte*).

L'administration des mines de Schemnitz avait exposé un modèle et des dessins d'un classificateur à caisse double (*Spitzlutte*), récemment installé dans ses ateliers et dû à M. de Rittinger. Il se compose essentiellement d'un large chenal à section rectangulaire, alternativement incliné de 60 centimètres vers le haut et vers le bas.

Les figures 1 et 2 de la planche XII sont des copies des dessins exposés. Le chenal est représenté en *aa'*. Il est formé par l'emboîtement de deux caisses prismatiques et se termine à la partie inférieure par une fente verticale *K*, se réduisant vers le bas à un simple orifice *d*. Les parois latérales servent de support à toute la construction. Le courant apportant les sables descend en *a* et remonte en *a'* avec une vitesse due à la différence des niveaux d'entrée et de sortie. Cette vitesse est réglée de manière à ce que certains sables soient maintenus en suspension, tandis que d'autres, plus lourds, sortent de l'appareil par l'orifice inférieur et le tuyau recourbé *o*. Afin de retenir l'eau boueuse dans l'appareil, un courant d'eau pure est constamment amené par le tuyau *m*. Cette eau se mêle aux matières expulsées et produit en *d* une contre-pression qui refoule les boues. Des bouchons *bb'* permettent de détruire les obstructions. Les pièces *H* retenues au moyen de broches sur les madriers *f* qu'elles traversent, servent à faire varier la section du chenal selon la quantité de matières admises et la vitesse que l'on veut donner au courant. Une garniture en cuir établit l'herméticité du joint des deux prismes.

Un appareil se compose de plusieurs caisses semblables. La section du chenal croît dans chacune d'elle. Pour ne pas

augmenter outre mesure la hauteur de la dernière caisse, on en a accolé deux en largeur.

Pour plus de simplicité, cette caisse double peut être construite comme l'indique la figure 3. Le prisme mobile y est remplacé par une simple cloison verticale.

Les différentes caisses communiquent entre elles par des chenaux assez inclinés et assez étroits pour ne pas recevoir de dépôt.

Les dimensions de l'appareil se règlent d'après la quantité q de matières à passer par seconde et la vitesse v du courant ascensionnel que l'on veut obtenir. On se donne la largeur l du chenal et l'on calcule sa hauteur h . La vitesse se détermine d'après la formule $v = 2.44 \cdot \sqrt{D(\delta - 1)}$, D et δ représentant le diamètre et la densité des plus lourdes grenailles dont on veut empêcher le dépôt. La hauteur h sera égale à $\frac{q}{lv}$.

La longueur des branches du chenal doit être telle que le mouvement de l'eau y soit bien régulier.

Des essais comparatifs ont été entrepris à Schemnitz sur ces nouveaux appareils et sur les anciennes caisses pointues.

Les ingénieurs de Schemnitz se sont livrés à des opérations extrêmement délicates dans le but de déterminer la grosseur de grain, la vitesse ascensionnelle et la densité moyennes correspondant à chaque classe.

Les minerais essayés provenaient des filons plombés du *Pacherstollen* et contenaient de la galène, du quartz et de l'or natif. Ce mélange nécessite un bocardage fin. Les expériences ont donné lieu aux conclusions suivantes :

1° Les classificateurs à caisse double s'appliquent de préférence aux classements des gros sables denses.

2° Les premières classes étaient très-bien débourbées, lorsqu'on maintenait le niveau d'eau pure à 16 centimètres, soit à 1^m,23 au-dessus du niveau d'écoulement des schlamms. Pour les dernières, le courant d'eau pure est moins efficace et 8 centimètres de différence de niveau suffisaient.

3° Les nouveaux appareils ne donnent pas plus de perte

que les anciennes caisses pointues. On peut remplacer sans inconvénient la dernière caisse par une caisse pointue ordinaire, comme l'indiquait le modèle exposé.

4° Les orifices d'évacuation doivent se trouver dans la première caisse à 93 centimètres, dans la dernière à 62 centimètres au-dessous du niveau d'écoulement.

5° Comparativement aux caisses pointues, on obtient un classement plus net; les classificateurs à double caisse peuvent s'établir sur une pente un peu moindre que les caisses pointues; les frais de construction sont moins élevés à cause des dimensions moindres des dernières caisses. On peut régler plus facilement les nouveaux appareils, selon les quantités de matières admises.

Le seul inconvénient est la consommation d'eau plus considérable; cette consommation est d'environ 20 litres par minute.

IV. — Emploi des appareils à courant ascensionnel aux mines de Mechernich (Commern).

L'une des applications les plus anciennes et les plus intéressantes du courant ascensionnel se rencontre aux mines de plomb de Commern (Eifel) (1). Quelques détails sur ces exploitations feront saisir le rôle important qu'y jouent les appareils à courant ascensionnel.

On sait que le minerai de Commern n'est autre que le grès triasique; ce grès contient, dans une zone assez étendue, des concrétions de quartz et de galène. Sa richesse est en moyenne de 2 pour 100 de plomb.

Ce minerai était représenté, dans l'exposition des propriétaires réunis de la Prusse, par plusieurs échantillons provenant de la mine *Meinerzhagener Bleiberg*.

Les exploitations, dont le bourg de Mechernich est le centre, offrent un spectacle unique en son genre. On ne peut se figurer, sans les avoir vus, ces effrayants entonnoirs

(1) *Revue universelle*, t. VII, p. 323; t. XXIII et XXIV, p. 289.

où se continue l'exploitation à ciel ouvert, pendant que de vastes galeries souterraines, éclairées au gaz, poursuivent les couches en profondeur. L'une de ces tranchées, ouverte près de Mechernich, mesurait, en 1867, 380 mètres sur 280 de surface et 80 de profondeur.

L'énorme quantité de matières stériles résultant de cette exploitation nécessite un développement extraordinaire du transport. Les stériles, séparés par la préparation mécanique, sont ramenés par des locomotives et par des chevaux aux exploitations, auxquelles ils servent de remblai. Les masses ainsi remuées sont effrayantes. Qu'on en juge par les chiffres suivants : en 1864, la mine *Meinerzhagener Bleiberg* fournit 827380 tonnes de minerai brut qui rendit 51338 tonnes de concrétions métallifères par une première préparation. Le bocardage et le lavage réduisirent cette quantité à 15807,5 tonnes de schlich. Il faut ajouter aux matières stériles 757384 mètres cubes d'alluvions quaternaires qui constituent l'épaisse couverture de la couche triasique et que l'on doit déblayer tout d'abord dans l'exploitation à ciel ouvert.

Les appareils à courant ascensionnel sont employés sur une grande échelle pour séparer les concrétions plombifères et le sable stérile. Ils reçoivent les matières qui ont traversé un trummel à trous de 2 millimètres et qui constituent environ les neuf dixièmes de la masse totale extraite. Les figures 10 et 11, planche XI, représentent l'appareil employé à la mine *Meinerzhagener Bleiberg*. L'échelle de la figure, réduite à un soixante-quatrième de la grandeur naturelle, fait juger de ses dimensions inusitées dans la préparation des minerais.

Les matières arrivent avec de l'eau dans l'axe de la colonne en fonte CD; elles reçoivent l'action d'un courant ascensionnel amené par le tuyau EF. Le sable est entraîné par le haut, et peut être reçu au besoin dans une seconde colonne semblable, tandis que les concrétions plus denses se rassemblent dans la boîte G que l'on vide sans grande perte d'eau, en manœuvrant les soupapes HH. Cette appareil consomme 8 pieds cubes d'eau par minute.

On peut admettre qu'il produit en moyenne, par jour, une tonne de matières enrichies, quantité énorme relativement au peu de richesse du minerai brut. Ces matières sont débourbées dans un trummel et conduites au bocard.

Quatre ouvriers suffisent pour les dix appareils de la mine *Meinerzhagener Bleiberg*.

L'eau et les sables qu'elle emporte, sont reçus dans des bassins, d'où des roues élévatrices les transportent dans des wagons où le sable se dépose, tandis que l'eau s'écoule en trop-plein. Ces wagons, d'une capacité de 72 hectolitres, sont menés par des locomotives aux points de remblai et sont déversées à un niveau assez élevé pour que le remblai n'occupe pas trop de superficie.

Cette mine appartient à la Société de Mechernich, qui possède en elle la concession la plus étendue de ce curieux gisement. Les ateliers de cette Société sont aujourd'hui en voie de transformation complète. Les contrats par lesquels les minerais étaient livrées aux usines de *Stolberg et Westphalie* venant d'expirer, elle a établi une usine à plomb et à argent à Mechernich. Dans le but d'introduire la continuité dans les opérations, on a exhaussé la recette du puits de manière à créer à la préparation mécanique des gradins successifs dont le dernier est occupé par le traitement métallurgique.

L'appareil à courant ascensionnel de Mechernich est adapté à des conditions très-spéciales. Le principe peut toutefois en être appliqué d'une manière plus générale. Dans la plupart des ateliers de la Vieille-Montagne, fonctionnent, sous le nom bizarre de *schlamm-peter*, des appareils de moindres dimensions, fondés sur le même principe. Ces appareils effectuent, dès le début du travail, la séparation entre les fines grenailles et les schlamms mélangés dans une même classe des trummels. Construit entièrement en zinc, l'appareil de la Vieille-Montagne est peu coûteux et rend de grands services, à condition d'avoir assez d'eau à dépenser.

Ces appareils ne sont pas des classeurs de schlamms à proprement parler, car ils ne font que répartir les matières livrées en deux classes, destinées chacune à un travail spé-

cial. Le rôle des classeurs est tout autre. Ils doivent, en effet, fournir à chacun des appareils de laverie un produit conforme à son mode d'action.

Les appareils de M. Dor reposent sur le même principe que les appareils décrits en dernier lieu, mais ce sont de vrais classeurs de matières fines, caractérisés par une étude approfondie de la forme qui apporte le moins de trouble dans leur manière d'agir.

V. — Appareils classeurs de M. Dor, à Ampsin (Belgique).

Les appareils classeurs de M. Dor fonctionnent aux ateliers de préparation d'Ampsin et du Dam. La pratique a indiqué à leur auteur différentes modifications successives. Les figures 4, 5, 6, 7, 8 et 9 de la planche XII représentent un classer installé à Ampsin, en mars 1868.

Il se compose d'une trémie A, recouverte d'une tôle perforée de trous de 1 millimètre et demi, sur laquelle une petite fille délaye la matière dans l'eau pure fournie par un tuyau à mille trous B. Les schlamms tombent au sommet d'un disque conique C, supporté par des lames de zinc placées de champ, et s'écoulent par la section annulaire comprise entre les cônes C et C'. La largeur de cette section est réglée de manière à ce que l'écoulement de la matière soit le plus régulier possible. Sous le disque, débouche un tuyau D amenant un courant ascensionnel, réglé au moyen de robinets à cadran E. La matière reçoit l'action de ce courant, au moment même où elle abandonne le disque ; cette action se produit comme nous l'avons décrite. Les matières légères se déversent par-dessus les bords du premier barillet et sont conduites dans l'axe du second par le chenal F. Les matières plus lourdes sortent par l'ajutage G.

Les barillets ont des diamètres respectifs de 24, 32, 44, 58 et 76 centimètres. Par suite de cette augmentation de section, le courant se ralentit, de manière à ce que chaque barillet produise des classes bien tranchées. Il en résulte toutefois, comme dans toutes les caisses pointues, que la

quantité d'eau augmente à mesure que la matière diminue. Nous verrons comment M. Dor s'est proposé de remédier à cet inconvénient.

Le dernier barillet est dépourvu de disque et ne reçoit pas de courant ascensionnel.

La figure 10 est une coupe d'un appareil plus ancien, construit pour l'atelier du Dam et employé à Ampsin concurremment à l'appareil à disques. Le premier barillet y est seul représenté. Les flèches indiquent suffisamment la marche des matières dans cet appareil.

Le cône renversé A est nécessaire pour diriger dans l'axe de l'appareil le courant ascensionnel qui arrive latéralement. Il en résulte toutefois deux inconvénients : la vitesse du courant diminue à mesure que la section augmente ; certaines grenailles dont la vitesse de chute est inférieure à celle de ce courant en *a* et supérieure à celle du même courant en *b*, ne pourront être expulsées ni par l'ajutage inférieur, ni par le déversoir supérieur ; ces grenailles flotteront par suite entre les deux issues. Il se produit, en outre, contre les parois du cône A, un remou, d'où résulte un dépôt de matières légères. La quantité de celles-ci augmentant peu à peu, elles finiront par couler vers l'orifice de sortie, comme ferait un liquide plus dense que l'eau.

Ce dernier défaut n'existe pas dans l'appareil à disques ; le premier y est fort atténué. En pratique, on en évite l'influence en fournissant un excès d'eau à l'appareil ; même pendant les heures de repos, on est obligé de continuer à donner le courant ascensionnel, pour ne pas nuire au classement par le dépôt immédiat des matières encore en suspension. L'emploi de l'appareil à disques a permis de réduire la consommation d'eau qui est certainement le plus grave inconvénient de ces classeurs.

M. Dor vient de faire construire un nouvel appareil, où ces divers inconvénients seront évités. Ce classeur représenté figure 10 est pour cela disposé verticalement, ce qui n'augmente guère la hauteur à laquelle il faut élever la matière. Cet appareil est alimenté automatiquement par un patouillet

suivi d'un tamis à secousses verticales et d'une chaîne à godets qui porte la matière au sommet de l'appareil. Les flèches dispensent de toute explication. On voit qu'il n'y a plus de changement de section, à partir du moment où le courant s'est infléchi verticalement autour de la mince paroi du disque-cône. Les influences perturbatrices diminuant, il en résultera de plus qu'on pourra y passer plus de matière dans le même temps. Les classes sont formées par les refus qui s'écoulent en déversoir des barillets sur toute leur circonférence. Ce système de classement est très-avantageux. En effet, les matières les plus riches parviennent ainsi aux derniers barillets de plus en plus débourbées et reçoivent l'action d'un courant de plus en plus rapide. La section des barillets diminue progressivement dans cet appareil et la quantité d'eau est, par suite, toujours proportionnelle à la quantité de matière qu'elle contient.

Le nouvel appareil permettra, en outre, d'économiser beaucoup d'espace.

Arrêtons-nous un instant sur le rang que ces classeurs occupent dans la préparation mécanique d'Ampsîn. Le minéral, originaire de la Sardaigne, est broyé aux cylindres ⁽¹⁾ et soumis à un classement à sec au trummel qui donne des grenailles pour les cribles et des schlaums pour la laverie. Les fins passent aux classeurs de M. Dor : les premiers barillets donnent du minéral pour le caisson allemand, ceux du milieu de la matière pour les tables à secousses ordinaires, et les derniers, ainsi que les bassins de dépôt, un produit destiné aux tables à secousses latérales.

(1) On a supprimé depuis peu à Ampsîn, à l'exemple du Dam, près d'Anvers, les engrenages qui accompagnaient les cylindres broyeurs et l'on a obtenu par cette suppression des résultats inespérés. L'emploi d'engrenages doubles est une cause de dépense et les engrenages simples donnent lieu à une usure très-irrégulière des tourillons et des surfaces. Le bris si fréquent des dents des engrenages des broyeurs de matières dures est un très-grave inconvénient. Lorsque les cylindres se conduisent par simple interposition de la matière à broyer, ils conservent un poli remarquable par suite de l'usure très-égale des surfaces.

Les produits intermédiaires de ces divers appareils enrichisseurs repassent aux classeurs de M. Dor.

On passe 4 à 5000 kilogrammes de schlamms en dix heures à l'un de ces appareils.

Le tableau suivant résume les données que nous avons pu nous procurer sur les résultats obtenus à Ampsin. Les premiers sont relatifs à l'appareil primitif, les derniers à l'appareil à disques. Le même minerai a servi aux essais n^{os} 2 et 3. Dans ce dernier essai, l'ouverture d'un robinet ayant été mal réglée, la comparaison a perdu sa valeur. Enfin le quatrième essai montre le degré d'enrichissement que l'on peut obtenir à l'aide de ces appareils.

Remarquons que, dans certains cas, les appareils classeurs perfectionnés jouent le rôle d'enrichisseurs en séparant par densités. C'est le cas, lorsque le minerai contient certaine matière en grande abondance. Si, par exemple, un minerai est très-riche en galène, les premières classes en seront presque exclusivement composées; si, d'autre part, les schlamms contiennent beaucoup de boues stériles, les dernières classes seront presque uniquement composées d'argile.

Les minerais traités à Ampsin à l'époque de ces essais étant très-riches en zinc, la richesse en zinc des produits donne une idée satisfaisante du classement ⁽¹⁾.

(1) Les minerais sur lesquels furent faits les essais suivants provenaient de la mine de l'*Argentièrre*, au sujet de la situation de laquelle nous avons fait une erreur, t. I et II, p. 633. Cette mine se trouve à l'*ouest* du détroit de Bonifacio et tout à l'*opposé* de l'*île de la Madelaine*.

	Matière traitée.	PRODUITS.								OBSERVATIONS.
1. APPAREIL SANS DISQUES. 1 ^{er} essai.	Produit intermédiaire des tables à secousses.	1 ^{er} Barillet	2 ^e Barillet.	3 ^e Barillet.	4 ^e Barillet.	5 ^e Barillet.	Labyrinthe	Bassins de dépôt.		
Poids.....	500 k.	60 k.	100 k.	126 k.	106 k.	43 k.	28 k.	37k(7,4%)	La durée du classement a été de deux heures, soit 2,500 kil. par dix heures.	
Teneur. { Zinc.....	43,91 %	18,35 %	49,16 %	47,45 %	47,49 %	48,24 %	47,45 %	43,03 %		
{ Plomb.....	12,38	56,20	9,26	6,50	3,20	2,36	3,07	1,48		
Métal { Zinc.....	249k,55	11k,04	49k,16	59k,41	50k,02	20k,74	13k,29	15k,92		
contenu. { Plomb.....	61,90	33,72	9,26	8,19	3,39	1,01	0,86	5,47		
Degrés d'ouverture des robinets...	—	8°	5°	3°	1°	fermé.	—	—		
2. APPAREIL SANS DISQUES. 2 ^e essai.	Galène mélangée du pied des caissons (1/2mm).								La durée du classement a été de 15 minutes, soit 4,000 kil. par dix heures.	
Poids.....	400 k.	25k,67	16,65	40,43	néant.	10,13	7k,12			
Teneur. { Zinc.....	41,77 %	18,00 %	43,68 %	49,96 %	»	49,96 %	64,85 %			
{ Plomb.....	19,26	55,94	16,50	3,46	»	2,03	7,71			
Métal { Zinc.....	41k,77	4k,6206	7k,2727	20k,4988	»	5k,0609	4k,6170			
contenu. { Plomb.....	19,26	14,3597	2,7472	1,3988	»	0,2056	0,5487			
Degrés d'ouverture de robinets...	—	5°	2°	1 1/2°	—	fermé.	—	—		
3. APPAREIL A DISQUES. 1 ^{er} essai.	Galène mélangée du pied des caissons.								Le robinet du 2 ^e barillet n'a pas été assez ouvert par erreur, aussi la plus grande partie des matières s'y est-elle précipitée. La durée du classement a été de 28 minutes.	
Poids.....	200 kil.	20	131	41	7	—	—	—		
Teneur. { Zinc.....	41,77 %	18,50 %	43 %	48,72	48,72	—	—	—		
{ Plomb.....	19,26	54,65 %	17,73	6,80	3,80	—	—	—		
Métal { Zinc.....	83k,54	3k,70	56,33	19,9752	3,4104	—	—	—		
contenu. { Plomb.....	38,52	11,93	23,2263	2,7880	0,2660	—	—	—		
4. APPAREIL A DISQUES. 2 ^e essai.	Galène mélangée du pied des caissons.								Les degrés d'ouverture des robinets ont été convenablement réglés.	
Teneur en plomb.....	29,80 %	62,14 %	8,66 %	6,85 %	5,28 %	6,54 %	—	—		

M. Dor s'occupe actuellement d'appliquer son appareil au lavage des menus charbons et surtout des schlamms extraits des lavoirs; un seul grand barillet suffira dans ce cas.

Remarquons, en terminant, l'heureux emploi du zinc dans cet appareil. Les parois de zinc très-minces se rapprochent autant que possible des surfaces idéales qui n'apporteraient aucune perturbation dans l'action des courants qu'elles séparent. Leur poli s'oppose à tout dépôt de matières et elles se prêtent, par la soudure, aux formes les plus compliquées. Si l'emploi de la fonte et du fer a fait faire de grands progrès aux ateliers de préparation mécanique, le zinc peut également y trouver de fréquentes applications pour les pièces qui n'agissent que par la forme et non par la résistance.

VI. — ENRICHISSEMENT DES PRODUITS CLASSÉS.

I. — Distribution des schlamms. — Livreurs-distributeurs de MM. Huet et Geyler. — Distributeur conique à rotation de M. de Kittinger.

La régularité de la distribution des matières a pris une importance croissante à mesure que l'automatisme s'est introduit dans les appareils; l'habileté de l'ouvrier ne peut, en effet, suppléer aux irrégularités de la distribution dans les appareils continus. Les matières doivent être livrées en quantité constante et délayées aussi bien que possible dans une quantité d'eau invariable. Ces conditions sont loin d'être réalisées dans les appareils mélangeurs, patouilleis, trunnels, installés au chevet des tables dans les anciens ateliers de préparation.

MM. Huet et Geyler définissent ainsi les fonctions des distributeurs de schlamms :

« Un bon *livreur-distributeur* devrait, en marchant automatiquement, prendre, dans un temps donné, toujours la même quantité de matière, la barboter convenablement pour la réduire en une boue bien homogène et la répandre ensuite d'une manière constante et régulière sur la table, en re-

tenant les petites pelottes argileuses insuffisamment délayées, les matières étrangères ou les fragments trop gros.»

Ces ingénieurs ont adopté d'abord un appareil qui était assez loin de remplir le programme qu'ils lui avait tracé. Il se trouve représenté pl. XIII, fig. 1.

Il se compose d'un cylindre B, muni à l'intérieur de poignards, dans le but de mélanger la matière et l'eau qu'il reçoit d'une trémie A. En C, se trouve une tôle perforée; la matière arrive, en traversant cette tôle, dans l'espace annulaire D, où elle est prise par des palettes qui l'a transportent dans le trummel F, où se fait une nouvelle séparation. Les matières qui traversent la tôle arrivent par le couloir G au chevet de la table, tandis que les matières trop grosses tombent dans le couloir E qui les dirige en sens inverse. L'application de ces couloirs est facile à saisir d'après les figures 7 et 8, représentant des tables munies de ce livreur-distributeur.

Cet appareil n'est, somme toute, qu'un mélangeur perfectionné et la régularité de la distribution y dépend uniquement du travail de l'ouvrier chargé d'alimenter la trémie.

MM. Huet et Geyler sont parvenus récemment à lui donner une forme plus parfaite. Leur nouveau livreur automatique se trouvait appliqué aux tables de lavage exposées par eux. La figure 2 est une coupe de ce nouvel appareil.

La régularité de la distribution y est obtenue par l'intermédiaire d'une hélice en fonte N qui se meut dans la boîte M occupant le fond d'une trémie. L'ouvrier doit maintenir celle-ci constamment remplie. Les spires de l'hélice sont creusées plus ou moins profondément, de manière à distribuer au cylindre mélangeur une plus ou moins grande quantité de matières dans un temps donné, selon que l'on fixe cette hélice plus ou moins avant sur l'arbre horizontal du cylindre, au moyen des écrou et contre-écrou OO'. Le débit de l'hélice reste constant et régulier dès qu'elle est fixée. Dans la position indiquée par la figure, elle donne son débit minimum. La marche de la matière est, au surplus, la même

que dans l'appareil précédent, mais le nouveau distributeur permet de mieux régler la quantité d'eau de mélange. Si les matières chargées dans la trémie sont sèches ou simplement humides, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire dans le cylindre mélangeur, ce qui se fait au moyen du tuyau R et d'un robinet. Mais ce n'est généralement pas le cas pour les matières qui arrivent des appareils classeurs, mélangées à une quantité d'eau tantôt superflue, tantôt insuffisante. Les matières trop délayées ne seraient pas entraînées. Il faut qu'elles aient acquis une consistance déterminée pour jouer le rôle d'écrou mobile, par rapport à l'hélice. On obtient cette condition par l'adjonction d'un petit trummel essoreur S, où arrivent les matières en suspension; la matière essorée tombe en A; on peut, par suite, régler encore, par le robinet, la proportion d'eau que l'on admet dans le cylindre.

L'extension prise en Autriche par les appareils continus de M. de Rittinger donna lieu à de nombreux essais d'appareils distributeurs à Przibram, Ohlajaposhanya, Nagybania, Joachimsthal, Schemnitz, etc. Il est intéressant de suivre ces essais et de voir comment l'on est arrivé au résultat, en Autriche, par un chemin opposé.

Les premiers essais, remontant à 1862, se firent sur des hélices analogues à celle de MM. Huet et Geyler; mais ces essais n'aboutirent pas, par suite de la difficulté de livrer à l'hélice des schlamms de consistance convenable. Si la consistance est trop grande, l'hélice ne fonctionne plus, elle se creuse dans la matière une loge cylindrique où elle tourne sans produire d'effet.

Après bien des essais infructueux, M. de Rittinger proposa l'emploi de distributeurs-coniques tournants qui, successivement modifiés, ont fourni un type définitif répondant le mieux aux exigences posées.

Le principe de ces distributeurs est des plus simples. Une trémie répand à la surface d'un cône une couche de matière dont l'épaisseur uniforme est réglée par un couteau. Le cône en tournant vient passer sous un filet d'eau qui abat la ma-

tière dans une rigole; celle-ci la conduit à un petit trummel, si c'est nécessaire, puis aux tables.

Les premiers distributeurs coniques employés à la laverie Anna, à Przibram, étaient concaves (fig. 3). Cette forme s'est répandue en Allemagne; nous avons vu fonctionner des distributeurs de ce genre avec beaucoup de régularité, dans le bel atelier de la mine de Werlau, près de Saint-Goar, sur le Rhin (¹). Cependant la forme convexe a été préférée en Autriche: le cône est, en effet, plus facile à fixer sur son axe et rien ne gêne l'écoulement des matières à la circonférence extérieure, tandis que, dans le précédent, le croisillon est un obstacle à la régularité du débit.

Les figures 4, 5, 6 représentent ce type définitif créé à la mine de Joachimsthal (Bohême). La substitution de la fonte au bois, dans cette construction, ne pourrait être qu'avantageuse. L'appareil de Joachimsthal porte deux trémies A. On voit en B le couteau qui arrase la couche de schlamms admise sur le cône. Celui-ci est partagé en quarante-huit segments par les lames de tôle C dans le but d'empêcher le courant d'eau de s'étendre latéralement. Les tuyaux d'écoulement sont figurés en D. Le cône est mù par une vis sans fin. Le distributeur fait six à dix tours par heure et livre 5 à 10 pieds cubes de schlamms en vingt-quatre heures, en ne faisant usage que d'une trémie.

Nous préférons cet appareil au nouveau livreur-distributeur de MM. Huet et Geyler. Les fonctions de l'hélice dépendent, en effet, d'une condition très-difficile à remplir. Cette condition est le degré de consistance des schlamms, dont l'influence est bien moindre sur l'appareil de M. de Rittinger.

Nous avons décrit l'appareil autrichien, parce qu'il est devenu en Bohême et en Hongrie l'accessoire obligé des tables à secousses latérales de M. de Rittinger.

(¹) Voir *Revue de l'Exposition universelle*, t. I et II, p. 626. *Revue universelle*, t. XXIII et XXIV, p. 236.

II. — Tables à secousses.

1^{re} Tables à secousses longitudinales.

La plupart des appareils de laverie exposés étaient des appareils continus : tables à secousses longitudinales et à toile sans fin, tables à secousses latérales et tables tournantes.

Les appareils non-continus, le caisson allemand et la table dormante notamment, deviennent de plus en plus rares dans les ateliers de la méthode allemande récemment construits. Nous avons vu que le nouveau crible continu de Harz est bien près d'en expulser également l'ancienne table à secousses. La construction de celle-ci s'est cependant remarquablement modifiée dans ces dernières années.

Une seule table à secousses figurait à l'Exposition universelle, celle de M. José de Monasterio, dont un modèle était exposé dans le secteur espagnol. Cette table employée, dit-on, avec succès dans la province d'Almeria est, comme on sait, à suspension inférieure, elle oscille sur deux essieux par l'intermédiaire de quatre bras en fonte (1).

Sans aller aussi loin que M. de Monasterio, l'on a fait en Allemagne de nombreux essais dans le but d'abaisser les points de suspension des tables à secousses, et de supprimer ainsi l'encombrement produit dans les ateliers par les lourdes charpentes de ces appareils. Cet encombrement crée, dans certains cas, une gêne au travail.

L'emploi des charpentes métalliques était dicté par les conditions mêmes du problème à résoudre. Les ateliers de Sievers et C^e, à Kalk, sont entrés des premiers dans cette voie. Leurs tables à secousses, entièrement dégagées de toutes parts, sont suspendues en tête à une charpente métallique qui porte l'arbre à cames, le butoir et le distributeur, et en pied à deux colonnes de fonte. La suspension se fait au moyen de simples tiges de fer rond. Lorsque plusieurs tables

(1) *Revue universelle*, 1862, t. XI, p. 253, pl. VI.

sont juxtaposées, les supports intermédiaires servent à la fois à deux tables. Cette construction n'est pas cependant exempte d'une certaine lourdeur.

Les types créés, entre autres, aux ateliers du Bleyberg (Belgique), de Diepenlinchen (Prusse), etc., sont plus légers, mais cette légèreté n'est souvent obtenue qu'au prix de fondations plus dispendieuses et de réparations fréquentes.

M. Huet et Geyler ont, croyons-nous, atteint la limite qu'il est permis d'espérer dans le degré de légèreté de ces supports. Bien que leur table ne figurât pas au Champ de Mars, nous en donnons un dessin (pl. XIII, fig. 7). Ce dessin montre en même temps certains organes qui se trouvent également dans la table à toile sans fin exposée par ces ingénieurs. Comme les nouvelles tables à secousses de Sievers et C^e, cette table est en tôle : elle est suspendue au moyen de bielles B très-courtes, aux flasques C C' fixées solidement à des longrines L qui reposent sur le sol.

L'inclinaison, l'amplitude et le nombre des secousses, l'intensité du choc peuvent être réglés isolément par différents moyens, auxquels on pourrait peut-être reprocher trop de complication.

L'inclinaison se règle en faisant varier, au moyen de crics jumeaux, la hauteur des points de suspension du pied de la table. L'un de ces crics est figuré en pointillé dans la figure 7. La même disposition est appliquée au pied de la table à toile sans fin, représentée en élévation fig. 8. Les mêmes lettres désignent les mêmes organes dans ces figures. C' est la flasque traversée par la crémaillère D ; elle porte les coussinets de l'arbre F des pignons E qui engrènent les crémaillères des deux crics. Cet arbre est mù par la manivelle I et les roues dentées G et H. Un cliquet J agissant sur un rochet porté par l'arbre de la roue H, permet de retenir la table dans l'inclinaison voulue.

Les secousses sont obtenues par la came K agissant sur le mentonnet M. Celui-ci est mobile sur la tige filetée N, au moyen des écrous ff, de manière à faire varier à volonté l'amplitude des secousses.

Le nombre des secousses peut également varier à l'aide du cône Q placé sur l'arbre à came.

Quant à l'intensité des secousses, à la *tension* de la table, elle est réglée par un ressort contenu dans la boîte P et communiquant avec la tige N par le levier O. La tige N est articulée par une extrémité à ce levier et par l'autre à la table. Le ressort P peut se bander à volonté. Les bielles B étant verticales à l'état de repos, c'est moins le poids de la table que la tension du ressort qui produit le choc; on voit en V les butoirs sur lesquels le choc se donne. Ces butoirs sont formés de boîtes en fonte où l'on encastre, suivant le besoin, la matière que l'on considère comme la plus avantageuse pour produire le choc.

Comme dans les appareils allemands, un bâti supporte à l'arrière les transmissions de mouvement et le distributeur S décrit plus haut.

Nous ne terminerons pas cet article sans mentionner une méthode de se rendre compte de la marche des tables employée par les ingénieurs autrichiens. Cette méthode consiste à représenter les densités des diverses zones de minerai par des ordonnées dont les abscisses expriment la distance de la prise d'essai au pied de la table. En reliant les sommets de ces ordonnées, on obtient une courbe dont la forme permet immédiatement de juger de la bonne ou mauvaise marche de l'appareil. Quand la séparation est bien effectuée, la courbe s'élève rapidement vers l'axe des ordonnées. La courbe doit, en outre, tourner constamment sa convexité vers les axes.

On pourrait construire des diagrammes analogues pour les teneurs. Il est cependant préférable de considérer les densités, les teneurs dépendant de circonstances minéralogiques qui peuvent induire en erreur. Les ingénieurs autrichiens emploient, pour déterminer la densité, la méthode de Phipson.

Cette méthode consiste à introduire dans un tube de verre gradué en centimètres cubes et contenant de l'eau jusqu'à une certaine hauteur, la matière pesée à sec. On observe de

combien de centimètres cubes l'eau s'élève dans le tube, lorsque la matière s'est déposée et que les bulles d'air se sont dégagées. On connaît ainsi le volume de la matière, et l'on en déduit aisément la densité en divisant le poids sec par le poids d'un égal volume d'eau.

2° *Table à toile sans fin et à secousses.*

La table à toile sans fin et à secousses est une modification des tables de Brunton due à M. Hartwig, ingénieur de la Société de la Vieille-Montagne. La première application en fut faite à l'usine de Moresnet en 1860, et, depuis lors, ce nouvel outil s'est rapidement répandu en Allemagne. Il est employé dans la plupart des ateliers de la Vieille-Montagne et donne surtout de bons résultats pour le traitement des minerais de composition binaire. C'est à ce titre que l'emploi de la table de Brunton semblait dicté à Moresnet. Une simple table de Brunton, montée sur une charpente très-élevée, n'avait eu cependant d'autre effet que d'élever la teneur du minerai de 20 à 27 pour 100 de zinc. Ce résultat étant peu satisfaisant, M. Hartwig, raconte-t-on, donna un beau jour un coup de pied au malencontreux engin. Grâce à l'élévation de la charpente, la table se mit à osciller ; de là naquit l'idée d'y appliquer la secousse. Dès les premiers essais, l'on obtint l'enrichissement du même minerai à 37 pour 100. Ces tables passent à Moresnet 15 à 18 000 kilogrammes en dix heures, selon la grosseur des sables ou des schlamms. L'appareil coûte environ 1 500 francs.

Cette construction, dont les ateliers de Sievers et C^e se sont immédiatement emparés, est plus massive que la nouvelle disposition exposée par MM. Huet et Geyler dont la figure 8 représente une élévation.

Une toile sans fin de caoutchouc se meut sur deux rouleaux A dont l'axe est suspendu par des bielles en tête du bâti qui porte la transmission de mouvement et le distributeur S, et en pied aux crics jumeaux déjà décrits. Un troi-

sième rouleau A' sert de tendeur, son axe est pour cela relié par des vis au cadre en tôle M qui porte les rouleaux A.

Le mouvement de rotation est communiqué à l'un de ces rouleaux par la poulie P.

Les secousses sont produites par l'arbre à came R mù par la poulie P'; cet arbre transmet en même temps le mouvement au distributeur S. La came agit sur un mentonnet fixé sur la traverse supérieure du cadre M. Ce cadre est rappelé en arrière par la tension d'un ressort relié par le levier O et la tige N à cette même traverse. Ce ressort, dont la tension varie à volonté, est caché par le bâti dans la figure. Il est semblable à celui de la table à secousses ordinaire.

Les butoirs qui reçoivent le choc sont figurés en V.

Les matières arrivent du distributeur par le chenal G qui les répand environ au tiers de la table. Un tuyau arrose les matières en tête de la table, pour en achever l'enrichissement; un autre tuyau en détache les matières riches, qui tombent dans la rigole Y. Les matières pauvres sont entraînées par le courant général vers le pied de la table et se déversent dans le canal Z.

Cette table s'emploie généralement pour les sables fins et pauvres. Certains minerais s'y travaillent d'une manière remarquable, tels sont ceux de Moresnet (calamine et gangue), et ceux de Mechernich (galène et quartz). Le succès de ces tables dans ces localités a suscité plusieurs autres essais qui échouèrent par suite de la complexité du minerai ⁽¹⁾.

Lorsque le minerai s'y prête, cet appareil n'a d'autre défaut que les fréquentes réparations qu'il exige, comme on nous l'a assuré à la mine de Werlau, près de Saint-Goar, où ces tables sont employées sur une grande échelle. Nous craignons que les modifications apportées par MM. Huet et Geyler au type allemand n'aient pour effet d'obtenir un tra-

(1) Nous avons entendu dire récemment en Allemagne que la maison Sievers cherchait à appliquer cette table, ainsi que le crible du Harz, au lavage des poussières et des schlamms de charbon. La production de ces appareils nous paraît bien faible pour justifier cette application.

vail plus parfait peut-être, mais en revanche plus onéreux, par suite d'une complication plus grande.

On a employé cet appareil dans plusieurs ateliers de la Vieille-Montagne, pour traiter à la fin de la préparation des sables très-pauvres rejetés auparavant. A la laverie Saint-Paul, à Welkenraedt, on a disposé cet appareil de manière à l'appliquer au travail d'un mélange complexe. Le procédé consiste à superposer deux de ces appareils en leur donnant des inclinaisons inverses.

Le travail de ces tables se lie intimement, dans cet atelier, au travail des tables à secousses ordinaires. Ces tables n'y sont pas, par suite, exclusivement consacrées au travail des matières très-fines. Nous y avons vu traiter des sables de 1 à 2 millimètres. La table à toile joue, par rapport à la table à secousses, le rôle d'un appareil dégrossisseur. Nous préciserons mieux ce rôle en rapportant dans le tableau suivant, le détail d'un essai exécuté à Welkenraedt sur le traitement des schlamms.

Les tables à toiles de Welkenraedt passent 12 000 kilogrammes environ en dix heures et demie, et reçoivent cent cinquante secousses par minute.

EN QUARANTE-DEUX HEURES FURENT TRAITÉS SUR DEUX TABLES À SECOUSSES ORDINAIRES
26525 KILOGRAMMES DE SCHLAMMS.

Tête : 6050 kil.	Produit intermédiaire.....	16 725 kil.	Stérile : 3750 kil.
Repasse aux mêmes appareils.			
Tête : 1540 kil.	Produit intermédiaire.....	4510 kil.	
Repasse aux mêmes appareils.	Total.....	21 235 kil.	

TRAITÉS EN SEIZE HEURES SUR LA TABLE À TOILE DOUBLE.

Tête de la 1 ^{re} table : 6000 kil.				Tête de la 2 ^e table : 2750 kil.		Minerai mélangé :
Livrés aux tables à secousses.				Repasse à la table à toile.		12 485 kil.
Tête : 1850 kil.		Blende impure : 4150 kil.		Tête de la 1 ^{re} table :		Minerai mélangé (2 classes) :
Repasse aux mêmes appareils.		Repasse aux mêmes appareils.		1570 kil.		1180 kil.
Livrés aux tables à secousses.		Livrés aux tables à secousses.		Tête : 640 kil.		Blende impure : 930 kil.
Schlich plombeux.	Minerai mélangé.	Schlich blendeux.	Min. mél. pyriteux.	Repasse aux mêmes appareils		Repasse aux mêmes appareils
1140 kil.	400 kil.	1750 kil.	2400 kil.			
Schlich plombeux.	Minerai mélangé.	Schlich blendeux.	Min. mél. pyriteux.	Repasse aux mêmes appareils		Repasse aux mêmes appareils
750 kil.	1100 kil.	1750 kil.	2400 kil.			
Schlich plombeux.	Minerai mélangé.	Schlich blendeux.	Min. mél. pyriteux.	Repasse aux mêmes appareils		Repasse aux mêmes appareils
250 kil.	390 kil.	700 kil.	230 kil.			

RÉCAPITULATION DES PRODUITS :

Schlich plombeux.....	2140 kil.
Schlich blendeux	2450 —
Minerai mélangé des tables à secousses.	4520 —
Minerai mélangé des tables à toile....	13665 —
Stérile.....	3750 —

TOTAL..... 26525 kil.

MAIN-D'ŒUVRE :

Aux tables à secousses.....	22 fr. 80
Aux tables à toile.....	9 60

TOTAL.... 32 fr. 40

Le traitement peut encore se compliquer par l'adjonction d'une table à toile et à secousses simple ; dans ce cas, la marche des matières est la suivante :

Table à secousses ordinaire.	{	Tête passe à la table à toile double.
		Produit intermédiaire repasse.
		Mélange de pyrite, blende et gangue passe à la table à toile simple.
Table à toile double.	{	Tête : (galène et pyrite) finie en un ou plusieurs passages à la table à toile simple.
		Produit intermédiaire (galène, pyrite et blende) Idem.
		Partie inférieure : passe à la table à secousses ordinaire.
Table à toile simple.	{	Tête finie à la table à secousses qui donne de la pyrite et de la blende.
		Stériles.

L'emploi des cribles à matières fines et des tables à secousses latérales est sur le point de faire disparaître des ateliers de Welkenraedt ce traitement qu'il nous a paru intéressant de consigner ici.

3^e Tables à secousses latérales de M. de Rittinger.

A. La table Rittinger en Hongrie.

M. de Rittinger fit connaître, en 1858, dans l'*Österreichische Zeitschrift für Berg und Huttenwesen*, le principe d'une table continue à secousses ⁽¹⁾ dont le premier essai fut fait à Schemnitz en 1860. Cet appareil qui ne possédait pas encore la forme définitive sous laquelle l'idée de M. de Rittinger s'est successivement répandue en Autriche, en Angleterre et en Belgique, fut honorée d'une flatteuse distinction à l'Exposition de Londres de 1862. Un appareil peu différent des tables actuelles fonctionna, la même année, aux mines de Ohlalaposbanya (Transylvanie).

(1) L'article de M. de Rittinger a été traduit dans la *Revue universelle*, t. IV, 1858, p. 332.

La nouvelle table se répandit bientôt dans les mines de la Hongrie, de la Transylvanie et de la Bohême. C'est à Schemnitz qu'elle reçut enfin, en 1864, la forme définitive, dont un modèle se trouvait exposé au Champ de Mars. Les laveries de Schemnitz possèdent actuellement environ quarante tables Rittinger.

Occupons-nous d'abord du principe sur lequel cet appareil repose. Si l'on fait arriver en *a* (fig. 3, pl. XIII), sur une aire inclinée et suspendue à la manière des tables à secousses ordinaires, un courant tenant en suspension des schlamms classés, et en *m* un courant d'eau pure de même vitesse ; si, d'autre part, on imprime à cette aire des secousses dans le sens latéral, en la faisant buter avec force contre une pièce *p*, les matières tendront à se diriger respectivement suivant les diagonales construites sur les vitesses qu'elles prendraient, en vertu des forces respectives auxquelles elles sont soumises. La vitesse du courant descendant le long de la table emporte les matières d'autant plus rapidement qu'elles sont moins denses ; la vitesse latérale due à la force vive est, au contraire, d'autant plus grande que ces matières sont plus denses. En considérant quatre matières de densités différentes et en appelant *ab*, *ac*, *ad* et *ae* les chemins décrits, suivant la pente pour une même vitesse latérale, on voit par la figure que ces matières décrivent des zones paraboliques qui aboutissent respectivement à divers points de l'arête inférieure de la table.

Nous avons vu dans la roue de setzage ⁽¹⁾, une première application de ce principe que M. de Rittinger considère comme d'une application générale dans les appareils continus de la préparation mécanique ⁽²⁾.

Les tables de Schemnitz sont représentées fig. 1, 2, 3, pl. XIV.

Ces tables sont accolées au nombre de deux, d'où leur

(1) Remarquons l'analogie de l'appareil de M. de Rittinger avec le *Lisburne buddle* du *Captain Vigus* installé à Frongoch (pays de Galles), en 1855. (Voir *Ann. des Mines*, 6^e série, t. IX, 1866, p. 94.)

(2) T. I et II, p. 608.

nom de *tables jumelles*. L'aire de chacune est de 2^m,50 de long sur 1^m,25 de large.

Un point essentiel pour la bonne marche de ces appareils est d'obtenir une surface parfaitement plane et imperméable à l'eau. On formait, dans le principe, cette surface d'un plancher d'érable chevillé sur un plancher de sapin, de manière à ce que les joints ne se superposent pas. Une forte charpente en chêne maintenait solidement ces parties et les empêchait de se déjeter. Le plancher d'érable, soigneusement poncé, était légèrement carbonisé au moyen d'une solution d'acide sulfurique. On lavait chaque jour la table à l'eau pure, avant le travail, pour enlever les paillettes adhérentes.

On peut reprocher à cette construction son prix élevé et son peu de durée. L'érable soumis à des alternatives de sécheresse et d'humidité ne tarde pas à jouer, et les végétations cryptogamiques finissent par en altérer les surfaces.

Après avoir essayé sans succès de goudronner la table, on s'est arrêté, en 1867, à y appliquer deux ou trois couches d'un enduit composé de deux parties de craie, d'une de vernis et d'un peu de minium. Une nouvelle couche de la même composition suffit pour réparer cet enduit qui peut, d'ailleurs, recouvrir un simple plancher de sapin, aussi bien qu'un coûteux plancher d'érable. Le poli de cet enduit a seul, dans le principe, offert des difficultés. On est arrivé à les surmonter, comme nous le verrons, en diminuant la quantité d'eau de lavage, la tension et l'inclinaison de la table.

Nous verrons également que la difficulté d'obtenir une surface convenable a vivement préoccupé les constructeurs belges, qui ont cherché la solution du problème dans la matière dont l'aire est construite, plutôt que dans celle de l'enduit qui la recouvre.

La table reçoit parfois deux inclinaisons différentes : la première vers le pied, la seconde, très-faible, dans le sens de la secousse. Les matières séparées sont reçues dans des rigoles au moyen de fentes *c* dont les parois sont garnies de tôle. Chaque classe est dirigée vers la fente correspondante, au moyen des règles *e* pouvant prendre différentes positions

autour d'un axe fixe. Ces cloisons, garnies de cuir inférieurement, permettent de régler dans certaines limites la largeur de la zone reçue. Aux mines de Nagyag (Transylvanie), l'on a adapté à ces cloisons des vis de pression qui les fixent de manière à empêcher tout mélange.

Le mode de suspension de la table sera compris par l'examen des figures. Elle est guidée dans son mouvement par les pièces *qq* embrassant le madrier qui transmet les secousses à la table. La figure 1 montre clairement le détail de l'appareil à secousses. Le mouvement d'une série de tables est engendré par un arbre à cames. Un ressort *r*, en chêne, dont la tension peut être réglée par la roue à quatre manivelles *s*, précipite le retour de la table qui vient retomber sur le butoir *l*. L'amplitude de la secousse se règle au moyen de la vis *o*, portée par le madrier *p*. Son écrou se relie par une charnière au levier *p'* qui reçoit le mouvement de la came.

La matière arrive sur le distributeur *t*, occupant au maximum 30 centimètres de largeur. L'eau pure afflue dans les réservoirs *f*, d'où elle s'écoule par des robinets dans les caisses de distribution *h*. Celles-ci la déversent en trop plein sur la table par-dessus le bord denté des tôles *i*. Plus la largeur de table réservée à l'eau est considérable, plus aussi est grande la pureté du schlich que l'on obtient.

Les tables de Schemnitz reçoivent les matières classées dans des caisses pointues ou dans des classificateurs à caisse double, dits *Spitzlütte* ⁽¹⁾. Les minerais de bocard livrés à ces tables sont des minerais de plomb ou d'argent. Les premiers, après avoir été traités pour en extraire l'or, comme nous le verrons plus bas, donnent jusqu'à cinq produits différents : 1° galène aurifère, 2° galène, 3° pyrite de cuivre, 4° produits intermédiaires, 5° stériles.

Les minerais d'argent moins complexes ne donnent que trois produits.

Les produits intermédiaires sont repris par une roue élé-

(1) Voir p. 340.

vatrice K qui prend son mouvement sur l'arbre à cames. Cette roue les déverse sur une petite caisse pointue *n*, d'où ils repassent à la table Rittinger après séparation de l'excès d'eau et d'une partie des stériles qu'ils entraînent.

On compte dans cette installation deux tables jumelles par caisse pointue du classificateur. L'un de leurs compartiments est réservé pour le traitement du produit intermédiaire.

Dans certains ateliers plus récents, on emploie de préférence la table à secousses ordinaire pour retraiter ce produit. On renonce à la continuité, mais on est maître de l'opération.

Le tableau suivant, exposé à Paris, indique comment sont réglés, à Schemnitz, les principaux éléments de la marche de ces tables. Ce tableau se rapporte aux tables à plancher d'érable, non recouvert de l'enduit protecteur.

	Inclinaison		TENSION DU RESSORT (').	SECOUSSES.		QUANTITÉ DE MATIÈRE par minute.			CONSOMM. D'EAU par minute	
	latérale.	longitudinale.		Amplitude.	Nombre par minute.	Volume.	Poids.	Poids sec par litre.	Zone intérieure.	Zone extérieure.
(a) Minéral de plomb.										
Du <i>Pacherstolln</i> provenant de la	m.	m.	kil.	m.		lit.	kil.	gr.	lit.	lit.
1 ^{re} caisse pointue.	—	0,168	78	0,048	73	12,4	13,160	165	32,5	39,5
2 ^e »	0,012	0,116	61	0,042	85	10,5	11,250	94	34,5	39,0
3 ^e »	0,014	0,112	59	0,036	100 à 105	10,2	10,606	50	30,9	32,3
4 ^e »	0,028	0,104	56	0,020	112 à 130	7,5	7,879	56	28,9	21,1
(b) Minéral d'argent.										
Du <i>Franzschacht</i> provenant de la										
1 ^{re} caisse pointue.	0,012	0,144	118	0,036	76 à 78	13,3	14,198	208	22,4	37,5
2 ^e »	0,012	0,108	102	0,024	86 à 88	12,8	13,888	149	08,1	21,4
3 ^e et 4 ^e »	0,012	0,060	56	0,020	100 à 110	8,2	9,268	223	9,9	22,4

(1) La table étant en repos contre le butoir.

(') La table étant en repos contre le butoir.

Ces éléments ont été modifiés aux nouvelles tables de Schemnitz, recouvertes de l'enduit dont nous avons donné la composition.

Le tableau suivant indique la réglementation des nouvelles

tables, traitant, en 1868, un minéral d'argent du *Carl-schacht* :

Minéral de la	INCLINAISON.	TENSION DU RESSORT	SECOUSSES.		QUANTITÉ DE MATIÈRE par minute.		CONSOUMMAT. D'EAU par minute.	
			Ampli- tude.	Nombre par minute.	Vo- lume.	Poids sec par litre.	Zone inté- rieure.	Zone exté- rieure.
	m.	k.	m.		lit.	gr.	lit.	lit.
1 ^{re} caisse pointue.	0,130	142	0,052	70	7,9	103	11,7	26,5
2 ^e »	0,104	100	0,032	85	7,3	91	7,9	19,9
3 ^e »	0,083	90	0,026	95	6,6	62	5,7	13,9
4 ^e »	0,061	85	0,013	110	6,6	59	4,7	13,9

Les matières traitées à Schemnitz sont finement bocardées et très-riches en pyrite de cuivre. A Rodnau (Transylvanie), l'on a traité à la table à secousses latérales des matières moins fines et moins complexes. Pour ces matières, les éléments de marche diffèrent sensiblement. La grosseur des sables nécessite, en effet, plus de tension et d'inclinaison. L'inclinaison latérale devient inutile, le nombre des secousses doit être réduit.

La quantité d'eau doit, dans tous les cas, suffire pour donner aux différentes matières une mobilité suffisante. Elle sera d'autant plus abondante que l'inclinaison sera moindre et la densité plus grande.

La condition *sine qua non* d'une bonne marche est l'uniformité de tous les éléments qui y concourent. Il est donc d'une importance capitale de ne passer à la table Rittinger que des matières dont le classement est parfait. C'est à l'absence d'une bonne classification qu'il faut attribuer les résultats relativement incomplets obtenus dans le principe, à Schemnitz, par l'emploi des tables à secousses latérales.

Les premiers essais comparatifs des tables à secousses latérales et longitudinales donnèrent pour ces dernières un rendement supérieur de 6, 5 à 8 pour 100. Malgré ce résultat peu favorable, on conserva la table Rittinger, parce que ses produits étaient plus purs et plus riches, la séparation de

la galène et de la pyrite de cuivre plus nette et le travail plus économique.

Le rendement était un peu meilleur, lorsqu'on traitait des minerais d'argent de densité relativement moindre ; la table Rittinger fut, par suite, considérée en Autriche, comme plus avantageuse pour le traitement des minerais de densité moyenne, distinction qui ne paraît pas s'être vérifiée en Belgique. Dans le traitement des minerais plombés, l'on observait que les pertes augmentaient, avec la densité de la matière, plus rapidement qu'aux tables à secousses longitudinales et aux tables tournantes, comme le montrent les chiffres suivants :

MOYENNE DES PERTES EN PLOMB.		
Matière provenant de la	Table à secousses latér.	Table à secousses longitudinales.
1 ^{re} caisse pointue.	6,66 0/0	8,33 0/0
2 ^e —	14,55	14,55
3 ^e —	48,50	37,00
4 ^e —	50,00	28,50 (Table tournante.)

La cause en est due à l'adhérence des poussières de galène sur la surface de la table ; cette adhérence empêche les poussières impalpables d'obéir à l'action de la secousse latérale. Les poussières ne sortent pas, par suite, de la première zone et finissent par être entraînées avec les stériles. On s'est assuré que l'effet constaté était bien dû à cette cause : en balayant légèrement la surface de la zone stérile, on a vu l'aire de la table recouverte d'une poussière bleuâtre de galène. Nous ne pensons pas, toutefois, qu'on puisse attribuer ce résultat à la rugosité de la table, comme on l'a fait à Schemnitz, car nous avons vu le même effet se produire sur des surfaces très-lisses. C'est plutôt un effet de la densité considérable de la galène fine qui passe immédiatement sous le stérile et qui, entraînée par celui-ci, se sépare du schlich de galène.

Nous verrons comment on est parvenu à remédier, en partie, à cet inconvénient en Belgique.

Ces observations firent également considérer, en Hongrie, la table à secousses latérales, comme plus particulièrement destinée au traitement des schlamms de grosseur moyenne, les schlamms très-fins étant réservés aux tables tournantes. En Belgique, au contraire, on ne traite à la table Rittinger que les matières les plus ténues. Les essais tentés au Bleyberg et à Welkenraedt, sur le traitement de matières plus grosses, ont échoué devant l'imperfection des produits et surtout devant une richesse trop grande des stériles.

Il est juste de dire que les éléments de marche sont réglés très-différemment dans les ateliers belges et les ateliers hongrois.

Les caisses pointues pour le classement des schlamms ayant été mieux disposées, l'on a obtenu récemment à Schemnitz des résultats beaucoup plus satisfaisants que dans le principe.

Un essai exécuté en 1868 sur des minerais d'argent du Carlschacht, a donné pour les tables Rittinger et les tables à secousses ordinaires combinées, comparativement à ces dernières employées seules :

1° Une augmentation de 8, 6 pour 100 dans le rendement en argent aurifère ;

2° Une augmentation de 14, 6 pour 100 dans la valeur des produits.

Avant le changement opéré aux caisses pointues, le rendement des tables Rittinger était de 8 pour 100 inférieur à celui des tables à secousses ordinaires, mais la valeur des produits de la table Rittinger était encore de 5, 6 pour 100 supérieure, par suite de leur richesse et de leur netteté plus grande.

La force consommée est d'environ un demi-cheval par groupe de deux tables jumelles. C'est le double de ce que consomment deux tables à secousses ordinaires. Cette grande consommation de force a donné lieu à l'opinion assez accréditée dans les ateliers rhénans que la table Rittinger n'est avantageuse que pour les minerais précieux.

La main-d'œuvre s'élève actuellement à Schemnitz, par tonne de minerai traité, pour des salaires compris depuis 30 centimes jusqu'à 1 fr. 05 c. :

A 1 fr. 01 c. pour les tables Rittinger ;

Et à 1 fr. 53 c. pour les tables à secousses ordinaires.

B. La table Rittinger en Belgique.

C'est au Bleyberg que la table Rittinger fit sa première apparition en Belgique en 1865. Les tables du Bleyberg ne présentent pas de modification importante, relativement aux tables hongroises. La matière y est admise sur le tiers de la largeur, l'eau de lavage sur les deux autres tiers. L'on se sert, au Bleyberg, d'un simple patouillet pour mettre la matière en suspension.

L'aire en est formée d'une forte tôle fixée sur un plancher en bois. Pour éviter les ondulations de la tôle qui rendent la séparation impossible, on l'a piquée de clous en quinconce à 10 centimètres environ d'écartement les uns des autres. Cette précaution ne suffit pas toujours pour éviter les ondulations. La tôle a, de plus, l'inconvénient de se rouiller et de nécessiter un nettoyage journalier. On a ajouté aux tables du Bleyberg une règle faisant peu de saillie, placée obliquement sur le passage des deux zones paraboliques les plus pauvres. Cette règle a pour effet d'empêcher l'entraînement des poussières impalpables de galène qui, comme nous l'avons vu, suivent immédiatement les stériles, sans prendre part au mouvement latéral. Ces poussières venant buter contre la règle, descendent peu à peu le long de celle-ci et sont entraînées dans les cases à minerai riche. L'on voit en *xy* (fig. 3), la position de cette règle figurée en pointillé.

Les soins apportés au classement des schlamms dans la plupart des ateliers belges expliquent les excellents résultats qu'y a donnés la nouvelle table. On n'y passe que les matières les plus fines provenant, au Bleyberg, des labyrinthes et d'un lavoir à schlamms du type de la Nouvelle-Montagne. Ces matières sont fort pauvres, elles contiennent environ 5 pour 100 de plomb et autant de zinc.

Les éléments du travail ont dû être réglés en conséquence de la ténuité des matières. Le nombre des secousses, entre autres, n'a jamais été poussé aussi loin en Autriche qu'au Bleyberg. Ce nombre y a été porté, de même qu'à Welkenraedt, à deux cents par minute. Nous verrons qu'aux ateliers du Dam, à Anvers, on est allé jusqu'à trois cents, grâce à une tension considérable des ressorts. Ces secousses atteignent au grand maximum 2 centimètres d'amplitude. La multiplicité des secousses empêche le tassement.

Le travail des tables Rittinger du Bleiberg se trouve résumé dans le tableau suivant :

Résumé du travail de la table continue à secousses latérales, au Bleyberg (septembre et octobre 1867).

MOIS.	Quantité moyenne traitée par jour.	PRODUITS.				Nombre d'heures.	Main-d'œuvre.
		Galène.	Minéral blendeux.	Minéral blendeux à retraiter.	Stériles.		
Sept.	5,5 0/0 de pl. 5 0/0 de zinc. 6 580 k. à	162 k. à 81 0/0 de pl.	1512 k. à 12 0/0 de plomb. 13 0/0 de zinc.	1 904 k. à 4 0/0 de plomb. 6 0/0 de zinc.	2 600 k. à 0,5 0/0 de plomb. 1,5 0/0 de zinc.	10	4.70
Oct.	5 0/0 de plomb. 5 0/0 de zinc. 6 748 k. à	166 k. à 80 0/0 de pl.	1 566 k. à 13 0/0 de plomb. 12 0/0 de zinc.	1 988 k. à 5 0/0 de plomb. 8 0/0 de zinc.	3 410 k. à 1 0/0 de plomb. 1 0/0 de zinc.	10	4.82

Des essais analogues à ceux de Schemnitz ont été faits au Bleyberg pour comparer le travail des tables Rittinger à celui des tables à secousses ordinaires. Le résultat de semblables essais dépend beaucoup de la nature du minéral. Celui du Bleyberg, dont la complication n'est pas extrême, semble se prêter on ne peut mieux à l'emploi de cet appareil qui donne *en un seul passage* deux produits finis, tandis que les premiers produits de la table ordinaire exigent encore au moins quatre séries de lavages.

Le prix de la main-d'œuvre est aussi élevé aux deux appareils et l'on y passe les mêmes quantités dans le même temps. Le chargement du patouillet nécessite un excès de

main-d'œuvre peu en rapport avec la continuité de l'appareil. L'économie constatée en Autriche résulte surtout du chargement et du déchargement continu de l'appareil. Les ouvriers reçoivent au Bleyberg, à l'une comme à l'autre table, 1 franc par mètre cube traité.

Le tableau suivant contient les résultats de ces essais comparatifs.

**Essais comparatifs exécutés au Bleyberg, sur le travail des tables continues à secousses latérales
et des tables à secousses ordinaires.**

	MATIÈRE TRAITÉE.				PRODUITS OBTENUS.														Nombre d'heures de travail.	Main-d'œuvre.
	Kilogrammes.	Provenant des	Teneur en		GALÈNE.		MIN. GALENEUX.			MIN. BLENDEUX.			MIN. BLENDEUX A REPASSER AU MÊME APPAREIL.			STÉRILES.				
			Plomb.	Zinc.	Quantité en kilogr.	Teneur.	Quantité en kilogr.	Teneur en		Quantité en kilogr.	Teneur en		Quantité en kilogr.	Teneur en		Quantité en kilogr.	Teneur en			
								Plomb.	Zinc.		Plomb.	Zinc.		Plomb.	Zinc.		Plomb.	Zinc.		
Table continue.	7 000	loges 9 et 10 du lavoir à schlamms.	5 0/0	5,3 0/0	122	81 0/0	»	»	»	1 610	10,7 0/0	10,10 0/0	2 250	4 0/0	8 0/0	2 860	0,9 0/0	1,6 0/0	40	5 fr.
Table ordinaire.	7 000	loges 9 et 10 du lavoir à schlamms.	5 0/0	5,3 0/0	»	»	1 080	24 0/0	6 0/0	1 540	4,5 0/0	12 0/0	»	»	»	3 520	1 0/0	2 0/0	40	5 fr.
Table continue.	7 500	loges 6, 7 et 8 du lavoir à schlamms.	6 0/0	6,5 0/0	200	79 0/0	»	»	»	1 440	19 0/0	18 0/0	2 400	5 0/0	7 0/0	3 190	0,5 0/0	2 0/0	42	5 fr.
Table ordinaire.	7 500	loges 6, 7 et 8 du lavoir à schlamms.	6 0/0	6,5 0/0	»	»	1 500	20 0/0	5 0/0	2 540	5 0/0	14 0/0	»	»	»	3 300	1,2 0/0	2 0/0	42	5 fr.

De tels résultats ne pouvaient manquer de susciter à la Société du Bleyberg de nombreux imitateurs en Belgique.

Reconnaissant certains inconvénients de la construction primitive, les constructeurs belges se sont jetés dans des innovations dont plusieurs peuvent être considérées comme hardies.

La tôle donnant lieu à des ondulations et à des courbures, malgré les précautions signalées, on eut recours à la fonte polie. L'inconvénient de cette matière est surtout son poids élevé; le prix de l'entretien, du polissage sont également des obstacles à l'extension de son emploi. Les tables de fonte n'ont pas donné partout d'excellents résultats. On paraît cependant s'en être très-bien trouvé à la mine de la Société de Rocheux et Oneux, près de Theux; cette mine est la seule qui exploite et qui traite du carbonate de plomb en Belgique. Les tables y reçoivent des schlamms pauvres d'une teneur de 10 ou 12 pour 100 de plomb, fournis par un lavoir à schlamms. On obtient couramment un schlich de carbonate de plomb à 60 pour 100. Ce schlich étant très-adhérent, on doit employer un tuyau à mille trous pour le détacher de la table. Une seconde zone repasse, les deux dernières sont rejetées. La dernière de ces zones est absolument stérile. Les difficultés que rencontre le traitement de ces schlamms proviennent d'une certaine proportion d'hématite qui tend à se mélanger au carbonate de plomb et à la présence d'une haloïsité plombifère qui passe aisément dans les déchets. La table Rittinger a permis de surmonter ces difficultés de la manière la plus heureuse.

Cependant les résultats obtenus au Rocheux, sur un minéral de densité moyenne moindre que celle des galènes du Bleyberg et des blendes plombifères de Sardaigne traitées au Dam et à Ampsin, n'autorisent pas à considérer la table Rittinger comme plus apte à traiter l'un que l'autre de ces minerais. Tout dépend, comme nous l'avons souvent répété, de la réglementation des éléments du travail.

C'est à l'atelier du Dam, près d'Anvers, dont nous avons indiqué l'origine en traitant des minerais de la Sardaigne,

que la table Rittinger a reçu les modifications les plus importantes. La table Rittinger y a seule permis le traitement du minerai sarde de Sa Lilla dont nous avons indiqué plus haut les caractères ⁽¹⁾. Par suite de l'intimité du mélange, ce minerai doit être broyé à sec, avant toute préparation, en poussière de moins d'un quart de millimètre. La formule du traitement à l'eau est des plus simples.

Les matières broyées sont livrées soit aux classeurs Dor, soit au lavoir à schlamms ⁽²⁾, appareil qu'on semble préférer au Dam, pour les parties les plus fines. Les classeurs donnent six classes, y compris les matières relevées dans les bassins de dépôt. Les trois premières passent au crible à schlamms du Harz et aux tables à secousses ordinaires, les trois dernières passent aux tables Rittinger. La perfection du classement est encore ici la source du succès obtenu par cette table. Celles-ci sont déjà au nombre de seize à l'atelier du Dam. Avant d'examiner leur travail, nous décrirons les modifications importantes apportées à leur construction par MM. van Derton, directeur-gérant de la Société Sardo-Belge, et Boscheron, ingénieur de l'atelier du Dam.

La première modification a porté sur les dimensions de la table. Dans le but d'obtenir un épanouissement considérable des zones de produits utiles, la largeur du rectangle a été augmentée et sa hauteur réduite. Dans le but de diminuer, au contraire, l'espace réservé aux stériles, on a donné à la table une très-légère inclinaison latérale vers la zone pauvre. Les dimensions du rectangle sont au Dam de 1^m,60 sur 2^m,40. La matière est admise sur le quart de cette largeur.

MM. van Derton et Boscheron ont cherché à obtenir une surface parfaitement plane, sans ondulations ni courbures. Après avoir fait un essai peu satisfaisant sur des tables recouvertes de glaces qui, outre un prix excessif, réclamaient dans l'ajustage des soins qu'on ne peut exiger dans un atelier de préparation mécanique, ces ingénieurs s'arrêtèrent à

⁽¹⁾ T. I et II, p. 633 et suiv.

⁽²⁾ Voir p. 331 et 345.

l'idée d'employer des tranches de calcaire débitées à la scie qui, bien que présentant encore d'assez grandes difficultés d'ajustage, réunissent cependant un grand nombre de qualités : elles donnent une surface rigoureusement plane et inaltérable aux actions combinées de l'eau, de l'air et du minéral ; elles ont une solidité qui a résisté aux secousses d'essai les plus intenses, données à grandes vitesses et tension ; elles sont, en outre, d'un poids et d'un prix peu élevés.

Ces dalles proviennent des carrières de Soignies, ouvertes dans les assises du calcaire carbonifère, dont de très-beaux échantillons figuraient, non-seulement dans la collection des roches et des produits minéraux de la Belgique, exposée par MM. van Scherpenzeel-Thim et Malaise, mais encore dans le fragment de péristyle élevé dans le parc par l'Association des maîtres de carrière de pierres bleues, dites *petit granit*.

Les tranches de calcaire employées au Dam ont été fournies par la Société Rombaux à Soignies, sciées sur une épaisseur de 2 centimètres, au prix de 25 francs, livrées à Soignies. Avant de les ajuster, on leur fait subir au Dam, un dressage qui enlève toute espèce d'ondulations laissées par les coups de scie. Ce dressage coûte environ 5 francs par dalle. Elles sont alors ajustées dans un cadre avec interposition de bandes de caoutchouc pour établir l'herméticité des joints.

Le poids mort de ces dalles n'est pas élevé. Le calcaire de Soignies pèse 2700 kilogrammes au mètre cube, soit environ 200 kilogrammes par dalle. La fonte peserait 600 kilogrammes sous la même épaisseur.

Ces tranches de calcaire ont été appliquées, à l'imitation du Dam, aux tables Rittinger de l'atelier d'Ampsins. La fragilité de la pierre y a donné lieu à certains mécomptes. Les bois du cadre ayant joué pendant les froids rigoureux de l'hiver dernier, certaines dalles se sont brisées. On se propose d'y substituer des dalles en psammite dévonien, cette roche possédant une plus grande élasticité.

Tous les pays fourniront d'ailleurs, dans des conditions diverses de prix, des tranches plus ou moins analogues (ardoises, marbres, calcaires lithographiques, etc.), dont l'ap-

plication aux tables Rittinger peut être tentée avec confiance en présence des résultats obtenus en Belgique.

On pourrait même, pensons-nous, y appliquer avec avantage des produits artificiels, tels que ciments divers, béton Coignet, pierre de Ransome, etc.

Les modifications apportées aux tables Rittinger par MM. van Derton et Boscheron ne se sont pas bornées là. L'attention de ces ingénieurs a été attirée, en outre, sur la question mécanique, et voici dans quelles circonstances :

L'atelier du Dam est situé sur le sol d'alluvions tourbeuses des *polders*, dans l'angle formé par le Schyn et le canal de la Campine, par où arrivent sur allées, jusqu'à l'atelier même, les minerais apportés par navires dans le bassin voisin du Kattendyk. Les eaux du canal coulent, à marée haute, à 18 centimètres au-dessus du sol de l'atelier, exhaussé lui-même de 80 centimètres. Les eaux du canal sont à 1^m,50 au-dessus de celles du Schyn, qui passe sous lui en siphon. Cette situation, avantageuse au point de vue de l'abondance des eaux d'alimentation et de la facilité des transports, l'est fort peu au point de vue de la stabilité des fondations nécessaires à des appareils donnant trois cents chocs par minute. Aussi les premiers appareils montés se déchaussèrent-ils promptement. Les secousses se transmettaient à travers le sol à des distances énormes et faisaient entrer tous les murs en vibration.

Pour combattre cet effet, l'on eut d'abord recours à une disposition d'ensemble appliquée d'abord à Ohlalaposbanya. Un seul arbre à cames mettait en jeu, de chaque côté, une paire de tables jumelles qui retombaient sur un butoir commun. Cette disposition ne suffisait pas pour répondre au but que l'on se proposait. Les charpentes continuèrent à se déchausser.

MM. van Derton et Boscheron eurent alors l'idée de supprimer le butoir fixe, de séparer les tables jumelles et de les armer chacune de butoirs mobiles frappant l'un contre l'autre. Le croquis fig. 10, pl. XV, représente cette disposition.

Par ce moyen, les mouvements d'égale intensité et de

sens contraire sont instantanément détruits ; aucune force ne se perd dans ce choc réciproque. Le travail, devenu aérien, suivant l'expression des auteurs, donne une séparation d'une netteté remarquable. Une observation caractérise cette netteté : pour certains minerais, l'on voit se produire une zone d'eau pure entre deux zones paraboliques de minerai.

Un petit volant fixé sur l'arbre de la came régularise parfaitement le mouvement. L'arbre fait cent cinquante tours, ce qui revient à trois cents coups par seconde.

La stabilité est parfaite, bien que les fondations de l'appareil soient dépourvues de toute croix de Saint-André, contre-fiche, etc.

Cette disposition très-simple peut certainement s'appliquer avec avantage partout ailleurs que sur un sol mobile, la stabilité des appareils étant la première condition de la constance dans les éléments de leur marche. Or, au Dam, les tables Rittinger une fois réglées, marchent un mois sans se déranger.

L'accroissement d'énergie du choc contribue à perfectionner le travail. Le seul inconvénient est peut-être la difficulté de régler la table de manière à assurer la simultanéité des secousses, inconvénient dont une courte pratique triomphe aisément.

La netteté de la séparation obtenue en un seul passage est exprimée par les résultats suivants. Il faut évidemment tenir compte, pour en juger, de la composition du mélange. Si, par exemple, le mélange est très-intime, on n'obtient pas de produits finis en un seul passage : c'est ce qui arrive dans le traitement du minerai de *Sa Lilla*.

La table passait 200 kilogrammes de matière par heure en marchant à raison de 240 coups par minute.

TENEUR POUR CENT.

Matière brute.

Minerai de l'Argentière	Zinc. . 25 pour 100.
	Plomb. 12 —

Produits.

Galène.	Blende riche.	Blende pauvre.	Stérile.
Zinc. . 11,11 pour 100.	49,43	13,44	15,55
Plomb. 67,60 —	0,80	0,00	2,08
T. III.			25

Les 2,08 pour 100 de plomb contenus dans cette dernière classe proviennent, sans nul doute, comme à Schemnitz, de l'entraînement des poussières impalpables sous la zone de stérile.

Les résultats cités à propos de l'emploi des tables Rittinger au Bleyberg accusent une moindre teneur en plomb de la partie stérile, mais il ne faut pas perdre de vue que la matière traitée était plus pauvre. Rappelons, en outre, l'emploi très-judicieux de la règle oblique du Bleyberg, qui empêche cet effet de se produire. Cette règle pourrait, sans nul doute, être adaptée avec avantage aux tables du Dam.

III. — Tables tournantes.

1° *Tables tournantes convexe et concave de MM. Huet et Geyler.*

La table tournante inventée, en 1853, au Harz, par M. l'ingénieur Koch, s'est répandue rapidement dans toutes les mines de l'Allemagne. Les ateliers de Sievers et C^e construisaient, dès 1861, des tables tournantes concave et conique en fonte. C'est surtout pour des appareils où l'uniformité de l'aire joue un grand rôle, que la substitution du métal au bois se justifie. Cette uniformité s'obtient non-seulement plus aisément par l'emploi de la fonte, mais, de plus, elle est durable, tandis que le bois soumis à des alternatives de sécheresse et d'humidité, se déjette au grand détriment de la perfection du travail. On trouve aujourd'hui les tables de Sievers dans tous les ateliers de la Prusse rhénane et de la Silésie.

La table tournante concave est une imitation de la table à entonnoir fixe ⁽¹⁾, inventée par M. Hundt en 1858 et employée successivement dans le pays de Siegen, en Westphalie, au Harz et enfin dans le Cornwall, le pays classique du roundbuddle, que la table à entonnoir n'est pas parvenue à supplanter. Ces deux appareils sont, paraît-il, placés par les laveurs du Cornwall, sur la même ligne.

Les tables concaves tournante ou fixe présentent ce-

(1) *Revue universelle*, t. XVIII, p. 233, 239 et t. XVII, p. 91.

pendant un aspect séduisant, au point de vue de la théorie. Le minéral arrivant sur la table s'y étale sur une grande surface qui favorise le dépôt des parties riches, tandis que la vitesse du courant s'accélérait vers le bas de la table, entraîne plus facilement les matières stériles. Plus ces matières seront abondantes, plus il importe de faciliter leur impulsion. Les tables concaves paraissent, pour cette raison, bien appropriées à l'enrichissement des schlamms pauvres de mélange binaire. Pour un mélange complexe, l'accélération du courant enlèverait une grande partie du produit intermédiaire avec les stériles. C'est pour cette raison que dans plusieurs préparations silésiennes on préfère les tables convexes, sur lesquelles les schlamms restent plus longtemps soumis au lavage.

MM. Huet et Geyler ont modifié la construction des tables allemandes. Leur table convexe figurait à l'Exposition, nous en donnons deux vues, pl. XV, fig. 1 et 2. Nous y joignons, fig. 3 et 4, un plan et une élévation de leur table concave, dont la construction est basée sur les mêmes principes. Les mêmes lettres correspondent aux mêmes organes dans les deux systèmes.

A l'imitation d'une disposition adoptée par les ingénieurs du Harz, pour la construction d'une table concave, MM. Huet et Geyler ont supprimé l'axe central. La table est, par suite, indépendante de la charpente de l'atelier. Elle ne s'appuie que sur le sol, au moyen d'une plaque de fondation utilisée pour porter une transmission de mouvement inférieure, ainsi que la rigole d'évacuation C et le tube circulaire F qui fournit l'eau de lavage à la rigole D et aux divers tubes d'arrosage *f*.

La transmission de mouvement est fournie par les poulies PP', dont l'une est folle, par la vis sans fin K, l'axe Q et les engrenages R et S. La roue S est venue de fonte avec la table elle-même, dont la surface est, par suite, entièrement dégagée. Cette construction lui donne une stabilité précieuse. Il arrive souvent, dans le système allemand, qu'un ouvrier montant sur la table pour désobstruer un tuyau de lavage, par exemple, la fasse dévier au point que le travail

s'en ressent. Dans le système de MM. Huet et Geyler, toute déviation est impossible, parce que la table glisse à frottement sur des portées planes N. Dans la table concave, la portée N est venue de fonte avec la rigole d'écoulement C. Dans la table convexe, elle l'est de même avec le tuyau d'alimentation F. La table reçoit ainsi une base d'appui beaucoup plus grande que dans le système allemand, où elle porte presque entièrement à faux.

La table concave présente une particularité relative à l'évacuation des produits. Celle-ci se fait, comme on sait, au moyen de tuyaux mille-trous branchés, au moyen de joints à rotule, sur le tuyau d'alimentation F. Dans le système allemand, la matière qui a été lavée en passant sous la rigole D vient se présenter sous un premier balai d'eau qui, s'étendant environ jusqu'au tiers de la table, enlève une zone inférieure stérile ; un second balai montant jusqu'au haut de la table enlève tout ce qui reste de minerai enrichi. Nous raisonnons dans le cas du mélange le plus simple ; mais il est clair que le nombre des tuyaux augmentera avec la complexité du mélange.

Dans le but d'arriver à un enrichissement que dans le système allemand on n'obtient que par un nouveau passage, MM. Huet et Geyler emploient un tuyau intermédiaire E, qui sert à relaver la matière avant de l'évacuer. Le premier tuyau est remonté tout au haut de la table et ramène le minerai enrichi vers le milieu, en envoyant une matière stérile ou mixte dans la rigole C. Le minerai enrichi est repris et épuré à nouveau par le tuyau intermédiaire. Celui-ci, placé vers le bas de la table, enlève en outre les stériles qui s'y sont arrêtés. Enfin le dernier tuyau vide la table en chassant le riche épuré.

Le diamètre des tables tournantes varie de 1^m,80 à 2^m,50 pour le dégrossissage des sables. Il est de 2^m,70 à 6 mètres pour le traitement définitif des schlamms. La table est d'autant plus grande que la matière est plus pauvre et qu'on en veut passer davantage. La vitesse de rotation varie avec le diamètre, la qualité et la quantité de la matière et, en gé-

néral, avec le genre de travail. La consommation d'eau est également très-variable.

La diversité de ces éléments fait de la table tournante un appareil difficile à conduire, et rend surtout la période des essais fertile en mécomptes. C'est à cela qu'est dû probablement le peu de succès qu'ont obtenu ces tables en Belgique et notamment sur les bords de la Meuse. Nous avons peine à croire que la complexité ou la qualité plus ou moins argileuse du minerai soit une raison pour les rejeter *a priori*, et nous les avons vu fréquemment appliquées en Allemagne au traitement des minerais les plus difficiles.

Les dispositions de tables tournantes étagées, au nombre de deux, sont très-fréquentes en Allemagne. Depuis peu, on y construit des tables tournantes combinées, formées d'une table concave superposée à une table convexe sur le même arbre. Nous avons même vu dans les ateliers de Kalk une table concave à trois étages superposés sur le même axe. Ces tables sont un outil trop coûteux pour le travail qu'on en obtient. C'est ainsi du moins que ce système a été jugé à Beuthen, en Silésie.

Il peut y avoir exagération dans la superposition de trois tables concaves, mais les tables tournantes concavo-convexes combinées sont un appareil rationnellement construit, au point de vue de la marche de la matière, dont une classe est reçue directement du bas de la table supérieure, au sommet de la table inférieure. Cette classe ayant subi un premier enrichissement sur une table que sa concavité semble rendre plus apte au traitement des matières pauvres, arrive enrichie sur un appareil plus favorable au traitement des matières riches. La réunion des deux systèmes sur un même axe, nous paraît donc bien raisonnée. L'appareil occupe peu de place et permet de passer énormément de matière, comme nous avons pu nous en assurer aux ateliers de Silberau, près d'Ems.

La table tournante a maintenant, croyons-nous, dans la table Rittinger, une rivale qui la fera déchoir de la prééminence que nous lui connaissons en Allemagne. Cependant

les ingénieurs rhénans sont généralement d'avis que la table Rittinger est un outil dont le travail est trop coûteux pour l'appliquer aux minerais ordinaires, qui doivent être réservés à la table tournante. Le véritable emploi de la table Rittinger, serait, selon eux, l'enrichissement des minerais aurifères ou très-argentifères.

*2° Table tournante concave de M. de Rittinger
(Drehherd).*

La table tournante convexe n'a jamais été employée en Autriche, tandis que dès 1860. M. de Rittinger faisait construire à Schemnitz des tables concaves dont des modèles figuraient aux expositions de 1862 et de 1867. Cette table diffère beaucoup de celles que nous venons de considérer.

Les figures 5 et 6, pl. XV, représentent la table de Schemnitz avec les dernières modifications qu'elle a reçues.

La table, de 5 mètres environ de diamètre, n'est pas unie comme les précédentes; elle est, au contraire, divisée, par de légères saillies radiales, en trente-deux segments. Ceux-ci, pris deux à deux, peuvent être assimilés à des tables dormantes à section décroissante, de 1^m,75 de longueur, tournant autour d'un axe antérieur et passant quatre fois alternativement sous un distributeur de schlamms et sous un courant d'eau pure. Après ce premier lavage, la matière, déposée sur la table, passe sous un courant destiné à enlever une partie de densité moyenne, puis sous un courant laveur amené sous une pression de deux mètres. Ce courant nettoie entièrement la table. Les schlamms provenant d'une caisse pointue ou d'un mélangeur, arrivent par la rigole *e* et sont répartis par des languettes *k* sur les quatre distributeurs *i*. Le bord biseauté de ceux-ci porte une tôle dentelée, de manière à répartir très-également la matière.

L'eau de lavage arrive par le tuyau *m* dans la rigole extérieure *l*. Celle-ci est échancrée de distance en distance, vers la table, sur une largeur correspondant à deux segments. Ces déversoirs sont également munis de tôles dentelées (fig. 7).

Il existe entre chaque distributeur et chaque déversoir, une distance égale à la largeur d'un segment de la table, afin que le même segment ne puisse jamais recevoir à la fois la matière et l'eau de lavage. La division de la table en segments a pour but d'éviter le travail confus qui se produisait auparavant sur les bords des zones d'écoulement de la matière et de l'eau. Sur la rigole *l*, s'embranchent enfin une rigole spiraloïde *l'* présentant du côté de l'axe de petits déversoirs dirigés normalement au rayon et également munis de tôles dont les dents augmentent de longueur à mesure qu'elles se rapprochent du centre (fig. 8). Toutes ces pièces fixes prennent leur appui sur la charpente. On voit en *n* le tuyau qui amène, sous un angle très-aigu, le courant destiné à enlever le schlich déposé sur la table.

On recueille dans cet appareil quatre classes différentes de matières :

- 1° Les matières pauvres qui s'écoulent pendant le chargement ;
- 2° Celles qui s'écoulent pendant le lavage ;
- 3° Les matières de densité moyenne qui sont expulsées sous l'action de la rigole spiraloïde ;
- 4° Le schlich enrichi.

Ces matières sont reçues dans des rigoles spéciales représentées en plan, fig. 9, et en coupe, fig. 5. Les chiffres romains se rapportent aux quatre classes énumérées.

Les figures suffisent pour se rendre compte de la construction de cet appareil, qui paraît bien compliquée, eu égard à celle des tables que nous avons examinées.

Cette table tourne beaucoup plus lentement que les tables précédentes ; elle ne fait pas plus de six tours à l'heure.

En traitant des schlamms pauvres à 6,71 pour 100 de plomb, provenant des minerais du *Pacherstolln*, on en retire 0,815 du plomb contenu et l'on obtient un schlich à 33 pour 100.

Les 19 pour 100 de perte se répartissent comme suit :

Les pyrites qui constituent la classe de densité moyenne, retiennent environ 2 pour 100 du plomb contenu. Les ma-

tières qui s'écoulent pendant le chargement, en retiennent jusqu'à 7 pour 100. Les eaux de lavage en emportent 2 pour 100. Le reste, soit 7 pour 100, est enlevé par les eaux qui s'écoulent des réservoirs à schlich.

On peut livrer par minute, à cette table, 19 à 22 litres d'une matière contenant un tiers à deux tiers de kilogramme de schlamms secs pour un litre d'eau.

La consommation d'eau de lavage est d'environ 70 à 80 litres par minute.

Un cheval de force suffit pour conduire trente tables.

Nous avons donné précédemment les résultats d'un essai comparatif entre la table tournante concave et la table à secousses latérales ⁽¹⁾, dans lequel l'avantage de la table tournante était bien mis en évidence. Rappelons que les tables Ritinger n'étaient pas réglées, comme la table tournante, pour le traitement des matières très-fines. La consommation de force est toutefois fort différente, d'où l'opinion accréditée en Allemagne que la table Ritinger n'est favorable qu'au traitement des minerais aurifères et argentifères. On a également fait des essais comparatifs sur cette table tournante et sur les tables à secousses ordinaires. Les essais n'ont porté que sur l'enrichissement du minerai, sans que l'on ait cherché à obtenir un produit intermédiaire.

Le schlich de la table tournante est plus pur. Cette table rend 8 pour 100 en plus du plomb contenu dans les schlamms. Le travail est plus rapide et les frais beaucoup moindres. Une table tournante remplace, estime-t-on, trois tables à secousses; on y passe par heure 45 à 60 kilogrammes de schlamms (poids sec), et 25 environ seulement aux tables à secousses.

Les frais de préparation de 100 kilogrammes de schlamms sont :

A la table à secousses. . . .	11 florins 56 kreutzer.
A la table tournante. . . .	2 10

Les tables concaves se sont rapidement substituées aux

⁽¹⁾ Voir p. 367.

tables à secousses et aux anciennes tables dormantes, pour le traitement des matières fines et pauvres, dans le district de Schemnitz. Le but de ce traitement est un simple enrichissement sans production de produit intermédiaire.

A Przibram, au contraire, la présence de la blende en assez grande quantité nécessitait l'élaboration de deux classes distinctes ; aussi la table de Schemnitz a-t-elle dû y être modifiée, pour s'adapter à ce nouveau traitement.

Nous avons vu que le traitement des schlamms occupait à Przibram une place très-subordonnée. Un bocard ⁽¹⁾ suffisait autrefois à ce traitement. Aujourd'hui l'on a construit une nouvelle laverie où les appareils continus de M. de Rittinger, tables à secousses latérales et tables concaves tournantes, ont reçu une vaste application. Les premières y sont employées, comme généralement en Autriche, pour le traitement des sables, les secondes pour celui des schlamms.

La table concave de Przibram présente cette particularité que les sables lui sont livrés avec un grand excès d'eau, de manière à ce qu'ils conservent une mobilité suffisante pour descendre plus ou moins rapidement vers le sommet du cône. Immédiatement après chaque distributeur, se trouve une rigole de lavage suivie d'un tuyau laveur. Les distributeurs, moins larges qu'à Schemnitz, laissent descendre sur la table un mince filet de matières qui arrivent séparées au bas de la table suivant trois zones successives : 1° le stérile, 2° la blende, 3° la galène. Les diverses matières décrivent ainsi des zones paraboliques à partir du distributeur, comme dans la table à secousses latérales.

La rigole de lavage devant occuper, dans ce cas, une étendue plus grande, on ne peut mettre plus de six à huit distributeurs à la périphérie de la table. La matière est admise sur une largeur de 20 centimètres environ, l'eau de lavage sur un arc d'environ 2 mètres. L'expulsion des matières doit être complète, au moment où la table passe sous un distributeur. Chaque distributeur étant entièrement indépendant

(1) T. I et II, p. 604.

de ses voisins, on peut repasser le produit intermédiaire sur la même table, à côté de la matière brute. On le prive de son excès d'eau, en le faisant passer au préalable sur une caisse pointue.

Les matières sont reçues dans de courtes rigoles disposées radialement autour de l'axe ; des ouvertures pratiquées dans le fond de ces rigoles, les mettent respectivement en communication avec trois chenaux circulaires dont chacun reçoit un produit différent.

Les éléments de la marche de l'appareil ainsi modifié sont un peu différents : la table a au moins 5 mètres de diamètre et il est avantageux de porter à soixante-quatre le nombre de ses segments. La surface doit être l'objet des mêmes soins que celle de la table à secousses latérales.

La quantité de matières admise par distributeur varie de 5 à 11 litres, suivant que l'on passe des schlamms ou des sables. La matière passée contient 80 à 160 grammes de matière sèche par litre, suivant qu'il s'agit de schlamms ou de sables.

Le nombre de tours par minute est de quatre à six, et l'on passe avec huit distributeurs, 100 à 150 kilogrammes de schlamms et 250 à 300 kilogrammes de sables par heure.

Séduits par cette grande production, les ingénieurs de Schemnitz ont fait l'essai de cette table ; mais, d'après des renseignements que nous tenons de M. F. de Rauen, la consommation d'eau qu'elle exige est beaucoup trop considérable pour le plateau élevé de Schemnitz, comparativement à la consommation très-faible des tables concaves qui y sont employées. La nouvelle table consomme en tout 300 à 500 litres d'eau par minute, tandis que l'ancienne n'en consomme que 60 à 90. De plus, cette table est tellement sensible, que la moindre diminution dans la quantité d'eau de lavage dérange complètement le classement. Il faut, par suite, une surveillance très-assidue et, par suite, très-difficile à exercer. Dans les essais faits à Schemnitz, cette table a rendu 20 pour 100 de moins que la précédente ; aussi n'a-t-elle pas été adoptée.

V. — Lavage des minerais aurifères.

1^o Moulins d'amalgamation de Schemnitz.

L'Exposition contenait plusieurs modèles d'appareils destinés au lavage des minerais aurifères; nous citerons principalement ceux employés dans l'Oural, les moulins d'amalgamation de Schemnitz et enfin une machine destinée à extraire l'or contenu dans les sables des lacs et des rivières, exposée par M. Grisetti, bijoutier-joaillier à Milan.

Les moulins d'amalgamation de Schemnitz ne présentent pas de particularité digne d'être notée. Ces appareils sont décrits dans tous les traités de chimie élémentaire.

Quelques détails sur l'ensemble des procédés d'extraction de l'or à Schemnitz compléteront ce que nous avons dit des préparations mécaniques de la basse Hongrie. L'or natif est contenu principalement dans la gangue quartzreuse qui accompagne le minerai de Schemnitz, comme le prouvent les résultats suivants, obtenus par le traitement des grenailles au crible :

1 ^{re} Couche.	Plomb.	45 pour 100.	Or.	1 ^{re} , 250 aux 1 000 kil.
2 ^e —	—	10 —	—	4 ,375 —
3 ^e —	—	3 —	—	7 ,500 —

La teneur moyenne des minerais aurifères de Schemnitz est, aux 1 000 kilogrammes, de 4 à 11 grammes d'un alliage d'or et d'argent, à environ 65 pour 100 d'or. Certaines parties du filon *Spital* nouvellement découvertes, tiennent jusqu'à 50 et 200 grammes d'or aux 1 000 kilogrammes. On évalue à 46,5 pour 100, la proportion de minerai dont on retire de l'or au moyen des moulins.

Cette préparation spéciale ne peut être avantageuse que dans certaine limite de richesse du minerai. Les frais qu'elle occasionne doivent, en effet, être couverts par les avantages qu'elle procure. En ne cherchant pas à séparer l'or, celui-ci se concentre, à vrai dire, dans le schlich et vient en augmenter la valeur, mais il se produit une perte d'or que l'on

peut évaluer au moins à 15 pour 100 de la production, due à une préparation spéciale. Lorsque le rendement est tel que les frais de production soient équivalents à la valeur perdue, la quantité produite marque la limite inférieure à partir de laquelle cette préparation spéciale est avantageuse.

Or le rendement qui ne donnerait ni perte ni gain est de 1^{er},92 aux 1 000 kilogrammes, c'est-à-dire bien inférieur à celui des moulins de Schemnitz.

Les minerais aurifères de Schemnitz étant composés d'un mélange intime, doivent être bocardés.

On emploie deux procédés différents pour recueillir l'or. On peut traiter les schlamms par du mercure dans des moulins d'amalgamation étagés, à leur sortie de l'auge du bocard ou les enrichir au préalable et les amalgamer à la main.

La plus grande partie de l'or est obtenue par le premier procédé, qui donne un rendement supérieur.

Le rôle du mercure dans les moulins d'amalgamation est à la fois physique et chimique. Le mercure est, en effet, un liquide de densité plus grande que l'or pur ou que des alliages d'or et d'argent à plus de 35 pour 100 d'or. Cette densité est mise en jeu par la préparation mécanique, pour séparer mécaniquement l'or ou l'alliage contenu dans les schlamms du bocard. L'action dissolvante que le mercure exerce sur l'or favorise cette séparation. Mais l'or dissous échappe entièrement au filtre qui ne retient qu'un magma de parcelles d'or cimenté par du mercure et appelé très-improprement *amalgame*. Lorsque le mercure est saturé, on peut l'employer sans crainte de perte. L'or dissous est facile à retirer par distillation; la perte n'est, à cette opération, que de 2 grammes aux 100 kilogrammes de mercure.

On a cherché à utiliser directement la propriété dissolvante du mercure, en ne se servant que de mercure distillé, dont l'action dissolvante est très-énergique. On augmente de cette manière la production d'or, mais insuffisamment pour couvrir le surcroît de frais de main-d'œuvre et de distillation que cette méthode occasionne.

On emploie cependant avec avantage, à Schemnitz, le mer-

cure distillé dans les moulins du second étage, où la saturation ne se produit qu'au bout de vingt-huit à trente jours, par suite de la faible teneur en or de la matière reçue.

Il existe à Schemnitz environ trois cent soixante et dix moulins d'amalgamation.

Deux moulins reçoivent le produit de trois flèches de bocard ; des tables dormantes à toiles, placées à la suite, recueillent les parcelles aurifères qui échappent aux moulins. Le modèle exposé représentait l'ensemble d'une installation de ce genre.

Les toiles de tête, relevées de deux en deux heures, fournissent un produit qui passe à la *rigole à or*, sorte de chenal très-incliné, de 2^m,25 de long sur 47 centimètres de large.

Un courant d'eau pure enlève la galène ; le produit concentré est encore lavé à la sébille. L'or obtenu est amalgamé à la main.

Le schlich de tous les appareils finisseurs passe à la rigole à or, pour en extraire les particules d'or qui auraient pu échapper aux tables à toiles.

Chaque moulin reçoit 15 à 25 kilogrammes de mercure et fait seize à vingt tours par minute. La force consommée par dix moulins est de un huitième de cheval.

Tous les mois le mercure est filtré et le résidu, en boules de la grosseur d'une noix, est distillé dans une retorte munie d'un axe central ; sur cet axe, une série de plateaux superposés reçoivent la matière. La perte de mercure par entraînement est de 15 à 20 grammes par tonne ; par volatilisation, elle est de 1,8 à 3 pour 100.

C'est à la suite des tables à toiles que viennent se grouper les divers appareils que nous avons eu l'occasion de décrire : caisses pointues simples et doubles, pour le classement des schlamms ; tables à secousses intermittentes et continues, tables tournantes et dormantes.

La situation du plateau de Schemnitz est très-défavorable au point de vue de la consommation d'eau que réclame la préparation mécanique. Les eaux pluviales y sont ras-

semblées, comme au Harz, dans une série de bassins dont la capacité est rarement remplie aux deux tiers. Lorsque la fonte des neiges ne les remplit pas au printemps, on ne peut rien espérer, même d'une saison pluvieuse. Aussi les ateliers de préparation mécanique ne peuvent-ils être maintenus en marche que sept à huit mois par an. Les dernières années ont été tellement sèches, qu'une partie des bocards a dû chômer. Les eaux de certains étangs ont à peine suffi à alimenter les machines à colonne d'eau, qui durent faire un travail d'autant plus considérable que l'exploitation donna lieu à de grandes venues d'eau pendant cette même période.

En choisissant les résultats d'une année très-favorable, telle que 1860, la production des mines fiscales et particulières du district de la basse Hongrie, dont Schemnitz est le centre, s'est élevée à :

Or fin. . . .	443 ^k ,50
Argent fin. . .	11,177 ,00
Plomb. . . .	1,436 ^t ,75
Cuivre. . . .	139 ,55

dont la valeur totale est évaluée à 2 134 000 florins (*Œst. w.*).

On voit par ces chiffres que la production d'or de Schemnitz est l'une des plus importantes de l'Europe. Une partie en est fournie par le traitement métallurgique.

2^e Appareils de l'Oural. — Appareil de M. Grisetti de Milan.

La plus grande quantité de l'or aujourd'hui en circulation provient de l'exploitation des alluvions aurifères. Trois modèles d'appareils employés dans l'Oural pour extraire l'or des sables se trouvaient exposés à Paris par l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg.

Le premier se compose d'un trommel à cloison hélicoïdale, suivi de patouillets ; le second, d'une table hémicylindrique, perforée, sur laquelle une sorte de herse reçoit un mouvement latéral circulaire de va-et-vient ; le troisième, d'une table circulaire, perforée, à la circonférence de laquelle la matière est admise ; des rateaux pouvant se relever plus ou

moins se promènent à la surface de cette table et la matière criblée tombe sur deux rigoles inclinées, sur lesquelles sont disposées des cloisons, à la manière des *abfallgerenne* du Harz; au bas de ces rigoles se trouvent deux petites caisses. Ces appareils, extrêmement simples, ne méritent pas que nous nous y arrêtions davantage.

L'on exploite dans bien des localités des sables dont la richesse est fort inférieure à celle des sables de l'Oural. C'est surtout à ces matières que s'adresse un ingénieux appareil, exposé par M. Grisetti, de Milan. Au moyen de cet appareil, ce n'est plus seulement sur le bord des rivières ou la plage des lacs que l'on prendra les sables pour leur faire subir l'opération du lavage; on pénétrera jusqu'au milieu de leurs eaux, quelle qu'en soit la profondeur, et l'appareil, suspendu à un radeau, se chargera de tout le travail. Cet appareil se compose d'une sorte de grand trommel polygonal, le long des arêtes duquel sont fixés des couteaux. Une toile métallique à larges mailles forme l'enveloppe du trommel.

Lorsque le radeau avance, le trommel qui repose sur le sable suit son mouvement; les couteaux soulèvent le sable qui passe à travers la toile métallique à l'intérieur du trommel et tombe dans des cassettes remplies de mercure. Ces cassettes sont suspendues librement sur l'axe du trommel et leur poids les empêche de se renverser. L'or, par sa densité, arrive le premier au contact du mercure et est amalgamé, tandis que les sables sont balayés par l'eau, aussitôt que la machine avance.

M. Grisetti a soumis cet appareil très-simple à des essais nombreux, et assure que les mouvements, quelque irréguliers qu'ils puissent être, n'occasionnent aucune perte de mercure. Le modèle exposé n'était destiné qu'à une démonstration théorique.

M. Grisetti annonce que les essais exécutés en grand ont réussi. Nous croyons inutile d'insister sur les services qu'un appareil de ce genre peut rendre dans les quelques rivières qui roulent des sables aurifères. Cet appareil permettrait, en effet, de faire entrer dans une voie nouvelle la triste in-

dustrie des orpailleurs. Rappelons ce fait souvent cité, qu'il faut remuer 7 millions de kilogrammes de sables du Rhin pour obtenir 1 kilogramme d'or, et que tous les orpailleurs du Rhin réunis ne produisent que 15 kilogrammes d'or par an. Le travail devenant entièrement mécanique et le champ d'exploitation prenant des proportions plus vastes, la production devra s'en ressentir. L'appareil de M. Grisetti permettrait, en outre, de rechercher au sein des rivières et des lacs les parties les plus aurifères pour y établir le siège de l'exploitation.

VII. — LAVAGE DE LA HOUILLE.

I. — Considérations générales sur la préparation des charbons. — Utilisation du poussier et des schlamms.

La préparation des charbons, bien que reposant sur les mêmes principes que celle des minerais, est loin d'être soumise aux mêmes règles générales. Les frais de la préparation doivent être en rapport avec la valeur du produit qu'on en retire. Si la valeur de certains minerais métalliques justifie la dépense qui résulte d'une préparation longue et compliquée, il n'en est pas de même de la houille qui n'acquiert pas par le lavage une plus value correspondante à celle du minerai lavé.

La classification par grosseurs, par exemple, ne pourra se faire en général que très-imparfaitement, à cause des frais et des difficultés qui résulteraient d'une installation plus complète; on se contente de faire au maximum quatre classes dans un mélange qui contient tous les degrés de grosseurs depuis des morceaux de 4 centimètres et plus jusqu'aux poussières impalpables; et encore une telle classification n'est-elle que l'exception. Lorsqu'on classe, il faut, en effet, augmenter le nombre de lavoirs, chaque classe devant être lavée isolément. Dans bien des usines, on se contente de livrer au crible tout ce qui a passé par une grille à barreaux espacés de 3 à 5 centimètres.

Outre les difficultés que de telles différences de grosseurs

apportent dans la séparation par ordre de densités, la présence du poussier, se transformant en boues ou schlamms plus ou moins collants, vient singulièrement troubler les fonctions du crible. L'action de celui-ci est d'autant plus impuissante sur des matières de cette ténuité qu'il doit être réglé de manière à agir sur des morceaux de grosseur moyenne. Suivant le système de lavoir, les schlamms s'accumulent dans le fond de la caisse ou sont expulsés de l'appareil avec le charbon lavé. Dans le premier cas, ils sont naturellement plus denses, c'est-à-dire plus chargés de cendres, que dans le second. Dans l'un et l'autre, il s'en perd une grande quantité par entraînement.

La proportion et la nature du poussier sont très-variables, selon les charbons. Tantôt, comme en général dans le bassin de Seraing, le poussier est plus pur que le menu; tantôt, comme dans le bassin de Sarrebruck, le poussier est très-impur. Le poussier de Sarrebruck tient 18 à 20 pour 100 de cendres. Celui de Seraing n'arrive qu'exceptionnellement à ce chiffre et en contient ordinairement 10 à 15 pour 100.

Les perfectionnements successifs des lavoirs à charbon ont presque tous eu pour but de surmonter les difficultés provenant de la présence du poussier et des schlamms. Le nombre de lavoirs entrés successivement dans la pratique est très-considérable, et, sauf peut-être l'Angleterre, où le lavage de la houille est encore peu développé, chaque pays houiller possède un certain nombre d'appareils, parmi lesquels il est difficile de faire un choix absolu, ce choix dépendant beaucoup de la nature des charbons.

En Belgique, dominant les appareils Bérard plus ou moins modifiés, les types dérivés par M. Coppée des lavoirs Meynier, enfin, les lavoirs à raclette de MM. Detombay et Scheuren, qui sont entrés plus récemment dans la pratique et sur lesquels nous avons déjà appelé l'attention du lecteur ⁽¹⁾.

En Allemagne, les lavoirs de Sievers et C^e jouissent d'une certaine vogue. Les trommels classeurs qui les accompa-

(1) *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 593 et 595.

gnaient, ont été généralement supprimés aujourd'hui, par suite des difficultés que présente le classement des houilles au moyen de l'eau. Les lavoirs Rexroth, employés par la maison de Wendel dans ses beaux établissements de Hirschbach (Sarrebruck) et de Seraing, paraissent destinés à lutter avec avantage en Allemagne, aussi bien qu'en Belgique et en France, contre leurs divers concurrents. A ces lavoirs sont adjoints des trommels de construction spéciale, classant à sec avec une netteté dont l'influence sur le résultat du lavage ne saurait être niée.

Les bassins du centre et du midi de la France, peu favorisés sous le rapport de la pureté du combustible, emploient un grand nombre de lavoirs; tels sont ceux de MM. Révollier, qui se rapprochent des précédents, et ceux de M. Ract-Madoux et de M. Max. Evrard, qui s'en éloignent de plus en plus. Un élégant modèle de ce dernier appareil, construit par M. Willeaume, contre-maître à l'usine de la Chazotte, a attiré l'attention générale dans la section française de l'Exposition.

Si l'on fait abstraction du lavoir proprement dit, pour ne considérer que l'ensemble de la préparation, on observe les différences les plus accusées sans sortir du même bassin.

Ici, nous voyons broyer le *tout-venant* avant de le soumettre au lavage; ailleurs, nous en verrons séparer les plus gros morceaux, soit pour la vente, soit pour être broyés seuls, puis mélangés au menu qui a traversé la grille.

Tantôt, avons-nous dit, on classe le menu par grosseurs, tantôt on ne fait aucun classement; tantôt on se contente de séparer le poussier par un tamisage, tantôt on livre le tout pêle-mêle au lavoir.

Après l'opération du lavage, les différences s'accusent de plus en plus, selon la fabrication spéciale à laquelle est destiné le produit.

Dans les fabriques d'agglomérés, la préparation du charbon est trop intimement liée aux opérations ultérieures, pour que nous puissions nous en occuper d'une manière spéciale. L'on y observerait cependant des différences analogues à celles que

l'on remarque dans les fabriques de coke, mais les préparations bien montées le sont d'après des principes tout à fait analogues.

On mélange généralement aujourd'hui, avec le charbon épuré, le poussier tamisé, soit en les recevant dans le même wagon de chargement, soit en les faisant passer sur une même paire de cylindres broyeurs.

Les boues, soumises ou non à un nouveau lavage, toujours très-imparfait dans l'état actuel de nos connaissances techniques, sont tantôt mélangées avec le charbon lavé, tantôt elles servent au chauffage des chaudières ou sont vendues à vil prix pour les usages domestiques. Le broyage est indispensable pour obtenir une répartition égale des boues dans la masse.

Un examen raisonné de ces différents systèmes nous entraînerait trop loin. Constatons seulement l'usage, devenu très-général dans les usines bien montées, d'un appareil tamiseur précédant le lavoir, et d'un broyeur à cylindres placé à sa suite.

Nous avons décrit précédemment un appareil à force centrifuge ⁽¹⁾ dont la puissance productive est suffisante pour desservir plusieurs lavoirs ; si l'on ne dispose pas dans un même atelier d'une quantité de charbon suffisante pour l'alimenter, il est plus économique d'employer un simple trommel à trous de 3 à 5 millimètres. Ce trommel desservira un ou deux lavoirs.

Le tamisage du charbon diminue la proportion de schlamms. Le mélange du poussier sec et du charbon lavé est plus facile à opérer que celui du charbon et des boues, qui nécessite toujours l'emploi d'un broyeur. Le poussier sec a de plus l'avantage d'absorber une partie de l'humidité du charbon lavé. Le mélange étant moins humide, les premières périodes de la carbonisation en sont abrégées. Dans la fabrication des agglomérés, l'état hygrométrique du charbon a une influence plus grande encore. Aussi a-t-on annexé récemment aux la-

(1) *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 588.

voirs des essoreuses Hanrez pour la dessiccation des charbons lavés auxquels on mélange ensuite le poussier sec.

Cependant le poussier contient toujours plus de parties stériles que le charbon lavé. Il augmente donc la teneur en cendres de ce dernier; mais en tenant compte des difficultés du lavage des boues et surtout de l'épuration meilleure, et de la production plus grande qui résulte du tamisage, cet inconvénient est en général peu sensible.

Par cela même qu'il vient augmenter la teneur en cendres du produit d'une opération qui a pour but de réduire cette teneur, le tamisage, excellent procédé dans les circonstances actuelles, ne peut être considéré que comme un palliatif.

Le lavage de la houille était envisagé, il y a peu de temps, par le plus grand nombre, comme un raffinement inutile; le raffinement est devenu aujourd'hui une nécessité par l'effet de la libre concurrence. N'en sera-t-il pas de même, un jour, du lavage du poussier, lorsque les consommateurs, au lieu de se contenter de coke à 8 ou 10 pour 100 de cendres, viendront imposer une loi nouvelle aux fabricants, qui seront forcés d'abaisser la teneur, au prix d'une augmentation des frais de production?

Ce moment semble arrivé, là où le poussier est trop impur pour être directement mélangé au charbon lavé, comme c'est le cas dans le bassin de Sarrebruck. M. Rexroth vient d'annexer à ses excellents appareils un nouveau lavoir à poussier, qui fonctionne depuis quelques semaines à Hirschbach.

Les bacs à piston de la Grand' Combe peuvent être considérés comme le point de départ de la série des lavoirs mécaniques, qui se termine aujourd'hui aux appareils de la Chazotte. En décrivant les uns et les autres, nous ne pouvons passer sous silence les nombreux perfectionnements qui relient ces systèmes l'un à l'autre.

Les premiers lavoirs continus furent ceux de M. Bérard. Ces lavoirs, qui étaient comme les anciens bacs à piston, à *mouvement alternatif* ou à *retour d'eau*, donnent, employés sans tamisage préalable, des quantités considérables de boues

impures qui traversent le crible sous l'influence de l'aspiration provoquée par le retour du piston. Les fines lamelles de schiste échappent cependant à cette action, et, entraînées par le courant ascensionnel, vont souiller le charbon lavé.

Pour remédier aux inconvénients de l'appareil Bérard, M. Meynier disposa un lavoir à *soulèvement intermittent sans retour d'eau*, et, par conséquent, sans aspiration défavorable à la libre action de la chute. Les parties ténues s'écoulent avec le charbon lavé par-dessus le déversoir; les plus légères, entraînées par les eaux, sont définitivement perdues : or, ces parties légères sont du charbon presque pur. M. Evence Coppée a cherché à les ressaisir, par des dispositions adoptées dans un grand nombre de charbonnages belges et aux mines d'Anzin. Nous ferons connaître son système en détail.

M. Detombay, constructeur à Marcinelle (Charleroi), a suivi une voie toute différente pour remédier aux inconvénients de l'aspiration. Il a conservé le principe du retour d'eau, en en perfectionnant l'application. Nous étudierons les principes sur lesquels reposent les lavoirs Detombay.

Ces différents procédés ne sont toutefois pas parvenus à éviter le dépôt d'une plus ou moins grande proportion de schlamms. L'utilisation de ceux-ci n'est, en général, possible, qu'au prix d'un nouveau lavage. Il importe de ne pas confondre cette opération avec le lavage du poussier. Le caisson allemand est le plus souvent affecté au lavage des schlamms et donne des produits peu satisfaisants avec de grandes pertes et assez de main-d'œuvre. L'exposition permettait d'étudier un intéressant procédé de lavage des schlamms en usage aux mines de la Grand'Combe. Un laveur de schlamms se trouvait également exposé au nombre des appareils d'épuration de la Chazotte. Nous décrirons ci-après ces systèmes.

Rappelons encore les essais de lavage des schlamms au moyen de l'appareil de M. Dor ⁽¹⁾. Ces essais sont poursuivis actuellement à Ampsin et à *l'Espérance* (Seraing) et les

(1) Voir p. 345.

résultats déjà obtenus permettent d'augurer de leur succès.

En Allemagne, M. Rexroth et MM. Sievers et C^e prétendent, chacun de leur côté, avoir résolu cette question pour ainsi dire vitale pour la fabrication du coke dans certaines localités. Quand on parcourt le bassin de Sarrebrück, par exemple, on est frappé par l'aspect de vraies collines et de lacs de schlamms, abandonnés avec plus de 50 pour 100 de teneur utile. Le lavoir à schlamms de M. Rexroth fonctionnera sous peu chez M. De Wendel, à Hirschbach, et celui de MM. Sievers, chez MM. Lamarche et Schwartz, à Heinitz.

IX. — Lavage de la houille aux mines de la Grand'Combe.

— Bacs à piston. — Lavage des schlamms.

Le lavage de la houille a reçu aux mines de la Grand'Combe un développement extraordinaire, à cause de l'impureté du menu qu'elles produisent. La production des divers ateliers de lavage de la Grand'Combe s'élève au chiffre énorme de 800 tonnes par jour.

Les appareils qui y sont employés sont des bacs à piston disposés par séries de huit et actionnés par un arbre à cames. Un appareil Bérard fonctionne, en outre, à l'atelier de *Champ-clauson*.

Nous emprunterons aux documents exposés la description suivante de l'atelier de lavage du *Ravin*, où se trouve appliqué le système d'épuration des schlamms mentionné plus haut.

Cet atelier comprend trois séries de huit lavoirs et produit 172 tonnes en dix heures.

Les bennes venant du puits d'extraction sont culbutées sur un plancher. Des hommes attirent les charbons sur des plaques perforées de trous de 2 centimètres de diamètre. Les refus sont repoussés de côté et triés en pierre et gros charbon. Le reste est chargé dans un wagon et va, soit au commerce, soit au broyeur ⁽¹⁾. Le menu qui a traversé cecrible tombe dans une trémie et arrive en tête du lavoir, sur lequel

(1) *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 571.

les schistes et les schlamms ou *limons* se séparent. Ces derniers traversent la toile métallique, les schistes et le charbon se superposent. Par l'arrivée continue du charbon, la couche augmente, et, à un moment donné, il en passe par-dessus la paroi une certaine épaisseur dans une rigole; le charbon épuré de huit lavoirs est repris par deux vis d'Archimède tournant en sens contraire et va à des réservoirs où puisent des chaînes à godets.

Une came imprime des oscillations au piston. La courbure de cette came est tracée de manière à donner au piston un mouvement de descente suffisant pour que l'eau soulève les charbons et pas ou fort peu les schistes, et un mouvement de remonte aussi lent que possible, pour éviter l'aspiration et laisser la décantation se faire librement. Connaissant par des expériences fréquentes la quantité de schistes contenus dans le menu, on sait qu'après avoir passé un nombre donné de wagons, on doit faire enlever les schistes déposés sur la toile métallique, avant que la couche en soit assez forte pour passer par-dessus le bord de la rigole.

Quant aux limons, on les retire, chaque nuit, de la caisse du lavoir. L'arbre à cames fait 12 tours par minute. Chaque lavoir produit 800 kilogrammes de charbon épuré par heure, quantité considérable, si l'on remarque que l'appareil doit être arrêté pour enlever les schistes.

Les teneurs en cendres de la matière brute et des divers produits sont les suivantes :

Charbon brut criblé.	18 à 25 pour 100
— épuré	6 à 8 —
Schiste.	60 à 70 —
Boues dites <i>limons</i>	30 à 35 —

Le personnel de l'atelier du Ravin est payé à la tâche. En voici le détail avec le taux des salaires, pour une production moyenne de 160 tonnes :

3 rouleaux et embuteurs de bennes, à 2 fr. 50 c.	7 fr. 50
12 cribleurs, à 2 fr. 50 c.	30 00
<i>A Reporter</i>	37 fr. 50

400 PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINÉRAIS ET DES CHARBONS.

	<i>Report</i> . . .	37 fr. 50
4 laveuses pour enlever les schistes, à 1 fr. 50. . . .	6	00
3 surveillants (un par groupe de huit bacs), à 2 fr. 50. . .	7	50
2 rouleurs pour le charbon épuré, à 2 fr. 50	5	00
2 hommes pour l'enlèvement des limons et le nettoyage des lavoirs, à 3 francs.	6	00
1 homme pour recevoir les <i>grêlons</i> (grosses houilles), à 2 francs.	2	00
1 machiniste, à 4 francs.	4	00
2 surveillants, à 4 fr. 50.	9	00
Total de la main-d'œuvre.		77 fr. 00
Soit par tonne.		0 fr. 643

En ajoutant les autres dépenses :

Huile et graisse	5 francs.
Combustible pour chaudière	6 —
Entretien	15 —
Le prix de revient du lavage des menus s'élève à . .	10,3
Soit par tonne.	0 fr. 481

Les frais d'établissement de l'atelier du Ravin sont détaillés ci-après :

Bâtiment de la machine et construction de l'atelier. . .	21 254 fr. 80
Deux chaudières, massif et cheminée.	11 337 35
Murs de soutènement	1 920 00
Machine horizontale de quinze chevaux.	5 500 00
24 lavoirs avec transmissions, broyeurs, etc.	32 950 00
	<hr/>
	72 962 15

Ces frais considérables pourraient certainement être réduits. Il suffit, en effet, qu'un lavoir à charbon soit abrité sous un hangard et rien n'oblige à des constructions coûteuses.

Les résultats obtenus par ce système et mentionnés ci-dessus sont satisfaisants. La proportion de limon est toutefois importante, ainsi que l'indique le relevé suivant de la production de l'atelier en 1865 :

Charbon livré au lavage . . .	53 996 ¹ ,930 soit 100 pour 100
Charbon lavé pour coke. . .	39 387 ,860 — 73 —

Schiste.	7 740 ^t ,760 soit 14 pour 100
Limons	6 868 ,310 — 13 —

L'épuration à laquelle les limons sont soumis à fait descendre leur teneur en cendres vers 7 à 10 pour 100. La quantité de limons indiquée ci-dessus a donné, en 1865 :

Limon lavé pour la carbonisation.	582 ^t ,330
— pour l'agglomération.	83 ,640

d'où résulte un déchet de 6 202 t., 140.

Le lavage de ces schlamms s'opère au moyen d'une rigole de 150 mètres de développement, suivie de bassins de dépôts. Les limons se composent de sables et grosses pyrites, pyrites fines, *limons* proprement dits ou schistes en poussières impalpables, charbon.

On sait par expérience que les sables et les grosses pyrites s'arrêtent dans un courant d'eau animé d'une vitesse de 50 centimètres par seconde; les pyrites fines marchent avec une vitesse de 8 à 10 centimètres et les charbons avec une vitesse de 20 à 25 centimètres. Les limons suivent la vitesse du courant.

La rigole de 150 mètres étant bien nettoyée, si l'on y fait arriver un courant d'eau tenant les schlamms en suspension, les sables et les grosses pyrites s'arrêteront en tête; les pyrites fines parcoureront les 150 mètres en trente minutes, les charbons en quinze minutes et les limons en cinq minutes environ. En arrêtant le courant d'eau après vingt minutes, on aura en tête les sables et les grosses pyrites; dans les 100 à 120 premiers mètres, les pyrites fines et les charbons les plus gros; dans le premier bassin de dépôt, le charbon; et dans le second, les limons argileux.

En dix heures, on passe à cet appareil 20 tonnes de limons, d'où l'on retire 7 tonnes de charbon à 7 ou 10 pour 100 de cendres, soit 35 pour 100.

Il suffit pour toute main-d'œuvre, dans cette opération, d'un chef laveur et de deux gamins. La dépense s'élève de 80 centimes à 1 franc par tonne lavée. Le tamisage coûterait

moins et rendrait probablement cette épuration inutile : même en supposant que la teneur du charbon tamisé fût de 25 pour 100 et qu'on en obtint autant que de schlamms, soit 13 pour 100, le mélange du charbon tamisé au charbon lavé ne ferait pas monter la teneur en cendres au delà de 10 pour 100.

Remarquons, en outre, que le déchet serait moindre. Nous doutons que la balance entre les frais de lavage des limons et les frais de tamisage du charbon, augmentée de la moins value du coke résultant d'une plus forte teneur en cendre, et diminuée de la plus-value résultant d'un déchet moindre, soit en faveur de la première opération.

La Société de la Grand'Combe a exposé, de plus, les prix de revient du lavage des charbons maigres de Champclauson, qui se fait au moyen des bacs à piston et de l'appareil Bérard. Ces prix de revient sont déduits des résultats d'un exercice annuel.

Le prix de revient de la tonne de houille épurée s'est élevé pendant cet exercice à 1 fr. 81 c. par tonne, à l'appareil Bérard. Ce prix extraordinairement élevé provient de ce que cet appareil n'a pas fourni la moitié de la production dont il est susceptible, pendant l'exercice choisi. Il ne peut donc servir de base de comparaison : un prix de revient exceptionnel est tout aussi enclin à induire en erreur que les prix de revient *théoriques* que donnent, sans crier gare, la plupart des ouvrages techniques, et où l'on ne tient compte de mille circonstances inévitables dans l'industrie.

Le prix de revient de la tonne de houille lavée au bac à piston s'élève à Champclauson à 1 fr. 61 c. Ce chiffre est encore trop considérable pour ne pas dépendre de circonstances toutes spéciales.

Nous applaudissons vivement à l'exemple donné par la Société de la Grand'Combe, en mettant à la disposition des visiteurs de l'Exposition un superbe atlas et plusieurs volumes de renseignements sur ses travaux, mais nous devons regretter de n'y pas avoir trouvé le fil d'Ariane nécessaire pour rattacher entre eux ces documents et en tirer

des conclusions de nature à intéresser les hommes spéciaux ⁽¹⁾.

III. — Lavoir à souèvement intermittent sans retour d'eau. Système Coppée.

L'appareil Meynier a repris faveur en Belgique, depuis que M. Evence Coppée a su remédier en partie à ses inconvénients. M. Coppée a combiné les dispositions du lavoir Meynier avec celles de l'appareil Bérard. Ainsi modifié, ce lavoir est devenu la base d'un système de préparation adopté dans plusieurs charbonnages et dans les usines d'agglomération de M. Félix Dehaynin, à Marcinelle et à Gosselies.

Les figures 1, 2 et 3 de la planche XVI représentent différentes vues de l'ensemble d'une préparation du système

(1) Voici un extrait des documents relatifs aux ateliers de lavage de Champclauson :

	Atelier Bérard.	Atelier à bras.
Quantité de charbon livrée au criblage	17 625 ¹ ,680	92 447 ¹ ,020
Produit du criblage.	Grèles bruts.	2,540 551,040
	Grélassons non lavés. . .	3 823,550 24 930,540
	Pierres et schistes. . . .	80,800 3 314,190
	Charbon à laver.	13 718,790 63 650,750
Charbon lavé	9 678,430	43 289,560
Schiste.	1 539,140	8 223,380
Limons	2 501,220	12 137,810
Limons lavés pour l'agglomération . .	»	1 366,080

Voici les prix de revient exposés :

A. Atelier à bras de Champclauson :

1^o Criblage et broyage :

	Prix de revient par tonne traitée.
Main-d'œuvre	0 fr. 440
Chevaux du broyage	0 005
Entretien, matériaux, outils.	0 027
Divers. {	Éclairage 0 010
	Surveillants 0 018
	Entretien des bâtiments 0 037
Total	0 fr. 537

Coppée. Un atelier de ce genre est entièrement automatique. De là résulte une réduction importante de main-d'œuvre qui est toutefois achetée par une dépense de premier établissement assez importante.

Le charbon est amené au pied d'une chaîne à godets, qui l'élève jusqu'à la trémie d'une double paire de cylindres broyeurs B. La seconde paire ne sert que dans les cas où l'on veut broyer une partie du charbon sans le laver; le charbon broyé est alors dirigé vers le canal V.

Le charbon concassé va directement au lavoir L. Celui-ci, tient, comme nous l'avons dit, du système Meynier et du système Bérard. Il fonctionne, comme le premier, au moyen d'une pompe aspirante et foulante F; l'expulsion des schistes

2^o Lavage :

Main-d'œuvre	0 fr. 148
Fourniture de l'eau, main-d'œuvre, entretien	0 030
Entretien du matériel de lavage.	0 079
Machine à vapeur	0 017
Incinérations.	0 011
Frais divers.	0 015
Surveillants	0 023
Éclairage.	0 011
Transports.	0 051
Total.	1 fr. 025
Soit, sans compter les amortissements, par tonne lavée.	1 507

B. Atelier Bérard :

Main-d'œuvre, criblage, roulage, etc.	0 fr. 233
Entretien du matériel (indépendamment du lavoir). .	0 069
— de la voie de roulage.	0 059
— des bâtiments, etc.	0 009
Combustible pour chaudière.	0 046
Frais généraux.	0 108
Amortissement.	0 340
Main-d'œuvre et entretien du moteur.	0 370
Réparations à l'appareil Bérard	0 012
Surveillance à l'appareil.	0 029
Total.	1 fr. 278
Soit par tonne lavée.	1 818

se fait comme dans le second,⁽¹⁾ au moyen d'une vanne et d'une contre-vanne *m* et *n*, à l'extrémité de la grille, opposée à la sortie du charbon. La grille est inclinée dans le sens de la sortie des schistes. L'ouverture de la vanne *n* peut être réglée à volonté au moyen d'engrenages coniques ou de tiges filetées. La poche au schiste est vidée de temps à autre par l'orifice de purge O. Un orifice X est établi à l'extrémité du conduit d'arrivée d'eau de la pompe, pour le nettoyage de la caisse.

Le charbon lavé, sortant en déversoir, tombe directement dans la trémie d'un broyeur du système Dejardin (¹).

Le charbon réduit en fragments de grosseur très-égale, va se déposer dans de vastes bassins à fond incliné, mesurant 20^m,50 sur 3 mètres. Ces bassins dallés en pierre et cimentés à la chaux hydraulique, constituent la partie caractéristique du système Coppée.

La houille se dépose sur le fond du bassin I, dont la vanne d'amont est ouverte, tandis que l'eau s'écoule par des orifices S, dont on règle à volonté le niveau : elle passe par le conduit T, dans le bassin adjacent I', où se déposent toutes les matières charbonneuses encore en suspension. L'eau sort par la vanne grillée K et se rend par le canal H dans le réservoir de la pompe F, pour retourner au lavoir. La consommation d'eau évaluée dans les anciens lavoirs Meynier, à vingt-cinq ou trente fois le volume du charbon, est ainsi considérablement réduite. Quand un des bassins est rempli, on ferme la vanne d'amont et celle des orifices S pour empêcher le retour de l'eau, mais on laisse ouverte la vanne K. La houille est ainsi isolée et s'égoutte pendant qu'on ouvre la vanne d'amont d'un second bassin.

Des quatre bassins de dépôts, l'un est toujours en voie de remplissage, le second sert au retour et à la clarification de l'eau ; la houille lavée s'égoutte dans le troisième, et le quatrième est en vidange.

(¹) *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 579.

Des rails établis au milieu de chaque bassin et sur toute sa longueur, conduisent directement les wagons aux fours à coke et facilitent la vidange.

La production d'un appareil Coppée est considérable, par suite de la suppression de toute main-d'œuvre. On l'évalue à 150 tonnes.

Pour laver des charbons à plus de 20 pour 100 de pierres, M. Coppée dispose deux lavoirs à la suite l'un de l'autre. Le charbon épuré par la première caisse est transporté sur le second au moyen d'une grande roue à palettes tournant dans un chenal. Les deux caisses sont alimentées par deux pompes de même diamètre et indépendantes l'une de l'autre.

La perte en charbon menu qui résulte de l'entraînement des fines poussières avec le charbon lavé est évitée par l'emploi des bassins de dépôt où ce poussier se retrouve intégralement. Le broyeur Dejardin est ici nécessaire pour réduire la houille lavée en fragments bien égaux. Lorsque cette condition n'est pas remplie, les plus gros fragments s'amoncellent sous la chute, et il faut dans certains cas un ouvrier pour en faire le régalage. L'application du broyeur Dejardin nous paraît heureuse, car son principal caractère est de donner un produit bien homogène. Si parfait que soit ce broyage, il n'en est pas moins nécessaire de mélanger les produits d'amont avec ceux d'aval, pour obtenir une teneur de cendres uniforme. La partie d'amont contient toujours, en effet, plus de schiste.

Le rendement est nécessairement élevé dans le système Coppée, mais l'entraînement des schistes légers avec le poussier de charbon peut augmenter ce rendement aux dépens de la teneur en cendres.

La disposition empruntée au lavoir Bérard par laquelle les schistes se dirigent en sens inverse du charbon n'est pas favorable à la netteté de la séparation. Il doit, en effet, se produire dans l'appareil deux courants superposés de sens contraires, l'un suivi par les schistes et provoqué par l'inclinaison du tamis, l'autre suivi par les charbons et provoqué par la sortie de l'eau en déversoir. Le charbon brut quittant la

trémie fait un pas à chaque soulèvement, en semant pour ainsi dire les schistes sur sa route. Une partie de ceux-ci s'avancent ainsi jusqu'au seuil du déversoir qu'ils peuvent franchir à un moment donné, d'autant plus aisément que leur forme lamellaire les porte souvent au niveau du charbon et même plus haut pendant la période de soulèvement, et tend, d'autre part, à ralentir leur chute pendant le retour du piston. Des morceaux de charbon trop gros peuvent de même s'enfoncer un peu trop et être entraînés avec les schistes. La réglementation de la vanne est, par suite, très-difficile, et c'est de l'ouvrier que dépend la bonne marche de l'appareil.

Remarquons, en outre, que pendant le retour du piston, c'est-à-dire pendant que le niveau baisse dans la caisse, par suite de l'écoulement en déversoir de l'eau et du charbon lavé, le niveau tend à s'établir dans tout l'appareil ; il y aura donc un retour d'eau, sous la vanne, qui s'opposera à la sortie des schistes.

Dans le lavoir Bérard qui travaille de même, ces divers effets sont rendus sensibles par l'examen des produits. On y obtient souvent de beaux résultats, comme teneur en cendres du charbon lavé, mais la séparation est rarement nette et il reste beaucoup de charbon dans le schiste.

La quantité de charbon triée à la main dans le schiste s'est élevée, à plusieurs reprises, à 20 pour 100, dans un établissement du bassin de Seraing. Dans un autre charbonnage du même bassin, le schiste donne à l'incinération une teneur de 60 à 65 pour 100 de cendres, ce qui fait supposer une proportion de charbon analogue à la précédente. Le charbon lavé sort du lavoir, dans le même établissement, à une teneur de 4 à 5 pour 100 de cendres.

Dans le lavoir Coppée comme dans l'appareil Bérard, le charbon est seul l'objet d'une extraction continue. Si l'ouvrier néglige de vider la poche aux schistes, elle peut se remplir, et le schiste s'accumuler sur le tamis au point de passer avec le charbon par-dessus le déversoir.

Ce défaut était plus sensible encore dans les anciens appa-

reils Meynier, où l'on évacue les schistes en levant une sou-pape ou en faisant basculer le tamis.

Cette intermittence est un inconvénient que l'on ne peut pallier qu'en opérant méthodiquement, c'est-à-dire en extrayant les schistes à intervalles fixes, ou mieux encore, comme cela se fait au charbonnage des Produits, à Jemmapes, en faisant la vidange après qu'une même quantité de charbon a passé au lavoir. Cependant l'extraction intermittente peut encore être un inconvénient, par suite de la variation des matières stériles dans une même couche.

M. Detombay a construit des lavoirs du type Meynier où ces défauts sont évités en grande partie. Ces appareils font partie d'une préparation du système Coppée installée à l'usine d'agglomération de Gosselies.

La figure 4 représente une coupe de cet appareil. Les schistes y sont expulsés du même côté que les charbons, au moyen d'une vanne analogue à celle du lavoir Coppée. La contre-vanne devient dans ce cas inutile. Les schistes tombent dans une rigole D, inclinée transversalement au sens du courant; une chaîne à godets les reçoit au bas de cette rigole et les expulse d'une manière continue. L'eau retombe dans le lavoir par les trous dont les godets sont criblés. L'ouvrier règle très-aisément la hauteur de la vanne, en examinant de temps à autre la nature des produits qui sortent de l'appareil.

M. Detombay assure que la teneur en cendres peut être réduite de 1 1/2 pour 100 par l'emploi de ce système d'expulsion continue et de la disposition qui permet au schiste de sortir du même côté que le charbon. L'efficacité de cette disposition ne peut laisser de doute, si l'on se rapporte aux cribles continus de la préparation des minerais qui fonctionnent d'une manière analogue.

Quant aux boues, leur extraction est encore intermittente, faible inconvénient, vu la petite quantité de boues qui se dépose dans les lavoirs sans retour d'eau.

Dans les lavoirs à retour d'eau, au contraire, l'inconvénient est aussi sensible pour les schlamms que pour les schistes :

quand, par suite de la négligence de l'ouvrier, la caisse se remplit de boues, celles-ci sont refoulées à travers le tamis et sont une grande gêne pour l'épuration.

IV. — Lavoir à mouvement alternatif et à retour d'eau. — Lavoir Detombay. — Expériences de M. Detombay sur la vitesse de chute.

Malgré les inconvénients que nous avons énumérés, l'appareil Bérard, type des lavoirs à retour d'eau, domine encore dans le bassin de Liège. M. Ch. Beer, constructeur à Jemmapes, en a simplifié la disposition de manière à l'affranchir de l'entretien coûteux qu'on lui a souvent reproché.

La caisse est en tôle, tandis que le cylindre du piston est en fonte. Ces parties, n'étant pas solidaires comme dans le lavoir Bérard primitif, se prêtent mieux aux réparations. La machine motrice est également séparée. Un trommel tami-seur se trouve généralement en tête, une paire de cylindres broyeurs et mélangeurs en queue de l'appareil.

Le lavoir Bérard ne paraît pas jouir de la même faveur dans le pays de Charleroi : plusieurs de ces appareils ont disparu des usines d'agglomération de ce bassin pour faire place à des systèmes plus récents.

Parmi ceux-ci se distingue le lavoir à raclette et à coulisse différentielle de MM. Detombay et Scheuren.

Les lavoirs à retour d'eau ne sont pas d'ailleurs sans avantages. Leur produit est généralement plus pur, car les lamelles menues de schiste, au lieu d'être soulevées et expulsées par-dessus bord, sont redressées verticalement et attirées dans la caisse par l'action du retour de l'eau. Dans les lavoirs à mouvement alternatif, ces lamelles flottant à plat sont retardées dans leur chute.

Nous avons décrit précédemment les circonstances du mouvement des coulisses différentielles et des combinaisons de leviers destinées à régler le mouvement du piston dans les cribles.

C'est M. Forey qui a appliqué le premier la coulisse de Fairbairn aux lavoirs à charbon, en 1864, aux mines de Com-

mentry (1). Nous avons fait connaître la combinaison de leviers qu'y a substituée M. Detombay, dans le but d'obtenir un temps d'arrêt entre le soulèvement et le retour de l'eau. Ce temps d'arrêt fait participer les lavoirs à retour d'eau à l'avantage des lavoirs du type Meynier, chez lesquels le temps d'arrêt dure pendant tout le retour du piston. Ce temps d'arrêt permet au schiste de prendre l'avance sur le charbon, de manière que le retour de l'eau ne puisse créer d'aspiration nuisible.

Cette disposition fut appliquée pour la première fois, en juillet 1864, à l'usine d'agglomération du Val-Benoit (Liège). MM. Huet et Geyler, cessionnaires du brevet pour la France, sont arrivés au même but par l'emploi de leur coulisse différentielle. Ces ingénieurs ont décrit le lavoir de MM. Detombay et Scheuren dans une note où l'on trouvera une discussion approfondie du système (2).

Par ces moyens, on est parvenu à obtenir les mouvements reconnus depuis longtemps comme les plus favorables par l'excellent classement qu'ils permettent d'obtenir au bac à piston mû à bras, savoir : un soulèvement assez rapide des matières, capable de déterminer leur déplacement complet et de favoriser l'isolement des parcelles, de manière à leur permettre d'obéir librement aux lois de la pesanteur, en les dégageant autant que possible des actions réciproques ; le soulèvement obtenu, laisser le liquide immobile pendant un certain temps, afin de permettre aux fragments de se classer d'abord librement par leur chute naturelle, sans que l'eau descendante puisse accélérer leur mouvement ; puis faire intervenir ce mouvement descendant d'abord lentement, puis de plus en plus vivement, à mesure que cette accélération présente moins d'inconvénient, ou même qu'elle intervient utilement pour redresser les lamelles de schiste.

La raclette, contrairement à tous les autres systèmes, expulse les charbons au moment où la séparation est ter-

(1) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 2^e série, 17^e année, 1864.

(2) *Ibid.*, 18^e année, 1865.

minée ; nous n'avons pas à y revenir ⁽¹⁾. Un accident survenu à la raclette du lavoir de l'usine du Val-Benoît prouva l'efficacité de cet organe. La raclette ayant été enlevée pour subir une réparation, le lavoir marcha avec expulsion en déversoir. La teneur en cendres s'éleva immédiatement de 3 à 7 pour 100, mais, en revanche, on put forcer considérablement la production, sans faire descendre davantage cette teneur.

On a reproché à la raclette, aussi bien qu'à la chaîne à godets fournissant l'expulsion continue des schistes, de se caler parfois lorsqu'un gros morceau se présente et de donner lieu, par suite, à de fréquentes ruptures. Dans un établissement du bassin de Seraing, on a remédié à cet inconvénient, en articulant plusieurs raclettes sur une tige horizontale, au moyen de charnières et en les maintenant par des contre-poids.

Les schistes sont évacués au moyen d'une chaîne à godets, comme dans le lavoir du type Meynier qui vient d'être décrit. Les boues, dont la proportion est fort réduite par l'action d'un bon tamisage, tombent au fond de la caisse ; l'inclinaison les conduit à une chaîne à godets placée symétriquement de l'autre côté de l'appareil ⁽²⁾.

L'arbre du piston commande une pompe donnant 3 litres d'eau par coup. Un trop-plein empêche l'eau en excès de

⁽¹⁾ *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 591, 595, pl. VII et VIII, fig. 1 et 2.

⁽²⁾ Le lavoir Révollier, employé dans le centre de la France et dans une mine du bassin de Seraing, permet l'extraction continue des boues et du charbon lavé qui se réunissent dans un réservoir commun, où puise une chaîne à godets. Les schistes sortent aussi d'une manière continue.

Le mouvement du piston est réglé par une came et un ressort qui précipite la chute du piston, tandis que la vitesse du retour est modérée.

M. Révollier a également adopté le principe de la raclette dans un appareil destiné à fournir deux catégories de charbon lavé. La raclette sert à écrémer le charbon et donne ainsi, à Blanzy, un premier produit ne contenant que 3 à 4 pour 100 de cendres.

passer par-dessus le déversoir, de manière à éviter l'entraînement des boues qui en résulterait. L'eau peut également être fournie par un réservoir à charge.

M. Detombay a porté son attention sur un point important, quoique peu étudié. Il a cherché à déterminer *à priori* le nombre de coups de pistons et la hauteur du soulèvement les plus favorables à une bonne épuration. Nous croyons que les considérations sur lesquelles est basée cette détermination pourront intéresser. Le point de départ est la connaissance de la vitesse de chute des matières sur le crible.

Les lois de la chute des corps, dans un milieu résistant, ne sont pas directement applicables à ce cas, d'après M. Detombay, par suite des résistances secondaires créées par la présence des grenailles environnantes.

On peut comparer ce qui se passe sur un crible à ce qui aurait lieu si on laissait tomber une grenaille dans un vase tubulaire dont la section horizontale fût peu différente de celle de la grenaille. La chute de la grenaille y serait retardée par suite de la résistance créée au déplacement de l'eau par le peu de largeur de la section annulaire laissée entre cette grenaille et les parois du vase. Sur un crible, on peut imaginer que chaque grenaille se trouve dans un tube semblable formé par les grenailles environnantes.

On peut aisément déterminer le rapport des parties solides et des parties liquides dans une section horizontale du crible. Ce rapport sera assimilable à celui des sections de la grenaille et du tube considéré.

Supposons qu'il y ait sur le crible une hauteur de 0^m,25 de grenailles, et que l'eau atteigne, au maximum, pendant le soulèvement, une hauteur de 0^m,35, le coup d'eau étant alors au moins 0^m,10; le rapport du volume de grenailles au repos au volume total, grenailles soulevées et eau, sera approximativement de $25 : 35 = 0,714$; si l'on suppose les grenailles uniformément répandues dans le volume total, ce chiffre donnera en même temps le rapport de la section des grenailles à la section totale.

M. Detombay s'est livré à de nombreuses expériences dans

le but de déterminer la vitesse de chute de cubes de charbon de 0^m,02 de côté dans des vases étroits de diverses sections. Le rapport de la section du vase à celle du cube de charbon était déterminé de manière à correspondre à divers soulèvements d'une couche de charbon de 0^m,25 déposée sur un crible.

Le tableau suivant contient les données acquises par ces expériences.

SOULÈVEMENT.	RAPPORT de la section du cube de charbon à celle du vase.	VITESSE DE CHUTE APRÈS UNE SECONDE.	
		Charbon.	Schiste.
0 ^m ,20	$\frac{25}{45} = 0,555$	0 ^m ,400	0 ^m ,4414
0 ,15	$\frac{25}{40} = 0,625$	0 ,087	0 ,1250
0 ,10	$\frac{25}{35} = 0,714$	0 ,070	0 ,0989
0 ,05	$\frac{25}{30} = 0,833$	0 ,049	0 ,0692
0 ,02	$\frac{25}{27} = 0,925$	0 ,039	0 ,0550

Rappelons que pour des grenailles de faibles dimensions, on peut considérer la vitesse de chute dans un milieu résistant comme constante après un temps très-court ⁽¹⁾.

Voyons par quelles considérations il est possible de déduire de la vitesse de chute le nombre de coups de piston le plus favorable à l'épuration complète.

Supposons que nous opérions sur un lavoir à soulèvement intermittent (type Meynier).

(1) *Revue universelle*, t. XXII, p. 370. Les formules de M. de Ritter s'appliquant à la chute libre des grenailles dans un milieu résistant, donnent des vitesses beaucoup plus grandes. Les vitesses de chute déduites des expériences de M. Detombay concordent très-approximativement avec celles que donne l'ancienne formule de M. de Hen-

nezel : $\frac{V}{v} = \sqrt{\frac{PD}{pd}}$ (*Ann. des mines*, t. IV, p. 355.)

Il est évident que la vitesse *absolue* du soulèvement doit être plus grande que la vitesse de chute du charbon, sans quoi celui-ci ne serait pas soulevé (¹). Il suffit, à la rigueur, que la vitesse soit telle pendant une partie du soulèvement, pour que l'impulsion soit donnée. La vitesse *moyenne* pourra dans ces conditions être supposée égale à la vitesse de chute. Pour que la chute ait son effet le plus complet, il faut qu'un nouveau soulèvement ne se produise qu'au moment où les grenailles projetées par le soulèvement précédent seront revenues au repos. Il faut donc que la durée du soulèvement soit égale à la durée de la chute. Les deux excursions du piston ayant la même durée, le temps du retour du piston sera strictement égal au temps de la chute du charbon sur le crible.

Ainsi, les données figurant à la quatrième ligne du tableau précédent seront dans les conditions requises, si chaque excursion du piston dure une seconde. Le soulèvement sera de 0^m,050, et le chemin décrit dans sa chute par le charbon soulevé sera de 0^m,049 après une seconde. Ce sont là les conditions de marche des lavoirs du type Meynier récemment établis en Belgique.

M. Detombay préfère donner aux lavoirs qu'il construit, un coup d'eau plus considérable. Un grand coup d'eau présente, en effet, l'avantage de mieux dégager les charbons de dessous les schistes. Un grand coup d'eau utilise mieux l'action séparatrice du courant ascensionnel, en créant une plus grande différence de niveau entre la zone où sont portés respectivement les charbons et les schistes.

Remarquons en outre que l'influence d'un grand coup d'eau est d'autant plus sensible, dans l'épuration du charbon, que le classement par grosseur est plus imparfait.

M. Detombay donne à ses lavoirs un coup d'eau de 0^m,10. La vitesse de chute du charbon est alors de 0^m,07 après une seconde. En donnant 21 coups par minute, on rend encore

(¹) *Revue universelle*, t. XXII, p. 375.

la vitesse moyenne du soulèvement égale à la vitesse de chute.

En effet, soit v la vitesse de chute après une seconde et h la hauteur du soulèvement, le chemin parcouru en une minute est alors $v \times 60$. La moitié de ce chemin étant parcourue en soulèvements, le nombre de soulèvements sera :

$$\frac{v \times 60}{2h} = \frac{0,07 \times 60}{2 \times 0,10} = 21.$$

La production du lavoir ne diminue pas avec le nombre de coups, comme on pourrait le croire, parce que, l'épuration étant plus complète, on peut expulser plus de charbon lavé à chaque coup.

Il ne faut pas exagérer la hauteur du soulèvement, parce qu'alors on courrait risque d'élever les schistes à un niveau supérieur à celui du déversoir.

Remarquons encore que les éléments du lavoir Detombay sont mieux réglés que ceux des lavoirs du type Meynier. Cette vitesse moyenne comprend en effet le temps d'arrêt qui se marque à la partie inférieure de la course du piston par l'emploi de la combinaison de leviers ou du calage convenable de la coulisse. La vitesse effective est donc ici bien supérieure à celle de chute, ce qui est éminemment favorable à la séparation, puisqu'il en résulte le soulèvement complet de tout ce qui se trouve sur le crible. Un simple ralentissement se produit à la fin du soulèvement, de manière à permettre à la force vive de s'éteindre, avant que le temps d'arrêt ne se produise, ce qui assure l'effet de ce dernier.

Dans les lavoirs où le piston est mû par une manivelle, le soulèvement du charbon ne se produit que pendant une partie très-restreinte de la course. L'effet du premier quart de la course est en effet perdu, la vitesse qu'il imprime à l'eau étant tout à fait insuffisante pour soulever les matières déposées sur le crible; le ralentissement qui se produit pendant le dernier quart n'est pas à considérer, par suite de la force vive acquise par le charbon.

Les considérations précédentes sont peu favorables aux lavoirs à petit coup d'eau. Or le lavoir Bérard est dans ce cas. Le soulèvement n'y est pas supérieur à 0^m,02. On comprend qu'il faut dans ces conditions un temps très-long pour que les charbons se dégagent de dessous les schistes. Aussi est-on conduit à multiplier considérablement le nombre des coups de piston. La machine donne généralement 90 à 100 coups par minute. La matière y est plutôt soumise à une suite de trépidations rapides qu'à des soulèvements réguliers qui mettent franchement les densités en jeu. A de telles vitesses, le charbon, ni même le schiste, ne peuvent entrer en repos dans l'intervalle des coups de piston. Cherchons, en effet, en appliquant la formule précédente, quelle vitesse de chute il faudrait, dans un lavoir Bérard, pour que le charbon se déposât dans l'intervalle des soulèvements.

Nous avons :

$$v = \frac{n \cdot 2 \cdot h}{60}$$

Si $n = 100$, $h = 0,02$, nous aurons :

$$v = \frac{100 \times 2 \times 0,02}{60} = 0,066.$$

Or, d'après le tableau des expériences de M. Detombay, la vitesse du charbon n'est que de 0^m,039 pour un soulèvement de 0^m,02, celle du schiste n'est même que de 0^m,055.

Les matières sont donc constamment en mouvement dans le lavoir Bérard. Cependant la séparation s'y fait d'une manière remarquable. Nous avons pu consulter à cet égard les registres d'incinération d'un des grands établissements du bassin de Seraing. La teneur en cendres du charbon lavé, tel qu'il sort du lavoir et avant son mélange avec le poussier tamisé, n'est pas supérieure à 5 et descend souvent à 3 pour 100. Cependant le bassin de Seraing n'est pas en général favorisé sous le rapport de la pureté du charbon, et notamment certaines couches des charbonnages dont nous parlons tiennent en moyenne 15 à 20 pour 100 de cendres.

Ne faut-il pas en conclure que le principe sur lequel re-

pose l'appareil Bérard est différent de celui de la plupart des autres lavoirs ? La succession rapide des coups de piston soumet la matière à une agitation continue, d'où résulte une épuration qui, comme on le voit, peut être poussée très-loin. Mais cette épuration n'est-elle pas achetée au prix d'une production moindre pour la même force consommée, et surtout au prix d'une plus grande perte en charbon ? C'est ce que des expériences comparatives, pourraient seules décider.

La question du prix de revient, qui est en dernière analyse le seul criterium vraiment industriel, est très-difficile à trancher.

Si nous prenons des prix de revient réels, nous nous trouvons devant toutes les circonstances indépendantes de l'appareil, qui influent différemment sur le lavage dans différents charbonnages, qualité du charbon, aménagement, frais généraux. Les prix de revient fictifs sont également trompeurs et promettent généralement plus qu'ils ne tiennent. Quoi qu'il en soit, et sans ajouter grande importance à ces renseignements, nous mettrons ici en regard du prix de revient simulé des 1 000 kilogrammes lavés à l'appareil Bérard dans le bassin de Liège, tel que nous en avons relevé les éléments sur place, ceux des 1 000 kilogrammes lavés aux appareils Meynier modifiés et au lavoir Detombay, dans le bassin de Charleroi, tels qu'ils nous ont été communiqués par un industriel de ce bassin.

PRIX DE REVIENT DU LAVAGE PAR JOUR.

Lavoir Bérard modifié.

Consommation de charbon pour quatre chevaux, soit 240 kilogrammes à 10 francs le mille. . . .	2 fr. 40
Machiniste.	3 25
Graissage et entretien	3 00
Deux ouvriers à 2 fr. 50.	5 00
	<hr/>
Pour 70 000 kilogrammes. . .	13 fr. 65

Soit, pour mille, 20 centimes.

Lavoir Meynier modifié.

Charbon pour la machine, graissage, entretien. . .	8 fr. 00
Machiniste-chauffeur.	3 00
Deux ouvriers à 2 fr. 50.	5 00
Pour 85 000 kilogrammes. . .	16 fr. 00

Soit, pour mille, 19 centimes.

Lavoir Detombay.

Charbon pour trois chevaux (150 kilogrammes à 8 francs le mille).	1 fr. 20
Graissage et entretien	2 50
Machiniste-chauffeur.	3 00
Deux ouvriers à 2 fr. 50	5 00
Pour 75 000 kilogrammes. . .	11 fr. 70

Soit, pour mille, 16 centimes.

V. — La préparation des charbons de la Chazotte (Loire).

M. Max. EVRARD, ingénieur de la compagnie des houillères de la Chazotte, bien connu par ses machines à agglomérer, est l'inventeur d'un système de préparation mécanique des charbons excessivement ingénieux. Tout le monde s'est arrêté à l'Exposition devant ses élégants modèles.

M. Évrard a cherché à réaliser automatiquement toutes les circonstances qui rendent encore le bac à piston mû à bras le meilleur appareil de lavage. Ce résultat, constaté naguère par une commission nommée par la Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne, n'a rien qui doive étonner. La plupart des perfectionnements mécaniques ont donné un travail moins bon que le même travail exécuté à la main ; mais l'absence de main-d'œuvre est venue la plupart du temps compenser largement l'infériorité du produit. Le lavage d'une tonne de houille au bac à piston coûte encore aujourd'hui dans le bassin de Seraing, dans la seule usine où il soit exécuté, environ 90 centimes de main-d'œuvre, tandis que le lavage mécanique coûte au maximum 20 à 25 centimes, et même moins dans certaines circonstances.

Il suffit d'avoir suivi la marche des lavoirs à bras pour savoir que certains ouvriers y sont plus habiles que d'autres. Trente bacs à piston flottant fonctionnaient nuit et jour à la Chazotte avant l'installation des appareils de M. Évrard : les ouvriers ordinaires obtenaient, par 200 coups de piston, du charbon à 8 pour 100 de cendres, tandis que les laveurs exercés produisaient du charbon à 6 pour 100, en ne donnant que 60 coups. Les frais dépassaient 1 fr. 20 c. par tonne, y compris le nettoyage des bacs.

C'est précisément le tour de main d'où résulte l'habileté des uns, que M. Évrard a cherché à imiter par ses dispositions nouvelles.

La planche XVII représente une coupe longitudinale des appareils exposés ; nous avons laissé de côté l'appareil d'agglomération, qui est bien connu de nos lecteurs ⁽¹⁾. Cette installation comprend :

- 1° Une machine à cribler ;
- 2° Un trommel Villiers ;
- 3° Des trommels démoueurs ;
- 4° Un laveur des grains démourés ;
- 5° Un décanteur ;
- 6° Un laveur des moudes ou schlamms.

Nous décrirons successivement ces différents appareils représentés dans la planche.

Machine à cribler. — Les charbons provenant des diverses houillères de la compagnie viennent se déverser au moyen d'un culbuteur à travers la trémie A sur la sole tournante B. Celle-ci les distribue au moyen d'une raclette fixe sur une grille annulaire C de 7 mètres de diamètre extérieur et de 1 mètre de largeur. Cette grille fait un tour et demi par minute autour d'un axe central. Le charbon étendu en couche est entraîné sous des râteliers fixes dont les dents, disposées en quinconce, ont la forme d'un T renversé. Ces râteliers for-

⁽¹⁾ *Revue universelle*, t. X, p. 71. Note sur l'agglomération des charbons menus, par Henri Gerondeau. — *Bulletin de la Société de l'industrie minière*, t. IV, p. 261.

cent le menu à traverser la grille et à se séparer. Des ouvriers trieurs, debout sur un plancher tournant avec la grille, recherchent les pierres qu'ils jettent derrière eux sur une sole inférieure ; le menu se subdivise à son tour en *grains* et en *fin*, au moyen d'une seconde grille annulaire inférieure à la première.

Les différents produits de ce cribleur, gros, grains, fin et pierres, sont respectivement rejetés dans des wagons ou dans le réservoir des chaînes à godets E, selon qu'ils sont destinés à la vente ou au lavage.

Ces grilles, ainsi que le plancher et la sole pleine, sont fixées sur une charpente en fer qui peut être comparée à une roue à douze bras dont le moyeu serait calé sur l'arbre central. Deux trieurs peuvent se placer aisément dans chaque compartiment compris entre les bras.

L'écartement des barreaux circulaires de la première grille est de 12 millimètres, celui des barreaux de la seconde de 5 millimètres. Ces grilles sont formées de douze châssis reposant sur des cornières rivées à deux cercles concentriques ; leurs barreaux sont en fer et de section triangulaire. Pour remédier à l'inconvénient du passage par la première grille de morceaux plats et allongés, on fait tomber la charge de la seconde sur un crible à secousses formé d'une toile perforée à trous de 3 centimètres.

On peut se rendre compte de la puissance de cet appareil en considérant la surface utile qu'il présente. Chacune des zones chargées de charbon a 18^m,60 de surface, soit en tout 55^m,80. En supposant sur chacune une épaisseur moyenne de 3 centimètres de charbon, on criblera en un tour 16^{hectol},74, soit 25 hectolitres par minute et 1 500 par heure.

Ce cribleur et les chaînes à godets absorbent six chevaux de force. L'appareil représenté fonctionne depuis douze ans à la Chazotte et crible 100 tonnes par heure. L'usure en est peu considérable.

M. Évrard a construit plus récemment un cribleur du même système à quatre étages de grilles, à vides de 30, 26, 20 et 12 millimètres.

Trommel briseur de M. Villiers. — Les refus de la seconde grille passent à un trommel briseur et classeur avant de poursuivre leur chemin. Ce trommel se trouve en avant de la coupe figurée par notre planche. Sa position est figurée en D. Cet appareil est dû à M. Villiers, ingénieur principal de la société de Saint-Etienne. Indépendamment de la place qu'il occupait dans le modèle exposé, cet appareil figurait dans l'exposition collective des mines de la Loire. La figure 2 est une coupe longitudinale de cet appareil, qui mérite une description.

Cet appareil n'est autre chose qu'un trommel en tôle perforée, muni de courts poignards. Ces poignards sont fixés dans la tôle par une queue et une clavette. Il y a environ trois fois moins de poignards que de trous. Le but est un nettoyage à sec des charbons criblés. Ce nettoyage s'opère par la chute des fragments entraînés dans la rotation de l'appareil. Les poignards brisent dans cette chute les parties tendres qui se détachent ainsi des pierres et des charbons durs ou *crus*. Le charbon, souillé de divers débris, est criblé à mesure qu'il avance dans le trommel, les parties les plus impures sont rejetées.

On remarquera que vers la trémie les poignards sont moins nombreux que dans le corps du trommel; le charbon se trouve en effet en plus grande quantité dans cette partie, et un plus grand nombre de pointes y produiraient trop de menu.

A la Chazotte on a remplacé cette partie du trommel par une simple tôle perforée sans poignards, dans le but de tamiser le menu, qui se trouve toujours en assez grande quantité dans le charbon brut. Ce menu est naturellement plus pur que celui qui traverse les trous du trommel. Sous celui-ci, et inclinée en sens inverse, se trouve une rigole dans laquelle se meut une vis d'Archimède. Le charbon épuré revient ainsi sur ses pas vers le réservoir des chaînes à godets.

Cet appareil fait à la Chazotte quarante tours par minute. Une vitesse plus grande paralyserait son action; la force centrifuge, agissant en sens inverse de la gravité, empêcherait les fragments de venir se piquer sur les pointes en

retombant. La vitesse sera d'autant plus grande que les fragments à décroûter seront plus pesants.

Avec cette vitesse, le charbon reste environ deux minutes exposé à l'action de l'appareil. Il est essentiel de ne livrer au trommel Villiers que des charbons secs, de peur d'encrasser l'appareil par le menu. Il est évident que là où la nature du charbon permettra d'employer cet appareil, on le fera plus économiquement que de monter des cylindres broyeurs. Ceux-ci broient en effet les pierres, et le charbon transporté au laveur est plus sale que celui qui provient du trommel. L'économie produite au lavage viendra s'ajouter à celle que le trommel Villiers offre évidemment sur les broyeurs à cylindres.

Les dimensions de l'appareil, sans sortir beaucoup des limites figurées, se modifieront d'après la dureté du charbon et des pierres.

La première application de cet appareil fut faite, en 1862, à l'atelier de lavage de la mine du Treuil à Saint-Étienne, sur des menus impurs contenant 20 à 25 pour 100. Voici les résultats obtenus tels que nous les extrayons d'une note publiée par M. Grand'Eury, dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* (1).

100 KIL. DE CHARBONS IMPURS à 20 à 25 % de cendres ont produit.	POIDS.	TENEUR en cendres.	VALEUR aux 100 kilog.	VALEUR totale.
	kil.		fr. c.	fr. c.
1 ^o 85 kil. houille (1 ^o Houille lavée...	55	6,5	1 25	0 758
impure... (2 ^o Schlamm pour	14	17	0 40	0 056
chaudières... (5 ^o Déchet.....	16	60	»	»
2 ^o 25 kil. pierres (1 ^o Pierres.....	24	60	»	»
et charbon (2 ^o Cru pour chau-	1	12	0 56	0 005
cru..... dières.....				
Frais de trosselage et lavage.....				0 799 0 064
Valeur réelle des 100 kil. houille impure.....				0 755

(1) Tome IX, p. 273.

Ces résultats sont remarquables, et le trommel Villiers nous paraît présenter un caractère de simplicité pratique qui le fera adopter partout où le menu extrait sera très-mélangé de parties stériles dures. C'est à ces circonstances spéciales de gisement qu'il a dû son succès dans le bassin de la Loire, où il n'est pas rare de voir des tas de charbons impurs abandonnés sur le carreau des mines.

Revenons à la préparation mécanique de la Chazotte et aux intéressants appareils de M. Evrard.

Trommels démoueurs. — Le charbon séparé des pierres par le trommel Villiers se réunit au menu de la seconde grille dans le réservoir de deux chaînes à godets E, qui l'élèvent à la hauteur des trommels *démoueurs* (fig. 3) dont le but est de séparer les boues ou *moures* et les grains. Ces classes sont, en effet, lavées séparément. Ces trommels sont au nombre de deux. Ils sont en tôle perforée à un diamètre plus grand que celui de la table de lavage. Ils font quarante tours par minute. Les charbons se mélangent d'abord à une certaine quantité d'eau élevée par le tuyau F. Cette eau est celle qui a servi au lavage des boues et qui est reprise par des pompes, comme nous le verrons dans la suite.

Il faut ici de l'eau en abondance pour opérer une bonne séparation des boues. C'est un vrai débourbage. A la Chazotte le tuyau donne un mètre cube d'eau par minute.

Appareil laveur des grains démourés (fig. 4). — Cet appareil est construit en maçonnerie revêtue de ciment. Les grains démourés tombent directement sur la table de lavage G. Celle-ci est annulaire ; elle a 10 mètres de diamètre extérieur et 2 mètres de largeur. Elle est encaissée par deux rebords de 35 centimètres de hauteur. Cette partie de l'appareil est construite en tôle et fortement charpentée.

Cette couronne est inclinée de 30 centimètres sur son diamètre extérieur. Elle est composée d'un châssis en bois recouvert d'une tôle de cuivre perforée à trous de 1 millimètre.

Le piston H, de 5^m,30 de diamètre, occupe le centre de la table de lavage et en est séparé par une maçonnerie circulaire, au bas de laquelle des fenêtres font correspondre le

compartiment du piston avec celui de la table. Les mêmes fenêtres donnent passage aux boues qui traversent la table et se rassemblent dans la partie conique I, d'où on les extrait par un tube et une vanne. Le piston se meut d'un mouvement alternatif par l'intermédiaire du balancier K et d'une came L. Il donne dix-sept pulsations par minute. On est maître de faire varier les vitesses des deux périodes du mouvement, en composant la came d'un noyau fixe et d'une enveloppe mobile, et en agissant sur le poids du piston, en le chargeant de plus ou moins d'eau.

Le balancier est entièrement équilibré à la descente par un flotteur, de sorte que le seul poids du piston détermine la vitesse de la descente. La table de lavage n'est pas fixe, comme dans la plupart des lavoirs à charbon; elle est animée d'un mouvement circulaire très-lent, un tour en cinq minutes. Ce mouvement est obtenu au moyen d'une couronne dentée M fixée au pourtour de la table et d'un pignon d'engrenage. La table glisse sur des galets fixés sur des axes disposés suivant les rayons et portant de part et d'autre sur les maçonneries. Le jeu entre la table et ces maçonneries est assez faible pour ne pas permettre à l'eau de rejaillir.

La figure 5 montre les détails des transmissions de mouvement au piston et à la table de lavage.

Ces dispositions, qui s'écartent de tout ce que nous avons vu précédemment, étaient indiquées par l'énoncé du problème que s'était dicté M. Évrard, *substituer le travail mécanique au travail conduit et dirigé par la force animée et intelligente*.

Laissons la parole à M. Évrard lui-même, dans l'analyse qu'il a faite du tour de main au moyen duquel un bon ouvrier laveur obtient une netteté de lavage inconnue aux appareils mécaniques les plus perfectionnés.

« Admettons, dans les charbons destinés au lavage, les nécessités de se soumettre à ne traiter que des classifications très-grossières par ordre de grosseur, à cause des obstacles nés principalement de la friabilité de la substance; considérons des charbons obtenus par un seul criblage sur une

tôle perforée de trous de 3 centimètres, et suivons l'opération au petit bac.

« D'abord le piston est descendu à fond de course et son mouvement alternatif est maintenu pendant un certain temps dans la partie la plus inférieure du champ de ses oscillations, pour délayer la charge avec le maximum du volume d'eau et arriver à un premier classement des grains qui se disposent par ordre de grosseur bien plutôt que de densité.

« En cet état, la charge est formée de diverses tranches horizontales non homogènes les unes par rapport aux autres, mais à peu près homogènes dans les éléments qui constituent chacune d'elles isolément ; en sorte que les grains d'une même tranche étant peu différents de volume subiront dans la suite de l'opération, sous l'impulsion ascensionnelle de l'eau, une action sensiblement égale, qui, appropriée et mesurée à la constitution d'une certaine tranche, ne conviendra plus aux autres, parce qu'elle sera insuffisante ou violente et perturbatrice, suivant qu'on descendra ou remontera la série des couches.

« La théorie ou la pratique indique qu'il faut commencer par agir fortement sur la couche inférieure, puis diminuer graduellement l'intensité ou le temps d'intensité de chaque action élémentaire, pour chacune de celles qui lui sont superposées ; qu'il faut également et à un autre point de vue, ainsi que nous l'expliquerons, faire intervenir l'eau de manière qu'elle s'élève de moins en moins au-dessus de la table de lavage.

« Ce double effet s'obtient complètement en ramenant progressivement le piston dans une position de course de plus en plus élevée.

« Lorsque le niveau de l'eau vient affleurer la charge, l'épuration des grains égaux en volume dans chacune des tranches est terminée ; mais il reste encore à éliminer de celles-ci des lamelles schisteuses que le courant ascensionnel y a entraînées, à cause de leur grande surface relativement à leur épaisseur, lamelles qui, dans les couches supérieures, se réduisent à des feuilles très-minces.

« Le maintien de celles-ci dans un milieu composé de grains d'une densité très-différente s'explique par ce fait que, pendant toute la durée de l'opération, l'ascension de l'eau a été plus prompte que sa descente, parce que l'ouvrier pesait directement sur le levier pour produire la première, tandis que la seconde était ralentie par la filtration de l'eau à travers la couche supérieure. Mais il n'en est plus ainsi lorsque le niveau de l'eau s'est abaissé au niveau de la charge.

« Le piston, qui se trouve alors à sa ligne de flottaison, obéit à un faible effort de la main ; en l'enfonçant doucement, l'ouvrier soulève légèrement les grains ; en le relevant rapidement, il produit une brusque chute d'eau qui précipite et entraîne les lamelles dans la position verticale.

« C'est ainsi qu'on arrive, en relevant progressivement le piston et en ne lui imprimant finalement que de petites secousses qui laissent les gros grains dans l'immobilité, à faire traverser aux lamelles toute l'épaisseur des couches et à les amener jusque dans les interstices des pierres.

« Ces observations nous paraissent l'expression essentielle de la supériorité qui a été attribuée de tout temps au petit bac à piston mû à bras sur tous les autres modes de lavage pour la perfection du travail. Il présente, en outre, et par cela même, l'avantage de se prêter à la division des lavés en plusieurs qualités de pureté différente, qu'on obtient séparément par l'enlèvement successif des diverses couches horizontales, quand on veut les employer à des usages différents.

« Ainsi, tel charbon qui renfermait 14 pour 100 de cendres, par exemple, en enlevant la couche tout entière jusqu'au niveau des pierres, peut très-bien, dans telles circonstances, rendre :

1/3	de ce charbon	à 4	pour 100	pour coke,
1/3	—	7	—	pour agglomérés,
1/5	—	31	—	pour fours à chaux,

la dernière tranche ne comprenant que des charbons schisteux.

« Cette division en tranches constitue un moyen des plus

faciles de reconnaître, pour tous les charbons, par une seule expérience, les quantités relatives qu'ils sont susceptibles de produire à diverses teneurs en cendres.

« On saisira toute l'importance qui s'attache à ce classement des lavés en sachant que les compagnies de chemins de fer appliquent des prix différents à chacune des livraisons qui leur sont faites, après incinération, et que l'écart de prix est de 1 franc par unité de teneur et par tonne, en tenant compte des centièmes, le maximum de teneur admis étant de 9 pour 100. »

Voyons comment ces diverses circonstances sont réalisées dans l'appareil de M. Evrard.

Le niveau de l'eau indiqué en *ab* est réglé à 20 centimètres au-dessus de la partie la plus basse de la tôle perforée et, par suite, à 10 centimètres au-dessous de la partie la plus haute. Il s'ensuit que, par le mouvement de rotation de la table, chaque portion de charbon se trouve successivement submergée dans une plus ou moins grande quantité d'eau, et que la hauteur à laquelle le charbon est soulevé varie dans les mêmes proportions que la hauteur de submersion. Au passage inférieur, ces deux éléments seront à leur maximum. L'inclinaison de la table tient lieu dans ces appareils du relèvement progressif et de la course variable du piston dans le petit bac à piston flottant.

Les trommels déverseurs déversent les grains suivant le diamètre horizontal de la table de lavage. La rotation les entraîne en un quart de tour, sous la plus grande hauteur d'eau. Cette hauteur de submersion a le même effet que dans le bac à piston, elle sépare nettement les grains les plus gros et les plus fins. C'est à ce moment que le soulèvement est le plus énergique. Ce soulèvement conviendra pour la séparation des tranches inférieures par ordre de densité. L'énergie diminue par degrés insensibles ainsi que la hauteur de submersion. Les diverses tranches se trouveront donc successivement dans les conditions les plus favorables à leur épuration ; les pierres gagneront peu à peu le dessous et le charbon épuré le dessus. Comme au petit bac, au moment

où l'eau affleure le plan de charbon, on peut considérer l'épuration comme terminée, sauf en ce qui concerne certaines lamelles schisteuses de 1/2 millimètre d'épaisseur et de 4 à 5 millimètres de longueur, abondantes dans le charbon de la Chazotte. Celles-ci n'ont pu se classer, parce que la filtration empêchait l'aspiration de se produire avec assez de force sur ces lamelles pour leur faire prendre une position verticale. A partir de ce moment, le niveau de l'eau ne dépassant plus les couches supérieures, l'aspiration se produit et les lamelles se renversant verticalement, traversent petit à petit les couches inférieures. Chaque couche épurée joue donc, dans cet appareil, le rôle des fonds de tamis de la méthode anglaise par rapport aux couches supérieures.

Voyons comme les produits de densité différente sont séparément recueillis. Arrivées au point le plus élevé, les différentes couches supérieures sont enlevées par de petites roues à augets pénétrant plus ou moins bas dans la couche de charbon. La première roue prend le charbon de premier choix à 10 centimètres de hauteur au-dessus de la table de lavage, la seconde prend un second choix à 7 centimètres de hauteur ⁽¹⁾. La troisième et la quatrième roue n'agissent pas d'une manière continue. Elles sont soulevées pendant le travail, de manière à mettre le charbon hors de leur atteinte. Lorsque la couche stérile a gagné une épaisseur de 5 centimètres sur la table de lavage, on fait descendre ces roues à leur tour, sans interrompre le chargement. La troisième descend d'abord ; elle plonge jusqu'à 5 centimètres de la table et enlève une partie de charbon très-mélangée dont la teneur en cendres s'élève à 50 et 60 pour 100. Ce sont les charbons *crus* de Saint-Étienne ou les charbons *barrés* d'Épinac ; on ne pourrait les épurer que par broyage, leur dureté empêchant même de les passer avec succès au trommel

(1) Plusieurs lavoirs du centre de la France fournissent ainsi deux choix de charbon (voir *Supplément au Matériel des houillères*, par M. A. Burat : lavoirs de MM. Révollier et Ractmadoux, p. 134 et 137).

Villiers. Ces charbons très-impurs sont utilisés dans les fours à chaux. Lorsque des pierres sans mélange sont extraites par cette roue, on abaisse la quatrième à son tour jusqu'au niveau de la table et on relève la troisième au niveau de la seconde.

Quand on opère sur des charbons peu variables, la réglementation de ces dernières roues demande fort peu de surveillance; on connaît, en effet, le nombre de wagons de charbons impurs que fournit la troisième roue.

La hauteur de charbon épuré, premier et deuxième choix, est de 10 centimètres. La surface de la table étant de 50 mètres, on peut évaluer la production de ce laveur à 50 hectolitres par tour, soit à 600 hectolitres par heure. Ce laveur n'absorbe que quatre chevaux de force.

Parmi les modifications introduites récemment par M. Evrard dans les appareils exposés, nous citerons la manière d'obtenir le mouvement du piston. M. Evrard est parvenu à supprimer le balancier, en remplaçant le piston par une cloche à air relevée par une came, suivant le croquis fig. 6. On peut introduire sous la cloche une plus ou moins grande quantité d'air, au moyen de deux robinets dont l'un communique par un tuyau flexible à un tonneau alimentaire muni d'un reniflard.

Cette disposition simplifie l'appareil; elle a eu, en outre, un avantage fortuit très-curieux à constater. Lorsque la cloche soulevée retombe, elle ne descend que par saccades, et il en résulte, en réalité, trois coups de piston au lieu d'un, c'est-à-dire une épuration plus parfaite.

Utilité du démouillage. — Décanteur. — Le traitement des boues ou moures se fait au moyen d'un *décanteur* et d'un *laveur de moures*.

Le démouillage présente la même utilité que chez nous le tamisage. Cette dernière opération était pratiquée à la Chazotte avant l'emploi des trommels démouilleurs.

Les charbons de la Chazotte se distinguent par une friabilité extrême et contiennent 20 à 25 pour 100 de poussier. Cette poussière ne contenant que 8 à 9 pour 100 de cendres,

était mélangée auparavant avec les menus lavés pour la fabrication des agglomérés.

Cependant l'admission du charbon brut sec sur la table de lavage présentait de nombreux inconvénients. L'épuration ne commençait que lorsque le délayage était terminé. Ce délayage était d'autant plus difficile à obtenir que des bulles d'air supportaient les pelotes de charbon sec. L'imbibition des charbons était produite par des râdeaux fixes, sous lesquels passait la table de lavage. Le temps de l'imbibition était donc perdu pour l'épuration. Pendant ce délayage, les moures tendaient à faire pâte et passaient très-difficilement dans le fond du bac. La boue que l'on y recueillait était beaucoup plus dense que celle des trommels démoueurs. Cette boue se mélangeait, en effet, de tout le menu stérile qui traversait la table et du menu formé par l'usure des charbons. La moure séparée par les trommels démoueurs ne contient que 10 à 12 pour 100 de cendres. Quand on ne fait pas de démouage, l'eau de lavage s'épaissit par le mélange des moures et perd sa fluidité.

Les fins isolés par les trommels démoueurs sont séparés des eaux moureuses au moyen d'un décanteur, fig. 7. C'est un cône renversé, en maçonnerie, de 3 mètres de diamètre sur 4 à 5 mètres de profondeur. Trois lames inclinées à 35 degrés sur les parois balayent constamment ces parois, à raison de cinq tours par minute. Les grains de petit volume entraînés avec les moures se rassemblent au fond du cône et sont conduits sur le laveur au moyen du siphon P. Les eaux entraînant avec elles les matières charbonneuses et pures, se déversent en trop-plein dans une auge annulaire, d'où elles sont conduites au tube central Q du laveur, pour se mélanger intimement avec les grains plus gros épurés.

Des bulles d'air adhérant à ces grains au moment de leur arrivée sur le décanteur tendraient à leur faire suivre le courant horizontal. Un anneau de tôle de 1^m,50 de diamètre et plongeant de 20 centimètres dans l'eau empêche cet effet de se produire.

Laveur des moures (fig. 8). — Ce laveur présente des ana-

logies de forme avec le précédent, il en diffère cependant beaucoup par son mode d'action. Il se compose d'une table de lavage de 6 mètres de diamètre extérieur et de 1 mètre de largeur, inclinée de 30 centimètres sur son grand diamètre; cette table fait une révolution en trois minutes. Elle est divisée en deux zones annulaires R et S par une cloison verticale. La zone intérieure de 60 centimètres de large est recouverte d'une tôle pleine, la zone extérieure d'une tôle perforée. Les largeurs de ces zones sont telles que leurs aires soient égales.

La zone intérieure reçoit les grains du décanteur. Vers le point le plus bas de la table, un déversoir muni d'un joint flexible permet de recueillir les eaux moureuses chargées des grains les plus légers et les plus purs, qui se rendent par le tuyau T au tube central Q. Les grains les plus gros restent seuls sur la tôle; revenus à la partie supérieure de la table, ils sont pris par une petite chaîne à godets parallèle au diamètre horizontal de la table et portés sur la zone extérieure pour y être lavés, comme dans le premier appareil laveur. Ce laveur ne présente pas de piston central; il appartient, en effet, au système des lavoirs à soulèvement intermittent (type Meynier). Une pompe aspirante et foulante U, soulève vingt fois par minute tous les grains répandus sur la table.

Le mouvement alternatif du piston, appliqué au lavage de matières exclusivement fines, rendrait imperméable la couche supérieure composée de matières impalpables, par suite du tassement qu'il produirait. L'aspiration n'aurait d'ailleurs aucun effet, puisque les grains, quoique très-fins, sont d'une grande uniformité et ne sont pas mélangés de lamelles.

Les eaux moureuses se déversent par-dessus le bord extérieur de la table. La cornière glisse pour cela sous un joint flexible fixé à la maçonnerie. Ces eaux se rendent également au tube central Q. Deux petites chaînes à godets recueillent séparément, comme dans le premier laveur, le charbon épuré, qui est conduit également au tube central, et les pierres, qui sont rejetées.

Ce tube conduit les différents produits au fond d'un ré-

servoir cylindrique V de 12 mètres de haut et de 6 mètres de diamètre à la partie supérieure. Ces matières vont se déposer sur une plaque de fonte de 4 mètres de diamètre. Cette plaque est pourvue de registres au moyen desquels on les reçoit dans les wagons qui les conduisent au lieu où se fait le mélange avec les charbons épurés du premier lavoir. M. Evrard amenait également ceux-ci dans le tube central du laveur de moures, pour que le mélange se fit sans main-d'œuvre, au fond du réservoir V; mais ces charbons détruisaient l'imperméabilité de la couche de moures lavées et l'eau passait en abondance quand on voulait les extraire. Force fut alors de faire le mélange à part. M. Evrard se proposait, lors de l'Exposition, d'extraire les boues du réservoir V au moyen des pompes Richer en usage pour les vidanges publiques. Les tuyaux de ces pompes traverseraient le tube central pour puiser au fond du réservoir.

Les eaux, dépouillées de toute matière charbonneuse, sont reprises au haut du réservoir par des pompes pour être renvoyées aux appareils.

Le laveur de moures produit 15 tonnes par heure.

Les charbons et les moures épurés sont relevés par une machine à vapeur pour être conduits aux machines à agglomérer.

Les appareils que nous venons de décrire sont certainement les plus ingénieux qui aient été construits pour le lavage des charbons. Tout y est combiné de manière à produire une épuration excellente. On peut leur reprocher toutefois leur prix élevé et leur complication.

Les appareils de la Chazotte ont coûté, dit-on, 101 000 fr. Cette somme est certainement énorme; cependant elle ne grève pas considérablement le prix de revient, eu égard à la grande quantité de matières que cette installation permet de cribler et de laver. Les houillères de la Chazotte fournissent, en moyenne, 500 tonnes par jour de charbons à cribler et laver. Or l'installation complète, d'un appareil Bérard ne coûte guère moins de 25 000 francs et ne permet pas de laver 100 tonnes par jour. Il faudrait donc cinq appareils Bérard

pour remplacer les appareils de la Chazotte, sans tenir compte, bien entendu, du degré d'épuration. Les appareils de la Chazotte sont en mesure, d'après les notes exposées, de traiter 1000 tonnes en dix heures de travail. Les maçonneries sont surtout coûteuses dans ces appareils, mais M. Evrard arrivera, sans nul doute, à réduire cette dépense.

Quant au reproche de complication, il est certainement fondé; cependant il existait à la Chazotte, à l'époque de l'Exposition, de nouveaux appareils en voie d'essai, où cette complication était fort diminuée, le même appareil devant servir au lavage des grains et au lavage des moudes. Les essais n'étant pas terminés, nous ne pouvons en dire plus sur ces modifications qui donneront aux appareils Evrard une valeur pratique qu'on a pu leur contester jusqu'aujourd'hui.

Les appareils Evrard employés à la Chazotte depuis 1862 se sont peu répandus. En dehors de ceux de la Chazotte et d'Épinac, nous ne croyons pas qu'il en existe. Il est, en effet, peu de sociétés houillères qui se trouvent dans les conditions de la Chazotte au point de vue de l'extraction : 500 tonnes par jour sont un maximum dont on s'approche rarement; or ce n'est qu'une grande production qui peut justifier d'aussi grands frais d'installation.

VIII. — RÉSUMÉ.

État actuel de la préparation mécanique des minerais.

L'étude des matériaux rassemblés à l'Exposition et dans diverses excursions en Belgique et en Allemagne, nous a conduit à présenter un exposé des nouvelles méthodes employées dans la préparation des minerais et des charbons.

Si nous ne nous occupons que de la première, la conclusion la plus naturelle à tirer de cet exposé est de constater le chemin considérable accompli en dix ans.

Si nous comparons le matériel d'autrefois au matériel d'aujourd'hui, nous trouverons peu de changement en ce qui

concerne les premières étapes du minerai vers un état d'épuration qui lui permette de subir les réactions du fourneau. La voie dans laquelle le minerai s'engage est souvent, à vrai dire, différente. Le broyage est devenu plus fréquent; bien des matières, qui autrefois eussent passé au scheidage, sont aujourd'hui livrées au bocard ou aux cylindres pour y être préparées à subir exclusivement l'action séparatrice des forces inertes. Le bocard, les cylindres et les meules sont encore les principaux appareils de broyage, mais ils ont revêtu des formes nouvelles. Les bocards se sont métallisés, les cylindres ont abandonné leurs lourds contre-poids pour des ressorts en caoutchouc peu encombrants et plus efficaces, les meules enfin ont fait de nouveaux pas vers cet automatisme qui caractérise les appareils d'invention récente.

Un puissant outil est venu cependant s'adjoindre aux précédents dans cette opération du broyage que l'on redoutait autrefois, comme une source de pertes irréparables, et que l'on appelle aujourd'hui à son secours, pour combattre les frais excessifs de la main-d'œuvre. La machine à casser américaine a pris place au début de toute préparation mécanique. Un mouvement de ses colossales mâchoires remplace les coups cent fois répétés des masses et des marteaux des ouvriers du scheidage.

Le classement par grosseurs ne présente que des dispositions nouvelles d'un matériel bien connu. Il est soumis à des principes rationnels dont l'application est aujourd'hui devenue générale; ces principes sont : 1° la division des appareils en *séparateurs* et *classificateurs*; 2° le classement par refus.

C'est dans le classement par densités que nous voyons apparaître des divergences très-notables entre les nouveaux et les anciens ateliers; le caractère le plus évident du progrès, dans ce temps où la main-d'œuvre perd petit à petit son empire, est l'introduction de l'automatisme dans l'opération qui y était le plus rebelle. Les ateliers dont le crible continu est encore entièrement exclu deviennent de plus en

plus rares; et cette exclusion ne se justifie plus que par la nature complexe du minerai. Lorsque celui-ci n'est pas exceptionnellement difficile, l'emploi du crible continu du Bleyberg peut être hardiment conseillé.

Les cribles nouveaux se distinguent en outre par deux caractères : 1^o leur construction entièrement métallique ; 2^o l'emploi des coulisses différentielles des machines-outils. Un autre caractère très-important des nouveaux ateliers est l'importance tout à fait capitale qu'y a prise cette opération du setzage. Depuis l'introduction si rapide du crible à matières fines du Harz, improprement appelé *crible à schlamms*, il n'est pas rare de voir passer au setzage dans un même atelier depuis les gros fragments de 5 à 6 centimètres jusqu'aux sables de moins d'un millimètre. Le criblage sur fond de tamis était pratiqué depuis longtemps, pour les matières fines, en Belgique, mais le nouveau crible du Harz l'a fait entrer à son tour dans la voie de l'automatisme, en le rendant beaucoup plus parfait, contrairement à ce qui se produit ordinairement, lorsque la mécanique prend la place de la main-d'œuvre. Le nouveau crible doit cette perfection à la réunion de l'action bien connue du crible anglais avec celle des chenaux classeurs ou enrichisseurs, labyrinthes ou caissons allemands, dont il évite les inconvénients multipliés.

Quant au classement des parties fines, il est aujourd'hui transformé, grâce à une large application du courant ascensionnel qui a donné lieu aux excellents appareils d'Engis et d'Ampsin. Les labyrinthes ont disparu, comme appareil principal de classement, et les caisses pointues ont abandonné partout leur lourde forme primitive.

Le rôle du classement a été mieux compris, et grâce à l'emploi alternatif des appareils classeurs et des tables, on est arrivé à effectuer des séparations jugées impossibles il y a quelques années à peine.

L'importance donnée au setzage a réduit de beaucoup celle des laveries. Le caisson allemand a presque disparu devant les progrès du criblage des matières fines, et la table

à secousses cède peu à peu le pas au nouveau crible du Harz. La table à secousses était l'appareil enrichisseur par excellence des sables classés au labyrinthe ou aux caisses pointues. Le véritable rôle du nouveau crible est moins de la remplacer que de perfectionner le classement des matières fines de manière à la supprimer. C'est à la fois l'appareil classeur et enrichisseur des sables.

Les appareils classeurs proprement dits n'ayant dès lors plus que des schlamms à classer, peuvent avoir une action beaucoup plus délicate.

Quant à l'enrichissement des schlamms, la table dormante est devenue une rareté au même titre que le caisson allemand ; elle ne servira que, couverte de toiles, à contrôler la quantité de métal perdu par les autres appareils.

Un nouvel outil s'est introduit, notamment dans les ateliers belges, pour l'enrichissement des schlamms. Nous avons nommé la table à secousses latérales de M. de Rittinger, à laquelle on devra peut-être un jour la possibilité d'utiliser les riches minerais de zinc de la Sardaigne intimement mélangés.

En Allemagne, le procès entre la table Rittinger et la table tournante n'est pas encore vidé, et cette dernière jouit encore de la faveur générale. Rappelons l'élégante construction que lui ont donnée MM. Huet et Geyler.

Tels seraient les changements que l'on observerait entre deux ateliers de préparation mécanique dont la construction différerait de dix ans. Le caractère général de cette transformation est la simplification, la réduction du nombre d'appareils.

Un atelier installé d'après les nouveaux principes comprendrait en tête une machine à casser et des appareils de broyage ; à ceux-ci se joindraient des trommels séparateurs et classeurs, puis des cribles à grenailles et à matières fines.

Les cribles à grenailles continuës ébaucheraient la matière, les cribles non-continus la finiraient, si la nature des minerais exigeait leur emploi. Les schlamms passeraient à un lavoir à schlamms d'Engis ou à un classeur d'Ampsins. La table Rit-

tinger terminerait cette série d'appareils à laquelle pourrait s'adjoindre une table à secousses ordinaire pour traiter certains produits rebelles à la table Rittinger.

En examinant ces dispositions d'ensemble, une question importante se présente. Par suite de l'emploi d'un grand nombre d'appareils continus, il devient possible d'introduire la continuité dans l'atelier lui-même. Divers essais en ont été faits au Harz et à Ems. Nous ne pourrions que répéter à ce sujet ce que nous avons dit ailleurs ⁽¹⁾. La continuité est une bonne chose, si elle n'a rien de forcé, si l'on utilise les pentes naturelles.

Nous en avons vu un bel exemple dans les dispositions du nouvel atelier central du Harz ². Mais s'il faut créer ou racheter par des élévateurs ces différences de niveau, il paraît préférable d'abandonner la recherche de la continuité dans l'ensemble, de disposer les appareils par groupes continus et de placer ces groupes par rapport les uns aux autres, de manière à diminuer la main-d'œuvre autant que possible.

On résoudra ainsi le problème industriel, qui est toujours la réduction du prix de revient à son minimum, et l'on évitera l'inconvénient inhérent à l'automatisme appliqué à une longue suite d'opérations : l'arrêt de l'une nécessite trop souvent l'arrêt de toutes les autres.

⁽¹⁾ *Revue universelle*, t. XX, p. 15; t. XXIII et XXIV, p. 230.

⁽²⁾ *Revue de l'Exposition*, t. I et II, p. 614.

MACHINES A VAPEUR

PAR DWELSHAUVERS-DERY.

(SUITE.)

Machines à vapeur.

MACHINE HORIZONTALE DES FRÈRES SULZER DE WINTERTHUR, THURGOVIE (SUISSE). — La distribution de la vapeur dans cette machine est aussi remarquable que celle de la machine Corliss. Nous en donnons les détails dans les figures 1, 2, 3, pl. XXI.

La figure 1 est une élévation de la machine ; la figure 2 une coupe verticale par le plan MN ; la figure 3, des détails de la figure 2 à une plus grande échelle.

La machine est calculée pour une force effective de vingt-cinq chevaux, avec une admission moyenne jusqu'au dixième de la course du piston, une pression dans le cylindre de 5 atmosphères et à raison de 50 tours par minute.

Le diamètre du cylindre est de 0^m,375 ; la course du piston, de 0^m,900. La section des orifices d'admission est de 1/25 de la surface du piston et celle des orifices d'émission de 1/22. L'espace mort est d'environ 3 pour 100 de la capacité du cylindre. Le diamètre du volant est de 3^m,651 et son poids de 3 250 kilogrammes.

Les paliers de l'arbre et le cylindre sont réunis par un bâti rigide, d'une forme telle que l'accès au cylindre reste libre de tous côtés. La fondation est ouverte, et le condenseur, qui y est disposé, est facilement accessible, autant que peut l'être un condenseur placé dans les fondations.

Une enveloppe de vapeur entoure le cylindre et les fonds. Elle se décharge par le dessus, ce qui permet à l'air de

s'échapper. La chemise de vapeur est elle-même revêtue d'une triple enveloppe de ciment, de feutre et de bois.

Le volant est muni de cent quatre-vingt-dix dents taillées à la machine.

Le régulateur, du système de Porter, fait 240 tours pour 50 tours de la machine. La résistance du manchon, composée principalement d'un poids, qui y est invariablement lié, est environ dix-neuf fois plus grande que le poids des boules. Les tringles qui relient le manchon aux boules et celles qui relient les boules à l'axe vertical du régulateur sont égales.

La théorie du régulateur de Porter ne diffère pas de celle du régulateur de Watt. M. Poncelet, en donnant la dernière, calcule la hauteur à laquelle se tiennent les boules lorsque le régulateur marche à la vitesse de régime, sans avoir égard à la résistance du manchon. D'après cela, la hauteur des boules, indépendante du poids du manchon, serait la même pour tous

les régulateurs, égale à $\frac{g}{\omega^2}$, g étant égal à $9^m,81$ et $\omega = \frac{\pi n}{30}$ = vitesse angulaire.

Puisque n représente le nombre de tours par minute, soit 240, la hauteur des boules serait ici d'environ 15 millimètres, c'est-à-dire que la distance du manchon au point de réunion des verges à l'axe serait de 3 centimètres environ. Il y a là une évidente absurdité. Dans le calcul de la hauteur des boules, il est nécessaire d'avoir égard au poids ou à la résistance du manchon.

Appelons P le poids du manchon ; p , le poids d'une boule ; F , la force centrifuge qui anime cette boule ; H , la distance du plan de rotation du centre des boules au point de jonction des tringles avec l'axe du régulateur, et $h = 2 H$, la distance de ce dernier point au manchon ; r , le rayon de la circonférence décrite par le centre des boules.

Une simple décomposition de forces fait voir que le poids P du manchon se distribue aux deux boules, de manière à augmenter de P le poids de chacune d'elles. Cela posé, il doit y

avoir équilibre à chaque instant entre la force verticale $P + p$ et la force horizontale $F = \frac{p\omega^2 r}{g} = \frac{p\pi^2 n^2 r}{g \cdot 900}$. Leur résultante doit donc être dans le prolongement de la tringle de la boule, ce qui exige la proportion :

$$\frac{P + p}{F} = \frac{H}{r}$$

d'où l'on déduit :

$$H = \frac{900 g}{\pi^2 n^2} \left(\frac{P + p}{p} \right)$$

et

$$h = \frac{1800 g}{\pi^2 n^2} \left(1 + \frac{P}{p} \right).$$

Dans le cas présent, $P = 19 p$, et l'on peut, avec une approximation suffisante, regarder π^2 et g comme deux nombres égaux. La formule qui donnera approximativement la hauteur h en mètres sera donc :

$$h = \frac{56000}{n^2}$$

Pour $n = 240$, on trouve $h = 625$ millimètres.

Si la machine fait 48 t., ou 49, ou 50, ou 51, ou 52 t.,
le régulateur, 230,4 235 240 245 249,6
et la hauteur du manchon est respectivement :

0^m,678 0^m,652 0^m,625 0^m,600 0^m,577.

Dans ces conditions, la plus grande excursion du manchon est de 0^m,678 — 0^m,577 = 0^m,101 dont 0^m,048 au-dessus de sa position moyenne et 0^m,053 au-dessous.

L'accord entre ces chiffres déduits de la théorie et ceux donnés par la pratique est presque parfait.

Le régulateur détermine le degré de la détente. Quand il fait 240 révolutions par minute, l'admission est de 1/10 de la course ; quand il fait 249,6 tours, l'admission n'est que de 1/20 ; enfin quand il fait 236 tours, l'admission est de 1/8. Voici comment s'opèrent ces variations dans l'admission.

La distribution et l'évacuation de la vapeur se font par quatre soupapes équilibrées, deux au-dessus du cylindre et aux extrémités pour l'admission, deux en dessous pour l'évacuation.

Pour la manœuvre de la soupape d'admission, il y a un levier Ll dont le bras L du côté de la soupape a une longueur de 1 décimètre et l'autre 75 millimètres. Une bielle BC est articulée à l'extrémité de ce levier par en haut et se termine en bas par un cadre CC représenté en coupe aux $4/10$ dans la figure 3. Une seconde bielle ad relie la première au levier Aa dont l'axe A est fixe. Supposons pour un instant que le levier Aa , lui-même soit fixe, de manière que le point d ne puisse décrire qu'un arc de cercle autour de a , comme centre. Dans ce cas, si le point d décrivait un petit arc de cercle de haut en bas, le cadre C et la bielle B le suivraient dans son mouvement, et, le point l s'abaissant de 7 millimètres $1/2$, par exemple, le point L et la soupape s'élèveraient de 10 millimètres, c'est-à-dire que la soupape s'ouvrirait. C'est ainsi que les choses se passent : l'arbre à cames O est conduit par l'arbre de la machine, de manière à décrire exactement le même nombre de tours que lui. Or, quand l'arbre O tourne dans le sens indiqué par la flèche, la came d'acier H qu'il entraîne vient frapper contre la glissoire E également en acier ; comme celle-ci est fixée au levier ad , on voit clairement que la came ouvre la soupape d'admission avec une grande rapidité. En effet, dans la position des pièces indiquée dans la figure, la détente commence au vingtième de la course ; l'ouverture de la soupape à cause des rapports de L à l est $\frac{4}{3}qn = \frac{4}{3} \cdot 0^m,015 = 0^m,020$.

La section d'admission de la vapeur est dans ces conditions égale au vingt-cinquième de la surface du piston.

Maintenant si, le levier Aa tournant de droite à gauche, le point a s'éloignait de O , la pièce ad se retirant entraînerait la glissoire E , et la came H échapperait plus tôt. Dans la position a' du point a , la détente commence au cinquantième de la course et la levée de la soupape est de 16 millimètres,

c'est-à-dire que la section ouverte de la soupape d'admission est de $1/31$ de la surface du piston. Si, au contraire, le point a se rapproche de l'axe O , la glissoire E s'élève, reste plus longtemps en contact avec la came, et la soupape reste ouverte pendant que le piston parcourt le dixième de sa course, si le point a est en a ; et le huitième, s'il est en a'' . La levée de la soupape varie alors très-peu.

On voit donc que l'on peut facilement faire varier la détente de $1/56$ à $1/8$, rien qu'en abaissant ou en relevant le levier Aa . Le régulateur détermine lui-même le degré de la détente et les pièces sont calculées de telle façon que, quand la machine fait 50 tours et le régulateur 240, la détente commence au dixième de la course du piston; quand la machine fait 52 tours ou le régulateur 249,6, la détente commence au vingtième de la course du piston. Enfin, quand la machine fait 49,2 tours et le régulateur 235, la détente commence au huitième de la course. Pour 50 tours, la force de la machine est de 25 chevaux; pour 49,2 tours elle est de 32 chevaux, et pour 52 tours elle est de 10 chevaux. La puissance de régularisation de la machine ne peut donc être mise doute.

Bien plus, on peut changer à la main et pendant la marche de la machine la position des glissoires E , de manière à faire en sorte que, pour les mêmes positions du manchon du régulateur, la détente varie de $1/8$ à $1/4$, au lieu de $1/10$ à $1/8$. C'est là un avantage que ne possède pas la machine Corliss, pas plus que celle d'Ingliss.

En effet, dans la machine Corliss, la courbe KH , pl. XXI, fig. 4, est un arc de cercle passant par trois points que l'on obtient comme suit :

Quand la détente commence au cinquante-sixième de la course du piston, la courbe KH a décrit un chemin horizontal de 14 millimètres ;

Quand la détente commence au huitième de la course du piston, la courbe KH a décrit un chemin horizontal de 72 millimètres ;

Quand la détente commence au quart de la course du

piston, la courbe K H a décrit un chemin horizontal de 105 millimètres.

Or, en supposant que les bras de levier de la fourchette du manchon soient entre eux comme 1 : 2,

pour 48 t. de la machine, la hauteur de l'arrêt R est de 50^{mm},

— 50 — — 24 —

— 52 — — 0 —

Si l'on veut faire correspondre 48 tours avec la détente au quart; 50 tours avec la détente au huitième, et 52 tours avec la détente au cinquante-sixième, sur l'axe O X, pl. XXI, fig. 4, on portera O A = 14 millimètres;

O B = 72 —

O C = 105 —

Au point B, on élèvera une verticale B M de 24 millimètres de longueur. L'arc de cercle cherché passera par les points A, M, N. Une fois cette courbe ainsi déterminée, on ne peut plus la changer. Les limites de 38, 25 et 5 chevaux, entre lesquelles varie la force de la machine pour 48, 50 et 52 tours de la machine, sont du reste assez éloignées pour atténuer le désavantage qu'il y a à ne pouvoir les changer.

Toutefois, il faut bien le dire, la régularisation de la machine par voie de changement du degré de détente n'est pas toujours économique; c'est même là un point auquel les constructeurs n'ont pas assez souvent égard. Quelle que soit la théorie que l'on adopte, on arrivera toujours à une conclusion qui se rapproche excessivement de celle de M. de Pamhour : il faut que la pression à la fin de la course dépasse la contre-pression suffisamment pour faire équilibre à toutes les résistances de la machine marchant à vide. Ainsi il ne serait nullement économique de faire marcher la machine Corliss à 52 tours, et cette machine n'est réellement économique que lorsqu'elle exécute de 50 à 42 révolutions par minute.

Mais revenons à la machine des frères Sulzer, sans contredit l'une des plus savamment combinées que l'Exposition de Paris ait présentées.

La pointe *m* de la came H peut être placée de manière à ce qu'il y ait une petite avance à l'admission.

L'échappement de la vapeur s'opère par les soupapes placées au bas des cylindres. Il est invariable et déterminé par la came I frappant le galet K et repoussant vers le bas la tige KNp suspendue aux leviers MN et p. Ainsi le levier P est soulevé et la soupape est ouverte.

La disposition tout à fait nouvelle de cette machine présente encore l'avantage de réduire à son minimum l'espace mort du cylindre ; il est estimé ici à 3 pour 100 seulement du volume engendré en une course par le piston.

L'accès aux soupapes de distribution est très-facile, chose essentielle ; car, à raison de 50 coups par minute, il paraît évident qu'elles doivent s'user rapidement.

Le volant est muni de cent quatre-vingt-dix dents qui sont taillées exactement par une machine.

Les constructeurs *garantissent* que la consommation de charbon ne dépassera pas 1 kilogramme 1/2 par heure et par force de cheval de 75 kilogrammes mesurée au frein.

Voici les résultats de quelques expériences faites récemment sur des machines Sulzer.

Une machine à deux cylindres horizontaux accouplés, de la force nominale de 100 chevaux, munie de chaudières à bouilleurs et à réchauffeurs, a dépensé, dans des expériences qui ont duré huit jours, 1^k,35 par cheval, mesuré au frein et par heure, allumage compris ; et 1^k,125, allumage non compris. L'indicateur marquait 142 chevaux et le frein 125 chevaux. Les cylindres étaient munis d'enveloppes de vapeur.

Une machine verticale à vapeur surchauffée, de la force nominale de 80 chevaux, munie de chaudières à tubes bouilleurs et à réchauffeurs, a dépensé 1^k,405 de houille par cheval, mesuré au frein, l'allumage non compris, et 1^k,65, allumage compris. Le frein indiquait 140 chevaux et l'indicateur 160 chevaux.

Enfin, une machine à deux cylindres horizontaux du système de Woolf, de la force de 40 chevaux, marquait, dans une expérience qui a duré cinq jours, au frein 68 chevaux et à l'indicateur 78 chevaux. La dépense en houille, allumage non compris, était de 0^k,935 par cheval et par heure, et

de 1^k,15, allumage compris. La chaudière était à foyer intérieur et à réchauffeur.

MACHINE HORIZONTALE A DEUX CYLINDRES DE M. H.-D. SCHMIDT (DE VIENNE). — Cette machine du système de Woolf est construite entièrement en acier Bessemer, comme nous l'avons dit ci-devant. Telle est sa qualité la plus remarquable. Sa disposition est simple, mais non compacte. Les manivelles sont calées sous un angle de 180 degrés. Chaque cylindre a sa disposition propre. Aucun des deux n'a de chemise de vapeur ; ils sont simplement entourés de matières peu conductrices et d'une enveloppe de bois. Le condenseur et la pompe à air sont placés derrière le cylindre et sur le même plan que la machine, ce qui en rend l'accès très-facile. Le condenseur est muni d'un tube de niveau, détail qui ne manque pas d'une certaine importance. La pompe alimentaire est placée sur une fondation spéciale au delà de la poulie, après le dernier palier. La course du piston est variable. Le régulateur est à bras croisés et agit, non pas sur les leviers de détente, mais bien sur le papillon de l'obturateur.

Le constructeur a mis autant de soin dans l'exécution des pièces que d'élégance dans leur disposition et de profusion dans les moulures. Mais cette machine ne réunit pas les perfectionnements que la pratique a sanctionnés et que nul ingénieur ne devrait négliger. Ensuite, cette grande profusion d'ornements, tout en élevant le prix, manque son but, qui est d'ajouter à la beauté. Car il est impossible d'entretenir les pièces fixes avec assez de soins pour empêcher la poussière de se fixer dans les creux. Sans doute, il est permis de faire d'un moteur un bijou ; mais il ne faut pas oublier que c'est un moteur qui doit avant tout posséder les qualités propres à assurer une réduction dans la consommation journalière.

La force nominale de la machine est de 40 chevaux. Le diamètre du petit cylindre mesure 340 millimètres ; celui du grand, 654 millimètres. La course commune des pistons est de 785 millimètres. La machine est calculée pour une vitesse

moyenne de 55 tours par minute. Le diamètre moyen de la jante du volant est de 3^m,77.

MACHINE HORIZONTALE A CONDENSATION DE M. BOYER (DE LILLE).

— Cette machine, de la force de 40 chevaux, a un seul cylindre. C'est la première qui ait fonctionné dans le palais de l'Exposition. La construction est parfaite ; le fini des détails ne laisse rien à désirer ; mais, de même que la précédente, elle n'offre aucune des innovations qui accusent nettement les derniers progrès faits dans la machine à vapeur.

Le diamètre du piston est de 75 centimètres ; sa course, de 1^m,50.

La vapeur arrive de la chaudière dans l'enveloppe du cylindre, d'où elle se rend dans la chapelle de distribution, après avoir passé dans la soupape modératrice. Le degré d'expansion varie à volonté. La tige du piston se continue à travers le couvercle du cylindre et se meut dans un gland. Elle est faite en acier. Le volant est muni d'une denture en bois. Son moyeu se compose de trois disques réunis par des boulons. Celui du milieu porte des entailles en queue d'aronde destinées à recevoir les extrémités des bras, qui sont doubles. Lorsque les deux côtés des bras ont été mis en place, on ajoute les deux disques extérieurs pour les maintenir, et on boulonne ceux-ci de manière à former un ensemble solide. Les boulons sont à tête perdue et la surface extérieure des disques est polie. Chaque bras embrasse la jante, et de chaque côté son extrémité terminée en queue d'aronde est logée dans le creux qui lui est réservé entre les sections de la jante et là où les moulures finissent.

L'attaque de la pompe à air se fait par un balancier qui emprunte son mouvement à la crosse du piston.

On dit que l'atelier de M. Boyer, fondé en 1817, est le premier qui ait été monté, en France, exclusivement pour la construction des machines à vapeur.

MACHINE DE MM. W.-C. HICKS (DE NEW-YORK). — Nous donnons, pl. XXII et XXIII, les dessins de la machine Hicks, tels qu'ils ont paru dans l'*Engineer*. La figure 1 est en partie une

coupe, en partie une élévation de la machine ; la figure 2 est le plan, partie en section ; la figure 3, une vue d'un des cylindres ; les figures 4, 5 et 6 des coupes transversales en différents endroits ; la figure 7, l'élévation d'une partie de la machine prise de telle façon que l'on voie la méthode employée pour fixer le tuyau d'émission ; la figure 8 est une élévation de l'intérieur du tuyau à vapeur ; les figures 9 et 10 des sections des pistons ; les figures 11 et 12, le tuyau d'exhaustion ; les figures 13, 14, 15, 16 et 17, des vues et coupes des pistons n° 2 et n° 4, et enfin les figures 19, 20, 21 et 22, des vues et coupes analogues des pistons n° 1 et n° 3. Les dimensions principales des diverses parties de la machine sont indiquées en pieds et pouces anglais.

Ce qui distingue la machine Hicks des machines à vapeur ordinaires, c'est qu'elle n'a ni excentriques, ni coulisses de renversement de marche, ni tiroirs à glissières ordinaires, ni boîtes à bourrages, etc. Avec ses quatre cylindres à simple effet, elle agit comme une machine à deux cylindres à double effet.

L'arbre repose sur deux paliers venus de fonte avec les cylindres et la taque de fondation. Il y a deux coudes à angle droit, et les quatre cylindres sont disposés deux d'un côté de l'arbre et deux de l'autre.

Chaque piston se compose d'un fourreau fendu du haut en bas, l'ouverture étant occupée par une clef en coin très-aigu, que l'on ajuste au moyen d'une vis et d'un écrou et qui force ainsi le fourreau à s'ouvrir, lorsqu'il s'agit d'en rappeler l'usure. (Voir fig. 18 et 19.)

On voit par les figures 16, 17, 21 et 22 que l'espace annulaire ménagé dans chaque fourreau est divisé en deux chambres inégales par une cloison longitudinale ; la plus petite chambre, qui occupe environ le quart de la circonférence, communique avec une ouverture à son côté, et la plus grande avec des orifices à la circonférence du piston seulement. La plus petite lumière de chaque piston, sert au passage de la vapeur dans le cylindre auquel appartient le piston, soit que la vapeur entre ou sorte ; la plus grande lu-

mière sert au passage de la vapeur pour l'autre cylindre. Le plus petit conduit dans chaque piston s'étend transversalement et longitudinalement de l'extrémité intérieure jusque près de l'extrémité extérieure. Le plus grand est divisé au milieu de sa longueur par une cloison en deux passages, comme on le voit dans la figure 9.

La vapeur est amenée de la chaudière par les tuyaux coudés fig. 1, 2 et 8, à deux chapelles contenant chacune une glissière ordinaire. Chacune de ces glissières se meut sur une table munie de trois lumières, et elles sont réunies par une tige qui passe à travers un stuffing-box placé à l'une des chapelles, et qui se manœuvre au moyen d'une manette, de manière que les soupapes peuvent être mues simultanément. Les glissières, fig. 1, 2, 4, 5, 6, servent à la fois de modérateur et de pièce de renversement de marche ; car le sens du mouvement de la machine dépend de celle des trois lumières qui n'est pas interdite à l'entrée de la vapeur. Chaque lumière de la table communique avec un conduit qui se développe sous la paire correspondante de cylindres ; le conduit du milieu va à un autre conduit qui s'étend en travers vers le tuyau d'exhaustion du côté opposé de la machine, comme on le voit fig. 6 ; ceux des extrémités communiquent respectivement avec des passages qui ont la forme suffisamment indiquée dans les figures 4 et 5. Le conduit visible dans la figure 6 est toujours un conduit de décharge, tandis que ceux des figures 5 et 4 servent alternativement de conduits d'admission et d'émission, suivant les positions des glissières modératrices.

Les pistons remplissent donc la double fonction de piston et de tiroir de distribution. Pour bien faire comprendre leur jeu, appelons 1 et 2 les cylindres d'un même côté de l'arbre, et 3 et 4 ceux de l'autre côté, les cylindres 1 et 4 étant opposés l'un à l'autre.

Dans les figures, les pistons 1 et 4 sont au bout de leur course, le premier, vers l'arbre, l'autre, loin de l'arbre ; les pistons 2 et 3 sont à peu près au milieu de leur course, le premier se mouvant vers l'arbre et le second s'en éloignant.

Si les tiroirs de renversement sont dans la position indiquée dans les dessins, le passage représenté en coupe fig. 5 reçoit la vapeur, et il communique avec deux autres conduits qui longent ses cylindres et ont des lumières visibles dans la figure 4. La vapeur peut passer du conduit de gauche autour et en dessous du piston n° 4 pour se rendre dans le conduit longitudinal du piston n° 3, et de là, dans le cylindre n° 3, afin de repousser le piston vers l'arbre. D'un autre côté, le cylindre n° 4 est en communication, au moyen du conduit longitudinal de son piston et de celui qui contourne le piston n° 3 par le dessus, avec le passage transversal placé en dessous des cylindres et qui mène la vapeur par le creux de la glissière de renversement directement au tuyau d'émission. Lorsque le piston n° 3 a parcouru une certaine partie de sa course, il sert à conduire la vapeur dans le cylindre n° 4, et cette vapeur peut, par l'intermédiaire de l'une des chambres du piston n° 4, arriver au tuyau de décharge. Chaque piston intercepte l'entrée de la vapeur dans son cylindre en un point quelconque déterminé de sa course, suivant la position qu'une fois pour toutes on a donné aux lumières en construisant la machine. C'est ce que l'on comprend facilement à l'inspection des figures.

Ces machines ont la prétention d'être moins compliquées que les machines ordinaires ; en réalité, il n'en est pas ainsi, puisque au lieu d'un tiroir, on a un piston et un cylindre au lieu d'une chapelle. Seulement, pour de très-petites forces, elle permet d'employer la vapeur sans obliger à réduire des pièces essentielles à des dimensions par trop minimes.

La machine exposée est d'une exécution irréprochable et le choix des matériaux a été fait avec beaucoup d'intelligence. Les tourillons des disques manivelles et des bielles sont en acier. Les bielles, qui n'agissent que par compression, sont en fonte et leurs coulisses en bronze. Les quatre cylindres et la fondation sont coulés d'une pièce, de manière que nul dérangement ne peut se produire dans la position de leurs axes.

Les constructeurs n'ont pas cherché à donner de l'avance

à l'admission ou à l'émission, parce que la lumière s'ouvrant avec la vitesse même des pistons, la chose devenait superflue.

L'arbre et les manivelles sont renfermés dans une boîte et placés sous un couvercle qui les préserve de la poussière et sert en même temps d'enveloppe non conductrice pour les cylindres. Au fond de cette boîte se trouve un bain d'eau recouvert d'une nappe d'huile constamment alimentée par des coupes. Les manivelles dans leur mouvement clapotent dans l'huile dont elles projettent des gouttes sur toutes les parties mobiles qu'il est nécessaire de graisser. De la sorte, il n'y a aucune perte d'huile.

La même maison HICKS ENGINE COMPANY construit des chaudières tubulaires horizontales ou verticales à circulation d'eau continue. La figure 23 représente une chaudière verticale de ce système. A est le corps cylindrique extérieur de la chaudière ; B, l'enveloppe du foyer ; C, la paroi tubulaire inférieure ; E, la paroi tubulaire supérieure ; D, la grille ; F, une tôle qui entoure les tubes et force le liquide à circuler dans les directions indiquées par les flèches. Cette tôle est fixée à la paroi du foyer au moyen de six supports boulonnés, mais elle ne descend que jusqu'à quelques pouces de la paroi tubulaire inférieure, tandis qu'elle ne s'élève que jusqu'à un pouce ou deux plus bas que le niveau de l'eau. Elle divise ainsi la chambre d'eau en deux compartiments qui communiquent par le haut et par le bas. La paroi de tôle G divise également la chambre de vapeur en deux compartiments qui communiquent par le haut seulement et elle sert à dessécher la vapeur. Elle est conique ; c'est dans le compartiment extérieur au cône que la prise de vapeur s'effectue par le tuyau N qui porte une soupape de sûreté. K est la boîte à fumée se terminant par une cheminée.

La chaudière étant remplie d'eau jusqu'à la hauteur W, on allume le feu. L'eau s'échauffe d'abord à la paroi tubulaire inférieure et au-dessous des tubes ; elle se dilate et tend à monter jusqu'au dessus de la tôle F. L'eau froide qui entourait cette tôle et qui n'est pas encore chauffée vient prendre la place de celle qui s'est élevée de dessus la paroi

tubulaire, pour s'échauffer, se dilater et s'élever à son tour. Ainsi s'établit le courant dans les directions indiquées par les flèches et il devient d'autant plus rapide que la chaleur est plus forte. Cette circulation de l'eau a pour effet d'augmenter l'efficacité de la surface de chauffe et d'empêcher la formation des incrustations. Les matières solides qui se seraient formées pendant l'ébullition, entraînées par le courant, viennent retomber dans l'espace annulaire B, B, où elles ne forment qu'un sédiment boueux, l'eau y étant tranquille et conséquemment peu échauffée. La vapeur qui s'échappe de la surface de l'eau, gagne le dessus de la chambre de vapeur où elle se dessèche par son contact avec les tubes et avec le cône G ; elle se répand aussi dans l'espace entre le cône et le corps cylindrique de la chaudière, où elle abandonne les dernières vésicules d'eau qu'elle aurait pu entraîner.

L'expérience paraît avoir démontré que cette chaudière remplit effectivement le double but que son inventeur s'est proposé, d'empêcher la formation des incrustations et l'entraînement de l'eau par la vapeur.

Trente minutes suffisent pour faire monter la pression à 5 atmosphères $1/2$ depuis l'instant de l'allumage du feu et avec de l'eau froide.

MACHINE HORIZONTALE DE M. P. VANDENKERCHOVE (DE GAND).

—Les planches XXIV, XXV et XXVI représentent : les deux premières, une machine horizontale à deux cylindres avec pistons à marche inverse et du système de Woolf perfectionné ; la troisième, une machine également horizontale à un seul cylindre, à détente variable et à condensation.

La figure 1, pl. XXIV, représente la première machine en élévation extérieure ; la figure 2 est une vue des tiroirs établissant la communication entre les deux cylindres ; elle fait voir le mécanisme de ces tiroirs et celui des tiroirs de l'échappement.

La figure 1 de la planche XXV est la vue en plan de la même machine ; la figure 2, une section horizontale des deux cy-

lindres spécialement donnée pour faire voir la grande réduction des conduits de communication entre les deux cylindres et l'application facile et rationnelle des tiroirs et des soupapes d'introduction. La figure 3 est une section transversale des deux cylindres, faite suivant la ligne 2-3 de la figure 1, passant par l'axe de l'une des deux soupapes de détente et par celui d'un des tiroirs établis entre les deux cylindres : elle montre toute la marche de la vapeur depuis sa sortie des enveloppes ; elle indique aussi la disposition particulière de toutes les communications pour le libre écoulement de la vapeur condensée. La figure 4 est également une coupe transversale des cylindres prise par la ligne 4-5, fig. 1. Elle est spécialement donnée pour montrer l'arrivée de la vapeur dans les enveloppes, ainsi que la bonne disposition de celles-ci pour le facile écoulement de l'eau qui peut y être entraînée ou formée.

A, petit cylindre ; B, grand cylindre ; CC, bâtis ; DD, paliers supportant l'arbre du volant et l'arbre coudé ; E, arbre du volant ; F, arbre coudé transmettant à l'arbre du volant la force produite par le petit cylindre ; G, étrier qui relie ces deux arbres et forme articulation pour annihiler les effets que peut produire l'inégale usure des coussinets ; H, manivelle fixée sur l'arbre du volant ; H', petite manivelle commandant la pompe à air ; I, volant composé de trente-trois pièces et garni d'une denture calibrée en fer, divisée en seize parties ; J J', bielles du grand et du petit cylindre ; K K', crosses de traverses pour guider les tiges des pistons ; M, boîte contenant la soupape d'introduction de la vapeur dans les enveloppes ainsi que les deux soupapes de détente équilibrées qui admettent cette vapeur dans le petit cylindre après sa sortie des enveloppes et l'interceptent à volonté ; a, tuyaux amenant la vapeur des générateurs ; a', soupape d'introduction qui donne la vapeur aux enveloppes ; b, chemise du petit cylindre ; b', chemise du grand cylindre ; c, tuyaux à trois branches munis des robinets de purge ; d, robinets de purge ; c¹, soupapes à papillons ; c², soupapes équilibrées d'introduction ; c³, conduit d'arrivée de la vapeur

de la soupape au petit cylindre ; A' , piston du petit cylindre ; c^4 , conduit de vapeur du petit au grand cylindre ; e , tiroir établissant la communication entre les deux cylindres ; c^5 , conduit de vapeur du petit au grand cylindre ; B' , piston du grand cylindre ; f , conduit d'échappement vers le condenseur ; g , tiroir d'échappement ; h , tuyaux d'échappement vers le condenseur ; P , condenseur ; m , axe qui commande les soupapes équilibrées de l'introduction ; n , tuyau ou manchon glissant librement sur l'axe m , pour déplacer les cames de l'expansion variable ; j , maîtresse-tige pour la levée de la soupape équilibrée ; k , colonne et guide de la maîtresse-tige et de la tige de la soupape ; L , crosse qui lève la soupape de l'introduction ; o , levier de commande de l'expansion variable commandé par le régulateur modérateur ou par la main, à volonté ; p , arbre de commande des cames de l'échappement et de la communication entre les deux cylindres ; p' , came des tiroirs de l'échappement ; q , varlet commandant les tiroirs de la communication entre les deux cylindres ; r , varlet commandant les tiroirs de l'échappement ; s , chapelle des tiroirs de l'échappement ; t , tige du régulateur commandant les soupapes à papillons ou l'expansion variable ; u , tuyau de communication entre le condenseur et la pompe à air ; v , pompe à air ; w, w , pompes alimentaires.

Dans la planche XXVI, la figure 1 représente la machine à un seul cylindre en élévation extérieure. La figure 2 est une coupe verticale par l'axe 1-2 des boîtes de distribution, destinée spécialement à montrer l'introduction par tiroirs à trous multiples et son mécanisme à came. La figure 3 est une coupe longitudinale par les chapelles d'échappement, pour montrer les orifices et le jeu des tiroirs de cette partie de la machine.

A , cylindre ; B , bâti ; C , manivelle ; D , bielle ; G , arbre du volant ; H , volant ; I , petite bielle qui relie le mouvement des pompes à la grande bielle ; J , levier à deux branches commandant la pompe à air et la pompe à eau froide ; L , condenseur ; M , pompe à air ; N , pompe à eau froide ; O , tuyau

d'aspiration de l'eau froide; *T*, bêche; *U*, *U'*, chapelles de l'introduction de la vapeur; *c*, *c'*, came de l'introduction; *a*, conduit de vapeur arrivant du générateur; *b*, tiroir d'introduction; *d*, *d'*, crosses qui relient les maîtresses-tiges aux tiges du tiroir; *f*, *f'*, tiroirs de l'échappement; *g*, tuyau d'échappement; *h*, came de l'échappement; *i*, *j*, varlets de l'échappement.

A part les machines Corliss, nous n'avons vu aucune machine plus parfaitement et plus savamment construite que celle de M. Vandenkerchove. Elle réalise toutes les conditions qui, au grand concours de 1862, avaient fait décerner une médaille à M. de Lantsheer sur la simple exposition d'un dessin de sa machine. Elle présente en plus quelques qualités essentielles, telles que la réduction à leur minimum des espaces morts et l'emploi de ces tiroirs à orifices multiples appelés *grilles* par les Anglais. Le mouvement des tiroirs est commandé par des cames qui en rendent la marche rapide au moment voulu, ce qui donne à la machine Vandenkerchove les mêmes avantages que possède la machine d'Allen.

Quant à l'influence des espaces nuisibles sur l'économie du combustible, M. Vandenkerchove nous paraît l'avoir exagérée dans la brochure qu'il a publiée et dont nous extrayons les dessins ci-joints. En effet, Zeuner a fait voir qu'on ne pouvait le réduire au delà d'une certaine limite sans s'exposer à des pertes. Ensuite, il est nécessaire de laisser un certain jeu entre le piston à fond de course et le couvercle du cylindre, sans quoi on s'expose évidemment à un choc violent, s'il survient, par suite de l'usure des coussinets ou d'un ébranlement des écrous, un petit dérangement dans la position du piston. Mais il est évident pour nous que la machine de M. Vandenkerchove n'a pas un espace mort trop petit, bien qu'il paraisse pratiquement impossible de le réduire encore, et la disposition que le constructeur a adoptée doit être le fruit d'études longues et persévérantes.

L'emplacement des chapelles de sortie au bas des cylindres et la marche inverse des pistons sont encore deux

traits caractéristiques de bonne construction de cette machine. L'eau condensée ou amenée dans le cylindre, ne peut jamais occasionner de coup d'eau ; elle s'évacue d'elle-même.

L'évacuation de la vapeur s'opère par tiroirs à grille, comme l'admission. Le constructeur affirme que ce système lui a permis de réaliser un vide régulier de 74 centimètres de mercure. Si ce chiffre n'est pas exagéré, on peut dire que ce résultat est des plus remarquables.

Les comes qui commandent l'admission de la vapeur dans le petit cylindre permettent une détente variable par le régulateur ou à la main, ou une détente fixe à partir du cinquième de la course du piston jusqu'à la plein-pression.

La vapeur arrive de la chaudière dans l'enveloppe coulée d'une pièce avec le cylindre et, de là, elle se rend aux chappelles des tiroirs. Le constructeur a pris soin de placer au bas des cylindres les communications entre eux et les enveloppes. Toutes les sorties sont ménagées en contre-bas ou à niveau des parties les plus basses, de manière que l'eau qui pourrait y être amenée s'écoule naturellement, ce qui est bien plus sûr qu'un robinet de purge que le machiniste peut oublier d'ouvrir au moment voulu.

Nous reproduisons, pl. XXVI, fig. 4 et 5, deux diagrammes d'expansion pris au moyen de l'indicateur Richard à une machine à un seul cylindre. Les échelles sont suffisantes pour permettre l'étude de ces diagrammes qui démontrent avec quelle précision la détente s'opère.

En résumé, nous dirons que la machine de M. Vandenberghe faisait honneur au compartiment belge de l'Exposition.

V. — Machines à air chaud.

Nous avons vu à l'Exposition trois types de machines à air chaud : une machine d'Ericsson actionnant un phare acoustique ; les moteurs de M. Laubereau ; enfin la machine calorique de M. Philander Shaw, de Boston. Ce dernier a dé-

montré que l'emploi de la machine à air chaud n'est pas restreint aux petites forces; M. Laubereau fait voir que pour de très-petites forces le moteur à air chaud présente de grands avantages. Enfin la machine d'Ericsson est employée dans un cas spécial où tout autre moteur eût présenté de graves inconvénients.

Bien que la machine d'Ericsson ait été souvent étudiée, nous croyons qu'une partie de nos lecteurs nous sauront gré d'en donner ici des dessins et une description détaillée. Mais, avant cela, nous décrirons le phare acoustique en question, afin qu'il soit bien constaté qu'une machine à air chaud était cette fois parfaitement à sa place.

PHARE ACOUSTIQUE DE DABOLL ET MACHINE CALORIQUE D'ERICSSON.
— Depuis longtemps on a reconnu l'insuffisance des phares lumineux, lorsque le ciel était couvert, les brouillards épais et la mer tourmentée, ou encore lorsqu'il y avait de violentes rafales de neige. On a essayé d'y remédier par le son des cloches. Mais celui-ci a l'inconvénient d'être trop vague. Lorsque le vent est violent et siffle dans les cordages, lorsqu'au mugissement des vagues se joint le bruit de la foudre, on peut à peine distinguer le son de la cloche; et, dans un temps comparativement calme, il est souvent fort difficile de reconnaître le côté d'où il vient, lorsque le brouillard est épais.

Le sifflet à vapeur que l'on emploie comme signal partout où l'on dispose d'une chaudière à vapeur pourrait être utilisé dans les phares, et il remédierait aux défauts que nous venons de signaler; cependant, il ne serait pas sans inconvénients. D'abord, il faut un machiniste expérimenté pour le manœuvrer convenablement. Au danger qu'il y aurait de confier à un ouvrier inhabile un générateur de vapeur, même le plus simple, se joint la difficulté et souvent l'impossibilité de se procurer l'eau douce nécessaire à son alimentation aux points de la côte où l'on doit placer des signaux. On peut, il est vrai, employer l'eau de mer, mais ce moyen de générer la vapeur est toujours très-coûteux. Enfin le sifflet serait,

dans tous les cas, fort éloigné de la chaudière, ce qui augmente la faculté de produire et de diriger le son.

La trompette Daboll sait parer à tous ces inconvénients. Cette trompette gigantesque reçoit le vent d'un réservoir à air comprimé et c'est une machine à air chaud d'Ericsson qui comprime l'air dans le réservoir. On sait que ce genre de moteur ne présente aucun danger et que l'ouvrier le plus inhabile, en état de faire et entretenir un feu dans un poêle ordinaire, a toutes les qualités requises pour en être le machiniste. Puis il y a de l'air à toute hauteur et partout, sans qu'il soit nécessaire de jamais l'amener à la machine, et celle-ci peut sans danger être fixée n'importe où.

Les sons que rend la trompette Daboll ont une puissance extraordinaire : ils se font entendre à plus de 15 milles de distance en mer, et ne peuvent être confondus avec le bruit des vagues ou les détonations de la foudre. Du reste, on en fait varier l'intensité et la succession, de manière que par de certaines combinaisons conventionnelles, on communique, à d'énormes distances, des avis spéciaux, quel que soit le temps. On peut aussi orienter le pavillon de la trompette suivant tous les rumbes de vent.

Dans la figure 1 (pl. XXVII), le réservoir à air comprimé communique avec les anches de la trompette T au moyen d'un tuyau muni de soupapes, dont le jeu est commandé par un levier à ressort que manœuvre une roue à cames C. Chaque fois qu'une came frappe le levier de la soupape, il se produit un son, et l'on conçoit que l'on peut faire connaître le nom du phare par le nombre de sons produits en une minute, ou par une combinaison des intervalles entre les sons consécutifs. La roue à cames C est menée par un train de roues d'angle partant de l'arbre du volant et que la vue perspective fait suffisamment comprendre. Le piston de la machine et celui du réservoir à air comprimé sont fixés sur la même tige, et les bielles, les manivelles et le volant ne servent qu'à faire passer le point mort, c'est-à-dire à ramener le piston au bout de sa course, comme nous le verrons plus loin, la machine étant à simple effet.

Pour présenter le pavillon de la trompette dans toutes les directions de l'horizon, on a placé à l'embouchure un petit pignon conique F qui engrène avec un secteur conique E d'un plus grand rayon et d'un développement capable de faire faire au pignon un tour entier. Le secteur reçoit un mouvement de va-et-vient d'un mécanisme spécial placé à l'extrémité de l'arbre de la roue à cames C. Ce mécanisme consiste en une rainure présentant en section la forme d'un T renversé pratiquée le long d'un diamètre de la roue ; une glissière portant un bouton peut se mouvoir dans cette rainure et être fixée par un écrou en un point quelconque du diamètre. Ce bouton conduit un bras D qui agit sur le secteur E. S'il est placé au centre, le bras, le secteur et, par conséquent, la trompette restent immobiles ; plus il sera éloigné du centre, plus grand sera l'axe décrit par le secteur et, par conséquent, par la trompette.

En G se trouve une soupape de sûreté qui permettrait à l'air du réservoir de s'échapper s'il était comprimé outre mesure.

La trompette exposée à Paris est exactement la même qui fonctionne sur le steamer *Cuba* de la ligne de Cunard, et qui est destinée à signaler la position de ce navire pendant la nuit ou dans les temps brumeux. Parmi les phares acoustiques, on signale encore celui de Sambro distant de 16 milles d'Halifax et que l'on entend parfaitement de ce dernier endroit. Le gouvernement anglais ayant reconnu la supériorité de la trompette Daboll, en a fait placer à l'île de Wight, à Dungeness dans la Manche et à Glasgow. Le gouvernement américain les emploie au port de San-Francisco, à Détroit, à New-London, à New-Haven, à l'île Thatcher, au port de Boston, à Beaver-Tail, à Narraganset-Bay.

Mais arrivons à la machine à air chaud qui est construite dans les ateliers de M. Robinson, de New-York.

Le cylindre (fig. 2) *a a* est horizontal. Il est parfaitement alésé jusqu'à son milieu à peu près, c'est-à-dire dans la partie où se meuvent les pistons *m* et P. L'autre partie contient le foyer, c'est-à-dire un tube de fonte B fermé du

côté des pistons et muni d'une grille C, d'un cendrier B, d'une porte A. Sur le devant se trouve le carneau *d* par où les produits de la combustion passent avant d'arriver dans l'enveloppe D qui contourne le cylindre, d'où ils se rendent à la cheminée *e*. Par cette disposition, l'air qui se trouve entre le cylindre et le foyer est échauffé à la fois par la paroi du cylindre et par celle du foyer. L'intervalle entre le cylindre et le foyer est divisé en deux compartiments par une tôle cylindrique en acier qui oblige l'air à se mouvoir et facilite ainsi la transmission de la chaleur par les deux surfaces de chauffe.

Les deux pistons *m* et P se meuvent indépendamment l'un de l'autre. Comme on le voit dans la figure 1, l'arbre du volant est placé transversalement sur le cylindre ; dans la figure 2, on le voit coupé en *g*. Le piston P lui communique son mouvement lorsqu'il s'écarte du foyer, par l'intermédiaire d'un jeu de bielles, leviers et manivelles que les figures font assez comprendre. La jante du volant est creuse sur toute une moitié de sa circonférence ; l'autre moitié tend donc toujours à tomber. Le piston P, poussé en avant par le gaz chaud, relève le centre de gravité de la jante du volant ; la force vive de celle-ci lui fait passer le point mort et la chute du centre de gravité du volant ramène le piston en arrière vers le foyer.

Pendant le mouvement de retour du piston *m*, l'air chaud est évacué par la soupape *i*, manœuvrée par le levier K qui emprunte son mouvement à une came placée sur l'arbre du volant. Le vide que le piston *m* laisserait entre lui et le piston P se remplit d'air frais amené par les soupapes *l*, *l*. Maintenant, entraîné par la chute du centre de gravité du volant, le piston *m* commence sa marche en avant ; les deux pistons se rapprochent, et l'air frais aspiré est obligé de passer par la soupape *nn*, le long d'une tôle d'acier venue du piston *m*. Cette tôle réchauffe l'air, le dilate, et celui-ci, agissant sur la face du piston P, relève le centre de gravité du volant, par l'intermédiaire de la bielle *g* et des manivelles. Et le mouvement recommence.

Cette machine ne diffère de celle d'Ericsson que par l'ab-

sence du régénérateur. Sa construction est économique, il est vrai, mais elle dépense 25 kilogrammes de bonne houille pour une force de 1 cheval $1/2$ en une journée de dix heures, soit 1 kilogramme $2/3$ par cheval et par heure, chiffre fort élevé pour une machine à air. La pression moyenne a été estimée à $2/3$ d'atmosphère.

MACHINE A AIR CHAUD DE M. LAUBEREAU (DE PARIS). — La machine à air chaud de M. Laubereau est construite sur le principe de celles de R. Stirling. L'air dilaté qui actionne le piston ne quitte jamais la machine ; c'est toujours le même air qui passe par des alternatives de chaud et de froid. Voici la disposition de la machine (pl. XXVII, fig. 1 et 2) : A est le cylindre à simple effet ; B, le piston moteur ; C, une chambre à air froid ; D, un poêle mobile, composé d'une cloche en fonte recouverte au-dessus de très-mauvais conducteurs du calorique, et qui monte et descend à temps voulu dans l'intérieur de la chambre C ; E est le foyer ; F, un récipient enveloppant la chambre C et dans lequel circule un courant d'eau froide sans cesse renouvelé, que fournit la petite pompe P. Cette dernière est de la forme dite *pompe des prêtres*, c'est-à-dire qu'elle a pour piston un simple diaphragme non tendu et fixé de telle façon au corps de la pompe et à la tige, que, quand la tige s'écarte ou se rapproche, le volume laissé sous le piston augmente ou diminue.

Pour les petites machines, c'est-à-dire depuis $1/75$ jusqu'à $1/5$ de cheval, le foyer peut être composé d'un simple bec de gaz, comme il est figuré ici ; depuis $1/15$ de cheval, il est cependant plus économique d'employer du coke comme combustible. Quel que soit le foyer, il devra être muni d'un conduit pour laisser écouler les produits de la combustion, ainsi que d'une cheminée T.

Le poêle mobile D sépare la chambre à air en deux compartiments ; l'un, C, où se trouve de l'air refroidi par l'eau qui circule dans l'enveloppe F ; l'autre, H, où l'air s'échauffe et se dilate par son contact avec la surface du foyer. La substance non conductrice de la chaleur dont on forme le poêle

mobile est du plâtre, qui peut l'être très-échauffé au bas sans que la partie supérieure laisse écouler une portion sensible de la chaleur. Les deux faces du poêle sont légèrement concaves, forme qui leur est donnée afin d'étendre la surface de chauffe et celle de refroidissement. Le diamètre du poêle est plus petit que celui de la chambre à air, de manière que le poêle s'y meut librement de haut en bas, sous l'action de la came N commandée par une manivelle de l'arbre du volant. Pendant son mouvement, l'air qui se trouve dans la chambre fermée de toutes parts passe alternativement tout autour du poêle de la chambre chaude à la chambre froide et réciproquement. Le poêle se termine au bas par un cylindre métallique ou cloche qui allonge la route que l'air doit parcourir pour passer d'une chambre à l'autre, augmentant ainsi le contact de l'air avec les parois échauffantes ou refroidissantes. On sait que l'air au repos est un très-mauvais conducteur du calorique, et que toute agitation, et surtout toute division en lames minces ou filets, augmente considérablement sa conductibilité. C'est pourquoi on l'a forcé ici à traverser un passage fort étroit entre la cloche et la paroi du cylindre. L'air peut ainsi subir par minute, mille alternatives de froid et de chaud, c'est-à-dire que la machine peut exécuter jusqu'à 500 tours par minute.

La chambre à air est en communication avec le cylindre A, par un tuyau *t*. Supposons que l'on ait fait du feu en E depuis un quart d'heure environ, et que l'on veuille mettre en marche. Pour cela, on ferme le robinet R qui mettait la chambre à air en communication avec l'extérieur. Le piston moteur B étant presque au bas de sa course, on fait dépasser le point mort du bas à la manivelle, au moyen du volant qui sert de levier. Ce simple mouvement a fait monter le poêle mobile B; l'air qui était dans la chambre froide C est descendu sous le poêle dans la chambre H où il s'échauffe, se dilate et acquiert un volume double de ce qu'il était primitivement. Comme il n'a, pour loger cet excès de volume, d'autre issue que le tuyau *t*, il vient presser sous le piston moteur B et le relever jusqu'au haut de sa course. La

force vive du volant fait dépasser le point mort du haut à la manivelle. C'est pendant ce moment que la came N fait redescendre le poêle mobile D. La chute produit dans la chambre C un vide de plus d'une demi-atmosphère. Le poids de l'atmosphère s'exerçant à la base du piston moteur, le fait donc retomber et l'air, qui se trouvait sous le piston B, revient dans le récipient C, où il se refroidit complètement. C'est maintenant la force vive du volant qui fait passer le point mort du bas à la manivelle M, et, par conséquent, le jeu recommence.

Cette machine participe aux avantages des machines à gaz et à air chaud, avantages qui se résument dans la suppression de la chaudière, et dont nous avons du reste assez parlé dans notre étude sur les machines à gaz.

Pour de très-petites forces, elle est sans aucun doute plus économique que la machine à gaz. Celle-ci est à peu près aussi compliquée que la machine à vapeur avec ses tiroirs, ses excentriques, etc.; elle n'a en moins que la chaudière et ses accessoires. Mais la machine Laubereau n'a rien de tout cela, comme on le voit facilement. Si donc il y a une machine qui s'approche de la solution du problème de la force motrice à domicile, c'est celle-ci. Du reste, sa marche est assez économique, bien que son prix nous paraisse fort élevé.

Voici le tableau du prix et de la consommation donné par l'exposant lui-même.

Modèles.	Force : 1 kilogrammètre.	Dépense.		Prix
		Chauffé au coke.	Chauffé au gaz.	approximatifs.
		» fr. »	0 fr. 40	150 fr.
—	3	» »	0 75	300
—	5	0 50	0 90	375
—	10	0 75	1 50	425
—	15	0 90	2 00	525
—	25	1 10	» »	850
—	50	1 50	» »	1 100
—	75	2 00	» »	1 500
—	150	2 50	» »	2 500

La dépense est établie pour dix heures de travail. Sans

doute le prix du gaz est compté à 30 centimes par mètre cube, et, dans ce cas, la machine dépenserait 3 mètres cubes de gaz par cheval et par heure, pour une force de 15 kilogrammètres par seconde. Le chauffage au coke est beaucoup plus économique, puisque une machine d'un cheval ne dépenserait que pour 20 centimes de coke, c'est-à-dire environ 1 kilogramme $\frac{1}{3}$ de coke par heure.

MACHINE A GAZ CHAUDS DE PHILANDER SHAW (DE BOSTON).— Depuis l'échec d'Ericsson, on a fait très-peu de fortes machines à air chaud. En Amérique, où ce genre de moteur est en grand honneur, on n'en compte que deux ou trois de la force de 50 chevaux, mais un grand nombre de 4 à 5 chevaux. Cela provient des énormes dimensions que les grandes forces exigent pour les cylindres. En effet, le volume effectif que le piston doit engendrer par cheval indiqué et par seconde est à peu près de $\frac{1}{2}$ mètre cube. Ensuite la haute température à laquelle les gaz chauds sont amenés dans le cylindre entraîne des difficultés qui paraissent insurmontables, si ce n'est par le système Stirling. M. Shaw ne les a pas crues telles, et il expose une machine de 20 chevaux indiqués, marchant sous l'action même des gaz du foyer, genre pour lequel ces difficultés paraissent être les plus grandes.

L'idée d'employer les gaz du foyer comme fluide moteur n'est pas de M. Shaw. On peut même dire que les machines à gaz d'éclairage sont construites sur ce principe. Sir George Cayley paraît être le premier qui ait construit une machine à gaz venant du foyer. Une pompe de compression s'alimentant à l'atmosphère comprimait l'air et le foulait comprimé dans le foyer, naturellement étanche. Les produits de la combustion du charbon étaient ensuite admis dans le cylindre, où ils agissaient à pleine pression pendant une partie de la course et par détente pendant le reste, de manière à ce que la pression à la fin de la détente fût un peu plus élevée que celle de l'atmosphère. Alors ils s'échappaient à l'air libre. Il n'y avait ni régénérateur ni réfrigérateur. Cette machine était

fort économique, mais elle fut abandonnée parce que les cylindres, les pistons et les soupapes avaient été très-rapidement détruits par la trop grande intensité de la chaleur du gaz et l'abondance de la poussière qui arrivait aux organes essentiels. MM. Alexander Gordon et Avenier de la Grèce se sont occupés de la même question. Mais M. Shaw nous paraît être le premier qui ait effectivement surmonté les difficultés. La machine qu'il expose, et dont nous allons donner la description, n'a cependant pas été construite dans les circonstances les plus favorables. Le gouvernement des Etats-Unis n'ayant pris la résolution de transporter les produits de ses nationaux que trois mois avant l'embarquement, M. Shaw n'eut que neuf semaines pour préparer les dessins de sa machine et la faire construire. On ne lui réservait, du reste, que fort peu de place dans le navire. Cependant, malgré les déficiences qu'on rencontre dans sa disposition et surtout dans sa construction, cette machine marche tous les jours et fort bien, et, à la clôture de l'Exposition, elle n'avait pas subi d'avaries notables.

La figure 1 de la planche XXVIII représente la machine de M. Shaw en élévation; la figure 2, une coupe en plan suivant la ligne UU de la figure 4; la figure 3, une coupe suivant VV de la figure 2; et la figure 4, une coupe suivant WW de la figure 2.

Les pièces principales de la machine sont : la pompe de compression D, qui aspire l'air de l'atmosphère par la soupape E et le refoule par la soupape F dans la chambre à air froid H et au-dessus de la soupape R, et delà dans le régénérateur K. Le foyer M³, bâti en briques réfractaires et avec une enveloppe M' où l'air froid circule en se rendant sous le cendrier, où il arrive par les tuyaux L et M. En M'' se trouve un registre pour régler l'affluence de l'air froid au cendrier. Les lettres N indiquent de nombreuses ouvertures par lesquelles l'air passe de la chambre M' dans le foyer M³ ou chambre de combustion. Les cylindres A, A, où l'air chaud arrive par le tuyau O en passant par la soupape R. Le piston B avec son fourreau B', et la bielle Z et son boisseau

inférieur B'', muni de diaphragmes C, C, C. La soupape de refoulement S et le tuyau P conduisant les gaz dilatés du cylindre A dans les tubes du régénérateur K et dans la cheminée d'échappement Y. Une trémie ou magasin de combustible *a* pour alimenter la machine en marche. Un conduit *b* admettant une circulation d'air froid autour des sièges des soupapes. Une soupape *c* pour admettre de l'air froid dans l'enveloppe *c*, du cylindre. Un reniflard *d*. La porte du foyer *e*, celle du cendrier *f*, hermétiquement fermées pendant la marche.

Ce qui précède suffit pour faire comprendre le jeu de l'air dans la machine. Dans les figures, les flèches pointillées indiquent la marche des gaz chauds depuis le passage de l'air dans le combustible; les autres, la marche de l'air depuis son admission à la pompe de compression jusqu'au foyer.

On remarquera que les gaz détendus qui arrivent dans les cylindres se composent de deux parties : les produits de la combustion d'abord, et ensuite de l'air qui s'est échauffé autour du foyer et qui a rejoint au-dessus de ce même foyer les premiers produits de la combustion.

Un des perfectionnements essentiels dus à M. Shaw, c'est l'addition d'un courant continu d'air froid autour des sièges des soupapes. Par là, M. Shaw a surmonté la difficulté qui paraissait rendre à jamais impraticable l'emploi direct des produits de la combustion comme fluide moteur.

L'agencement des soupapes est aussi fort ingénieux. La soupape d'admission R est placée exactement au-dessus de celle d'émission S. Sa tige creuse livre passage à la tige pleine de la soupape S. Ces deux tiges sont manœuvrées chacune par une came spéciale placée sur un petit axe auxiliaire attaqué par un engrenage conique. La soupape d'admission ouverte par sa came reste ouverte pendant que le piston parcourt les $\frac{5}{6}$ de sa course, puis elle est subitement fermée par un ressort placé au-dessus de sa tige. Des organes semblables accomplissent le jeu de la soupape de décharge.

La porte du foyer *e* sert à commencer le feu avant la mise

en marche. Pendant la marche, pour alimenter le foyer, on fait toucher le combustible de la trémie *a* en manœuvrant le registre placé au fond au moyen de la manivelle *m*. Ce registre reste naturellement fermé pendant que l'on introduit par la porte *n* supérieure de la trémie du combustible frais dans celle-ci.

Le régénérateur ressemble à une chaudière multitubulaire verticale. M. Shaw se réserve d'en faire une véritable chaudière alimentée d'eau que les gaz d'échappement vaporiseront; dans ce cas, la vapeur formée arrive au-dessus du foyer, où elle se mêle aux produits de la combustion et à l'air en excès et arrive ensuite dans les cylindres. Nous ne comprenons guère quel avantage on pourrait trouver à ce mode d'employer un mélange de gaz chauds et de vapeur d'eau. Quand celle-ci est humide elle sert à lubrifier le piston; mais ici elle est évidemment sèche et surchauffée.

Le piston se compose d'une boîte très-longue (plus longue de quelques pouces que la course), divisée en quatre compartiments par les diaphragmes C, C, C, de manière que tout accès de l'air chaud aux bourrages est rendu impossible. On sait, en effet, que l'air au repos est un des plus mauvais conducteurs du calorique. Le piston est alésé à un diamètre un peu plus petit que celui du cylindre. L'espace annulaire *c' c'* qui entoure le cylindre peut être alimenté par la soupape *c* d'air froid provenant de la chambre H. Lorsque le piston est au point de commencer sa course ascendante, mais avant que la soupape d'admission R ne soit ouverte, la soupape *e* est soulevée par une came calée à l'arbre principal; un jet d'air froid se précipite dans l'anneau *c', c'* étant à une pression au moins aussi élevée que celle des gaz qui s'échappent encore du cylindre. Lorsque le piston s'élève et que les gaz chauds arrivent, ils refoulent devant eux l'air froid de l'anneau *c' c'* et ainsi ne peuvent arriver eux-mêmes à la partie alésée de la paroi cylindrique ni à la partie du piston qui porte le bourrage. Jusqu'à quel point l'effet désiré est-il produit? Nous l'ignorons. Mais M. Shaw prétend que le but est parfaitement atteint et qu'il pourra le démontrer quand il

enlèvera sa machine à la clôture de l'Exposition. La sollicitude avec laquelle M. Shaw a essayé de préserver les soupapes, le cylindre et le bourrage du piston est digne des plus grands éloges. On n'est pas étonné de lire dans le compte rendu de l'Association des mécaniciens du Massachusetts, qui avait accordé à M. Shaw une médaille d'or en septembre 1865 :

« Cette machine renferme plus de nouveautés et dénote plus de génie inventif, d'imagination et de raison qu'aucune autre que nous connaissons. »

La machine exposée, qui est de la force de 20 chevaux, mesurée à l'indicateur, comme nous l'avons dit, consomme 40 kilogrammes de charbon par heure et est capable de faire 16 chevaux au frein. Le diamètre du piston est de 1 pied 6 pouces anglais, et la course de 1 pied 2 pouces. Le rapport du volume du cylindre au volume de la pompe à air est 5 : 3, le degré de la détente 5 : 6.

SUR L'ÉCLAIRAGE DES MINES A GRISOU

PAR ED. GRATEAU,

Ingénieur civil des mines,

Membre du jury international de l'Exposition universelle de 1867.

Tous les éléments de l'ancienne physique semblent se conjurer pour rendre le métier du mineur périlleux entre tous : s'il doit lutter contre la *terre* et l'*eau*, il ne doit pas moins redouter l'*air* et le *feu* et s'en défendre. Les explosions terribles du *grisou* sont surtout la cause des déplorables accidents qu'enregistrent trop souvent les annales de l'exploitation des mines. Se débarrasser des gaz explosibles, ou du moins permettre de pénétrer et de travailler dans un pareil milieu, tel est le problème incessamment posé au mineur ; les moyens de reconnaître la présence d'un mélange détonant, et, dans une certaine mesure, de déterminer la proportion de ses éléments, constituent une seconde question, dont la solution, quoique moins directement nécessaire, intéresse vivement la sécurité.

Une ventilation énergique, obtenue à l'aide d'appareils puissants, est, jusqu'à présent, le seul moyen pratique de se débarrasser, au moins partiellement, du grisou qui se dégage dans les chantiers et les galeries des houillères, et les conditions dans lesquelles s'exécute l'aérage doivent, surtout à ce point de vue, attirer l'attention la plus sérieuse des ingénieurs des mines. Nous ne nous occuperons pas des ventilateurs dans cette note exclusivement réservée aux moyens d'éclairage et aux indicateurs de grisou, en prenant pour base les renseignements recueillis à l'Exposition universelle sur l'état actuel de cette question.

L'éclairage ordinaire, fondé sur l'emploi des lampes, dites de *sûreté*, paraît avoir fait peu de progrès depuis l'invention

mémorable de Davy. Mais l'électricité a fourni un nouveau moyen de projeter de la lumière et de pénétrer dans un milieu irrespirable, et cette méthode, encore récente, paraît appelée à rendre des services réels. D'autre part, l'indication automatique de la présence du gaz dangereux constitue un moyen préventif nouveau, susceptible de perfectionnements et d'applications intéressantes. De là résulte naturellement la division de cette notice en trois parties.

§ I. — LAMPES DE SURETÉ

BRULANT DE L'HUILE MINÉRALE OU VÉGÉTALE.

Les lampes de sûreté exposées au Champ de Mars dans la classe 47 présentaient peu de dispositions nouvelles, et, si l'on excepte la lampe sans toile métallique de M. CHUARD, dont le principe diffère de celui qui est appliqué depuis Davy, on ne rencontre guère que des perfectionnements de détail. Nous indiquerons donc rapidement les systèmes exposés.

La *lampe Dubrulle*, actuellement fabriquée par M. COSSET-DUBRULLE, à Lille, et très-répandue dans le nord de la France, occupe la place la plus importante parmi les produits du même genre. On sait que le trait caractéristique de cette lampe est de ne pouvoir être ouverte sans faire rentrer la mèche, et, par suite, sans l'éteindre. Elle fonctionne quatorze heures sans avoir besoin d'être regarnie, et sa consommation ne s'élève, pour ce laps de temps, qu'à 80 grammes d'huile. Son pouvoir éclairant est double de celui de la lampe Davy ordinaire. M. COSSET-DUBRULLE produit annuellement quinze à seize mille lampes de sûreté, consommées par la France, la Belgique et la Prusse; cette fabrication occupe cinquante ouvriers. Les lampes qu'il avait exposées se rapportent à deux types, la lampe à tissu plein (pl. XXX, fig. 1.) et la lampe à cylindre de cristal du système Mueseler (pl. XXX, fig. 2); dans ce dernier type, on remarquait une lampe d'accrochage (pl. XXX, fig. 3) bien établie,

donnant une lumière plus grande que les précédentes avec une dépense d'huile de 18 centimes en 20 heures.

M. CLAUZET, de Saint-Étienne, a exposé une lampe à treillis métallique dont le mode de fermeture, différent de celui de la lampe Dubrulle, paraît réunir les conditions de sécurité et de simplicité désirables ; elle donne d'ailleurs un éclairage convenable en raison de son grand diamètre et de la disposition du porte-mèche en saillie bien prononcée au-dessus de la plate-forme.

Le réservoir est en cuivre, il porte (pl. XXX, fig. 4 et 5) une couronne A taillée en crémaillère, une vis B, une tubulure C filetée intérieurement, une virole E vissée dans cette tubulure et maintenant en place la plaque en fer-blanc du porte-mèche. Le treillis est protégé, comme à l'ordinaire, par une cage formée de petites tiges supportées par une embase, dans laquelle on remarque un écrou L qui se visse sur le pourtour fileté de la plate-forme, et une gouttière annulaire M qui recouvre exactement la crémaillère circulaire B. Sur cette même base se trouve un axe portant une came disposée de manière à se soulever en glissant sur les dents de la crémaillère quand on fait descendre la cage en vissant l'écrou L, mais qui vient buter contre les dents et former en cliquetage si l'on veut dévisser la cage pour ouvrir la lampe. L'axe de la came se termine par un carré qui permet, au moyen d'une clef forée, de tourner la came pour rendre possible l'ouverture ; dès que la clef cesse d'agir, un ressort pousse la came et la met en prise. Le préposé à la lampisterie est seul muni d'une clef, ce qui assure la fermeture régulière de la lampe.

La lampe Clauzet coûte 7 francs. Elle est employée dans le bassin de la Loire, aux mines du Treuil, de la Chazotte, de Terre-Noire, du Montcel, de Monteau, de la Porchère, de Rive-de-Gier, etc. Depuis son introduction dans ces exploitations, les accidents, trop fréquents auparavant, ont à peu près disparu, et ceux qui se sont produits, attribuables au mauvais état des lampes ou à l'imprudence des ouvriers, n'ont pas entraîné de conséquences graves.

Un fabricant d'Anzin, M. CUVELIER, a imaginé une lampe à fermeture dont le système n'offre rien de particulièrement nouveau. La lampe se referme sans disposition spéciale, mais pour l'ouvrir il faut introduire une clef dans une petite serrure. Ces lampes, achetées en gros, valent 5 francs ou 6 fr. 50 c., suivant qu'elles sont à simple treillis métallique, ou qu'un cylindre de cristal se trouve au niveau de la flamme. Elles sont employées aux mines d'Azincourt et de Bully-Grenay (Pas-de-Calais); elles sont essayées actuellement en Autriche.

Sous le nom de M. OLANIER, de Saint-Étienne, on trouvait une lampe qu'il suffit d'indiquer, sa description ayant été donnée dans la *Revue universelle* ⁽¹⁾. Son mécanisme a pour effet que la lampe ne puisse être ouverte sans que la mèche soit préalablement éteinte.

Lampe Chuard.— Cet instrument, exposé dans la classe 12 (instruments de précision et matériel de l'enseignement des sciences), se trouvait séparé de ses congénères et a échappé à l'attention de la plupart des visiteurs. Il est basé sur cette propriété que l'air chargé de $\frac{1}{14}$ au moins de grisou détermine une explosion intérieure au contact de la flamme, ce qui a pour résultat de détruire les cheveux servant de supports à deux soupapes, qui, en tombant, interceptent la communication avec l'extérieur et empêchent ainsi l'inflammation de se propager dans le mélange détonant qui remplit les galeries; en même temps, l'extinction de la lampe est assurée. Ce système permet de supprimer la boîte métallique des lampes ordinaires, en augmentant la sécurité, suivant son inventeur, et en donnant une lumière égale à cinq fois celle de la lampe de Davy.

Le fonctionnement de la lampe est facile à comprendre en suivant sur la figure 6 la marche de l'air et des produits de la combustion. L'air entre par une tubulure inférieure et latérale H, munie de deux corps de pompe C' qui peuvent être obturés par les soupapes coniques C. A l'état

(1) Voir *Revue universelle des mines*, etc., t. XVIII (1862), p. 181.

ordinaire, ces soupapes sont maintenues soulevées au moyen de cheveux fins C'' , dégraissés à l'éther sulfurique. L'air parcourt le tube vertical et central H' , redescend dans l'espace H'' compris entre ce tube et un autre tube concentrique, remonte pour redescendre de nouveau dans les espaces annulaires H^3 et H^4 formés par deux autres tubes qui enveloppent les précédents, débouche enfin en H dans la *caisse à explosion* A et arrive au niveau de la flamme en H' . C'est là que se produit l'explosion, lorsqu'un mélange détonant arrive pour la première fois en contact avec la flamme ; mais à cet instant, l'espace D est rempli de gaz non explosible et l'inflammation se propage en arrière avec une grande rapidité en brûlant les cheveux qui retenaient les soupapes et en agissant par l'expansion de la masse gazeuse sur les soupapes, pour les appliquer fortement sur leurs sièges. Ainsi se trouve interceptée toute communication avec l'extérieur, d'où résulte, autant que du fait même de l'explosion, l'extinction de la lampe. Des expériences faites par les ingénieurs de la Compagnie parisienne du gaz paraissent avoir justifié cette théorie.

La lumière est fournie par une mèche annulaire fixée sur une bague, et que l'on peut manœuvrer au moyen d'un bouton L'' et d'un pignon et d'une crémaillère L' . La *chambre de combustion* est entourée de deux enveloppes de cristal recuit E et E' serrées entre deux plateaux par des tringles de fer F , avec interposition d'un disque de cuir à la partie inférieure et d'une rondelle de plomb à la partie supérieure. Les tringles peuvent être munies d'écrous de forme spéciale, afin qu'on ne puisse les dévisser au chantier pour ouvrir la lampe. Le corps supérieur de la lampe s'adapte sur la caisse à explosion par un simple mouvement à baïonnette. Deux écrous à tête spéciale ou un cadenas assurent la fermeture permanente.

Le réservoir d'huile I entoure les tubes centraux. Il se remplit par un bouchon K , qui porte un orifice capillaire, pour permettre l'écoulement de l'huile par le trou J et le tube I' . L'écoulement peut d'ailleurs être réglé au moyen

d'une soupape manœuvrée à l'aide du bouton J'. L'huile en excès tombe dans l'espace M, d'où elle est conduite par l'inclinaison de la paroi vers un tube N presque capillaire, par lequel elle s'emmagasine dans un réservoir clos P', en laissant le volume de la chambre A constant.

Les produits de la combustion, composés principalement d'acide carbonique, d'azote et de vapeur d'eau, s'échappent par l'espace annulaire G et par une cheminée centrale qui surmonte la lampe. Cette cheminée isole la flamme de l'atmosphère explosible de la mine, car une allumette enflammée placée à 20 centimètres au-dessus de l'orifice de la cheminée, s'éteint dans la colonne de gaz non oxygénés qui s'en dégagent.

La lampe de sûreté sans toile métallique est employée à titre d'essai dans quatre mines, particulièrement à Douchy. Son prix, qui est de 17 francs, est assez élevé, mais pourrait certainement être abaissé si la fabrication en était organisée sur une échelle un peu grande. Elle offre l'inconvénient de ne pouvoir resservir, après une explosion, avant qu'on ait rétabli les cheveux soutenant les cônes obturateurs ; mais cette opération est très-facile à faire à l'atelier, et l'inconvénient reste le même que dans toutes les lampes cadenassées, qui doivent retourner au magasin pour être allumées.

Expositions étrangères. — L'exposition belge, au point de vue qui nous occupe, se fait surtout remarquer par les tentatives faites pour employer le pétrole dans les lampes de mines. L'éclairage étant une des dépenses importantes de toute exploitation souterraine, il n'est pas sans intérêt de substituer à l'huile végétale une matière d'une moindre valeur, comme l'huile minérale ; d'autre part, le pouvoir éclairant du pétrole est plus considérable que celui des huiles ordinaires.

Trois exposants ont présenté des lampes propres à ce nouveau mode d'éclairage.

M. SOUHEUR, directeur du charbonnage des Six-Bonnières, exposait trois modèles de lampes à pétrole. La lampe de mineur (pl. XXX, fig. 7) est munie d'une cheminée en tôle placée au-dessus de la flamme et d'une enveloppe cylindrique en

cristal. La virole qui entoure la mèche est percée d'ouvertures à la base. Cette précaution est nécessaire dans toutes les lampes à pétrole, la combustion de cette huile exigeant une forte proportion d'air à cause de sa richesse en carbone. La lampe peut fonctionner pendant quinze à vingt heures sans avoir besoin d'être regarnie. Un autre type, de même dimension, est destiné par l'inventeur au lever des plans souterrains, et il est disposé de manière à pouvoir être incliné fortement sans s'éteindre ou sans répandre l'huile. Le troisième modèle est une lampe d'accrochage, d'un fort calibre, pouvant marcher pendant vingt-quatre heures, avec une consommation qui est annoncée n'être que d'un centilitre d'huile par heure. L'enveloppe de cristal est renflée au lieu d'être cylindrique; la mèche est surmontée d'un verre à pétrole ordinaire, bombé, prolongé par une cheminée en tôle.

Les prix de ces appareils d'éclairage sont les suivants :

Lampe d'ouvriers mineurs, avec fermeture de sûreté,
6 francs;

Lampe de chefs mineurs, en cuivre, pour lever de plans,
10 francs;

Lampe d'accrochage avec réflecteur, 15 francs.

La lampe de M. ARNOULD, de Mons, est à mèche plate; le bec est percé d'une ouverture circulaire. La flamme est entourée d'un verre conique qui monte jusque vers la partie supérieure du treillis métallique. Dans quelques modèles, la toile métallique est en partie remplacée par une enveloppe de tôle mince et pleine. A la base du réservoir se trouvent des orifices munis de toiles métalliques.

M. ARNOULD s'est ingénié à trouver des systèmes de fermeture pour la lampe de sûreté. Parmi les différentes dispositions qu'il a imaginées, on en remarque une où la lampe ne peut être ouverte qu'après le déplacement d'une goupille intérieure en fer, déplacement qu'on obtient en appliquant, sur un point déterminé de la lampe, un fort aimant, qui est habituellement déposé à la lampisterie. L'idée est nouvelle, mais il est permis de douter du bon fonctionnement d'un pareil mécanisme.

M. CAVENAILE, de Bruxelles, avait exposé une lampe de sûreté à pétrole s'ouvrant par le bas au moyen d'un clef. La base supérieure du réservoir est percée de trous pour l'admission de l'air, et une toile métallique empêche la communication directe de l'air extérieur avec l'intérieur de la lampe. Une cheminée en tôle est placée au-dessus de la mèche. La lumière traverse un cylindre de cristal surmonté du treillis métallique.

En Angleterre, les lampes de sûreté employées dans les houillères appartiennent presque toutes aux systèmes déjà anciens de Davy, de Stephenson ou de Geordie, qui sont basés sur les propriétés des tissus métalliques.

L'Exposition n'offrait que la lampe de M. FOGGIN (William), de Newcastle-upon-Tyne, dont la disposition ne présente rien de remarquable.

Dans la section autrichienne, M. HEINBACH, ingénieur à Steyerdorf (Banat), avait exposé une lampe de sûreté (pl. XXX, fig. 8), qui ne peut être ouverte sans s'éteindre. La toile métallique qui forme la partie supérieure de la lampe est reliée par une virole au cylindre de cristal qui enveloppe la flamme; celui-ci est protégé par des tiges métalliques qui rattachent la première virole à une autre placée sur le réservoir à huile et percée de trous circulaires garnis de toiles métalliques. La fermeture de la lampe consiste en un simple pas de vis, mais, quand on veut l'ouvrir, une crémaillère annulaire faisant corps avec la virole inférieure, fait tourner un pignon qui engrène une roue dentée; celle-ci presse sur la mèche et la fait rentrer dans le réservoir. Cette disposition ne paraît pas présenter une sécurité sérieuse, parce que la mèche pouvant être manœuvrée au moyen d'un bouton extérieur, il suffirait de la monter d'une quantité plus grande que celle qui rentre par l'action de la roue dentée pendant le dévissage de la lampe pour que celle-ci pût être ouverte sans s'éteindre.

Il est à regretter que l'Exposition n'ait fourni aucun renseignement sur une tentative faite il y a quelques années à Newcastle pour substituer des toiles métalliques en fil d'alu-

minium à celles qu'on emploie ordinairement. Il était intéressant de comparer les résultats produits par l'inoxidabilité de l'aluminium, au point de vue de la conservation et de la durée des toiles, avec ceux de la pratique habituelle. On pouvait même espérer un surcroît de garantie dans les lampes, en ce que, les fils ne s'oxydant pas, le treillis devait rester en meilleur état qu'on ne le trouve trop souvent dans beaucoup de mines. Enfin le poli brillant de ces fils devait, en réfléchissant mieux la lumière, augmenter un peu le pouvoir éclairant de ces appareils.

Nous n'avons pas retrouvé non plus l'indication des machines à nettoyer les tissus de lampe, qui avaient paru adoptées avec quelque faveur lors de leur apparition. En permettant d'effectuer rapidement une opération souvent négligée à cause de sa lenteur, on rendait plus fréquent et plus facile l'examen des toiles métalliques, on augmentait le pouvoir lumineux des lampes, qui sont trop fréquemment enfumées, et on évitait le danger permanent créé par la suie attachée aux fils et qui peut s'enflammer accidentellement. Peut-être pourrait-on craindre une usure plus rapide des toiles métalliques, mais il eût fallu laisser l'expérience prononcer sur ce point, et les appareils essayés étaient sans doute susceptibles d'améliorations.

§ II. — LAMPES ÉLECTRIQUES.

L'électricité, qui a déjà rendu tant de services à l'industrie, est appelée à en rendre de nouveaux à l'exploitation des mines en permettant l'emploi de lampes sans flamme dans les excavations souterraines où abonde le grisou, et où les lampes de sûreté ordinaires n'offrent pas les garanties de sécurité suffisantes. Malheureusement, la lumière de ces lampes, réduite à une simple phosphorescence, est réellement si peu éclairante que les ouvriers ne les ont acceptées que dans des cas tout à fait exceptionnels. Quoiqu'il en soit, l'éclairage électrique peut être d'une utilité réelle dans certaines circonstances, et les appareils employés

jusqu'ici sont probablement susceptibles d'être modifiés de manière à obtenir un pouvoir lumineux plus considérable.

L'idée d'employer la bobine de Rühmkorff et les tubes de Geissler comme moyen d'éclairage n'est pas nouvelle ; mais leur application spéciale aux travaux d'exploitation des mines paraît due à MM. DUMAS et BENOÎT. Leur appareil a été décrit avec détails dans les *Annales des mines*, dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, dans la *Revue universelle*, et plusieurs autres publications. Nous rappellerons donc seulement que dans le tube qu'ils employaient le vide était fait sur l'acide carbonique, ce qui donnait une lumière blanche, malheureusement peu persistante, parce que l'acide carbonique se décomposait rapidement sous l'action de l'étincelle électrique.

La lampe exposée par M. GAIFFE, de Paris, ne présente pas le même inconvénient (pl. XXXI, fig. 9). Les spirales du tube de Geissler sont faites en verre d'urane, qui donne une lumière verte ; le vide est fait sur un gaz simple, l'azote, qui fournit une lumière rose ; ces deux couleurs complémentaires donnent une lueur sensiblement blanche, durable et un peu plus intense que celle obtenue avec l'acide carbonique.

L'appareil complet, dont le prix est de 70 francs, se compose d'une petite bobine, d'une pile et d'un tube de Geissler à spirales en verre d'urane T remplies d'azote pur et sec. Elles sont renfermées dans une enveloppe en verre ordinaire, où le vide a été pratiqué. Aux deux extrémités du tube sont fixés les rhéophores. Tout le système est contenu dans une éprouvette E en cristal fort épais pour éviter sa rupture par un choc accidentel. L'éprouvette est fermée au moyen d'une capsule de caoutchouc C, traversée par les rhéophores, dont les prolongements R et R' sont recouverts de gutta-percha. La pile et la bobine sont contenues dans une sorte de giberne portée sur le dos par le mineur, tandis que la lampe est suspendue à ses vêtements sur la poitrine. La pile peut fonctionner huit à dix heures sans interruption. Le poids de l'appareil ne dépasse pas 3^k,500.

M. ALVERGNAT, de Paris, avait exposé une lampe électrique, basée également sur l'emploi du verre d'urane et de l'azote.

M. le capitaine du génie JOLY a expérimenté les lampes électriques à l'azote et a trouvé qu'elles peuvent fonctionner quinze cents heures de suite sans être remplacées. Les lampes à l'acide carbonique ne peuvent marcher qu'une dizaine d'heures, à cause de la décomposition de l'acide carbonique.

La faible lumière donnée par les lampes dont il vient d'être question a fait songer, depuis longtemps, à l'emploi de l'arc voltaïque et d'un régulateur à charbons. Mais ces appareils, qui peuvent convenir pour éclairer de grands chantiers de travaux publics, des carrières, des constructions, ne sauraient s'appliquer avec le même avantage à l'exploitation des mines, où les chantiers d'abatage sont restreints et multipliés; les conditions de conservation des instruments seraient très-mauvaises, leur entretien difficile, et la rupture d'une lampe ou d'un conducteur pourrait entraîner les conséquences les plus désastreuses; les conducteurs devraient avoir un développement considérable, qui en rendrait la surveillance d'autant plus incertaine. Enfin, au point de vue économique, dans l'état actuel des choses, la production de l'électricité nécessaire pour ce genre d'éclairage serait certainement onéreuse pour l'exploitation.

§ III. — INDICATEURS DE GRISOU.

Les appareils destinés à déceler la présence du grisou ou de tout autre gaz détonant ne sont pas seulement applicables au service des mines de houille; ils peuvent encore prévenir les explosions de gaz d'éclairage dans les appartements et dans les établissements publics, et, en généralisant le principe sur lequel ils sont basés, il est à croire que l'industrie pourrait les utiliser avantageusement.

La première idée de ces instruments paraît due à M. CHUARD, que nous retrouvons en 1867 parmi les expo-

sants du Champ de Mars, et elle remonte au moins à vingt-cinq ans ; car, le 24 avril 1843, M. RÉGNAULT, au nom de ses collègues, MM. ARAGO et DUMAS, présentait à l'Académie des sciences un rapport sur l'appareil de M. CHUARD.

Cet appareil (pl. XXXI, fig. 10), auquel l'auteur avait donné le nom de *gazoscope*, est une espèce d'aréomètre à gaz, sensible à de très-petites variations survenues dans la densité de l'air au milieu duquel il se trouve plongé. Il se compose d'un grand ballon, dit *ballon aérien*, en verre très-mince, soufflé à la lampe d'émailleur. Ce ballon nage dans l'air dont il doit indiquer les variations de densité. Il porte à sa partie inférieure une tige métallique très-mince qui le relie à un second ballon plein d'air et hermétiquement fermé, appelé *flotteur*. Ce second ballon flotte dans l'eau d'un réservoir. Pour maintenir tout l'appareil dans une position verticale stable, une masse de plomb servant de lest est attachée au-dessous du flotteur. Le ballon aérien est percé à sa partie inférieure d'un très-petit trou, qui permet à l'air intérieur de se mettre à chaque instant en équilibre de tension avec l'air extérieur, sans que le mélange des gaz puisse se faire néanmoins trop rapidement.

Ceci posé, supposons le gazoscope placé à la région supérieure d'un espace dans lequel peut se produire un dégagement de gaz hydrogène carburé, sans que la température de l'eau du réservoir soit modifiée. Le gaz, plus léger que l'air, se portera vers les couches supérieures de l'espace considéré et en diminuera sensiblement la densité. Par suite, l'équilibre du ballon aérien sera rompu, et il tendra à descendre. La sensibilité du système sera d'autant plus grande que le ballon aérien aura une capacité plus grande, et que la tige qui le relie au flotteur aura un plus faible diamètre.

Pour se dispenser de l'observation directe des mouvements du ballon, la tige porte un petit disque d'acier qui, pour une descente déterminée, se trouve dans la sphère d'attraction d'un aimant en fer à cheval placé sur le couvercle du réservoir. Le disque vient alors s'appliquer sur l'aimant et

dans son trajet rencontre un levier qui fait partir un carillon ou une sonnerie électrique. On a ainsi un signal acoustique indiquant la présence du gaz explosible et même sa proportion approximative, puisque l'on a pu déterminer d'avance la quantité dont le ballon descend pour la composition qui rend le mélange dangereux. En remplaçant la tige verticale par une tige plate sur laquelle seraient tracées des divisions, l'appareil fonctionnerait comme un aréomètre à volume variable, et, si la graduation avait été faite convenablement, il indiquerait, d'une manière suffisamment exacte, la composition de l'air à un moment quelconque.

Cet instrument présente une cause d'erreur sérieuse, en ce que si la température de l'eau du réservoir vient à s'élever, cette eau change de densité, et le flotteur s'y enfoncera en faisant descendre le ballon aérien, bien que l'air ait gardé sa composition normale. Cette cause d'erreur est partiellement compensée par la dilatation du flotteur produite par l'élévation de température. Elle peut être négligée dans la pratique des mines, parce que la température des galeries reste sensiblement constante. L'objection principale à faire à cet appareil tient donc surtout à sa fragilité et à la difficulté de le maintenir en bon état de service dans les conditions où il devrait être placé.

Pour les mines, M. CHUARD remplace le ballon de verre par un ballon métallique de 2 litres, soit en cuivre et pesant 22 grammes, soit en argent du poids de 14 grammes. Les divisions, distantes de 5 millimètres, correspondent à des quantités de 20/100 de gaz hydrogène protocarboné. L'appareil est sensible à 1/180 de gaz.

Le gazoscope a valu à son auteur un prix de 2,000 francs décerné par l'Académie des sciences et un de 500 francs donné en 1845 par la Société d'encouragement, sur le rapport de M. Bussy. En 1867, M. CHUARD a été proposé pour le prix Monthyon, en raison de cette invention. M. Mathieu, ingénieur de la mine de Douchy, expérimente cet appareil, ce qui permettra de constater sûrement son mode de fonctionnement dans la pratique.

M. ANSELL a proposé des indicateurs de grisou basés sur le principe de la diffusion des gaz, et dont il a présenté plusieurs modèles. Les principaux ayant déjà été décrits dans la *Revue* (1), nous n'y reviendrons pas, mais il convient d'observer que ces appareils, d'une disposition ingénieuse d'ailleurs, ne doivent fournir que des indications fort imparfaites. Les gaz, dans le dialyseur, ne passent pas tous avec la même facilité ; on ne peut donc espérer que le mélange extérieur traverse la paroi poreuse sans que la proportion de ses éléments soit altérée. Il en résulte que l'indicateur peut donner l'alarme sans qu'il existe de danger réel, comme aussi il pourrait ne pas signaler la présence de la quantité de grisou rendant le mélange détonant. Des expériences faites avec précision pourraient seules répondre à cette objection et dire ce qu'elle vaut en pratique, mais il ne paraît pas qu'elles aient été faites et la certitude des indications reste très-douteuse.

La question des indicateurs de grisou étant à l'ordre du jour, il n'est pas sans intérêt de faire connaître un autre appareil du même genre, encore peu connu, et qui a été inventé par M. MONNIER, de Nyon (Suisse). Cet appareil ne comporte pas les mêmes chances d'erreur que les dialyseurs d'Ansell, et son principe mérite d'être signalé.

L'indicateur de M. MONNIER (pl. XXXI, fig. 11) se compose d'un tambour cylindrique A, muni de deux soupapes circulaires F, G ; ces soupapes s'ouvrent lorsque leurs leviers I, K sont attirés par l'électro-aimant Y, c'est-à-dire lorsqu'un courant électrique passe dans le fil enroulé, et se ferment lorsque le courant est interrompu. Un pendule règle le passage du courant, et, par suite, les soupapes s'ouvrent et se ferment à des intervalles de temps égaux, par exemple toutes les cinq ou dix minutes. Pendant l'ouverture des soupapes, le tambour se remplit de l'air de la mine, et, lorsqu'elles sont fermées, l'étincelle d'une bobine de Rühmkorff jaillit entre les fils M, N. Si donc le mélange de gaz constituant l'atmosphère de la mine a une composition qui le rende détonant, l'explo-

(1) Voir *Revue universelle*, t. XXII, p. 465.

sion se produira, mais dans l'intérieur de la boîte et sans communication avec le milieu ambiant; la force expansive des gaz, au moment de l'explosion, soulève la soupape H et établit le contact entre la tige de fer perpendiculaire à la soupape et l'électro-aimant X, d'où résulte la mise en marche d'une sonnerie ou de tout autre signal avertissant du danger.

L'appareil de M. MONNIER présente une disposition complémentaire qui suffit à le distinguer des autres instruments du même genre et qui mérite d'être étudiée avec soin. Considérant que, lorsque l'air de la mine fait explosion dans le tambour A, sous l'influence de l'étincelle électrique, le danger est déjà arrivé et qu'un accident peut se produire en même temps que l'indication est donnée, M. MONNIER a songé à composer dans le tambour une atmosphère artificielle dont la composition soit à celle de l'air de la mine supposé explosible dans un rapport connu. Il y parvient en introduisant par la tubulure T, et seulement lorsque les soupapes F, G sont fermées, une proportion d'hydrogène provenant du réservoir R et capable de rendre le mélange détonant; l'explosion ayant lieu pour de certaines quantités des gaz composants connues d'avance, on sait par la consommation d'hydrogène la composition de l'air de la mine à chaque instant, et l'*approche* du danger est signalée avant qu'il soit imminent.

C'est ce résultat que M. Paul THÉNARD avait cherché à obtenir en proposant un système d'analyse eudiométrique qui n'a pu passer dans la pratique, parce qu'il exigeait un opérateur spécial et des déterminations trop fréquemment répétées de la quantité de grisou existant dans la mine. Un appareil automatique sera toujours plus facilement applicable, malgré les défauts inhérents à ce genre d'appareils, et qui sont surtout la complication des organes et l'incertitude où l'on doit être du bon état de l'instrument précisément au moment où il devrait fonctionner.

En terminant, nous observerons que, si les appareils indicateurs de grisou peuvent fournir des indications utiles et contribuer à exercer sur la ventilation l'influence d'un con-

trôle qui doit être incessant, il ne faudrait pas leur attribuer une importance exagérée au point de vue de la sécurité. En temps ordinaire, dans les mines bien ordonnées, le service de l'aérage fonctionne d'une manière suffisante, et la présence d'une certaine quantité de grisou n'offre pas de grands inconvénients, avec des lampes de sûreté en bon état et en faisant abstraction des imprudences coupables des ouvriers. Le danger survient rapidement lorsqu'on rencontre des poches remplies de gaz hydrogène carboné sous pression, qui se dégage subitement et envahit les travaux en quelques instants. Dans ce cas, l'indicateur révélera un danger présent, que l'examen des lampes fait reconnaître aussi, mais une catastrophe pourra déjà être survenue avant que les indications de l'observateur ne soient transmises aux ouvriers. Ces appareils nous apparaissent donc surtout comme d'utiles auxiliaires de la surveillance générale à exercer sur la ventilation, et cela suffit pour appeler sur ces moyens nouveaux de contrôle l'attention des ingénieurs des mines.

S. JORDAN

REVUE DE L'INDUSTRIE DU FER EN 1867 ⁽¹⁾.

PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE.

CHAPITRE IV. — PRUSSE ET ALLEMAGNE DU NORD.

Nous réunissons dans ce chapitre la Prusse et les divers États allemands qui lui sont unis par le lien de la Confédération du Nord, c'est-à-dire tout le territoire de l'Europe centrale compris entre les mers Baltique et du Nord et le 50° degré de latitude, d'une part, entre la Russie et la Hollande, d'autre part. Il est formé par les terrains géologiques les plus divers, depuis les couches alluviales et diluviennes qui composent les plaines de la Prusse, de la Poméranie, du Brandebourg, du grand-duché de Posen, du Mecklembourg, du Holstein et de la majeure partie du Hanovre, jusqu'aux terrains de transition du Hartz et de la Westphalie, et aux schistes cristallins et roches éruptives des monts Sudètes en Silésie, et du Thuringerwald en Saxe. On y trouve des minerais de fer presque partout, mais de qualités fort diverses : dans les plaines basses, les fers limoneux hydratés (*raseneisenerze*) sont généralement de qualité trop médiocre pour que leur exploitation prenne une grande importance ; c'est

(1) Suite. Voir t. I, p. 159, et t. III, p. 1.

plutôt dans les provinces montagneuses que la sidérurgie occupe une place considérable dans l'industrie indigène.

La Prusse est un pays essentiellement métallurgique ; ses mineurs et ses fondeurs se trouvent aux premiers rangs dans l'histoire de la métallurgie. Celle-ci y est enseignée depuis longtemps dans des écoles spéciales et des universités : l'académie des mines de Berlin où la métallurgie est professée par MM. Kerl et Wedding, l'académie des mines de Clausthal, les écoles de mines de Tarnovitz, de Waldenburg, de Eisleben, de Bochum, de Siegen, de Saarbruck, de Dillenburg. Aussi l'exposition métallurgique prussienne présentait-elle un intérêt considérable par sa richesse et par la méthode qui avait présidé à son arrangement. On y remarquait une exposition collective de tous les minéraux utiles du royaume, classée et cataloguée par M. Wedding, dont le catalogue détaillé, libéralement distribué aux visiteurs compétents, est un travail fort commode pour se rendre compte de la richesse minérale de la Prusse.

Pour étudier les usines allemandes, nous les diviserons en huit groupes, savoir :

1° Le groupe de Silésie comprenant les usines de la haute et de la basse Silésie, et toute la Prusse orientale ;

2° Le groupe du Hartz, comprenant des usines prussiennes, hanovriennes et saxonnes ;

3° Le groupe du Teutoburgerwald dont les usines sont hanovriennes et prussiennes ;

4° Le groupe de Westphalie ;

5° Le groupe de Siegen, formé par les usines prussiennes de la rive droite du Rhin ;

6° Le groupe de Nassau et de Hesse, comprenant aussi les usines de Thuringe (pays de Schmalkalde, Saxes ducales) ;

7° Le groupe du Rhin, comprenant diverses usines de la rive gauche du Rhin ;

8° Le groupe de Saarbruck, comprenant quelques usines situées sur le bassin houiller de ce nom.

PREMIER GROUPE.

GROUPE DE SILÉSIE.

Nous comprenons dans ce groupe toutes les usines à fonte qui dépendent de l'Inspection générale des mines (*Oberbergamtbezirk*) de Breslau. Elles sont toutes prussiennes et réparties presque toutes dans la haute Silésie ; une seule se trouve dans la basse Silésie ; les rares hauts fourneaux du grand-duché de Posen et de la Prusse proprement dite, sont restés inactifs en 1866. Elles étaient représentées à l'Exposition par six d'entre elles. Voici le nom et l'importance des plus considérables :

DISTRICTS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Haute Silésie.	Königshütte.	L'Etat.....	7 au coke.
—	Gleiwitz.	Id.	2 —
—	Kreuzburg.	Id.	1 au bois.
—	Malapane.	Id.	1 —
—	Antonienhütte.	Comte de Donnersmark.	4 au coke.
—	Laurahütte.	Id.	6 —
—	Donnersmarkhütte.	Id.	2 —
—	Hugohütte.	Id.	1 —
—	Hubertushütte.	M. de Tiele Winkler....	4 —
—	Kattowitzerhütte.	Id.	1 —
—	Marienhütte.	Id.	2 —
—	Roffzin.	Id.	1 au bois.
—	Tarnowitzerhütte.	Société Vucain.....	4 au coke.
—	Borsigwerk à Zabrze.	M. Borsig.....	2 —
—	Eintrachtshütte.	M. Egells.....	2 —
Basse Silésie.	Egellshütte.	Id.	2 —
—	Vorwaertshütte.	Société anonyme.....	5 —
—	Neusalz.	M. F. W. Krause.....	1 au bois.

Nous en passons beaucoup ; le nombre des usines existantes est d'environ 60. En 1866, sur 145 hauts fourneaux il y en avait 82 en feu, dont 48 au coke et 34 au charbon de bois. Leur production a été :

Au coke	166 726 tonnes de fonte
Au charbon de bois.	21 691 —
Total . . .	188 417 tonnes de fonte.

Les hauts fourneaux au bois diminuent rapidement en nombre : pour 38 qui étaient en feu en 1866, il y en avait 42 éteints. Le coke et la houille que consomment les autres usines sont fournis par les deux bassins houillers de la haute Silésie et de la principauté de Waldenburg.

Minerais.

On exploite dans notre groupe des minerais des natures les plus diverses ; ainsi que le montre le tableau ci-dessous de l'extraction en 1866 :

Minerais limoneux de prairies	18 854 tonnes à 5 fr. 22 les 1 000 kil.			
Hématites brunes en couches.	373 353	—	4	62 —
Carbonates argileux.	55 300	—	9	62 —
Hématites rouges.	6 500	—	12	12 —
Minerais magnétiques. . . .	2 794	—	15	04 —

En tout. . . . 456 801 tonnes.

Les minerais limoneux (*raseneisensteine*) sont exploités dans quelques vallées de la haute Silésie (près Malapane et Kreuzburg) et dans les parties plates de la basse Silésie. Quelques exploitations se trouvent aussi dans le grand-duché de Posen, dans la Prusse proprement dite et dans la Poméranie ; mais les hauts fourneaux qu'elles alimentaient sont maintenant éteints. Ces minerais sont notablement phosphoreux.

Les hématites brunes s'exploitent surtout dans le Muschelkalk de la haute Silésie, où elles forment des couches très-irrégulières d'épaisseur. Elles sont la plupart du temps friables ou pulvérulentes, avec peu de morceaux solides, et s'exploitent à une faible profondeur. Souvent elles renferment du zinc et du sulfure de plomb. On les exploite à Tarnowitz, Trockenberg, Beuthen, Naclo, etc., et l'administration des mines prussienne en avait exposé divers spécimens.

Le terrain houiller de la haute Silésie n'est pas très-riche en minerais de fer : cependant on y exploite quelques carbonates lithoïdes à Zalenze et Myslowitz. Dans la basse Silésie, le bassin houiller de Waldenburg fournit des car-

bonatés lithoïdes (mine Glückhülf à Hermsdorf), des black-bands ou carbonatés schistobitumineux (mine Émilie-Anna à Gablau), et même des carbonatés spathiques grenus à Schwarzwaldau.

On exploite encore dans les terrains keupériens, jurassiques et tertiaires de la haute Silésie, des minerais argileux, tantôt carbonatés, tantôt hydratés, qu'on trouve en amas, rarement en couches (exemple à Ludwigsdorf, Dammratsch). Enfin les terrains cristallins des monts Sudètes, entre la Silésie et la Bohême, fournissent quelques minerais de formation plus ancienne, comme les oxydes magnétiques de Schmiedeberg, exploités dans les schistes cristallins pour l'usine de Vorwärtshütte, les oxydes magnétiques mélangés d'hématite brune de Volpersdorf, et les hématites rouges de Willmannsdorf, qui se trouvent en couches dans les schistes argileux.

Voici les analyses de quelques minerais de la basse Silésie :

	Minerai magnétique de Schmiedeberg.	Minerai houiller grillé de Gablau.	Minerai houiller de Glückhülf.
Oxyde magnétique.	79,49	»	»
Peroxyde de fer. .	6,99	59,90	»
Protoxyde de fer .	»	»	53,11
Silice.	3,18	25,00	14,20
Alumine	5,94	11,70	4,96
Chaux	2,46	3,60	»
Soufre	»	0,80	»
Acide carbonique et eau	1,94	»	27,73
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Combustibles.

Les hauts fourneaux au coke de la haute Silésie sont alimentés par les riches bassins houillers de Koenigshütte et Zabrze, de Nicolai, de Czernitz et Petrzkowicz. Ces bassins fournissent des charbons gras, demi-gras et maigres, que l'on transforme en coke dans des fours de diverses natures.

Dans la basse Silésie, les hauts fourneaux au coke consomment le coke fabriqué avec les houilles collantes du bassin de Waldenburg, et qui renferme environ 10 pour 100 de cendres.

D'après les documents officiels les houilles valaient en moyenne : dans la haute Silésie, 4 fr. 80 les 1000 kilogrammes, en 1866 ; dans la basse Silésie, 7 fr. 80 les 1000 kilogrammes, en 1866.

Usines royales.

Nous renverrons le lecteur pour la description de ces usines aux détails donnés par M. Wedding dans le *Traité de Métallurgie* de M. Percy (t. III de la traduction française, p. 383), et nous nous contenterons de rapporter les renseignements qui figuraient à l'Exposition.

L'usine de Malapane a été fondée en 1753. L'unique haut fourneau a produit en 1866, pendant les cinquante-deux semaines de roulement, 637 900 kilogrammes de fonte en gueuses et en moulages valant 144 982 fr. 50 ; la production hebdomadaire moyenne a donc été 12 265 kilogrammes. La consommation par 1000 kilogrammes de fonte a été de 4 240 kilogrammes de minerais, 260 kilogrammes de bocages, 807 kilogrammes de castine et 108 hectolitres de charbon de bois. Les minerais sont les hématites brunes ocreuses de Grosstein, et les hydratés argileux de Babkowsky, assez difficiles à réduire et à fondre. On a essayé autrefois l'emploi de la tourbe crue et carbonisée comme combustible.

On produit surtout à Malapane des fontes grises et truitées destinées à la fabrication des moulages trempés : la conduite du haut fourneau y présente une particularité assez curieuse. Pour obtenir la fonte truitée qui sert aux moulages trempés, on laisse d'abord le fourneau en allure chaude et le creuset se remplir en partie de fonte grise ; puis on change assez brusquement l'allure pour obtenir de la fonte blanche, en augmentant la charge de minerai, en diminuant celle de

charbon et en forçant la pression du vent. Il n'est pas surprenant qu'avec ce système la consommation de combustible par tonne de fonte soit considérable. La fonderie de Malapane, qui comprend aussi un cubilot et un four à réverbère, a une certaine réputation pour les moulages trempés : elle fabrique surtout des roues de wagon et des cylindres de laminoirs destinés aux usines à zinc, aux forges royales et à la monnaie de Berlin. Elle avait exposé une série de cylindres présentant un beau poli, mais dont la fracture ne montrait pas cet insensible passage du blanc cristallin au gris qui fait le mérite des fontes Gruson, par exemple.

Le haut fourneau de Kreuzburg a produit par semaine 20580 kilogrammes ; le prix de revient de la fonte y a été en 1866 de 120 francs la tonne.

A Gleiwitz, le seul haut fourneau en feu en 1866, Karsten, a produit 5028400 kilogrammes de fonte au coke, d'une valeur de 478530 francs ; la production hebdomadaire moyenne a été 96700 kilogrammes, et le prix de revient à l'usine de la tonne de fonte de 81 fr. 50. La consommation par tonne de fonte a été en moyenne de 2400 kilogrammes de minerai, 470 kilogrammes de scories de fours à réchauffer, 53 kilogrammes de bocages, 1087 kilogrammes de castine, 1960 kilogrammes de coke. C'est à Gleiwitz que fut allumé, en 1796, le premier haut fourneau au coke du continent. L'usine comprend non-seulement deux hauts fourneaux, mais encore une fonderie avec deux fours à réverbère et trois cubilots, une émaillerie et un atelier de construction de machines. Elle avait exposé des fontes de moulage assez ordinaires et une plaque de 10 centimètres d'épaisseur trempée à une profondeur de plus de 5 millimètres.

L'usine de Königschütte, la plus grande des usines royales, a été fondée en 1797 ; elle a été la seconde sur le continent à employer le coke dans des hauts fourneaux. Héron de Villefosse la cite comme un modèle à suivre dans son ouvrage sur la richesse minérale. Les hauts fourneaux ont une hauteur de 12 à 15 mètres et ne présentent rien de particulier comme profil : cuve rétrécie au gueulard, ventre cylindrique,

étalages coniques et ouvrage : leurs dimensions varient. Ils traitent les hématites brunes de Beuthen, de Naklo et de Tarnowitz, les minerais houillers de Zalenze, auxquels on mélange une certaine proportion de scories d'affinage pour les fontes de deuxième et troisième qualités; le fondant employé est un calcaire du Muschelkalk exploité à Chorzow; le combustible est le coke fabriqué avec le charbon demi-gras de Königsgrube. Le rendement des lits de fusion varie de 29 à 33 pour 100 ordinairement. Les fontes que l'on fabrique sont des fontes de moulage n^{os} 2 et 3, des fontes d'affinage grises, truitées et blanches de trois qualités différentes; on a fabriqué aussi des fontes à Bessemer qui ont donné des résultats assez médiocres, avec des minerais de Beuthen additionnés de 35 pour 100 de castine; toutes ces fontes renferment des traces assez considérables de phosphore (plus de 1/2 pour 100) ⁽¹⁾. Königsbütte comprend sept hauts fourneaux avec une fonderie importante munie de cubilots et de fours à réverbère chauffés au gaz (voir pl. XXVII, fig. 3). Elle transforme une partie de ses fontes brutes en pièces

(1) On a découvert depuis peu, dit-on, à Lagiewnik, des hématites brunes, relativement dépourvues de phosphore.

Voici leur analyse, d'après *The Engineer* :

Silice	24,88	34,32
Alumine	6,47	11,79
Peroxyde de fer. . .	52,37	39,02
Oxyde de manganèse.	4,65	3,19
Acide phosphorique.	0,10	0,10
Eau	»	9,52

Elles reviennent à Königsbütte de 6 fr. 50 à 7 francs les 1 000 kilogrammes. La première, avec addition de 70 pour 100 de dolomite donne à l'air froid une fonte ne renfermant que 0,152 pour 100 de phosphore, et dont on fabrique un métal Bessemer passable.

Le haut fourneau est soufflé par 5 tuyères de 62 millimètres de diamètre; son ouvrage à 1^m,67 de diamètre aux tuyères et il produit 85 à 95 tonnes de fonte par semaine, avec une consommation de 2 400 kilogrammes de coke par 1 000 kilogrammes de fonte; la pression du vent est de 17 centimètres de mercure et sa température n'est que de 75 à 100 degrés centigrades (d'après *The Engineer*).

moulées, une autre en lingots finés au bas foyer ou au four à gaz destinés à la forge d'Alvensleben, une autre en acier Bessemer.

Voici les résultats des hauts fourneaux pour 1866 :

Dans les sept fourneaux en feu (Krug de Nidda, Carnall, Schleinitz, de Heydt, Reden, Gerhard et Pommer-Esche), dont les trois derniers ont été éteints au milieu de l'année, après des campagnes respectives de 211, 498 et 619 semaines, tandis que les quatre premiers sont arrivés à 39 $\frac{3}{7}$, 141, 123 et 79 semaines, on a fabriqué pendant 266 $\frac{5}{7}$ semaines de soufflage, 27390 tonnes de fonte. La production hebdomadaire moyenne d'un haut fourneau a été de 102 tonnes $\frac{1}{2}$; celle du fourneau Krug de Nidda, considéré isolément 150 tonnes. La consommation moyenne par 1000 kilogrammes de fonte a été 3150 kilogrammes de minerais, 1220 kilogrammes de chaux et 37,95 hectolitres de coke. Le prix de revient de la fonte à l'usine, sans compter les frais généraux, a été de 72 francs la tonne environ.

L'usine de Koenigshütte, dirigée par l'administration royale des Mines, peut être considérée comme une grande usine d'essais où les ingénieurs royaux se livrent depuis longues années, à de nombreuses expériences sur la fabrication de la fonte, du fer et de l'acier, expériences dont ils font ensuite profiter le public par des mémoires insérés dans leur recueil officiel. Je ne pourrais tenter de les rapporter ici. Je rappellerai seulement qu'on a essayé en 1860 une construction de cuve en gradins renversés, au fourneau de Schleinitz, qui a, dit-on, fourni une économie assez sensible dans la consommation du coke. Bien antérieurement, et aussi depuis, on a employé du spath fluor introduit par les tuyères, pour dissoudre des engorgements et pour améliorer la qualité de la fonte. Dernièrement on a essayé, sans grand succès, l'emploi dans les charges du chlorure de calcium, pour déphosphorer la fonte à Bessemer. Je ne dis rien des essais de houille crue comme combustible dont on trouve les résultats dans les revues allemandes. Malgré son impor-

tance scientifique et classique, l'usine de Kœnigshütte avait une exposition assez insignifiante et peu instructive pour le visiteur.

Voici les analyses de deux fontes silésiennes, l'une fabriquée à Malapane avec des hématites, au charbon de bois et à l'air chaud, l'autre fabriquée à Kœnigshütte à la houille crue :

	I.	II.
Fer	»	»
Carbone combiné.	0,682	0,510
Graphite.	2,919	2,450
Silicium	0,682	4,580
Manganèse.	»	1,900
Soufre.	0,013	traces.
Phosphore	2,180	0,442.

Autres usines silésiennes.

La Silésie était assez pauvrement représentée à l'Exposition. La collection la plus intéressante de fontes et de laitiers était exposée par les usines de Laurahütte et d'Antonienhütte, appartenant au comte Hugo-Henckel de Donnersmark; on y remarquait des fontes de belle qualité, des spiegeleisen, des laitiers cristallisés fort curieux, mais aucune notice n'expliquait ces produits. A Laurahütte, fondée en 1839, se trouvent six hauts fourneaux au coke, et on produit ordinairement 16 000 tonnes de fonte par an. A Antonienhütte, fondée en 1861, se trouvent quatre hauts fourneaux qui travaillent à la houille crue, et on fabrique par an environ 20 000 tonnes de fonte. Aucune autre usine de la haute Silésie n'avait exposé.

La basse Silésie était représentée par les usines Egells et Vorwärtshütte, qui n'exposaient que quelques morceaux de fonte assez insignifiants : la dernière cependant avait des fontes grises n° 1 de belle qualité. Dans la classe 65 on trouvait encore des marmites émaillées provenant du haut fourneau de Neusalz à M. Krause.

Malgré cette pénurie à l'Exposition, la Silésie, comme on l'a vu plus haut, n'en renferme pas moins de très-impor-

tantes usines. Dans la haute Silésie, elles fabriquent des fontes plus ou moins analogues à celles de Kœnigshütte ; toutefois celles de Laurahütte paraissent de qualité bien supérieure. Elles traitent les minerais hématites brunes un peu zincifères ou plombifères du pays, en mélange avec des minerais houillers. Le combustible généralement employé est le coke fabriqué dans des fours, quelquefois du système Schaumburg ; la houille menue coûte de 15 à 20 centimes l'hectolitre. Les hauts fourneaux sont souvent à base carrée passant à la tour ronde par des raccords à huit ou à seize pans ; leurs profils n'ont rien de spécial. Les machines soufflantes sont partout verticales et à action directe, généralement avec le cylindre vapeur en bas et le cylindre soufflant en haut, l'arbre du volant conduit par des bielles en retour se trouvant en dessous du cylindre soufflant. Voici les dimensions d'une machine semblable, du système Woolf, établie dans l'usine de Tarnowitz :

Diamètre du grand cylindre à vapeur.	1 ^m ,170
— du petit cylindre à vapeur	0 ^m ,516
— du cylindre soufflant	2 ^m ,600
Course des trois pistons.	2 ^m ,810
Surface d'aspiration en décimètres carrés. . . .	81
Surface de refoulement	7½
Nombre de coups par minute.	10,05
Vent fourni par minute en mètres cubes . . .	296
Pression du vent en centimètres de mercure. .	12,7
Pression de la vapeur	2 ^{atm} .
Surface de la chauffe des chaudières	160 ^m ,55
Charbon consommé par minute	5 ^k ,838

Mais la plupart sont à un seul cylindre à vapeur et travaillent sans condensation et avec faible détente (1/2 environ). Les monte-charges sont presque tous à vapeur.

Dans la basse Silésie, l'usine la plus importante est celle de Vorwärtshütte, qui a été créée pour traiter surtout les minerais magnétiques du Schmiedeberg (40 à 50 pour 100 de fer). On mélange avec ces minerais les blackbands de Gablau (33 pour 100), des minerais lithoïdes houillers (35 pour 100)

et quelques autres provenances accessoires. Tous ces minerais sont grillés dans des fours à cuve, et les deux premières sortes, plus sulfureuses que les autres, sont grillées par le système Nordenskjöld (désulfuration par la vapeur d'eau surchauffée). Grace à cette précaution on obtient des fontes de bonne qualité. Les lits de fusion rendent 35 à 40 pour 100, et la consommation de coke est d'environ 1 660 kilogrammes par tonne de fonte grise et 1 340 kilogrammes par tonne de fonte blanche. La production hebdomadaire est maintenant d'environ 150 tonnes par semaine.

Les fontes de Silésie, en résumé, sont de qualité assez ordinaire et se prêtent peu à la fabrication de l'acier. On en fait des moulages et des fers de qualité courante.

DEUXIÈME GROUPE.

GROUPE DU HARTZ.

Les usines que nous réunissons dans ce groupe appartiennent à divers pays, au royaume de Prusse, à l'ancien royaume de Hanovre, au grand-duché de Brunswick, à la Saxe; elles sont situées dans le massif montagneux du Hartz ou sur les chaînons qui en dérivent. Voici les noms des principales :

PAYS.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Prusse.	Ilseburg.	Cte de Stolberg-Wernigerode.	2 au bois.
—	Lauchhammer.	Cte d'Einsiedel.....	1 —
Hanovre.	Rothebütte.	L'Etat.....	2 —
—	Königsbütte.	Id.	2 —
—	Altenau.	Id.	4 —
—	Lerbach.	Id.	1 —
Communauté.	Gittelde.	Id.	1 —
Brunswick.	Zorge.	Id.	2 —
—	Rübe'and.	Id.	1 —
—	Ilsede.	Une compagnie.....	2 au coke.
Anhalt.	Magdesprung.	Id.	1 éteint.

Il est difficile de savoir exactement le nombre des usines appartenant à notre groupe; toutefois je crois ne pas être

loin de la vérité en comptant 5 hauts fourneaux en Prusse, 12 en Hanovre, un dans la communauté hanovrienne-brunswickoise, 8 dans le grand-duché de Brunswick, en tout 26 hauts fourneaux produisant 20 à 25 000 tonnes de fonte par an. Ces usines à fer du Hartz ont une importance plutôt classique que matérielle. Héron de Villefosse, dans son ouvrage paru en 1810, leur consacre une place considérable. Il y a peu à ajouter à ce qu'il en dit, et j'y renverrai le lecteur qui voudrait des détails.

Le massif du Hartz est très-riche en minerais de fer de diverses natures qu'on trouve en filons et en couches dans les terrains de transition (silurien et dévonien) et dans le calcaire carbonifère. Dans les premiers on exploite des fers spathiques, à Stolberg, des hématites brunes et rouges, près d'Elbingerode, de Saint-Andreasberg, de Zellerfeld ; dans le second on exploite des sphérosiderites à Clausthal, des fers magnétiques près Harzburg, des hématites rouges à Lerbach et Lauterberg. Dans le terrain crétacé on trouve aussi, près de Goslar et de Peine, des hématites brunes manganières ; ces dernières alimentent l'usine d'Ilse. Voici la composition de quelques-uns des minerais qui alimentent le fourneau de Rothehütte, d'après M. Kuhlmann ⁽¹⁾ :

	Hématite rouge calcaire.	Hématite brune siliceuse.	Hématite brune argileuse.
Peroxyde de fer	36,94	51,92	54,09
Silice	6,61	38,64	27,05
Alumine.	3,16	1,58	8,82
Chaux.	32,55	0,04	2,05
Magnésie	0,54	6,03	1,77
Soufre.	0,047	0,61	0,15
Acide phosphorique . .	»	0,25	»
Acide carbonique et eau.	20,20	2,52	9,90
	<u>100,047</u>	<u>101,59</u>	<u>103,82</u>

Tous les hauts fourneaux du Hartz sont au combustible végétal, sauf ceux d'Ilsederhütte qui marchent au coke. Ils

(1) *Berg und Hüttenmännisches Zeitung*, 1865, p. 209.

produisent des fontes employées soit au moulage, soit à l'affinage, soit à l'état de grenailles et bocages pour les nombreuses usines à plomb et à cuivre du pays.

L'usine d'Ilseburg existe depuis le quinzième siècle : elle produit, avec un fourneau en feu, 1800 à 1850 tonnes de fonte par an. Tous les visiteurs de l'Exposition ont remarqué les admirables moulages sortant de cette usine : son directeur, M. Schett, a fait une étude spéciale des propriétés de la fonte liquide, et il est arrivé à obtenir des empreintes d'une délicatesse inconnue ailleurs, même dans nos fonderies de Champagne.

A Lauchhammer, on traite des minerais limoneux de la province de Brandebourg en mélange avec les minerais du Hartz. On fabrique aussi des moulages d'ornements qui occupaient une place remarquée dans le palais de l'Exposition. Dans ces fourneaux le rendement des lits de fusion est de 33 à 36 pour 100, et la consommation de charbon de 1000 kilogrammes environ par tonne de fonte.

A Rothehütte, les minerais sont, comme dans les usines précédentes, grillés avant d'être employés au haut fourneau. Les fours de grillage sont circulaires et ont une hauteur de 6 mètres environ. Le haut fourneau a 10^m,70 de hauteur. 1^m,89 de diamètre au gueulard, 2^m,40 au ventre, 78 centimètres au haut de l'ouvrage, 52 centimètres de côté au creuset ; la hauteur de l'ouvrage est de 1^m,57 et celle des étales 70 centimètres ; leur inclinaison est de 45 degrés. Les deux tuyères sont à 38 centimètres au-dessus de la sole, et ont une inclinaison de 11 degrés au-dessus de l'horizontale ; leurs axes sont distants de 25 centimètres. On produit 6 à 7 tonnes par jour avec des lits de fusion rendant 30 à 35 pour 100 et une consommation de charbon de 110 pour 100 de fonte grise. A Gittelde on fabrique des fontes lamelleuses aciéreuse : la production du haut fourneau est seulement de 800 tonnes par an.

Enfin on remarquait encore à l'Exposition des fontes fabriquées à Clausthal avec les scories cuivreuses de Rammelsberg. Un arbre généalogique indiquait, à la mode alle-

mande, les divers traitements que subissent les minerais de cuivre. Le voici :

MINERAIS DE CUIVRE.

On les grille en tas ou dans de petits fours à cuve, et on obtient :

Soufre	Ac. sulfurique	Selenium	Ac. arsénieux	Minerais grillés
Livré au commerce.	Livré au commerce.	Livré au commerce.	Livré au commerce.	On les fond dans des fours à cuve, et on obtient :

Scories.	Cuivre rosette.	Argent aurifère.
On les fond avec du coke dans des hauts fourneaux, et on obtient :	Livré au commerce.	Qui passe à l'affinage.

Fonte.	Laitiers.
Pour moulage et pour affinage.	Jetés au remblai.

Les laitiers sont porcelanisés, gris bleuâtre ; la fonte donne des moulages assez fins, mais d'une couleur grisâtre anormale. Les fers en barres exposés avec ces produits étaient nerveux, mais remplis de criques et d'écailles ⁽¹⁾.

TROISIÈME GROUPE.

GROUPE DU TEUTOBURGERWALD.

Nous avons formé ce groupe avec les usines hanovriennes et prussiennes des environs d'Osnabruck, Minden et Paderborn. Elles sont situées toutes à l'extrémité nord de la West-

(1) Voici la composition de quelques fontes du Hartz :

	Königshütte truitee à l'air froid.	Königshütte grise à l'air chaud.	Lerbach très-grise à l'air froid.	Lerbach très-grise à l'air chaud.	Gittelde blanche.
Graphite . . .	1,99	2,71	3,85	3,48	0,260
Carbone com- biné.	2,78	1,44	0,48	0,95	2,560
Silicium. . . .	0,71	3,21	0,79	1,91	0,518
Phosphore. . .	1,23	1,22	1,22	1,68	»
Soufre	traces.	traces.	traces.	traces.	0,047
Manganèse . .	traces.	traces.	traces.	traces.	2,490

Voici encore la composition de deux laitiers, le premier de l'usine de Zorge (fonte grise), le second de l'usine d'Isenburg (allure régulière

phalie et ne se trouvent point pour leurs approvisionnements et leurs débouchés dans les mêmes conditions que celles du bassin de la Ruhr. Leur nombre est du reste assez restreint; voici les principales :

PAYS.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Westphalie (Ibbenburen)	Gravenhorst.		2 au bois et tourbe.
Hanovre.	Meppen.		2 au coke et tourbe.
—	Georges-Marie.	Une société.....	4 au coke.
—	Neustadt.	—	2 au bois.
Westphalie (Minden).	Porta-Westphalica.	—	2 —
Westphalie (Paderborn).	Altenbeken.	M. H.-A. Langen..	2 —
—	Teutoniahütte.	M. Braselman et Co.	1 —

Toutes les usines prussiennes du groupe emploient des cokes du bassin de la Ruhr, sauf quelques hauts fourneaux au charbon de bois disséminés dans les districts de Munster et de Minden; ceux de Gravenhorst, après avoir consommé autrefois des tourbes comprimées, sont revenus au charbon de bois. La production annuelle de fonte au bois est d'environ 4 000 tonnes seulement. Dans le Hanovre, l'usine de

de fonte grise¹. Ce dernier était de texture vitreuse, sans soufflures et amorphe; la cassure était conchoïde; la couleur noire et grise, translucide dans les éclats isolés; le rapport des quantités d'oxygène dans les éléments était :

$$R^0 : Al^2 O^3 : SiO^2$$

$$9,56 : 3,54 : 20,72.$$

le laitier était donc compris entre le bisilicate et le trisilicate.

	Zorge.	Ilsenburg.
Silice	53,07	57,20
Alumine.	14,13	7,60
Protoxyde de fer . . .	0,95	2,65
Chaux	24,83	23,85
Magnésie.	2,57	2,35
Oxyde de manganèse.	0,63	1,03
Alcalis.	2,94	4,55
Soufre	0,54	»
	99,66	99,50

(D'après la *Berg und Hüttenmannisches Zeitung*.)

Neustadt emploie le charbon de bois, quelquefois mélangé de tourbe séchée.

Les minerais consommés dans le groupe sont d'espèces assez diverses. Dans le district de Minden, on exploite des minerais de prairie près d'Ibbenbüren, des hématites brunes du zechstein au même endroit, des oolithiques jurassiques près de Porta, des hydratés près de Hansberg. Dans le Hanovre on traite des minerais limoneux et des hydratés argileux à Meppen; près d'Osnabruck, on exploite dans le zechstein des hématites brunes et des fers spathiques, dans le terrain jurassique des hydratés argileux et des fers spathiques aussi. Dans le district de Paderborn on trouve des minerais oolithiques dans le lias, des minerais pisolithiques et des hématites brunes dans le terrain crétacé. L'analyse suivante d'un minerai limoneux traité à Meppen donnera une idée de la nature de ces minerais si abondants dans les plaines basses du Hanovre :

Peroxyde de fer	57
Silice et sable	20
Eau.	20
Acide phosphorique. . .	3
	<hr/> 100

Les deux usines les plus importantes sont celles de Porta-Westphalica qui a produit 5760 tonnes de fonte en 1866 et de Georges-Marie qui produit 37500 tonnes par an. Cette dernière est la plus considérable du Hanovre, et son installation mérite quelques détails. Nous en donnons le plan, d'après l'Exposition, pl. XVII, fig. 4.

L'usine de Georges-Marie, près Osnabruck, appartenant à une société par actions, a été fondée en 1856, avec un capital de 9375 000 francs. Elle exploite dans les argiles wealdiennes des couches de houille qui produisent de bon coke. Ses minerais sont des hématites brunes et des fers spathiques provenant des calcaires magnésiens du Teutoburgerwald. Sa consistance est : 250 fours à coke, 4 hauts fourneaux dont 3 en feu produisant par an 37500 tonnes de

fontes, 1 fonderie avec 2 cubilots produisant 1500 tonnes de moulages par an, surtout en tuyaux de conduite pour gaz, des ateliers de construction et de chaudronnerie avec 25 machines-outils pour la construction des moteurs à vapeur et appareils de mines ou d'usines. A l'usine même il y a en activité 15 machines à vapeur de 1185 chevaux ensemble, et 16 chaudières. A la houillère et à la mine de fer se trouvent encore d'autres machines. Un chemin de fer à locomotives, de 10 kilomètres, amène le minerai de fer à l'usine. 500 mineurs et 700 ouvriers sont occupés par Georges-Marienhütte.

Trois des hauts fourneaux sont à masse pyramidale; le quatrième est bâti sur colonnade. Il est muni d'une prise de gaz à trémie; son creuset-ouvrage cylindrique est percé pour cinq tuyères. Plusieurs de ces hauts fourneaux, sinon tous, dit-on, sont à poitrine fermée, et munis de l'appareil pour l'écoulement des laitiers imaginé par M. Lurmann, ingénieur de l'usine. J'ai vu cet appareil dans d'autres usines allemandes, et je ne le crois point applicable partout: il est du reste fort simple. Le creuset est fermé tout autour, sans avant-creuset; le trou de coulée est à sa partie inférieure sur l'un des côtés; le trou des laitiers, formé dans une pièce de fonte rafraîchie intérieurement par une circulation d'eau, se trouve sur le côté du creuset, à un niveau légèrement inférieur à celui des tuyères. On trouvera dans la *Revue universelle*, t. XXII, p. 358, le détail des avantages du système tels que les indique l'inventeur. Je n'ai pu le voir fonctionner: on venait de le démolir pour reconstruire un avant-creuset dans l'une des usines où je me suis présenté. Il exige certainement, pour sa réussite, un roulement avec une faible quantité de laitiers passablement fusibles; pour la plupart des fourneaux au coke, qui sont obligés de marcher avec des laitiers ultra-basiques et peu fluides, quand ils veulent des fontes supérieures, le système Lurmann serait probablement difficile à employer.

L'usine de Georges-Marie présente une disposition de halle à minerais qui mérite d'être signalée; elle est divisée en

compartiments au moyen de murs de refend, les minerais y arrivent par la partie supérieure. Des concasseurs, système Blake, portés par des trucs roulants, et commandés par des arbres de transmission longitudinaux munis de poulies en divers endroits, permettent de venir casser les minerais au-dessus même de l'emplacement où ils doivent s'emmagasiner. Les fours à coke, système Smet, munis de défourneurs mécaniques, envoient leurs flammes dans un carneau qui réunit celles de toute une batterie, et les distribue dans deux ou trois fourneaux de chaudières à vapeur : celles-ci sont transversales et munies de longs bouilleurs longitudinaux inclinés. Les machines soufflantes sont horizontales, du type de Hörde. Les appareils à air chaud, chauffés au charbon, sont à tubes cloisonnés suspendus par le haut.

L'usine exposait comme minerais : des fers spathiques à très-petits éléments, d'apparence presque oolithique, des limonites jaunes en roche et d'autres ocreuses en menuailles. Sa production, toute en fontes dites *fines* , comprend diverses variétés qui étaient exposées, savoir : 1° des fontes de moulage très-tenaces, employées dans le nord de l'Allemagne pour la construction de machines ; celles dites *très-grises* avaient un grain de numéro 2 faible, celles dites *de moulage* étaient du numéro 4, blanchissant légèrement à la surface ; 2° des fontes grises à Bessemer, très-estimées et consommées par les diverses aciéries du Zollverein. M. Bessemer les a essayées et leur a délivré un certificat qui constate qu'elles sont de qualité supérieure pour acier doux, malléable et soudable, comme pour acier dur ; l'acier qu'elles fournissent n'est rouverin ni à froid ni à chaud, et peut être employé en essieux, bandages, tiges et bielles ; leur grain, est du numéro 1 ordinaire ; 3° des spiegeleisen gris et blancs, bons pour la recarburation finale du procédé Bessemer ; ces fontes sont à lamelles beaucoup plus petites que celles des spiegeleisen du Rhin et probablement médiocrement manganésées ; 4° des fontes de puddlage blanches rayonnées, qui sont consommées dans la Prusse rhénane, la Saxe et le grand-duché d'Oldenbourg, surtout pour tréfileries, toleries et acié-

ries. L'usine de Georges-Marie se place parmi les plus importantes et les mieux dirigées des usines allemandes.

A Gravenhorst, à Alexishütte et à Meppen on emploie avec avantage du charbon de tourbe fabriqué dans des fours coniques de 2^m,80 de hauteur. Essayé d'après la méthode de Berthier, ce charbon donne plus d'effet utile que les cokes de la Ruhr.

QUATRIÈME GROUPE.

GROUPE DE WESTPHALIE.

Le groupe qui va maintenant nous occuper, et le suivant, celui de Siegen, sont les plus importants de la monarchie prussienne, non pas seulement pour l'industrie indigène, mais aussi au point de vue de notre sidérurgie française. Les usines westphaliennes, alimentées de houilles par le puissant bassin de la Ruhr, ayant à leur disposition non-seulement les minerais houillers de ce même bassin, mais encore les hématites et les fers spathiques des pays de Siegen et de Nassau, fabriquent des fontes de qualité supérieure à un prix passablement réduit. Les moyens de transport économique ne leur font pas défaut : sans parler des voies navigables, les chemins de fer de Cologne-Minden, de Berg-Mark et leurs nombreux embranchements, parcourant toute la Westphalie, amènent les matières premières et emportent les produits en ne les frappant que du tarif de 1 pfénning par quintal et par mille, soit 2 centimes et demi environ par tonne et par kilomètre. Aussi, lorsqu'on parcourt les environs d'Essen, de Dortmund, etc., on est frappé du mouvement industriel qui s'y manifeste et qui rappelle les districts métallurgiques anglais les plus favorisés. L'importance sidérurgique de la Westphalie n'est pas très-ancienne, et ses usines peuvent déjà réclamer les premiers rangs, parmi les usines européennes, pour la science de la fabrication, la puissance et la perfection de l'outillage. Plusieurs inventions et perfectionnements importants, le laminoir universel, par exemple, ce nouvel et puissant instrument de nos forges, sont dus aux maîtres de

forges prussiens. Leurs produits sont déjà venus, et viendront peut-être encore plus dans l'avenir, lutter avec les produits similaires belges et français sur les marchés du nord du continent. Aussi nous arrêterons-nous un peu plus longtemps sur ce groupe que nous avons récemment visité.

Les hauts fourneaux qui le composent sont tous au coke et situés dans l'inspection générale des mines de Dortmund, c'est-à-dire en Westphalie pour la plupart, et dans la province du Rhin (environs d'Essen, Mulheim et Ruhrort) pour quelques-uns. L'étendue de pays sur laquelle ils sont groupés est traversée longitudinalement par la rivière la Ruhr et par le réseau des chemins de fer de Cologne-Minden et Berg-Mark. Voici les noms des principales usines avec l'indication de leur importance :

PROVINCES et cercles.	NOMS des usines.	PROPRIÉTAIRES.	NOMBRE de hauts fourn.
Westphalie-Arnsberg.	Hoerde.	Société des mines et usines de Hoerde.....	6
—	Henrichshütte.	Société d'escompte de Berlin..	4
—	Aplerbeck.	Société en commandite.....	3
—	Dortmund.	M. C. de Born.....	2
—	Steele.	Société Neu-Schottland.....	2
—	Hasslinghausen.	—	2
Rhin-Dusseldorf.	Ruhrort.	Société du Phénix.....	3
—	Berge-Borbeck.	—	4
—	Kupferdreh.	—	3
—	Oberhausen.	MM. Jacobi, Haniel et Huyssen.	8
—	Bonne-Espérance à Sterkrade.	—	2
—	Johanneshütte.	Société allemande et hollan- daise.....	3
—	Vulcain, à Bois- burg.	Société Vulcain.....	4
—	Friedrich - wil- helm, à Mulheim.	Société par actions.....	2

Le groupe comprenait en 1866, 18 usines avec 43 hauts fourneaux en feu sur 50 environ ; la production de fonte a été de 270 091 tonnes, soit en moyenne 6 300 tonnes par fourneau et par an. La valeur de cette fonte, d'après les statistiques officielles, a été de 96 fr. 50 la tonne dans le cercle d'Arnsberg et 88 francs dans celui de Dusseldorf.

Minerais.

On emploie dans les usines du groupe des minerais exploités sur les lieux mêmes et des minerais qui viennent des pays de Siegen et de Nassau ; nous ne nous occuperons pour le moment que des premiers, les derniers viendront à leur tour lorsque nous traiterons des groupes suivants.

La plupart des minerais exploités en Westphalie appartiennent au terrain houiller. Cependant on trouve des hématites rouges et brunes, dans les formations dévoniennes à Iserlohn, à Wulfrath ; des hématites jaunes dans le calcaire carbonifère à Velbert sur la Ruhr ; puis des minerais hydratés et argileux, dans le terrain crétacé qui recouvre le bassin houiller au nord et à l'ouest, exploités à Dortmund, Bochum, Steele, Essen, et aussi près de Recklinghausen et Ahaus. Il y a aussi quelques minerais en grains près Horst. Dans le voisinage du Rhin, à Neukork, près Dusseldorf, on exploite pour la Société du Phénix un minerai d'alluvion qui est presque dépourvu de phosphore et renferme jusqu'à 10 pour 100 de manganèse, dit-on.

Dans le terrain houiller on trouve surtout des blackbands, mais aussi des fers spathiques et une moindre quantité de sphérosidériles. Les blackbands se trouvent surtout dans les sous-bassins sud et médian ; ils sont en couches accompagnant la houille, tantôt au toit, plus rarement au mur et quelquefois en bancs interposés. On en connaît treize couches exploitables ; leur puissance est très-variable et dépasse quelquefois 1 mètre ; au-dessous de 30 centimètres on ne peut guère les exploiter avec avantage, à moins qu'elles ne s'abattent en même temps que le charbon. On exploite surtout les blackbands aux environs de Sprockhovel, de Hoerde, de Hattingen, de Steele, de Mulheim, dans l'étage inférieur du bassin (charbons maigres) ; près de Bochum et de Kupferdreh, dans l'étage des charbons demi-gras ; près d'Altendorf, dans l'étage des charbons gras.

La richesse en fer du blackband est très-variable, de 25

jusqu'à 40 pour 100 ; on le grille sur le carreau de la mine et en tas, presque sans emploi d'aucun combustible autre que celui naturellement associé au minerai.

Le minerai spathique se trouve en couche comprise dans l'étage des charbons maigres ; on l'exploite surtout près de Hattingen, cependant la couche se retrouve dans toute la formation avec une puissance qui varie de quelques centimètres à 1^m,40. C'est un fer carbonaté gris noir, à grains fins cristallins, assez pur, dont la gangue est formée d'argile et de chaux. Les sphérosidériles se trouvent sans régularité dans toutes les parties riches du bassin.

Voici, d'après le *Moniteur des intérêts matériels*, quelques analyses de minerais de la Ruhr :

I. Minerai spathique cru ordinaire.

II. — — riche.

III. — blackband cru pauvre.

IV. — — riche.

V. — — grillé ordinaire.

VI. — sphérosidérile crue ordinaire.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Carbonate de fer.....	»	»	35,30	69,99	»	»
— de magnésie..	»	»	»	0,78	»	»
— de chaux....	»	»	0,41	»	»	»
— de manganèse.	»	»	1,57	3,67	»	»
Protoxyde de fer.....	51,85	54,80	»	»	18,63	40,86
Peroxyde de fer.....	0,91	4,14	7,09	7,77	46,91	21,64
Protoxyde de manganèse.	1,46	0,98	»	»	1,35	1,31
Silice.....	0,79	0,70	20,23	1,92	19,58	14,74
Alumine.....	0,99	0,61	8,67	0,52	7,85	8,29
Chaux.....	2,82	0,77	0,48	0,14	3,29	0,52
Magnésie.....	3,51	0,45	0,34	0,13	»	1,73
Sulfate de chaux.....	»	»	0,64	»	»	»
Matière siliceuse et char- bon insoluble dans l'a- cide chlorhydrique....	0,21	0,30	»	»	»	1,44
Charbon.....	0,52	0,27	20,07	11,76	»	»
Acide carbonique.....	37,91	34,73	»	»	0,96	27,64
Eau.....	0,11	0,70	5,09	3,01	»	0,18
Acide phosphorique.....	1,19	0,30	»	»	0,63	0,40
Soufre.....	0,08	»	»	»	0,69	»
	101,83	99,20	99,80	99,69	99,89	98,75
Fer.....	41,02	45,66	31,20	39,40	46,90	33,49

On a exploité en 1866 dans le groupe environ 300 000 tonnes de minerai dont 220 000 tonnes de blackbands; le coût d'extraction de ce dernier minerai est, d'après la statistique officielle, de 4 fr. 25 les 1 000 kilogrammes.

Combustibles.

Le terrain houiller du bassin de la Ruhr est reconnu sur une superficie d'environ 1350 kilomètres carrés, laquelle superficie est représentée par un triangle dont les sommets seraient à peu près les villes de Meurs (rive gauche du Rhin), Horath (près d'Elberfeld) et Stockum (près Unna). Il repose sur le terrain dévonien, et il est recouvert par le terrain crétacé.

Sa partie inférieure donne seulement des *charbons maigres*, brûlant difficilement sans formation de coke, utilisables seulement en mélange avec les charbons supérieurs; c'est cette partie inférieure qui contient surtout les minerais de fer.

La partie moyenne, plus régulière, fournit des *charbons demi-gras* de chaudières, de chaufferies, qui brûlent sans laisser beaucoup de cendres, sans longues flammes et sans donner de coke. On les emploie surtout au chauffage, et, vu leur nature très-gaillarde, en mélange avec les charbons maigres.

La partie supérieure, plus régulière encore, fournit des *charbons gras* éminemment propres à la fabrication du coke et des *charbons flamants* ou à gaz. Il y a en tout soixante-cinq couches exploitables de 61 mètres de puissance.

Les charbons de la Ruhr sont assez propres; les cokes qui en proviennent sans lavage contiennent 8 à 10 pour 100 de cendres; ceux qui sont fabriqués avec des charbons lavés ne donnent que 5 à 6 pour 100 de cendres. Ils sont assez peu sulfureux.

Voici les prix des charbons tout-venant en septembre 1868 :

Tout-venant maigre. . . .	5 fr. 50 la tonne.
— demi gras	6 00 —
— gras à coke.	6 fr. 50 et 7 00 —

Le bassin de la Ruhr a fourni en 1866 un tonnage de 9 217 885 tonnes de houille, c'est-à-dire les trois quarts de la production totale des houillères françaises.

Usines de Hoerde.

La compagnie des mines et usines de Hoerde possède dans cette petite ville, peu distante de Dortmund, deux usines considérables ; l'une dite *Hoerderhütte* comprend les hauts fourneaux et leurs accessoires ; l'autre dite *Hermanshütte* se compose de la forge et de l'aciérie. M. Daelen, ingénieur bien connu dans l'Europe entière, est le directeur général de ces importants établissements, qui se livrent surtout à la fabrication du matériel de chemin de fer (rails, roues, essieux, longerons de locomotives, matériel de la voie, etc.), des tôles de chaudières, de ponts, de navires, des fers marchands et spéciaux pour machines ou ponts, en faisant concourir l'emploi du fer, de l'acier puddlé et de l'acier Bessemer. Leur production annuelle arrive à 32 500 tonnes (y compris 5 000 essieux montés), sans compter 2 500 tonnes de moulages pour leur propre consommation.

Les combustibles qui alimentent les usines viennent d'un charbonnage, dit *Schleswig-Holstein*, appartenant à la Société. Toute l'extraction, qui s'élève à 5 000 hectolitres par jour environ, subit une préparation mécanique très-complète au moyen d'appareils établis par M. Blass. Un chemin de fer à grande voie et à locomotives relie le charbonnage aux usines.

Les concessions de mines de fer de la Société ont une étendue d'environ 200 kilomètres carrés, et fournissent quotidiennement plus de 2 200 hectolitres de blackband et de fers spathiques, d'hématites brunes et rouges, fer oligiste et sphérosidériles. La Société occupe en tout environ douze cents ouvriers mineurs.

L'usine à fonte, dont nous nous occuperons seulement pour le moment, comprend maintenant six hauts fourneaux, oc-

cupe cinq cents ouvriers et produit 50 000 tonnes de fonte par an : sa construction a commencé en 1853 ⁽¹⁾.

Les hauts fourneaux sont tous construits avec une tour pyramidale carrée à base cubique, suivant la mode belge ; les trois plus anciens ont la garniture réfractaire établie tout à fait dans le système belge ; dans les trois plus nouveaux, la chemise de la cuve est supportée par une couronne de fonte reposant sur quatre ou six colonnes, et les étalages sont à dilatation libre dans l'intérieur de la cuve. Toute la partie réfractaire de ces nouveaux fourneaux est en grosses briques réfractaires appareillées. Dans l'origine les fourneaux avaient 15 mètres de hauteur, et rappelaient complètement par leur forme et leur système de construction les fourneaux de Seraing qui avaient servi de modèle ; le profil et les dimensions ont été maintenant très-modifiés ; la hauteur totale est de 16^m,20 environ. Voici les cotes principales du profil des trois fourneaux plus récents, profil qui sera appliqué aux autres au fur et à mesure de leur reconstruction ; ce profil est à creuset-ouvrage cylindrique, à ventre cylindrique, et la génératrice de la cuve est droite.

Hauteur totale de la sole au gueulard . . .	16 ^m ,20
— de la sole au bas de la trémie cylindrique . . .	14 ,32
— à la base de la cuve . . .	6 ,13
— au ventre cylindrique . . .	5 ,82
— du creuset-ouvrage . . .	1 ,88
— de la sole à la tympe . . .	0 ,89
— de la sole aux tuyères . . .	0 ,84
— de la dame	0 ,79
Diamètre de la trémie cylindrique . . .	3 ,14
— du ventre cylindrique . . .	4 ,71
— du creuset-ouvrage	1 ,73
Distance de la face de la dame à l'axe . . .	2 ,12
Largeur de l'avant-creuset	0 ,79

La trémie, qui a 1^m,88 de hauteur, est supportée par une hausse en fonte. Le creuset et la sole sont rafraîchis exté-

(1) Voir la disposition générale, avant les récentes additions, dans S. Jordan, *Album du cours de métallurgie de l'école centrale*, pl. XL.

ricieusement au moyen d'une rigole annulaire en briques pleine d'eau.

Les quatre fourneaux en feu au moment de ma visite (juillet 1868) étaient tous à avant-creuset; mais on se préparait à essayer la marche avec poitrine fermée, système Lurmann, sur un fourneau en reconstruction. Les tuyères sont au nombre de cinq, et le vent y arrive au moyen de boîtes suspendues à une conduite de vent aérienne; dans la partie horizontale de chaque boîte se trouve un clapet qui, tenu soulevé par la pression tant que le vent passe, se rabat quand le soufflage cesse pour empêcher les gaz du fourneau d'arriver dans la conduite de vent.

Les fourneaux de Hoerde dans l'origine n'étaient pas pourvus d'appareils de prise de gaz. On y a essayé divers systèmes: d'abord la trémie cylindrique avec fermeture hydraulique; puis, M. de Hoff, ingénieur de l'usine, a imaginé et essayé deux appareils nouveaux: l'un composé simplement d'un tuyau central plongeant dans les charges avec le gueulard fermé tout autour au moyen de quatre trappes; un autre composé d'un tuyau central et d'un cône distributeur qui peut s'abaisser pour la charge et s'élever pour fermer le gueulard, tandis que les gaz continuent à sortir par le milieu. Ce dernier appareil a pris faveur dans les usines westphaliennes; on le retrouve à Steele, à Oberhausen (voir pl. XVII, fig. 3). A Hoerde, il existe encore sur le fourneau n° 6 où M. de Hoff l'a installé; mais l'ingénieur actuel de l'usine préfère la trémie. Aussi deux autres fourneaux en feu sont-ils munis de trémies avec des couvercles suspendus à des balanciers que l'on manœuvre avec un treuil. On reproche à l'appareil de Hoff d'obliger à faire de très-fortes charges pour que les matières se distribuent bien, tandis que la trémie est plus indépendante du volume des charges, dit-on. Le quatrième fourneau en feu, ancien, est sans prise de gaz. Les gaz servent à chauffer dix chaudières à vapeur et les appareils à air chaud. Les plates-formes des six fourneaux sont réunies par des ponts métalliques formant un belvédère élevé et spacieux; quatre petites machines

à vapeur sont placées sur les ponts entre les fourneaux et élèvent des cages, guidées au moyen de câbles en fer, qui contiennent les charges. Un seul escalier à vis et à noyau plein, sans limon, construit très-élégamment et légèrement en fonte, conduit du sol sur la plate-forme supérieure.

Les machines soufflantes sont au nombre de cinq :

1^{re} Deux machines horizontales, à un seul cylindre soufflant chacune, pouvant s'accoupler, marchant à seize tours et fournissant alors ensemble 550 mètres cubes de vent environ par minute ; ce sont les plus anciennes ;

2^{re} Deux machines verticales de réserve, avec balanciers arrivant au niveau du sol, d'une construction assez singulière ; elles ont servi autrefois à un usage tout différent. Elles peuvent aussi fournir 550 mètres cubes de vent en faisant treize tours par minute ;

3^{re} Une grande machine à traction directe, avec le cylindre soufflant en haut et le cylindre moteur en bas, munie d'un grand balancier actionnant le volant par son autre extrémité et d'un contre-balancier. Le piston soufflant a 2,83 de diamètre et autant de course ; la machine devrait marcher à 16 tours en développant 350 chevaux environ, mais on ne peut dépasser 12 tours sans faire casser les boulons des paliers du balancier, ce qui s'explique aisément.

Les cinq machines envoient le vent dans un même régulateur situé derrière les fourneaux. Ce vent se chauffe dans divers appareils à air chaud, les uns anciens à pistolets, les autres plus nouveaux à tuyaux horizontaux elliptiques placés sur champ ; tous ces appareils sont chauffés par les gaz, mais cependant munis de grilles. Comme réserve, on a deux appareils Cowper, chauffés à la houille, afin de pouvoir surélever la température du vent dans la fabrication de la fonte Bessemer ; mais on reproche à ces appareils de chauffer d'une manière fort irrégulière ; on n'a pu réussir à les chauffer au moyen des gaz.

Le parc à minerais et les fours à coke, au nombre de quatre-vingt-seize, sont situés à un niveau inférieur à celui

de la coulée. Les charbons arrivent par chemins de fer et sont carbonisés dans des fours de deux systèmes différents. Les plus anciens sont des fours dits *de Seraing*, que l'on défourne au moyen d'un repoussoir à vapeur alimenté par une chaudière située longitudinalement sur le massif des fours. Les plus nouveaux sont des fours Smet, dont les portes se manœuvrent à l'aide d'un treuil roulant, et que l'on défourne avec un repoussoir qui porte sa chaudière; les façades sont très-inclinées afin d'avoir de la stabilité. Les flammes des fours vont chauffer vingt chaudières et les appareils à air chaud. Les minerais arrivent tout grillés sur le parc.

L'usine est déjà assez ancienne, comme nous l'avons dit, et ses installations se ressentent de leurs longs services. Le haut fourneau n° 2, récemment mis hors feu, avait fourni une campagne de treize années; et plusieurs de ceux actuellement en feu le sont depuis plus de six années.

Les lits de fusion sont formés de blackband grillé (rendant 45 pour 100 de fer), de carbonate spathique, d'hématites rouges (en grains lavés de la mine Constantin) et d'hématites brunes manganésifères, en proportions variables avec la nature des fontes qu'on veut obtenir; les mélanges rendent 43,45, et même 50 pour 100; mais seulement 30 pour 100 si l'on y compte la castine, qui vient des environs de Hagen. Les charges sont énormes: elles varient suivant les cas depuis 1 300 kilogrammes de coke jusqu'à 2 600 kilogrammes⁽¹⁾. Le vent est chauffé à 320 degrés centigrades seulement. Chaque fourneau peut produire 40 000 kilogrammes de fonte d'affinage grise n° 3 ou de fonte blanche rayonnée; en fonte grise à Bessemer ou en fonte miroitante la production descend à 35 000 et même 30 000 kilogrammes; mais on fabrique rarement du spiegeleisen, la Société préférant acheter celui qui lui est nécessaire pour son atelier Bessemer, plutôt que de changer l'allure de ses fourneaux pour l'obtention

(1) D'après l'ingénieur de Hoerderhütte, il y aurait en Silésie des hauts fourneaux roulant avec des charges de 3,000 kilogrammes de coke et plus.

d'une fonte dont l'emploi est restreint. Les consommations par tonne de fonte sont environ à Hoerde :

2320 kilogrammes de minerais, 626 kilogrammes de castine et 1251 kilogrammes de coke. L'usine pourrait produire journellement 240 tonnes de fonte avec ses six fourneaux en feu. On voyait à l'Exposition un assortiment des minerais et des fontes de Hoerde.

Autres usines westphaliennes.

Henrichshütte, près Hattingen, a été fondée en 1853 pour traiter les blackbands dont la découverte était récente. En 1856 elle comprenait deux hauts fourneaux dont les dimensions sont indiquées dans l'ouvrage de Percy-Petitgand-Ronna, t. III, p. 393; le numéro 1 construit sur des données écossaises, avec des matériaux écossais, était une copie exacte des fourneaux du bassin de la Clyde; le numéro 2, au contraire, était bâti d'après des modèles belges. Le premier avait cinq tuyères, le second trois seulement. Actuellement l'usine compte quatre hauts fourneaux se rapprochant surtout du type écossais et pouvant produire 37 500 tonnes de fonte par an. Les minerais exposés par *Henrichshütte* étaient des carbonates spathiques blancs et rouges, des hématites brunes (*glaskopf*) et des blackbands; ce sont surtout ces derniers, extraits des mines Müsen, près Hattingen, et Frederica, près Bochum, qu'elle traite avec les cokes de sa propre houillère. Elle fabrique des fontes grises de moulage et des fontes blanches rayonnées pour forges et aciéries. Le nombre des ouvriers est d'environ trois cents.

L'usine *Carl de Born*, à Dortmund, traite des blackbands et des hématites rouges en mélange avec des scories de réchauffage et un peu de minerais spathiques, dans un fourneau du type écossais, identique à ceux de l'usine de Steele dont nous allons parler. La production journalière est de 35 000 à 37 500 kilogrammes de fonte blanche rayonnée, obtenue avec un poids égal de coke (1).

(1) Le système Lurmann, pour marche à poitrine fermée avec œil mè-

La Société de la Nouvelle-Écosse (*Neu-Schottland*) s'est formée spécialement pour le traitement des blackbands à la manière écossaise. Son usine de *Hasslinghausen*, qui compte deux hauts fourneaux, a été une des premières installées sur le bassin ; ses fourneaux sont exactement semblables à ceux nouvellement établis en Écosse, supportés sur sept colonnes de fonte. Comme profil la cuve est presque cylindrique, rétrécie assez brusquement au gueulard ; l'ouvrage est bas, très-large et percé de six tuyères. Depuis quelque temps ces fourneaux marchent à poitrine fermée, avec le système Lurmann ; et on nous a assuré que la direction est fort satisfaite des résultats obtenus. A *Steele*, la Société possède une grande usine où se trouvent deux grands hauts fourneaux écossais. Le fourneau n° 1, que nous avons visité, et qui a produit une grande sensation, il y a quelques années (1864), en Prusse par l'élévation de sa production, est une copie exacte des hauts fourneaux écossais, reposant sur sept colonnes de fonte, à enveloppe de tôle, et construit en briques apportées d'Écosse. Ses dimensions sont les suivantes :

Diamètre au gueulard	3 ^m ,15
— au ventre	4 ,96
— du creuset ouvrage	1 ,90
Inclinaison des étalages	60°
Hauteur totale.	15 ^m ,10
— de la cuve.	9 ,75
— des étalages	3 ,45
— du creuset-ouvrage.	1 ,90
— de la sole à l'axe des tuyères.	0 ,79

La cuve est tronc-conique régulière se raccordant aux étalages par un ventre ovoïde ; les tuyères sont au nombre de six. Les buses ont 65 à 72 millimètres de diamètre, et fournissent du vent avec une pression de 147 à 150 millimètres de mercure, et 350 à 400 degrés de température. Sur la charge de coke, qui était en 1864 de 750 kilogrammes, on

talique à circulation d'eau, y a été essayé pendant deux mois environ ; on y a renoncé après ce temps.

mettait une charge de 2250 kilogrammes de minerai (blackband, spathique, hématites rouges et brunes, scories de laminoir) rendant 43 pour 100 de fonte environ, et de 765 kilogrammes de castine. On obtenait par jour, et on obtient encore, de 42 000 à 50 000 kilogrammes de fonte blanche rayonnée ; la consommation de coke par tonne de fonte est descendue quelquefois à 850 kilogrammes et ne dépasse pas 1 000 kilogrammes. Les gaz du gueulard ne sont pas recueillis ; et les chaudières de la soufflerie, comme les appareils à air chaud, sont chauffés à la houille ; on en consomme 16 à 17 tonnes par jour pour cet usage. Les appareils à air chaud sont du système écossais à pistolets, et les machines soufflantes horizontales du type de Hoerde. Les charges sont élevées par un monte-charge pneumatique à cloche ; celle-ci a 2^m,05 de diamètre et 7^m,87 de course seulement, les fourneaux étant à demi-adossés. Le fourneau de Steele a servi de modèle à la plupart des fourneaux construits dans le bassin de la Ruhr depuis quatre ans : on a maintenant obtenu dans diverses usines des productions aussi considérables.

La Société du *Phénix métallurgique*, fondée en 1853, possède trois usines à fonte dans notre groupe, sans compter le haut fourneau au charbon de bois qu'elle a à Langheck dans le Nassau. Elle avait exposé une intéressante collection de ses matières premières. On y remarquait les houilles des houillères de Carolus Magnus et de Constantin-le-Grand, près Borbeck, qui lui appartiennent, puis une grande variété de minerais provenant de diverses régions : de la Westphalie même, le blackband de la mine Rudolph, à Velbert, l'hématite jaune de Dietrich-Wilhelm, les limonites de Nieuwkerk près Geldern ; du pays de Siegen, les fers spathiques d'Auxbach près Linz, les belles hématites brunes manganésifères de Hickmansgrube et de Zuckergrube près Hennef, les sphérosidériles de Sperber et Feldsegen près Hennef ; dans le duché de Nassau les hématites rouges agathisées de Eisenhardt près Wetzlar, de Strüthchen et Rothenacker près Ahausen, les hématites rouges lithoïdes de

Rothenberg, de Hahuberg près Diez, de Waldsamm près Lorheim, de Bergmannsgluck près Wetzlar, de Gottesgabe près Ammenau, les hématites rouges en menuailles de Rothenberg, les hématites brunes de Heems près Diez, d'Eisen-grube près Netzbach, les sphérosidérites de Waldwiese et de Gluckauf près Montabaur. Avec cette grande variété de minerais réunissant toutes les qualités, la Société du Phénix peut fabriquer des fontes ordinaires et des fontes supérieures; et elle avait exposé une série de gueusets allant depuis la fonte grise de moulage n° 1, jusqu'à la fonte blanche un peu lamelleuse, cette dernière destinée au puddlage pour acier, tandis que la fonte blanche rayonnée est employée pour fer fort.

L'usine à fonte de *Ruhrort* comprend 4 hauts fourneaux, 84 fours à coke et une fonderie. Les fourneaux étaient soufflés il y a quelques années par 4 soufflantes horizontales de Marcellis, qui ont dû être remplacées depuis : les numéros 1, 2 et 3 étaient à tour tronc-conique revêtue jusqu'au bas, d'une enveloppe de tôle; le numéro 4 a été construit avec un profil se rapprochant du type écossais. Les appareils à air chaud étaient du système Calder ordinaire.

L'usine de *Berge-Borbeck* comprend 4 hauts fourneaux, 120 fours à coke et 4 soufflantes de 320 chevaux ensemble.

A *Kupferdreh* il y a 3 hauts fourneaux, 84 fours à coke et 4 soufflantes de 300 chevaux ensemble.

Les trois usines produisent ordinairement de 50 000 à 60 000 tonnes de fonte par an.

La grande usine de *Oberhausen* appartient à MM. Jacobi, Haniel et Huyssen, qui s'étaient abstenus d'exposer, malgré l'importance de leurs établissements. Ils ont à Gutehoffnungshütte, près Sterkrade, deux hauts fourneaux, et à Oberhausen, huit hauts fourneaux : dans cette dernière usine qu'on agrandit encore, le nombre de hauts fourneaux projetés atteindra, dit-on, seize. Nous donnons pl. XVII, fig. 3, les dessins des nouveaux fourneaux d'Oberhausen, en appelant l'attention sur le système de prise de gaz qui y est appliqué : c'est le système de Hoff, inventé à Hoerde. Les

minerais viennent en partie du duché de Nassau, en partie des environs de Bonn, en partie de Neuessen (blackband) et enfin aussi des mines de Gutehoffnung, Gottesgnaden et Verbruderung (limonites). L'usine a produit 40000 tonnes environ en 1866, avec six hauts fourneaux en feu.

A *Vulcanhütte*, près Duisburg, on vient de construire de grands appareils à air chaud d'un système nouveau. Chaque appareil composé de trente-deux tuyaux verticaux elliptiques de 3^m,75 environ de longueur, suffit pour chauffer de 400 à 500 degrés l'air d'un haut fourneau soufflé par trois buses de 100 millimètres.

L'usine de *Friedrich Wilhelmhütte*, près Mulheim sur la Ruhr, fabrique avec deux fourneaux 9 à 10000 tonnes de fonte par an. Elle traite des minerais houillers en mélange avec des limonites. Elle n'avait exposé qu'un tuyau de 3^m,80 de longueur sans suture.

Fontes de la Ruhr.

Les usines de notre groupe fabriquent, comme nous avons vu, surtout des fontes de moulage et des fontes blanches rayonnées destinées au puddlage pour fer fort, des fontes blanches un peu lamelleuses destinées au puddlage pour acier, et des fontes grises à grain serré ou truitées pour les puddlages ordinaires ; elles produisent rarement des spiegeleisens, dont elles laissent la fabrication aux hauts fourneaux plus rapprochés du pays de Siegen qui n'ont point de laminoirs. La qualité des fontes est très-variable avec les mélanges de minerais. Voici, comme exemple, l'analyse, d'après M. Lurmann, de deux fontes de Hasslinghausen, fabriquées exclusivement avec les minerais houillers :

	Hasslinghausen grise.	Hasslinghausen truitée.
Fer.	96,484	96,44
Graphite	1,634	0,78
Carbonate combiné.	0,561	0,83
Silicium.	1,052	1,52
Soufre	0,113	0,27
Phosphore.	0,156	0,16

D'après le correspondant d'Essen du *Moniteur des intérêts matériels*, le prix de revient moyen des fontes dans le bassin d'Essen serait le suivant :

Minerais	2 525 kil. à 11 fr. 61 les 100 kil.	29 fr. 30
Castine	991 — à 5 35 —	5 30
Coke	1 380 — à 20 87 —	29 30
Houille pour soufflerie	790	6 50
Fournitures diverses.		3 20
Main-d'œuvre		6 80
Frais généraux.		8 00
Total.		88 fr. 40

Mais nous croyons que ce prix est exagéré. Dans les usines que nous avons visitées récemment, la houille employée pour la soufflerie coûtait 6 fr. 20 (environs de Dortmund) la tonne, et 40 centimes l'hectolitre (environs d'Essen), soit 4 fr. 10 la tonne ; le coke coûtait 15 francs la tonne.

En tout cas, les fontes se vendaient (juillet 1868) : 82 fr. 50 à 86 fr. 25 la tonne de fonte blanche rayonnée ; 93 à 95 francs la tonne de fonte grise de moulage n° 1.

CINQUIÈME GROUPE.

GROUPE DE SIEGEN.

Nous réunissons dans ce groupe toutes les usines prussiennes situées sur la rive droite du Rhin, faisant partie de l'inspection générale des mines de Bonn. Leurs hauts fourneaux, en très-majeure partie au coke, prennent leurs combustibles surtout dans le bassin de la Ruhr, rarement dans celui de la Sarre ; et les minerais proviennent du groupe lui-même où les gisements abondent. Les fontes produites sont presque toutes des *fontes acieuses (rohstahleisen)*, dont une partie importante est consommée hors du groupe, soit en Westphalie, soit à l'étranger. Voici les noms des principales usines :

PROVINCES et départements.	NOMS des usines.	PROPRIETAIRES.	NOMBRE de hauts fourn.
Rhin-Dusseldorf.	Hochdahl.	Société par actions des mines et usines de Berg.....	4 au coke.
— Cologne.	Friedrich-Wilhelm.	Société par actions de la Sieg et du Rhin...	2 —
— —	Mulheim sur le Rhin.	M. F. Grillo.....	1 —
— Coblenz.	Sayn.	M. Krupp.....	1 —
— —	Muhlöfen.	Id.	1 —
— —	Stahlhammer.	Id.	1 au bois.
— —	Bendorf.	MM. Remy Hoffmann et C ^e	1 au coke.
— —	Hermannshütte.	MM. Fromberg et de Wildt.....	1 —
— —	Concordiahütte.	MM. Lossen frères....	2 —
— —	Heinrichshütte, près Hamm.	M. J.-H. Dresler.....	2 —
— —	Altenwissenerhütte.	M. W. Meurer.....	2 —
— —	Seelenberg.	M. Schneider de Neun- kirchen.....	1 au bois.
— —	Herdorf, près Neun- kirchen.	Id.	1 au mélange.
— —	Schelderhütte.	M. Jacob Kreutz.....	1 au bois.
— —	Charlottenhütte. à Niederschelden.	Société par actions.	1 au coke.
Westphalie-Arnsberg	Burgholdinghausen-	Comte de Fürstemberg.	1 au bois.
— —	Müsen.	Société de Cologne- Müsen.....	1 —
— —	Lohe.	Id.	1 au coke.
— —	Kreutzthal.	Id.	1 —
— —	Brachbach.	M. H. Boerner.....	1 au bois.
— —	Tiefenbach.	Id.	1 au mélange.
— —	Sieghütte.	Id.	1 —

Le groupe renfermait, en 1866, 51 usines en fonte comprenant 83 hauts fourneaux dont 61 en feu. Ces usines ont produit 198 819 tonnes de fontes dont : 125 761 tonnes de fonte au coke, 21 036 de fonte au charbon de bois, et 52 072 tonnes de fonte au mélange.

Ce même groupe avait produit en 1862 environ 30 000 tonnes de fonte au charbon de bois : la fabrication au combustible végétal des fontes spiegeleisens, qui composent presque toute cette quantité, diminue tous les jours depuis qu'on a appris à les fabriquer au coke.

Nous ne nous arrêterons pas longuement sur les usines de ce groupe que nous avons déjà décrites dans la *Revue universelle*, année 1864, t. XVI; nous renverrons nos lecteurs à ce travail, en nous contentant de quelques indications supplémentaires relatives à l'Exposition surtout.

Minerais.

Les mines concédées par l'État dans le groupe ont fourni en 1866 :

Hématites brunes. . .	146 349 tonnes.
Carbonates spathiques. . .	338 252 —
Hématites rouges . . .	200 184 —
Minerais tertiaires. . .	14 321 —
En tout. . .	699 106 tonnes.

D'une valeur moyenne de 13 fr. 22 la tonne sur place.

On voyait à l'Exposition quelques échantillons très-remarquables de ces minerais.

La compagnie de Cologne-Müsen avait des blocs du magnifique fer carbonaté spathique du Stahlberg, à l'état cru et grillé : elle déclarait pouvoir en extraire 100 000 tonnes. Toutefois en 1866, d'après la statistique officielle, elle était très-loin de ce chiffre, à peine au quart.

Les fers spathiques des mines Vereinigung (M. W. Meurer) Kirschenbaum et Rosengarten (M. J. Kreutz), Kux (M. Schneider), Hymensgarten (M. Boerner), Hohegrethe (M. Dresler); les hématites brunes concrétionnées ou *glaskopf* très-manganifères de Huth (M. Dresler), de Pfannenberget de Stahlert (M. Schneider), d'Eisenzeche (M. Boerner); les fers oligistes spéculaires de la mine Einigkeit (M. Schneider), et d'autres encore représentaient les richesses minières du pays. Nous avons surtout admiré des échantillons de la mine Huth, exposés par M. Dresler, les uns concrétionnés et stalactiformes, les autres à longues fibres soyeuses (*langfaserig lepidokrokite*), d'autres enfin en géodes agatisées (*glaskopf*).

Les minerais du groupe sont exportés partiellement, et des

minerais du dehors, du Nassau surtout, viennent concourir à la production des fontes.

Usines à fonte au charbon de bois.

Le nombre de hauts fourneaux au charbon de bois a considérablement diminué depuis quelques années. Nous avons décrit en 1864 quelques-unes des usines qui consomment encore le combustible végétal pur. Depuis cette date, les usines de Sayn ont été cédées par le gouvernement royal à M. Krupp d'Essen, et nous ignorons le sort du fourneau de Stahlhammer qui fabriquait des spiegeleisens et des fontes grises à canons à l'air froid, célèbres pour leur ténacité. Voici, d'après les analyses de M. C. Bischof, la composition de ces fontes : on remarquera que la fonte à canons est complètement dépourvue de soufre, ce qui n'est pas le cas, comme nous l'avons vu, dans les fontes suédoises destinées au même but :

	Spiegeleisen au mélange.	Fonte grise à canons à l'air froid et au bois.
Fer (par différence).	95,18	94,263
Manganèse	0,14	1,111
Carbone combiné. .	4,24	0,538
Graphite.	»	2,790
Silicium	0,43	0,688
Calcium	»	0,102
Soufre	0,01	0,000
Phosphore	»	0,182
Cuivre.	»	0,326
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,000

L'usine de Burgholdinghausen, reconstruite en 1841, exposait des spiegeleisens assez beaux (cotés 150 francs la tonne) et des fontes truitées et rayonnées (cotées 135 francs la tonne) fabriquées exclusivement au charbon de bois ; elle accusait une production de 10 à 12 500 kilogrammes par jour.

La société de Cologne-Müsen exposait des spiegeleisens et des fontes aciéreuses (truitées et blanches rayonnées) de

trois espèces différentes : au bois, au mélange et au coke. Les spiegeleisens, comme on sait, sont employés surtout par les fabricants d'acier Bessemer, et les fontes truitées et blanches pour la fabrication d'acier puddlé. La société, qui possède trois hauts fourneaux en feu, accusait une production actuelle de 15 000 tonnes de spiegeleisen par an, et elle annonçait comme production prochaine et annuelle 40 000 tonnes de fontes aciéreuses dont 6 000 tonnes au bois et 34 000 tonnes au coke. D'après la statistique officielle, le fourneau de Müsen a produit en 1866 2 235 tonnes de fonte au bois ; le fourneau de Lohe, 2 626 tonnes de fonte au coke.

M. Schneider, de Neunkirchen, qui possède plusieurs hauts fourneaux voisins de cette localité, avait une vitrine remplie de fontes diverses accompagnées des laitiers correspondant. Nous y avons remarqué :

1° Du spiegeleisen au charbon de bois, très-caverneux, avec un laitier vitreux brun bistré, à couches concentriques comme de l'agate ;

2° De la fonte truitée, un peu rubannée de blanc, avec un laitier vitreux, à zones bleuâtres et blanchâtres, avec une croûte brunâtre ;

3° De la fonte truitée, au charbon de bois aussi, avec un laitier moins vitreux, sans croûte brune, à zones verdâtres ;

4° De la fonte grise au bois, avec un laitier vitreux, porcelanisé, bleu céladon, opaque ;

5° Du spiegeleisen au coke, des fontes blanches et truitées au mélange de 1/2 charbon et 1/2 coke, des fontes grises serrées au coke, avec des laitiers opaques, massifs, à cassure conchoïde vert olive foncé, avec une surface brune.

L'usine d'Hermannshütte avait aussi des spiegeleisens au bois et accusait une production de 6 000 tonnes par an.

A Londres, en 1862, le nombre des exposants de fontes aciéreuses au bois était beaucoup plus considérable : on y comptait M. Boerner qui n'avait pas exposé en 1867, M. Dresler qui ne fabrique plus maintenant de fonte au bois, MM. Remy frères, de Wendenerhütte, MM. Gerlach, Gabriel et Bergenthal, de Germaniahütte, M. Ulrich, de Bredelar.

Usines à fonte au coke.

Usine de Hochdahl. — Cette usine, située sur le chemin de fer entre Düsseldorf et Elberfeld, mérite une mention toute spéciale, quoiqu'elle n'ait point exposé en 1867. Elle fabrique avec des minerais hématites rouges et brunes, spathiques et oligistes, des pays de Nassau et de Siegen, des fontes aciéreuses de diverses natures : spiegeleisens et grises pour les aciéries Bessemer, blanches rayonnées pour les puddlages fins. Elle emploie, pour certaines fontes moins fines, en mélange quelques minerais tertiaires du pays, préalablement lavés à l'eau chaude. Son combustible est du coke fabriqué dans l'usine même, avec des houilles de la Ruhr, au moyen de fours rectangulaires à défournement mécanique.

Elle comprend quatre hauts fourneaux dont trois sont en feu et ont produit en 1866 39 075 tonnes de fonte. Ces hauts fourneaux sont munis de prises de gaz Langen, et soufflés à haute température : leurs dimensions n'ont rien d'exagéré. Le quatrième, qui n'est pas encore en feu, est destiné à marcher avec poitrine fermée. Leur production journalière est considérable, comme on le voit ; elle a atteint 50 tonnes par haut fourneau à une époque où les débouchés étaient plus abondants. M. Schiembusch, son directeur, a été l'un des premiers maîtres de forges prussiens qui aient fabriqué couramment des spiegeleisens au coke et qui les aient vendus pour tels. Dès 1862, il envoyait à l'exposition de Londres des fontes aciéreuses indiquées comme fabriquées exclusivement au coke, et il maintenait la supériorité des spiegeleisens fabriqués au coke sur ceux fabriqués au charbon de bois. En effet dans un grand haut fourneau, qui consomme des cokes lavés et purs ($4 \frac{1}{2}$ pour 100 de cendres environ), on peut fabriquer plus sûrement et plus régulièrement : la marche en laitiers ultra-calcaires permet d'épurer mieux la fonte du soufre, et peut-être du phosphore, qu'elle peut contenir, du fait des minerais tout aussi bien que du fait des cendres du coke ; les fortes pressions et les hautes températures de vent que permettent d'obtenir les installations d'une grande

usine, les ressources de son laboratoire d'analyses, sont encore des garanties pour la continuité des allures et pour la constance des teneurs en manganèse et en carbone de la fonte. Aussi M. Schiembusch, ayant abaissé à 172 fr. 50 le prix du spiegeleisen qu'on vendait avant lui 250 francs la tonne en Angleterre, a trouvé dans ce pays depuis 1862 d'importants débouchés.

L'usine à fonte de Hochdahl, au courant de tous les perfectionnements modernes, est une des mieux installées et dirigées de toute l'Allemagne. Elle a la spécialité des fontes fines, et notamment des spiegeleisens, dont elle garantit la teneur en manganèse.

Usine de Mülheim sur le Rhin. — Cette usine, voisine de Cologne, n'était pas non plus représentée à l'Exposition. Son haut fourneau a été primitivement construit dans le système Raschette ⁽¹⁾ par M. Aubel, ingénieur, représentant de l'inventeur. Il a été mis en feu en avril 1864, et nous l'avons visité au mois d'août de la même année.

Il avait alors intérieurement 10 mètres de hauteur, 2^m,50 de large sur 5 mètres de long au gueulard, 78 centimètres sur 2^m,83 à l'ouvrage. Il avait soufflé par 10 tuyères alternées, 5 de chaque côté (buses de 32 millimètres de diamètre, pression de 15 centimètres mercure, température de 150 degrés environ). La production était de 17 500 kilog. fonte grise, ou 22 000 kilog. fonte blanche, par vingt-quatre heures. Le rendement des minerais était 45 pour 100 environ; la consommation de coke, assez élevée, de 1 300 kilog. environ par tonne de fonte blanche.

Depuis cette époque, le fourneau de Mülheim a changé de main et subi diverses modifications dans sa construction. D'après les renseignements qui nous ont été communiqués par un ingénieur qui l'a visité pendant l'Exposition, on a augmenté sa hauteur en retrécissant le gueulard et en diminuant les dimensions transversales du ventre et de l'ouvrage. Sa hauteur est maintenant 15^m,70; ses dimensions

(1) Voir le chapitre relatif à la Russie.

au ventre $4^m,70 \times 2^m,51$, aux tuyères $2^m,20 \times 0^m,78$. Il n'a plus que 6 tuyères, et le creuset n'a plus qu'un seul avant-creuset. Le lit de fusion en minerai rend 38 pour 100 de fonte ; on y ajoute 40 pour 100 de castine environ. La consommation de coke est de 1 050 à 1 100 kilog. par 1 000 kilog. fonte blanche. La production journalière, au commencement de 1867, était 30 à 33 tonnes en vingt-quatre heures. Le fourneau ayant été mis à feu en avril 1866, la production moyenne, depuis le commencement, était 27 tonnes par jour.

D'après la statistique officielle, le fourneau de Mülheim a produit, en 1866, 9 000 tonnes de fonte.

Usine de Heinrichshütte. — Cette usine appartient à la maison J.-H. Dresler, de Siegen, fondée en 1769, et qui est bien connue de nos fabricants d'acier français ; cette maison possède en outre des forges et une tréfilerie. Heinrichshütte, près de Hamm sur la Sieg, qui a produit 9 944 tonnes de fontes en 1866, comprend deux hauts fourneaux massifs au coke, produisant chacun de 25 à 30 tonnes de fonte en vingt-quatre heures. Elle occupe cinq cents ouvriers, en y comptant ceux des mines de fer voisines. Elle produit surtout des spiegeleisens qui sont vendus aux aciéries de Prusse, de France et d'Angleterre, et des fontes blanches et truitées qui sont puddlées dans les forges de Geisweid et de Hammerhütte appartenant à la même maison. On voyait dans son exposition des fontes fabriquées avec les magnifiques minerais de Huth et de Hohegrethe, savoir : 1° de la fonte spiegeleisen n° 1, à grandes et belles facettes miroitantes blanches, accompagnée d'un laitier vert clair complètement délité et en poudre ; 2° de la fonte spiegeleisen n° 2, à facettes moins grandes, un peu graphiteuse, accompagnée d'un laitier poncux pulvérulent ; 3° de la fonte aciéreuse n° 2, lamelleuse, à facettes étroites et longues, accompagnée d'un laitier plus compact ; enfin 4° de la fonte blanche compacte, avec un laitier vert à croûte vitreuse et de la fonte truitée. Voici la composition du laitier fusant de spiegeleisen n° 1, renfermant 8 à 10 pour 100 de manganèse, qui figurait à l'Exposition :

Silice.	33,20
Alumine	6,95
Chaux	43,00
Magnésie	6,10
Protoxyde de fer	1,25
Protoxyde de manganèse.	7,24
Soufre.	2,06
	<hr/> 99,80

C'est un laitier de la forme S¹⁰ B¹¹ à peu près, remarquable par sa très-faible teneur en alumine. C'est à cette pénurie d'alumine qu'il doit la propriété de fuser à l'air ; tandis que les laitiers très-alumineux, comme ceux des fourneaux de Franche-Comté, sont au contraire essentiellement vitreux et translucides.

Autres usines du groupe.

A Alten-Wissenerhütte il y a deux hauts fourneaux qui peuvent produire chacun 35 tonnes de fonte en vingt-quatre heures. L'usine et les mines voisines, qui fournissent 150 à 170 tonnes de minerai par jour, occupent environ cinq cents ouvriers.

Charlottenhütte avait exposé des fontes miroitantes, rubannées, truitées et blanches.

Le fourneau de Kreutzthal, nouvellement construit par la compagnie de Cologne-Müsen, peut, dit-on, fabriquer 50 tonnes par vingt-quatre heures.

L'usine de Friedrich-Wilhelmhütte, près Siegbourg, avait exposé, d'après le Catalogue, un modèle de l'appareil de prise de gaz Langen qui y a été inventé ; nous n'avons pu le découvrir. Cet appareil est, du reste, maintenant bien connu ⁽¹⁾.

SIXIÈME GROUPE.

GROUPE DE NASSAU ET HESSE.

L'ancien duché de Nassau renfermait, en 1866, 17 hauts fourneaux, ayant produit 33 439 tonnes de fonte ; l'ancien

(1) Voir *Revue universelle*, t. XVIII p. 129.

électorat de Hesse, qui comprenait la seigneurie de Schmalkalden, comptait 5 usines à fonte, ayant produit 4 911 tonnes pendant l'année; la partie du grand-duché de Hesse, annexée à la Prusse en 1866, 4 hauts fourneaux, ayant produit 5 198 tonnes de fonte. Outre ces pays, actuellement prussiens, notre groupe comprend encore le grand-duché de Hesse, qui, en 1864, possédait 9 hauts fourneaux; la Thuringe qui en possédait 13; les principautés de Lippe, Waldeck et Pymont qui en avaient 3. Nous ignorons quelle est actuellement l'importance métallurgique de ces dernières contrées, qui n'avaient rien fourni à la classe 40 à l'Exposition. Les usines les plus connues du groupe actuel sont les suivantes :

PAYS.	NOMS DES USINES.	NOMS des propriétaires.
Duché de Nassau (Prusse).	Hochst	L'Etat.
—	Michelbach.	M. Lossen fils.
—	Bürger, près Herborn.	M. Buderus fils.
—	Eibelshaus, près Dillenburg.	M. J.-J. Jung.
—	Christianshütte, près Runkel.	M. Buderus fils.
Hesse électorale (Prusse).	Verkerhagen.	L'Etat.
Pays de Waldeck (Prusse).	Neubau.	Id.
Comté de Hanau (Prusse).	Bieber.	Id.
Pays de Schmalkalden (Prusse).	Neuehütte.	M. Bleytmüller.
Thuringe.	Katzhütte.	—
Haute-Hesse (Prusse).	Ludwigshütte, près Biedenkopf.	—
—	Wilhelmshütte, près Wolfgruben.	Comte Reichenbach.
—	Carlshütte, près Buchenau.	M. F.-C. Klein.
—	Justushütte, près Gladenbach.	MM. Schultz et Wehrenbold.
Grand duché de Hesse.	Main-Weserhütte, près Giessen.	M. J.-W. Buderus fils.
—	Hirzenhain, près Ortenberg.	Id.

Minerais.

1° *Du duché de Nassau.* — Nous avons déjà décrit les conditions de gisement des minerais du pays de Nassau, des environs de Wetzlar et de la haute Hesse; nous n'y reviendrons pas ici. Ces minerais sont : des hématites rouges à gangue

calcaire, alumineuse ou siliceuse, d'une richesse moyenne de 30 à 60 pour 100 ; des hématites brunes, ordinairement très-manganésifères, d'une richesse moyenne de 34 à 44 pour 100 ; quelques carbonates de fer aussi très-manganésés. (On en a découvert récemment un gisement puissant en deux couches à Staffeln, près Diez, qui fournit 17 pour 100 de manganèse et a été employé par Hermannshütte). On en voyait une belle collection dans l'exposition de MM. J.-W. Buderus fils (société pour le commerce des fontes de Nassau). Les échantillons les plus remarquables étaient : les hématites rouges calcaires de Hassenrod, près Bietenkopf ; de Heinrichfreund, près Dillenburg ; de Herrnberg, de Neuelust ; les belles hématites rouges agatisées de Friedrichsgrube, près Oberscheld ; de Buderusgrube, près Weilburg ; l'hématite rouge bitumineuse de Stillingseisenzug, près Dillenburg ; les hématites brunes manganésifères de Joseph, près Weilburg ; de Schlagkatz, près Wetzlar ; de Abendstern, dans la haute Hesse.

Voici les analyses de quatre provenances :

1^o Hématite rouge siliceuse de Engelsberg (Wetzlar) ;

2^o Hématite rouge calcaire de Gnade-Gottes (Dillenburg) ;

3^o Hématite brune manganésifère de Netzbach (Diez) ;

4^o Hématite brune manganésifère de Philippstein (Braunfels).

	I.	II.	III.	IV.
Eau et matières volatiles.	0,83	1,63	11,57	»
Fer	56,12	46,64	24,23	48,18
Manganèse	»	»	10,39	6,34
Oxygène	21,33	19,94	14,40	»
Silice	16,74	11,49	19,54	1,21
Alumine	0,97	9,78	9,80	»
Chaux	»	8,30	5,96	»
Magnésie	»	1,25	tr.	»
Acide phosphorique . . .	0,51	0,97	2,40	0,69
Soufre	»	0,10	»	»

2^o *Du pays de Schmalkalden.* — Dans ce pays, on trouve d'assez importants gîtes de minerais dans les schistes cristallins et dans le zechstein. Ce sont surtout des fers spathiques et des hématites brunes. Le gisement le plus

connu est celui du Stahlberg (qu'il ne faut pas confondre avec son homonyme du pays de Siegen). Voici la composition du minerai spathique décomposé ou mine douce, d'après M. Jacquot :

Eau et acide carbonique.	14,00
Oxyde de fer	58,00
Oxyde de manganèse . .	11,40
Magnésie	2,60
Chaux	8,40
Gangue insoluble	5,40
	<hr/> 99,80

3° *De la Hesse électorale et du pays de Hanau.* — Dans la Hesse électorale, les terrains du lias et tertiaires fournissent des minerais oolithiques et des hématites jaunes qui alimentent l'usine de Veckerhagen. Autour de Holzhausen, on exploite des minerais en grains qui accompagnent les basaltes. Dans le pays de Hanau, l'usine de Bleber consomme des hématites brunes qui sont en relation avec le zechstein.

4° *Du pays d'Hohenzollern.* — Dans cette enclave prussienne du royaume de Wurtemberg se trouve une seule usine, Laucherthal, qui a produit, en 1866, 505 tonnes de fonte au bois avec des minerais en grains exploités dans le terrain jurassique.

Usines à fonte.

On voyait, au Champ de Mars, une collection de fontes du Nassau exposée par MM. Buderus fils, et composée en majeure partie de fontes grises au bois. Elles venaient des usines de Burger, d'Eibelshaus, d'Hirzenhain, d'Audenschmiede, de Christianshütte, et présentaient toutes un grain de n° 2 ou de n° 3; la dernière usine indiquait les moulages trempés comme emploi spécial de ses fontes. Les produits des hauts-fourneaux du Nassau et de la Hesse servent surtout pour la fabrication des fers fins au bois, et aussi pour les moulages de grande résistance. L'usine de Main-Weserhütte exposait des fontes grises au coke et des fontes blanches rayonnées. MM. Bleymüller, du pays de Schmalkalden, présentaient des

fontes cavernueuses, truitées, présentant des facettes blanches, et qui ressemblaient plutôt à un *floss* mi-affiné et peu liquide qu'à un produit de haut fourneau; nous avons supposé, sans pouvoir nous en assurer, que ces fontes provenaient d'un de ces anciens *floss ofen* qu'on ne retrouve presque plus que dans les montagnes thuringiennes. Elles étaient fabriquées avec des hématites brunes de Mommel et du Stahlberg.

SEPTIÈME GROUPE.

GROUPE DU RHIN.

Nous composons ce groupe de toutes les usines à fonte prussiennes disséminées dans les districts de la rive gauche du Rhin, en exceptant seulement celles des environs de Saarbrück. Elles marchent soit au combustible végétal (Eifel et Soonwald), soit au coke (environs d'Aix-la-Chapelle et de Trèves). Dans l'Eifel se trouvaient, en 1866, 8 usines comptant 10 fourneaux en feu (sur 21 en tout), et ayant produit, pour l'année, 4 471 tonnes de fonte au bois seulement. Dans le Soonwald se trouvaient 4 usines avec 6 hauts fourneaux en feu, ayant produit 5 554 tonnes de fonte aussi au bois. Les usines au coke sont les suivantes :

NOMS DES USINES.	PROPRIÉTAIRES.	NOMBRE de hauts fourn.
Neuss, à Heerdt, près Neuss.	MM. Sommer, Bloser et C ^e .	2
Concordia, près Eschweiler.	Société par actions	3
Marie Prudence, à Stolberg.	Id.	1
Quint, près Trèves.	M. Kramer.	5

Elles ont produit, en 1866, ensemble 49 494 tonnes de fonte, soit environ 5 000 tonnes par haut fourneau en feu.

Minerais.

1° *De l'Eifel.* — On trouve, dans les montagnes de l'Eifel, des hématites rouges et brunes et des fers spathiques en filons dans le terrain dévonien inférieur; des hématites rouges oolithiques en gîtes de contact entre le calcaire de

l'Eifel et le grauwaacke; enfin des couches de minerais hydratés dans le calcaire lui-même.

2° *Du Soonwald et du Hundsruok*. — On exploite des fers oligistes à Greimerath et des hématites brunes à Hundsruok, qui alimentent l'usine d'Asbach. Celle de Rheinbölle consomme les hématites brunes de Simmern, et celle de Stromberg les hématites rouges oolithiques de Braut.

3° *Des bassins houillers de l'Inde et de Worm*. — Le terrain houillier des environs d'Eschweiler et d'Aix-la-Chapelle fournit quelques fers carbonatés exploités à Herzogenvath. A Stolberg, on exploite des hématites brunes, souvent zinéifères, dans le terrain calcaire carbonifère et le terrain dévonien supérieur.

Usines à fonte.

Usines de l'Eifel. — Les montagnes de l'Eifel sont riches en minerais; mais les communications économiques n'y sont pas faciles, et le bois y devient rare et cher. Aussi, cette contrée, autrefois le siège d'une industrie florissante, voit ses hauts fourneaux s'éteindre les uns après les autres. Ces fourneaux, connus autrefois à cause du système de blanchiment de la fonte dans le creuset même, dit *destilliren*, étaient remarquables surtout par leurs petites dimensions. A Eiferley, le haut fourneau avait seulement 6 mètres environ de hauteur, l'ouvrage avait 87 centimètres et les étalages 63 centimètres de hauteur. Le diamètre avait, au creuset, 31 centimètres; au haut de l'ouvrage, 52 centimètres; au ventre, 1^m,44. Il était soufflé à l'air froid par une seule tuyère et produisait, en 24 heures, 950 kilog. de fonte grise, en consommant 4 500 kilog. de charbon par tonne de fonte (d'après Scheerer).

Usine de Neuss. — Cette usine, appartenant à MM. Sommer, Bloser et C^e, était représentée au Champ de Mars par un modèle du système de haut fourneau inventé par son directeur, M. Buttgenbach, et par des échantillons de fonte de moulage. Notre attention, comme celle de divers métallurgistes, entre autres MM. Tunner de Leoben et Gillon de Liège, ayant été

attirée par la hardiesse de ce système de construction, nous avons voulu le voir en œuvre, et nous pouvons en donner une description *de visu*.

L'usine de Neuss comprend deux hauts fourneaux, mais l'un est maintenant éteint. Cet ancien haut fourneau, construit en 1857, avait un profil intérieur peu rationnel : sa construction était assez massive pour que deux chaudières à vapeur pussent être disposées sur la plate-forme carrée du gueulard. Le seul haut fourneau actuellement en feu est celui construit en 1865 par M. Buttgenbach d'après son système. Nous en donnons le dessin, pl. XVII, fig. 1. Il se compose presque uniquement de la chemise réfractaire, construite en grandes briques appareillées ; il n'y a pas d'autre maçonnerie en briques rouges qu'une base, construite sur sept piliers légèrement inclinés vers l'axe du fourneau, et réunis par des voûtes et une couronne, sur laquelle vient s'appuyer le ventre du fourneau. La cuve est construite d'abord, et la partie inférieure du fourneau vient ensuite se raccorder avec elle. La cuve est supportée sur une retraite circulaire ménagée dans la base en briques rouges ; elle est armée, de distance en distance, de grands cercles de fer formant frettes. Les étalages sont également armés de quelques cercles en fer ; leur jonction avec l'ouvrage, ainsi que celui-ci lui-même, est défendue contre la corrosion par des bacs à eau placés, au nombre de trois, dans chaque embrasure, et alimentés par une conduite d'eau générale qui entoure le fourneau. La tympe et les tuyères sont aussi défendues par des pièces de fonte à circulation d'eau. La plate-forme du gueulard ne peut point reposer sur la cuve, dépourvue de toute enveloppe ; on la soutient au moyen de quatre colonnes ou tuyaux en tôle, qui servent en même temps de conduites de descente pour les gaz du gueulard ; la cuve réfractaire peut prendre quelque mouvement, par suite de dilatation ou de contraction, sans nuire à la solidité de la plate-forme de chargement, ni à l'abduction des gaz. Ceux-ci sont recueillis, comme le dessin le montre, à l'aide d'un tuyau central plongeant dans les charges et d'une trémie en tôle ; sortant du

fourneau par cinq orifices, ils viennent se débarrasser des poussières dans des caisses en tôle placées sur la plate-forme de la base, pour se diriger de là vers les appareils à air chaud et les chaudières. Le gueulard, entouré d'une cheminée en tôle, reste d'ailleurs ouvert, et on effectue le chargement au moyen de wagons culbuteurs, par trois ouvertures ménagées dans la cheminée.

Comme on le voit, la chemise réfractaire du haut fourneau est partout exposée à l'air par sa face externe. Il en résulte des avantages qui méritent d'être signalés : d'abord la forme primitive du fourneau se maintient presque sans changement, aussi bien dans les parties inférieures que dans la cuve, parce que l'usure ou corrosion des briques à l'intérieur est arrêtée par le refroidissement dû à l'air extérieur. Les réparations deviennent fort aisées, aussi bien dans l'ouvrage que dans les étalages, et même dans la cuve : une brique qui s'userait trop vite peut être enlevée de sa place et remplacée sans difficulté par une autre brique ou par un bac à eau. La facilité d'approche de toutes les parties externes de la chemise permet d'apercevoir les moindres tassements ou lézardes, d'apprécier les moindres différences de température dans une même zone, et de savoir si quelque accrochage ou agglomération de matières se forme en un point de la cuve. Quelques critiques, parmi lesquels M. Tunner, tout en convenant des avantages du système, ont manifesté la crainte que le refroidissement extérieur de la cuve n'entraînaît une plus grande consommation de combustible. Cette crainte n'est pas justifiée par les faits : le fourneau de Neuss consomme moins de coke par tonne de fonte que la plupart des fourneaux du pays, ainsi qu'on le verra. M. Buttgenbach explique ce fait en disant que la température de la cuve étant un peu abaissée, il se produit moins d'oxyde de carbone dans ces régions du fourneau, aux dépens du coke et par l'action de l'acide carbonique provenant de la réduction. Cette explication peut n'être que spécieuse, et la faible consommation peut ne tenir qu'à l'excellence de la direction du fourneau; mais il n'en est pas moins certain que le sys-

tème n'amène pas une plus forte consommation, ce qu'on pouvait prévoir, puisque la quantité de chaleur qui peut passer à travers les briques est bien faible par rapport à celle qui circule dans l'intérieur de l'appareil. La base du fourneau, comme nous l'avons dit, est en maçonnerie rouge; M. Buttgenbach trouve ce mode de construction plus économique qu'une base avec colonnes ou cadres en fonte; il y a, du reste, autour du creuset et de l'ouvrage toute la place nécessaire pour les manœuvres de coulée ou les réparations les plus imprévues.

Les minerais employés à Neuss sont des hématites brunes et rouges du Nassau, des limonites venant du Brabant septentrional et du Limbourg, des limonites des environs de Créfeld. Tous ces minerais sont en menus, ordinairement très-humides. Les derniers cités, souvent presque en poussière, renferment des concrétions bleues phosphoreuses. Les mélanges ordinaires rendent 36 pour 100 de fer, et on y ajoute de 30 à 50 pour 100 de cortine, de sorte que la richesse moyenne du lit de fusion est de 27 pour 100. Les dosages sont généralement tels que l'oxygène des acides (silice et alumine) est égal à l'oxygène des bases (chaux, magnésie, manganèse), et on obtient de la fonte grise de moulage n° 1, avec des laitiers blancs pulvérulents.

Les cokes sont fabriqués à l'usine même, dans de grands fours rectangulaires à sole et parois chauffées, et à défournement mécanique, d'une construction remarquable. Ils contiennent une charge de 5 000 kilog. de charbons, et rendent 74 pour 100 de coke. Les charbons viennent du bassin de la Ruhr, et les cokes renferment, en moyenne, 10 pour 100 de cendres. Le haut fourneau reçoit des charges de 900 kilog. environ. Il est soufflé par une grande machine à balancier, dont le cylindre unique a 2^m,51 de diamètre et 2^m,20 de course. Marchant à 9 tours par minute, elle peut alimenter 6 buses de 78 millimètres, avec une pression de 25 centimètres de mercure, ce qui correspond à une production de 50 000 kilog. par jour de fonte grise de moulage. Mais, à cause des difficultés commerciales actuelles, on ne produit

que 40 000 kilog. environ, en soufflant par 4 buses seulement et en variant les buses. Le vent est porté à 400 degrés Réaumur (d'après un pyromètre de Schæffer et Budenberg) dans un appareil de Wasseraffingen à tuyaux elliptiques placés de champ; il perd environ 3 centimètres de mercure de pression dans son trajet du régulateur aux buses. Les appareils à air chaud, comme les chaudières à vapeur, sont chauffés par les gaz du fourneau mélangés aux flammes perdues des fours à coke; il n'y a point de grilles à houille.

La consommation de coke est de 1 350 kilog. par tonne de fonte grise de moulage n° 1, ce qui, avec un lit de fusion rendant 27 pour 100 de cendres, est certainement un résultat remarquable.

L'usine de Neuss fait honneur, comme construction et comme direction, à l'ingénieur qui en est chargé.

Autres usines. — L'usine de Concordia, à Ichenberg, fondée en 1855, comprend seulement 3 hauts fourneaux, 1 cubilot et 1 feu de finerie, avec leurs accessoires (3 soufflantes de 120 chevaux, 56 fours à coke, 4 fours de grillage, appareils de préparation pour les minerais de fer); elle produit environ 37 500 tonnes de fonte par an. Elle consomme des minerais du pays et du Nassau avec des cokes du bassin de l'Inde. Elle exposait, outre ses fontes, de l'oxyde de zinc provenant des cadmies du gueulard, et du plomb provenant des filtrations de son creuset.

L'usine Marie-Prudence, à Stolberg, possède un haut fourneau, qui a été à peu près inactif en 1866. Les minerais qu'elle traite sont aussi zincifères et plombifères. Le haut fourneau vient d'être reconstruit sur le système Buttgenbach, avec chemise réfractaire libre.

Les usines du Soonwald n'ont pas une grande importance comme production : elles ne fournissent que 5 000 à 6 000 tonnes par an, pour la plupart en moulages de première fusion.

HUITIÈME GROUPE.

GROUPE DE SARREBRÜCK.

Ce groupe comprend cinq usines, toutes alimentées par le bassin houiller de la Sarre ; ce sont les suivantes :

Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Burbach.	Société anonyme de Saarbrück. . .	4
Neunkirchen.	MM. Stumm frères	5
Geislautern.	Société anonyme de Dillingen . . .	2
Betting.	Id.	1
Mariabutte.	M. Gottbill-Erben.	2

Avec treize fourneaux en feu, ces usines ont produit, en 1866, 73 918 tonnes de fonte.

Minerais.

Le bassin houiller de la Sarre est riche en couches de sphérosidériles argileuses ; on y trouve aussi du blackband, même des hématites rouges ; mais toutes les exploitations réunies sont loin de pouvoir suffire aux besoins des usines à fonte de la contrée. Celles-ci font venir des minerais de la Moselle, du Luxembourg et du pays de Nassau pour compléter leurs approvisionnements.

Combustibles.

Le bassin de la Sarre a fourni, en 1866, 3 065 476 tonnes de houilles diverses. Les usines du pays y trouvent donc des combustibles en abondance et à un prix assez bas. Voici le cours des charbons à Saarbrück en septembre 1868 :

Tout-venant flambant.	9 fr. 50 la tonne sur bateau.
Menu flambant	4 00 —
Tout-venant gras. . .	10 00 —
Menu gras.	5 00 —

Usine de Burbach.

L'usine de Burbach, appartenant à la Société des usines à fer de Saarbrück, a été fondée en 1855 ; elle est voisine de Saarbrück, sur le chemin de fer de Trèves à Saarbrück et occupe en tout 1 500 à 1 600 ouvriers : elle a produit, en 1866, 41 875 tonnes de fontes. Les mines de fer de la Société ont produit 121 500 tonnes de minerais de fer.

Les minerais qui forment la base des lits de fusion sont des minettes du Luxembourg, ordinairement rouges, quelquefois grises, avec une gangue argilo-calcaire, et un rendement moyen en fer de 32 pour 100 environ ; ce sont des minerais *fer tendre*, ainsi que des minerais de la Meurthe, qui figuraient aussi dans l'exposition des matières premières de Burbach. On emploie, en outre, des minerais d'alluvion, à gangue argileuse, qui sont pour *fer fort*, des fers carbonatés crus et grillés de Saarbrück. Depuis quelques années, à la suite de nombreux essais tentés pour obtenir des fontes fines, propres aux puddlages supérieurs, on emploie en mélange, à Burbach, des minerais du pays de Nassau, qui sont, soit des oligistes, soit des hématites brunes très-manganésées de la Lahn : le plus employé est un *braunstein* qui renferme 18 pour 100 de fer et 12 pour 100 de manganèse avec une gangue argileuse. Avec les minettes, même mélangées de 20 pour 100 de minerais d'alluvion, on obtenait un fer tendre et cassant à froid. Avec un dosage renfermant pour 70 de minette, 15 de minerai d'alluvion et 15 de minerai de Nassau, on obtient un fer puddlé de qualité supérieure, à fin grain, qui se travaille très-bien à froid.

Voici l'analyse de trois minettes du duché de Luxembourg, d'après Fresenius :

	MIN. DU PLAN INCLINÉ : rouge 1 ^{re} qualité.	rouge 2 ^e qualité.	MIN. GRISE. carrière Schneider.
Peroxyde de fer.	51,07	33,18	48,22
Protoxyde de manganèse.	0,67	0,31	0,65
Silice	6,83	3,94	7,89
<i>A reporter</i> . .	58,57	37,43	56,76

	MIN. DU PLAN INCLINÉ : rouge 1 ^{re} qualité. 2 ^e qualité.		MIN. GRISE. carrière Schneier.
<i>Report.</i> . . .	58,57	37,43	56,76
Alumine combinée. . .	0,53	0,36	0,43
Alumine libre	4,08	3,70	4,23
Chaux	14,57	28,09	16,50
Magnésie.	0,35	0,49	0,41
Acide phosphorique . . .	1,68	1,04	1,61
Acide carbonique.	9,75	22,29	10,27
Eau.	10,70	6,41	10,05
Soufre	traces.	traces.	traces.
	100,23	99,81	100,27

La castine vient du Palatinat.

Les cokes sont fabriqués à l'usine même avec les houilles de Louisenenthal dans des fours Smet, munis de treuils défourneurs à vapeur du système Dethombay. Le rendement des charbons est 63 pour 100 environ en coke. Celui-ci, quand il provient de charbons lavés, contient 10 à 11 pour 100 de cendres ; autrefois, quand on ne lavait pas, le coke contenait 15 pour 100, et même quelquefois 20 pour 100, de cendres. Les fours à coke sont sur une terrasse au niveau des gueulards.

Les hauts fourneaux sont au nombre de quatre : trois anciens et un nouveau, reconstruit en 1864. Voici leurs dimensions :

	Anciens.	Nouveaux.
Hauteur totale	14 ^m ,50	14 ^m ,50
Hauteur du ventre . . .	6 ,00	6 ,00
Hauteur de l'ouvrage. .	2 ,20	2 ,32
Hauteur des tuyères . .	0 ,90	0 ,90
Diamètre du gueulard..	2 ,36	3 ,00
Diamètre du ventre.. .	4 ,24	4 ,75
Diamètre aux tuyères. .	1 ,00	1 ,20

Les trois anciens n'ont rien de particulier comme construction ; le nouveau, muni, comme les autres, d'une prise de gaz à trémie Thomas et Laurens, avec gueulard ouvert, a une vaste plate-forme carrée en fer supportée par quatre piliers en fer, reposant sur les quatre angles de la base carrée du fourneau. Les gaz sortent par deux prises de 75 centimètres de diamètre environ, qui donnent chacune dans une caisse

supportée par un tuyau qui descend jusqu'à la base du fourneau, et qui sert à purger les poussières. Au moyen d'un petit escalier en fer suspendu à la plate-forme, on descend au niveau de chaque prise de gaz, et on peut la nettoyer en ouvrant une porte. Le chargement se fait à la mode belge, au moyen de brouettes.

Chaque fourneau est soufflé par deux tuyères seulement avec des buses de 14 centimètres de diamètre environ; la pression du vent est 10 à 13 centimètres de mercure, et sa température 200 à 250 degrés. Les appareils à air chaud, à serpentins avec tuyaux plats cloisonnés, sont contigus à la base du fourneau. Les soufflantes et leurs chaudières sont sur une terrasse intermédiaire entre celle des gueulards et celle de la coulée : ce sont trois machines à tiroirs de Marcellis, qui paraissent en assez mauvais état, et une machine à balancier, type de Seraing, dont on est fort content : elles ont ensemble 225 chevaux de force.

Avec les anciens dosages, chaque fourneau produisait 25 tonnes de fonte environ par jour. Avec les nouveaux, chacun des anciens fourneaux peut produire 30 à 35 tonnes par jour. On cherche surtout à obtenir des fontes blanches rayonnées, rarement truitées : et on y arrive avec une consommation de 1 100 à 1 200 kilog. de coke. Le nouveau fourneau doit produire 40 tonnes au moins par jour. Les laitiers de fonte grise pour moulage sont pierreux, gris, à bords bleuâtres fondus; ceux de fonte blanche pour fer à fin grain sont pierreux, à cassure conchoïde, vert olive zonés. L'usine de Burbach est intéressante à connaître pour nos maîtres de forge français, puisque ses produits viennent, dit-on, lutter contre les leurs sur le marché indigène.

Autres usines à fonte.

La compagnie des usines de Dillingen, qui avait une exposition intéressante, et qui existe depuis le seizième siècle, ne fabrique absolument que des tôles de toutes natures. Elle possède cinq hauts fourneaux pour l'obtention des fontes qui lui sont nécessaires (grises et blanches rayonnées). Les

minerais qu'on y traite et qui étaient exposés sont : la sphérosidérîte argileuse à druses de Schwalbach, le blackband de la mine Prinz-Wilhelm, près Gersweiler; les hématites rouges de la mine Mittelstollen près Geislautern, de la mine Columbus près Eisensegen, de la mine Louise, des hématites rouges de Gutehoffnung (Siegen), des minettes rouges et des sphérosidérîtes diverses.

L'usine de Neunkirchen, à MM. Stumm frères, comprend cinq hauts fourneaux dont un produit des moulages de première fusion, et les quatre autres des fontes blanches pour puddlage. La production de fonte grise au coke est d'environ 2 000 tonnes par an; celle de fonte blanche, 18 000 tonnes environ. On fait à Neunkirchen toute espèce de fer marchand.

RÉSUMÉ.

Voici, pour donner une idée de l'importance de la sidérurgie dans les contrées que nous venons d'étudier, les chiffres de production de fonte recueillis dans des documents officiels :

	1864.	1865.
Prusse	705 967 tonnes.	771 902 tonnes.
Hanovre et Brunswick.	56 745 —	74 640 —
Nassau.	28 526 —	25 374 —
Hesse électorale. . . .	7 028 —	6 135 —
Hesse rhénane	10 889 —	11 658 —
Etats thuringiens . . .	3 399 —	2 658 —
Oldenburg	587 —	351 —
Waldeck	354 —	324 —

En tout. . .	813 495 tonnes.	893 042 tonnes.
--------------	-----------------	-----------------

Depuis 1865, la production de fonte a encore augmenté considérablement, si l'on en juge par les chiffres officiels suivants relatifs seulement aux États prussiens, anciens et nouveaux, pour l'année 1866 :

Prusse	803 552 tonnes.
Hanovre	68 017 —
<i>A reporter</i> . .	871 569 tonnes.

<i>Report</i> . .	871 569 tonnes.
Nassau. . . .	33 439 —
Hesse supérieure	5 198 —
Hesse électorale.	4 911 —
<hr/>	
Ensemble . .	915 117 tonnes.

De sorte que l'on peut dire que la production totale de fonte de l'Allemagne du Nord atteint actuellement environ 1 million de tonnes.

La très-majeure partie de cette production est en fonte au coke : la fabrication de la fonte au charbon de bois est en décroissance, ainsi qu'on peut le voir par les chiffres suivants relatifs à la Prusse seulement :

	1861.				1866.			
Fonte au coke.	318 647 tonnes,	70,9	°/o.		690 054 tonnes,	85,9	°/o.	
Fonte au mé-								
lange. . . .	57 878	—	12,9	—	59 439	—	7,4	—
Fonte au char-								
bon de bois.	72 813	—	16,2	—	54 058	—	6,7	—
	<hr/>				<hr/>			
	449 338 tonnes.				803 551 tonnes.			

De 1860 à 1866, la production de fonte de la Prusse a plus que doublé. Les minerais de fer et les combustibles minéraux se trouvent rarement dans ce pays réunis au même point par la nature ; mais, grâce au concours puissant que fournit un réseau bien organisé de chemins de fer et de canaux, grâce au bas prix des transports, grâce à l'énergie et à la patience des industriels allemands, la sidérurgie progresse rapidement, surtout dans les provinces rhénanes. La Silésie, malgré les bassins houillers qu'elle possède aussi, n'a pas avancé aussi vite que le Rheinland et la Westphalie, pourvus de minerais de fer plus abondants et meilleurs. Ces deux provinces, à peine connues de nos industriels au commencement du siècle, ne renfermant alors que quelques hauts fourneaux au bois dans le pays de Siegen, et ne produisant que de faibles tonnages d'aciers très-estimés, ont singulièrement changé de face maintenant. Pour ne considérer que les modifications survenues depuis l'exposition de 1862, nous noterons :

1° L'extension des découvertes de blackband dans la Westphalie ;

2° La spécialisation des fontes fabriquées avec les minerais de Siegen et de Nassau, pour l'obtention de fers fins, d'aciers puddlés et Bessemer ;

3° L'extension prise par la fabrication des spiegeleisen, grâce à l'extension du procédé Bessemer, et l'appropriation du coke à cette fabrication ;

4° L'augmentation considérable de la production journalière des hauts fourneaux au coke, qui a passé de 14 ou 15 tonnes à 40 tonnes et plus.

Nous donnerons, en terminant, le tableau de la production de minerai de fer en Prusse pour l'année 1867 :

Limonites.	54 527 tonnes.
Hématites brunes . . .	846 834 —
Fers spathiques	488 650 —
Sphérosidériles, minerais oolithiques et carbo- nates argileux	136 652 —
Blackbands	264 560 —
Hématites rouges. . . .	502 818 —
Hématites jaunes. . . .	353 —
Fers magnétiques . . .	5 276 —
Minerais pisolithiques .	83 143 —
	<hr/>
	2382 813 tonnes.

CHAPITRE V. — EMPIRE DE RUSSIE.

Les usines russes sont peu connues en France, et l'exposition de leurs produits était peu propre à les faire connaître beaucoup, à cause de l'absence de renseignements et d'indications un peu détaillées en langue française. Ayant eu la bonne fortune de parcourir la section métallurgique russe avec M. l'ingénieur des mines Koulibine, professeur à l'École des mines de Saint-Petersbourg, nous essayerons de donner une idée de la situation de l'industrie du fer dans l'immense empire qui comprend, non-seulement la Russie d'Europe, la Finlande et la Pologne, mais encore la Sibérie et la Caucase.

Toute la production de fer de l'empire appartient à la

Russie d'Europe, à l'exception de celle des mines de deux provinces de Sibérie qui sont la propriété de l'empereur. Ces provinces sont celles de l'Altai (gouvernement de Tomsk) et de la Transbaïcalie (gouvernement d'Irkoutsk). Elles avaient toutes deux envoyé des échantillons au Champ de Mars. L'administration des mines de l'Altai exposait des minerais; l'usine de Nicolaevsk, dans le gouvernement d'Irkoutsk, exposait ses minerais de Dolonovsk, des fontes et des fers. La sidérurgie a encore une importance très-minime dans ces lointains districts; elle y prendra sans doute plus d'importance, grâce à la présence de la houille et à la création de deux écoles de mineurs: l'une à Barnaoul (gouvernement de Tomsk), pour l'Altai; l'autre à Nertschinsk, pour la Transbaïcalie. On trouve aussi des minerais de fer dans la steppe des Kirghiz.

On trouve de riches gisements de fer et de manganèse sur le versant méridional du Caucase; mais ils ne sont pas exploités.

Pour la Russie d'Europe, en y comprenant la Finlande et la Pologne, les usines à fonte et les mines de fer peuvent être divisées en quatre groupes, qui sont:

1° Le groupe de l'Oural, comprenant les mines et usines des gouvernements de Perm, Orenbourg, Oufa et Viatka; c'est de beaucoup le plus important;

2° Le groupe de Moscou, comprenant les usines et mines des gouvernements autour de cette ville (Riazan, Kalouga, Nijni-Novgorod, Tambov, Vladimir);

3° Le groupe du Nord, comprenant la Finlande et les gouvernements d'Olonietz et de Vologda;

4° Le groupe de Pologne, qui compte des usines dans les gouvernements de Radom et de Lublin.

Toutes les usines des trois premiers groupes sont au charbon de bois; celles de Pologne sont au coke et se rapprochent beaucoup de celles de Silésie par leurs conditions de fabrication. Il n'y a, dans la Russie proprement dite, qu'une seule usine à fonte au coke, de création nouvelle: c'est celle de Petrovsk, dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, voisin de la mer Noire.

La houille est peu abondante en Russie ; l'industrie houillère date de vingt-cinq ans seulement et n'a donné jusqu'à présent que des résultats médiocres. On compte sept petits bassins houillers, dont le plus important est celui du Donetz (environs de Bakhmout) ; celui des environs de Moscou a pris récemment un peu plus d'importance.

Les sept bassins russes (Europe et Asie) fournissent annuellement environ 160 000 tonnes de houille seulement ; l'importation de houilles anglaises représente une valeur annuelle de 10 à 12 millions de francs. Nous dirons quelques mots d'abord de chacun des groupes indiqués ci-dessus.

PREMIER GROUPE

GROUPE DE L'OURAL.

Ce groupe est le plus important pour la quantité et pour la qualité des produits. Les usines qui le composent, réparties sur les deux versants des monts Ourals, dans les gouvernements de Perm, d'Orenbourg et d'Oufa principalement, fournissent plus de 90 pour 100 de la production totale de fonte en Russie. Elles fabriquent des fontes et des fers au charbon de bois qui, pour certaines marques du moins, luttent avec les meilleurs fers de Suède pour la production de l'acier cimenté. Ainsi que M. Le Play l'indique dans son excellent mémoire *Sur la fabrication et le commerce des fers à acier dans le nord de l'Europe*, les fers russes ont été longtemps l'objet d'un commerce d'exportation considérable : ils venaient encore, au commencement de ce siècle, lutter contre les fers de Suède et de Norwège sur les marchés anglais. Mais l'accroissement de la consommation intérieure a fait diminuer ce commerce d'exportation, qui n'a plus maintenant la même importance.

Voici les noms des principales usines, groupées par gouvernements et avec les noms de quelques-uns des principaux maîtres de forges :

GOUVERNEMENTS.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE des hauts four.
Perm.	Barantcha	S. M. l'empereur de Russie	8
—	Verkhnetoura.		
—	Kouschva.		
—	Nijni-Taguïsk	M. Paul Demidoff.	5
—	Verkneissetsk.		
—	Alapaevsk	Hoirie S. Jakovleff.	
—	Nevlansk	Hoirie P. Jakovleff.	
—	Nijnetoura.		
—	Verknesalda.	M. Paul Demidoff.	2
—	Kamensk.		
—	Alexandrovska.	M. Vsevolovski.	
—	Kyshtyme.	Hoirie de Rastorgouïeff.	
Oufa.	Satkinsk.		
—	Koussinsk.		
—	Sim-sk.	M. Balaschov.	
—	Katav Ivanovsk.	Prince Belosselsky-Belozerski.	2
Orenbourg.	Avzianopetrovsk.	M. Dm. Benardaki.	
—	Beloretzk.	M. N. et S. Paschkoff.	3
—	Tirliansk	Id.	

Toutes ces usines fabriquent des fontes au charbon de bois avec les excellents minerais du groupe, qui sont, ou des oxydes magnétiques exploités dans des roches pyroxéniques, ou des hématites brunes exploitées dans des schistes cristallins, quelquefois des fers spathiques. Le combustible est ordinairement un mélange de charbon de pin, de sapin, de bouleau, et quelquefois de peuplier; c'est celui de sapin qui prédomine ordinairement pour la fabrication de la fonte.

Les hauts fourneaux sont, en général, d'assez grande dimension : leur hauteur varie depuis 11 mètres, au moins, jusqu'à 17 mètres; elle est ordinairement de 14^m,25 (20 *archines*). Le diamètre du gueulard, est environ 2^m,14, et le diamètre, au ventre, 4^m,27; celui-ci se trouve au tiers de la hauteur totale, ou un peu plus bas quelquefois. L'ouvrage, de section carrée, a ordinairement 71 centimètres de côté sur 2^m,14 de hauteur, ou quelquefois un peu plus. On souffle par deux tuyères, très-rarement par trois, avec des buses

de 62 à 75 millimètres de diamètre, la pression du vent étant de 50 à 75 millimètres de mercure; on ne chauffe jamais l'air. La production de fonte, en vingt-quatre heures, n'est jamais inférieure à 10 tonnes, et quelquefois elle dépasse 20 tonnes.

Le rendement du minerai n'est jamais inférieur à 40 pour 100; il atteint souvent 60 et même 62 pour 100. Les charges de charbon ont un volume ordinairement de 18 hectolitres et un tiers (un *corobe*), quelquefois on va jusqu'à 28 hectolitres et un quart. La consommation de charbon par tonne de fonte grise varie depuis 1 000 jusqu'à 1 200, et même 1 500 kilog.

Mais, outre ces hauts fourneaux de section ronde, plus ou moins analogues, sauf pour les dimensions, aux hauts-fourneaux au charbon de bois de France, on trouve dans le groupe de l'Oural sept ou huit hauts fourneaux à section rectangulaire, du système dit *normal et universel*, inventé par M. Raschette, général au corps impérial russe des mines, ancien directeur des usines de Nijni-Taguilsk. Dans ce système, comme on sait, la section de l'ouvrage est un rectangle allongé, pourvu de deux séries de tuyères, et la cuve va en s'évasant avec des faces planes, depuis l'ouvrage jusqu'au gueulard. La production journalière de ces fourneaux va jusqu'à plus de 32 tonnes. On leur trouve surtout l'avantage d'avoir une marche extrêmement régulière, tandis qu'avec les anciens hauts fourneaux à section circulaire, on a assez souvent des engorgements; de plus, ceux-ci sont très-sensibles aux variations de pression ou de volume du vent, ce qui fait qu'on ne peut aisément augmenter ou diminuer la production en vingt-quatre heures. Mais les hauts fourneaux Raschette demandent à être mis en feu par des personnes expérimentées; une fois qu'ils ont atteint leur allure normale, ils donnent fort peu d'embarras. A la mise en feu, dit-on, il faut augmenter rapidement la charge de mine et la pression du vent; en suivant la méthode qui réussit avec les fourneaux ordinaires, on est certain d'engorger un fourneau Raschette.

Nous donnerons plus tard quelques détails sur le roule-

ment d'un ou deux de ces hauts fourneaux, d'après les renseignements publiés par M. Aubel, agent de M. Raschette, et d'après ceux qui nous viennent d'un de nos amis, directeur de forges dans l'Oural. L'exposition russe ne présentait ni dessin ni modèle de haut fourneau Raschette pour fondre le minerai de fer; mais on y trouvait un modèle de haut-fourneau à cuivre de ce système, couronnant la pyramide des produits de Nijni-Taguïlsk.

Tous les hauts fourneaux du groupe ne fabriquent presque que des fontes grises, soit pour le moulage, soit pour l'affinage.

Usines du district de Goroblagodat.

La montagne de Goroblagodat, dont la richesse minérale a été découverte en 1730, a une circonférence de 6 kilomètres, et fournit annuellement plus de 32 000 tonnes de minerai magnétique, rendant de 54 à 60 pour 100 de fer. Ce minerai est fondu dans les hauts fourneaux de Kouschva, Barantcha et Verkné-Toura. Ceux de Kouschva ont produit, en 1863, environ 7 700 tonnes de fonte en gueuses et 700 tonnes de fonte moulée; ceux de Barantcha, 3 325 tonnes de fonte en gueuses et 500 tonnes de munitions de guerre; ceux de Verkné-Toura, 4 500 tonnes de fonte en gueuses et 850 tonnes de fonte moulée. Ces trois usines, qui appartiennent à l'État, avaient exposé leurs produits.

Voici l'analyse des minerais de Goroblagodat, d'après M. Scheerer :

	1 ^{re} variété.	2 ^e variété.	3 ^e variété.
Oxyde magnétique de fer.	86,30	73,32	87,53
Oxyde rouge de manganèse.	1,44	4,26	0,93
Acide titanique	4,86	»	4,06
Silice	7,55	8,46	4,54
Alumine	»	3,94	2,26
Chaux	1,44	7,27	2,40
Magnésie	1,05	1,10	0,86

Les fourneaux produisent de 15 à 16 tonnes en vingt-quatre heures, avec une consommation de 1 100 à 1 200 kilog. de charbon par tonne de fonte grise.

La composition des fontes est la suivante, d'après M. Koulibine :

	1 ^{er} échantillon.	2 ^e échantillon.
Fer.	94,89	95,19
Graphite.	3,68	3,30
Carbone combiné .	0,85	0,40
Silicium.	0,41	0,94
Manganèse.	0,17	0,17
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Usines du district de Nijni-Taguïsk.

Ces usines, les plus importantes de l'empire de Russie, où l'on traite aussi des minerais de cuivre et de platine, ont été fondées, en 1725, par un des aïeux de M. Demidoff, propriétaire actuel ; elles sont établies sur une immense superficie de propriétés distribuées sur les deux versants de l'Oural. Pour ce qui concerne le fer, on exploite presque uniquement la célèbre mine de Vouïssokogorsk, située sur le revers sibérien des monts Ourals, et qui fournit des minerais magnétiques rendant 96,34 d'oxyde de fer, tout à fait analogues aux meilleurs minerais de Suède. Le gîte de Vouïssokogorsk, parfaitement exploré maintenant, peut fournir sûrement, dit-on, 50 000 tonnes de minerai par an pendant plus de trois siècles. Les usines de Taguïl comprennent sept hauts fourneaux et produisent annuellement environ 25 500 tonnes de fonte ; elles sont montées à l'instar des grandes usines européennes. Les hauts fourneaux appartiennent aux deux systèmes : à section ronde et à section rectangulaire. Voici, d'après M. Aubel (1863), les résultats comparatifs de deux hauts fourneaux à Nijni-Taguïsk même, celui du système Raschette étant un fourneau d'essai :

	Ancien système.	Système Raschette.
Hauteur du fourneau	15 ^m ,70	6 ^m ,90
Capacité du fourneau	167 m. c.	60 m. c.
Nombre de tuyères	2	12
T. III.		36

	Ancien système.	Système Raschette.
Consommation journalière moyenne de minerai	30 290 kil.	36 000 kil.
Rendement du minerai	67,5 %	68 %.
Consommation journalière moyenne de charbon de bois	1 298 h.	1 514 h.
Production moyenne de fonte grise en vingt-quatre heures	20 435 kil.	25 000 kil.
Consommation de charbon par 100 kilogrammes de fonte	6 h,30	6 h,05
Consommation de charbon par 100 kilogrammes de minerais	4 h,28	4 h,20
Consommation maximum journalière de minerais		40 119 kil.
Rendement de ce minerai		67 %
Consommation maximum journalière de charbon		1 579 hect.
Production journalière maximum de fonte		27 490 kil.
Consommation de charbon par 100 kilogrammes de fonte		5 h,87
Consommation de charbon par 100 kilogrammes de minerai		3 h,93

A l'usine de Verkné-Salda, qui fait partie du district de Nijni-Taguïlsk, il y a deux hauts fourneaux Raschette ayant à peu près la même hauteur, mais de dimensions transversales différentes; les tours sont solidement cerclées en fer. Le plus petit reçoit l'air par six tuyères, trois de chaque côté du creuset; les tuyères qui se trouvaient sur la rustine ont été supprimées; les buses ont 25 millimètres de diamètre et la pression du vent est de 62 millimètres de mercure. Il consomme le minerai de Vouïssokogorsk, pur, fortement grillé, puis concassé avec soin, sans addition de fondant; le combustible est du charbon de sapin. Le volume de la charge de charbon est de 2^m^e,147; et avec cette charge on obtient de 245 à 262 kilog. de fonte grise; on passe cinquante charges en vingt-quatre heures, ce qui donne une production journalière de 12 à 13 tonnes de fonte. Le rendement du minerai est environ de 65 pour 100. Le fourneau n'a qu'une seule embrasure de coulée.

Le grand haut fourneau est soufflé par huit tuyères, quatre de chaque côté du creuset. Pendant une campagne qui a duré deux années, la production journalière maximum a été de 32 tonnes et la production moyenne en vingt-quatre heures a été de 26 200 kilog.

D'après ce qu'on nous a dit à l'exposition, on a obtenu dans le district de Nijni-Taguïlsk une production journalière maximum de 33 890 kilog. avec un fourneau Raschette de 12^m,10 de hauteur, tandis qu'avec les anciens fourneaux ronds de 15^m,70 on ne pouvait dépasser 23 700 kilog. Le rendement du minerai serait toujours un peu supérieur (2 pour 100), et l'économie sur le prix de revient de la fonte atteindrait, matières et main-d'œuvre comprises, 18,7 pour 100. On leur reconnaît, comme avantages supplémentaires, de se construire plus vite, d'arriver plus vite à une forte production, de permettre un travail du creuset plus rapide.

On traite presque uniquement dans les usines de Nijni-Taguïlsk les minerais de Vouïssokogorsk ; on en obtient des fontes pour la plupart grises, mais aussi truitées et blanches; quelquefois on fabrique des fontes lamelleuses spéculaires en mélangeant des peroxydes de manganèse au minerai magnétique.

Usines d'Alapaëvsk.

Les usines d'Alapaëvsk, au nombre de quatre, ont été fondées pour la plupart dans la seconde moitié du siècle dernier. Elles traitent annuellement plus de 40 000 tonnes de minerai, et produisent environ 8 000 tonnes de fer de différentes qualités, représentant une valeur de 3 200 000 francs environ. Elles consomment aussi annuellement 6 500 tonnes de castine, 1 600 tonnes d'argile réfractaire et 2 266 000 mètres cubes de bois de sapin.

Nous donnons, pl. XXIII, fig. 3, le profil des hauts fourneaux qui donnent les meilleurs résultats à Alapaëvsk (1867). Ils sont soufflés par deux tuyères à courant d'eau, placées à 62 centimètres au-dessus du fond du creuset. Les minerais employés sont des hématites brunes provenant des minières

des environs d'Alapaëvsk, mélangées d'une proportion variable d'oxydes magnétiques de Vouïssokogorsk. Le combustible est un mélange de charbon de pin et de bouleau en proportions déterminées, ordinairement moitié de l'un et moitié de l'autre. Voici la composition d'une charge en marche ordinaire :

Charbon de bouleau	1 m. c.	} en tout 2 mc.
Charbon de pin	1 m. c.	
Oxydes magnétiques grillés .	131 kil.	} en tout 738 kil.
Hématites brunes grillées . .	475 —	
Bocages de fonte	32 —	
Castine	100 —	

Cette charge rend de 327 à 360 kilog. de fonte grise, c'est-à-dire 50 à 55 pour 100 pour le mélange de minerai et bocages. On souffle avec de l'air froid par deux buses de 66 à 77 millimètres, la pression étant de 75 à 100 millimètres de mercure, suivant les besoins de l'allure ; ordinairement on la maintient à 87 millimètres. On passe ainsi généralement cinquante charges en vingt-quatre heures, ce qui correspond à une production de 16 000 à 18 000 kilog. de fonte en vingt-quatre heures. Le mètre cube de charbon pesant environ 180 à 190 kilog., il en résulte que la consommation par tonne de fonte grise est de 1 000 à 1 200 kilog. à l'air froid.

On a essayé à Alapaëvsk des fourneaux ronds à cuve cylindrique ; mais on a dû les abandonner, en présence des mauvais résultats économiques obtenus. On se préoccupait l'année dernière de l'emploi de l'air chaud.

Autres usines du gouvernement de Perm.

L'usine de Neviansk, fondée en 1699, traite par an 11 500 tonnes de minerai de Vouïssokogorsk ; elle fournissait autrefois beaucoup de fers à acier aux aciéries de Sheffield ; sa marque a maintenant presque disparu de ce marché.

Les hauts fourneaux de Nijnéïssetsk, de Nijnetoura, de Kamensk, d'Alexandrovsk traitent non-seulement des oxydes magnétiques, mais aussi des hématites rouges, brunes et

jaunes ; on y fabrique de grandes quantités de projectiles pour l'artillerie. A Kamensk est une fonderie de canons.

Dans les usines de Kyschtyme et de Kasli on fabrique des moulages de première et de deuxième fusion ; elles occupent douze cents ouvriers. On remarquait à l'exposition des objets en fonte moulée très-remarquables pour leur fini, et aussi une grande chaudière en calotte sphérique très-mince, remarquable par son élasticité. On raconte que dans cette lointaine usine les ouvriers, pour émerveiller les visiteurs, laissent tomber de quelques mètres de hauteur ces chaudières en fonte qui, touchant le sol par leur bord, rebondissent comme une balle élastique : elles sont destinées à la cuisine des peuples tartares et mandchoux.

Usine de Satkiosk.

Cette usine, fondée en 1758, et occupant cent trente-six ouvriers, fabrique aussi des moulages. Elle traite les minerais hématites brunes et jaunes de Bakalsk, Klutchevsk, etc., en mélange avec très-peu de fers spathiques. On y trouve un fourneau Raschette dont nous donnons le profil, pl. XXIII, fig. 1. Voici quelques détails sur son roulement. Sa capacité est de 68 mètres cubes jusqu'aux tuyères ; il est soufflé par huit buses de 37 millimètres avec du vent froid comprimé à 62 millimètres de mercure. Il a fallu 32 charges pour le remplir. Une de ses campagnes a duré quatre cent cinquante jours pendant lesquels le nombre moyen de charges en vingt-quatre heures a été 63 $\frac{1}{2}$, et la production moyenne 16387 kilog. de fontes diverses, mais surtout grises. Avec 1 mètre cube de charbon on a obtenu 143 kilog. de fonte. Les laitiers sont vitreux et opaques, de couleur grise violacée ; quelques-uns sont ponceux et blancs.

On a comparé dans cette usine le roulement du fourneau Raschette avec celui d'un ancien fourneau rond, en prenant les moyennes correspondant à une période de cent quarante-six jours de travail (du 67^e au 202^e jour après la mise en feu de chaque fourneau), et on a obtenu les résultats suivants :

	Fourneau rond.	Fourneau Raschette.
Hauteur du fourneau . . .	11 ^m ,38	9 ^m ,96
Capacité	63 m. c.	68,22
Nombre de charges pour remplir	30	32
Nombre de charges en vingt-quatre heures.	38 1/2	63 1/2
Durée du séjour d'une charge dans le fourneau.	18 ^b ,30 ^m	12 ^b ,10 ^m
Nombre de tuyères. . . .	2	8
Production moyenne en vingt-quatre heures. . .	8 530 kil.	17 140 kil.
Production de fonte par m. c. de charbon de bois.	123 —	146 —
Rendement du minerai. .	40,2 %	50 %
Production journalière max.	11 870 kil.	22 920

La consommation de charbon de bois dans le fourneau Raschette a donc été de 1250 kilog. environ par tonne de fonte, résultat qui n'est point supérieur à celui obtenu à Alapaëvsk avec un fourneau rond, et qu'on eût obtenu sans doute aussi à Satkinsk avec un fourneau rond d'un profil convenable et bien conduit. Nous ne voyons réellement pas, d'après les renseignements que nous avons, de raison bien déterminante pour préférer les fourneaux dits *universels* aux fourneaux à section ronde.

Autres usines du groupe.

A Koussinsk, on fond également des hématites dont quelques-unes sont manganésifères; on y emploie comme fondant de la dolomie. On y fabrique du fer et des projectiles moulés.

Les usines de Simsk, de Katav Ivanovsk traitent les minerais de Boulan; elles fabriquent des fers de forge et à acier. La dernière exporte encore des fers en Angleterre. Voici l'analyse de deux fontes de Simsk.

	Grise.	Blanche.
Graphite	2,35	1,45
Carbone combiné.	1,30	2,69
Silicium	0,55	0,18
Manganèse.	0,08	1,27
Fer	95,47	94,44

A Beloretzk et à Tirliansk on consomme des minerais magnétiques qui rendent 65 pour 100 de fonte, et on fabrique des fers marchands.

DEUXIÈME GROUPE.

GROUPE DE MOSCOU.

Ce groupe, beaucoup moins important que le précédent, comprend diverses usines réparties dans les gouvernements de Riazan, Kalouga, Nijni-Novgorod, Tambov, Vladimir. Ce sont aussi toutes des usines au charbon de bois. On peut, si l'on veut, rapporter à ce groupe l'usine de Petrovsk dans le gouvernement d'Ekaterinoslav, seule en Russie qui fabrique des fontes au coke; elle traite les minerais de Lougansk rendant 50 à 55 pour 100 de fer.

Les minerais surtout traités dans le groupe de Moscou sont des hématites jaunes et des sphérosidériles provenant des terrains jurassique et carbonifère, peut-être aussi permien. Les fontes et les fers qui en proviennent sont de qualité ordinaire.

Deux usines représentaient ce groupe à l'exposition :

1^{re} Celles de M. Schipoff à Ilev (gouvernement de Nijni-Novgorod) et à Voznessensk (gouvernement de Tambov), qui exposaient des minerais et de la fonte cotés 3 fr. 60 le poud, c'est-à-dire 22 fr. 50 les 100 kilogrammes environ. Elles emploient mille ouvriers en tout et fabriquent par an 4 500 tonnes environ de fonte de fer ;

2^e Celles de Vyksounski (gouvernement de Nijni-Novgorod), qui exposaient aussi des minerais et des fontes.

Outre ces usines on peut encore citer celles de Gous, dans les gouvernements de Vladimir et de Riazan.

TROISIÈME GROUPE.

GROUPE DU NORD.

Les usines qui composent ce groupe sont réparties autour des lacs Onega et Ladoga dans le gouvernement d'Olonietz

et dans la Finlande. Elles consomment divers minerais, entre autres des oxydes magnétiques très-pauvres et réfractaires, rendant 25 à 30 pour 100, des minerais des lacs analogues à ceux de Suède et des minerais d'Utoë qu'on importe de Suède. On en fabrique des fontes de moulage et des fontes d'affinage.

Deux usines représentaient ce groupe :

1° La *fonderie impériale de canons d'Alexandrovsk*, à Pétrozavodsk (gouvernement d'Olonietz), qui traite des minerais des lacs et des marais, et obtient des fontes assez résistantes, malgré une certaine proportion de phosphore. Elle exposait un morceau de fonte provenant d'un canon qui n'a éclaté qu'avec une charge de 870 pouds par pouce carré, c'est-à-dire 2 240 kilog. par centimètre carré ⁽¹⁾, et un autre, provenant d'un canon de vingt-quatre, qui a résisté à mille décharges sans être endommagé. D'après la commission russe, cette fonderie livre annuellement 960 tonnes de métal à canon, 3 200 tonnes de munitions, 1 600 tonnes de fonte brute et 320 tonnes d'objets moulés. Elle occupe douze cents ouvriers ;

2° Les *usines de Waertsilae et de Mochkoe* (Finlande), comprenant trois hauts fourneaux et produisant annuellement 5 140 tonnes de fonte brute, avaient exposé des minerais de fer des lacs (ceux de Tolmajärwi, Loitimojärwi et Youkajärwi), avec des fontes truitées et blanches rayonnées, accompagnées de laitiers vert bulleux.

Les fontes de ce groupe présentent une apparence assez médiocre ; on en fait des fers qui résistent à des efforts croissants jusqu'à 15 000 kilog. par pouce carré, soit 24 kilog. par millimètre carré. Voici quelques analyses de fontes du groupe, l'une de l'usine d'Alexandrovsk, l'autre de celle de Souajärwi (Finlande).

	Alexandrovsk.	Souajärwi.
Fer	95,44	94,72
Carbone	3,15	3,02
Silicium	0,95	1,44

(1) Nous ne comprenons pas très-bien cette expérience.

	Alexandrovsk.	Souajärwi.
Manganèse. . .	»	traces.
Phosphore . . .	0,30	0,82
Soufre	0,15	traces.

QUATRIÈME GROUPE.

GROUPE DE POLOGNE.

Les usines à fonte polonaises ressemblent beaucoup à celles de la Silésie prussienne et consomment comme elles les houilles et les cokes du bassin silésien. Elles produisent annuellement environ 65 000 tonnes de fonte. Les principales se trouvent dans les gouvernements de Radom et de Lublin. L'exposition présentait des spécimens des produits de plusieurs hauts fourneaux polonais, mais malheureusement dans un désordre trop grand pour qu'on pût en tirer beaucoup de profit.

Le gouvernement russe avait exposé les produits de ses *hauts fourneaux de la verrerie de la Banque*, à Dabrowa, ainsi que des photographies de l'usine. Les minerais étaient des hématites brunes argileuses; le charbon venait des houillères de Tsechkovsk et Ksaviersk. La fonte grise était cotée 50 copecks le poud, c'est-à-dire environ 12 francs les 100 kilog.

MM. Bochenski frères et Wielogłowski présentaient les matières premières et les fontes de leur *usine de Ruda-Maleniecka* (gouvernement de Radom), savoir : des sphérosidérites, des hématites de Miedzierza et des fontes grises. Cette usine, fondée vers le milieu du siècle dernier, occupe douze cents ouvriers environ.

Deux maisons polonaises exposaient des fontes au charbon de bois, savoir :

MM. Lubienski, Frenckel et C^e, *usines d'Irena* (gouvernement de Lublin) et d'*Ostrowice* (gouvernement de Radom), qui consomment des minerais hydratés de Hendrikovsk et Iossifovsk, en produisant des fontes qui valent 15 francs les 100 kilog. environ;

Le comte Plater, *usines de Borkowice et Wiekla* (gouvernement de Radom), qui travaillent depuis environ deux siècles et produisent annuellement pour 150 000 francs de fonte.

Les fontes de Pologne paraissent du reste être de qualité assez inférieure.

RÉSUMÉ.

La Russie, d'après la publication officielle de M. de Buschen, a produit, en 1863, 245 073 tonnes de fontes. Mais ce chiffre est inférieur à la moyenne annuelle ordinaire, qui est de 283 300 tonnes. On évalue la valeur de la fonte sur les lieux de production à 170 francs la tonne environ, de sorte que la production totale représente une valeur de 47 600 000 francs. Mais il faut y ajouter la production du royaume de Pologne, environ 65 000 tonnes, de sorte que le tonnage total des fontes produites dans l'empire atteint 350 000 tonnes environ, d'une valeur de 60 millions de francs.

Cette production est loin de pouvoir suffire à une population de 77 millions d'âmes ; aussi importe-t-on en Russie beaucoup de fonte ouvrée provenant surtout de l'Angleterre et de la Prusse. La valeur de ces importations métalliques dépasse celle de la fonte produite dans l'empire même. Il est peu probable que la Russie devienne jamais un pays très-sidérurgique à cause de l'absence de la houille, ou du moins de sa rareté, et de la concentration des mines à l'extrémité de l'empire, dans le voisinage des monts Ourals. Toutefois les qualités spéciales des fers de l'Oural font que l'exportation en continue : en 1865 l'importance de cette exportation atteignait 4 millions de francs.

CHAPITRE VI. -- EMPIRE D'AUTRICHE.

La section autrichienne était une des plus intéressantes pour le visiteur ; au point de vue de la fabrication de la fonte, elle ne le cédait qu'à la section suédoise en spécimens et en renseignements instructifs. Les maîtres de forges autrichiens et l'État publiaient avec désintéressement les ré-

sultats techniques de leurs usines : tous les métallurgistes qui ont vu le concours international du Champ de Mars se rappellent la vitrine et les spécimens des usines impériales de Neuberg et de l'Innerberg, ainsi que les instructives séries d'analyses offertes aux visiteurs. Si l'usine de Neuberg n'eût été placée hors de concours comme établissement impérial, elle eût certainement obtenu un grand prix, non pas par la masse de sa production assez restreinte, mais par la perfection de sa fabrication. La science métallurgique est, en effet, très-avancée en Autriche : ses trois écoles des mines, Leoben, Przibram et Schemnitz fournissent des ingénieurs et des directeurs d'usine fort habiles ; la première surtout, qui est plus spécialement vouée à l'étude de l'industrie du fer, voit ses élèves recherchés dans toute l'Allemagne.

La richesse minérale de l'Autriche est considérable. Les minerais de fer abondent dans la plupart de ses provinces ; on est loin d'en connaître encore tous les gisements, et la suite de cette étude montrera que la qualité de ces minerais est en général très-supérieure et particulièrement appropriée à l'obtention d'aciers et de fers fins. Les ressources forestières sont très-étendues : aussi les provinces les plus sidérurgiques de l'Autriche sont-elles des pays classiques pour la fabrication de l'acier et du fer au combustible végétal. Elle possède aussi divers bassins houillers (Bohême, Moravie, Hongrie, Transylvanie) ; mais malheureusement ils sont assez éloignés des gisements de minerais de qualité supérieure, et les transports économiques ne sont pas encore très-bien organisés. L'avenir réserve peut-être divers changements importants dans l'industrie des fers en Autriche.

Pour étudier les usines à fonte autrichiennes, nous les diviserons en quatre groupes :

1° Le groupe de Moravie et Bohême, comprenant aussi la Silésie autrichienne, le district de Cracovie et la Galicie ;

2° Le groupe de Hongrie et de Transylvanie ;

3° Celui de Styrie et Carniole, comprenant aussi la basse Autriche ;

4° Celui de Carinthie et de Tyrol.

PREMIER GROUPE.

GROUPE DE MORAVIE ET DE BOHÈME.

Les usines à fonte qui se trouvent dans ce groupe sont presque toutes à portée de bassins houillers et consomment des coques qui en proviennent. Ces bassins houillers sont celui des environs de Prague en Bohême, celui d'Ostrau en Moravie et les bassins silésiens. Aussi les hauts fourneaux au coke de notre groupe sont-ils presque les seuls de l'empire. Voici les noms des principales usines.

PAYS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Bohême.	Theresienthal.	L'Etat.....	1 au bois.
—	Josephthal.	Id.	1 —
—	Kladno.	Ce sidérurg. de Prague...	6 au coke.
Silésie autrichienne.	Teschen.	Archiduc Albert.....	
Moravie.	Wittkowitz.	Baron de Rothschild....	2 —
—	Marienthal.	Id.	1 —
—	Blansko.	Prince de Salm.....	1 au bois.
—	Rossitz.	Baron de Herring.....	2 (?)
Galicie.	Sucha.	Comte Branicki.....	1 au bois.
—	Makow.	—	1 —

Usines de Bohême.

L'*usine de Kladno* est la plus importante de l'empire comme production de fonte. Elle comprend six hauts fourneaux, d'une hauteur supérieure à 15 mètres, et produisant chacun plus de 150 tonnes de fonte par semaine, avec des coques fabriqués sur place et des minerais, hématites et autres, du terrain silurien.

La houille des mines de Kladno est très-pyreuse et très-impure; aussi est-elle soumise à un lavage soigné dans des appareils analogues à ceux qu'on trouve dans nos houillères françaises les mieux outillées. Les fours à coke du système belge, au nombre de deux cents environ, sont desservis par une défourneuse mécanique à vapeur. Les minerais de Kladno sont aussi très-pyreux, et en outre phosphoreux; et ce n'est qu'après une préparation très-soignée que l'on

parvient à en fabriquer de la fonte de qualité passable. Ils sont d'abord grillés dans des fours à cuve avec couches alternatives de minerai et de menu charbon ; au sortir du four la pyrite de fer (qui forme environ 2 pour 100 du poids du minerai) est transformée en sulfate de fer. Le minerai grillé est alors soumis dans des bassins étagés à un lavage méthodique qui se prolonge pendant plusieurs semaines : il faut un espace considérable pour ces bassins. On recueille ensuite par cristallisation le sulfate de fer contenu dans l'eau. Les minerais lavés sont soumis à un second grillage qui a surtout pour but de les sécher et qui se fait, comme le premier, dans un four à cuve. Le minerai est alors assez désulfuré pour produire une bonne fonte : on le traite du reste avec une allure très-calcaire du haut fourneau, afin d'épurer encore la fonte. Mais M. Jacobi, le directeur de l'usine, l'inventeur de ce procédé de traitement des minerais de fer par la voie humide, n'a pu encore se débarrasser du phosphore contenu dans ses minerais et qui rend son fer plus ou moins cassant à froid. Il avait cependant obtenu un demi-succès en faisant macérer les minerais grillés dans le chlorure de manganèse liquide, résidu des usines de produits chimiques voisines ; mais cette matière lui a manqué depuis que ces dernières usines ont trouvé le moyen d'utiliser leurs résidus à régénérer des oxydes de manganèse. Ces essais de traitement par la voie humide sont fort intéressants, et il serait à désirer qu'on pût avoir plus de détails.

En Bohême se trouvent diverses autres usines moins importantes, comme *Josephsthal*, où le combustible est le charbon de tourbe ; *Joachimsthal* et *Theresienthal*, où le combustible est le charbon de bois. La dernière usine produit des fontes très-manganésées. Voici, d'après Richter, l'analyse d'un spiegeleisen de Theresienthal qui est le plus manganésé dont nous ayons eu connaissance : cette analyse est bizarre par suite de la forte teneur en silicium.

Carbone total.	2,311
Silicium. . . .	2,732
Manganèse . .	21,183

Usines de Moravie.

La Moravie renferme plusieurs usines à fonte au coke assez importantes. La plus considérable est celle de *Wittkowitz*, qui appartient au baron de Rothschild : elle comprend deux hauts fourneaux de dimensions moyennes. Le combustible est du coke fabriqué avec les excellents charbons d'Ostrau; les minerais sont des sphérosidériles, des minerais siliceux grillés qu'on mélange avec une forte proportion de scories de puddlage et de réchauffage; la majeure partie de la fonte employée dans la forge vient de l'extérieur; les hauts fourneaux sont destinés surtout à tirer parti des scories. Les deux fourneaux de Wittkowitz et celui de *Marienthal*, qui en dépend, ont été installés en 1858 avec des poitrines fermées, ainsi qu'on peut le voir dans la *Revue universelle*, t. IV; mais ils ont été reconstruits avec la poitrine ouverte en 1867. Les résultats comparatifs de la marche avec poitrine fermée en 1865 et de la marche avec poitrine ouverte en 1867, qui nous ont été communiqués, ne sont point favorable à la fermeture; les voici :

	1865.		1867.
Production en 24 heures.....	8 774 kil. fonte bl.		9 243 kil. fonte gr.
Consommation pour 100 de fonte :			
— coke.....	282	—	257
— minerais.	98	—	112
— scories...	131	—	149
— castine...	97	—	165

L'usine de Wittkowitz n'avait pas exposé.

Le prince de Salm, propriétaire de l'usine *Blansko*, fabrique surtout des fontes d'ornement. Il exposait les dessins de ses appareils, qui n'ont rien de bien particulier : il traite des minerais siliceux avec des charbons de bois tendre; il a des appareils placés au gueulard où il chauffe l'air à 180 degrés.

L'usine de *Rossitz* avait exposé des fontes au bois et au coke, des laitiers fabriqués avec les sphérosidériles et les hématites brunes de Hlubocky, de Trebie, de Zukovie, avec les minerais siliceux d'Eichhorn et les fers magnétiques de Vy-senau et de Latein; plusieurs de ces minerais renferment jus-

qu'à 4 pour 100 d'oxyde de manganèse. Ses combustibles minéraux viennent du bassin d'Ostrau.

Usines de Galicie et de Silésie.

La Silésie autrichienne et le district de Cracovie renferment quelques petites usines, comme celles de l'archiduc Albert à *Teschen* et à *Wengerska Gorska* (hauts fourneaux au mélange fabriquant de la fonte de moulage avec des sphérosidériles et des hématites), et celle de Ludwigsthal. En Galicie, on trouve l'usine de *Sucha*, qui exposait des minerais, des fontes brutes et des poteries émaillées.

DEUXIÈME GROUPE.

GROUPE DE HONGRIE ET DE TRANSYLVANIE.

La Hongrie possède quelques bassins houillers de faible importance, entre autres ceux de Brennberg près Oedenburg et de Fünfkirchen dans la partie occidentale du royaume, ceux des environs de Steyerdorf dans le Banat. On trouve aussi de la houille en Transylvanie, mais sans exploitation sérieuse. Les richesses minérales de ces deux pays sont probablement encore assez mal connues. Quelques usines à fonte au charbon de bois sont réparties dans la haute Hongrie ; quelques autres dans le Banat et parmi elles une seule au coke, celle de l'Anina. Voici celles qui avaient exposé :

SITUATION.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Banat.	Anina.	Société I. R. P. des chemins de fer de l'Etat.....	3 au coke.
—	Reschicza.	Id.	3 au bois.
—	Bogsan.	Id.	2 —
—	Dognacska.	Id.	1 —
—	Szaszka.	Id.	1 —
Haute Hongrie.	Dernoe.	Comte Andrassy.....	1 —
—	Baczasel.	Id.	1 —
—	Rosenau.	Mathias Nehrer.....	1 —
—	Bunkarz.	Comte Schenborn.....	1 —
—	Boros-Sebes.	Comte Waldstein-Wartenberg...	1 —

Usines de la société I. R. P. des chemins de fer de l'Etat. — Cette société possède dans le Banat un domaine très-étendu sur lequel elle extrait des minerais de fer en plusieurs points. A Dognacska et à Morawitzza on trouve des minerais magnétiques et des hématites brunes, contenant de 45 à 50 pour 100 de fer; à Szlamina près Reschicza, des minerais argileux; à Tirnowa, des minerais renfermant 35 pour 100 de fer et 5 pour 100 de manganèse. Quelques spécimens en existaient à l'exposition.

Les hauts fourneaux au bois ont des dimensions diverses et traitent des minerais différents; aussi leur production journalière diffère avec les usines, ainsi que la consommation en charbon. On trouvera dans Percy-Petitgand-Ronna des détails intéressants sur leur roulement.

Le seul haut fourneau en feu à l'Anina a 15 mètres de hauteur et produit 13 à 15 tonnes par vingt-quatre heures⁽¹⁾.

On voyait à l'exposition des fontes grises à gros grains de l'Anina, des fontes grises au bois pour moulage et pour bessemer de Reschicza, des spiegeleisen de Reschicza. Voici, d'après Maderspach, la composition des fontes au bois de Reschicza :

	Spiegeleisen.	Fonte blanche.	Fonte grise.
Fer	93,791	94,490	95,716
Manganèse . . .	1,197	0,027	traces.
Cuivre	0,072	0,108	0,112
Aluminium . . .	0,025	traces.	0,006
Titane	traces.	0,000	traces.
Magnesium . . .	0,000	traces.	0,000
Calcium	0,029	traces.	0,011
Métaux alcalins.	traces.	traces.	traces.
Arsenic	0,000	0,000	0,000
Antimoine	traces.	»	traces.
Phosphore	0,021	0,025	0,024
Soufre	0,048	0,082	0,071
Silicium	0,707	0,154	0,739
Carbone combiné.	3,000	3,359	0,182
Graphite	0,792	0,770	2,852
Total	99,681	99,014	99,713

⁽¹⁾ Voir Percy-Petitgand-Ronna, t. III, p. 555 et 642.

Autres usines de Hongrie.

L'*usine de Derynœ*, fondée en 1827, située près de Rosenau, fabrique seulement des fontes grises destinées, les unes au moulage, les autres au puddlage et au bessemer. Elle exposait des moulages trempés. Le *haut fourneau de Rosenau*, à M. Nehrer, exposait des hématites brunes et des fers spathiques. D'autres minerais, avec leurs analyses, provenaient des mines d'Iglo :

	Hématite arailleuse.	Sphérosidélite.
Oxyde de fer.	62,25	42,60
Oxyde de manganèse. . . .	1,75	»
Alumine.	7,70	2,35
Silice	4,58	46,30
Eau.	17,00	16,25
Acide carbonique, chaux et magnésie	6,02	2,50
	<hr/> 99,30	<hr/> 100,00

L'*usine de Munkacz* exposait des moulages d'ornement d'un fini remarquable, qui ont été admirés par tous les visiteurs.

L'*usine de Boros-Sebes* avait des minerais, des fontes et des laitiers. Nous n'avons point de renseignements sur ces diverses usines : nous savons seulement qu'elles fournissent des fontes à bessemer au bois à l'aciérie de Wittkowitz.

TROISIÈME GROUPE.**GROUPE DE STYRIE ET CARNIOLE.**

C'est dans la partie montagneuse de la Styrie, surtout dans le cercle de Bruck, que se trouvent les usines à fonte les plus intéressantes de l'empire d'Autriche. Les gisements de minerais de fer abondent dans les Alpes styriennes, surtout dans la chaîne qui sépare la vallée de la Murz de celle de l'Enns, commençant vers la passe du Semring et allant jusqu'à l'Erzberg et au delà. Le fer se trouve à l'état de carbonate spathique plus ou moins jaunâtre, modifié et transformé en hématites brunes ou bleues dans certaines parties des

gites. Ceux-ci sont des amas limités en direction et en profondeur, encaissés dans les grauweekes. Le plus important est celui de l'Erzberg qui alimente plus de vingt hauts fourneaux; d'autres encore sont très-importants, mais la difficulté des transports économiques nuit beaucoup au développement de ces exploitations. L'absence de combustible minéraux propres à la fabrication du coke a empêché aussi l'établissement de grandes usines à fontes. Voici la liste des principales usines, qui étaient presque toutes représentées à l'exposition de 1867 :

SITUATION.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Basse Autriche.	Edlach, près Reichenau.		1 au bois.
Styrie.	Neuberg.	L'Etat.	2 —
—	Mariazell.	Id.	3 —
—	Eisenerz.	Id.	3 —
—	Bieflau.	Id.	3 —
—	Vordernberg.	Syndicat de maîtres de forg.	11 —
—	San Stephan.	L'Etat.	1 —
—	Turrach.	Prince de Schwarzenberg.	1 —
—	Gradenberg.	M. Mitsch.	1 au lignite
—	Missling.	M. Lohninger.	1 au bois.
Carniole.	Gradtz.	Chevalier de Fridau.	1 —

Nous avons pu recueillir à l'exposition un assez grand nombre de renseignements que nous allons exposer successivement.

Usines royales de Neuberg.

Les usines impériales et royales de Neuberg, comprenant des hauts fourneaux, forges et aciéries, sont situées sur la rivière Mürz, à 10 kilomètres environ de la station de Mürz-zuschlag, du chemin de fer du Semring. Établies dès le quatorzième siècle, elles devinrent en 1786 la propriété du gouvernement, qui les agrandit à plusieurs reprises; l'établissement de l'usine à fonte actuelle date de 1858; l'usine à bessemer, où l'on traite la fonte liquide au sortir des hauts fourneaux, est contiguë à ceux-ci. Les établissements de Neuberg, qui n'ont jamais rapporté de grands bénéfices à la couronne, composent plutôt une sorte d'usine modèle

ou d'usine d'essais qu'une usine vraiment industrielle. Ils ont servi utilement à l'avancement de la science métallurgique. L'usine à fonte, dont nous nous occupons seulement maintenant, comprend 2 hauts fourneaux, pouvant produire ensemble annuellement 5600 tonnes de fonte grise n° 1, ou 11 000 tonnes de fonte blanche, et de plus un cubilot et un four à réverbère.

Les minerais employés à Neuberg viennent des deux mines d'Altenberg et Bohnkogel, reliées à l'usine par des routes. Ils sont préalablement grillés sur la mine et on les laisse macérer pendant deux années. Voici leur composition après grillage :

	Altenberg.	Bohnkogel.
Peroxyde de fer.	72,45	74,46
Protoxyde de fer.	6,83	1,22
Protoxyde de manganèse.	3,15	3,19
Silice	12,05	10,50
Alumine	3,70	1,90
Chaux	0,60	0,62
Magnésie	4,94	5,96
Acide sulfurique.	0,20	0,34
Acide carbonique	1,60	1,63
Eau.	1,00	0,63
Oxyde de cuivre.	traces.	0,22
	<hr/> 100,52	<hr/> 100,87

D'après M. Kohn, l'extraction coûte 2 fr. 50 à 3 fr. 75 par tonne, non compris les frais généraux, qui, grâce à la direction par l'État, sont énormes; on brûle pour grillage 100 kilogrammes de fraissil par 1000 kilogrammes de minerai; le transport des mines à l'usine coûte 3 fr. 75 par tonne.

Le charbon de bois provient des forêts de Neuberg, aménagées pour un roulement centenaire, et qui fournissent 35 000 stères environ de charbonnette de pin par an. On achète en outre des charbonnettes qui coûtent 5 fr. 30 le stère environ. Le charbon de bois tendre qui en provient coûte donc encore assez cher.

Les fourneaux sont des blaufen à poitrine fermée; le creuset est percé, du côté de la poitrine, de trois ouvertures

qu'on ne dégage jamais en plein, si ce n'est dans les cas d'engorgement, qui sont très-rares. Voici, d'après des documents manuscrits qui nous sont envoyés de Neuberg, les dimensions du profil intérieur de ces fourneaux :

Hauteur totale de la sole à la prise de gaz.	11 ^m ,218
Hauteur de la sole au ventre	4,582
Hauteur du ventre cylindrique	1,738
Hauteur de la sole aux tuyères.	0,474
Diamètre de la sole.	1,422
Diamètre du ventre.	2,686
Diamètre du gueular !.	1,580

Le gueulard est surmonté d'une hausse en fonte contenant une prise de gaz à trémie, et haute de 2^m,528; il est fermé par un couvercle. Les fourneaux sont adossés; les appareils à air chaud et les chaudières chauffées par les gaz sont placés sur une terrasse intermédiaire. Les machines soufflantes, qui sont verticales; à action directe avec le cylindre vapeur sur le cylindre soufflant, sont d'une construction médiocre; on a eu le tort de les placer dans deux bâtiments différents pour satisfaire à la symétrie.

On fabriquait autrefois à Neuberg, comme dans presque tous les hauts fourneaux de Styrie, uniquement des fontes blanches en allure froide surchargée de minerais; on réchauffait le fourneau en diminuant de temps en temps, pour quelques jours, la charge en minerais. Maintenant on marche aussi en fonte grise destinée au bessemer. Voici des données toutes récentes sur ces deux roulements :

	ALLURE en fonte blanche.	ALLURE. en fonte grise.
Nombre de buses	3	3
Pression du vent	44 à 48 ^{mm} mercure.	40 à 44 ^{mm} mercure.
Température du vent	130 à 140° cent.	160 à 180° cent.
Diamètre des buses	2 de 70 ^{mm} et 1 de 66.	2 de 66 ^{mm} et 1 de 60.
Nombre de charges en 24 heures.	160.	150 à 160.
Composition d'une charge :		
Charbon de bois (dont 1/4 dur).	5 hect, 68.	5 hect, 68.
Minerais grillés	156 à 201 kil.	123 à 129 kil.
Castine	25 kil.	17 kil.
Rendement du minerai	50 pour 100	50 pour 100.
Rendement du lit de fusion	41 à 42 pour 100.	41 à 42 pour 100
Charbon par 1 000 kil., fonte	50 à 56 hect. 1/3.	90 hect.
Production en 24 heures	14 à 17 tonnes.	9 tonnes.

Voici l'analyse de la fonte à bessemer de Neuberg, avec celle du laitier correspondant :

Fonte.		Laitier.	
Fer.	90,507	Silice	40,95
Manganèse	3,460	Alumine.	8,70
Cuivre	0,085	Chaux	30,35
Carbone combiné.	0,750	Magnésie.	16,32
Graphite	3,180	Potasse	0,18
Silicium.	1,960	Soude	0,14
Phosphore.	0,040	Protoxyde de fer . . .	0,60
Soufre.	0,018	Protox. de manganèse.	2,18
		Soufre.	0,34
	100,000	Phosphore	0,01
			<hr/> 99,77

Fonderie impériale de Mariazell.

Cet établissement de fonderie et de construction a été porté par l'État à un degré d'importance et de puissance qui paraît hors de rapport avec sa situation dans une vallée impraticable en hiver. On a dit qu'on pouvait y produire avec aisance et perfection les moulages les plus pesants, mais qu'on ne pourrait point les en faire sortir aussi facilement. L'usine est remarquable par son installation et par son habile direction.

Le minerai qu'on y traite vient de la mine de Golrad ; comme il est assez sulfureux, on le grille au moyen de fraisil, et on le laisse ensuite macérer longtemps, en entretenant sur les tas des écoulements d'eau. On arrive à avoir un minerai assez pur, dont voici la composition :

Peroxyde de fer	57,83
Protoxyde de fer	3,21
Oxyde rouge de manganèse.	2,50
Silice	14,25
Alumine.	4,60
Chaux.	2,13
Magnésie	8,14
Acide sulfurique	0,20
Phosphore et cuivre	traces.
Matières volatiles.	6,80
	<hr/> 99,66

Mais il coûte 15 francs environ la tonne rendue à l'usine, à cause du prix élevé des transports dans la montagne.

Les fourneaux de Mariazell produisent presque uniquement des fontes grises de moulage, d'une qualité estimée; ils étaient même les seuls du pays marchant régulièrement en fonte grise, avant l'introduction du procédé Bessemer. On fabrique avec ces fontes des pièces de grosse mécanique, comme des laminoirs, des canons, etc.; l'usine n'avait exposé qu'un remarquable modèle de laminoir universel, dont nous parlerons plus tard.

Établissements impériaux de l'Innerberg.

La ville d'Eisenerz est située dans la vallée du Radmer; à quelque distance s'élève une montagne conique assez régulière, qu'on nomme l'*Erzberg* (montagne de minerai), et qui contient un gisement immense de fer spathique, le plus considérable qui soit connu au monde. Cette montagne est divisée en deux portions par un plan passant à 400 mètres environ au-dessous du sommet; la partie supérieure, la moins considérable et la moins favorisée pour l'extraction et les transports, appartient au syndicat des maîtres de forges du Vordernberg, tandis que la partie inférieure appartient à la Couronne et alimente les établissements de l'Innerberg. Malgré l'avantage de sa situation, la Couronne tire beaucoup moins de profit de ses mines que les maîtres de forges.

Le fer spathique de l'Erzberg est exploité par la Couronne à ciel ouvert, dans une carrière à six gradins de 25 mètres chacun. Le minerai, d'abord très-dur, se désagrège assez rapidement par l'exposition à l'air. On le casse en morceaux de la grosseur du poing, et on l'emmagasine dans des réservoirs couverts pour mettre à l'abri de la pluie et de la neige. Un de ces réservoirs est un bâtiment circulaire couvrant un puits conique de 45 mètres de diamètre, qui peut contenir 20 000 tonnes de minerai. On retire celui-ci par le fond au moyen d'une galerie inférieure où circulent des wagonnets qui conduisent les minerais gros à une rangée de dix fourneaux de grillage à aire rectangulaire (3^m,65 sur

2^m,75 intérieurement) de 4^m,90 de hauteur. On calcine dans ces fours une partie des gros minerais à l'aide de fraisés et d'escarbilles (2 pour 100 du poids du minerai grillé); chaque four contient 60 tonnes et fournit 12 à 15 tonnes par vingt-quatre heures. Le déchet est considérable (près de 25 pour 100), grâce à la quantité de poussière qui se forme. Les menus sont séchés et partiellement grillés dans des fours à flamme situés dans les usines et alimentés par les gaz des fourneaux.

Les établissements d'Innerberg (*Eisenerz*, *Hieflau*, *San Stephan*) extrayent 56 000 tonnes de minerai par an et fabriquent 19 600 tonnes de fonte. Ils comportent douze fours de grillage, sept hauts fourneaux répartis dans trois usines (dont cinq seulement en travail habituellement), et un cubilot.

Sans entrer dans plus de détails sur leur installation, je décrirai maintenant les produits exposés par ces usines en 1867, en donnant simplement la traduction des renseignements qui les accompagnaient.

Une intéressante collection présentait au visiteur les divers minerais de l'Erzberg, accompagnés des roches du toit et du mur du gîte. Parmi les minerais extraits de la masse du gîte, on distinguait des hématites brunes (*Blauerz*) plus ou moins manganésifères, des fers spathiques (*Pflinz*) purs, quartzeux ou calcaires, des hydrates de manganèse (*Wad*), des fers spathiques en noyaux entourés d'une enveloppe d'hématite brune (*Kernstufe*) plus ou moins manganésifères; dans le toit on trouve des brèches calcaires (*Kalk Breccie*), des grauwaques schisteux, et un minerai curieux (*Erz Breccie*), qui est une brèche formée de fragments anguleux d'hématite brune cimentés par une gangue d'aragonite; dans la salbande du mur on trouve de l'ankérite (magnésite) qui sert comme roche réfractaire; dans le mur lui-même, des calcaires et des grauwaques grenus.

On exposait aussi, comme matériaux réfractaires, un calcaire du grauwaque pour soles, et des grès crétacés pour les muraillements.

Puis venait toute la série des fontes grises, truitées, miroitantes, blanches, etc., fabriquées dans les usines. D'abord :

1° Les *fontes grises*.

N° I. La *fonte grise graphiteuse*, avec son laitier pierreux gris blanc; le grain de la fonte correspondant au numéro 2 de nos fontes françaises au coke.

N° II. La *fonte grise*, à grain de numéro 3, avec un laitier plus blanc que le précédent.

N° III. La *fonte truitée*, à grain truité gris, accompagnée d'un laitier gris blanc un peu ponceux, à croûte vitreuse gris-ardoise.

La fabrication de ces fontes grises a été entreprise en vue de la construction d'un atelier Bessemer. On les obtient avec le dosage suivant : 30 à 50 pour 100 de fers spathiques calcaires, 50 à 70 pour 100 de fers spathiques argilo-quartzeux, 5 pour 100 de castine.

La consommation de charbon est :

0 ^{me} ,813	par 100 kilogrammes	fonte graphiteuse.
0 ,732	—	fonte grise.
0 ,658	—	fonte truitée.

Comme la fabrication s'est faite dans des fourneaux profilés avec des ouvrages larges pour fonte blanche, on espère des résultats encore plus avantageux avec des ouvrages étroits. Voici les dimensions des fourneaux :

Diamètre à la sole	1 ^m ,739
— au ventre	2 ,529
— au gueulard	0 ,738
Hauteur des tuyères sur la sole	0 ,527
— du ventre	3 ,319
— totale	11 ,380

Trois buses, dont deux de 59 millimètres et une de 35 millimètres.

La pression du vent est 40 à 45 millimètres mercure.

Les appareils à air chaud placés sur le sol de l'usine sont chauffés par les gaz.

2° Les *fontes miroitantes*.

N° IV. Le *spiegeleisen première qualité*, coulé en plaques sous une croûte de laitier blanc-verdâtre marmoréen, et accompagné d'un laitier spongieux, ponceux, brun-violacé, à croûte plus claire.

N° V. Le *spiegeleisen seconde qualité*, à facettes plus petites, accompagné d'un laitier olive pierreux, avec graphite à la surface.

Elles sont fabriquées avec des fers spathiques riches en manganèse, auxquels on ajoute 10 à 15 pour 100 de castine. La consommation de charbon est 0^{me},5686 par 100 kilogrammes.

On les vend, prises à l'usine, 18 fr. 75 les 100 kilogrammes, avec une teneur de 5 à 7 pour 100 de manganèse. La seconde qualité se paye au même prix que les fontes blanches.

3° Les fontes blanches.

N° VI. La *fonte dure à grandes fibres* (*Hart grobstrahlig*) avec un laitier ponceux blanc ⁽¹⁾.

N° VII. La *fonte dure rayonnée* (*Hart feinstrahlig*), avec un laitier boursofflé ressemblant à de la mie de pain.

Ce sont des fontes d'allure assez chaude et normale.

N° VIII. La *fonte tendre à grandes cavernes* (*Halbweich Schwallgrossluckig*), avec un laitier vitreux vert-bouteille, caveux.

N° IX. La *fonte tendre à petites cavernes* (*Weich Kleinluckig*), remplie de soufflures fines et nombreuses, avec un laitier scoriacé brun-olive, entraînant des morceaux de charbon ⁽²⁾.

⁽¹⁾ La fonte blanche rayonnée d'Eisenerz a, d'après Kerpely, la composition suivante :

Carbone combiné.	3,400
Silicium	0,092
Soufre.	0,004
Phosphore	0,022
Cuivre.	traces.
Manganèse.	0,767

⁽²⁾ Voici la composition de ce laitier :

Silice.	40,25
Alumine	8,10
À reporter.	48,65

Ces deux dernières fontes d'allure froide et surchargée de minerais.

Ces fontes blanches composent jusqu'à présent la majeure partie de la fabrication; on les fabrique avec des fers spathiques à divers degrés de décomposition, qui coûtent, crus, 8 fr. 66 la tonne, et grillés, 13 fr. 92 la tonne rendue au réservoir. Voici la composition moyenne de ces minerais crus :

	Calcaires ordinaires.	Argileux.
Peroxyde de fer	19,48	15,40
Protoxyde de fer	27,91	20,70
Chaux	10,48	3,98
Magnésie	2,61	2,07
Protoxyde de manganèse.	2,38	2,12
Acide carbonique et eau.	30,26	29,73
Silice et argile	6,88	26,00
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Le lit de fusion se compose de 90 parties fers spathiques calcaires, 10 parties fers spathiques argilo-quartzeux, et 5 parties grauwackes quartzeux. La production d'un fourneau est environ 13 à 14 tonnes par jour. Le rendement des minerais grillés est de 50 à 51 pour 100. La consommation de charbon est 0^{me},540 par 100 kilogrammes. On vend 11 fr. 16 les 100 kilogrammes de fonte blanche pris à l'usine. Voici l'analyse de cette fonte :

Carbone	3,400
Silicium	0,092
Soufre	0,004
Phosphore	0,022
Cuivre	traces.
Manganèse	0,767
Fer (par différence).	95,715
	<u>100,000</u>

4° La *fonte truitée blanche* ou *acier sauvage*. C'est le nu-

<i>Report.</i>	48,55
Chaux	15,50
Magnésie	13,00
Protoxyde de fer	10,40
Protoxyde de manganèse.	11,67
Soufre	0,07
Phosphore	néant.
	<u>99,29</u>

méro X (*Wildstahl* ou *Porellen*) à cassure compacte blanche, parsemée régulièrement de nombreuses soufflures très-fines; son laitier est très-lourd, scoriacé, brun noir, très-poreux. On ne l'obtient pas en grand, mais seulement dans une alure très-crue. On l'emploie sans affinage pour fabriquer les filières. Son prix est 20 fr. 50 les 100 kilogrammes pris à l'usine.

Usines du Vordernberg.

Comme je l'ai dit plus haut, la partie supérieure de l'Erzberg appartient au chevalier de Fridau et au syndicat des maîtres de forges. Ce syndicat ou communauté (*Radmeister Kommunität*) est une association de dix propriétaires qui, depuis trente ans, se sont réunis pour exploiter en commun les mines, fournir les minerais, fabriquer le charbon de bois d'après des statuts adoptés par tous.

Les minerais s'extraitent en été, dans des carrières et dans des travaux souterrains; en hiver, seulement dans ces derniers. Au moyen de deux balances d'eau ayant 270 et 102 mètres de chute, puis au moyen d'un chemin de fer long de 7600 mètres et de deux plans inclinés de 418 mètres, les minerais sont transportés pendant les mois d'été jusqu'aux réservoirs situés près de Vordernberg. Pendant l'hiver, on laisse tout le roulage arrêté.

On retrouvait dans les rayons circulaires de l'exposition des *Radmeisters* (maîtres de forges) les minerais déjà vus dans la collection de l'Innerberg. On y remarquait des fers spathiques d'un blanc de neige (*Rohwand*), des brèches à ciment d'aragonite, et de magnifiques concrétions d'aragonite en forme de madrépores et d'arborisations. Le grillage se faisait, il y a quatre ans encore, dans des fours à cuve chauffés surtout avec de la houille et avec un peu de menu charbon de bois. Mais depuis cette date on se sert surtout de fours à cuve chauffés par les gaz des hauts fourneaux, fours dont l'usage a été introduit dans le pays par M. Tunner, le célèbre métallurgiste de Leoben.

La fusion de ces minerais grillés, auxquels on ajoute un quart de minerais crus, s'effectue dans onze hauts fourneaux, dirigés chacun par son propriétaire et pour son propre compte. Ils sont pour la plupart munis d'appareils à air chaud, de tuyères à eau et de prises de gaz. Les gaz servent pour la production de la vapeur, le chauffage du vent et le grillage des minerais. Le combustible est du charbon de bois tendre, obtenu dans les forêts de la communauté pour la majeure partie, et dans les propriétés particulières des usines, mais dont la production ne peut dépasser un certain quantum sans risques graves pour l'avenir.

Les fontes produites par le syndicat sont de diverses natures : on y retrouve le spiegeleisen avec un laitier ponceux blanc-brunâtre, la fonte caverneuse avec un laitier vert-noir à cassure cireuse, pierreuse à la surface ⁽¹⁾, la fonte rayonnée avec un laitier vert très-caverneux, semi-vitrifié. Ces deux dernières composent la majeure partie de la production. Grâce à leur pureté exceptionnelle, ces fontes sont connues partout et donnent par l'affinage les fers et les aciers styriens si réputés. L'économie du combustible est poussée aux dernières limites du possible; car il n'existe pas ailleurs de hauts fourneaux marchant avec des résultats pareils (750 kilogrammes de charbon de bois par 1000 kilogrammes de fente blanche obtenue avec surcharge de minerais). Cette faible consommation de charbon, l'emploi des gaz pour le grillage des minerais, aussi bien que l'augmentation de hauteur des fourneaux (qui ont maintenant 11 à 12 mètres et

(1) Voici sa composition :

Silice.	36,25
Alumine	7,95
Chaux	24,25
Magnésie	13,10
Protoxyde de fer	7,20
Protoxyde de manganèse.	10,75
Soufre	0,21
Phosphore	néant.
	<hr/>
	99,71

qui produisent jusqu'à 20 tonnes de fonte blanche par jour), sont des perfectionnements dus à ces dernières années.

La production annuelle est très-variable et a subi, grâce aux circonstances politiques et commerciales, des oscillations considérables pendant les dix dernières années. L'extraction annuelle moyenne des minerais a été de 67 200 tonnes; mais elle atteint déjà 89 600 tonnes. La production de fonte correspondante varie de 23 500 à 39 200 tonnes.

Le personnel travailleur comprend environ 600 ouvriers aux mines, 60 aux fours de grillage et au roulage, 150 aux hauts fourneaux.

Usines de M. de Fridau.

Depuis cinquante années le domaine métallurgique du chevalier Franz de Fridau a pris une grande importance; la production de la fonte s'est accrue beaucoup, et, comme on ne peut la fabriquer qu'au charbon de bois, il a fallu aussi accroître le domaine forestier. Aussi l'étendue des propriétés, qui n'était que de 1 725 hectares en 1819, est actuellement de 9 200 hectares environ, dont les trois quarts se composent de hautes futaies destinées à l'alimentation des hauts fourneaux à Vordernberg et à Gradatz.

Le *fourneau de Vordernberg* traite exclusivement des minerais de l'Erzberg styrien, et fabrique des fontes aciéreuses et des spiegeleisen. Sa production actuelle est de 20 à 22 tonnes par vingt-quatre heures. Le tableau qui suit fera voir les progrès accomplis par cette usine, et les changements apportés à sa construction depuis un certain nombre d'années.

ANNÉES.	HAUTEUR du haut four.	PRODUCTION annuelle.	RENDEMENT du minerai.	CONSOMMATION de charbon de bois par 1 000 kil. de fonte.
1820	6,004	890 tonnes.	10 pour 100	2 770 kil.
1828	8,848	1 398 —	48 —	980 —
1849	13,272	4 566 —	47 —	830 —
1857	13,272	8 914 —	51 —	790 —
1867 1 ^{er} sem.	13,272	4 061 —	55 —	690 —

Dans l'espace de cinquante années, la production a donc

décuplé, la consommation de charbon a diminué des trois quarts, et l'on peut aujourd'hui, avec une quantité de combustible à peine double de celle employée au commencement de cette période, fabriquer dix fois plus de fonte.

Le *haut fourneau de Gradatz* a été construit en 1858. Il fabrique, avec des hématites brunes manganésifères très-pures des terrains d'alluvion, une fonte d'une qualité et d'une résistance exceptionnelles. La situation de l'usine, aussi bien que la convenance spéciale de ses fontes pour les besoins de l'artillerie moderne, ont engagé M. de Fridau à construire, en 1859, une fonderie appropriée à la fabrication des munitions de guerre, et ces dernières ont obtenu un succès éclatant dans les épreuves de projectiles trempés qui ont eu lieu en avril 1867 dans l'arsenal de la marine impériale à Pola.

Autres usines styriennes.

M. Lohninger, de l'*usine de Missling*, exposait des fontes grises n° 1, à éléments fins et graphiteux, fabriqués exclusivement avec des scories de fours de réchauffage. Ces fontes étaient résistantes et prenaient bien la trempe, ce qui n'est point très-surprenant, vu la pureté des minerais et des combustibles primitifs.

L'*usine de Gradenberg* exposait des fontes fabriquées avec des lignites. Ceux-ci, exploités à Gradenberg même et employés crus dans le haut fourneau, ont un aspect de bois carbonisé qui rappelle le charbon roux. Les minerais sont des fers spathiques blanc-jaunâtre à petits éléments. Les fontes étaient spéculaires et blanches grenues. Le laitier des premières ressemblait au laitier de spiegeleisen fabriqué au coke, mais un peu plus boursoufflé. Voici l'analyse que nous en avons fait faire :

Silice	41,00
Alumine.	8,00
Chaux.	37,40
Magnésie	4,70
<i>A reporter. . .</i>	<u>91,10</u>

	<i>Report.</i> .	91,10
Protoxyde de fer		2,30
Protoxyde de manganèse.		5,84
Soufre.		0,83
		<hr/>
		100,07

Au *haut fourneau de Turrach*, le prince de Schwartzenberg fabrique environ 4 000 tonnes de fonte grise à bessemer avec ses hématites brunes du pays.

La fabrication de la fonte grise a pris une certaine importance depuis que trois usines du pays ont entrepris l'application du procédé Bessemer. Il y a quelques années encore, on ne fabriquait dans toute la Styrie que des fontes blanches d'allure froide, sauf à Mariazell. Tous les hauts fourneaux sont à poitrine fermée; on sait que M. de Tunner, l'éminent professeur de Leoben, est le grand partisan de ce système d'appareil, qui donne en effet des résultats très-remarquables, comme on l'a vu, avec les minerais riches, purs et fusibles des montagnes de la Styrie.

QUATRIÈME GROUPE.

GROUPE DE CARINTHIE ET TYROL.

Dans ce dernier groupe, j'ai réuni les usines à fonte des montagnes du Tyrol et de Carinthie. Cette dernière province est, comme la Styrie, une contrée riche en minerais purs et manganésifères, et elle occupe, depuis un temps immémorial, une place importante dans l'industrie européenne des fers et des aciers. Ses usines les plus importantes étaient représentées à l'exposition.

PROVINCES.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE des fourneaux.
Carinthie.	Hefi.	Compagnie Rauscher.....	2 au bois.
—	Lolling.	Baron de Dickmann.....	3 —
—	Saint-Leonhard.	Cte Henckel de Donnersmark	1 —
—	Saint-Gertraud.	— Id.	1 —
—	Waldenstein.	Id.	1 —
Tyrol.	Pillersee.	L'Etat.....	1 —

Je dois des renseignements assez étendus sur la première de ces usines à M. Kauth, délégué des usines styriennes et carinthiennes à l'exposition, et sur la seconde à l'obligeance de son directeur, M. Seeland, et de M. Rideli, inspecteur de la section métallurgique autrichienne. Je ne ferai presque, ici, que les reproduire en les traduisant et les résumant.

Usines de Heft.

Tous les visiteurs se sont arrêtés devant les expositions associées des usines de Heft et de Storé, la première fabriquant de la fonte et des lingots bruts de bessemer, la seconde dénaturant ces lingots et les transformant en produits divers. Nous ne nous occupons maintenant que de la fabrication de la fonte à Heft.

La compagnie Rauscher tire ses minerais des célèbres montagnes de l'*Hüttenberg* ou *Erzberg carinthien*, où elle possède des concessions étendues; elle les amène par un chemin de fer de mines muni de haldes pour les stocks et de machines. Elle possède deux fours suédois à gaz et douze fours à cuve pour le grillage des minerais, deux hauts fourneaux avec leurs accessoires, une fonderie avec un cubilot et ses grues, l'atelier Bessemer, une briqueterie réfractaire, et les dépendances ordinaires d'une grande usine. Nous examinerons successivement les diverses parties de l'exploitation.

Mines. — Les gisements de minerais forment trois groupes principaux de filons dirigés du sud-est au nord-ouest; l'étendue en direction de chacun des groupes varie de 379 à 3 080 mètres, la puissance de 63 centimètres jusqu'à 758 mètres, en y comprenant les bancs stériles. Les minerais sont des fers spathiques décomposés, où l'on rencontre des hématites brunes et rouges, des oligistes micacés, des glaskopfs et des hématites manganésifères veloutées, des minerais blancs grenus ou lamellaires, etc.; leur analyse donne :

Fer métallique	52	à 62	pour 100.
Protoxyde de manganèse.	2	à 8	—
Silice.	3	à 22	—

Alumine	1	à	1,7	pour 100.
Carbonate de chaux. . .	2	à	8	—
Carbonate de magnésie.	0,2	à	1,2	—
Soufre.	0	à	0,5	—

D'après les données actuelles, on est certain de pouvoir extraire annuellement 17 000 tonnes pendant deux cents ans; on pourrait aisément porter l'extraction actuelle à 50 000 tonnes.

L'abatage se fait partie au pic, partie à la poudre; chaque ouvrier sort son minerai au jour, et on le paye soit d'après le poids extrait, soit par mètre courant de galerie ouverte. La journée de travail va de six heures du matin à six heures du soir, avec un repos d'une heure à midi.

L'effet utile d'un ouvrier pendant douze heures dépend de la nature du travail; il atteint :

Pour l'abatage du minerai.	448 à 1 344 kil.
Pour le travail au rocher.	0 ^{mc} ,150 à 0 ^{mc} ,600.
Pour le remblai.	1 ^{mc} ,5 à 2 ^{mc} ,5
Le coût du minerai sur la mine est de	7 fr. 80 les 100 kil.

On consomme par an 1 842 mètres cubes de bois de mine.

Transport du minerai. — On amène le minerai de la mine à l'usine à l'aide d'un chemin de fer de mine muni de deux plans inclinés et de freins à ailettes. La longueur des plans inclinés est de 365 et 735 mètres; celle des voies horizontales 1797 mètres. Les inclinaisons des plans varient pour l'un de 14 à 16 degrés, pour l'autre de 14 à 20 degrés. Le transport se fait dans des wagonnets en tôle de fer ou d'acier, d'une capacité de 2 800 kilogrammes. Pour le passage des plans, on place les wagonnets sur des trucs qui prennent une vitesse de 1 mètre à 1^m,40 par seconde. En vingt-quatre heures on transporte 123 tonnes, avec un prix de revient de 40 centimes par tonne.

Grillage des minerais. — L'arrivée du minerai à l'usine se fait à deux niveaux : l'un conduit à un emplacement où l'on entasse 6 720 tonnes pour l'hiver, et de là aux fours suédois; l'autre conduit à une estacade pour le service des fours de grillage avec les menus charbons.

Les fours suédois sont circulaires, d'un diamètre de 1^m,58;

avec deux hommes ils fournissent en vingt-quatre heures de 6 720 à 8 400 kilogrammes de minerai grillé par four.

Les fours à cuve sont carrés; ils ont 2^m,53 de côté, 2^m,53 de hauteur, et se rétrécissent en bas suivant un carré de 1^m,26 de côté; ils sont fermés par une grille à échelons. Un four grille en vingt-quatre heures 6 720 kilogrammes de minerai cru pour fournir 5 600 kilogrammes de minerai grillé. Huit hommes sont occupés au service des douze fours et au roulage des minerais grillés au fourneau; ce qui grève la tonne de fonte de 1 fr.38. On consomme par tonne de minerai grillé 2^{hect},85 de menu charbon, et le déchet de grillage est en moyenne de 18 pour 100.

Hauts fourneaux. — On trouvera, pl. XX et XXI, les dimensions et le système de construction. La hauteur est 13^m,27 et le diamètre au ventre 2^m,84. Les matériaux sont des grès siliceux rouges avec un ciment argileux. La durée d'une campagne varie de neuf mois à deux ans; les campagnes plus courtes sont mauvaises, les plus longues sont des exceptions. L'un des fourneaux est soufflé par six buses, l'autre par trois buses dont le diamètre est de 53 millimètres; les tuyères, en cuivre, ont le même diamètre. La pression varie de 33 à 57 millimètres de mercure; la température du vent entre 100 et 160 degrés. Le volume de la charge de charbon est de 4^{hect},9; elle se compose de neuf dixièmes de charbon de bois tendre et d'un dixième de charbon de bois dur. La charge de minerai correspondante varie en allure normale de 135 à 258 kilogrammes. Le fondant employé est de la castine ordinaire; on en ajoute de 2 et demi à 5 pour 100 de la charge, et de 10 à 15 pour 100 s'il s'agit de spiegeleisen. Le nombre de charges en douze heures est, pour la fonte grise, de 75 à 90; pour la fonte blanche et truitée, de 90 à 145.

La production en vingt-quatre heures des deux fourneaux varie de 11 200 à 16 800 kilogrammes de fonte grise, ou 25 200 à 33 040 kilogrammes de fonte blanche ou truitée.

Le vent nécessaire est fourni par une soufflante à trois cylindres (1^m,26 de diamètre et 1^m,26 de course) qui, avec un effet utile de 65 pour 100, peut fournir par minute 60 mè-

tres cubes. Une autre machine, à quatre cylindres (0^m,95 de diamètre et 0^m,95 de course), sert de réserve. Elles sont toutes deux mues par une roue en dessus, de 24 chevaux, qui a 7^m,60 de diamètre et 1^m,26 de largeur.

Pour séparer les grenailles de fonte incorporées aux laitiers, on passe ceux-ci sous un martinet de 280 kilogrammes qui donne cent à cent vingt coups par minute. Cette fonte des laitiers atteint 2 à 2 et demi pour 100 de la production totale en fonte grise, et 3 à 4 pour 100 en fonte blanche et truitée.

Chaque haut fourneau occupe douze hommes en deux postes, six de jour et six de nuit. Dans chaque poste il y a trois hommes au bas et trois hommes au haut du fourneau. La main-d'œuvre coûte 3 fr. 16 par tonne de fonte blanche et 4 francs par tonne de fonte grise.

Le rendement des minerais grillés atteint 48 à 51 pour 100 et même 52 pour 100.

La composition de la fonte varie avec les minerais employés. On voyait à l'Exposition de belles fontes truitées blanches avec de nombreuses petites géodes de graphite, et des fontes blanches rayonnées dont le laitier était ponceux, blanc et boursoufflé; des spiegeleisen avec un laitier vitreux olivâtre, à croûte vitreuse violacée. Voici l'analyse de deux variétés d'entre elles :

	Fonte grise graphiteuse. Fonte blanche.	
Fer	89,81	92,85
Manganèse	4,24	1,87
Silicium	1,79	0,64
Soufre	0,00	0,00
Carbone combiné.	0,63	4,20
Graphite	3,53	0,44
	100,00	100,00

Les gaz des hauts fourneaux servent pour chauffer le vent, pour griller les minerais et pour tenir chaudes les chaudières de la soufflerie du bessemer dans les intervalles des charges. Voici, pour compléter ces renseignements, les chiffres de roulement pendant quelques années :

	1857.	1861.	1867.
Nombre de jours de travail.	359	365	569

	1857	1861.	1867.
Consommation totale :			
charbon de bois.....	23 397 m. c.	43 274 m. c.	50 107 m. c.
minerais.....	8 007 tonnes.	13 787 tonnes.	15 637 tonnes.
Production :			
moulages.....	18 tonnes.	55 tonnes.	339 tonnes.
fonte à bessemer.....	" —	" —	2 932 —
floss blancs.....	3 516 —	6 358 —	3 339 —
plaques.....	562 —	714 —	1 302 —
Production totale...	4 096 tonnes.	7 127 tonnes.	7 912 tonnes.
Pression moyenne du vent en millimètres de merc...	53	53	40
Température moyenne du vent.....	100°	100°	120°
Rendement des minerais pour 100.....	51,15	51,62	50,60
Consommation de charbon par tonne de fonte.....	5mc,698	4mc,657	6mc,316

On remarquera qu'une partie de la production en fonte grise est mise sous forme de plaques minces (*blatteln*) mazzées par aspersion d'eau froide; les fontes blanches portent le nom de *floss*.

La production annuelle, en n'y comprenant qu'un quart de fonte grise, pourrait atteindre 13 500 tonnes.

La compagnie Rauscher cotait ses fontes aux prix suivants:

Fonte grise à bessemer	145 fr. 60 la tonne
Spiegeleisen.	145 60 —
Fonte blanche, truitées et gris clair.	124 80 —

la tonne prise à l'usine.

Usine de Lölling.

L'usine de Lölling a une réputation classique européenne, par suite des résultats inusités qu'elle obtient comme économie de combustible. Elle occupait à l'Exposition, dans la section autrichienne, avec l'usine à fer de Prevali, qui appartient au même propriétaire, M. de Dickmann, une place digne de sa réputation. Le visiteur était arrêté devant ses vitrines par la vue d'une intéressante collection des minéraux de l'Erzberg carinthien ⁽¹⁾ et d'une série de plans géologiques et d'usines.

(1) On voyait dans cette collection de magnifiques échantillons de fers spathiques cristallisés brunâtres à grands éléments, des glasskopf

L'usine de Lölling possède quatre-vingt-quatre concessions de mines, à Lölling, Hüttenberg et Weitschach, dans l'Erzberg carinthien. Les minerais sont d'excellents fers spathiques, pour la plupart métamorphisés en minerais bleus (*Blauerz*) et bruns, très-manganésifères. Ils rendent, crus, 42 pour 100 et, grillés, 50 à 51 pour 100 de fer. On les extrait de six filons de l'Hüttenberg; l'abatage se fait par ouvrages en travers qui se modifient à chaque instant, suivant que la puissance varie de 1^m,25 à 122 mètres.

Le roulage intérieur se fait au moyen de chemins de fer; on amène les minerais dans des wagonnets contenant 672 kilogrammes jusqu'à des fosses d'approvisionnement extérieures, au nombre de quarante, et contenant chacune 40 tonnes environ. C'est là qu'on prend les minerais pour les amener à l'usine.

Pour ce transport, on a un chemin de fer de 2500 mètres, comprenant trois plans inclinés, qui aboutit au grand réservoir, qui contient 1500 tonnes de minerai environ. On charge ce réservoir par en haut et on le vide par en bas, au moyen d'une galerie et de wagonnets.

Le grillage se fait tout auprès, dans vingt fours contenant chacun 6000 kilogrammes de minerai. Ces fours sont à section carrée de 1^m,90 de côté; leur hauteur est de 2^m,53, et ils ont en bas une grille et une ouverture de défournement. (Voir pl. XVIII, fig. 1a.) Des fours de grillage le minerai va aux cylindres concasseurs, et de là aux halles de chargement des hauts fourneaux. Les wagonnets portent 1500 à 1900 kilogrammes de minerai. Les minerais menus, que l'on jetait autrefois, sont maintenant grillés à part dans un four à réverbère avec une grille à échelons, où l'on brûle deux tiers de poussier de charbon et un tiers de houille menue; ce four,

mamelonnés manganésifères, puis des minéraux accidentels comme l'*Eisen blüthe* (fleurs du fer), c'est-à-dire des arborisations coralloïdes d'aragonite blanches comme la neige, des cristaux d'aragonite et de spath calcaire dans le braunerz, du carbonate de manganèse spathique rose, du braunerz accompagné de pyrolusite veloutée, du sulfate de baryte, du talc, du mica, de l'apatite, du quartz avec des cristaux de rutile.

imaginé par M. Seeland, a été construit en 1866. On y grille en douze heures 2 500 kilogrammes de minerai.

La quantité de minerai annuellement transportée atteint environ 100 000 tonnes. Pour amener les matériaux à la mine, on se sert d'un élévateur à balance d'eau, de 400 mètres de longueur, dont l'angle peut varier de 19 à 31 degrés et qui, avec une charge de 500 kilogrammes d'eau, élève une charge de 350 kilogrammes à une hauteur de 220 mètres environ sur la montagne; on l'emploie surtout au printemps et en automne. Les minerais grillés coûtent, rendus à l'usine, environ 15 francs les 1 000 kilogrammes. Le prix courant pour la vente des minerais crus est 12 fr. 50 la tonne prise à l'usine (fers spathiques à 42 pour 100).

L'usine, dont je donne un plan et une coupe (pl. XVIII, fig. 2 et 3), comprend trois hauts fourneaux : *Johanna* (bâti en 1822), *Eugen* (bâti en 1837), et *Albert* (bâti en 1846). Voici les dimensions de ce dernier, peu différentes, du reste, de celles des deux autres :

Hauteur totale, 12^m,64, savoir : pour la cuve 8^m,22; pour le ventre cylindrique 63 centimètres; pour la partie inférieure 3^m,79.

Diamètre : au gueulard, 95 centimètres; au ventre, 2^m,84; au creuset, 1^m,05.

La poitrine est fermée et ne présente qu'une ouverture ou fente verticale de 32 centimètres de hauteur sur 13 de largeur, ordinairement fermée par un bourrage sur la majeure partie de la hauteur.

Chaque fourneau est soufflé par trois buses de 59 millimètres (on a essayé, sans y trouver d'avantage, cinq buses de 50 millimètres au fourneau *Eugen*), situées à 48 centimètres au-dessus de la sole; la pression du vent varie de 31 à 35 millimètres de mercure; sa température est de 190 degrés pour la fonte truitée; 200 à 215 degrés pour le spiegeleisen, et 215 à 250 degrés pour la fonte grise.

Il y a deux souffleries, mues chacune par une roue hydraulique. La principale, d'une force de 40 à 47 chevaux, comprend deux cylindres verticaux de 1^m,58 de diamètre et 1^m,58

de course, commandés par deux balanciers attelés sur l'arbre de la roue hydraulique; elle donne 95 mètres cubes par minute. La soufflerie de réserve, du système Wackler, a quatre cylindres oscillants de 1^m,10 de diamètre et 1^m,10 de course. Une seconde soufflerie de réserve, à vapeur, ne sert presque jamais. L'appareil de chaque fourneau est placé au gueulard et chauffé par les flammes : c'est un appareil Calder à tuyaux elliptiques.

On ajoute au minerai 3 à 5 pour 100 de castine. Le combustible est du charbon de bois léger (pin, mélèze, sapin) pesant 125 kilogrammes le mètre cube, que l'on élève au niveau du gueulard à l'aide d'un piston flottant en bois, au-dessous duquel on fait arriver de l'eau, et qu'on charge sous un volume de 490 litres environ (*schoff*). On fait quatre-vingts à cent de ces charges en vingt-quatre heures, et quatre-vingt-seize coulées; chaque coulée est ordinairement une gueuse à trois encoches, ayant 1 mètre de long environ et 25 centimètres de largeur, pesant 150 kilogrammes à peu près. Le fourneau Johanna produit 16 à 17 tonnes en vingt-quatre heures; le fourneau Albert produit jusqu'à 18 tonnes. Les trois fourneaux réunis produisent 50 tonnes en vingt-quatre heures.

On reprend les laitiers, que l'on concasse sous un martinet; on sépare les grenailles de fonte par un lavage et on les fait repasser au fourneau.

On fabrique surtout des fontes truitées grises, qui sont ensuite puddlées à Prevali, aussi des fontes truitées blanches et blanches, qu'on livre aux forges de Styrie et de Carinthie, soit en gueuses, soit en blattes (plaquettes minces de 3 à 6 millimètres). La fonte grise et la fonte graphiteuse sont réservées pour le moulage des cylindres de laminoirs et pour le bessemer. On obtient aussi des spiegeleisen.

La consommation de charbon par tonne de fonte est : pour la fonte spéculaire, 564 kilogrammes; pour la fonte truitée, 571 kilogrammes; pour la fonte grise à grain fin servant pour le bessemer, 775 kilogrammes ⁽¹⁾.

(1) Ce n'est pas sans avoir cherché à les contrôler que je donne ici

La production annuelle la plus grande de l'usine de Lölling a été de 16 606 tonnes en 1858; la plus faible, 3 418 tonnes en 1865; en 1867, la production a dû dépasser 11 000 tonnes.

Voici, d'après les tableaux exposés, le roulement de l'usine (moyenne de dix années) :

Température moyenne du vent	187 degrés.
Pression moyenne	33 mill.
Production annuelle moyenne : 10 386 200 kil. de fonte, avec 24 363 810 kil. de minerais crus, ou 20 303 200 kil. de minerais grillés, et avec 58 785 mètres cubes, ou 7 348 125 kil. de charbon de bois.	
Rendement moyen du minerai grillé.	54 pour 100.
Consommation de charbon par tonne de fonte :	
pour le grillage du minerai	0 ,44, soit 55 kil.
pour la fusion	5m3,210 — 651 —
	5m3,650, soit 706 kil.

Trois hauts fourneaux avec quinze employés et cent trente-sept ouvriers. Le fourneau *Albert* a fait une campagne de vingt-huit mois.

La fonte de Lölling fournit à l'affinage les fers les plus fins et les premières qualités d'acier naturel. Voici sa composition :

	Grise.	Truitée.	Spiegeleisen.
Carbone combiné.	2,35	3,25	3,17
Graphite	2,40	0,80	0,21
Silicium	1,70	0,63	0,37
Manganèse	5,42	6,82	7,30
Soufre	0,063	0,083	0,110
Phosphore	traces.	néant.	néant.

Les prix sont environ, pour les 100 kilogrammes pris à Lölling : spiegeleisen, 15 francs; grise graphiteuse, 12 fr. 50 à 14 francs; blanche et truitée, 11 fr. 25.

L'Erzberg carinthien était déjà exploité au temps des Romains, comme le prouvent les forges romaines pour la fabri-

ces chiffres qui accusent une consommation de combustible extraordinairement réduite. Ils m'ont été indiqués par le directeur de l'usine et par l'inspecteur autrichien à l'Exposition. Je les ai retrouvés presque identiques dans la *Métallurgie* de Scheerer, parue en 1853, et dans l'*Annuaire* publié en 1842, à Leoben, par M. Tunner. Voir aussi Valérius. *Fabrication de la fonte*, p. 634.

cation des armes établies à Noreja (Neumarkt) et les gigantesques monceaux de scories qui couvrent les montagnes environnantes. Mais ce n'est qu'en 1840 que son importance devint considérable. Les services rendus au pays par feu M. Eugène de Dickmann-Secherau, pour l'établissement des routes et le bon aménagement des forêts, lui valurent le titre de baron.

Autres usines du groupe.

Les trois usines du comte de Donnersmark produisent annuellement environ 9 000 tonnes de fonte.

Le haut fourneau impérial de Pillersée, dans le Tyrol, avait exposé des fontes spiegeleisen, truitées et grises, fabriquées au charbon de bois; il emploie quelquefois de la tourbe en mélange avec ce combustible.

A Jenbach (Tyrol), on trouve un *blauofen* au charbon de bois, plus ou moins analogue à ceux de Carinthie.

RÉSUMÉ.

Voici la production totale de la fonte dans l'empire d'Autriche depuis quelques années :

1855. . . .	279 115 tonnes.
1860. . . .	312 555 —
1865. . . .	292 363 —

La production a subi une certaine diminution en 1865, sans doute par suite des circonstances politiques où s'est trouvée l'Allemagne.

En 1865 l'Autriche comptait cent quatre-vingt-trois hauts fourneaux ayant produit 258 917 tonnes de fonte d'affinage et 33 446 tonnes de fonte de moulage⁽¹⁾. Elle avait importé dans cette année 7 808 tonnes de fonte étrangère et exporté 1 085 tonnes seulement.

(1) Et non de fonte brute et de fonte moulée comme le disent à tort les rapports du jury international. Nous ignorons où sont puisés divers chiffres donnés par ceux-ci, qui ne concordent point avec ceux que nous puisons à des sources officielles.

La situation de l'industrie sidérurgique est, dit-on, assez fâcheuse actuellement en Autriche; malgré des tarifs douaniers protecteurs, les usines à fer végètent péniblement et voient la concurrence étrangère pénétrer jusqu'au cœur du pays. Le fer fabriqué au combustible végétal, dans les usines de Styrie et de Carinthie, ne peut en effet, malgré ses excellentes qualités, lutter de prix avec les fers anglais et français fabriqués au combustible minéral; et les usines à la houille autrichiennes sont trop peu nombreuses et trop mal secondées par les voies de transport pour pouvoir rivaliser. Toutefois il est difficile de prévoir ce que seront capables de faire les usines, lorsque de nouvelles lignes de chemins de fer permettront de rapprocher les houilles des minerais, ou lorsque le progrès envahira certaines provinces riches en minerais et en combustible, comme la Transylvanie et la Hongrie, qui sont restées jusqu'à présent presque à l'écart. La Styrie et la Carinthie, en se restreignant à la production des fontes acieuses, pourront peut-être venir lutter avec les produits anglais ou français sur les marchés de l'Italie, de la Turquie. On parle de fonder en Styrie, près de Leoben, une grande usine au coke, en y faisant arriver les coques de Moravie; ce projet serait patronné par MM. Tunner et Mayr, et on compterait fabriquer des fontes à bessemer coûtant 104 francs la tonne, et des fontes blanches truitées coûtant 95 francs environ. (Actuellement le coke coûte 58 francs la tonne à Neuberg.)—Quoi qu'il en soit, c'est dans la production des fontes spéciales et des aciers que se trouve l'avenir de la Styrie et de la Carinthie, et non dans la fabrication des fers ordinaires en concurrence avec les pays étrangers.

Avant d'abandonner l'Autriche, nous voulons faire une remarque relative à la consommation de charbon de bois par tonne de fonte fabriquée dans les blaufen de Styrie et de Carinthie : cette consommation, qui descend à 564 kilogrammes à l'usine de Lölling, est la plus faible qui ait jamais été obtenue. A quelles causes faut-il attribuer ce résultat exceptionnel?

On est porté, au premier abord, à l'attribuer à l'absence

d'avant-creuset et à la poitrine fermée du blaufen. Il y a, en effet, là des causes apparentes d'économie de combustible et d'augmentation de production : la chaleur se concentre mieux dans l'ouvrage, qui n'a pas de causes de refroidissement, puisque le travail du creuset est supprimé ; le vent n'est jamais arrêté, de sorte que la fusion dure sans interruption pendant toute la campagne ; les coulées sont très-petites et très-fréquentes (près de cent en vingt-quatre heures), et il n'y a pas de chaleur absorbée pour conserver fluide une grande masse de fonte dans le creuset. Mais ce ne sont point là, suivant nous, les principales causes de la faible consommation obtenue à Löfving et ailleurs. Ces causes sont les suivantes :

1° La facile réductibilité des hématites et carbonates grillés, qui sont réduits dans les parties supérieures de la cuve, et sans qu'il y ait de consommation de charbon dans les étalages ;

2° La forte surcharge de minerais que permet cette réductibilité et l'allure très-froide que le fourneau peut supporter, grâce à la fusibilité d'un laitier fortement chargé d'oxyde de fer et de manganèse. Cette allure froide est encore facilitée par les fréquentes évacuations du creuset, qui diminuent les chances d'engorgement.

Il faut noter, en effet, que les fontes auxquelles s'appliquent ces faibles consommations sont des fontes truitées et blanches, caverneuses, obtenues avec des laitiers lourds, ferrugineux et manganésifères, la richesse du lit de fusion étant de plus de 50 pour 100. Nous avons signalé, en Suède, le haut fourneau de Langshyttan, qui est à poitrine ouverte, qui fabrique avec un lit de fusion à 56 pour 100 des fontes grises (à bessemer et de moulage), truitées et blanches chaudes, avec une consommation de 710 kilogrammes de charbon par tonne de fonte, les laitiers étant blancs et pierreux ; ce résultat, obtenu sans fermeture de la poitrine, est presque aussi favorable que le chiffre de 570 kilogrammes obtenu à Löfving en allure froide. L'excellente qualité des minerais styriens et carinthiens permet seule de marcher en

allure aussi surchargée ; avec des minerais même analogues à ceux de Suède, qui sont dépourvus, ou à peu près, de manganèse, on ne pourrait employer des charges aussi fortes sans danger pour la qualité de la fonte ou pour le roulement du fourneau.

Malgré les résultats remarquables fournis par les bläuföfen styriens et carinthiens au charbon de bois, nous sommes peu disposés à croire que la marche avec poitrine fermée soit favorable pour la généralité des hauts fourneaux au coke ; ceux-ci, pour obtenir des fontes pures, sont obligés de marcher avec des laitiers ultra-calcaires, qui s'écouleraient mal par un simple chio.

CHAPITRE VII. — ALLEMAGNE CENTRALE ET SUISSE.

Nous comprenons sous le titre d'*Allemagne centrale* les royaumes de Saxe, de Bavière et de Wurtemberg, ainsi que le grand-duché de Bade. Ces divers pays figuraient pour une part bien faible dans la classe 40 de l'Exposition ; il est nécessaire, toutefois, de dire ce que nous avons pu apprendre sur leur compte.

PREMIER GROUPE.

SAXE.

La Saxe a produit, en 1865, 15402 tonnes de fonte dans sept usines ; c'est le chiffre le plus récent que nous ayons pu obtenir. Nous n'y connaissons que l'*usine de la Reine Marie*, près Zwickau, où deux hauts fourneaux de grandes dimensions fabriquent au coke des fontes à bessemer avec des fers spathiques de la Thuringe et des hématites rouges des environs de Zwickau. Ces hauts fourneaux, élevés de 17 mètres environ, munis de prises de gaz Langen, soufflés par six tuyères, produisent 80 à 95 tonnes de fonte à bessemer, ou 150 à 160 tonnes de fonte blanche rayonnée, par semaine. Le combustible provient du bassin houiller saxon de Zwickau.

L'Erzgebirge renferme aussi des minerais (hématites brunes et fers spathiques) qui alimentent quelques hauts fourneaux au charbon de bois, situés dans le cercle de Dresde et de Zwickau. Il y avait autrefois à Bautzen un haut fourneau; nous ignorons s'il existe encore.

DEUXIÈME GROUPE.

BAVIÈRE.

La Bavière comptait, en 1864, soixante-quinze usines à fonte ayant produit 40 324 tonnes. Un seul exposant représentait au Champ de Mars la métallurgie bavaroise : c'étaient MM. Gienanth frères, propriétaires des *forges de Hochstein, Eisenberg et Trippstadt*, dans le Palatinat.

MM. Gienanth exposaient les minerais traités dans leurs *hauts fourneaux de Hochstein et d'Eisenberg*, qui sont les suivants :

- 1° Hématite rouge pulvérulente ou argileuse;
- 2° Hématite rouge compacte;
- 3° Hématite rouge concrétionnée (*glasskopf*) et fibreuse.

Ces minerais se trouvent sur le versant sud-ouest du mont Tonnerre, dans la Bavière rhénane. On les exploite dans le porphyre, où ils ont une puissance variable de 15 centimètres à 2 mètres. Voici leur analyse par Fresenius :

Peroxyde de fer.	86,192 soit fer 60 %.
Protoxyde de manganèse.	0,151
Silice.	6,556
Alumine.	3,555
Chaux.	0,131
Magnésie.	traces.
Soude.	0,530
Acide titanique.	traces.
Acide phosphorique.	0,084 soit phosphore 0,038 %.
Acide sulfurique.	0,000
Eau.	2,589
	<hr/>
	99,788

4° Hydrate pisolithique, exploité dans le Weisberg (Hesse rhénane), par travaux à ciel ouvert. Puissance, 90 centimètres à 1^m,80.

5° Hydrates pisolithiques de Munzernheim et Hoppenheim (Hesse rhénane), exploités à ciel ouvert. Puissance, 30 centimètres à 1^m,80. Prix par tonne, 5 fr. 65.

Voici l'analyse de ces deux minerais, d'après l'exposition :

	Weisberg.	Munzernheim.
Peroxyde de fer.	41,997	37,015
Oxyde rouge de manganèse.	0,540	6,414
Oxyde de cobalt.	traces.	traces.
Oxyde de cuivre	faibles traces.	traces.
Silice.	38,700	25,875
Alumine	6,339	11,701
Chaux	0,630	2,237
Magnésie.	0,128	0,178
Acide titanique.	0,469	1,396
Acide arsénique.	faibles traces.	traces.
Acide phosphorique.	0,152	0,282
Acide sulfurique.	0,000	0,000
Acide carbonique.	0,812	1,709
Eau	10,000	13,035
	<hr/>	<hr/>
	99,816	90,848
Fer	29,39 %	25,915 %
Phosphore	0,066 %	0,123 %

6° Hématites rouges ordinaires du Nassau, de Wiewerner, rendant 45 à 50 pour 100 de fer.

A *Hochstein* on fabrique des fontes à bessemer au charbon de bois, avec le dosage suivant :

54 minerai du mont Tonnerre.
26 minerai de Weisberg.
20 castine.

Il se sépare beaucoup de graphite pendant la coulée de la fonte.

A *Eisenberg* on fabrique des fontes de moulage avec une charge composée de 100 kilogrammes Mont-Tonnerre, 322 kilogrammes Munzernheim, 50 kilogrammes Weisberg, 40 kilogrammes Nassau et 24 pour 100 de castine. La charge de combustible se compose de 372 litres de charbon de bois et 62 litres de coke. Le rendement des minerais est 32 pour 100 et la production annuelle 1 000 tonnes. La consommation de combustible, 5^m,15 par 1 000 kilogrammes de fonte.

La Bavière renferme un nombre assez grand d'usines à fonte. Dans les provinces de Munich et de Ratisbonne elles traitent surtout des minerais jurassiques ; celle d'*Achthal*, qui emploie comme combustible un mélange de charbon de bois et de tourbe desséchée, est dans ce cas. Dans la province de Bamberg, voisine de la Saxe, on a des hématites et des fers spathiques du Fichtelgebirge ; on les traite avec des coques du bassin houiller de Zwickau, dans l'*usine de Hof* entre autres.

TROISIÈME GROUPE.

WURTEMBERG.

Le royaume de Wurtemberg fournit des hématites brunes, des sphérosidérites argileuses, des minerais oolithiques et des hydrates pisolithiques, extraits pour une bonne partie dans les terrains jurassiques. Les principales usines à fonte sont à *Wasseraufingen* et à *Königsbronn* : elles appartiennent à la couronne. Ces usines ont une réputation classique, la première surtout, à cause des anciennes expériences d'un de ses directeurs, M. Faber du Faur, sur l'emploi des gaz des hauts fourneaux ; on a donné son nom aussi, comme nom générique, à toute une classe d'appareils à air chaud, ceux à tuyaux horizontaux disposés en serpentins. L'*usine de Königsbronn* emploie de la tourbe en mélange dans ses charges ; elle fabrique surtout des fontes trempées.

D'après les annales des usines prussiennes, il y avait en 1865 dans le Wurtemberg sept usines à fonte ayant produit 9995 tonnes de fonte.

QUATRIÈME GROUPE.

GRAND-DUCHÉ DE BADE.

Ce pays a encore moins d'importance sidérurgique que le précédent : il comptait en 1864 quatre usines à fonte seulement ayant produit 4514 tonnes, et en 1865 deux usines seulement ayant produit 2114 tonnes. Elles sont situées surtout au midi du grand-duché. Une partie importante de la

production est immédiatement transformée en moulages. Les minerais sont presque uniquement jurassiques. Nous ne pouvons citer que le fourneau d'Albbruck, situé sur le Rhin, et appartenant à l'État. Dans ce fourneau, haut de 7^m,40 et large de 2 mètres au ventre, on traite des minerais indigènes de Kauder et de Klettgau, en mélange avec des minerais en grains du val de Délémont (Suisse), la richesse moyenne étant environ de 36 pour 100 de fer. Le combustible est le charbon de bois, auquel on ajoute un peu de tourbe desséchée ou carbonisée. Le fourneau produit environ 1 100 tonnes de fonte par an.

CINQUIÈME GROUPE.

SUISSE.

La Suisse occupait à l'Exposition une place parmi les pays les plus industriels ; ce petit État possède en effet une activité industrielle et commerciale qui peut être enviée par des États plus importants que lui sur la carte de l'Europe. Mais si la Suisse a pu, dans les industries du coton et de la soie, par exemple, arriver à devancer certains de ses voisins, elle a été forcée de rester en arrière pour ce qui concerne l'industrie du fer. Les combustibles économiques lui font défaut ; et si on trouve sur quelques points des gisements importants de minerais, leur abondance et leur qualité ne sont pas telles qu'elles puissent compenser la rareté du combustible. Les usines métallurgiques vont en s'amointrissant en Suisse ; et le fer qu'on y consomme vient en presque totalité de l'étranger. L'exposition suisse comprenait seulement, comme sidérurgie, un spécimen de minerai de fer venant de Tamins (Grisons).

Toutefois il existe quelques hauts fourneaux chez nos voisins ; en voici la liste presque complète :

CANTONS.	NOMS des usines.	PROPRIÉTAIRES.	NOMBRE de hauts four.
Valais.	Ardon.	Une société.....	1 au bois.
Saint-Gall.	Plons.	Id.	1 —

CANTONS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourns.
Berne.	Undervelier.	Société d'Undervelier et dépendances.	1 au bois.
—	Courrendlin.	Id.	1 —
—	Delémont.	Société de Delémont et dépendances.	1 —
—	Bellefontaine.	Id.	1 —
—	Saint-Pierre.	Id.	1 —
—	Choidez.	M. Louis de Roll.	1 —
—	La Cluse.	Id.	1 —
—	Les Rondez.	Société des forges de Vallorbes.	1 —

L'*usine d'Ardon*, aujourd'hui éteinte, traitait au charbon de bois des minerais magnétiques des environs; la pénurie de combustible, jointe à diverses circonstances commerciales, a amené sa chute. Voici l'analyse des deux minerais qu'elle traitait, d'après des échantillons pris par nous sur place en 1862.

	MINÉRAI de Martigny.	MINÉRAI de Chamoison.
Eau et acide carbonique.	1,65	10,65
Peroxyde de fer	56,65	31,15
Protoxyde de fer.	26,41	37,66
Oxyde de manganèse . .	0,15	0,11
Silice.	12,25	8,72
Alumine (combinée) . . .	0,60	2,18
Chaux	0,10	4,58
Magnésie.	traces.	0,31
Soufre.	1,10	traces.
Matière bitum. et pertes. .	»	4,64
	<hr/> 99,91	<hr/> 100,00
Fer total environ	60,00 %	50,00 %

On grillait, avant emploi, ces minerais très-massifs et très-compactes.

L'*usine de Plons*, dans le canton de Saint-Gall, possède un seul haut fourneau ayant 7^m,20 de hauteur, 1^m,80 de diamètre au ventre, 1 mètre de diamètre au gueulard; d'une construction très-massive en grès du pays. Ce fourneau est soufflé par une seule tuyère avec une pression de 30 millimètres de mercure. La machine soufflante est une trompe à six arbres de 15 centimètres de diamètre, rangés circulairement sur la même tige; la chute est de 12 mètres. Le vent

passé dans un appareil à air chaud situé au gueulard. On fait quatorze charges en douze heures pour obtenir dans le même temps 1 500 à 1 600 kilogrammes de fonte. Chaque charge se compose ⁽¹⁾ de 120 kilogrammes de charbon de bois et 180 kilogrammes de minerais de fer (magnétiques, hydratés, hématites), 18 kilogrammes de carbonate de manganèse, 18 kilogrammes de sable calcaire. Les minerais qui viennent du Gonsenberg sont grillés préalablement, dans deux fours à cuve pour les gros, sur une sole chauffée par les gaz pour les menus. La fonte qu'on obtient est de très-bonne qualité.

Les usines du canton de Berne, toutes situées dans l'ancien évêché de Bâle (environs de Delémont et de Porentruy), traitent les minerais pisolithiques de la vallée de Delémont. Ceux-ci s'exploitent, comme en Franche-Comté, dans le terrain sidérolithique qui remplit les dépressions du terrain jurassique, et est recouvert par les terrains tertiaires. A *Undervelier*, *Courrendlin*, *Bellefontaine*, *Choindez*, *les Rondez*, on ne fabrique que des fontes grises de forge semblables à celles de Comté; à *Delémont*, *Saint-Pierre*, *la Cluse* on fait de la sablerie, et dans la dernière usine des projectiles pour la confédération suisse.

Voici, d'après M. de Fellenberg, diverses analyses relatives à l'*usine de Choindez*, où on fond un mélange par parties égales de minerais de Cerneux et de Grossefin, additionné d'un huitième de castine portlandienne, pour obtenir une fonte grise (105 kilogrammes de charbon pour 100 de fonte), avec un laitier visqueux, vitreux et noirâtre. Ces analyses donneront une idée suffisante de la nature des produits des usines du Jura bernois.

	MINÉRAI de Cerneux.	MINÉRAI de Grossefin.
Eau	12,96	13,36
Peroxyde de fer.	59,84	61,72
Silice combinée.	11,54	9,12
<i>A reporter.</i>	<u>84,34</u>	<u>84,20</u>

(1) D'après *the Engineer*, 1866.

	MINÉRAI de Cernaux.	MINÉRAI. de Grosseflou.
<i>Report</i> . . .	84,34	84,20
Alumine	11,65	10,38
Oxyde de manganèse	»	0,23
Oxyde de plomb	»	0,20
Oxyde de zinc	»	0,41
Oxyde de chrome et acide vanadique.	0,22	0,20
Acide sulfurique	»	0,22
Acide phosphorique	0,11	1,00
Argile	3,68	3,10
	<hr/>	<hr/>
	100,00	99,94
Fer	42,00 %	43,20 %

Cadmies du gueulard à Choindez.

Oxyde de zinc	94,65
Oxyde de plomb	3,01
Oxyde de fer	1,53
Charbon	0,74
Soufre	0,02
Silice	0,90

100,85

Fonte grise de Choindez.

Laitier de Choindez.

Fer	94,4540	Silice	33,71
Carbone combiné	0,8550	Alumine	37,90
Graphite	2,1050	Chaux	28,04
Silicium	1,0712	Magnésie	0,42
Phosphore	0,2077	Sulfate de calcium	0,23
Vanadium	0,0910	Protoxyde de fer	0,68
Chrome	0,1650	Protox. de manganèse	0,28
Cobalt	0,0252	Oxyde de cobalt	0,21
Manganèse	0,0142	Potasse	0,13
Cuivre	0,0117	Soude	0,37

100,000

En 1851, il y avait en Suisse quatorze hauts fourneaux en feu consommant 35 000 tonnes de minerai par an et produisant 14 500 tonnes de fonte. La production de fonte paraît s'être réduite maintenant à 10 000 ou 12 000 tonnes produites dans sept ou huit hauts fourneaux. L'augmentation de prix du bois et du charbon de bois est la cause de cette diminution dans l'industrie sidérurgique.

CHAPITRE VIII. — BELGIQUE, LUXEMBOURG ET PAYS-BAS

La fabrication de la fonte et du fer est pour la Belgique une industrie nationale qui remonte au delà du treizième siècle. Le pays de Liège était célèbre dès le moyen âge par les travaux de ses forgerons et de ses armuriers. Actuellement ce même pays, ainsi que le district de Charleroi, est couvert d'usines importantes alimentées par les riches bassins houillers du Hainaut et de Liège. L'exposition universelle de 1867 ne permettait pas au visiteur superficiel d'apprécier l'importance de la sidérurgie belge ; quelques usines seulement étaient placées en évidence dans la grande galerie, le reste était, ou bien exilé dans une rotonde du parc qui attirait peu de visiteurs, ou bien relégué avec la collection des roches et minerais du sol belge dans une salle mal éclairée où l'on passait peu. Mais le métallurgiste désireux de savoir à quoi s'en tenir pouvait néanmoins trouver dans ces divers locaux des éléments suffisants pour se former une opinion ; un catalogue spécial, bien rédigé, fournissait des renseignements statistiques et économiques presque complets. Nous reproduisons ici quelques lignes de ce catalogue :

« L'industrie du fer est déjà très-ancienne en Belgique, mais ses progrès les plus saillants datent d'une quarantaine d'années. Le gouvernement hollandais lui donna la première impulsion, en décrétant, de 1822 à 1830, une série de mesures empreintes de sagesse et de prudence, et qui produisirent d'importants résultats ; il convient de citer, au nombre de ces mesures, les avantages réservés au commerce maritime, la création de plusieurs grandes institutions de banque, de commerce et de crédit, l'introduction de modifications utiles au tarif des douanes, etc. C'est à partir de cette époque que l'industrie des machines fut largement constituée en Belgique, qu'on vit l'établissement de Seraing, aidé par les capitaux du roi Guillaume, recevoir de larges développements, et que John Cockerill y fonda des hauts

fourneaux et des laminoirs à fer qui devinrent bientôt le type des établissements nombreux aujourd'hui répandus dans les provinces de Liège et de Hainaut.

« La révolution de 1830 suspendit quelque temps la marche du progrès industriel. Mais, dès 1832, le développement de l'industrie métallurgique ne fut plus interrompu ; la production fut surexcitée d'ailleurs par les nombreuses commandes que provoqua la création du chemin de fer belge. A part quelques années mauvaises, l'industrie des fers a continué à prospérer successivement, et sa situation est aujourd'hui, comme par le passé, des plus satisfaisantes dans son ensemble. Les immenses développements qu'elle a réalisés sont dus en grande partie à l'aide des grandes associations financières qui lui donnent l'impulsion. On comprend cet empressement des capitalistes à porter leurs spéculations sur la fabrication du fer dans un pays aussi heureusement constitué que la Belgique pour cette grande industrie. Les richesses en combustible minéral sont en effet immenses ; la population ouvrière est éminemment laborieuse, et si les gîtes de minerai ne se rencontrent pas souvent dans une situation aussi favorable qu'en Angleterre par rapport aux terrains houillers, cet inconvénient est atténué par les facilités que donnent les voies de communication de toute nature dont la Belgique est sillonnée. »

La Belgique possède toutes les qualités de fers nécessaires à son industrie, à l'exception toutefois des fers à aciers. En effet, tous ses minerais sont exploités dans des terrains postérieurs aux terrains de transition ; elle ne possède ni hématites brunes dévoniennes et siluriennes, ni oligistes et magnétites des terrains primitifs. Les minerais belges peuvent se classer ainsi qu'il suit, en commençant par les minerais en couches :

Terrains tertiaires. — Ils fournissent la limonite du Bolderberg ou *minerai de Campine*, exploitée dans plusieurs localités (et qui coûte 6 francs la tonne sur place), et la limonite siliceuse de Groenendaël (qui coûte 8 francs la tonne sur wagon).

Terrain crétacé. — Il ne renferme que quelques hydrates argileux à Hokelbach.

Terrains jurassiques. — Ils fournissent le minerai oolithique dit *minette*, qu'on exploite dans les communes de Halanzy et de Musson et qui est semblable à notre minerai de la Moselle (il coûte 2 fr. 15 la tonne sur place); et la limonite calcaire, exploitée dans la commune de Messancy, rendant 35 à 40 pour 100 de fonte, donnant du fer nerveux (et coûtant sur place 3 fr. 80 la tonne).

Terrain carbonifère. — Il renferme à sa base les couches de minerai oxydé rouge dit *oligiste*, qui sont exploitées dans les communes de Isne-Sauvage, Houssois, Vezin et Couthuin; ce minerai était peu employé il y a une quinzaine d'années, mais la production maintenant en dépasse 250 000 tonnes. Il coûte en moyenne 12 francs la tonne sur wagon.

Outre ces minerais en couches, on trouve aussi des minerais en amas couchés, en dépôts et en filons dans le terrain carbonifère; ce sont tous des fers hydratés qu'on emploie soit à l'état brut, soit après lavage. On y distingue *les minerais de l'Entre-Sambre-et-Meuse*, rendant 33 à 37 pour 100 et donnant du fer fort; *les minerais de la Meuse* (30 à 40 pour 100), qui donnent des fers tendres généralement; *les minerais d'Ourthe* et *ceux de la Vesdre*, qui donnent des fers forts.

Les minerais indigènes, dont le tonnage annuel atteint cependant environ 1 million de tonnes, ne suffisent pas, et depuis quelques années on fait une importation de plus en plus large des minerais oolithiques du Luxembourg et des environs de Longwy.

Pour étudier les usines à fonte belges, nous les diviserons en trois groupes, savoir :

- 1^o *Groupe du pays de Liège* ;
- 2^o *Groupe du district de Charleroi* ;
- 3^o *Groupe des fourneaux au bois du pays de Namur.*

PREMIER GROUPE.

GROUPE DU PAYS DE LIÈGE.

Le pays de Liège a été l'un des berceaux de la sidérurgie ; les hauts fourneaux y ont été inventés, dit-on, vers l'an 1500 ; c'est aussi dans l'une de ses usines, à Seraing, que fut mis à feu en 1823 le premier haut fourneau au coke construit en Belgique. Voici le nom et la consistance des usines à fonte qui étaient en activité en 1866 :

NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Seraing.	Société John Cockerill. . . .	6
Espérance.	Société de l'Espérance	4
Ougrée.	Société d'Ougrée	4
Sclessin.	Société de Sclessin	6
Grivegnée.	Société de Grivegnée	2

Outre ces 22 hauts fourneaux, dont 13 seulement étaient en fer, deux autres usines éteintes, celles de Dolhain et Huy, comprennent 2 fourneaux de plus, ce qui porte le nombre total de ces appareils à 24. La production de fonte du groupe était en 1864 de 143 737 tonnes, valant 11 035 638 francs ; elle occupait 1 595 ouvriers et 16 hauts fourneaux.

La production moyenne à cette époque était donc 8 983 tonnes par an, ou 25 tonnes par jour et par haut fourneau.

Nous nous arrêterons quelque temps sur chacune des usines qui étaient représentées à l'exposition.

Usines de Seraing.

Ces importantes usines ont été fondées en 1817 par M. John Cockerill, qu'on peut considérer comme l'importateur en Belgique des méthodes anglaises pour la fabrication de la fonte et du fer avec le combustible minéral. Elles ont pris tout d'abord et conservé une place pour ainsi dire classique dans la sidérurgie belge. Actuellement elles sont encore les plus considérables du royaume. Leur étendue est de 72 hectares, et elles occupent près de 7 000 ouvriers, en consommant par an 220 000 tonnes de houille environ.

Le combustible est extrait d'une concession charbonnière de 195 hectares, présentant quatre sièges d'exploitation, armés de huit puits d'extraction, aérage, épuisement, descente et remonte des ouvriers par fahrkunst. Ces houillères, qui occupent 2175 ouvriers, extraient annuellement 260 000 tonnes de houilles. Une partie importante de cette production est lavée et broyée dans des appareils spéciaux, pour être ensuite transformée en coke dans cinq batteries de fours à coke. Ceux-ci sont de deux systèmes, également à sole rectangulaire, à parois chauffées et à défournement mécanique, savoir : le système Cockerill et le système Dulaît. On y fabrique annuellement 80 000 tonnes de cokes dont la teneur en cendres varie de 8 à 10 pour 100.

La société Cockerill possède aussi 3500 hectares de concessions minières avec trente sièges d'exploitation dans les provinces de Liège, de Namur et de Luxembourg, qui produisent 146 000 tonnes de minerais par an. Elle exposait divers échantillons de ces minerais, savoir :

Oligistes d'Athin	28	% de fer.	} Prov. de Namur.
— de Melotte	38	— —	
— de Vezin	40	— —	
— d'Isnes	39	— —	
— de Houssois	45	— —	} Min. de la Meuse.
Limonites de Boninne . .	42	— —	
— de Bernimont	42	— —	
— de Namèche	41	— —	
Sidérose de Delalemont (grillée).	46	% de fer, 2 % de mang.	
Mineral manganésifère de Rahier-Stevelot	25	— — 1 — —	
Limonite d'Arlon (Luxembourg).	38	— —	

Outre ces minerais indigènes, les hauts fourneaux consomment encore des minerais manganésifères de la Westphalie et, dit-on, des hématites rouges d'Angleterre. Les six hauts fourneaux de l'usine de Seraing sont sans prises de gaz ; leur construction est assez ancienne. Quatre d'entre eux sont ordinairement en feu et produisent annuellement

50 000 tonnes de fontes de moulage et d'affinage. La qualité de ces fontes dépend de la composition des lits de fusion employés. L'usine exposait des fontes d'affinage pour fer métis ou n° 1, des fontes d'affinage pour fer ordinaire ou n° 2 (blanches un peu rayonnées), pour fer extra ou n° 4 (truitées et rayonnées sur les bords). Mais on ne fabrique pas aisément des fontes acieuses et des fontes manganésifères pour la fabrication des aciers et des fers fins ; les minerais belges ne s'y prêtent point, et les minerais étrangers reviennent à un prix trop élevé. L'usine de Seraing avait exposé en outre dans la grande galerie des machines une machine soufflante à action directe, de grande dimension, suffisante pour souffler deux hauts fourneaux au coke ; ce type de soufflerie est connu par la publication du portefeuille de Cockerill qui en donne les dessins, et nous ne le décrivons pas ici. Il est certainement le meilleur parmi les types de machines verticales à action directe et bien préférable à celui dont l'usine du Creusot avait exposé les dessins, que nous avons reproduits planche IV ; il présente plus de stabilité et peut marcher à une vitesse plus considérable, par conséquent fournir une plus grande quantité de vent avec des cylindres plus petits.

Usines de l'Espérance.

La société de l'Espérance possède à Seraing trois sièges d'extraction houillère et quatre hauts fourneaux. Elle fabrique ses cokes sur place, dans des fours à défournement mécanique. Les minerais et la castine arrivent par un canal d'où un plan incliné les élève à 17 mètres au-dessus du sol de l'usine. Le sol de la halle de chargement est à 2 mètres au-dessous du parc à minerais. On traite à l'Espérance des mélanges de minerais qui rendent environ 36 pour 100 de fer.

Quand on marche en fonte de moulage, on fabrique à peu près 18 000 kilogrammes de fonte par 24 heures et par fourneau ; en fonte blanche d'affinage on obtient jusqu'à 35 000 kilogrammes. La consommation de coke est environ 1 500 kilogrammes par tonne de fonte de moulage, et 1 000 à 1 100 kilogrammes par tonne de fonte blanche d'affinage.

Les minerais exposés étaient : l'oolithique de Melotte, l'hématite brune géodique de Rocheux, les hématites brunes concrétionnées de l'Ourthe, de la Vesdre (Hodbeaumont et Houthem), l'oligiste de Wartet. Les fontes étaient : une fonte de moulage n° 1, une fonte rayonnée manganésifère, une fonte blanche un peu fibreuse pour fer fort. Les prix étaient par 1000 kilogrammes : pour le charbon, 14 à 25 francs suivant qualité ; pour le coke lavé, 25 à 26 francs ; pour la fonte d'affinage, 75 à 85 francs.

Usines d'Ougrée.

L'usine d'Ougrée, qui compte quatre hauts fourneaux, n'avait pas exposé de minerais, mais seulement quelques morceaux de fontes blanches lamelleuses et fibreuses, cotées 10 francs les 100 kilogrammes, et légèrement manganésées. Elle est une des usines les plus avancées de la Belgique pour le traitement des minerais de fer, et elle a l'honneur d'avoir la première su traiter convenablement les oligistes du pays de Namur, qui étaient avant elle repoussés malgré leur richesse par tous les directeurs de hauts fourneaux. Les usines à fonte belges ont eu longtemps à souffrir de l'insuffisance des connaissances chimiques de leurs directeurs, et la difficulté que l'on éprouvait à réduire les riches oligistes en est une des preuves les plus frappantes. Ce n'est que vers 1860 ou 1861 que l'on parvint à résoudre ce problème (1).

Voici l'analyse d'un minerai oligiste de Vezin exploité par la société d'Ougrée :

Fer.	45,93
Oxygène . .	20,25
Silice. . . .	12,40
Alumine. . .	5,40
Chaux . . .	3,20
Soufre . . .	0,54
Perte au feu.	11,30
	<hr/>
	99,02

(1) Voir, dans la *Revue universelle*, t. XI, 1862, un mémoire de MM. Dulaix et Boulanger à ce sujet.

Les fourneaux d'Ougrée produisent chacun 27 à 30 000 kilogrammes de fonte d'affinage, fer métis, en vingt-quatre heures.

Usines de Sclessin et de Grivegnée.

La grande usine de Sclessin-Tilleur n'avait rien exposé ; elle est avec celle de Seraing la plus importante de la Belgique par le nombre des hauts fourneaux. Celle de Grivegnée n'était pas représentée non plus ; elle est connue par les dimensions de ses hauts fourneaux, plus élevés (19 mètres) que les autres fourneaux de Belgique.

Toutes ces usines du bassin de Liège peuvent fabriquer de bonnes fontes pour l'obtention de fers puddlés supérieurs, mais aucune d'elles n'a encore pratiqué couramment la fabrication des fontes propres aux affinages pour acier par le procédé Bessemer ou par tout autre. Les minerais belges, comme nous l'avons déjà dit, sont peu propices à cette fabrication ; cependant l'usine de Seraing fait en ce moment des efforts pour arriver à se passer de fontes étrangères dans son atelier Bessemer.

DEUXIÈME GROUPE.

GROUPE DU DISTRICT DE CHARLEROI.

Ce groupe pourrait aussi s'appeler le *groupe de la Sambre*, comme le précédent le *groupe de la Meuse* ; toutefois nous y comprenons les hauts fourneaux au coke de l'Entre-Sambre-et-Meuse et du Borinage. Toutes ces usines en effet se trouvent à peu près dans les mêmes conditions d'approvisionnement pour les minerais. La province de Hainaut comptait autrefois quelques hauts fourneaux au charbon de bois ; ils sont tous inactifs maintenant. En 1827 il n'y avait qu'un seul haut fourneau au coke, celui de MM. Huart et Henrard, aux Hauchis, près Marcinelle ; en 1866 le groupe en comptait quarante-neuf dont trente-trois en feu.

Voici les noms des usines du groupe :

PROVINCES.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourn.
Namur.	Marche-les-Dames.	MM. Mineur frères.	1
—	Vogenée.	M. Strivet.	1
—	Thy-le-Château.	MM. Blondiaux et C ^e	2
Hainaut.	Hourpes (Thuin)	MM. Bonehill frères.	3
—	La Louvière.	MM. Cambier et C ^e	2
—	Couillet.	Société anonyme de Couillet.	7
—	Chatelineau.	Soc. anonyme de Chatelineau.	6
—	Acoz et Bouffloulx.	MM. de Dorlodot frères.	4
—	Marcinelle.	MM. Ch. Dupret et C ^e	1
—	Bois d'Haine.	M. E. Dupont	2
—	Châtelet.	MM. Gillain et C ^e	3
—	Forey, près Marcinelle.	MM. Mineur, Dumortier et C ^e .	1
—	Mont-sur-Marchiennes.	MM. Mineur et C ^e	2
—	Monceau-sur-Sambre.	Société anonyme.	4
—	Montigny-sur-Sambre	Société anonyme.	3
—	Marchiennes.	Société de la Providence	3
—	Bracquignies.	Soc. de Strépy-Bracquignies.	2

L'usine de Pommerœul, comptant deux hauts fourneaux, est complètement téeinte.

La production de fonte du groupe a été :

En 1864, avec 30 hauts fourn. en feu, 300 593 t. soit 10 000 t. par fourneau.					
— 1866,	31	—	339 652	—	10 950
— 1867,	24	—	302 174	—	12 590

Les usines du district de Charleroi, créées pour traiter les minerais de l'Entre-Sambre-et-Meuse et les minerais tertiaires de la Campine (Limbourg), consomment maintenant beaucoup de minerais français et luxembourgeois. D'après M. Stainier, secrétaire de l'Association des maîtres de forges de Charleroi, les minerais coûtent, rendus dans les usines, en moyenne (en 1867) :

Minerais fer fort. .	16 fr. 56 la tonne.
— fer métis. .	13 09 —
— oligistes. .	14 25 —
— fer tendre. .	9 00 —

Les menus gras tout-venants pour la fabrication du coke, qui coûtaient 12 francs et 12 fr. 50 la tonne pris à la mine avant 1866, coûtaient en 1867 14 fr. 50 et 15 francs.

Usines de Couillet et de Chatelineau.

Ces deux usines, les plus importantes du groupe, sont maintenant fusionnées et peuvent fabriquer à elles deux près de 100 000 tonnes de fonte par an. Elles emploient comme minerais quatre provenances principales :

1° Les minerais rouges oligistes, à structure oolithique, de la province de Namur, qui sont un peu sulfureux ;

2° Les minettes ou minerais oolithiques du Luxembourg ;

3° Les hydratés fer fort, hématites brunes qui viennent de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Morialmé, Florenne). On les distingue des hydratés fer tendre, qui sont aussi des hématites cloisonnées, à ce que la maille brune luisante est continue quand on la casse.

4° Les hydratés fer tendre, contenant des traces de phosphore et provenant aussi de l'Entre-Sambre-et-Meuse.

Les fondeurs belges prétendent souvent reconnaître les mines fer fort, à ce qu'en les prenant dans la main elles sont sèches et ne tâchent pas la peau, tandis que les mines fer tendre salissent la peau. On s'en est tenu trop longtemps en Belgique à des caractères plus ou moins exacts de cette nature pour établir les lits de fusion des hauts fourneaux ; ce n'est qu'à une époque assez récente que les maîtres de forges se sont décidés à appeler à leur aide les ressources de l'analyse chimique. Voici l'analyse de trois minerais employés à Couillet :

I. Oligiste oolithique de Ville-en-Waret ;

II. Hydraté fer fort de Fraire ;

III. Hydraté fer fort de la Flache (Morialmé).

	I.	II.	III.
Sesquioxyde de fer.	70,00	58,20	56,00
Silice	10,20	22,00	23,70
Alumine.	4,60	7,20	9,00
Chaux.	4,40	2,30	2,47
Magnésie	2,88	1,15	»
Oxyde de zinc. . .	0,30	»	»
Acide carbonique .	2,42	1,80	»
Matières volatiles .	5,20	7,35	8,83
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Les usines de Couillet et de Chatelineau sont anciennes : la première a été fondée en 1828 par M. Fontaine-Spitaels, et la deuxième en 1832 par MM. L. Wilmar et C^e ; aussi leurs installations sont pour la plupart assez vieilles. Elles sont dirigées par l'un des plus habiles métallurgistes de la Belgique, M. Smits. Nous nous arrêterons seulement un instant sur l'usine de Couillet, mieux outillée que celle de Chatelineau à l'époque où nous l'avons visitée (1865).

Elle comprend 7 hauts fourneaux disposés en 3 massifs : 2 massifs de 2 fourneaux chacun et 1 massif de 3 fourneaux. Dans ce dernier on a démoli le fourneau du milieu pour installer à sa place un monte-charges hydraulique. Cette disposition en massif est, selon nous, essentiellement vicieuse ; elle rend les réparations à la cuve et même à l'ouvrage du fourneau très-difficiles, sinon impossibles. On a ordinairement un haut fourneau en allure de fonte de moulage et trois ou quatre en fonte d'affinage. Les lits de fusion habituels rendent 32 pour 100 environ pour la fonte de moulage, 40 pour 100 pour la fonte d'affinage. On souffle avec deux buses seulement de 10 à 12 centimètres de diamètre et une pression de 18 à 22 centimètres de mercure, la température du vent étant de 250 degrés. Les soufflantes sont à balancier ; tous les appareils à air chaud sont du système Calder.

Les coques sont fabriqués dans l'usine avec deux systèmes de fours à coke : d'anciens fours à une porte et de nouveaux fours à deux portes et à défournement mécanique du système Smet. L'installation de ces derniers est assez récente et fort soignée.

On fabrique à Couillet six numéros de fonte de moulage, le numéro 6 encore tout gris n'a pas de grain. Quant aux fontes d'affinage, on les distingue, suivant l'usage belge, en fontes fer fort, fer métis et fer tendre. On consomme par tonne de fonte environ 1 500 kilogrammes de coke en allure de moulage, et 1 000 à 1 300 kilogrammes en allure d'affinage. Lors de notre visite, un fourneau produisait par vingt-quatre heures 40 tonnes de fonte blanche pour rails, et les trois autres de 22 à 40 tonnes de fonte de moulage n^{os} 3,

4 et 5, affinage blanc et gris fer fort, affinage blanc fer tendre.

A Chatelineau, les fourneaux ne produisaient que 18 à 20 tonnes d'affinage blanc fer fort, ou 22 à 24 tonnes de fonte blanche pour rails. Leur marche était moins bonne qu'à Couillet.

On emploie à Couillet, sur une assez grande échelle, le système d'utilisation des laitiers de hauts fourneaux inventé par MM. Sepulchre et Ohresser, de la société de Vezin Aulnoye, et que nous avons déjà signalé à propos de l'usine de Noveant (France). On transforme ces laitiers en *porphyre artificiel* dont on fait des pavés, des moellons, du macadam ou même des pièces moulées grossières. Pour obtenir ce porphyre artificiel, il suffit de creuser dans le sol de la place à laitier des fosses de forme tronconique renversée, de capacité telle qu'elles puissent contenir tout le laitier formé entre deux coulées, dans un ou plusieurs hauts fourneaux. Une ou plusieurs rigoles dirigent le laitier dans la fosse, soit d'une façon continue, soit à différentes reprises, quand on procède par lâchages. Le seul soin à prendre consiste à faire couler le laitier liquide sous la croûte superficielle vitreuse qui se solidifie dès le début de l'opération. La forme tronconique renversée fait que cette croûte se soulève généralement elle-même. Dans ces conditions, le refroidissement du laitier ne se produit qu'après quelques jours, en sorte qu'il faut disposer d'un nombre de fours suffisant pour contenir tout le laitier produit pendant le temps du refroidissement, quand on veut utiliser la totalité de son laitier. Grâce à cette lenteur du refroidissement, le laitier se dévitrifie; et quand il est solidifié, on trouve sous une croûte superficielle vitreuse une masse compacte et homogène de porphyre artificiel qui présente tous les caractères et propriétés d'une pierre naturelle. Facile à façonner au moment où, tiède encore, elle est extraite des fours, elle devient extrêmement dure et difficile à tailler après un certain temps d'exposition à l'air et à la pluie.

Il faut toutefois ajouter que toutes les allures et toutes les compositions de laitiers ne se prêtent pas à l'obtention du

porphyre artificiel. Les laitiers ferrugineux d'allure froide ou intermédiaire ne peuvent être ainsi transformés. Les laitiers de fonte de moulage, calcaires sans l'être trop, sont les meilleurs. Les laitiers ultra-calcaires, et quelquefois fusants, des fontes grises d'affinage fines ne sauraient être utilisés ainsi ; il est vrai qu'ils sont rares en Belgique.

Usines de MM. de Dorlodot frères.

L'installation primitive des usines sidérurgiques d'Acoz remonte à une époque très-ancienne. C'est en 1758 que M. Puissant y construisit sur la Brisne la première forge. En 1858, M. de Dorlodot père, alors possesseur des usines, en fit la cession à ses fils, Léon et Eugène.

Actuellement les usines de MM. de Dorlodot frères comprennent quatre établissements, savoir : le haut fourneau d'Acoz, les hauts fourneaux et fonderies de Bouffloulx, le laminier d'Acoz et la fabrique de rails de Chatelineau. Nous ne nous occuperons maintenant que des usines à fonte.

Le haut fourneau d'Acoz n° 1 date de 1830, mais il a reçu de nombreux perfectionnements depuis cette époque. Aujourd'hui il est alimenté par cinquante fours à coke, deux machines soufflantes à balancier d'une force collective de 120 chevaux, quatre appareils à air chaud du système Calder perfectionné, cinq chaudières à vapeur. Il produit par vingt-quatre heures 45 à 50 tonnes de fonte d'affinage, et par an 16 000 tonnes de fonte, avec une consommation de 2 500 kilogrammes de minerais, 1 000 kilogrammes de coke et 685 kilogrammes de castine par tonne de fonte. On procède par charges de coke de 700 kilogrammes, soit trente-cinq mannes.

La seconde usine à fonte, située dans la vallée de la Meuse, comprend trois hauts fourneaux (n°s 2, 3 et 4). Le numéro 2 a la même production et le même roulement que le numéro 1 ; le numéro 4 produit en moyenne 51,6 tonnes par jour. Le numéro 3 marche en fonte de moulage et produit seulement 25 tonnes par jour, soit 8 500 tonnes par an, avec une consommation de 3 350 kilogrammes de minerai, 1 300 ki-

logrammes de coke et 1 000 kilogrammes de castine. Outre ces trois hauts fourneaux, qui ont seulement 13 mètres de hauteur, l'usine comprend 82 fours à coke, 3 soufflantes d'une force collective de 400 chevaux, 9 chaudières à vapeur et 8 appareils à air chaud chauffés par les gaz.

Les minerais employés sont les suivants : Acoz (fibreuse, 45 pour 100 de fer environ), Namur (oligiste, 40 pour 100), Ligny (hématite jaune 28 à 42 pour 100), Morialmé (hydraté fer fort, 40 pour 100) Mettet (hydraté fer tendre, 35 à 40 pour 100), Luxembourg (oolithique, 35 pour 100). Ceux de Morialmé et d'Acoz sont exploités dans les minières de MM. de Dorlodot. Les fontes ne présentent rien de saillant comme qualité. A Acoz se trouve annexée aux hauts fourneaux une fabrique de briques réfractaires.

Usine de Monceau-sur-Sambre.

Les quatre hauts fourneaux de Monceau-sur-Sambre ne présentent rien de particulier comme construction ; ils sont munis d'une prise de gaz à trémie ; les gaz se dégagent par quatre orifices diamétraux et se rendent dans un carneau annulaire. Les charges sont de 660 kilogrammes de coke, 1 200 kilogrammes de minerai environ et 300 kilogrammes de castine ; le minerai est surtout de la minette du Luxembourg, la castine est un marbre gris dur. On fait vingt-deux à vingt-trois charges par coulée, et trois coulées par vingt-quatre heures, chacune de 12 000 kilogrammes. La fonte produite est blanche ou truitée, très-rarement grise.

Usine de Montigny-sur-Sambre.

L'usine de Montigny est celle qui fabrique les fontes les plus réputées de la Belgique, et son exposition était la plus remarquable de l'annexe métallurgique belge, aussi bien par les cassures de fontes et de fers qu'elle comprenait que par la manière dont ces produits étaient classés et présentés.

Elle exposait les minerais qui sont traités dans ses fourneaux, savoir : 1° des hydratés fer fort ou limonites de

l'Entre-Sambre-et-Meuse, à gangue siliceuse, contenant 33 à 35 pour 100 de fer ; 2° des limonites de Fleurus et de Ligny, fer fort, 35 à 40 pour 100 de fer, gangue argileuse ; 3° des oligistes de Vezin, à gangue calcaire et magnésienne, rendant 40 à 45 pour 100 de fer. Aucun minerai fer tendre ne figurait dans le nombre ; cependant Montigny a traité il y a peu d'années encore des minettes du Luxembourg et des minerais de Campine. Le plus important de ses minerais est certainement celui qui figurait en tête de sa collection, l'oligiste de Vezin, dont voici l'analyse :

Peroxyde de fer.	62,62
Protoxyde de manganèse.	2,46
Silice.	10,17
Alumine	6,25
Carbonate de chaux	10,50
Carbonate de magnésie	7,48
Eau	0,97
	<hr/>
	100,45

et qui doit se prêter d'une façon spéciale à la fabrication des fontes blanches lamelleuses qui ont fait la réputation de l'usine de Montigny.

L'usine fabrique elle-même ses cokes dans des fours à boulanger d'un système particulier, le système Gendebien, qui sont loin de fournir des résultats aussi bons que des fours à deux portes et à défournement mécanique. Elle possède trois hauts fourneaux qui ont 16^m,50 de hauteur. Nous donnons pl. XXIII, fig. 4, le profil approximatif de l'un d'eux ; ils sont soufflés par deux tuyères et produisent par jour de 25 à 30 tonnes de fonte d'affinage grise ou blanche fer fort, mais jamais de fonte de moulage. La consommation de coke par tonne de fonte blanche est à Montigny, comme du reste dans presque tout le bassin de Charleroi, de 1 000 à 1 200 kilogrammes, le rendement moyen des minerais étant environ 40 pour 100.

Les fontes exposées étaient : 1° celle dite *spiegel première qualité blanc*, présentant des facettes longues et étroites, et non des faces cristallines larges et étendues comme les spie-

geleisen prussiens, et dont la teneur en manganèse doit être de 1 à 2 pour 100, d'après son apparence ; 2° le *spiegel première qualité rubanné* ; 3° le même *truité* ; 4° le *spiegel deuxième qualité blanc* ; 5° le même *truité* ; 6° la fonte *grise spéciale* ; 7° les fontes *ordinaires* grises, truitées, blanches ; 8° la fonte *blanche fer fort*, un peu rayonnée. Montigny a produit 30 000 tonnes de fonte en 1866.

Autres usines du groupe.

MM. Gillain et C^e, de Châtelet, exposaient des minerais de l'Entre-Sambre-et-Meuse et des fontes de moulage et d'affinage ; leurs fourneaux produisent 42 tonnes chacun par vingt-quatre heures.

La société métallurgique de Marcinelle (M. Charles Dupret et C^e) exposait des fontes de moulage, d'affinage fer fort et d'affinage pour acier puddlé et fer à fin grain, ainsi que des pavés de porphyre artificiel.

Le fourneau de M. Mineur, à Forey, dont on trouvera le profil approximatif pl. XXIII, fig. 5, produit en vingt-quatre heures 30 tonnes environ de fonte de moulage n^{os} 3 et 4.

Les hauts fourneaux de la Providence, près Charleroi, consomment surtout des minettes du Luxembourg. Voici l'analyse de trois provenances de ces minerais :

	MINETTE ROUGE de Merzberg.	MINETTE GRISE de Steinberg.	MINETTE VERTE. de Russelange.
Peroxyde de fer . . .	44,79	43,79	51,83
Protoxyde de fer. . .	»	»	3,27
Silice	4,38	27,54	6,97
Silicates insolubles. .	4,54	4,29	0,39
Alumine.	7,86	5,79	1,08
Chaux.	13,77	8,09	15,41
Magnésie	2,58	0,04	0,18
Acide phosphorique .	0,95	0,69	2,27
— sulfurique. . .	0,48	0,12	0,17
— carbonique . .	9,42	5,39	9,48
Eau.	11,19	4,34	8,94
	<hr/> 99,96	<hr/> 99,98	<hr/> 99,99
Fer.	31,30	30,65	38,00
Phosphore.	0,41	0,30	0,99
Soufre	0,17	0,04	0,06

Nous donnons encore l'analyse complète d'une fonte blanche fabriquée avec ces minerais, dont le poids spécifique était 7,61 et qui présente une pureté remarquable :

Fer pur.	99,108
Carbone.	2,180
Silicium	0,560
Aluminium	0,812
Calcium.	0,063
Magnésium	0,019
Soufre	0,227
Phosphore	0,030

M. Dupont, qui possède le haut fourneau de Crespin en France, en possède en Belgique à Bois d'Haine et à Chate-lineau, mais il n'avait pas exposé de fontes. Les usines à fonte du centre, Bracquengnies et la Louvière, n'étaient pas représentées. A Bracquengnies on fabrique par fourneau 30 à 32 tonnes par jour de fontes de moulage n^{os} 3, 4 et 5, première qualité, le numéro 5 étant très-apprécié au puddlage pour acier ou fer à fin grain. Le fourneau de la Louvière ne produit que 22 à 25 tonnes de fonte de moulage ordinaire.

Les hauts fourneaux de Charleroi et du centre travaillent avec une pression de vent moindre que dans le pays de Liège, qui suit davantage les errements westphaliens (11 à 13 centimètres mercure au lieu de 15 à 18); la consommation de coke par tonne de fonte est aussi moindre dans le groupe de Charleroi que dans celui de Liège (1 000 à 1 200 kilogrammes par tonne d'affinage blanche au lieu de 1 250 à 1 500 kilogrammes.)

Appareils à air chaud à sections différentielles.

Avant de quitter le pays de Charleroi, nous voulons signaler un perfectionnement ingénieux qui y a été apporté aux appareils à air chaud par MM. Wurgler et Detombay (de Marcinelle). Voici comment les inventeurs le décrivent :

Dans les appareils à air chaud du système Calder et ceux qui en dérivent, tels que ceux dits à *pistolets*, c'est-à-dire

dans tous les appareils où un tuyau d'arrivée de l'air froid communique avec un tuyau de sortie de l'air chaud par des tuyaux ou circulations intermédiaires chauffées par les flammes, il arrive la plupart du temps que la section cumulée des tuyaux intermédiaires, dont le nombre est toujours assez grand pour que la surface de chauffe soit grande, est plus grande que la section du tuyau collecteur de sortie. Le passage de l'air ne s'effectue par suite que dans une partie des tuyaux intermédiaires, celle qui suffit au débit de l'air chauffé et dilaté. Les autres tuyaux n'ayant pas de circulation sont chauffés inutilement et de plus se brûlent plus rapidement par ce défaut même de circulation de l'air. Par un raisonnement, contrôlé du reste en tous points par la pratique, on peut se rendre compte de la marche de l'air dans ces appareils. L'orifice commun de sortie étant fermé et celui d'admission de l'air étant ouvert, la pression du régulateur s'établit dans toutes les parties de l'appareil ; mais aussitôt qu'on ouvre l'orifice de sortie, c'est par le tuyau intermédiaire le plus rapproché dudit orifice que commencera le débit. C'est là en effet que la pression commencera à diminuer, ou bien encore, si l'on veut, c'est l'air de ce tuyau qui aura le moins de chemin à parcourir pour s'échapper. Le tuyau intermédiaire suivant concourra le deuxième au débit, et ainsi de suite jusqu'à obtention du débit total de l'air envoyé. Il reste ainsi un certain nombre de tuyaux intermédiaires sans circulation d'air.

Pour éviter cet inconvénient et forcer l'air à circuler dans tout l'appareil, il faudrait donner aux tuyaux intermédiaires des sections d'autant plus grandes qu'ils sont plus éloignés de l'orifice de sortie, la section la plus petite étant celle du tuyau le plus rapproché. MM. Wurgler et Detombay y arrivent de diverses façons :

1° Sans rien démonter dans les appareils existants, en introduisant à l'intérieur du tuyau horizontal d'arrivée de l'air à chauffer, un tuyau percé d'orifices différentiels correspondant à chacun des tuyaux intermédiaires ;

2° En démontant les tuyaux intermédiaires et en intro-

duisant dans le joint du côté de la conduite d'arrivée des diaphragmes en tôle percés d'orifices différentiels ;

3° Dans les nouveaux appareils, en coulant les tuyaux intermédiaires sur le même modèle, mais en faisant venir de fonte des ouvertures différentielles.

4° On pourrait aussi avoir pour chaque tuyau un modèle différent, mais ce moyen serait trop coûteux sans offrir d'avantages.

Nous donnons pl. XXII le dessin d'un appareil système Calder à grilles transversales muni de diaphragmes à sections différentielles. On comprend sans peine que ce perfectionnement peut être appliqué à des appareils à pistolets ou à des appareils à serpentins multiples, type Wasseraffingen. On a fait des expériences dans une usine de Charleroi sur un appareil de Calder chauffé à la houille, il fallait brûler dans cet appareil 1 500 kilogrammes de houille en vingt-quatre heures pour chauffer l'air à 200 degrés ; après l'installation des diaphragmes différentiels, on a chauffé la même quantité d'air à 250 degrés avec 1 250 kilogrammes de houille seulement. Il y a plus de vingt appareils munis de ce perfectionnement en Belgique, et plusieurs fonctionnent depuis plus de trois ou quatre ans. On a constaté la durée beaucoup plus longue des tuyaux.

TROISIÈME GROUPE.

GROUPE DU PAYS DE NAMUR.

Le pays de Namur renfermait autrefois une vingtaine de hauts fourneaux au charbon de bois. Il n'y en avait que trois ou quatre en feu en 1866, savoir :

Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Couvin.	M. Calixte Mineur.	1
Annevoie-Bouillon.	M. P.-J. Mineur.	1
Stave.	M. Ed. Amand.	1
Bouvignes.	M. Al. Amand.	1

Elles consomment des minerais de l'Entre-Sambre-et-

Meuse avec des charbons des Ardennes belges. Les deux dernières figuraient à l'Exposition. La production de fonte au bois du groupe était de 5 545 tonnes en 1864 ; elle n'était en 1866 que de 3 000 tonnes au plus.

RÉSUMÉ.

On voit que la fabrication de la fonte a une grande importance en Belgique ; elle atteint environ la moitié de celle de la France. On jugera de son développement par les chiffres suivants :

	PRODUCTION DE FONTE		
	au coke.	au bois.	totale.
1845. . .	121 059 tonnes.	13 504 tonnes.	134 563 tonnes.
1850. . .	131 148 —	13 304 —	144 452 —
1855. . .	280 136 —	14 134 —	294 270 —
1860. . .	314 672 —	5 271 —	319 743 —
1864. . .	444 330 —	5 545 —	449 875 —
1866. . .	500 000 —	3 000 —	503 000 —

Pendant de longues années l'industrie sidérurgique belge est restée à peu près stationnaire ; les directeurs de fourneaux étaient presque tous des praticiens très-expérimentés, très-sagaces, mais peu propres à avancer beaucoup dans la voie du progrès. Les connaissances chimiques étaient peu répandues dans les usines ; faute de savoir composer un lit de fusion convenable, on laissait sans emploi les riches minerais oligistes du pays de Namur. C'est à l'Ecole des mines et des arts et manufactures de Liège que sont dus en majeure partie les progrès considérables qui ont été accomplis surtout depuis 1854 ; ils ont été plus sensibles cependant dans le district de Charleroi que dans le pays de Liège. M. Jules Dulait, ancien élève de l'Ecole de Liège, a l'un des premiers étudié au point de vue chimique les lits de fusion des hauts fourneaux belges, et il doit aux connaissances fournies par cette étude la réputation méritée dont il jouit dans son pays comme ingénieur-conseil des fabricants de fonte. Le tableau suivant qui lui est dû donnera une idée des progrès accomplis :

La production moyenne d'un haut fourneau était, pour vingt-quatre heures, en fonte d'affinage blanche, sans changement dans les dimensions de l'appareil :

En 1845	16 000 à 18 000 kilogrammes.
— 1845-1854. . .	20 000 à 26 000 —
— 1854-1860. . .	26 000 à 35 000 —
— 1860-1864. . .	35 000 à 40 000 —
— 1864-1868. . .	40 000 à 50 000 —

La production quotidienne en fonte grise de moulage était de 10 000 kilogrammes en 1845 et de 35 000 kilogrammes en 1868.

Les usines belges viennent de passer par une crise violente (1865-1867) due surtout à la hausse du prix de la houille : elles en sont à peine convalescentes. La plupart des fontes que produisent les hauts fourneaux servent à la consommation locale, soit pour l'affinage, soit pour la fonderie : elles ne peuvent être exportées en nature, les frais de transport et les droits de douane leur ferment l'entrée des frontières françaises et allemandes. L'absence de minerais de qualités supérieures empêche, comme nous l'avons déjà dit, les hauts fourneaux belges de fabriquer des fontes aciéreuses ou même des fontes destinées aux affinages fins ; quelques-uns cherchent à remédier à cette absence en important des minerais du Cumberland (Angleterre), du pays de Siegen ou de Mokta-el-Hadid (Algérie).

QUATRIÈME GROUPE.

PAYS-BAS.

Les Pays-Bas ne figuraient pas à l'Exposition parmi les producteurs de fonte. Leur pauvreté minière et métallurgique est connue de tout le monde ; toutefois elle n'est pas aussi complète qu'on le croirait. On trouve dans le Limbourg, à l'est de Maëstricht, un gisement houiller qui se prolonge en Prusse (bassin de la Worm près Aix-la-Chapelle) et qui fournit aux Pays-Bas environ 50 000 tonnes de houille par an. La tourbe est très-abondante dans le royaume.

Dans les provinces du centre des Pays-Bas on trouve des

gisements de minerais de fer limoneux. Il y en a en exploitation à Raalte, Dieperveen, Bathmen, Vorden, Heugels, etc.; ces minerais rendent 30 à 40 pour 100 de fer. Il y a quatre hauts fourneaux, dont trois dans la Gueldre (Ueft, Hulmelo, Wisch) et un dans la province d'Over-Yssel (Deventer), qui produisent annuellement 4 000 tonnes de fonte environ. On les traite avec du charbon de bois de bouleau (160 à 200 kilogrammes pour 100 de fonte) et des castines de Westphalie (Ahaus).

L'industrie sidérurgique doit dater de loin dans la Gueldre, car on y retrouve de grandes quantités d'anciennes scories qui sont employées comme ballast dans la construction des lignes de chemin de fer ⁽¹⁾.

CINQUIÈME GROUPE.

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG.

Le grand-duché de Luxembourg est un des pays les plus riches du continent en minerais de fer. Ceux qu'on y exploite sont surtout de trois espèces : les minerais d'alluvion, les minerais oolithiques, dits *minettes*, et les minerais en roche, dits *de Garnich*.

Les gisements de *minerais d'alluvion* occupent une grande partie des territoires des cantons de Cappellen, d'Esch-sur-Alzette, de Luxembourg, de Mersch et de Remich. On peut évaluer à plus de 50 millions de tonnes les quantités exportées. Le rendement de ces minerais est de 35 à 42 pour 100, et leur prix de vente en 1866 était de 5 fr. 50 à 6 francs la tonne rendue sur wagon. On en lave les deux tiers ou les quatre cinquièmes pour les séparer de l'argile jaunâtre qui leur est mêlée; le restant est en conglomérats. Le minerai d'Athus est un des plus estimés; son analyse donne :

Peroxyde de fer.	62,50
Silice.	19,25
<i>A reporter.</i> . .	81,75

(1) Voir le *Moniteur des intérêts matériels* du 23 juin 1867.

<i>Report.</i>	81,75
Alumine	8,50
Eau.	10,75
	<hr/>
	100,00

A Sterpenich on exploite des minerais en grains, manganesifères ne contenant que 35 pour 100 de fer.

Les gisements de *minettes* occupent, dans les communes d'Esch-sur-Alzette, Pettange, Differdange, Kayl et Dudelange, une superficie d'environ 4 000 hectares, et constituent des couches horizontales superposées de 1 à 3 mètres et demi de puissance. On évalue que 1 hectare de superficie donne en moyenne 70 000 à 100 000 tonnes de minerais. Le grand-duché renfermerait donc près de 300 millions de tonnes de cette espèce de minerais. Leur rendement est de 30 à 35 pour 100, et leur prix de 2 fr. 20 à 3 francs la tonne rendue sur wagon; ces minerais ont le grand avantage d'être à gangue calcaire et très-fusibles; dans le grand-duché, à Sarrebruck et en Belgique, on les ajoute même comme fondants aux autres minerais. Dans les environs d'Esch-sur-Alzette on distingue dans le gisement deux couches bien distinctes : une couche grise ou verdâtre et une couche rouge-brique qui lui est superposée. La minette grise est généralement moins riche que la minette rouge (15 à 32 pour 100 au lieu de 20 à 40 pour 100); on sépare cette dernière en trois qualités se distinguant par leur densité. La première qualité a pour densité 3,00, la seconde 2,90, la troisième 2,70.

Voici l'analyse d'une minette rouge, première qualité, d'Esch-sur-Alzette :

Peroxyde de fer.	53,25	d'où fer. . . .	37,27
Silice	3,25		
Alumine	2,00		
Chaux.	8,25		
Acide carbonique.	10,50		
Gypse.	1,75		
Eau.	15,00		
	<hr/>		
	100,00		

Les gisements des *minerais de Garnich* s'étendent dans les cantons de Cappellen et d'Esch-sur-Alzette. Ils constituent une couche horizontale, non encore bien explorée, de 2 mètres et demi à 3 mètres de hauteur; leur fusibilité est extrême, mais leur rendement ne dépasse pas 30 pour 100. Leur prix aux lieux d'extraction est de 80 centimes à 1 fr. 25. On en transporte aujourd'hui par charrettes jusqu'aux gares de Mamer et de Bettingen pour la Belgique. Les quantités à exploiter sont indéterminées, mais peuvent se compter par millions de tonnes.

Les gisements de ces trois espèces de minerais se prolongent au delà des frontières grand-ducales, en France et en Belgique, mais nulle part ils ne sont mieux situés que dans le Luxembourg pour approvisionner les districts houillers et métallurgiques qui les entourent. Un seul coup d'œil jeté sur la carte suffira pour s'en convaincre.

Ces districts sont, sans compter le grand-duché lui-même, le groupe français de la Moselle (environs de Longwy), le bassin de Charleroi et celui de Liège, le bassin houiller de l'Inde près d'Aix-la-Chapelle, le bassin de la Ruhr. Disons quelques mots de chacun d'eux.

Le *district de Longwy* touche aux frontières du Luxembourg. Son développement ne date que de quelques années; il est dû à la construction du chemin de fer des Ardennes et du Grand-Luxembourg. Les usines sont établies sur le gisement même des minettes et ne tirent du dehors que des combustibles. Elles expédient en retour des minerais. Il comprenait en 1866, sur un espace restreint, vingt hauts fourneaux, dont treize de grande dimension. Leur production pourra atteindre 150 000 tonnes de fonte par an, ce qui nécessite un approvisionnement de 220 000 à 230 000 tonnes de coke. Ce combustible arrive de Charleroi et de Liège; il pourrait venir aussi de Sarrebruck, d'Aix-la-Chapelle et même de la Ruhr.

Le *bassin de Sarrebruck*, comme nous l'avons déjà dit, manque presque complètement de minerais et tire la majeure partie de ses approvisionnements du Luxembourg (au

moins 230 000 tonnes sur 300 000 tonnes). Les transports se font actuellement soit par Wasserbillig et Longwy, à l'ouest, soit par Thionville et Metz, à l'est. La distance de Bettembourg, que nous prendrons comme point de départ commun, à Sarrebruck est de 135 kilomètres par Longwy, et de 129 par Metz. Le chemin de fer direct de Thionville à Cocheren raccourcira la distance à 106 kilomètres.

Le *bassin de Charleroi* reçoit, soit par le Grand-Luxembourg, soit par la ligne des Ardennes, d'après la chambre de commerce de Luxembourg, près de 700 000 tonnes de minettes par an.

Le *bassin de Liège*, relié aux minières du Luxembourg par la ligne de l'Ourthe (Liège à Marche) et par la ligne du Guillaume-Luxembourg, s'embranchant à Ettelbrück vers Spa, ne tire pas encore beaucoup de minerais du grand-duché. La distance de Liège à Luxembourg est de 175 kilomètres par le Grand-Luxembourg et de 173 kilomètres par le Guillaume-Luxembourg. Au tarif de 3 centimes et demi, le transport d'une tonne de coke est de 6 francs environ, et le coût du coke rendu à Luxembourg est environ de 26 francs; le minerai de fer ne coûtant que 2 fr. 50 à 3 francs et rendant 35 pour 100, on se rend aisément compte des conditions de fabrication de la fonte.

Les usines prussiennes du bassin de l'Inde et de celui de la Ruhr peuvent aussi recourir aux minerais du Luxembourg. Du centre du grand-duché à Aix-la-Chapelle il y a 165 kilomètres, à Dusseldorf 250 kilomètres et à Ruhrort 280 kilomètres. En admettant le *Pfenningtarif* prussien (2,66 centimes par tonne-kilomètre), on voit que la tonne de minerai de Pettange coûtera de transport 4 fr. 50 à Aix-la-Chapelle, 6 fr. 75 à Dusseldorf et 7 fr. 50 à Ruhrort.

Ces détails montrent l'importance que possèdent, au point de vue métallurgique, les gisements ferrifères du grand-duché de Luxembourg.

Usines à fonte.

Le grand-duché est naturellement appelé un des premiers à profiter des immenses richesses minières de son sol. On y

compte (1866) 15 hauts fourneaux en activité, 3 en construction et 10 en non-activité. Ils sont groupés surtout autour de Luxembourg et le long de l'Attert et de la Sure. Parmi les 18 hauts fourneaux actuels, il n'y en a encore que 6 de grande dimension, pouvant donner 30 à 40 tonnes de fonte par jour. Les 12 autres sont d'anciens hauts fourneaux au bois, agrandis pour marcher au coke, et ne produisant que 10 tonnes en moyenne par jour. Leur production totalisée est d'environ 100 000 tonnes par an, et l'adjonction de quelques grands hauts fourneaux projetés l'a probablement fait monter au delà. Ces usines ne paraissent pas, du reste, destinées à la production des fers : le grand-duché, admirablement placé pour produire la fonte à bon marché, ne serait pas tout à fait dans la même situation pour la production du fer, qui exige de grands tonnages de houille.

Voici les noms des principales usines à fonte :

NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Hollerich, près Luxembourg.	MM. Servais et C ^e	3 au coke.
Eich.	MM. Metz frères.	2 —
Dommeldange.	Id	2 —
La Sauvage, à Differdange.	MM. Giraud et C ^e	2 —
Steinfort.	M. Pescatore	1 —
Colmar-Berg.	Le roi des Pays-Bas	1 —

La production de fonte en 1865 n'a été que 54 624 tonnes ; elle atteint maintenant 100 000 tonnes. Voici quelques détails sur l'usine de Dommeldange, pour donner une idée des hauts fourneaux luxembourgeois.

Usine de Dommeldange.

Cette usine n'emploie que des minerais du grand-duché, savoir des minettes d'Esch-sur-Alzette, qui ne coûtent guère que 3 fr. 75 la tonne à l'usine, et des minerais d'alluvion qui sont plus chers. Les cokes, qui viennent de Charleroi ou de Liège, au besoin de Sarrebrück, renferment de 7 et demi à 11 pour 100 de cendres. La castine est un calcaire bleu de Rummelange.

La soufflerie comprend deux machines verticales à action directe, type de Seraing, d'une force de 80 chevaux chacune

environ, installées dans deux bâtiments distincts. Il y a quatre appareils à air chaud, comprenant chacun six rangées de six tuyaux plats cloisonnés; ils chauffent l'air de 150 à 200 degrés. L'élévation des charges se fait par deux monte-charges à vapeur, de 10 chevaux chacun. L'usine est établie sur un plan complètement symétrique.

Les hauts fourneaux, au nombre de deux, en plaine, à tour octogonale en briques avec les angles en pierre de taille, ont 14^m,50 de hauteur totale. La chemise est en briques; le creuset et l'ouvrage en pierre poudingue d'Huy. Le gueulard a 3 mètres de diamètre, le ventre a 4^m,50, et le creuset devant les tuyères 90 centimètres. Le ventre est à 5^m,50 au-dessus de la sole. Chaque fourneau est à gueulard ouvert, muni d'une prise de gaz en trémie cylindrique; on souffle par trois tuyères avec du vent à moyenne pression chauffé à 150 ou 200 degrés. Les charges sont d'environ 650 kilogrammes de coke et 1900 kilogrammes de minerais. La production journalière est de 40 à 45 tonnes de fonte blanche d'affinage.

CHAPITRE IX. — ITALIE.

Il n'était point aisé de tirer profit de l'exposition minéralurgique italienne; les spécimens de minerais, fontes, fers, etc., n'étaient pas accompagnés d'étiquettes et de renseignements suffisants. La classe 40 présentait, pour ce qui concerne le fer, une grande difficulté à l'étude, d'autant plus que le catalogue spécial italien n'a paru qu'à une époque avancée de l'exposition. Toutefois la beauté de certains échantillons attirait le visiteur devant les tablettes surchargées de la salle voisine de la grande galerie et de l'un des vestibules d'entrée. L'Italie est en effet fort riche en mines métalliques de diverses natures, en mines de fer notamment; et si sa production de fer n'a pas joué jusqu'à présent un plus grand rôle en Europe, il faut l'attribuer en même temps aux circonstances politiques du pays et à l'absence d'exploitations houillères.

Pour étudier l'industrie du fer dans ce pays, nous diviserons ses usines en cinq groupes :

- 1° Le groupe de *Lombardie* ;
- 2° Le groupe de *Piémont* ;
- 3° Le groupe de *Toscane* ;
- 4° Le groupe des *États romains* ;
- 5° Le groupe des *Deux-Siciles*.

PREMIER GROUPE.

LOMBARDIE.

D'après *l'Italie économique*, « en Lombardie, l'art de travailler le fer remonte à des temps fort éloignés. La tradition et les recherches faites par les archéologues semblent faire remonter l'extraction du fer du sein des monts Pezzaze, Bovegno et Lollio, dans la vallée Trompia, à une époque antérieure au cinquième siècle ; il est probable que cette industrie et celle des armes coïncidèrent. Le premier document constatant l'existence de ces mines est tiré de l'*Historiole* de Rodolfo, notaire, qui raconte qu'en l'an 811 les habitants des vallées se révoltèrent pour avoir été condamnés aux travaux des mines par le comte Suppone, de Brescia, qu'ils tuèrent ainsi que son fils. » Tout le monde connaît la réputation qu'avaient au temps de la chevalerie les armes offensives et défensives forgées à Brescia.

Les vallées lombardes, comprises entre les lacs de Côme et de Garde, sont encore maintenant le principal siège de la sidérurgie en Italie. On y exploite des fers spathiques, des hématites hydratées et du fer magnétique.

Le carbonate de fer spathique s'y rencontre dans trois natures de gisements : 1° en couches en contact avec les grès rouges du trias ; il est alors peu manganésé ; 2° en couches dans les schistes argileux et superposé au même grès rouge ; il est plus manganésifère ; 3° en filons à gangue quartzreuse, encaissés dans les quartzites micacés de l'époque carbonifère. Le carbonate de fer est plus ou moins décomposé ; quelquefois il est tout à fait passé à l'état de mine douce.

On l'exploite dans le val Sanina (province de Côme), dans les vaux Seriana et Scalve (province de Bergame), dans les vaux Camonica et Trompia (province de Brescia) et dans la Valtellina. On voyait à l'Exposition le fer spathique cristallin blanc de Venina, celui amorphe de Pisogne, de Gromo, le spathique blanc de Valle, le spathique gris d'Aloisio, ceux de Clusone, de Premana, de Dongo. Voici les analyses de deux de ces minerais :

Pisogne (Lago d'Iseo). San-Aloisio (Val Trompia).		
Carbonate de fer.	78,80	89,20
Carbonate de manganèse.	8,70	4,91
Carbonate de chaux.	»	0,80
Alumine	»	traces.
Gangues insolubles (silice et sulfate de baryte)	5,50	1,30
Traces de magnésie, chaux, eau et perte.	7,00	3,79
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Les hématites hydratées s'exploitent autour de Pedenolletto, dans la Valtellina ; elles ne valent pas les mines douces résultant de la décomposition des fers spathiques. A Zebrù, également dans la Valtellina, on exploite du minerai magnétique (*ossidulato*).

Tous ces minerais sont généralement grillés sur les mines mêmes avec du bois ou du poussier de charbon de bois, avant d'être transportés aux usines. Leur prix pour la tonne rendue aux usines varie depuis 10 jusqu'à 25 francs, et même quelquefois plus.

Tous les hauts fourneaux de Lombardie emploient le charbon de bois comme combustible. Voici la liste de la majeure partie d'entre eux qui figuraient à l'Exposition.

VALLÉES.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires	NOMBRE de hauts fourneaux.
Valtellina....	Premadio.	MM. Cornelian et C ^e .	1
Lac de Côme.	Dongo.	MM. Rubini et Scalini.	1
Val Seriana...	Bondione.	M. Gregorini	1
Val di Scalve.	Schilpario.	M. Mai.	1
Lago d'Iseo...	Govenio (Pisogne).	M. Damoli	1

VALLÉES.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Val Camonica.	Allione.	M. Gregorini	1
—	Cerveno.	—	1
Val Trompia.	Pezzaze.	—	1
—	Bovegno.	—	1
—	Collio.	—	1
Val Caffaro.	Bagolino.	—	1

La planche XXIII, fig. 7, indique le type ordinaire sur lequel sont construits presque tous les fourneaux de Lombardie; leur volume intérieur varie de 12 à 14 mètres cubes. Ils sont à une seule tuyère, placée ordinairement sur la poitrine du fourneau, et l'air est chauffé à 150 ou 200 degrés dans des appareils placés sur la plate-forme du gueulard. A une seule exception près, ils sont tous soufflés par des trompes, au nombre de deux ou trois par haut fourneau; la hauteur de chute varie de 5 à 8 mètres; le volume d'eau est de 50 litres par seconde, et l'on obtient une pression de 60 à 70 centimètres d'eau; la quantité d'air introduite par minute est environ de 12 mètres cubes. A Dongo seulement il existe des caisses à piston en bois.

On marche avec des charges de charbon de bois de 100 à 120 kilogrammes, et la production journalière varie de 3 000 à 4 800 kilogrammes. Plusieurs de ces fourneaux ne fonctionnent que six mois par an.

Le fourneau de Premadio avait exposé des fontes grises fabriquées avec des mélanges de ses divers minerais; celui d'Allione, des fontes blanches, truitées et lamelleuses, et des fontes à canons; celui de Dongo, des fontes blanches et grises. M. Damioli, de Pisogne, exposait d'assez beaux spiegeleisen; M. Glisenti, de Brescia, des fontes lamelleuses. Toutes ces fontes, manganésées pour la plupart, sont appropriées à la fabrication de fers et d'aciers de qualité supérieure. Celle, grise, du fourneau d'Allione a une ténacité qui la fait rechercher par l'arsenal de Turin pour la fabrication des canons.

Voici le procès-verbal d'essais exécutés sur un canon système français, calibre de 8 long :

20 coups avec charge égale à $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, 1 valet, 1 boulet, 1 valet ;

20 coups avec charge de $\frac{1}{2}$, 1 valet, 1 cylindre du poids de 2 boulets, 1 valet ;

10 coups avec charge de $\frac{1}{2}$, 1 valet, 1 cylindre du poids de 3 boulets, 1 valet ;

5 coups avec charge égale au poids du boulet, 1 valet, 2 cylindres du poids de 3 boulets séparés par un disque en bois, 1 valet.

On a continué avec la charge double du poids du boulet, et 1 valet, 4 cylindres (3 boulets chacun), 1 boulet, 1 valet, jusqu'à éclatement.

Les canons ont éclaté les uns à 56 coups, les autres à 66 coups, d'autres dans l'intervalle.

La fonte de M. Glisenti a servi avec succès à faire des boulets destinés à percer les blindages.

Le prix de revient des fontes varie depuis 101 francs (fonte blanche de Schilpario) jusqu'à 187 francs (fonte grise de Donge). La fonte à canon d'Allione coûte 146 francs la tonne de fabrication. La consommation de charbon de bois par tonne de fonte varie de 800 à 1280 kilogrammes ; la moyenne est de 955 kilogrammes environ.

Il y avait en 1865 dix-neuf mines de fer en Lombardie ayant fourni 24317 tonnes de minerai, et environ douze hauts fourneaux ayant produit 12 055 tonnes de fonte.

DEUXIÈME GROUPE.

PIÉMONT.

« Les mines de la vallée d'Aoste datent de l'époque romaine ; on peut dire qu'elles ont été exploitées sans interruption pour le compte et au bénéfice de ces montagnards, en vertu des privilèges qui leur furent accordés au treizième siècle par lettres patentes des ducs de Savoie, et qui de siècle en siècle ont passé à leurs successeurs. »

Ces mines fournissent surtout du fer magnétique ; on connaît le célèbre gîte de Traversella qui fournit du fer oxydulé

magnétique cristallin (richesse, 40 à 50 pour 100 de fer); on en trouve encore à Albard, à Chambave. Le gisement le plus abondant est dans la commune de Cogne. On voyait à l'Exposition des minerais de Traversella exposés par M. Riccardi, et des minerais de Cogne exposés par la commune et par M. Lasagno. La gangue de ces minerais est toujours magnésienne. On trouve aussi du fer spathique à Monte Lessinga (36 pour 100 de fer). Il n'y a pas dans d'autres parties du Piémont de mines de fer exploitées.

Les hauts fourneaux, autrefois au nombre de 9 (1863) sont maintenant plus réduits en nombre. Voici les principaux :

LOCALITÉS.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Vallée basse.	Bard.	M. le marquis Sambuy.	1
Vallée moyenne.	Cuamcran.	M. Favre et Dorsey.	1
—	Nusi.	M ^{me} M. Gervasoni.	1
Vallée haute.	Emavilla.	Id.	1
—	Villanova.	Id.	1

M^{me} Gervasoni seule avait exposé des produits de ses usines.

Les minerais oxydés à gangue serpentineuse du val d'Aoste sont durs, compactes, difficiles à réduire : aussi faut-il les soumettre à une préparation particulière. On les grille d'abord dans des fours à cuve avec des déchets de charbon de bois, puis on les casse au marteau à queue, et on les soumet à une macération prolongée à l'air humide, qui les rend plus poreux et plus faciles à réduire. Après la macération, on les lave encore sur une table dormante pour séparer les parties trop pauvres. Après cette préparation, les minerais de Traversella rendent 40 à 45 pour 100 de fer, et ceux de Cogne 48 à 50 pour 100.

Les hauts fourneaux ont un profil plus ou moins analogue à celui d'Emavilla, dont je donne le dessin pl. XXIII, fig. 8. Le combustible est toujours le charbon de bois employé en charges de 100 ou 125 kilogrammes. Le soufflage se fait au moyen de caisses carrées en bois.

A Emavilla la charge de charbon est de 125 kilogrammes :

celle de minerais, scories, bocages, de 240 kilogrammes environ, rendant 47 à 48 pour 100 de fer. La consommation de charbon est de 116 pour 100 de fonte ; la production annuelle peut atteindre 1 200 tonnes environ ; le prix de revient est de 173 francs la tonne sans tenir compte de la valeur des scories. La fonte est grise, chaude, et sert aussi bien pour le moulage que pour l'affinage au feu comtois.

Dans ces hauts fourneaux piémontais on recueille les gaz des gueulards, non-seulement pour chauffer le vent, mais encore pour servir à l'affinage de la fonte dans des fours à puddler.

Les usines du val d'Aoste sont dans un état peu prospère actuellement : en 1865 elles n'ont produit que 900 tonnes de fonte.

TROISIÈME GROUPE.

TOSCANE.

Ce groupe est surtout formé par les mines et fonderies royales de fer. En dehors de ces établissements on trouve bien quelques gisements de minerai de fer, comme celui d'hématite brune de Monte Valerio (sur la côte de la Maremme, entre Piombino et Livourne), et quelques hauts fourneaux, comme celui de Pescia au sud de Piombino, et celui de Ferrière dans l'ancien duché de Plaisance ; mais leur importance est beaucoup moindre.

Minerais de l'île d'Elbe.

Les mines royales de l'île d'Elbe sont fort anciennes ; leur exploitation remonte aux Etrusques, qui tiraient, en creusant des grottes souterraines, le minerai qu'ils envoyaient fondre à Populonia, la cité métallurgique de l'Etrurie. L'île d'Elbe présente divers massifs de montagnes. Sa partie occidentale est occupée par le massif dépendant du *monte Capane*, et n'offre ou plutôt n'a offert jusqu'à présent aucune trace de gîtes métallifères. Sa partie orientale au contraire, qui regarde l'Italie, parcourue du nord au sud par une arête

montagneuse où se détachent les *monte Capanello*, *Scrato* et *Calamita*, présente de nombreux gîtes métallifères dont les seuls exploités sont les riches mines de fer que tout le monde connaît de nom. Il y a actuellement cinq mines ou champs d'exploitation distincts qui expédient aux hauts fourneaux de Toscane et de l'étranger d'assez nombreuses variétés de minerais de fer. Depuis 1589 il n'y a plus d'usine à fer dans l'île même, et les forêts qui fournissaient anciennement le combustible nécessaire ont disparu presque totalement.

Les cinq mines sont, allant du nord au sud : celles de *Rio Albano*, de *Vigneria*, de *Rio la Marina*, exploitées par les habitants de Rio ; celle de *Terranera*, exploitée par les habitants de Porto Longone, et celle de *Calamita*, exploitée par les gens de Capoliveri. Les gîtes attaqués sont tous de nature éruptive et compris dans les roches sédimentaires métamorphiques au contact des massifs d'éruption serpentineux et talqueux qui forment le noyau des montagnes de l'île.

Le plus célèbre de ces gîtes est celui exploité dans le *val di Rio*, entre la petite ville de Rio et la mer ; il se compose en majeure partie de fer oligiste, quoiqu'on y trouve des parties hydratées et même des parties magnétiques. Les gangues sont quartzеuses dans les schistes quartzеux, et amphiboliques dans les couches calcaires métamorphiques. L'exploitation est très-ancienne à Rio ; on retrouve sur les flancs du *monte Giove* les traces de travaux remontant à la domination romaine, alors que florissait la grande ville de Populonia. Elle se fait en majeure partie à ciel ouvert et par gradins. Le minerai est extrait en morceaux de diverses grosseurs, analogues à ce qu'on appelle le *tout-venant* dans les houillères. Jusqu'à l'année 1860 on n'utilisait et on ne vendait que le minerai en roche (*grosso*) ; les menus étaient jetés au remblai, et ont formé des masses considérables. Depuis 1860, et sous l'inspiration de M. Ponsard, ingénieur français qui dirigeait alors l'usine de Follonica, on s'occupe de reprendre à nouveau ces masses de remblais menus pour les vendre telles quelles (*gettati bruti*) ou pour les laver à la machine. Quelques-unes de ces masses ont été assez bien

lavées par les torrents de la montagne et on les fournit sous le nom de *gettati d'alluvioni*.

Le minerai oligiste de Rio se présente sous deux formes différentes : 1° en masses cristallisées, sous forme de lamelles ou tables hexagonales enchevêtrées présentant la structure dite en *crête de coq*, brillant d'un vif éclat métallique, quelquefois irisées et offrant souvent des variétés de structure et de cristallisation fort remarquables ; 2° en masses micacées, à grain plus ou moins fin, dont le toucher détache des paillettes fines, brillant au soleil de l'éclat métallique. La richesse en fer du minerai oligiste ordinaire (*andante*) de Rio varie entre 60 et 69 pour 100, et entre 50 et 60 pour 100 pour le minerai pauvre (*marmigno*).

Les minerais de Rio Albano et de Vigneria sont aussi oligistes, mais moins cristallins que ceux de Rio ; ils renferment aussi plus de parties hydratées. Nous en dirons autant de celui de Terranera, presque épuisé maintenant. A Calamita le fer magnétique domine, quoiqu'on le livre mélangé avec de fortes proportions de minerai hydraté ; la richesse moyenne est un peu moins grande, et de 55 à 60 pour 100 seulement.

Tous les minerais de l'île d'Elbe sont encore exploités et embarqués par des méthodes anciennes et coûteuses ; aussi le prix pour la tonne rendue à bord des navires chargeurs est-il assez élevé, 8 à 10 francs pour les minerais en roche et 6 à 8 francs pour les jetés. Depuis deux ou trois ans l'extraction va plutôt en diminuant, par suite de la concurrence faite par les gisements algériens : elle n'a pas dépassé 100 000 tonnes par an dans les meilleures années, tandis que celle de Mokta-el-Hadid en peu de temps a atteint 200 000 tonnes. Si une fois on a, à Florence et à l'île d'Elbe, le courage de rompre les entraves de la routine pour donner une bonne direction à l'exploitation, avec des facilités de transport à la mer et d'embarquement, les mines pourront acquérir une activité jusqu'ici inconnue.

Voici la composition de quelques minerais de l'île d'Elbe, d'après le professeur Bechi, chimiste des établissements royaux :

	Oligiste de Rio.	Gellati bruti.	Magnétique de Calamita.
Peroxyde de fer.	84,05	80,00	69,66
Protoxyde	1,78	1,25	29,11
Silice.	6,63	4,19	0,80
Alumine	5,22	9,36	
Magnésie	0,84	1,87	»
Oxyde de titane.	traces.		
Eau et pertes	1,48	3,32	0,43
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00
Fonte par la voie sèche	60,33 %	54,85 %	70,85 %

Ces minerais ne renferment que des traces insignifiantes de manganèse, et des traces de soufre, mais point de phosphore.

Usines royales de Toscane.

Ces usines sont au nombre de trois :

Follonica	avec 4 hauts fourneaux au bois.	
Cecina	— 1	—
Valpiana	— 1	—

Elles consomment seulement le minerai de l'île d'Elbe, que l'on grille préalablement au moyen de déchets de charbon de bois, dans des fours à cuve circulaires, hauts de 3^m,60. Le combustible est le charbon de bois dur, généralement de chêne vert, fabriqué sur la côte toscane.

Nous donnons pl. XXIII, fig. 6, le profil d'un des fourneaux de Follonica ; le numéro 4, construit avec un gueulard et un ouvrage plus larges, n'a pas réussi. Au lieu de produire 25 tonnes de fonte par jour, il n'a produit que 16 tonnes. Les fourneaux ordinaires de Follonica et de Cecina produisent 13 à 14 tonnes en vingt-quatre heures, malgré leurs petites dimensions. Ils sont à poitrine fermée et soufflés par une seule tuyère inclinée placée sur la rastine ; la pression du vent est 9 et demi à 10 centimètres de mercure, sa température est 250 à 270 degrés. Chaque charge se compose de 70 à 80 kilogrammes de charbon, 150 à 155 kilogrammes de minerai grillé et 15 kilogrammes de castine ; on en fait plus de cent cinquante en vingt-quatre heures. Le rende-

ment du minerai est 58 pour 100, et la consommation de charbon est 1 150 à 1 250 kilogrammes par tonne de fonte grise.

Depuis cinq ou six années, et depuis la direction de M. Ponsard, on mélange dans les charges au minerai de l'île d'Elbe un minerai de manganèse provenant de la Spezzia et renfermant 40 pour 100 de manganèse. On en mélange 40 pour 100 pour la fonte blanche lamelleuse, 6 à 8 pour 100 pour la fonte grise fine, et 3 à 5 pour 100 seulement pour la fonte ordinaire de moulage.

En 1867 deux hauts fourneaux seulement étaient en feu; les fondages ne durent guère que sept à huit mois par an, à cause de la fièvre des Maremmes. Il y a deux machines soufflantes : l'une ancienne, à clapets; l'autre aussi horizontale, mais à tiroir cylindrique, semblable à celle de Ria. Les appareils à air chaud sont de trois espèces : 1° à tuyaux horizontaux placés au gueulard; 2° du système Calder; 3° à tubes concentriques. L'un des monte-charges est à balance d'eau; les autres sont à pression hydraulique.

Voici, d'après M. Bechi, l'analyse de deux fontes de Follonica :

	Grise.	Blanche manganésée.
Fer.	94,529	91,166
Carbone combiné. .	1,623	3,917
Graphite.	2,444	»
Manganèse.	traces.	4,275
Silicium.	1,377	0,462
Soufre.	0,025	»
Magnésium	traces.	»
Azote.	»	0,180
	<hr/> 100,000	<hr/> 100,000

Le charbon de bois coûte 50 francs la tonne à Follonica : on espère arriver à l'obtenir pour 45 francs. On a essayé sans succès l'emploi du coke : la fonte se vendait mal.

La fonte ordinaire fabriquée dans les établissements royaux coûte 100 francs la tonne environ.

Les usines du groupe n'ont produit en 1865 que 10 136 tonnes de fonte.

J'ai déjà parlé, à propos de la France, des minerais que MM. Petin et Gaudet exploitent dans l'île de Sardaigne.

QUATRIÈME GROUPE.

ÉTATS ROMAINS.

Il n'existe qu'une seule usine à fonte, avec un haut fourneau au charbon de bois, dans les États du pape, c'est celle de *la Tolfa*, près Civita-Vecchia, appartenant à la Société romaine des mines et usines de fer. Elle exploite la mine de Pianceraso, qui lui fournit un minerai hydraté assez riche, dans les terrains trachytiques. Son haut fourneau, soufflé au vent chaud, fournit 4 000 à 5 000 kilogrammes par jour de fonte grise; on y mélange, avec du minerai de Pianceraso, du minerai de l'île d'Elbe. On fabrique à la Tolfa des moulages dont divers spécimens étaient exposés.

La même Société possédait dans l'Ombrie la mine de Guardo-Tadino et le haut fourneau de Terni; mais nous ignorons si ces établissements, situés maintenant hors du territoire papal, sont encore en activité.

CINQUIÈME GROUPE.

DEUX-SICILES.

Les mines et usines de fer napolitaines n'étaient pas représentées à l'Exposition; elles appartiennent toutes au gouvernement. Les usines sont au nombre de trois seulement.

L'*usine d'Atina*, dans la Terre de Labour, éteinte pour le moment, a été projetée pour trois hauts fourneaux. Un seul est achevé: il est construit sur colonnes de fonte et a 11^m,54 de hauteur avec 2^m,25 de diamètre au ventre. La soufflerie se compose de deux cylindres commandés par une turbine de 80 chevaux; le fourneau a deux tuyères. L'usine est alimentée par les minerais de San Donato et de Monte Campoli, qui sont tous deux des fers hydratés un peu manganésifères, le premier calcaire et le second siliceux; on les mélangeait de façon à avoir un lit de fusion à 40 pour 100 de fer environ.

Le roulement de cette usine a été assez malheureux; le haut fourneau, quoique bien placé et bien construit, n'a donné aucun bon résultat. Il est maintenant éteint.

Les deux autres usines à fonte royales sont dans les Calabres; ce sont celles de *Mongiana*, avec trois hauts fourneaux, et de *Ferdinandeia*, avec un haut fourneau. Elles sont très-anciennes. « Les mines de *Temsa* ou *Temesa*, que Strabon désigne comme appartenant au pays des *Bruzzi*, étaient renommées. Homère, Ovide, Stace, Cicéron font mention des mines de *Temesa*, qui furent exploitées durant plusieurs siècles. Au moyen âge, Alaric y envoya *Bergantino* comme *cartario*, et à ce sujet le messager du roi des Goths s'exprime ainsi : « Puisque le sol des *Bruzzi* est fertile en produits, *decet ut inter tanta bona, nec illa desint quæ putantur esse præcipua.* » Un diplôme de 1094 donna au célèbre monastère de *Santo Stefano del Bosco* le droit d'extraire le fer que l'on tirait alors des montagnes de *Pezzano*, où se trouvent effectivement les mines de fer de Calabre. Sous le règne des premiers rois normands, les *bajuli* étaient chargés de faire recueillir ce minerai, en sorte que du temps des Angevins plusieurs mines de fer furent déclarées, les unes propriété du gouvernement et les autres propriété des nobles et du clergé. Durant la domination espagnole, ces mines chômèrent; mais elles reprirent leur activité sous la protection de Napoléon I^{er}, qui ordonna d'agrandir l'établissement de *Mongiana* et de *Ferdinandeia*, d'où sortaient des fers bruts employés en partie pour les besoins de l'armée et en partie expédiés en France (1). »

Ces deux usines sont exclusivement approvisionnées par la mine de *Pazzano*, située à 20 kilomètres de *Mongiana* et à 13 kilomètres de *Ferdinandeia*; tous les transports se font à dos de mulet, la route n'étant pas achevée. Le minerai est un oxyde hydraté légèrement manganésifère, à gangue siliceuse, rendant au haut fourneau de 42 à 50 pour 100 et

(1) Extrait de l'*Italie économique* en 1867.

coûtant 23 fr. 40 la tonne à Mongiana, et 16 fr. 50 la tonne à Ferdinanda. On le grille aux usines en tas, à l'air libre.

Le haut fourneau de Ferdinanda (San Antonio) et le plus ancien de Mongiana (Santa Barbara) sont à masse pyramidale; la hauteur totale est de 11 mètres, et le diamètre au ventre est de 3^m,23. Les deux nouveaux fourneaux de Mongiana (autrefois San Ferdinando et San Francesco, maintenant Cavour et Garibaldi) sont du type appelé en Italie *type Thomas et Laurens*, c'est-à-dire à tour ronde supportée par une rangée circulaire de colonnes; ils ont la même hauteur (11 mètres), et le ventre un peu plus étroit (2^m,80) que les précédents.

La soufflerie se compose, à Ferdinanda, d'une trompe hydraulique à huit arbres en fonte. A Mongiana, on a aussi des trompes avec trente-deux arbres en fonte. Mais le manque d'eau pour ces souffleries primitives empêche de marcher toute l'année. Aussi on a monté dans la dernière usine une soufflante à vapeur verticale, chauffée au moyen des gaz des hauts fourneaux. On ne chauffe pas le vent. On travaille toujours en fonte grise plus ou moins foncée; les fourneaux produisent chacun 4 500 kilogrammes en moyenne par vingt-quatre heures; la consommation de charbon par tonne de fonte est très-forte : 1 600 à 1 700 kilogrammes à Mongiana et 1 450 à 1 640 kilogrammes à Ferdinanda. On emploie la fonte tant pour la deuxième fusion et le moulage que pour la fabrication du fer; les usines de Mongiana sont très-importantes et comprennent des fabriques d'armes dirigées autrefois par les officiers d'artillerie napolitains.

Outre la mine de Pazzano, il existe dans les Calabres d'autres gisements de fer. Près d'Aspromonte, entre autres, on a fait des travaux de recherche sur un gisement de fer oxydulé. Depuis quelques années, l'attention de quelques industriels s'est aussi portée sur des gisements de sables ferrugineux (20 pour 100 de fer environ) titanifères qui existent sur les plages des golfes de Naples et de Salerne. Si on pouvait les concentrer facilement et économiquement, ces sables auraient une certaine importance pour l'industrie, mais on

n'y est pas encore arrivé pratiquement pour des quantités autres que des échantillons. Voici l'analyse d'un de ces échantillons, comme il en figurait à l'Exposition :

Eau et acide carbonique.	0,25
Peroxyde de fer.	36,95
Protoxyde de fer.	13,62
Manganèse.	traces.
Acide titanique	8,90
Alumine.	3,50
Silice	27,10
Chaux.	7,60
Soufre	néant.
	<hr/>
	97,92
Fer	36,5 %

Ce minerai sablonneux ressemble plus ou moins à celui de Taranaki (Nouvelle-Zélande) et à ceux des côtes de Norwège, employés par quelques usines anglaises.

Les Deux-Siciles n'ont produit en 1865 que 3257 tonnes de minerais de fer et 3716 tonnes de fonte.

RÉSUMÉ.

La production totale de fonte italienne a été très-faible ces dernières années ; d'après *l'Italie économique*, elle n'a été que de 26807 tonnes en 1865, chiffre bien inférieur à la consommation nationale. La quantité de fonte importée annuellement, soit sous forme de gueuses, soit sous celle de moulages, arrive à un chiffre presque égal (24 000 tonnes), sans parler des tonnages considérables de fer brut et travaillé. L'Italie pourrait certainement faire plus, malgré les difficultés que présente en certains lieux l'approvisionnement en charbon de bois, si les droits de douane protégeaient ses usines contre l'importation des produits étrangers. Elle possède beaucoup de bons minerais, mais elle n'en tire pas parti aussi bien qu'elle pourrait le faire. En 1864, 30 hauts fourneaux étaient en feu, aujourd'hui le nombre n'en atteint peut-être pas 20.

CHAPITRE X. — ESPAGNE ET PORTUGAL.

La péninsule ibérique possède des richesses minérales considérables ; les minerais de fer en particulier abondent dans plusieurs de ses provinces, notamment sur le littoral méditerranéen, ainsi que j'ai eu déjà l'occasion de le dire. Les exploitations de la Catalogne, des provinces de Carthagène et de Murcie fournissent d'excellents minerais manganesifères aux usines françaises du Midi. Les mines de la Biscaye et du Guipuscoa envoient aussi des hématites brunes aux hauts fourneaux des Landes et de l'ouest de la France. Mais la sidérurgie indigène est peu avancée, malgré l'incontestable aptitude de l'ouvrier espagnol pour le métier de mineur et de fondeur. Il faut s'en prendre aux causes générales qui paralysent l'industrie en Espagne, comme l'absence de voies de communication suffisantes, les vices de l'administration publique, et aussi l'apathie naturelle à un peuple qui a très-peu de besoins.

On peut en dire à peu près autant du Portugal.

PREMIER GROUPE.

ESPAGNE.

L'Espagne ne possède de hauts fourneaux au coke que dans les Asturies ; les autres usines qu'on rencontre dans les provinces basques, dans celle de Tolède et dans l'Andalousie emploient toutes le charbon de bois. D'après le catalogue spécial de la section espagnole, le nombre total des hauts fourneaux serait de 55, qui ont produit, en 1863, 45 332 tonnes de fonte de fer valant environ 7 millions, soit environ 150 francs la tonne. Nous n'avons pas trouvé de données statistiques plus récentes.

Voici les principales usines à fonte d'Espagne :

PROVINCES.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Asturies-Oviedo.	La Felguera, près Langreo.	MM. Duro et Co.....	3 au coke.
—	Mierès del Camino.	Société des Asturies....	1 —

PROVINCES.	Noms des usines.	Noms des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Asturies-Oviedo.	Trubia.	L'Etat	2 au coke.
Leon.	San Blas, près Saverio.	Une société.....	1 —
Biscaye.	Boluda, près Bilbao.	Une société.....	3 au bois.
—	Baracaldo. —	MM. Ibarra frères et Ce.	2 au coke et au bois.
—	Castrejana.		1 au bois.
Gulpuscoa.	Beasain.	MM. Goitia et Ce.....	1 —
Tolède.	San José.	MM. Fellyplace et Ce....	1 —
Seville.	Pedroso.	Une société.....	2 —
Malaga.	Malaga.	M. Heredia.....	2 —

Minerais.

Le terrain houiller des Asturies renferme de nombreux gîtes ferrifères, qui sont, soit des filons, soit des poches dans le calcaire carbonifère. Les minerais sont des hématites brunes ou rouges, généralement assez pauvres en manganèse et passablement sulfureuses. On en exploite dans les environs d'Oviedo, de Siero, de Mierès, de Langreo. D'après le catalogue ils coûteraient d'extraction (à ciel ouvert) en moyenne 2 fr. 63 les 1 000 kilogrammes, et ils se vendraient 6 fr. 57 la tonne au marché. L'usine de la Felguera avait exposé les minerais qu'elle exploite à Luanco et à Camerana (qui sont des hématites rouges avec une richesse variant de 40 à 55 pour 100), à Aramil, commune de Siero (qui sont des hématites jaunes hydratées rendant 35 pour 100 environ); elle emploie aussi d'autres minerais asturiens, comme ceux de Laviana (brèche d'hématite brune) et de Muno (hématite rouge); ils sont presque tous silicieux et exigent l'emploi de la castine comme fondant; leur prix est de 13 fr. 50 à 14 francs la tonne rendue à l'usine.

Dans la province de Leon on exploite des fers oligistes et des hématites rouges qui sont utilisés surtout dans des forges à la catalane; leur prix varie, d'après le catalogue, depuis 5 fr. 26 jusqu'à 22 fr. 86 les 1 000 kilogrammes pris sur place (Ponferrada, Saverio, la Magdalena).

Dans la Galice on trouve des fers magnétiques et des hématites à peine exploités; dans la Vieille-Castille, des minerais de manganèse (à Rio cavado), des hématites à Huerta de

Abajo (2 fr. 60 à 10 fr. 40 la tonne prise à la mine), à Barbadillo.

En Biscaye, on trouve aux environs de Bilbao les puissants gisements de *Somorrostro* et d'*Ollargau*. A Somorrostro on les exploite depuis des siècles; le minerai se trouve à la surface du sol et s'élève sous la forme d'énormes rochers recouverts d'une petite couche de terre végétale mélangée à de la poudre de peroxyde de fer. Aujourd'hui, grâce à une exploitation désordonnée et sans prévision d'avenir, ces rochers sont perforés en tous sens par des puits inclinés et peu profonds ou par des galeries tortueuses. Au dehors des mines on fait un triage, c'est-à-dire qu'on sépare les gangues, qu'on jette aux remblais considérables qui entourent les exploitations et causeront plus tard des difficultés. Il serait temps qu'il se formât une compagnie pour exploiter rationnellement. Les transports, soit pour les usines, soit pour l'embarquement et l'exportation, sont difficiles et coûteux. A Ollargau on exploite à ciel ouvert et à peu près au hasard. Les minerais de Somorrostro sont des fers oligistes, des fers magnétiques et des hématites brunes, plus ou moins mélangés et de richesse assez variable suivant les exploitations; la gangue est surtout siliceuse; la teneur en fer varie de 50 à 63 pour 100, et celle de manganèse de 0,25 à 1,50 pour 100. Le minerai d'Ollargau est une hématite brune à gangue un peu calcaire; sa richesse en fer est moindre, et on l'emploie en mélange au haut fourneau avec le minerai de Somorrostro que sa richesse et sa fusibilité rendent difficile à traiter pour les maîtres de forge du pays. Le prix de ces minerais varie de 6 à 10 fr. 50 les 1000 kilogrammes, selon la qualité.

Dans la province du Guipuscoa les Pyrénées espagnoles fournissent aussi de magnifiques minerais de fer, hématites brunes, fers spathiques et fers oligistes. Ces derniers sont exploités à San Blas, commune de Cerain, et à Oyarsun. Mais les gisements les plus intéressants sont ceux qui se trouvent dans la commune d'Irun, dans le voisinage de la Bidassoa et qui sont exploités par une compagnie française. Le minerai

de fer remplit des fentes dans un ilot de granit entouré de toutes parts par le terrain de transition; les filons se poursuivent quelquefois dans ce dernier terrain, mais le minerai n'est plus aussi pur que celui du granit. La masse du minerai d'Irun est le fer spathique blanc; certains filons fournissent de l'hématite brune, produit de la décomposition du fer spathique. Le rendement en fonte, déterminé sur des échantillons moyens et par la voie sèche, est de 50 à 56 pour 100 pour les hématites, et 31 à 32 pour 100 pour les fers carbonatés spathiques. La teneur en manganèse est considérable : 4 à 6 pour 100. Ces excellents minerais, qui coûtent, d'après le catalogue, 10 francs la tonne prise sur place, n'ont pas seulement de l'importance pour les usines espagnoles; ils traversent les Pyrénées pour venir alimenter plusieurs de nos usines à fonte françaises, et leur servent pour fabriquer des fontes manganésées de qualité supérieure. Les gisements du Guipuscoa se rattachent à ceux de la Navarre. On exploite à Goizueta du fer spathique qu'on offre à 13 francs les 1 000 kilogrammes.

La Catalogne renferme aussi de nombreux gîtes ferrifères; nous avons déjà parlé de ceux qui sont voisins de la mer, à propos des usines françaises du sud-est; ce sont les plus importants. Sur la côte est de l'Espagne, dans les provinces de Murcie, d'Almeria, de Malaga, on exploite beaucoup de mines de fer fournissant presque toutes des hématites brunes. Dans la commune d'Ogen, province de Malaga, on exploite toutefois du fer magnétique qui est traité dans les usines de Malaga et de Marbella. A Nijar, dans la province d'Almeria, on trouve des sables titanifères et ferrifères au bord de la mer (*polvos de salvadera*). La province de Grenade exposait des fers magnétiques (Sierra de Baza) et des fers spathiques (Lanteria).

En Andalousie on rencontre encore des minerais de fer dans la province de Cordoue, dans les environs du bassin houiller de Belmez et Espiel. MM. Parent, Schaken et C^e exposaient le minerai oligiste à gangue siliceuse (45 à 50 pour 100 de rendement) de leur mine Filipina à Belmez. La société *la Fu-*

sion exposait ses hématites rouges de Villafranca (52 pour 100) et ses carbonates lithoïdes houillers d'Espiél (30 pour 100). Ces minerais ne coûteraient pas, dit-on, plus de 8 fr. 50 la tonne à une usine qui s'établirait à Belmez.

Dans l'Estramadoure quelques mines sont exploitées. Il en est de même dans les montagnes de Tolède (Nouvelle-Castille), où l'on rencontre de nombreux filons d'hématites brunes plus ou moins manganésifères : minerais de Herrera (hématite jaune cloisonnée), d'Eponge (hématite brune, friable, violacée), de Hermita (hématite brune, géodique), de Lagarès.

On a exploité en Espagne, en 1863, 222 676 tonnes de minerais de fer valant environ 1 228 360 francs en tout, d'après les statistiques officielles ; la majeure partie provient de la Biscaye, qui fait d'importantes exportations pour l'Angleterre et la France ; les provinces d'Almeria et de Murcie envoient aussi aux mêmes pays des tonnages assez considérables.

Combustibles.

On ne fabrique de fonte au coke avec le combustible indigène que dans les provinces des Asturies et de Leon.

Dans les environs de Bilbao on importe quelques cokes anglais que l'on emploie dans les hauts fourneaux, seuls ou en mélange avec le charbon de bois. Partout ailleurs, c'est ce dernier combustible qui est employé.

L'Espagne possède d'assez nombreux bassins houillers, parmi lesquels nous citerons celui d'Oviedo dans les Asturies, celui de Quiros dans la même province, celui de Baruelo dans la province de Leon, sur le versant méridional des montagnes asturiennes ; ceux de Belmez et d'Espiél dans la province de Cordoue, de Villanueva del Rio en Andalousie, de San Juan de las Abadesas en Catalogne. On rencontre en outre d'importants gisements de lignites, comme celui d'Ou-trias, dans la province de Teruel.

Usines à fonte.

Les usines de MM. Duro et C^e, à *la Felguera* et à *Vega*, étaient les mieux représentées à l'Exposition ; elles comptent

du reste au nombre des deux ou trois plus importantes d'Espagne ; elles sont situées sur le chemin de fer de Langreo à Gijon et s'alimentent de combustible dans les exploitations houillères voisines. Les deux hauts fourneaux de la Felguera consomment les minerais extraits dans leurs propres exploitations voisines de Luanco, Camerana, Laviana, Muno et Aramil, et les hématites de Somorrostro et d'Ollargau.

A la Felguera, la houille, lavée dans un lavoir système Meynier, est carbonisée dans trente-six fours Smet à défournement mécanique et dans deux massifs de fours Appolt. Les fourneaux, dont les gaz ne sont pas recueillis, sont soufflés par deux machines soufflantes de 60 chevaux chacune. — A la Vega, il y a vingt-cinq fours à coke, système Smet ; un haut fourneau avec ses accessoires ; mais ce dernier est éteint et la fonderie de deuxième fusion seule est en activité. Les trois fourneaux pourraient produire annuellement ensemble 36 000 tonnes. Les deux seuls en feu ont produit seulement 12 000 tonnes en 1864, et 15 000 tonnes environ en 1865. Le fourneau n° 1 marche en fonte grise destinée au moulage ou aux usines à cuivre de Rio Tinto ; le fourneau n° 2, marchant en fonte blanche, a produit 35 tonnes par jour avec des minerais rendant 49,15 pour 100 et une consommation de coke de 106 pour 100 de fonte ; toutefois sa consommation de coke ordinaire est de 135 à 140 pour 100 de fonte grise ; il est soufflé à l'air chaud.

La Felguera exposait une série complète de fontes de moulage, trois variétés de fonte d'affinage grise et trois variétés de fontes truitées et blanche. Elle avait apporté aussi un spécimen de laitier pierreux de couleur blanche, avec un morceau de porphyre artificiel, ou laitier refroidi lentement destiné à la fabrication des pavés, et un peu de sable obtenu par la désaggrégation des laitiers par l'eau, montrant ainsi que ces deux procédés d'utilisation des résidus de la fabrication de la fonte ont pénétré jusqu'aux usines asturiennes. MM. Duro et C^e, obligés, pour lutter contre les fers au bois, de fabriquer des qualités supérieures, n'affinent guère que des fontes grises, de sorte que l'usine ne fabrique régulière-

ment que celles-ci. Elles reviennent à environ 10 francs les 100 kilogrammes, le coke courant 22 à 23 francs la tonne, et les minerais 16 à 17 francs la tonne.

On fabrique aussi à la Felguera et à la Vega des pièces moulées; c'est dans la dernière usine qu'ont été faites les fontes du pont de Porto, ainsi que les tuyaux qui furent employés par M. Salamanca pour conduire sur ses terres de Vista Alegre une dérivation du canal d'Isabel II.

Les usines de *Mieres del Camino* appartiennent à la Société houillère et métallurgique des Asturies, qui possède aussi d'importantes concessions de mines de houille, de fer et d'autres métaux. Au point de vue de la fabrication de la fonte, on trouve à Mierès une batterie de soixante fours à coke du système Smet, deux hauts fourneaux, dont un grand au coke construit sur colonnes de fonte; trois machines soufflantes, dont une puissante soufflerie verticale du type de Seraing. Malgré un outillage assez complet, installé à grands frais, les usines de Mierès n'ont pas été jusqu'à présent dans une situation prospère; les richesses minérales dont elles disposent font cependant croire qu'avec une direction active et intelligente elles reprendraient bientôt en Espagne la place qui leur appartient. Elles exposaient quelques morceaux de fontes et de fers assez insignifiants.

A *Trubia* l'usine appartient à l'Etat et est dirigée par le corps d'artillerie. Elle comprend deux hauts fourneaux au coke, mais ils sont arrêtés depuis quelque temps parce que l'Etat trouve plus avantageux d'acheter aux usines voisines (la Felguera, par exemple) les fontes de moulage destinées à alimenter sa fonderie de canons et de pièces de matériel d'artillerie. Il y a en effet à Trubia une grande fonderie pour toute sorte de pièces de machines, d'ornement, etc., qui consomme 4 000 tonnes de fonte par an environ.

La société Palentina-Léonaise exposait des fontes brutes, fabriquées dans son usine de *San Blas* et cotées à 95 francs la tonne environ.

L'usine *Santa Ana de Bolueta*, à 2 kilomètres de Bilbao, au bord de la rivière, fondée en 1840, a été la première grande

usine établie dans la province, et est encore la plus grande. Elle comprend trois hauts fourneaux de 10 mètres de hauteur environ, pouvant fabriquer chacun 5 tonnes par jour de fonte grise au charbon de bois et à l'air froid, avec les excellents minerais de Somorrostro et d'Ollargau; on y consomme 110 de charbon environ pour 100 de fonte. Les trois cylindres verticaux de la soufflerie sont mus par une roue hydraulique aidée par une machine à vapeur. La fonte est employée dans l'usine à la fabrication du fer, ou transformée en moulages, notamment en pots qu'on expédie en grande quantité en Galice.

Les usines de MM. Ibarra et C^e, savoir : l'*usine Carmen de Baracaldo* et celle *Merced de Guztiero*, consomment également les minerais de Somorrostro (oligistes de la Cayneta et de Blanca, hydraté de Espinal). A Baracaldo il y a deux hauts fourneaux, l'un au coke et l'autre au charbon de bois avec le même monte-charges : celui au coke a, dit-on, 14 mètres de hauteur et produit 20 tonnes par jour, l'autre ne produit que 7 tonnes. On y traite également le minerai par les procédés Chenot pour obtenir du fer par la méthode directe. A Bolueta on pratique le procédé Gurlt, qui ressemble beaucoup au procédé Chenot. A Castrejuna on traitait les minerais de Somorrostro à l'air chaud; le fourneau produisait 7 500 kilogrammes de fonte en vingt-quatre heures. Cette fonte était grise, accompagnée de laitiers vitreux blancs; la fonte blanche qu'on produisait accidentellement était cristalline. Nous ignorons si l'usine, qui était arrêtée en 1865, a repris son roulement.

A *Beasaïn*, MM. Goitia et C^e fabriquent de la fonte qu'ils cotent 165 francs les 1 000 kilogrammes. A *Alsua*, M. Jau-regui cote la sienne 170 francs les 1 000 kilogrammes.

Les *forges de San José*, dans les montagnes de Tolède, appartiennent à des Français, MM. Fettyplace et C^e. Ils exposaient divers minerais de fer, hématites hydratées plus ou moins manganésifères, et un minerai de manganèse renfermant 91 pour 100 d'oxyde de manganèse. Ils fabriquent au charbon de bois des fontes grises qu'ils puddlent ou affinent

au bas foyer. Ils pourraient fabriquer aussi des fontes très-manganésifères.

En Andalousie, la grande *usine du Pedroso* comprend trois hauts fourneaux au charbon de bois avec leurs dépendances, fonderies et forges. On y traite des hématites et des minerais magnétiques. Les deux hauts fourneaux en feu produisent par an environ 3500 tonnes de fonte avec des minerais rendant 45 à 50 pour 100 de fer, et une consommation de 160 kilogrammes de charbon par 100 kilogrammes de fonte.

DEUXIÈME GROUPE.

PORTUGAL.

L'industrie sidérurgique est presque nulle dans ce pays, où l'exploitation des mines est elle-même peu avancée. C'est en 1854 seulement qu'a été instituée une législation des mines. Il existe trois petits bassins houillers seulement, mais les gisements de minerais métalliques abondent. Voici, d'après le catalogue portugais, les principaux gîtes de minerais de fer.

Les montagnes granitiques et les terrains de transition du sud du Portugal renferment d'assez nombreux filons et amas de fer oxydulé magnétique; ainsi le gîte de la *serra dos Monges* (Alemtejo), dont les produits étaient exposés, peut donner lieu à une importante exploitation. Dans la même province on trouve les amas de *Villa-Boim*, près d'Elvas, et les filons de *Campo-Maior*. Dans les terrains triasiques de l'Algarve, on trouve aussi des fers oxydulés magnétiques, en relation avec les éruptions dioritiques et serpentineuses. Ces divers gîtes n'ont pas été exploités sérieusement jusqu'ici.

Dans les terrains jurassiques de l'Estramadure, district de Leiria, se rencontrent aussi des filons de fer magnétique, à *Arrimal*, à *Chao-Preto*, à *Moita do Arnal*. Ce dernier gîte a été largement exploité par les Romains, ainsi que le prouvent les scories et les débris de fourneaux qu'on y trouve amoncelés. Le filon magnétique de Chao-Preto coupe une couche de houille jurassique qui est exploitée en même temps

par la *Compagnie houillère et sidérurgique de Portugal* pour son usine de Pedrianès, près de Marinha-Grande. Cette compagnie, qui possède le seul haut fourneau actuellement en feu dans le royaume, avait exposé des fontes grises au charbon de bois, fabriquées avec les minerais magnétiques des deux derniers gisements indiqués, et avec les oxydes hydratés de Pinheiros, près Marrazes.

Dans le nord du Portugal il existe un gisement de fer oligiste considérable à Moncorvo (province de Tras-os-Montes). Le gîte remarquable de Quadramil, dans la même province, fournit des hématites rouges et brunes ; il a 6 à 8 kilomètres de longueur avec une puissance quelquefois de 20 mètres.

Les hématites rouges se rencontrent encore dans la formation triasique de la province de Beira. Elles ont alimenté longtemps les deux hauts fourneaux de Foz d'Alge, aujourd'hui éteints.

Les hématites brunes manganésifères et les minerais de manganèse eux-mêmes forment de nombreux filons dans les terrains dévonien de la province d'Alemtejo, entre *Santiago do Cacem* et *Odemira* ; ces gîtes, qui ont été autrefois largement exploités, pourront reprendre de l'importance, grâce au voisinage du littoral.

Les carbonatés spathiques se rencontrent en filons dans cette même province d'Alemtejo et aussi dans la sierra de Mocana, district d'Aveiro (Beira). — Nous manquons totalement de données statistiques sur le Portugal. Sa production de fonte toutefois ne peut dépasser 2 000 à 3 000 tonnes par an.

CHAPITRE XI. — ORIENT, EXTRÊME-ORIENT ET AFRIQUE.

Nous comprenons dans ce chapitre toutes les notes que nous avons pu recueillir sur la sidérurgie en Grèce, en Turquie et dans les divers Etats de l'Asie et de l'Afrique, en exceptant seulement la Sibérie et l'Algérie, dont nous avons

déjà parlé. Ces notes sont du reste peu étendues et peu complètes.

GRÈCE.

Le petit royaume de Grèce abonde en richesses minérales, mais ses habitants paraissent s'en occuper fort peu, et pour ce qui concerne le fer aucune mine n'y est en exploitation. Cependant l'Exposition prouvait l'existence de très-beaux minerais de fer, et nous savons qu'un voyageur compétent a rencontré en Grèce des gisements considérables d'une exploitation facile.

Le fer magnétique ou aimant naturel a été reconnu dans l'île de Sériphos en amas, et aussi dans l'Attique en quantité considérable.

Dans la Laconie se rencontrent d'abondants gisements de fer oligiste, d'hématite brune mamelonnée et d'hématites rouges.

Les hématites rouges se trouvent encore dans l'isthme de Corinthe. Les hématites brunes et les hydrates argileux abondent dans l'île d'Eubée, dans celles de Sériphos et de Syra, sans compter tous les gisements qui n'ont pas été explorés ou reconnus.

EMPIRE OTTOMAN.

La Turquie avait peu contribué à la partie sidérurgique de l'Exposition; toutefois divers minerais de fer et quelques gueuses de fonte prouvaient que l'industrie n'est point complètement morte dans ce pays. Voici le peu de détails que nous avons pu recueillir, et que nous complétons avec le secours du travail de M. Grateau dans le *Bulletin de l'industrie minérale*.

Les provinces de Roumélie et de Bulgarie possèdent quelques usines à fonte; on peut citer celle de Samakov dans les Balkans, près des Portes Trajanes; celle de Karatova, les hauts fourneaux d'Egri-Palanka en Macédoine, de Klissoura, de Rieka; ces derniers sont alimentés par des minerais ma-

gnétiques. On en voyait des échantillons à l'Exposition ainsi que des fontes et laitiers. Les fontes appartenaient soit à l'Etat, soit à quelques particuliers (Hussein, Rachid, Christo). On trouvait aussi des hématites brunes géodiques, venant du département de Salonique, entre autres de Tachova.

La Roumanie (Valachie et Moldavie) n'exposait que quelques rares morceaux d'hématites hydratées jaunâtres peu intéressants; on en trouve à Beja de Fier et à Trestiora en Valachie. L'industrie minérale n'existe pour ainsi dire pas en Roumanie.

La Bosnie et la Croatie sont les plus riches provinces de la Turquie d'Europe au point de vue sidérurgique. On y trouve des minerais oligistes schisteux, des hématites rouges, des hématites manganésifères violettes et noires à Stari-Maidan, à Banialuka, etc. Il y a des hauts fourneaux à Stari-Maidan, dit-on. Mais on traite surtout les minerais par un procédé assez barbare, dans des foyers qui rappellent les anciens stückofen et qui travaillent huit mois par an. La production totale annuelle en fer de la Bosnie est environ 4 279 tonnes, valant ensemble environ 1 500 000 francs.

En Turquie d'Asie, les gouvernements de Smyrne, de Trébizonde, de Konieh, de Syrie, d'Angora, exposaient des minerais de fer.

PERSE ET TURKESTAN.

Ces pays ne figuraient pas dans la classe 40. On dit cependant qu'ils renferment de grandes richesses minérales. Dans certaines provinces, le Mazanderan, par exemple, on fabrique du fer par la méthode directe. Près de Téhéran existent des gisements de houille et d'hématites rouges. Mais la majeure partie du fer employé en Perse vient de la Russie.

CHINE ET JAPON.

M. le baron de Meritens, de Fou-tcheou, avait dans son exposition de produits chinois quelques morceaux de minerais de fer (*shan-si*) assez insignifiants.

Parmi les produits japonais on remarquait des sables ferrugineux titanifères, provenant sans doute des plages de quelque île volcanique de ce pays.

ILES PHILIPPINES.

Parmi les produits de cette colonie espagnole se trouvaient quelques minerais de fer exposés par *la Société minière et métallurgique de Mancayan*, qui n'en tire du reste pas parti.

AUSTRALIE.

Les quatre colonies anglaises qui occupent une partie de cette immense île avaient exposé de nombreux produits minéraux.

Celle de Queensland, la plus septentrionale, possède d'importants gisements de houille sur la rivière Burrum et à Warwick, mais nous ne savons rien de ses ressources ferrifères.

La Nouvelle-Galles du Sud exposait les minerais de fer de Narara-Creek (Broken-bay), qui sont de riches hématites rouges et qu'on traite dans les hauts fourneaux de la *Fitzroy iron works and mining Company*, à Nattai, comté de New-Sheffield. On en obtient des fontes grises et blanches, d'aspect ordinaire, qu'on emploie au moulage dans la fonderie de Sidney, ou qu'on transforme en fers ronds et carrés, exposés aussi. On trouve sur place l'argile réfractaire nécessaire. La Nouvelle-Galles du Sud est très-riche en gîtes houillers, et l'industrie y prendra prochainement un développement considérable.

Dans la colonie de Victoria, on s'est adonné surtout à la recherche de l'or, et quoique les minerais de fer se rencontrent en grand nombre, on ne les exploite pas beaucoup. Il y a cependant des exploitations dans les districts des mines de Castlemaine et de Sandhurst; mais jusqu'à présent on n'a point découvert de gisement très-important, malgré la variété des gîtes et la nature des minerais.

L'Australie du Sud, si connue des métallurgistes par ses



cuivres de Burra-Burra, renferme quelques exploitations de minerais de fer, entre autres celle de Talisker, près Rapid-bay, dont la fonte figurait à l'Exposition.

NOUVELLE-CALÉDONIE.

Cette colonie française renferme, outre des gisements de fer chromé, des filons de limonite et d'oligiste dans les serpentines et les euphotides.

INDE FRANÇAISE.

On voyait à l'Exposition des minerais magnétiques venant de Goa, oligistes de Kurusol et d'Hyderabad, et des sables titanés de la plage de Pondichéry, ainsi que de l'acier et de la fonte provenant de ces derniers.

INDE PORTUGAISE.

Elle exposait divers échantillons de minerais magnétiques de la province de Goa, de la fonte et du fer de l'usine de Satory dans cette province, et du fer fabriqué à Embarbacem (sans doute par la méthode directe au charbon de bois).

INDES ANGLAISES.

Cette puissante colonie renferme de nombreux gisements de minerais de fer qui sont exploités et traités dans beaucoup de localités. L'Exposition ne renseignait que sur les ressources de l'extrémité méridionale de la grande péninsule, savoir : le Mysore et le Malabar. On y trouve des minerais abondants : hématites rouges (Mysore, Sealkote), fers magnétiques de Cudoor, sables noirs magnétiques de Garibednore, hématites brunes et jaunes diverses. Ces minerais sont traités dans un nombre infini de petites forges où l'on fabrique du fer par la méthode directe dans des fourneaux tout à fait primitifs et avec une consommation énorme de main-d'œuvre. Ce sont surtout les sables magnétiques que

l'on recueille dans les cours d'eau qui sont préférés par les forgerons indigènes comme donnant le plus aisément le meilleur fer, et qui servent à fabriquer le fameux acier Wootz.

Plusieurs petits souverains indigènes et plusieurs chefs de village avaient envoyé des spécimens de leur industrie. Il paraît que certains villages fabriquent dans leurs fourneaux une sorte de fonte qui est affinée dans d'autres foyers de forme différente par d'autres individus.

On voyait à l'Exposition des échantillons de ce fer, accompagnés de scories ponceuses grises et blanches. Malgré la méthode primitive qui sert à le fabriquer, et grâce au peu de valeur de la main-d'œuvre dans l'Inde, le fer se vend encore très-bon marché.

Il existe des usines à l'européenne à Irinomully, près Arcot, et à Beypore, toutes deux appartenant à la *East-Indian iron Company*; elles emploient des minerais en grains ou menualles pour la première, des minerais en fragments qui ont l'air d'être du fer spathique rouge décomposé pour la seconde. Heath, si connu par ses inventions relatives à la fabrication de l'acier, a participé à la fondation de ces usines.

On trouve également des foyers indiens répandus dans le Bengale, dans la province d'Orissa, dans le Deccan, mais ils paraissent moins nombreux que dans la présidence de Madras. Ils consomment toujours du charbon de bois et quelquefois du charbon de bambou.

NATAL ET CAP DE BONNE-ESPÉRANCE.

Il y avait quelques morceaux de minerais de fer dans les collections exposées par ces deux colonies.

COLONIES PORTUGAISES D'AFRIQUE.

Les nègres de la côte occidentale d'Afrique fabriquent du fer par des moyens encore plus primitifs que ceux employés par les Indiens; ils ne connaissent pas l'usage du soufflet et réduisent péniblement quelques riches minerais dans des

foyers complètement ouverts. La province d'Angola paraît la plus riche en fer. On voyait à l'Exposition le minerai magnétique de Mossamèdes, celui de Gambos, les minerais en grains de Massangano et de Benguella, puis diverses barres de fer et divers outils grossiers fabriqués par les nègres, ainsi que des éponges de fer provenant d'un demi-traitement du minerai.

MAROC ET TUNIS.

Il était impossible de trouver des produits qui donnassent une idée même vague de l'état de la sidérurgie dans ces pays voués à l'apathie industrielle des Orientaux.

ÉGYPTE.

La collection de roches recueillies par Figari-bey, exposée dans le pavillon égyptien, comprenait quelques échantillons de minerais de fer. On trouve, dit-on, des minerais olivistes et magnétiques dans les roches du désert à l'est de l'Égypte. Dans le Kordofan et le Soudan (pays des Niams-Niams), on rencontre des minerais pisolithiques jaunes et bruns qui étaient exposés, et que les indigènes traitent dans des foyers primitifs pour en retirer du fer brut qu'ils forgent ensuite; on voyait également des échantillons de ce fer façonné dans le Soudan.

CHAPITRE XII. — ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

Beaucoup de visiteurs ont certainement traversé la grande salle carrée, où une série d'armoires vitrées toutes pareilles renfermait les spécimens de l'industrie minérale aux Etats-Unis, sans se douter que ces morceaux de minerais placés plus ou moins pêle-mêle, que ces maigres échantillons de fonte et de fer venaient d'un pays où la sidérurgie présente au moins autant de puissance qu'en France. Les Etats-Unis produisent annuellement autant de fonte que la France; et si la main-d'œuvre n'y coûtait pas un prix beaucoup plus élevé que sur l'ancien continent, cette production pourrait, grâce

aux immenses richesses houillères et ferrifères du pays, prendre des proportions beaucoup plus considérables. Les Etats-Unis sont peut-être destinés à venir un jour approvisionner la vieille Europe de matériaux métalliques et de machines. Les minerais de fer et le combustible minéral y sont placés dans les situations relatives les plus favorables à une fabrication économique. Citons à ce sujet M. Hewitt, l'un des maîtres de forges les plus connus de l'autre côté de l'Atlantique.

« La situation du terrain houiller aux Etats-Unis suggère l'idée d'un bassin gigantesque rempli de trésors, dont le contour longe l'océan Atlantique jusqu'au golfe du Mexique, puis, en revenant à travers les plaines qui sont au bas du versant oriental des montagnes Rocheuses, passe près des grands lacs et revient au point de départ sur les frontières de la Pensylvanie et de New-York. Le bord de ce bassin est garni de gisements inépuisables de minerais de fer de toute espèce et de la meilleure qualité. En cherchant son écoulement par les voies naturelles de communication par eau, que ce soit au nord, à l'est, au sud ou à l'ouest, la houille doit traverser ce bord métallifère, et à leur tour les minerais de fer peuvent remonter jusqu'à la houille pour être traités en mélange avec les minerais houillers, qui sont aussi abondants aux Etats-Unis qu'en Angleterre, mais qu'on n'a pas exploités jusqu'à présent à cause du coût moins élevé des minerais plus riches provenant du bord du bassin. Le long du versant de l'Atlantique, dans la chaîne de montagnes qui règne des bords de l'Hudson à l'Etat de Géorgie, se trouve l'immense bande de fer magnétique qui traverse sept Etats tout entiers. Parallèlement à cette bande, dans la grande vallée calcaire qui borde le terrain houiller, se trouvent les hématites brunes, quelquefois en quantités tellement grandes, comme dans la Virginie, le Tennessee et l'Alabama, qu'elles étonnent l'imagination. Enfin dans le bassin houiller même se trouve une couche de minerai rouge dit *fossilifère* ⁽¹⁾, commençant avec une

(1) Cette couche est analogue aux *oligistes* de Belgique.

faible épaisseur dans l'Etat de New-York et se terminant dans l'Etat d'Alabama par un banc de 5 mètres de puissance, sur lequel le cavalier peut voyager pendant plus de 150 kilomètres. Au-dessous de cette couche, mais encore au-dessus du niveau des eaux, existent les couches de houille, dénudées sur les flancs des montagnes et recouvertes de magnifiques forêts dont les produits peuvent servir soit aux exploitations minières, soit à la fabrication du fer au bois. En allant vers l'ouest, on atteint dans l'Arkansas et le Missouri cet étonnant chapelet de gîtes d'hématites rouges, soit en amas élevés de centaines de pieds au-dessus de la surface, soit en couches au-dessous du sol, qui se termine au lac Supérieur par des dépôts incalculables de minerai. En revenant du côté de l'Atlantique, dans les Adirondacks de New-York, se trouve une vaste région peu développée, arrosée par des rivières dont le lit est en fer, et traversée par des chaînes de montagnes dont les fondations sont sur le même métal. Parmi les couches de houille elles-mêmes et jusque dans leur sein, on trouve des gisements épars d'hématites et de minerais fossilifères, qui, par leur rapprochement du combustible, ont donné naissance à l'industrie sidérurgique de notre temps. Ce sont ces vastes gisements qui fourniront du combustible aux siècles à venir, et grâce à eux le monde peut être tranquille sur son approvisionnement ; car si l'on déposait toute la houille existant dans le reste des deux continents dans l'intérieur du bassin de fer ci-dessus, elle n'occuperait pas le quart de la surface houillère des Etats-Unis. »

Cette citation américaine donne une juste idée de la richesse minérale des Etats-Unis. Ajoutons seulement pour la compléter que l'immense terrain houiller dont il s'agit a été partagé par des érosions et des dénudations en plusieurs bassins séparés :

1° Les trois bassins d'anhracite de la Pensylvanie orientale ;

2° Le grand bassin houiller des Alleghanys, qui s'étend de la Pensylvanie occidentale jusque dans l'Alabama ;

3° Le bassin houiller du Nord, dans le Michigan ;

4° Le grand bassin du Centre, dans l'Illinois, l'Indiana et le Kentucky ;

5° Le grand bassin de l'Ouest, dans l'Iowa et le Missouri.

Sans compter plusieurs bassins de moindre importance et de formation plus récente.

Pour étudier les usines à fonte répandues dans un aussi vaste pays que les Etats-Unis, sans pouvoir entrer dans des détails trop circonstanciés, que nous ne possédons du reste pas également pour toutes les régions, nous serons obligés de former des groupes s'étendant chacun sur une grande superficie de pays, afin de ne pas en multiplier trop le nombre. Nous nous laissons guider du reste par M. Lesley, ancien secrétaire de l'Association des maîtres de forges américains. Voici ces groupes :

1° *Groupe de l'anthracite*, comprenant tous les hauts fourneaux à l'anthracite, situés dans la Pensylvanie, le Massachusetts, l'Etat de New-York, le Connecticut, le New-Jersey, le Maryland.

2° *Groupe du Nord-Est*, comprenant les hauts fourneaux, tous au charbon de bois, de la Nouvelle-Angleterre (Maine, Vermont, Massachusetts, Connecticut), de l'Etat de New-York, de New-Jersey, de Pensylvanie et de Maryland.

3° *Groupe du Centre*, comprenant les hauts fourneaux à la houille crue et au coke de la Pensylvanie occidentale, du Maryland occidental, de l'Ohio.

4° *Groupe du Nord-Ouest*, comprenant les hauts fourneaux au charbon de bois du Wisconsin, du Michigan, de l'Indiana, du Missouri, de l'Ohio.

5° *Groupe du Sud-Est*, comprenant les hauts fourneaux de la Virginie, de la Caroline du Nord et de la Géorgie.

6° *Groupe du Sud-Ouest*, comprenant les hauts fourneaux du Kentucky, du Tennessee, de l'Alabama.

Le nombre des usines à fonte aux Etats-Unis dépasse six cents ; nous ne pouvons donc en citer qu'un très-petit nombre, qui comprendra surtout celles représentées à l'Exposition de 1867.

PREMIER GROUPE.

GROUPE DE L'ANTHRACITE.

Nous avons renfermé dans ce groupe toutes les usines à fonte qui consomment les anthracites des trois bassins pennsylvaniens. Le nombre en est considérable : cent quarante-six en 1865 dont cent environ en feu. La plupart sont situées dans la Pensylvanie même, qui est le premier État de l'Union sous le rapport métallurgique ; une autre partie dans l'État de New-York, et quelques-uns seulement dans les parties du Massachusetts, du Connecticut, du New-Jersey et du Maryland, qui communiquent aisément avec les bassins anthracifères. Sur 1 200 000 tonnes de fonte que les États-Unis ont fabriqué en 1864, 690 000 tonnes ont été produites par les hauts fourneaux de ce groupe, qui est donc de beaucoup le plus important. Voici les noms de quelques-unes des usines les plus importantes :

ÉTATS.	Noms des usines.	Noms des localités.	NOMBRE de hauts fourn.
Pensylvanie.	Lehigh-Crane.	Catasauqua	5
—	Thomas.	Hokendauqua	4
—	Roberts.	Allentown	2
—	Marietta.	Marietta	2
—	Glendon.	Easton	4
—	Phœnixville	Phœnixville.	3
—	Pioneer.	Pottsville.	2
—	Lebanon.	Lebanon	3
—	Lackawanna.	Scranton	4
New-York.	Manhattan.	New-York	1
—	Sterling.	Sterling	1
—	Port-Henry.	Port-Henri	3
—	Buffalo-Union.	Buffalo.	3
Massachusetts.	Cone.	W. Stockbridge	2
Maryland.	Havre.	Havre de Grâce	2
New-Jersey.	Cooper.	Phillipsburg	3

Les quatre premières usines étaient représentées à l'Exposition.

Combustibles.

Le combustible employé dans les fourneaux de notre groupe est l'anhracite des trois bassins pensylvaniens. Cette anhracite est très-pure, et ne renferme que 3 à 7 pour 100 de cendres : elle a une grande puissance calorifique, et surtout ne décrépit presque pas, souvent même pas du tout. Aussi l'emploie-t-on dans les hauts fourneaux sans éprouver les difficultés bien connues des usines à anhracite du pays de Galles. Le premier bassin, du nord, a pour grand marché New-York, qui en est à 235 kilomètres : il alimente les usines de Scranton notamment. Le second bassin, intermédiaire, fournit surtout les usines métallurgiques d'Allentown, de Easton, de Bethléem, etc. Le troisième bassin, du midi, a pour marché principal Philadelphie ; il alimente aussi les usines de Pottsville, de Reading, de Lebanon, de Phoenixville, etc. Les transports peuvent se faire généralement par deux voies : les chemins de fer et les canaux.

Minerais.

Les minerais principaux des usines à anhracite sont des hématites brunes exploitées dans la grande vallée dévonienne ; elles y mélangent des minerais magnétiques du bord du bassin. Quelques-unes emploient des minerais rouges fossilifères, et aussi des carbonates houillers.

Voici quelques renseignements sur les principaux de ces minerais qui figuraient à l'Exposition.

Oxydulés magnétiques. — On les exploite dans l'État de New-York et celui de New-Jersey ; aussi ce sont surtout les usines du nord et de l'est du groupe qui les consomment. La mine de Sanford, près de Port-Henry, sur le lac Champlain, est une des plus connues : elle fournit un fer magnétique à grands éléments cristallins, rendant 65 pour 100 de fer. Son analyse donne :

Peroxyde de fer . . .	64,80
Protoxyde de fer . . .	24,50
Silice, alumine, etc . .	8,70
	<hr/> 100,00

La montagne de Sterling est un immense gîte de fer magnétique, dont la partie visible seule peut suffire longtemps à une exploitation considérable. Son analyse donne :

Oxyde magnétique de fer.	97,6
Silice et sable.	2,9
Alumine	0,3
	<hr/>
	100,8

Sa teneur en fer est 70,7 pour 100. Son exploitation ne coûte pas 2 fr. 50 par tonne.

Les collines de fer (*iron-hills*) de Cornwall en Pensylvanie sont le plus puissant gisement de l'État; elles alimentent un grand nombre de fourneaux avec un fer magnétique gris qui rend 70 pour 100.

On exploite encore le fer magnétique à Irondale, à Trenton Hibernia, etc., dans l'État de New-York; à Glendon, à Andovermine, etc., dans l'État de New-Jersey; à Lehigh-hill, à Durham, dans la Pensylvanie.

Hématites brunes. — Les exploitations sont très-nombreuses. Les plus importantes sont celles des districts qui séparent la Delaware de la Lehigh, et celle-ci de la rivière Schuylkill, et celles du comté de Lancaster. On en voyait à l'Exposition de cette dernière région avec les épithètes de *redshort* (cassant à chaud), *coldshort* (cassant à froid), *neutral* (neutre); d'autres de couleur jaune à texture cloisonnée. Une belle géode de grande dimension, avec enduit concrétionné, venait de Chesnut-hills (comté de Lancaster. Pensylvanie). La mine de Warwick fournit des hématites brunes passant quelquefois au fer magnétique par métamorphisme.

L'usine de Manhattan exposait de belles hématites brunes de l'État de New-York.

Ces hématites brunes rendent à peu près 45 pour 100 de fonte en moyenne.

Minerais rouges fossilifères. — Ces minerais sont exploités surtout à Danville et à Bloomsburg dans l'étage supérieur du terrain silurien en Pensylvanie; ce sont des hématites rouges siliceuses tenant de 25 à 50 pour 100 de fer.

Minerais houillers. — On exploite depuis peu de temps des blackbands dans le comté de Schuylkill, en Pensylvanie. Ils étaient exposés par MM. Mc Ginnes et Patterson. D'après l'analyse indiquée, ils contiennent 39 pour 100 de fer, 5 pour 100 de manganèse et 35 pour 100 de matières charbonneuses avant le grillage; leur qualité est donc supérieure. On voyait aussi à l'Exposition quelques spécimens de carbonate lithoïde venant de Lehigh-valley (Pensylvanie).

Usines à fonte.

C'est à l'ancien haut fourneau de Mauch-Chunk, aujourd'hui démolí, que furent faits en 1826, sans grand succès, les premiers essais de fabrication avec l'anthracite. Ces essais furent repris en 1837 au haut fourneau Pioneer (le pionnier), à Pottsville, et on fit venir du pays de Galles M. Thomas pour les diriger. Après diverses alternatives, le succès fut acquis, et M. Thomas quitta presque aussitôt l'usine de Pottsville pour aller construire celle de Lehigh-Crane à Catasauqua.

L'usine à fonte de *Lehigh-Crane* est la plus importante des Etats-Unis; elle emploie des minerais hydratés bruns du pays, en mélange avec des fers magnétiques de New-Jersey. Voici diverses données relatives à son roulement en 1864 :

	HAUTS FOURNEAUX.				
	Nº 1.	Nº 2.	Nº 3.	Nº 4.	Nº 5.
Date de la construction.....	1840	1842	1846	1850	1850
Hauteur.....	14m,33	14m,33	14m,33	16m,75	16m,75
Diamètre au ventre.....	3m,35	3m,96	4m,88	5m,49	5m,49
Température du vent.....	315° c.	315° c.	315° c.	315° c.	315° c.
Pression du vent en mercure.....	0m,36	0m,36	0m,36	0m,36	0m,36
Nombre de tuyères.....	6	6	9	15	15
Diamètre des buses : millimètres...	81	81	81	81	81
Nombre de machines soufflantes...	6 en tout.				
Diamètre des cylindres-vapeur des soufflantes.....	0m,65	1m,00	1m,00	1m,45	1m,65
Course du piston-vapeur des soufflantes.....	1m,95	2m,70	2m,70	3m,00	3m,00
Tension de la vapeur.....	3 à 3 et demi atmosphères.				
Capacité de production en 1865.....	45 000 tonnes.				
Production en 1864.....	37 800 tonnes.				
Semaines de soufflage en 1864.....	52	52	45	52	39
Consommation de minerai en 1864..	90 000 tonnes.				
— de fondant.....	50 100 —				
— d'anthracite.....	98 800 —				
Nombre d'ouvriers.....	600				
Nombre de chevaux et mules.....	54				
Capital engagé.....	5 000 000 de francs.				

On voit que le rendement des minerais est 42 pour 100 environ et que la consommation d'anhracite par tonne de fonte est 2 613 kilogrammes en moyenne.

L'*usine Thomas* nous servira de type pour la description de ces usines américaines à l'anhracite, assez différentes de nos usines de l'ancien monde. On trouve dans Percy-Petitgand-Ronna, pl. I et II, t. III, des dessins des deux plus anciens fourneaux, avec leurs dépendances, et nous y renverrons le lecteur, en nous contentant de donner ici, pl. XXIII, fig. 10, le profil des nouveaux fourneaux. Les anciens avaient plus de 18 mètres de hauteur, et seulement 2^m,70 de diamètre au creuset.

Ces hauts fourneaux sont établis avec d'énormes tours en maçonnerie, de 15 mètres au moins de côté à la base, traversées par des passages intérieurs d'une embrasure à l'autre; ces tours s'arrêtent à la hauteur des prises de gaz. On ne comprend pas pourquoi les maîtres de forges américains construisent des tours si massives; ce ne peut être pour empêcher les déperditions de chaleur, auxquelles on remédierait mieux avec une cheminée d'air, et on se demande si ce n'est pas à cause des énormes pressions du vent injecté dans ces fourneaux. Les fourneaux sont disposés par paires, et entre les deux fourneaux d'une même paire règne une terrasse supportée par des voûtes à la même hauteur que les tours. Sur cette terrasse se trouvent toujours les appareils à air chaud et les chaudières de la soufflerie, qui sont chauffées par les gaz. Ceux-ci sortent du fourneau par huit ouvertures à la circonférence donnant dans un carneau annulaire; le gueulard est ouvert. Les appareils à air chaud sont au nombre de deux, et les chaudières au nombre de six par haut fourneau. Chaque chaudière a 90 centimètres de diamètre et 24 mètres de longueur, avec un bouilleur de 60 centimètres et 18 mètres de longueur; les six chaudières ont une cheminée en tôle de 1^m,80 de diamètre s'élevant à 30 mètres environ au-dessus du sol.

Chaque fourneau a onze tuyères de 82 à 100 millimètres de diamètre; la pression du vent est environ 44 centimè-

tres de mercure dans les deux plus vieux fourneaux, et 52 centimètres dans les deux plus récents. On a atteint, dans quelques cas d'engorgement ou d'obstruction, l'énorme pression de 62 centimètres. Les tuyères sont basses et souvent noyées dans le laitier.

La production a été, pour le fourneau n° 1, soufflé à 39 centimètres de mercure et 333 degrés centigrades, 46 200 tonnes environ, dont 16 000 tonnes de fonte grise n° 1, pendant une campagne de cent quatre-vingt-six semaines, c'est-à-dire environ 248 tonnes en moyenne par semaine avec des minerais rendant 47 pour 100 environ, et une consommation de 1 900 kilogrammes d'anthracite par 1 000 kilogrammes de fonte ⁽¹⁾.

Accidentellement la production hebdomadaire d'un des fourneaux est montée à 351 tonnes par semaine, et celle de la paire à 605 tonnes.

La production régulière des deux nouveaux fourneaux varie de 300 à 350 tonnes par semaine. La capacité de production de l'usine avec ses quatre fourneaux s'élève à 50 000 tonnes environ.

Voici, d'après M. Colburn, quelques détails sur la machine soufflante qui dessert les deux nouveaux fourneaux, comme type de soufflerie américaine. C'est une machine à balancier, à un seul cylindre, installée dans un bâtiment de style italien, large de 10 mètres et haut de près de 15 mètres.

Le cylindre-vapeur a 1^m,68 de diamètre, et le cylindre soufflant 2^m,75, la course étant 3^m,05 pour les deux pistons. La pression de la vapeur est 3, 4 atmosphères. Comme elle agit sans détente, l'effort sur le piston-vapeur est donc près de 80 000 kilogrammes ; et comme la machine fait vingt doubles coups, la vitesse linéaire étant 122 mètres par minute, le travail moteur exercé dépasse 2 000 chevaux. Le balancier, fait en deux flasques, a 9^m,40 de longueur entre les deux articulations et 2^m,10 de hauteur au centre ; mais il se prolonge de 94 centimètres du côté de la vapeur, les bielles

(1) Voir Percy-Petitgand-Ronna, t. III, p. 109.

étant attachées à 5^m,64 du centre d'oscillation. Les tourillons du balancier reposent sur une tour carrée creuse, en fonte, de style égyptien. Il y a deux volants, pesant chacun 30 tonnes, avec 8 mètres de diamètre, calés sur un arbre en fer forgé de 50 centimètres.

Le cylindre-vapeur a des soupapes à double siège, aussi bien pour l'admission que pour l'exhaustion; l'arbre moteur tourne au-dessous de la boîte de distribution et est muni de cames qui soulèvent les tiges des soupapes; celles-ci se referment seules par l'effet de la différence de pression sur les surfaces, aidée par leur poids.

Les couvercles du cylindre soufflant sont à grilles, de sorte que plus des sept huitièmes de la surface servent, soit pour l'admission, soit pour l'émission du vent. Il y a vingt-sept grands clapets d'admission dans chaque fond.

Le régulateur a 3^m,05 de diamètre et 12^m,20 de hauteur : il reçoit 705 mètres cubes d'air par minute en marche ordinaire. — Avec les énormes pressions usitées et la vitesse de 122 mètres par minute, l'air se chauffe tellement que le cuir de la garniture est souvent racorni et qu'on ne peut tenir la main sur le cylindre.

A *Pottsville* se trouvent deux hauts fourneaux de construction récente, et produisant 40 tonnes par vingt-quatre heures chacun. Ils traitent des minerais mélangés. Les charges sont élevées au moyen de deux monte-charges à air comprimé. Les appareils à air chaud et les chaudières à vapeur sont placés sur une terrasse entre les deux fourneaux. La machine soufflante, verticale, à action directe, avec le cylindre soufflant en haut, est installée au-dessous de cette terrasse; elle est de 150 chevaux.

Les *hauts fourneaux de Port-Henry* dans l'Etat de New-York, au bord du lac Champlain, traitent les minerais magnétiques de Sanford. Le plus récent, construit en 1861, est à enveloppe de tôle et sur colonnes; il a 14 mètres de hauteur et 4^m,90 de diamètre au ventre. Une machine soufflante, dont le cylindre moteur a 1 mètre de diamètre, et dont la course est 2^m,10, alimente cinq tuyères de 75 millimètres

avec du vent à 34 centimètres de mercure de pression et à 260 degrés centigrades. Il produit 9 000 tonnes par an avec une consommation d'anhracite de 1 950 kilogrammes par tonne de fonte, et de fondant de 455 kilogrammes, le rendement des minerais étant 57 et demi pour 100.

Les fontes exposées par l'usine Lehigh-Crane étaient grises, n° 1 et 2, et truitées; il n'y en avait pas de blanches. L'usine Roberts exposait de très-belles fontes noires à gros grains graphiteux.

La Pensylvanie, où la fabrication de la fonte à l'anhracite a pris naissance en 1837, comptait en 1865 cent six hauts fourneaux dont quatre-vingt-cinq en feu, ayant produit pendant l'année 340 000 tonnes de fonte. Avec tous les fourneaux en feu pendant toute l'année, la production aurait été 650 000 tonnes environ.

Voici, d'après des documents officiels, l'analyse des conditions de la fabrication à l'anhracite en Pensylvanie pendant l'année 1864 :

Nombre de hauts fourneaux en feu	90
— — — — — éteints, mais non abandonnés	5
Nombre de hauts fourneaux abandonnés.	10
Nombre total des hauts fourneaux.	105
Nombre moyen de semaines de roulement.	44 1/2
Hauteur moyenne de fourneaux en feu	12 ^m ,81
Diamètre moyen du ventre, idem	4 ^m ,72
Température moyenne du vent (maxima, 371 degrés, minima, 200 degrés.)	276 degrés.
Pression moyenne du vent (maxima 416 milli- mètres, minima 117 millimètres.)	234 millimètres.
Nombre total de tuyères	461
Diamètre moyen des buses en millimètres	82
Hauts fourneaux soufflés par moteur hydrau- lique	2
Nombre de roues hydrauliques.	7
Hauts fourneaux soufflés par moteurs hydrau- liques et à vapeur	5
Hauts fourneaux soufflés par moteurs à vapeur seulement.	88
Nombre de machines à vapeur	94

Diamètre moyen des cylindres-vapeur. . . .	0 ^m ,79
Course moyenne des pistons	1 ^m ,88
Production totale en 1864 en tonnes. . . .	470 839
Production moyenne par fourneau en feu. .	5231,5
Capacité productive en 1864 en tonnes . . .	627 520
Capacité productive de chaque fourneau. . .	6585,7
Quantité totale de minerais consommés . . .	1 087 750 tonnes.
Rendement moyen des minerais au fourneau .	43,28 %
Quantité de minerais magnétiques consommés	358 597 tonnes.
Quantité d'hématites consommées.	564 676 —
Quantité de minerais fossilifères et divers. .	164 477 —
Quantité de fondants consommés.	561 554 —
Quantité moyenne de fondants par tonne de fonte.	1,20
Quantité d'anhracite consommée.	961 693 —
Quantité moyenne d'anhracite par tonne de de fonte	2,04
Capital total engagé dans les hauts fourneaux (en comptant le dollar à 5 francs.)	48 537 500 francs.
Valeur moyenne de la tonne de fonte à l'anhracite sur le marché de Philadelphie en 1864	317 fr. 32

On sera certainement frappé du prix élevé de la tonne de fonte pour une région où les ressources minérales naturelles sont aussi abondantes, mais il ne faut pas oublier que la main-d'œuvre est excessivement chère en Amérique, et qu'elle l'était encore plus en 1864. D'après M. Hewitt, membre de la commission américaine de l'Exposition, le prix de revient moyen de la tonne de fonte en Pensylvanie n'était que 132 francs environ en 1867, la main-d'œuvre coûtant environ 9 francs par journée d'ouvrier. Les conditions de fabrication et le roulement des hauts fourneaux sont certainement meilleurs en Pensylvanie que dans les usines à anhracite du pays de Galles, grâce à la qualité des matières premières.

DEUXIÈME GROUPE.

GROUPE DU NORD-EST.

La fabrication de la fonte au charbon de bois est une des plus anciennes industries de la grande république. En 1776 on

comptait déjà sept hauts fourneaux en Pensylvanie et plusieurs dans la Nouvelle-Angleterre et le New-Jersey. Le nombre en est allé en croissant jusque vers 1847 ; à partir de 1848 il a diminué assez rapidement : la Pensylvanie, en 1865, possédait deux cent trente-sept hauts fourneaux au charbon de bois, mais sur cette quantité cent soixante et onze étaient abandonnés. La profusion avec laquelle les gisements de minerais riches et purs sont répandus sur les Etats de la Nouvelle-Angleterre, de New-Jersey, etc., a appelé l'attention des colons bien avant la guerre de l'Indépendance. De nombreux feux à traitement direct, appelés *bloomeries* dans le pays, ont été montés dans toute cette partie des Etats-Unis ; actuellement encore on en trouve un grand nombre en feu. Les riches minerais magnétiques et les hématites brunes se prêtent en effet assez bien au traitement direct pour fer ; aussi n'est-il point surprenant que les *bloomeries* puissent encore lutter contre les usines basées sur la fabrication intermédiaire de la fonte. On a fait diverses tentatives pour perfectionner la méthode directe et pour l'allier avec les hauts fourneaux. Le fourneau Renton, dont on trouve une description dans le livre de M. Percy, est du nombre. Deux fourneaux ont été construits : l'un avec huit tuyaux verticaux (25×45 centimètres) contenant chacun 1 000 kilogrammes de minerai magnétique pulvérisé, mélangé avec 125 kilogrammes de houille pulvérisée ; l'autre avec quarante-huit tuyaux (15×45 centimètres) ; les constructions remontent à 1854 et 1857, et n'ont abouti qu'à l'insuccès.

En 1856 le groupe comptait 227 hauts fourneaux, dont 143 en Pensylvanie ; la production de fonte pour l'année était 175 000 tonnes environ. En considérant la Pensylvanie isolément, on a les chiffres suivants :

En 1856, 108 hauts fourneaux en feu.	100 000 tonnes produites.
— 1865, 67 —	58 000 —

La fabrication de la fonte au bois diminue dans le nouveau monde comme dans l'ancien. Je ne possède point les chiffres de production totale du groupe pour 1865.

Voici les noms de quelques usines, parmi lesquelles cinq avaient exposé :

ÉTATS.	NOMS des usines.	LOCALITÉS.	NOMBRE de hauts four.,
Maine.	Katahdin.	Piscataqua	1 au bois.
Vermont.	Conant.	Brandon	1 —
Massachusetts.	Briggs.	Lanesborough	1 —
Connecticut.	Buenavista.	Falls-village	1 —
—	Limerock.	—	1 —
New-York.	Sterling.	Warwick	1 —
New-Jersey.	Franklin.	Franklin-village	1 —
Pensylvanie.	Colebrook.	Conewago-creek	1 —
—	Warwick.	Warwick	1 —
Maryland.	Lazaretto.	Baltimore	1 —
—	Chesapeake.	Id.	2 —
—	Cedar-point.	Id.	2 —
—	Maryland.	Id.	2 —
—	Elkridge.	Elkridge	1 —
Pensylvanie	Sarah.	Claysbury	1 —
—	Monticelli.	—	1 —
—	Brady's-bend.	Brady's Bend	4 —

Minerais.

Le seul haut fourneau que le Maine possède traite des minerais limoneux d'alluvions exploités dans son voisinage. On trouve de ces minerais (*bog ores*) dans diverses localités de la Nouvelle-Angleterre ; ils ont servi autrefois à faire vivre les premiers hauts fourneaux du pays, mais leur importance a disparu.

Dans le New-Hampshire, le Vermont, le Massachusetts, le Connecticut, les minerais surtout employés sont les hématites brunes du terrain de transition ; on en exploite d'excellentes renfermant de fortes proportions de manganèse. J'ai remarqué à l'Exposition les magnifiques hématites concrétionnées de Salisbury (Connecticut). Un minerai du Vermont rend à l'analyse : peroxyde de fer, 71,30 ; peroxyde de manganèse, 12,93 ; eau, 12,50 ; silice, 3,00 ; alumine, traces ; la richesse en fer est 49,34 pour 100. Dans l'Etat de New-York on exploite aussi de belles hématites brunes (Hillsdale, Staten-Island) et des hématites rouges (Antwerp, Ticonderoga). J'ai déjà parlé des hématites brunes de Pensylvanie. Dans le Ma-

ryland, le comté de Baltimore fournit des hématites manganesifères; à Westminster (comté de Carroll), on exploite des *glasskopf* semblables à ceux du pays de Siegen; le même comté possède des fers oligistes micacés.

Les minerais magnétiques, qui se rencontrent dans presque tous les Etats du groupe alimentent aussi les hauts fourneaux. J'ai déjà parlé des principales mines (Sanford et Sterling, dans l'Etat de New-York); on peut encore citer celles de Iron-dale, Mount-Olive, etc., dans le New-Jersey. — Ce dernier Etat possède un gîte de minerai unique de son espèce, le fameux gîte de *franklinite*, voisin du village de Franklin. La composition minéralogique de la franklinite n'est pas encore bien nettement établie. D'après Rammelsberg, elle répondrait à la formule : $3(\text{FeO}, \text{ZnO}) + (\text{Fe}^2\text{O}^3, \text{Mn}^2\text{O}^3)$. Elle a l'aspect d'un fer magnétique à grands éléments cristallins, avec une certaine coloration rougeâtre. Elle renferme 45,16 pour 100 de fer, 9,38 pour 100 de manganèse et 20,30 pour 100 de zinc. On en extrait d'abord le zinc par la distillation réductive, et on emploie le résidu comme un minerai de fer.

Usines à fonte.

Les usines de la Nouvelle-Angleterre, dont aucune n'avait exposé, sont dans une situation un peu précaire depuis l'extension de la fabrication de la fonte à l'anhracite. Les unes font de la poterie en fonte, les autres fabriquent des fontes grises résistantes qu'on emploie pour moulages trempés; ces dernières sont ce que les Américains appellent *car-wheel iron* (fonte de roues de wagons). Les hauts fourneaux ne produisent guère chacun que 2 000 tonnes par an; celui de Cornwall emploie depuis 1854 ses gaz du gueulard pour griller les minerais entassés dans la cour.

Les hauts fourneaux au bois de l'Etat de New-York emploient volontiers en mélange l'anhracite et le charbon de bois.

Dans le New-Jersey, le *haut fourneau de Franklin* obtient avec la franklinite des fontes miroitantes ou spiegeleisen

très-remarquables par leurs grandes facettes et leur forte teneur en manganèse. Voici l'analyse d'un échantillon :

Carbone combiné . . .	6,900
Silicium	0,100
Manganèse	11,500
Soufre	0,137
Fer (par différence) . .	81,363
	<hr/>
	100,000

L'analyse a été faite par M. Henry, qui remarque que la teneur en carbone est très-élevée, et que l'analyse n'est peut-être pas complètement exacte sous ce rapport. Les premiers spiegeleisen obtenus avec la franklinite étonnèrent beaucoup les fabricants à cause de leur aspect si différent de celui de la fonte ordinaire. On les emploie pour la fabrication de l'acier et aussi dans quelques cas particuliers où l'on a besoin de fontes de très-grande dureté. Il y avait à l'Exposition, dans la section américaine, un coffre-fort fabriqué par Herring et C^e, de New-York, avec des parois en fonte miroitante, rebelle à toute espèce d'outil.

A Baltimore même, chef-lieu du Maryland, on compte sur le bord du port au moins neuf hauts fourneaux. Le *fourneau de Lazaretto*, qui traite des sphérosidériles, exposait des fontes ainsi classées : n° 1, grise, ne trempe pas ; n° 2, grise, dure, trempe sur 6 millimètres ; n° 3, demi-truitée, trempe sur 15 millimètres ; n° 4, truitée, trempe sur 25 millimètres ; n° 5, truitée blanche ; n° 6, blanche. MM. H.-L. Brookes et C^e, qui possèdent les deux usines au bois de *Cedar-point* et d'*Elkridge*, celle au bois et à l'anhracite de *Westminster*, et la *forge d'Avalon*, traitent dans leurs fourneaux non-seulement les minerais de l'Etat, mais aussi des carbonates argileux, des hématites et des blackbands de l'Ohio ; ils fabriquent des fontes pour moulages trempés (*car wheel iron*) et pour la forge.

La plus grande usine du groupe est celle de *Brady's-bend*, qui exposait ses minerais et son fondant ; elle est dans le

nord-ouest de la Pensylvanie et traite des minerais houillers.

Voici, d'après des documents officiels, les résultats des hauts fourneaux au bois de Pensylvanie, en 1864 :

Nombre total de hauts fourneaux	70
— — en feu. . .	61
— — abandonnés. . .	9
— — en feu à l'air chaud.	24
Nombre total de hauts fourneaux en feu à l'air froid	37
Nombre de tuyères total	80
Production des hauts fourneaux à l'air chaud en tonnes.	17 411 tonnes.
Production des hauts fourneaux à l'air froid, en tonnes	32 917 —
Production totale de fonte au bois.	50 024 —
Production annuelle moyenne :	
Par haut fourneau à l'air chaud (en feu) . . .	713 —
— à l'air froid (—) . . .	839 —
Puissance productive des hauts fourneaux à l'air chaud.	62 700 —
Puissance productive des hauts fourneaux à l'air froid	42 500 —
Puissance productive totale.	105 200 —
Quantité de minerai hématite employée . . .	84 871 —
— calcaire — . . .	20 303 —
— magnétique — . . .	19 227 —
— fossilifère — . . .	6 226 —
— totale — . . .	130 627 —
Rendement moyen au haut fourneau	36,87 %.
Quantité de fondant employée	19 043 tonnes.
Quantité moyenne par tonne de fonte. . . .	394 kil.
Quantité totale de charbon de bois employée.	358 825 ^{mm}
— moyenne par tonne de fonte.	7 176 ^{mm}
Capital total engagé	13 037 000 francs.
Valeur totale des produits	17 812 285 —

TROISIÈME GROUPE.

GROUPE DU CENTRE.

On trouve dans la Pensylvanie orientale et l'Ohio un nombre de hauts fourneaux assez grand qui emploient comme

combustible le coke, et même la houille crue du grand bassin des Alleghany. Il y a aussi dans le Maryland une ou deux usines alimentées par le bassin houiller de Cumberland. Les hauts fourneaux en feu, dans le groupe, en 1856, étaient au nombre de 27 pour la Pensylvanie, 3 pour le Maryland et 13 pour l'Ohio, en tout 43; ils ont produit en 1856 environ 69 000 tonnes de fonte. En 1864 la production de fonte à la houille crue et au coke était de 205 000 tonnes environ, dont 121 000 pour la Pensylvanie, 1 600 tonnes pour le Maryland et 82 400 tonnes pour l'Ohio. Voici les noms des usines les plus importantes :

ETATS.	NOMS des usines.	LOCALITÉS.	NOMBRE de hauts fourneaux.
Pensylvanie.	Hollidaysburg.	Hollidaysburg	1 au coke.
Maryland.	Mont-Sauvage.	Cumberland.....	3 —
Pensylvanie.	Cambria.	Johnstown.....	4 —
Ohio.	Briar-hill	Briar-hill.....	1 à la houille.
—	Massillon.	Massillon.....	1 —
Pensylvanie.	Pittsburg.	Pittsburg.....	1 au coke.

Ces usines sont surtout répandues dans la vallée de l'Alleghany et dans le comté de Clarion; l'emploi de la houille crue est relativement récent; le combustible provient de la base du terrain houiller. On trouve encore des hauts fourneaux à la houille crue dans l'Ohio, près de Youngstown et de Zanesville.

Minerais.

On emploie dans la Pensylvanie occidentale et dans l'Ohio les hématites brunes des terrains de transition, les carbonates lithoïdes et les blackbands du terrain houiller exploités dans le groupe même.

L'usine de Cambria avait exposé du minerai houiller qui est exploité en même temps que le combustible. Les fontes ordinaires se fabriquent avec des minerais houillers, des minerais fossilifères, calcaires, et des scories de forges; les fontes supérieures sont faites avec un mélange d'hématites brunes du pays et de minerais magnétiques et oligistes venant soit du Missouri, soit surtout des lacs Supérieur et Champlain.

Usines.

Quelques usines sont assez remarquables par leur installation. Le *haut fourneau de Pittsburg*, dont je donne le profil pl. XXIII, fig. 9, est construit sur colonnes dans le type écossais. Les fontes sont de qualité généralement supérieure et appropriées à la fabrication de l'acier dont Pittsburg est le centre.

Voici un certain nombre de chiffres relatifs aux usines au coke et à la houille de Pensylvanie, en 1864 :

Nombre total de hauts fourneaux	31
Nombre moyen de semaines de feu	37 1/2
Hauteur moyenne des fourneaux	13 ^m ,45
Diamètre moyen du ventre	3 ^m ,35
Pression du vent en centimètres mercure	14
Température du vent en degrés centigrades	285 degrés.
Nombre de tuyères en 1864	125
Nombre moyen de tuyères par fourneau	4
Production totale en 1844	110 730 tonnes.
Nombre de hauts fourneaux au coke	20
Production totale de fonte au coke	70 259 tonnes.
Production moyenne par fourneau	3 513 —
Puissance productive totale des hauts fourneaux au coke	153 000 —
Nombre de hauts fourneaux à la houille crue	11
Production totale de fonte à la houille	40 471 tonnes.
Production moyenne par fourneau	3 679 —
Puissance productive totale des hauts fourneaux à la houille crue	79 000 —
Quantité totale de minerais employée	248 214 —
— d'hématites brunes employée	68 698 —
— de minerai calcaire	131 187 —
— de minerais divers et scories	48 329 —
Rendement moyen au haut fourneau	42 %
Quantité de fondant consommée	51 715 tonnes
Mise au mille du fondant	467 kil.
Quantité totale de houille consommée	324 179 tonnes.
Quantité de houille employée crue	92 620 —
— — carbonisée	231 559 —
Consommation moyenne par tonne de fonte	2,92
Capital total engagé dans les usines	21 725 000 francs.

Valeur moyenne de la tonne de fonte à Phi-

ladelphie, en 1864. 275 francs.

QUATRIÈME GROUPE.

GROUPE DU NORD-OUEST.

Les hauts fourneaux de ce groupe, tous au charbon de bois, répartis dans les Etats du Wisconsin, du Michigan, de l'Indiana, de l'Ohio et du Missouri, étaient au nombre de soixante-deux en 1856, produisant par an environ 90 000 tonnes de fonte. Leur nombre a augmenté depuis cette époque dans les Etats septentrionaux riverains des lacs, mais a diminué dans l'Ohio par suite de la fabrication à la houille. J'ignore quelle est actuellement l'importance de la fabrication dans le groupe du nord-ouest, elle doit être peu différente de 100 000 tonnes. Voici les noms de quelques usines, en commençant par celles qui avaient exposé :

ETATS.	NOMS des usines.	LOCALITÉS.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de hauts fourn.
Wisconsin.	Penokee.	Milwaukee.	M. W. Small...	1
—	Blackriver.	Id.	M. Lapham . .	1
—	Ironton.	Ironton.	— . .	1
Michigan.	Péninsulaire.	Détroit.	M. Burt	2
Missouri.	Pilot-knob.	Pilot-knob.		2
—	Iro-mountain.	Iron-mountain.		3
Michigan.	Pioneer.	Negaunee.	M. Brooks . . .	2

Les Etats qui composent notre groupe possèdent une prodigieuse richesse minérale. La grande zone de minerais de fer magnétiques et oligistes dont nous avons déjà parlé s'étend dans les Etats du Michigan et du Wisconsin; elle alimente des exploitations considérables : le comté de Marquette seul, dans le Michigan, exporte 300 000 tonnes par an de minerai rendant 65 pour 100 de fer. Dans l'un et dans l'autre Etat les mines sont voisines du lac Supérieur. On voyait à l'Exposition de magnifiques spécimens de ces minerais.

Dans le Wisconsin, la *Wisconsin and lake Superior mining and smelting Company* exploite à Penokee Iron-Range un banc

de 20 mètres de puissance de minerai magnétique rendant de 56 à 68 pour 100 de fer. A Iron-mountain et à Blackriver, également près du lac Supérieur, M. Lapham exploite des hématites rouges, très-riches et magnétiques. On trouve encore dans le Wisconsin des hématites brunes des terrains de transition qu'on traite à Iron-ton.

La partie du Michigan voisine du lac Supérieur, surtout dans le comté de Marquette, abonde en minerais magnétiques, oligistes et hématites rouges. M. H. Bigelow avait exposé une magnifique collection des produits des mines du lac Supérieur. Nous y avons remarqué les fers magnétiques cristallisés ou schisteux de Jackson Mine, les minerais granulaires de Iron Cliff, des fers spéculaires de Jackson Mine, et des hématites cristallisées avec des aiguilles de manganèse de la même provenance. Les compagnies *Pittsburgh and lake Angelina, lake Superior, Washington*, exposaient de magnifiques morceaux de fers magnétiques et d'hématites rouges; ces minerais sont de l'oxyde de fer presque pur, comme le montrent les analyses suivantes :

Washington Mine.	
Peroxyde de fer.	99,52, d'où fer 69,76
Silice.	0,28
Magnésie. . . .	0,11
Chaux	0,09
	<hr/>
	100,00

pour un échantillon d'hématite;

Oxyde magnétique de fer.	99,70, d'où fer 71,87.
Silice.	0,30
	<hr/>
	100,00

pour un échantillon de fer magnétique.

Ces minerais ne renferment ni soufre ni phosphore; ils sont souvent mêlés de jaspe. Les gisements, généralement sous forme d'amas, sont exploités à la poudre comme des carrières; des voies de chemin de fer amènent les wagons jusqu'au fond des immenses tranchées qu'on appelle *mines*.

Les wagons chargés sont ensuite conduits sur les quais de Marquette, où des estacades de plusieurs centaines de mètres de longueur servent au chargement automatique des bateaux à l'aide de *spouts* à clapets. C'est à Negaunce et aux Iron mountains que se trouvent les mines les plus grandes.

L'Etat de Missouri renferme deux gîtes considérables de fer magnétique dont les produits non-seulement alimentent des usines voisines, mais encore s'exportent dans l'Ohio et la Pensylvanie. L'*Iron mountain* (montagne de fer) est une colline de 60 mètres environ de hauteur, qui est couverte de blocs de minerai. En fonçant un puits artésien on a trouvé une épaisseur de plus de 18 mètres de minerai pur. Le *Pilot Knob* est une autre montagne, de 200 mètres environ de hauteur, formée de couches épaisses de fers micacés et spéculaires, à cassure lamelleuse. La *Shepard's mountain* fournit encore des fers magnétiques et oligistes en abondance. Tous ces minerais du Missouri, à gangue exclusivement siliceuse, rendent plus de 60 pour 100 de fonte.

Outre les minerais magnétiques et oligistes, on trouve aussi dans le groupe des minerais hydratés et des hématites brunes dans le Wisconsin et le Missouri.

Usines à fonte.

Le *fourneau de Penokee* fabrique des fontes grises acieuses avec un mélange de minerai magnétique et d'hématites brunes ; il exposait ces fontes ainsi qu'un barreau d'acier en provenant. Celui de *Blackriver* exposait des fontes grises et blanches avec des laitiers vitreux, un petit objet en fonte malléable et un barreau de fer ; le tout provenant d'hématites rouges et de minerais magnétiques mélangés. Le *fourneau d'Ironton*, qui a 9 mètres de hauteur, produit 3 000 kilogrammes de fonte par jour.

Le *haut fourneau de la Compagnie péninsulaire*, qui ne traite que de riches hématites rouges, fabrique environ 7 tonnes de fonte par jour. Il a 12 mètres de hauteur environ et 2^m,70 de diamètre au ventre. Les fontes exposées étaient de diverses sortes : n° 1, grise, très-douce et forte ; n° 2, grise,

très-forte, pour laminoirs ; n° 3, truitée grise, trempant sur les bords très-profondément, servant à la fabrication des roues de wagons trempées (*carwheels*) ; n° 4, truitée blanche, servant pour la fabrication de la fonte malléable ; n° 5, blanche. Les deux hauts fourneaux de la *compagnie Pioneer*, à Ne-gaunce, sont entièrement en briques, de construction ancienne et de forme carrée : ils sont desservis par deux monte-charges hydrauliques ; les appareils à air chaud sont placés près des gueulards ; il y a trois tuyères par fourneau. La fonte grise, obtenue avec un laitier très-blanc, est célèbre par sa pureté ; chaque fourneau en fait environ 12 tonnes par jour. Les cinq fourneaux du Missouri, d'une hauteur variant de 9^m,50 à 13^m,50, produisent de 7 à 16 tonnes de fonte au charbon de bois par jour, et cette fonte est aussi remarquable par sa qualité.

CINQUIÈME GROUPE.

GROUPE DU SUD-EST.

Ce groupe comprend les usines de Virginie, de Caroline et de Géorgie. Celles de la Caroline et de la Géorgie du Nord ont eu une grande importance pendant la guerre de la sécession : elles fournissaient le matériel de guerre aux confédérés du Sud. Leur combustible à toutes est le charbon de bois. Les minerais sont : dans la Virginie, les fers magnétiques de la grande zone magnétique, des hématites rouges, des blackbands, et les hématites brunes des terrains de transition (de Kanawka et d'Elkriver) ; dans la Caroline du Nord, des riches minerais oligistes ou magnétiques (Catawba, par exemple), et des hématites brunes ; de même dans la Géorgie.

Dans l'Etat de Virginie on peut citer comme principales usines celles de *Cloverdale* (deux hauts fourneaux), d'*Ætna*, *Vesuvius*, *Cotopaxi*, *Shenandoah* (deux hauts fourneaux), *Buenavista*, *Glenwood*, etc., qui ont vécu d'une activité fébrile pendant la guerre et alimenté les fonderies de canons et de projectiles. Dans la Caroline du Nord, les usines importantes sont près de Wilkesborough et de Morgantown. En Géorgie,

autour d'Atlanta, se trouvent plusieurs usines à fonte, celle d'*Etowah* entre autres.

En 1856 il y avait cinquante-trois hauts fourneaux au charbon de bois dans le groupe, ayant produit dans l'année 17 000 à 18 000 tonnes de fonte. En 1863-1864 il y avait vingt hauts fourneaux en feu en Virginie, dix dans les deux Carolines et cinq en Géorgie; ils produisaient en moyenne chacun 1 000 tonnes par an.

SIXIÈME GROUPE.

GROUPE DU SUD-OUEST.

Les usines du Tennessee et du Kentucky occidentaux ont été presque détruites par les péripéties de la guerre; les soixante et onze fourneaux qui existaient en 1856 sont probablement fort réduits en nombre maintenant. Ceux qui subsistent traitent au charbon de bois les fers oligistes et magnétiques et les hématites brunes du Tennessee, les limonites du Kentucky, en même temps que les hématites rouges fossilifères qu'on trouve dans les deux Etats. Quelques-uns fabriquent des spiegeleisen avec des hématites brunes manganésifères.

Dans l'Alabama, la métallurgie était très-florissante pendant la guerre. En 1856 l'Etat ne comptait que trois hauts fourneaux produisant 1 500 tonnes de fonte par an. En 1863 il y en avait dix; nous ignorons leur nombre actuel. Les usines les plus importantes sont les suivantes :

Etats.	Noms des usines.	Nombre de hauts four.
Alabama. . . .	Vallée de Roup.	3
—	Briarfield.	2
—	Shelby.	1
—	Benton ou Mount Polk. . .	1

Elles sont toutes au charbon de bois.

Minerais.

Le fer magnétique se trouve dans l'Alabama, probablement en quantités importantes; mais il n'est pas l'objet d'exploit-

tations métallurgiques. Les usines consomment exclusivement des hématites brunes et des hématites rouges fossilifères, qui s'exploitent dans les terrains de transition. Le minerai de fer stratifié fossilifère forme plusieurs couches de grande puissance; sa structure est oolithique et il rend de 50 à 60 pour 100 de fonte. Les hématites brunes, qui se trouvent en filons très-abondants et très-puissants dans diverses parties de l'Alabama, rappellent beaucoup celles du pays de Siegen; on voyait à l'Exposition de magnifiques lépidokrokites et glaskopfs concrétionnés venant de Briarfield. Les hématites de Shelby, qui rendent 57 pour 100 de fer, sont remarquables pour leur pureté. D'après leur apparence, elles doivent être manganésifères, bien que des analyses publiées en Amérique signalent à peine la présence du manganèse.

Le bassin houiller de l'Alabama donnera certainement naissance un jour à des usines métallurgiques importantes; il renferme des couches abondantes de fer carbonaté et de blackband. L'Alabama est réellement l'un des pays les plus favorisés qu'on puisse voir sous le rapport métallurgique.

Usines à fonte.

Les usines de la vallée de Roup comprennent trois hauts fourneaux et un cubilot pour la fabrication des poteries et autres moulages. Deux des fourneaux sont récents; le troisième produit environ 5 tonnes par jour. Elles sont alimentées par une couche d'hématite brune qui a près de 30 mètres d'épaisseur.

L'usine de Briarfield appartenait au gouvernement confédéré, qui la faisait diriger par ses officiers d'artillerie. Elle fut détruite par les troupes fédérales un peu avant la fin de la guerre, mais elle a été rétablie depuis. Outre deux hauts fourneaux dont l'un est en feu, elle comprend un train puddleur, un train de petit mill et un train à aplatis pour la clouterie.

On voyait à l'Exposition des échantillons de fonte grise et

truite, de castine, de charbon de bois dur, ainsi que du grès réfractaire blanc, qui sert à construire les chemises de fourneaux.

L'*usine de Shelby*, qui a fourni à l'armée confédérée une immense quantité de matériel, a aussi été détruite pendant la guerre de la sécession. Actuellement elle fonctionne de nouveau et avait envoyé des échantillons à l'Exposition. Elle produit des fontes et des fers de qualité particulièrement aciéreuse. On s'occupe d'y installer la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer.

RÉSUMÉ.

On trouve encore des minerais de fer dans d'autres Etats que ceux précédemment cités, et l'Exposition en montrait divers spécimens.

Le Iowa exposait des minerais hématites du comté de Noppello et des limonites du comté de Van-Buren. Le Kansas avait aussi des limonites provenant du comté de Leavenworth. Le Minnesota, la Nevada fournissent des hématites. La Californie possède des minerais magnétiques (comté de Butte) et oligistes (los Angeles del Norte). Toutes les richesses minérales des Etats-Unis sont encore loin d'être connues, et lorsque les bras seront un peu plus nombreux, la sidérurgie prendra certainement un essor considérable. En moins d'un demi-siècle, les usines américaines sont arrivées à une production de fonte égale, sinon supérieure à celle de la France, ainsi que le montre le tableau suivant.

1810. . .	54 000 tonnes.
1830. . .	165 000 —
1840. . .	347 000 —
1847. . .	800 000 —
1850. . .	600 000 —
1856. . .	813 000 —
1860. . .	884 000 —
1864. . .	1 204 000 —
1868. . .	1 500 000 —

La production de 1864 se décompose ainsi qu'il suit :

Fonte à l'anhracite (Pensylvanie, New-York New-Jersey, Maryland et Massachusetts).	684 000 tonnes.
Fonte au coke et à la houille crue, (Pensyl- vanie, Ohio, Maryland).	210 000 —
Fonte au charbon de bois (États du Nord).	255 000 —
— (États du Sud)	55 000 —
En tout	1 204 000 tonnes (1).

CHAPITRE XIII. — AMÉRIQUE ANGLAISE, MEXIQUE, ANTILLES ET AMÉRIQUE MÉRIDIONALE.

Nous réunissons dans ce chapitre tous les Etats des deux Amériques, sauf les Etats-Unis, auxquels nous avons consacré un chapitre spécial.

AMÉRIQUE ANGLAISE.

Elle comprend le Canada, la Nouvelle-Ecosse, Terre-Neuve et quelques îles insignifiantes à notre point de vue.

Canada (2). Le Canada abonde en minerais de fer, soit ma-

(1) En 1868, d'après l'*Annuaire officiel*, les États-Unis ont produit :

Pensylvanie.	862 750 tonnes de fonte.
Ohio.	223 300 —
New-York.	182 300 —
Nouvelle-Angleterre.	31 525 —
New-Jersey.	47 705 —
Michigan.	60 900 —
Missouri.	20 300 —
Autres États.	66 000 —

1 495 180 tonnes de fonte.

Auxquelles il faut ajouter :

Fer produit par la méthode directe.	36 320 tonnes de fonte.
-------------------------------------	-------------------------

En tout. 1 531 500 tonnes de fonte.

(2) Nous reproduisons diverses parties de la notice officielle.

gnétiques et oligistes en filons dans ses terrains de transition, soit en limonites d'alluvion.

Le minerai limoneux se trouve assez abondamment répandu dans les alluvions au pied des monts Laurentides, sur une longueur de plus de 160 kilomètres, entre Montréal et Québec; mais il est surtout très-abondant dans le voisinage des rivières Saint-Maurice et Batiscan. L'établissement des *forges de Saint-Maurice* date de 1737, et on y employait en 1831 de deux cent cinquante à trois cents ouvriers. Le minerai se trouve répandu dans le sol superficiel, d'où il est retiré par les paysans qui le vendent aux forges. Après avoir été lavé, il donne de 40 à 50 pour 100 de fonte dans un haut fourneau au charbon de bois; on l'emploie en grains et en briquettes agglomérées. On transforme une partie de fonte sur place en fer doux.

A quelques lieues de distance se trouvent les *forges de Radnor*, à Batiscan, qui fournissaient en 1862 environ 2 000 tonnes de fonte au bois fabriquée avec des minerais en menuailles (les laitiers sont bruns-vitreux). Cette fonte, d'une qualité supérieure, est, comme celle de Saint-Maurice, recherchée pour les roues de wagons en fonte trempée. On construit les hauts fourneaux avec un grès réfractaire qu'on trouve sur place.

On rencontre encore la limonite dans d'autres localités du Canada; mais elle n'y est pas exploitée.

Le fer oligiste et l'hématite rouge se trouvent en amas et en couches en divers endroits (Gros-Cap sur le lac Supérieur, Apalaches), mais il n'y existe encore pas de travaux.

Dans l'étage inférieur des terrains de transition (terrain laurentien), on a reconnu des gisements de fer magnétique nombreux et de grande étendue. A Hull, la *Canada iron-mining Company*. (Compagnie sidérurgique canadienne) exploite une couche de 25 mètres d'épaisseur de minerai presque pur, qui était autrefois envoyé aux Etats-Unis. Depuis peu de temps, on a construit le haut fourneau de Gatineau, près d'Ottawa, dont la fonte au bois figurait à l'Exposition.

A Belmont se trouve un gisement remarquable formé de

plusieurs couches, dont la plus grande n'a pas moins de 30 mètres d'épaisseur. Un haut fourneau avait été construit à Marmora dans le voisinage, il y a quelques années, ainsi qu'un autre à Madoc, pour le traitement d'un minerai analogue (70 pour 100 de fer) ; mais ces deux fourneaux ne sont plus en activité. On fait des efforts maintenant pour exploiter ces mines dans le but d'expédier les minerais aux États-Unis, qui consomment des quantités considérables de minerais semblables tirés en grande partie des bords du lac Supérieur et du lac Champlain. Les dépôts de cette dernière région fournissent tous les ans environ 300 000 tonnes de minerais, et les divers gisements déjà connus au Canada pourraient fournir des quantités inépuisables de minerais semblables.

Un immense dépôt de sable de fer magnétique, mélangé d'un peu de titane, se trouve à l'embouchure de la rivière Moisie, sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Le minerai est plus ou moins mélangé de sable, de quartz et de grenats. Un échantillon purifié a donné à l'analyse le résultat suivant :

Oxyde magnétique de fer.	51,12	} fer 63,83 %.
Protoxyde de fer.	34,60	
Acide titanique	11,27	
Silice	3,01	
	<hr/>	
	100,00	

Ce dépôt appartient à une compagnie, qui a soumis le minerai à une série d'expériences destinées à apprécier sa valeur pour la fabrication du fer et de l'acier ; les résultats exposés étaient : 1° du minerai réduit par cémentation dans un vase clos avec du charbon de bois, et du fer malléable obtenu ainsi directement ; 2° de l'acier naturel fondu obtenu en une seule opération par la réduction et la fusion dans un creuset avec du charbon de bois, 3° du fer malléable brut et travaillé obtenu à la forge catalane ; enfin 4° du fer obtenu par le système Hodges, qui consiste à incorporer le sable ferrugineux en proportion convenable avec de la tourbe réduite à l'état de pâte, et à faire avec ce mélange des briques qu'on traite dans un four ; on retire du fer malléable, qui est sou-

mis au marteau ou au laminoir. Ce minerai arénacé, s'il avait toujours la pureté indiquée par l'analyse ci-dessus, se prêterait en effet d'une manière toute spéciale à la fabrication du fer par la méthode directe.

On trouve à Saint-Urbain, dans la baie de Saint-Paul, au-dessous de Québec, un amas considérable de fer titané pur, quelquefois mélangé d'un peu de rutil. Son analyse donne :

Acide titanique.	48,60
Protoxyde de fer.	37,06
Peroxyde de fer	10,40
Magnésie.	3,60
	<hr/>
	99,66

Ce gisement n'est pas exploité, pas plus que ceux de fer chromé que renferment les serpentines des environs de Québec.

Nouvelle-Ecosse ou Acadie. — Les richesses minérales de la nouvelle Ecosse occupaient à l'Exposition une place assez intéressante; cette colonie, peu importante par son étendue et sa population, avait envoyé de magnifiques échantillons des produits de ses houillères et de ses mines métalliques. Tous les visiteurs ont remarqué les monolithes de houille exposés dans le parc anglais auprès du grand phare électro-magnétique, et provenant des houillères Albion, Sydney, Cow-bay, Gowrie. Nous nous sommes arrêtés avec plus d'intérêt encore devant les magnifiques échantillons de minerais de fer exposés surtout par la *Compagnie acadienne des fers au bois* (Acadia Charcoal Iron Company).

Ces minerais, exploités en filons dans le terrain dévonien, sont les plus beaux minerais manganésifères que nous ayons jamais vus, sans excepter les minerais de Siegen et de Styrie. Ils viennent de Londonderry, de Brook-field, de Springville.

Il y avait des minerais oligistes spéculaires, mais surtout de magnifiques hématites brunes mamelonnées et concrétionnées (*glaskopf et lepidokrokit*), présentant le velouté noir, indice de la présence du manganèse. A côté de ces minerais de fer, on admirait encore les superbes minerais de manga-

nèse du docteur Nash en aiguilles cristallines rayonnantes formant des blocs considérables. Aussi n'était-on pas surpris de trouver dans l'exposition des forges acadiennes du spiegeleisen, des fontes grises manganésées, de l'acier puddlé et de l'acier fondu d'excellente qualité.

BRÉSIL.

D'après les documents officiels ⁽¹⁾, il n'y a presque pas d'endroit au Brésil où le fer n'existe sous les formes les plus variées. Tantôt c'est sous celle de fer magnétique, comme sur le pic d'Itabira, dans la province de Minas-Geraes, où il constitue une montagne colossale ; tantôt il se rencontre en dépôts moins considérables, comme à Ipanema, province de Saint-Paul, où il a été oxydé et a passé en partie à l'état de martite, ou comme au Parana et au Mato-Grosso ; tantôt il se présente à l'état de fer oligiste et de fer micacé dans les montagnes de Minas-Geraes. Il subit alors une altération à la surface et forme des dépôts de limonite dont l'étendue est considérable. Ailleurs on le trouve à l'état de fer hydraté argileux.

Le fer constituerait, si les moyens de transport étaient plus complets et plus économiques, un des plus grands éléments de richesse du Brésil, non-seulement par son abondance, mais encore par les facilités que doit donner à son exploitation le voisinage de grandes forêts, qui se reproduisent dans l'espace de six à dix ans, et l'existence de chutes d'eau considérables. Dans la province de Minas-Geraes, on fabrique du fer par les moyens primitifs.

Dans celle de Saint-Paul existe la grande usine impériale de Saint-Jean d'Ipanema. Elle a été fondée en 1810 par une petite colonie suédoise, qui construisit des *stuckofen* ; ce ne fut qu'en 1818 qu'on établit de véritables hauts fourneaux. Il y en a maintenant deux de 8 mètres de hauteur, produisant régulièrement 3 tonnes de fonte par jour. Les machines

⁽¹⁾ Voir *l'Empire du Brésil à l'Exposition universelle*. Rio-Janeiro, 1867.

sont mues par une chute de la rivière. Les minerais employés sont des fers magnétiques et oligistes très-purs exploités à une lieue des fourneaux; le charbon de bois est fabriqué dans les forêts environnantes; les fondants sont des calcaires et des diorites extraits sur place. On voyait à l'Exposition deux gueuses de fonte ayant la forme et presque la dimension d'un grosse tablette de chocolat, et deux fers plats pliés en spirale.

CUBA ET PORTO-RICO.

La grande île de Cuba renferme abondamment diverses espèces de minerais de fer. On exposait des minerais oligistes et magnétiques provenant de la sierra Maestra, à 6 lieues de Santiago et à 9 ou 10 lieues des fameuses mines de cuivre. Le gîte est important, mais n'a jamais été exploité, non plus qu'aucun des autres gisements du pays. On y trouve aussi des filons de manganèse.

Pour Porto-Rico, on exposait du fer magnétique provenant d'un gisement important situé dans le village de Juncos, mais non exploité.

VÉNÉZUÉLA, NOUVELLE-GRENADE, ÉQUATEUR, COSTA-RICA, PÉROU.

Ces diverses républiques n'exposaient que quelques insignifiants morceaux de minerais de fer. Il y a eu cependant des tentatives faites dans la province de Médellin (Nouvelle-Grenade) par des Français pour y importer la fabrication de la fonte au charbon de bois; un haut fourneau a été construit.

BOLIVIE ET CHILI.

Le Chili n'exposait pas de fer, sauf un aérolithe.

La Bolivie renferme de nombreux gîtes reconnus de minerais de fer, soit en amas, soit en filons, et pourrait posséder une industrie sidérurgique importante, grâce à ses cours d'eau et à ses forêts.

URUGUAY ET CONFÉDÉRATION ARGENTINE.

La république de l'Uruguay exposait, entre autre minéraux, de la houille.

La confédération Argentine, dans divers de ses États, renferme des gîtes de fer. On en trouve presque à fleur du sol dans les grandes plaines arrosées par le rio de la Plata. Le minerai a été utilisé, disent les brochures officielles, dès 1813, à Buénos-Ayres pour la fabrication des fusils. Il renfermerait du platine et serait de qualité supérieure. — Les États de Salta et Tucuman ont aussi des gisements. Dans le grand désert du Chaco, on trouve en abondance des masses de fer météorique. Dans la province de Mendoza, on trouve un minerai de fer argentifère. Dans celle de San Juan, on exploite à San Pedro des filons de minerais de fer ayant de 2 à 5 mètres de puissance et reconnus sur 2 000 mètres de longueur.

**CHAPITRE XIV ET DERNIER. — RÉSUMÉ
ET CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE.**

Avant d'abandonner la fabrication de la fonte pour passer au fer et à l'acier, nous résumerons brièvement, dans ce dernier chapitre d'un travail déjà trop allongé, les perfectionnements les plus saillants apportés soit dans les appareils, soit dans les procédés de fabrication, depuis l'Exposition universelle de Paris en 1855, et surtout depuis celle de Londres en 1862. Nous laisserons de côté des détails historiques, bien connus du reste, qui seraient peu à leur place dans ce travail, destiné surtout à indiquer l'état de la sidérurgie en 1867.

Perfectionnement dans les appareils.

La construction des hauts fourneaux, pour commencer par ces puissants instruments de production, s'est notablement modifiée depuis une vingtaine d'années. Aux anciennes *masses*

pyramidales, massives et coûteuses qu'on trouvait aussi bien dans les usines anglaises que chez nous, se sont substituées, dans beaucoup de régions, des tours rondes, légères, supportées, soit par une base en maçonnerie évidée par de nombreuses embrasures, soit par une colonnade en fonte de forme variable. C'est, si nous ne nous trompons, de l'usine de Dundivan, en Écosse, que vient ce type de construction connu en beaucoup d'endroits sous le nom de *type écossais*. Nous avons donné divers dessins et de nombreux détails sur des fourneaux construits dans ce système, qui présente les avantages de l'économie et de la rapidité dans la construction, le séchage, la mise au feu et les réparations en cas de besoin. Des ingénieurs prussiens, MM. Buttgenbach, sont allés encore plus loin dans la voie de l'allègement des hauts fourneaux — si l'on peut s'exprimer ainsi — en supprimant totalement le manteau en maçonnerie ordinaire de briques ou de tôle qui garantissait la chemise réfractaire du contact de l'atmosphère; leur système est appliqué à Neuss, à Anzin, à Stolberg; nous l'avons décrit.

La forme adoptée partout maintenant pour la section transversale des hauts fourneaux est celle d'un cercle; la section rectangulaire, qui caractérise le type dit *normal et universel*, inventé par M. Raschette, en Russie, est employée seulement avec le charbon de bois dans quelques hauts fourneaux de l'Oural. On l'a essayée avec le coke, en Westphalie, à Mulheim sur le Rhin, sans que les résultats obtenus aient été assez satisfaisants pour attirer des imitateurs.

Les profils des hauts fourneaux, ainsi que leurs dimensions, sont très-variés; cependant on paraît avoir reconnu en diverses régions que le profil ovoïde sans ouvrage est préférable pour des lits de fusion riches (Suède, Corse, Toscane, Styrie, midi de la France), tandis que le profil avec étalages moins rapides et ouvrage relativement resserré, est conservé pour les lits de fusions plus pauvres (Moselle, Cléveland, etc). On tend sans cesse à augmenter la hauteur et la capacité intérieure des fourneaux, pour traiter ces minerais de

richesse moyenne ou médiocre. Nous l'avons dit à propos du Cléveland; nous ajouterons qu'en France, dans le groupe de la Moselle, on se préoccupe beaucoup de cette élévation de hauteur.

L'emploi des gaz du gueulard pour le chauffage du vent et pour la production de la vapeur s'est complètement généralisé; on le trouve pratiqué en Suède, aux Etats-Unis, etc., comme en France et en Allemagne. Ce sont ces deux derniers pays qui ont le plus perfectionné les appareils de prise des gaz et de chargement des matières. En France les appareils Chadeffaut (de Denain), Lemonnier (d'Anzin); en Prusse ceux de Langen, de Hoff sont venus s'ajouter aux systèmes déjà connus. Néanmoins la prise de gaz à trémie avec gueulard ouvert ou fermé par un couvercle à joint hydraulique est celle qui paraît encore dominer dans les usines; le système *cup and cone*, inventé dans le pays de Galles, s'est répandu depuis quelques années assez largement en France.

La plupart des hauts fourneaux actuels sont à avant-creuset et à poitrine ouverte; on ne trouve de *blauofen* à poitrine fermée qu'en Styrie et en Carinthie, et ils fonctionnent au charbon de bois. On a essayé à Wittkowitz en Moravie et à Fraisans en France de travailler à poitrine fermée avec des hauts fourneaux au coke, mais on a dû y renoncer. Cependant une nouvelle invention, le système Lurmann, prétend résoudre le problème; il reste à voir quels avantages ou désavantages pratiques on trouvera dans son application.

Les machines soufflantes pour hauts fourneaux appartiennent à une infinité de types différents, parmi lesquels un nouveau que nous avons décrit, le *système Coulthard*, à soupapes-boulets. On peut citer comme types recevant actuellement de nombreuses applications: le type anglais à balancier dit *horsehead*, et le type de Seraing à action directe avec cylindre soufflant supporté en l'air par un bâti. La particularité la plus frappante est l'énorme puissance qu'on donne maintenant à ces appareils.

Le chauffage de l'air est poussé maintenant à un degré

autrefois inconnu : on envoie dans les hauts fourneaux de plusieurs usines du vent à 500 et 600 degrés centigrades. Cette haute température est obtenue, soit dans des appareils à fonte à grande surface de chauffe et à circulation réglée (*type Player, perfectionnement Wurgler et Detombay*), soit dans des appareils réfractaires basés sur le principe des régénérateurs Siemens (*types Cowper et Whitwell*).

Perfectionnement dans le roulement des usines.

Si nous nous occupons d'abord des matières premières, nous remarquons que les minerais sont maintenant beaucoup mieux connus qu'il y a quelques années ; les usines qui sont au courant du progrès composent leurs lits de fusion pour l'obtention de telle ou telle fonte d'après les données de l'analyse chimique, au lieu de procéder à l'aveuglette, comme on le faisait naguère. De l'étude attentive de certains minerais, célèbres par la qualité des fontes qu'ils fournissent, on a déduit la composition que doivent présenter des mélanges pour obtenir des fontes analogues. De l'étude et de la composition de certaines fontes reconnues plus appropriées à telle ou telle méthode d'affinage, à telle ou telle application, ou qualité de fer, on a déduit la nature des lits de fusion propres à donner des fontes *spéciales* à ces emplois. La solution de ces problèmes importants a été facilitée par l'extension des voies de communication et par la mise en valeur de gisements ferrières nouveaux. L'exemple le plus saillant est fourni par le changement qu'a apporté dans les usines à fonte françaises l'importation des riches minerais du littoral méditerranéen.

En même temps on a cherché à fabriquer des fontes relativement pures avec des minerais médiocres ; et si le but n'a pas encore été complètement atteint, on a fait de grands progrès dans ce sens. On a appris à tirer largement parti, pour la fabrication de la fonte, des scories de forge, ces silicates riches en fer, mais d'une réduction difficile ; leur traitement avec des lits de fusion très-basiques a permis de

dégager l'oxyde de fer sans trop de frais pour le ramener à l'état de fonte. On en a fait des briquettes agglomérées avec de l'argile et de la chaux, dans lesquelles la silice du silicate de fer, l'alumine et la chaux se trouvent en mélange intime et en proportion convenable pour former aisément un laitier basique pauvre en fer. Un autre procédé, qui a moins bien réussi à la pratique, incorpore les scories pulvérisées avec la houille destinée à la carbonisation pour en fabriquer du *coke scorie* tout imbibé de fer oxydé ou de fer réduit. Quand les scories proviennent de l'affinage d'une fonte qui n'est pas trop phosphoreuse, on peut en faire passer dans le haut fourneau des proportions très-considérables.

En Suède et en Styrie les usines qui veulent fabriquer des fontes complètement dépourvues de soufre grillent énergiquement leurs minerais dans des fourneaux chauffés avec les gaz éteints des gueulards. Nous avons donné le dessin d'un de ces fours.

La castine est employée généralement à l'état cru ; cependant dans quelques usines on a trouvé avantage à la cuire préalablement, de façon à n'introduire dans le fourneau que de la chaux vive. Mais il ne faut pas que les minerais soient trop mouillés. L'absence dans la colonne gazeuse de l'acide carbonique provenant de la castine fait que l'oxyde de carbone réducteur est plus concentré dans cette colonne, et que par suite la réduction s'opère plus vite.

Dans les pays qui possèdent des bassins houillers, la fabrication de la fonte au combustible minéral a fait presque disparaître celle de la fonte au charbon de bois : l'emploi du mélange de coke et de charbon de bois, donnant comme moyen terme des fontes métis, disparaît aussi devant les perfectionnements de la fabrication au coke qui annule ses avantages. Dans les pays de forêts où l'on fabrique toujours la fonte au charbon de bois, on a employé dans quelques usines, mais sans grand avantage, le mélange dans les charges de bûchettes de bois desséché. La houille crue continue à être employée dans les hauts fourneaux en Ecosse, dans le Yorkshire, le Staffordshire, le pays de Galles ; mais on y mé-

lange du coke pour l'obtention des fontes supérieures. L'emploi de la houille crue ne s'est pas propagé en Europe hors de la Grande-Bretagne, malgré diverses tentatives en Allemagne et en France. Le nombre des usines à anthracite a diminué dans le pays de Galles, mais il a considérablement augmenté aux Etats-Unis ; grâce à l'heureuse qualité des anthracites pensylvaniennes, la fabrication de la fonte au combustible cru a pris un énorme développement de l'autre côté de l'Atlantique. En Styrie et dans quelques parties de l'Allemagne on est arrivé à employer dans les charges des lignites crus ; dans le Hanovre et ailleurs aussi, on utilise les gisements tourbeux en fabriquant du charbon de tourbe pour les hauts fourneaux ; mais ces applications sont restreintes.

La production quotidienne des hauts fourneaux a été considérablement augmentée. On a en Angleterre quelques hauts fourneaux au coke qui produisent 80 à 100 tonnes par jour en France, en Belgique et en Prusse on trouve nombre de fourneaux fournissant en vingt-quatre heures 40 à 50 tonnes de fonte d'affinage ou même de moulage. Les hauts fourneaux au bois ont également fait des progrès notables : on en trouve en Suède et en Russie qui donnent 8 à 10 tonnes par jour et même davantage. Cet accroissement de production est dû à une meilleure entente des lits de fusion et à l'accroissement de la puissance des souffleries. On a appris aussi à diminuer considérablement la consommation de combustible en chauffant l'air à des températures très-élevées : le Cléveland, en Angleterre, a donné un exemple, dû surtout à MM. Cochrane, qui a été et sera imité dans bien des endroits. — On n'a pas seulement obtenu des améliorations dans le prix de revient, on a également cherché les moyens d'améliorer la qualité. On est arrivé à désulfurer presque complètement les fontes fabriquées cependant avec des minerais ou des combustibles sulfureux, en les fabriquant dans une allure à laitiers ultra-basiques ou manganésés. On fabrique aussi à volonté des fontes grises siliceuses pures pour l'appareil Bessemer, ou des fontes grises dépourvues de si-

licium pour les moulages résistants. On a appris encore à fabriquer au coke les fontes miroitantes riches en manganèse, naguère si recherchées et si chères lorsqu'on ne savait les obtenir qu'au charbon de bois dans le pays de Siegen. On cherche, sans l'avoir encore complètement trouvé, le moyen de fabriquer des fontes dépourvues de phosphore avec des minerais phosphoreux : la solution du problème paraît se trouver plutôt dans une préparation préalable des minerais que dans leur mode de traitement au haut fourneau.

Tel est le rapide résumé des principaux progrès faits dans l'art de la fabrication de la fonte depuis une douzaine d'années. Nous verrons plus tard quelle a été leur influence sur les autres branches de la sidérurgie.

Statistique générale de la fonte.

Avant de clore ce chapitre, nous donnerons encore, dans le tableau suivant, le chiffre total de la production dans le monde entier, d'après les documents statistiques que nous avons pu recueillir à l'Exposition, et contrôler, pour beaucoup, dans les publications officielles des divers États :

PRODUCTION DE LA FONTE DE FER DANS LE MONDE EN 1866.

France	1 253 000 tonnes.
Grande-Bretagne et Irlande.	4 592 000 —
Suède et Norwège	236 000 —
Prusse (nouvelle).	915 000 —
États de l'Allemagne du Nord.	26 000 —
États de l'Allemagne centrale.	68 000 —
Suisse.	10 000 —
Russie, Sibérie et Pologne	350 000 —
Empire d'Autriche.	292 000 —
Belgique, Pays-Bas et Luxembourg . . .	600 000 —
Italie	27 000 —
Espagne et Portugal.	48 000 —
Turquie.	6 000 —

Total pour l'Europe. *A reporter.* . . 8 423 000 tonnes.

	<i>Report.</i>	8 423 000 tonnes.
États-Unis.		1 354 000 —
Australie et Indes anglaises.		20 000 —
Amérique anglaise		8 000 —
Amérique du Sud		5 000 —
<hr/>		
Total. . .		9 810 000 tonnes.

Nous pourrions, en établissant un tableau pareil, daté du commencement du siècle, faire voir les progrès rapides que la puissance productive des divers États a faits depuis cette époque ; mais nous renverrons pour ce sujet nos lecteurs aux rapports officiels des jurys aux diverses expositions de 1851, 1855, 1862 et 1867. Quant à l'état actuel de cette puissance productive, nous avons la confiance que les métallurgistes qui ont bien voulu nous suivre possèdent les renseignements suffisants pour se former une opinion. Voici la nôtre.

L'empire britannique est toujours l'Etat qui peut fournir les plus grandes quantités de fonte et au moindre prix. C'est encore lui qui alimente presque exclusivement les contrées peu ou point productives de ce métal. Aucune puissance européenne ne peut lui ravir ce privilège, dû à son immense richesse houillère et ferrifère, à sa position insulaire et à l'abondance des moyens de transport intérieur ou extérieur et lointain dont il dispose. Si, sur quelques points, la France, la Belgique et la Prusse peuvent lutter avec lui, ces points sont bien circonscrits au milieu du marché universel. L'avenir ne paraît guère devoir changer beaucoup cette situation ; il n'y a plus assez d'inconnu dans les richesses minérales de ces trois pays pour qu'on puisse espérer un abaissement dans le coût de la houille suffisant pour faire passer au premier rang l'un ou l'autre d'entre eux. La Russie, la Hongrie ne sont pas dans le même cas et peuvent renfermer des richesses considérables encore inconnues, mais leur position continentale empêchera toujours leur industrie sidérurgique d'exercer une influence dominatrice sur les marchés extérieurs. La Suède, qui ne possède point de houillères, a une production limitée par sa surface forestière. La péninsule

ibérique, dont les richesses minérales sont encore à peine connues et s'annoncent comme énormes, et qui possède un développement considérable de côtes maritimes, pourrait peut-être prendre dans l'industrie ferrifère un rôle de premier ordre; mais sa situation actuelle ne fait pas présager que le moment en soit prochain.

La seule rivale sérieuse de l'industrie sidérurgique anglaise est celle de la grande république américaine des États-Unis; mais c'est une rivale dangereuse. La richesse houillère et ferrifère des États-Unis dépasse de beaucoup celle du royaume uni de Grande-Bretagne et d'Irlande. Le prix de la main-d'œuvre seul empêche actuellement, et empêchera longtemps encore, les usines américaines de lutter au dehors contre les usines anglaises. L'Angleterre, pourvue d'une population ouvrière qui dépasse ses besoins et qu'elle sème aux quatre coins du monde, n'ayant pas à craindre que l'importation de produits étrangers vienne diminuer la somme du travail national, ces importations étant pour la presque totalité des produits naturels qui lui manquent et qui représentent peu de main-d'œuvre, l'Angleterre, ne se préoccupant que du marché universel, ouvre ses portes au libre échange où elle n'a rien à perdre et tout à gagner. Dans les États-Unis, au contraire, où la population est encore peu dense, la main-d'œuvre est beaucoup mieux payée qu'en Angleterre, malgré la moindre valeur des denrées alimentaires; celles-ci, comme tous les produits du sol, représentant peu de travail humain, coûtent beaucoup moins qu'en Europe, dans ce pays où il y a plus de sol que de travailleurs. Aussi les gouvernants du peuple américain, comprenant que leur industrie nationale a besoin d'une augmentation considérable de bras pour tirer convenablement parti de leur immense richesse minérale et pour accroître ainsi la fortune publique, empêchent avec un soin jaloux, au moyen de tarifs protecteurs, les importations étrangères de produits de main-d'œuvre qui viendraient diminuer la quantité de travail national et abaisser par suite le prix de la main-d'œuvre. Les Américains veulent que le haut prix du travail hu-

main dans leur pays y attire les Européens, et ils ne consentiraient point à voir le taux des salaires diminuer chez eux par suite d'une quantité de travail moins grande se répartissant à un nombre invariable de travailleurs. Aussi n'est-ce pas avant un nombre assez long d'années que l'Amérique viendra prendre sur le marché universel des fers la place qui lui est destinée ; mais alors la vieille suprématie anglaise en sera ébranlée singulièrement, sinon renversée.

TABLE DES MATIÈRES

DU TROISIÈME VOLUME

(Nos 6, 7 et 8).

SIDÉRURGIE.

S. JORDAN, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.

Industrie du fer en 1867.

FABRICATION DE LA FONTE.

CHAPITRE II. — GRANDE-BRETAGNE.

	Pages.
AVANT-PROPOS	1
1 ^{er} GROUPE. — <i>Groupe de l'Écosse.</i> — Minerais. — Combustibles.	
— Fontes. — Usine de Gartsherrie. — Usine de	
Langloan. — Usine de Govan. — Usine d'Ardeer.	
— Généralités sur les usines écossaises	3
2 ^e — <i>Groupe du Nord-Est.</i> — Minerais. — Combustibles.	
— Castines. — Usine d'Acklam. — Usine de la	
Tees. — Autres usines du groupe. — Dispositions	
générales des usines.	18
3 ^e — <i>Groupe des Lacs.</i> — Minerais. — Combustibles. —	
Usine de Barrow-in-Furness. — Usine de Kir-	
kless-Hall. — Usine de Furness. — Usine de Carn-	
forth. — Usine de West-Cumberland, à Wor-	
kington. — Fontes à bessemer du groupe des Lacs.	
— Fonte d'hématite au charbon de bois.	53
4 ^e — <i>Groupe du Centre.</i> — Minerais. — Combustibles. —	
— Usines du Yorkshire. — Usines du Derbyshire.	
— Usines du North-Staffordshire. — Usines du	
Northamptonshire et du Lincolnshire	69
5 ^e — <i>Groupe du Staffordshire.</i> — Minerais. — Combustibles.	
— Usines du Shropshire. — Usines du South-	
Staffordshire.	77

	Pages.
6 ^e GROUPE. — <i>Groupe du pays de Galles.</i> — Combustibles. — Minerais. — Usines à fonte à l'anthracite. — Usines de Dowlais. — Usines d'Aberdare et d'Abernant. — Usines de Cwm Awon et Oakwood. — Usines des environs de Merthyr. — Usines de Rhymney et Bute. — Usines de la Compagnie d'Ebbw-Vale. — Usines de Blaenavon. — Usines de la forêt de Dean . . .	85
RÉSUMÉ	109

CHAPITRE III. — SUÈDE ET NORWÈGE.

AVANT-PROPOS	117
1 ^{er} GROUPE. — <i>Suède.</i> — Minerais. — Combustibles. — Préparation des minerais. — Hauts fourneaux et leurs accessoires. — Roulement des hauts fourneaux suédois. Usines à fonte. — Usines du district de Dannemora. — Usines de Langshyttan. — Usines de Fagersta. — Usine de Hammarby-Nora. — Usine de Carlsdahl-Nora. — Usine de Hasselfors. — Usine de Sandviken. — Usine de Forsjö. — Usine de Finspong, près de Norkoeping. — Usine de Ta-berg (Jönköping). — Fontes de Suède	119
2 ^e — <i>Norwège.</i> — Minerais. — Usines à fonte. — Usines de Baerum. — Usine de Fritzø-Laurvig — Usines de Naes et Egeland	162
RÉSUMÉ	166

CHAPITRE VI. — PRUSSE ET ALLEMAGNE DU NORD.

AVANT-PROPOS	485
1 ^{er} GROUPE. — <i>Groupe de Silésie.</i> — Minerais. — Combustibles. — Usines royales. — Autres usines silésiennes. . .	487
2 ^e — <i>Groupe du Hartz.</i>	496
3 ^e — <i>Groupe du Teutoburgerwald.</i>	499
4 ^e — <i>Groupe de Westphalie.</i> — Minerais. — Combustibles. — Usines de Hoerde. — Autres usines westphaliennes. — Fontes de la Ruhr.	504
5 ^e — <i>Groupe de Siegen.</i> — Minerais. — Usines à fonte au charbon de bois. — Usines à fonte au coke. — Autres usines du groupe.	519
6 ^e — <i>Groupe de Nassau et Hesse.</i> — Minerais. — Usines à fonte	527
7 ^e — <i>Groupe du Rhin.</i> — Minerais. — Usines à fonte . .	531

8 ^e GROUPE. — <i>Groupe de Sarrebruck.</i> — Minerais. — Combustibles.	
— Usine de Burbach. — Autres usines à fonte . .	537
RÉSUMÉ	541

CHAPITRE V. — EMPIRE DE RUSSIE.

AVANT-PROPOS	543
1 ^{er} GROUPE. — <i>Groupe de l'Oural.</i> — Usines du district de Goroblagodat. — Usines du district de Nijni-Taguisk. — Usines d'Alapaëv. — Autres usines du gouvernement de Perm. — Usine de Satkinsk. — Autres usines du groupe.	545
2 ^e — <i>Groupe de Moscou</i>	555
3 ^e — <i>Groupe du Nord</i>	555
4 ^e — <i>Groupe de Pologne.</i>	557
RÉSUMÉ	558

CHAPITRE VI. — EMPIRE D'AUTRICHE.

AVANT-PROPOS	558
1 ^{er} GROUPE. — <i>Groupe de Moravie et de Bohême.</i> — Usines de Bohême. — Usines de Moravie. — Usines de Galicie et Silésie.	560
2 ^e — <i>Groupe de Hongrie et de Transylvanie.</i> — Usine de la Société des chemins de fer de l'État. — Autres usines de Hongrie.	563
3 ^e — <i>Groupe de Styrie et Carniole.</i> — Usines royales de Neuberg. — Fonderie impériale de Mariazell. — Établissements impériaux de l'Innerberg. — Usines du Vordernberg. — Usines de M. de Fridau. — Autres usines styriennes.	565
4 ^e — <i>Groupe de Carinthie et Tyrol.</i> — Usines de Heftusine de Loelling. — Autres usines du groupe . .	579
RÉSUMÉ	589

CHAPITRE VII. — ALLEMAGNE CENTRALE ET SUISSE.

1 ^{er} GROUPE. — <i>Saxe</i>	592
2 ^e — <i>Bavière</i>	593
3 ^e — <i>Wurtemberg.</i>	595
4 ^e — <i>Grand-duché de Bade.</i>	595
5 ^e — <i>Suisse.</i>	596

CHAPITRE VIII. — BELGIQUE, LUXEMBOURG ET PAYS-BAS.

	Pages.
AVANT-PROPOS	600
1 ^{er} GROUPE. — <i>Pays de Liège.</i> — Usines de Seraing. — Usines de l'Espérance. — Usines d'Ougrée. — Usines de Selessin et de Grivegnée.	603
2 ^e — <i>District de Charleroy.</i> — Usines de Couillet et de Chatelineau. — Usines de MM. de Dorlodot frères. — Usine de Monceau-sur-Sambre. — Usine de Montigny-sur-Sambre. — Autres usines du groupe. — Appareils à air chaud à sections différentielles.	607
3 ^e — <i>Pays de Namur</i>	618
RÉSUMÉ	619
4 ^e GROUPE. — <i>Pays-Bas</i>	620
5 ^e — <i>Grand-duché de Luxembourg.</i> — Minerais. — Usines à fonte. — Usine de Dommeldange	621

CHAPITRE IX. — ITALIE.

AVANT-PROPOS.	626
1 ^{er} GROUPE. — <i>Lombardie.</i>	627
2 ^e — <i>Piémont.</i>	630
3 ^e — <i>Toscane.</i> — Minerais de l'île d'Elbe. — Usines royales de Toscane.	632
4 ^e — <i>États romains.</i>	637
5 ^e — <i>Deux-Siciles.</i>	637
RÉSUMÉ	640

CHAPITRE X. — ESPAGNE ET PORTUGAL.

1 ^{er} GROUPE. — <i>Espagne.</i> — Minerais. — Combustibles. — Usines à fonte	641
2 ^e — <i>Portugal</i>	649

CHAPITRE XI. — ORIENT, EXTRÊME ORIENT ET AFRIQUE.

<i>Grèce.</i> — <i>Empire ottoman.</i> — <i>Perse et Turkestan.</i> — <i>Chine et Japon.</i> — <i>Iles Philippines.</i> — <i>Australie.</i> — <i>Nouvelle-Calédonie.</i> — <i>Inde française.</i> — <i>Inde portugaise.</i> — <i>Indes anglaises.</i> — <i>Natal et cap de Bonne-Espérance.</i> — <i>Colonies portugaises d'Afrique.</i> — <i>Maroc et Tunis.</i> — <i>Égypte</i>	650
---	-----

CHAPITRE XII. — ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

	Pages.
AVANT-PROPOS.	656
1 ^{er} GROUPE. — <i>Groupe de l'Anthracite. — Combustibles. — Minerais.</i>	
— Usines à fonte.	660
2 ^e — <i>Groupe du Nord-Est. — Minerais. — Usines à fonte.</i>	668
3 ^e — <i>Groupe du Centre. — Minerais. — Usines</i>	673
4 ^e — <i>Groupe du Nord-Ouest. — Minerais. — Usines à</i>	
<i>fonte</i>	676
5 ^e — <i>Groupe du Sud-Est.</i>	679
6 ^e — <i>Groupe du Sud-Ouest. — Minerais. — Usines à fonte.</i>	680
RÉSUMÉ	682

CHAPITRE XIII. — AMÉRIQUE ANGLAISE, MEXIQUE, ANTILLES
ET AMÉRIQUE MÉRIDIONALE.

<i>Amérique anglaise</i>	683
<i>Brsil.</i>	687
<i>Cuba et Porto-Rico.</i>	688
<i>Vénézuëla, Nouvelle-Grenade, Équateur, Costa-Rica, Pérou.</i>	688
<i>Bolivie et Chili.</i>	688
<i>Uruguay et Confédération Argentine.</i>	689

CHAPITRE XIV ET DERNIER. — RÉSUMÉ ET CONCLUSION
DE LA PREMIÈRE PARTIE.

Perfectionnements dans les appareils.	689
Perfectionnements dans le roulement des usines.	692
Statistique générale de la fonte.	695

Marine à vapeur commerciale.

Étude par M. FLACHAT, ingénieur.	171
--	-----

Métallurgie du cuivre.

Par M. E. PETITGAND, ingénieur.

I. Influence et progrès de la métallurgie.	217
II. Le cuivre. — Son histoire et ses usages.	220

	Pages.
III. Les minerais de cuivre. — Procédé de traitement. — Méthode galloise; conduite et résultats.	224
IV. Le cuivre au Champ de Mars. — Position des diverses nations dans la production. — Son importance. — Méthode allemande. — Application et résultats.	249
Méthode d'Agordo. — Usines d'Atvidaberg. — Usines allemandes.	265
V. Traitement des minerais de cuivre carbonatés verts et bleus par la voie humide : Méthode de Stadtberg. — Méthode de Huelva. — Procédé de Mona-Mine	295
VI. Fourneaux de grillage : Four Spence. — Four Gerstenhöfer	307
VII. Traitement et élaboration du cuivre en France.	315
Conclusion.	323

Préparation mécanique des minerais et des charbons.

M. A. HABETS, ingénieur honoraire des mines, répétiteur
des cours d'exploitation des mines et métallurgie, à l'école des Mines
de Liège.

V. — CLASSEMENT DES SABLES ET DES SCHLAMMS.

1. Labyrinthe et caisses pointues. — Emploi du courant ascensionnel. 327
2. Lavoir à schlamms de la Nouvelle-Montagne (Belgique). 331
3. Classificateur à caisse double de Schemnitz (spitzlutte). 340
4. Emploi des appareils à courant ascensionnel aux mines de Mechernich (Commern) 342
5. Appareil classer de M. Dor, à Ampsie (Belgique). . . 345

VI. — ENRICHISSEMENT DES PRODUITS CLASSÉS.

1. Distribution des schlamms. — Livreurs-distributeurs de MM. HUET et GEYLER. — Distributeur conique à rotation de M. DE RITTINGER. 350
2. Tables à secousses : 1^o Tables à secousses longitudinales; 2^o Tables à toile sans fin et à secousses; 3^o Tables à secousses latérales de M. DE RITTINGER, en Hongrie et en Belgique 354
3. Tables tournantes : 1^o Tables tournantes convexe et concave de MM. HUET et GEYLER; 2^o Table tournante concave de M. de Rittinger (Drehherd). 378

4. Lavage des minerais aurifères : 1^o Moulins d'amalgamation de Schemnitz ; 2^o Appareils de l'Oural. — Appareil de M. Grisetti, de Milan 387

VII. — LAVAGE DE LA HOUILLE.

1. Considérations générales sur la préparation des charbons. — Utilisation du poussier et des schlamms. 392
 2. Lavage de la houille aux mines de la Grand'Combe. — Bacs à piston. — Lavage des schlamms 398
 3. Lavoir à soulèvement intermittent sans retour d'eau ; système Coppée 405
 4. Lavoir à mouvement alternatif et à retour d'eau. — Lavoir Detombay. — Expériences de M. Detombay sur la vitesse de chute 409
 5. La préparation des charbons de la Chazotte (Loiret) . 418

VIII. — RÉSUMÉ. 455

Machines motrices.

M. DWELSHAUVERS-DERY, ingénieur,

Chargé du cours de mécanique appliquée à l'Ecole des mines de Liège.

MACHINES A VAPEUR. — Machine horizontale des frères SULZER, de Winterthur, Thurgovie. — Machine horizontale à deux cylindres de M. H.-D. SCHMIDT, de Vienne. — Machine horizontale à condensation de M. BOYEN, de Lille. — Machine de MM. W.-C. HICKS, de New-York. — Machine horizontale de M. P. VANDENKERCHOVE, de Gand. 439

MACHINES A AIR CHAUD. — Phare acoustique de DABOLL et machine calorifique d'ERICSSON. — Machine à air chaud de M. LAUBEREAU, de Paris. — Machine à gaz chauds de PHILANDER SHAW, de Boston. 456

Éclairage des mines à grison.

M. ED. GRATEAU, ingénieur civil des mines,

Membre du jury international de l'Exposition universelle de 1867.

AVANT-PROPOS 469

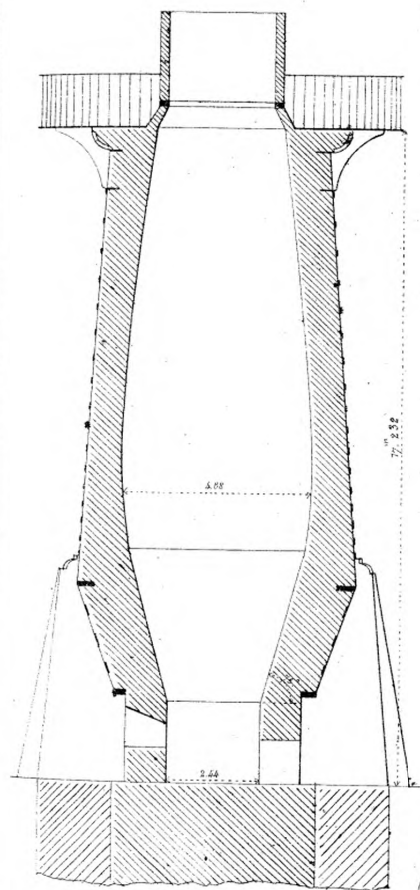
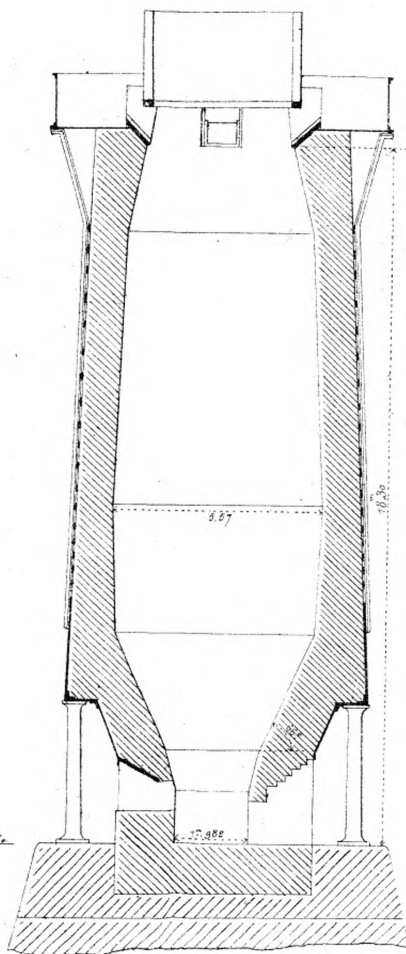
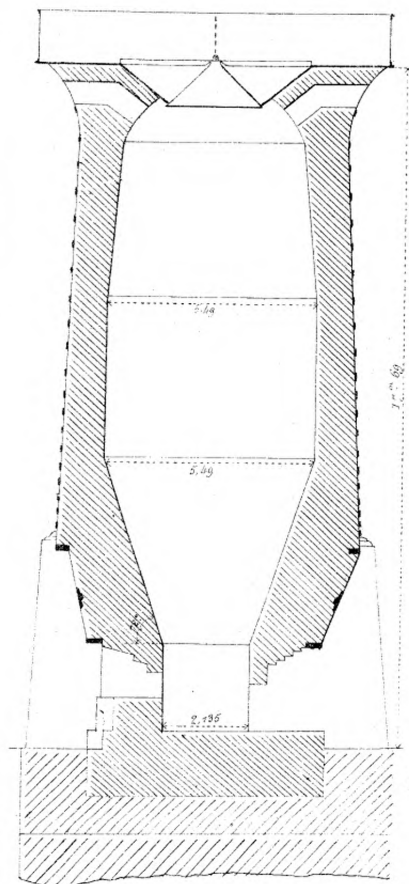
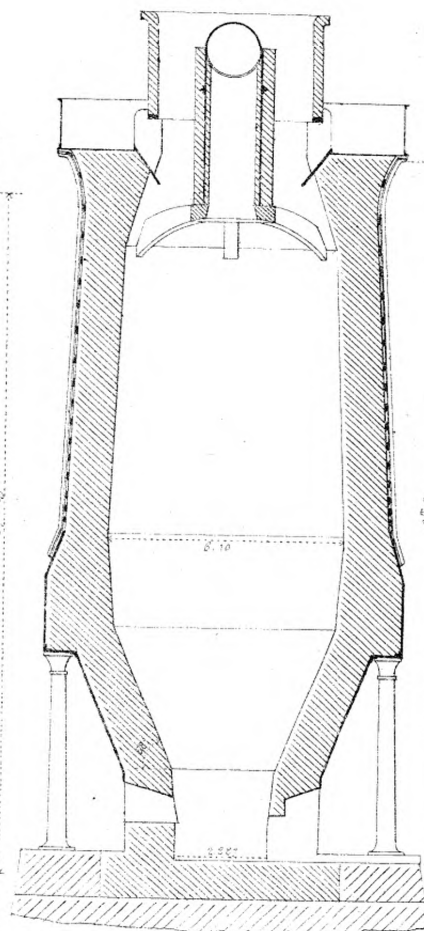
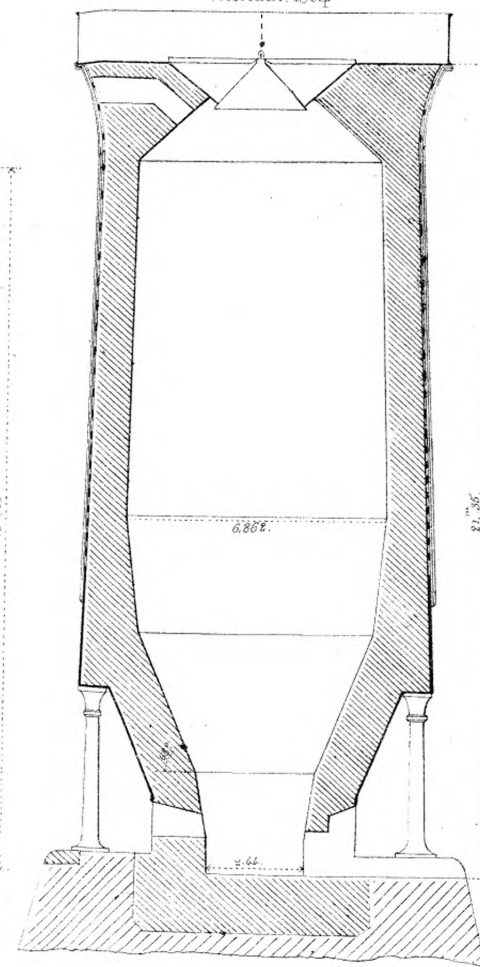
I. Lampes de sûreté brûlant de l'huile minérale ou végétale . . . 470

	Pages.
II. Lampes électriques.	477
III. Indicateurs de grisou	479

PLANCHES 1 A 38.

PLANCHES	1. Hauts fourneaux au coke du district de Cléveland (Angleterre).
—	2. Hauts fourneaux de l'Angleterre.
—	3. Machine soufflante à balancier, système Horse-head, usines de Carnforth (Angleterre).
—	4. Machine soufflante de l'usine de Furness (Angleterre).
—	5. Mines de fer de la Grande-Bretagne. — Hauts fourneaux d'Écosse.
—	6 et 7. Hauts fourneaux suédois, système de M. E. Westman.
—	8 et 9. Usines à fontes suédoises.
—	10. Appareils accessoires des hauts fourneaux suédois.
—	11, 12 et 13. LE CUIVRE : procédés et traitement.
—	14 à 20. Préparation mécanique des minerais et des charbons.
—	21. Machine à vapeur de MM. SULZER, frères.
—	22 et 23. Machine à vapeur de M. HICKS.
—	24, 25 et 26. Machine horizontale de M. VANDENKERCHOVE.
—	27. Phare acoustique de DABOLL. — Machine à air chaud de M. LAUBEREAU.
—	28 et 29. Machine à air chaud de Ph. SHAW.
—	30. Lampes de sûreté.
—	31. Lampe électrique de M. GAIFFE. — Gazoscope de M. CHUARD. — Indicateur de grisou de M. MONNIER.
—	32. Usines à fonte des États prussiens.
—	33. Usine à fonte de Loelling (Carinthie).
—	34, 35 et 36. Hauts fourneaux et appareils Bessemer de Heft en Carinthie.
—	37. Appareils à air chaud, système Wurgler et De-tombay, à sections différentielles.
—	38. Hauts fourneaux russes, belges, italiens et américains.



Fig. 1.
Ormesby, 1855.Fig. 2.
Jarrow, 1856.Fig. 3.
Normanby, 1860.Fig. 4.
Thornaby, 1862.Fig. 5.
Acklam, 1864.

Echelle de 1/100.

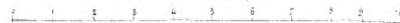
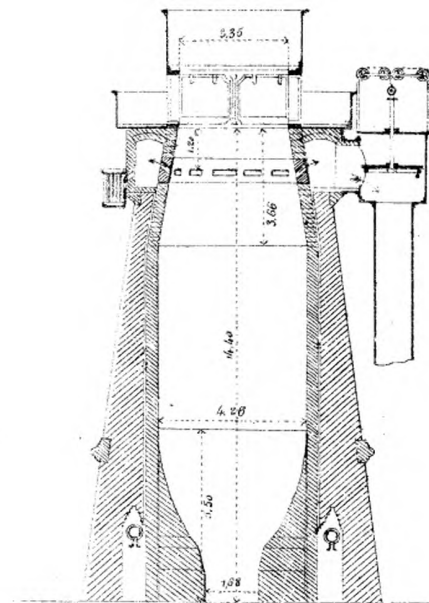


Fig. 5.
Usine de Rough-Ray, à Darlaston.
(Staffordshire.).



Detail des carreaux de prise de gaz
à Rough Hay.

Echelle de 0.025
pour les détails.

Fig. 1 et 2. Elevation et plan d'ensemble.

Fig. 1.

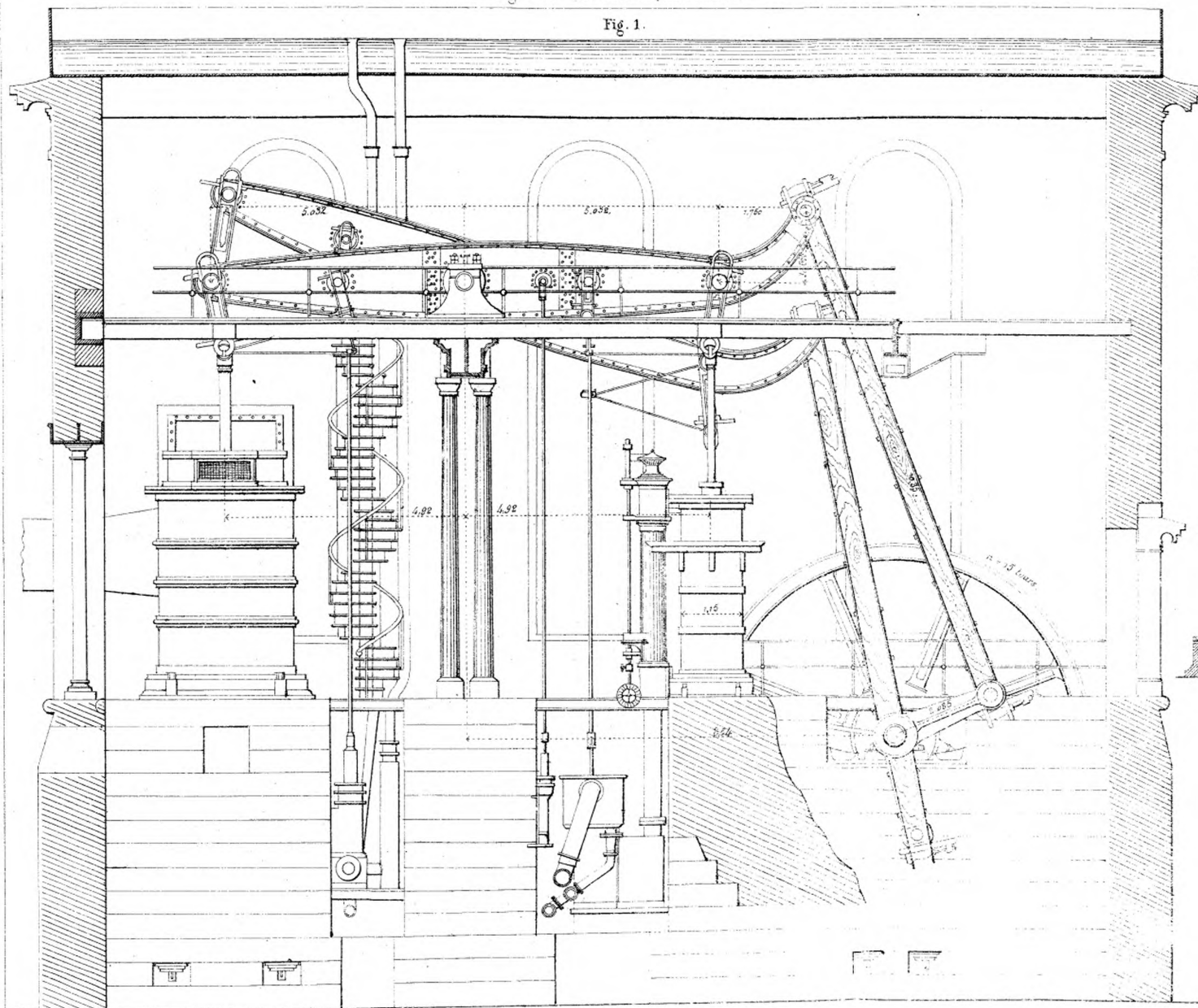


Fig. 2.

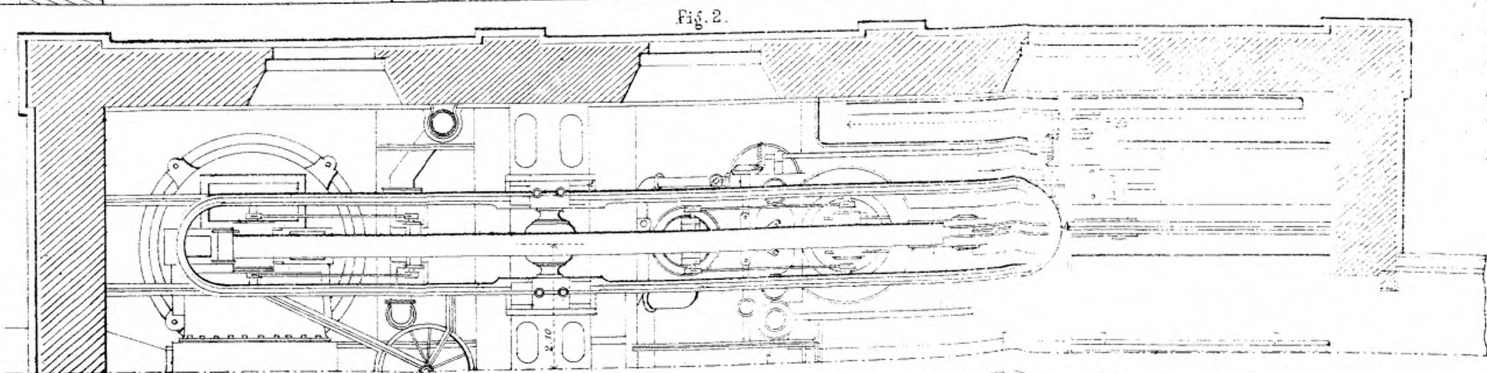


Fig. 3 et 4. Detail des cylindres soufflants.

Section d'aspiration - 1786.

Section de refoulement - 0^m.98.

Fig. 3.

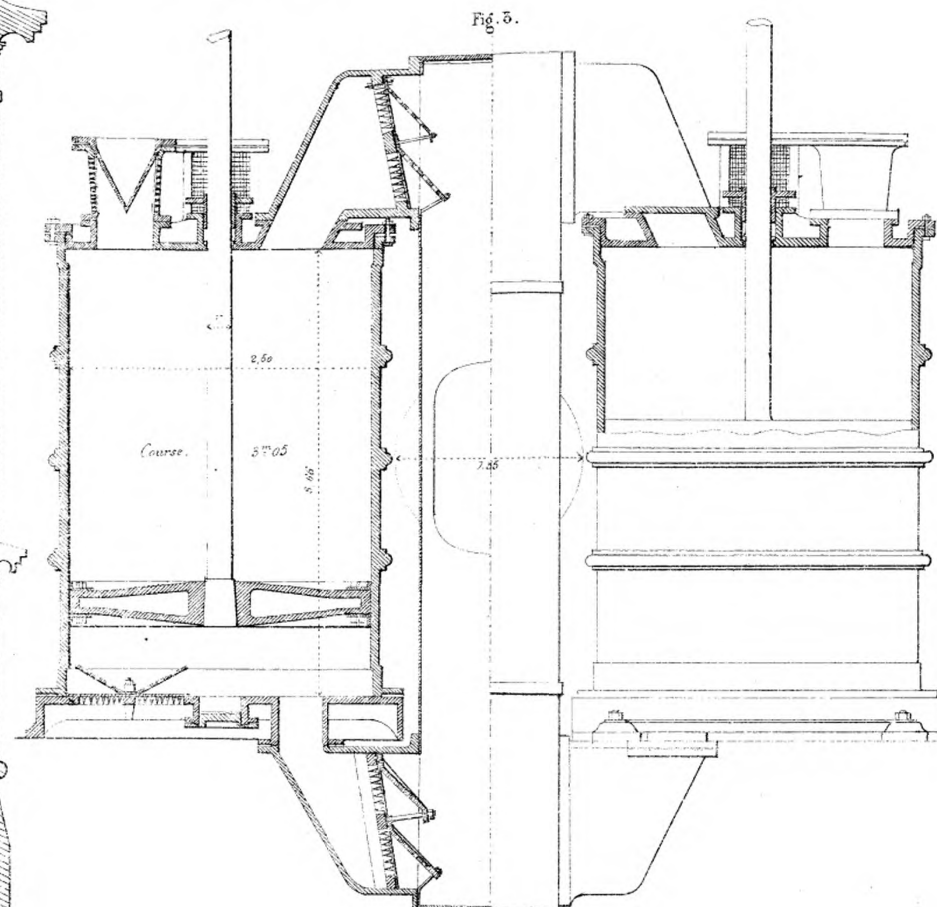
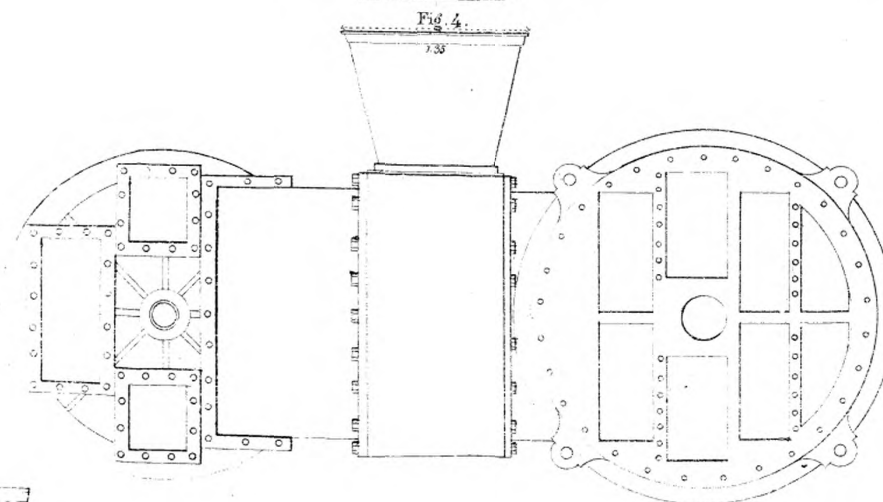
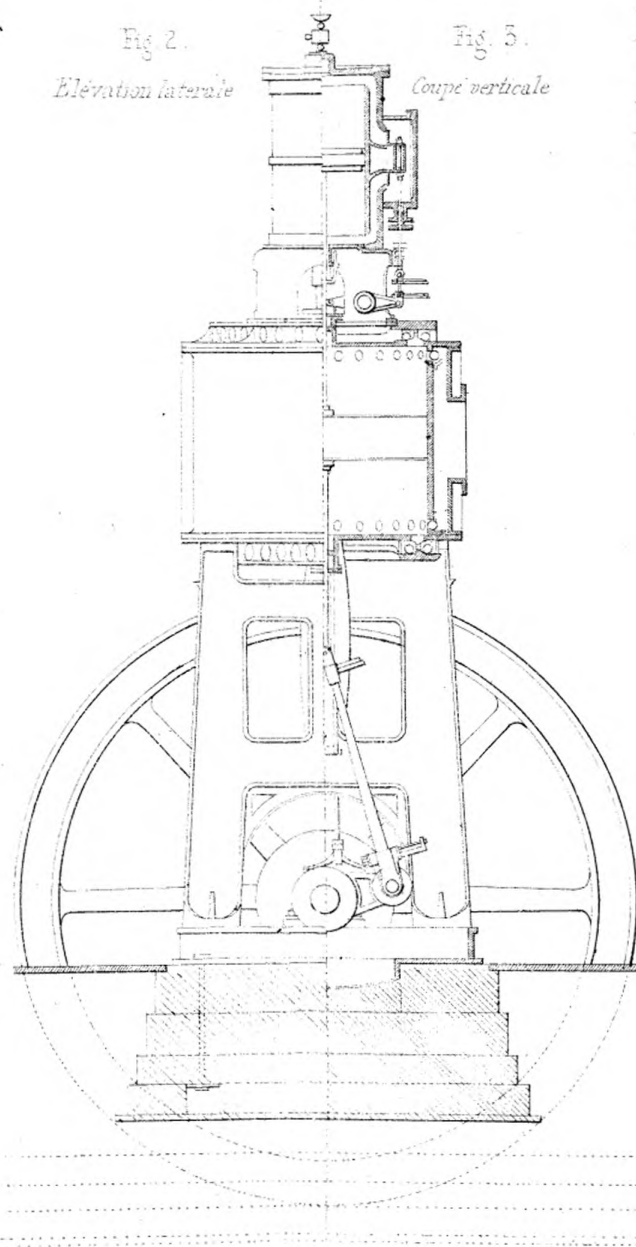
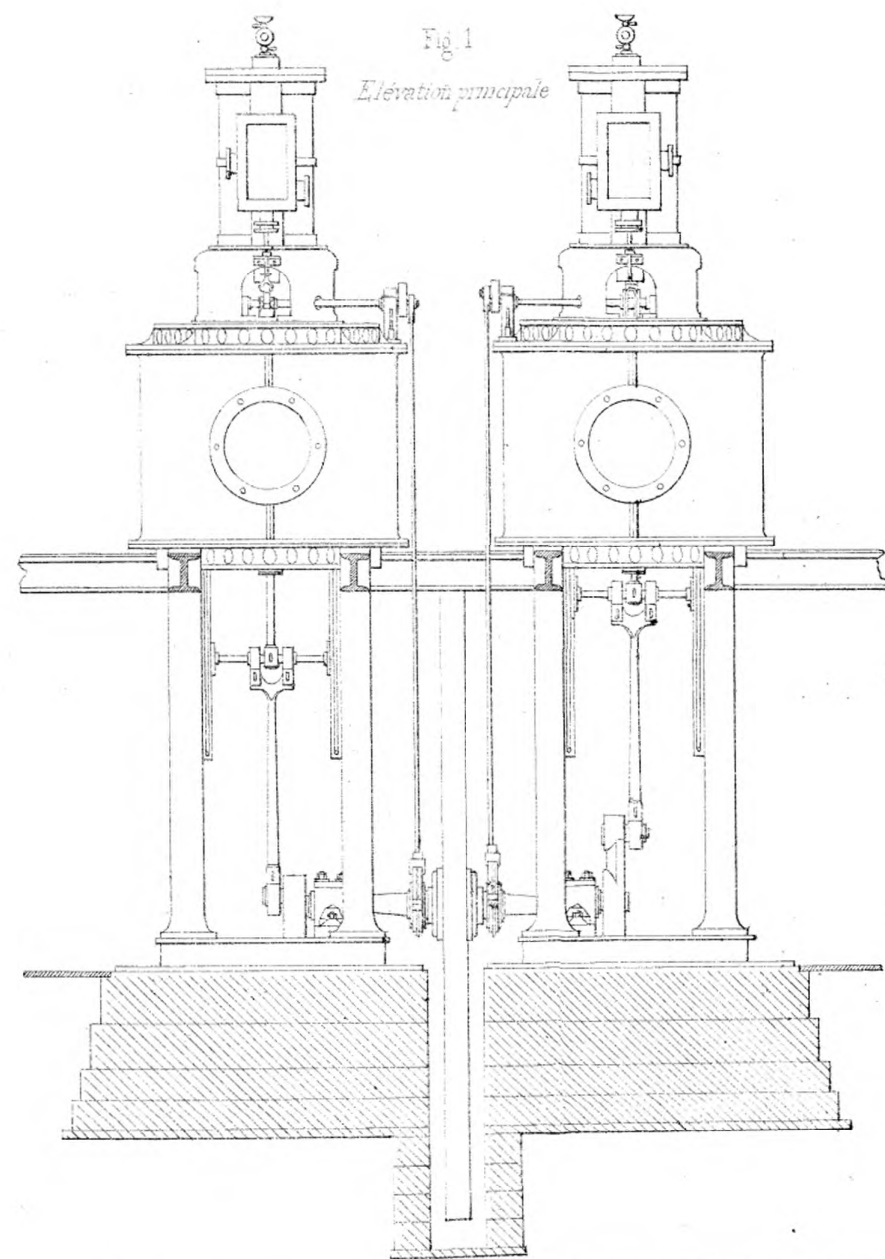


Fig. 4.

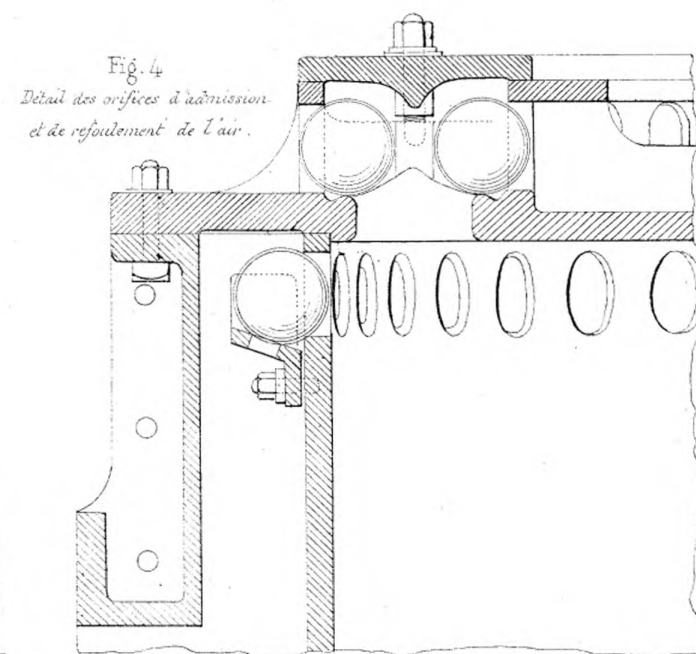


SYSTÈME COULTHARD



Données des machines

Diamètre des cylindres à vapeur	0.70
Diamètre des cylindres soufflant	1.95
Course des pistons	1.22
Espace nuisible, à chaque extrémité	0.025
Diamètre des boulets	0.125
Poids d'un boulet environ	400 ^{kg}
Surface totale d'admission pour chaque cylindre	0.6360
Surface totale de refoulement	0.4372



Effet d'une machine.

Section cumulée des bases	0.0500
Nombre de tours	36
Pression du vent en centimètres de mercure	23
Pression de la vapeur	4 at. 2

Chaque machine souffle un haut fourneau de 21^m de hauteur et 5^m de diamètre au ventre.

Fig. 1. Coupe du bassin houiller de Glasgow, 1500.

Fig. 2. Coupe des couches de Cleveland.

Fig. 4. Coupe des couches de Whitby.

Fig. 5. Coupe des couches de Lincolnshire.

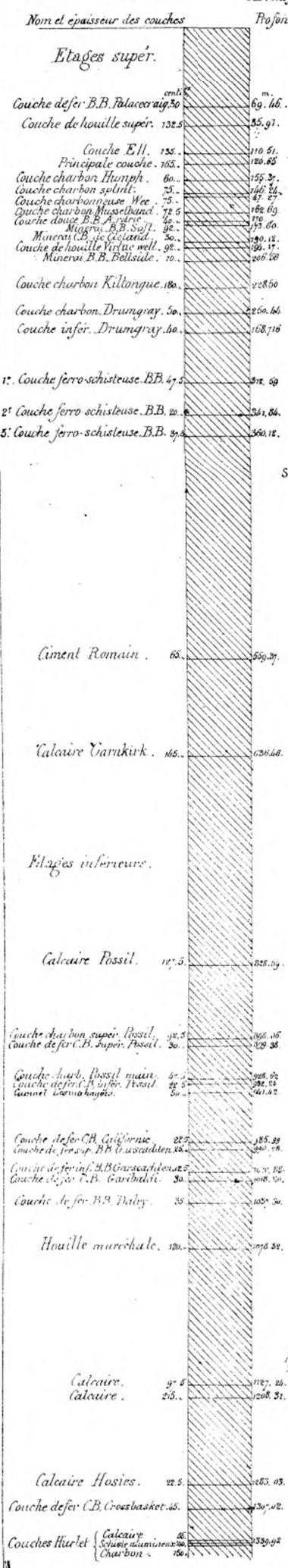


Fig. 7. Gisement d'hématite rouge à Frizington (District des Lacs).

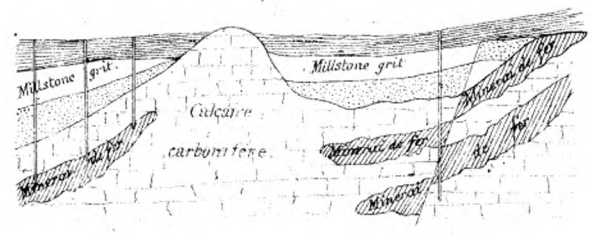


Fig. 3. Coupe prise aux mines de fer d'Eston (Cleveland).

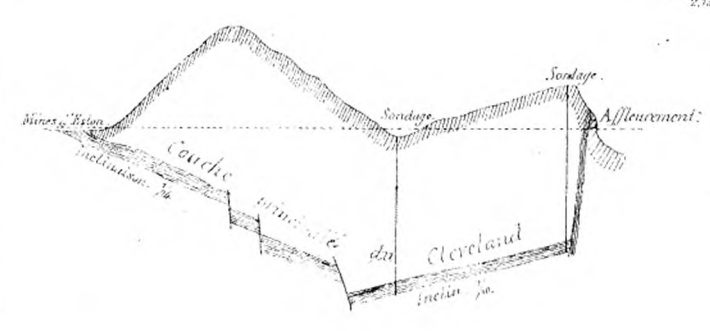


Fig. 6. Coupe du gisement d'hématite de Lantrissant.



Fig. 11. Disposition de l'usine de Kirkless Hall.

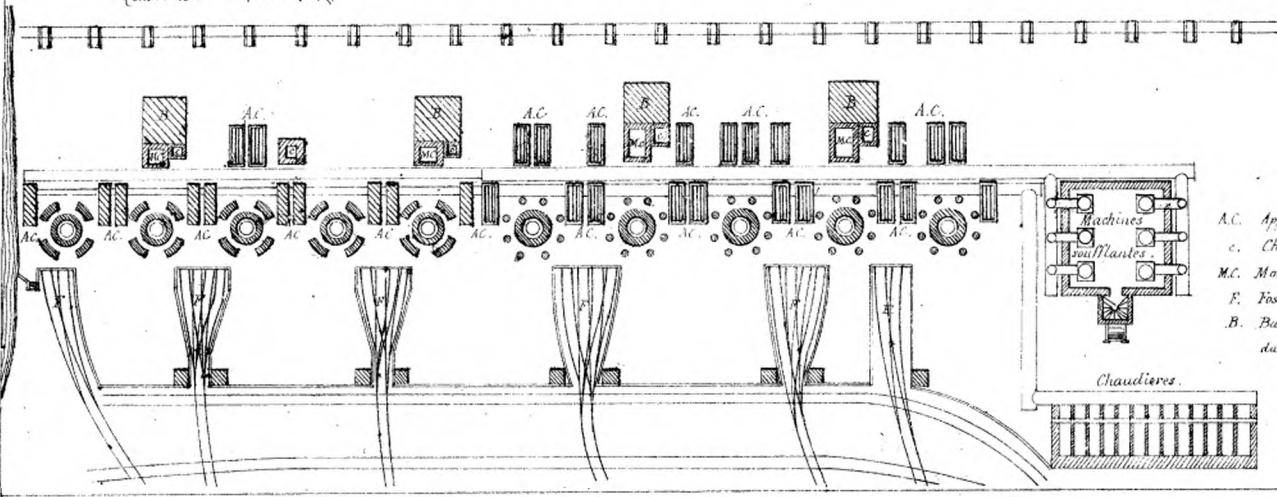


Fig. 8. Ancien h^e fourneau de Gartscherrie.

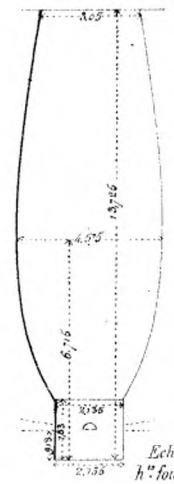


Fig. 10. H^e fourneau de Langloan.

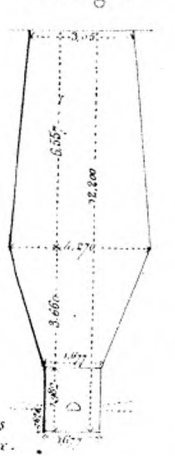


Fig. 9. Nouveau h^e fourneau de Gartscherrie.



Fig. 4. Coupe verticale par l'embrasure de coulée.

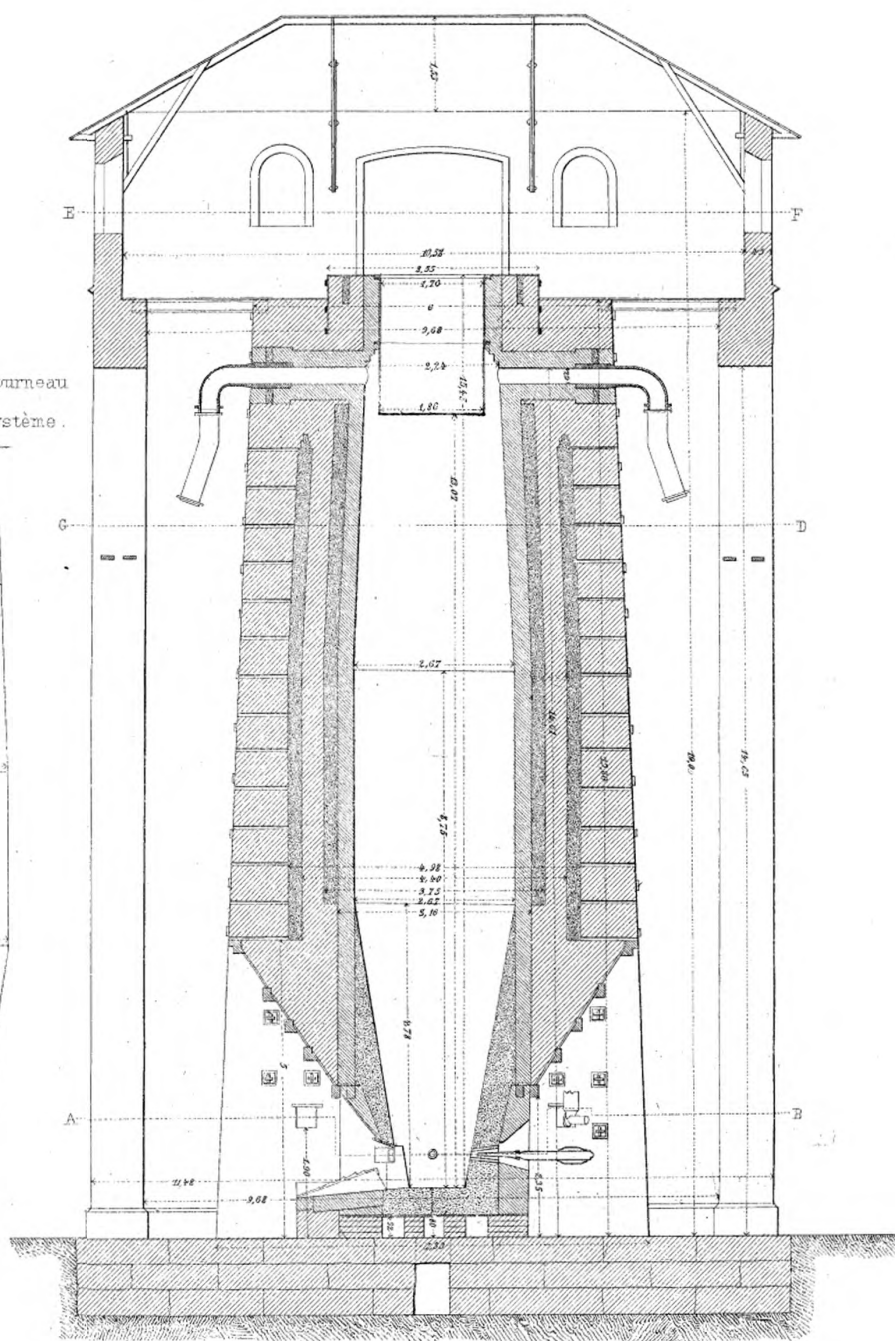


Fig 6 Profil du h^t fourneau
de Farnas même système.



Fig. 5. Coupe horizontale suivant AB.

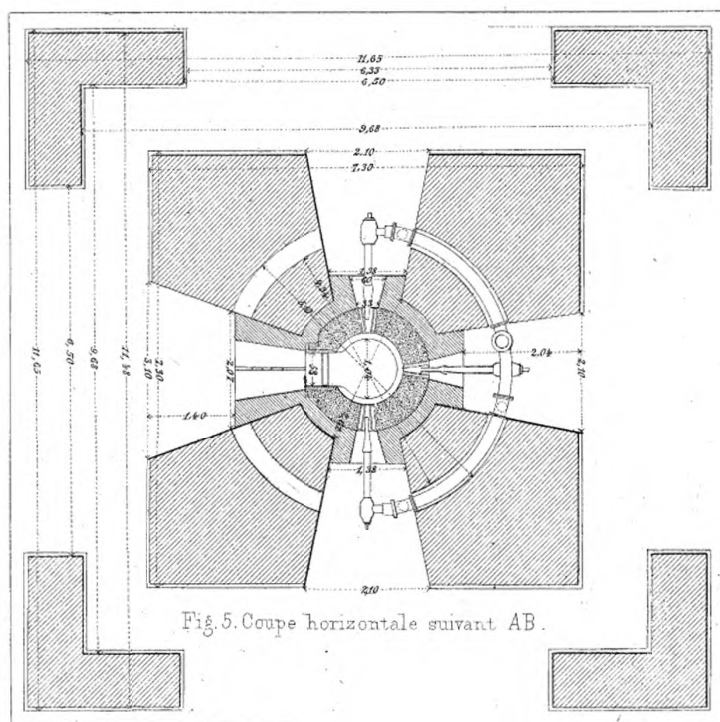
Echelle de 0³³ 01

Fig. 1.

Elevation Face de coulee.

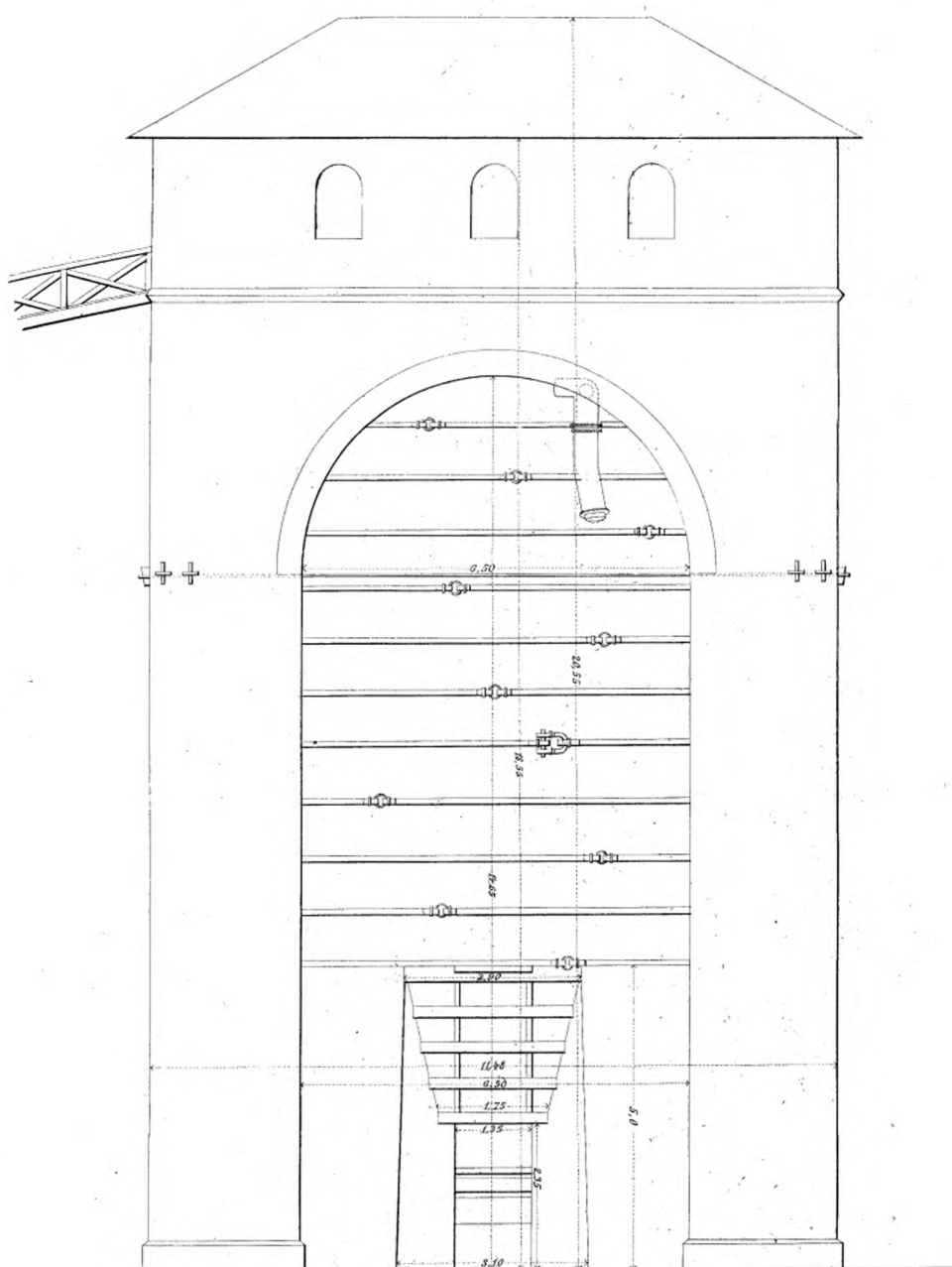
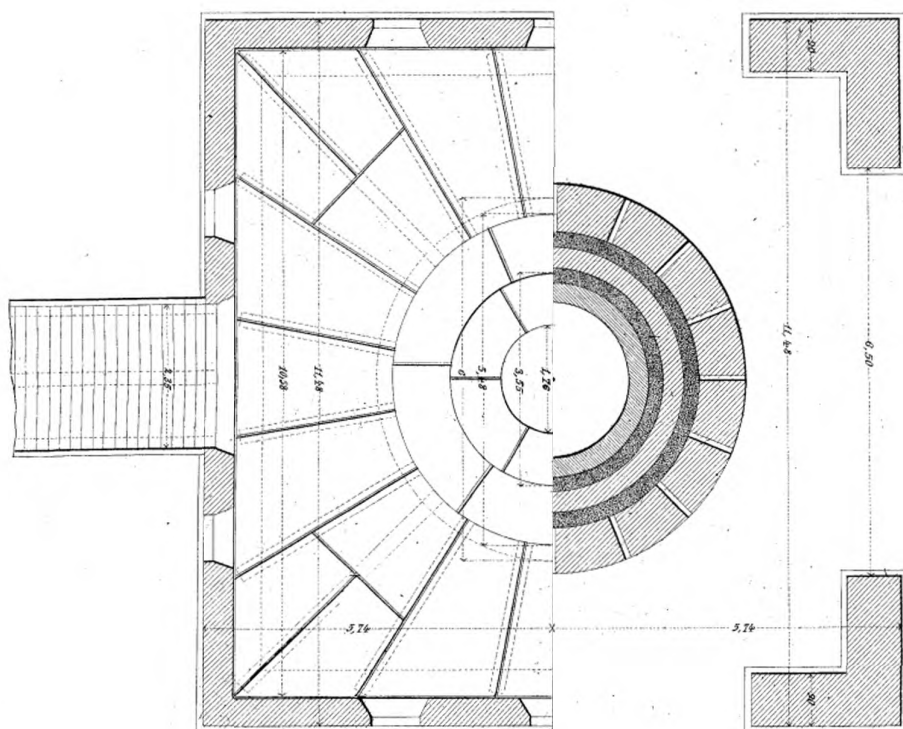
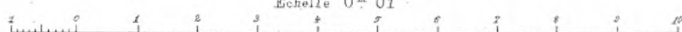


Fig 2 Coupe suivant EF.

Fig 3 Coupe suivant CD.



Echelle 0^m 01



Haut fourneau de Langshytte.



Echelle de 0m008.

Fig 2 Coupe verticale suivant EF.

Plan du haut fourneau

De Langshytte

construit d'après

M^r. H. Steffanson
en 1859

en, 1859

Echelle de 0°008

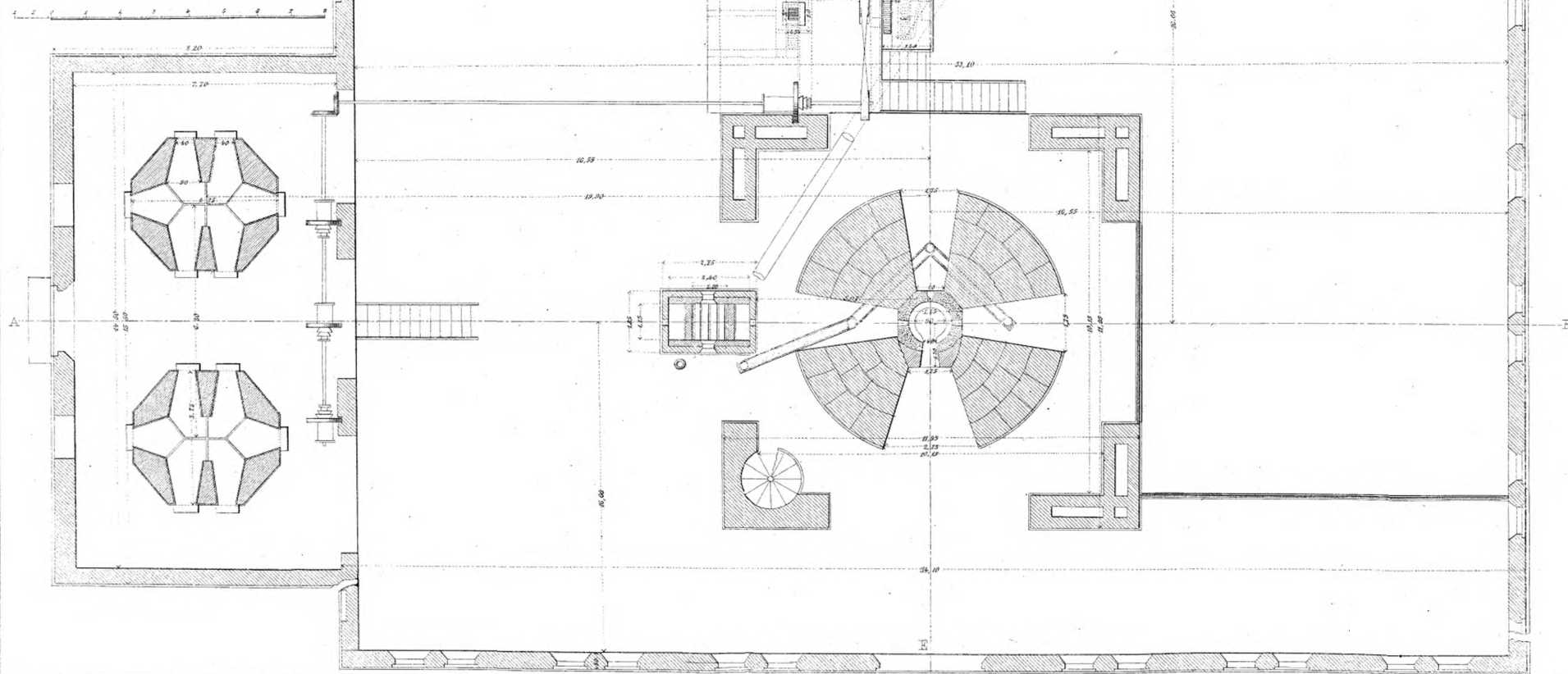


Fig 1 et 2 Four a griller
les mineraux au gaz
par Westman
Echelle de 1/20

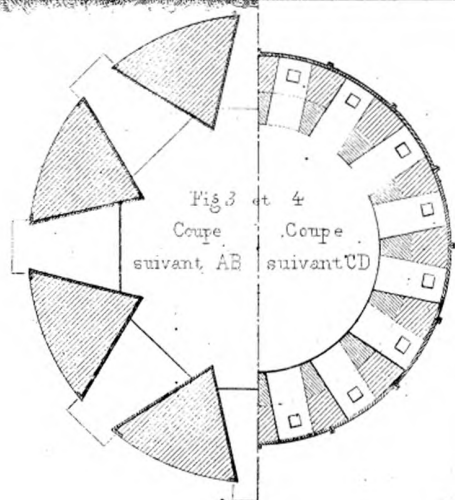
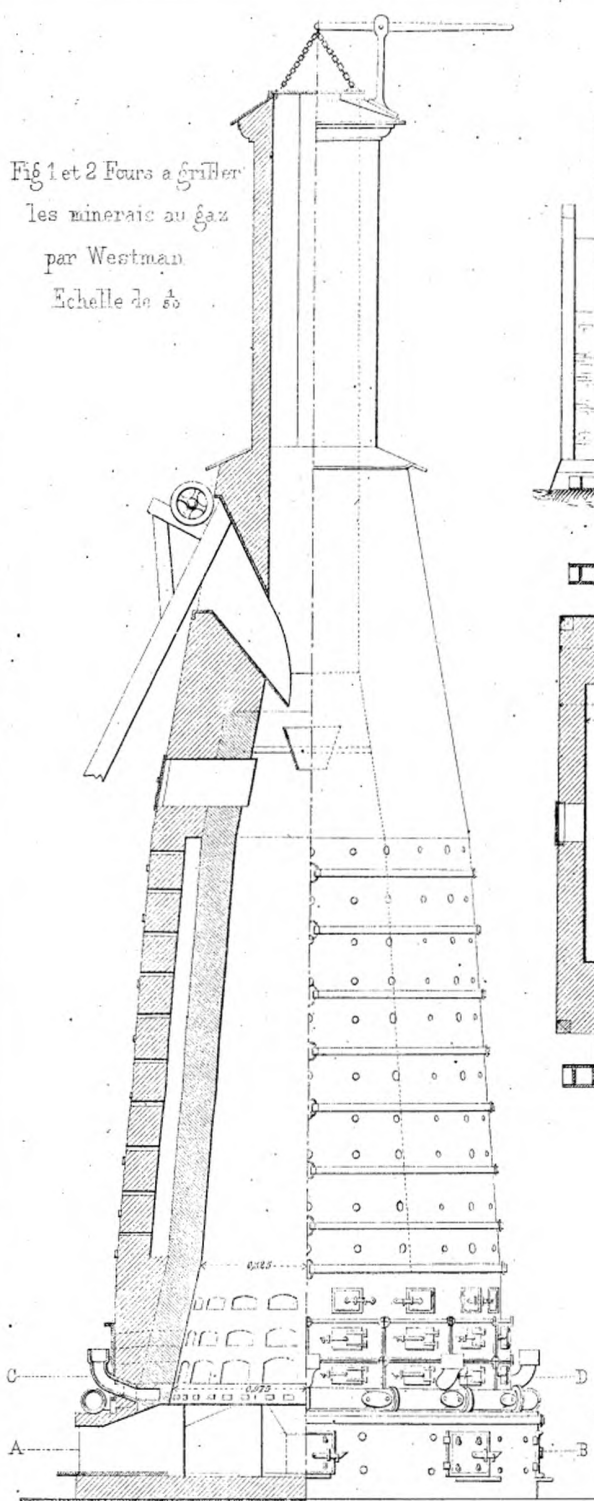
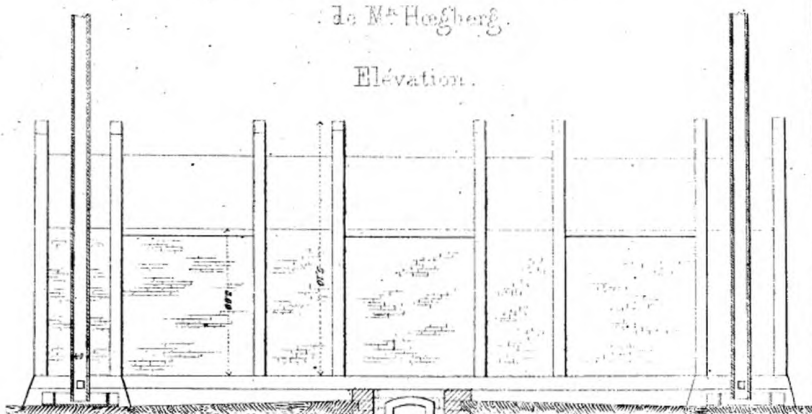


Fig 10 et 11 Détails du piston.



Echelle des Fig 10 et 11 0^{me} 03

Fig 5.
Four a carboniser le bois a Moviken
de M^r Högberg.
Elevation.



Echelle de 0.005

Fig 6. Plan.

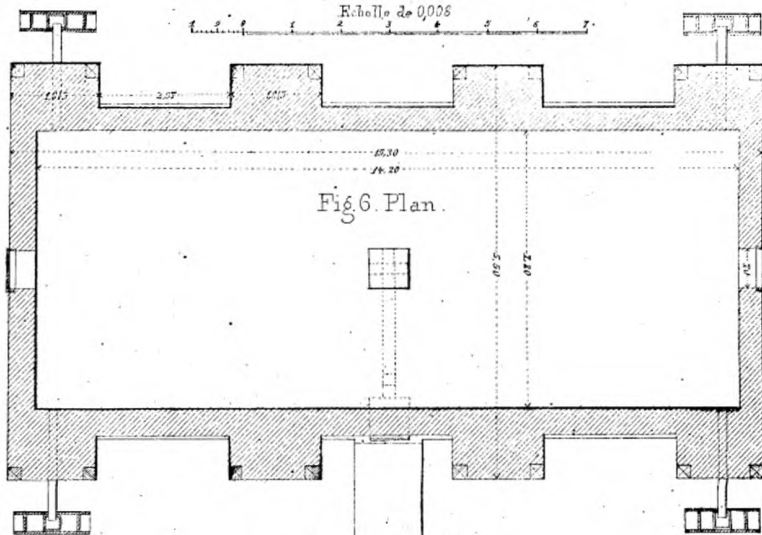
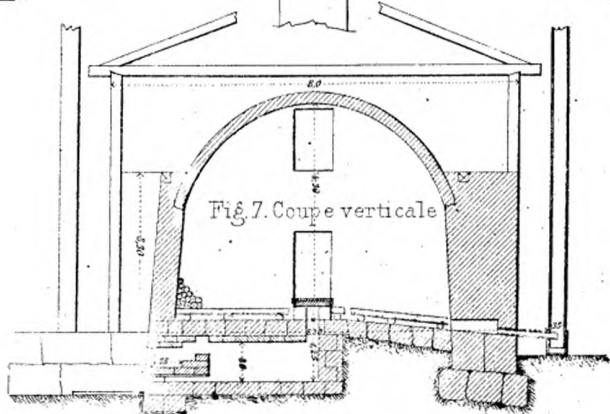


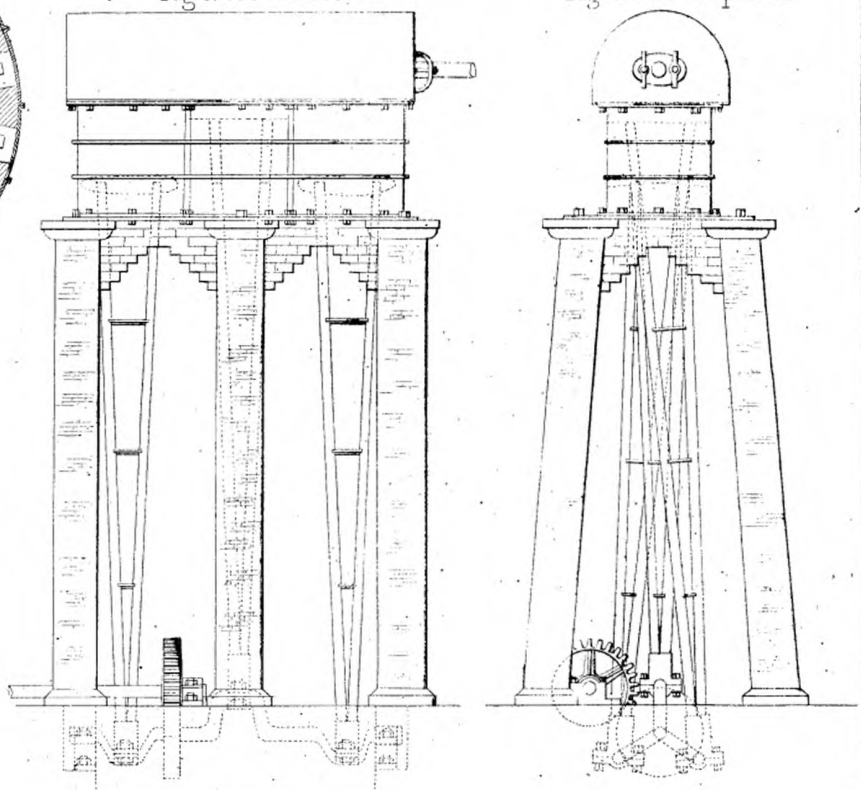
Fig 7. Coupe verticale



Scufflerie suédoise
Système Holmgren de Sala

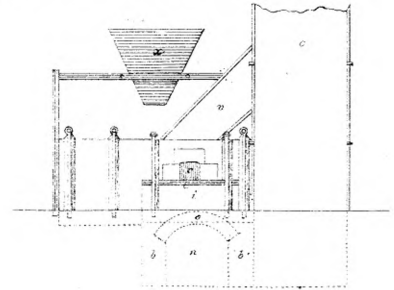
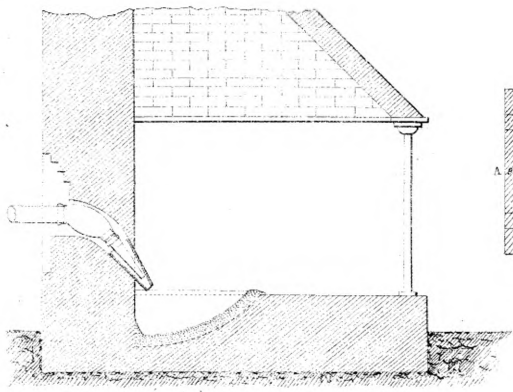
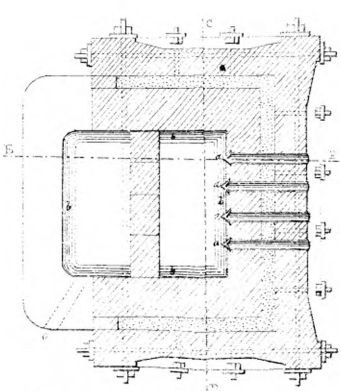
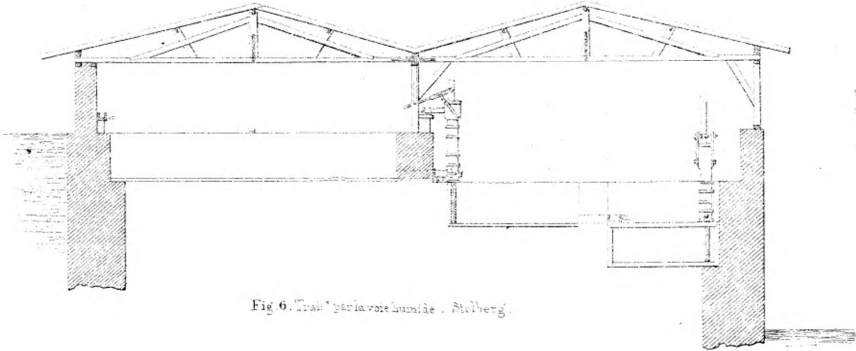
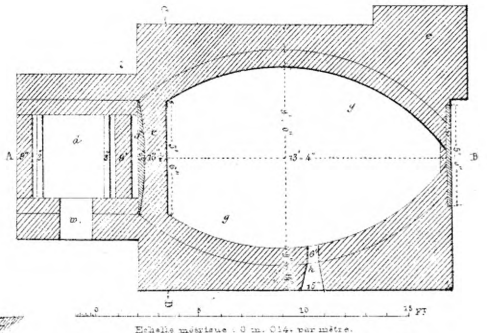
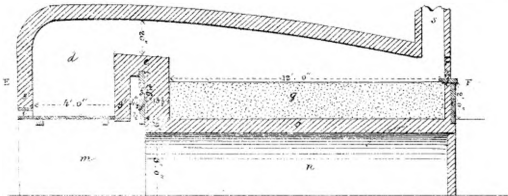
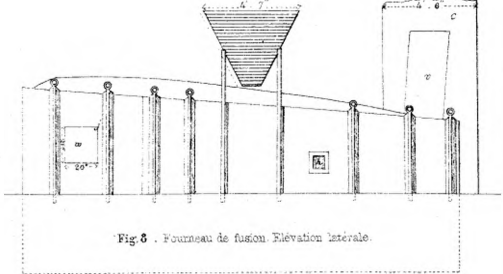
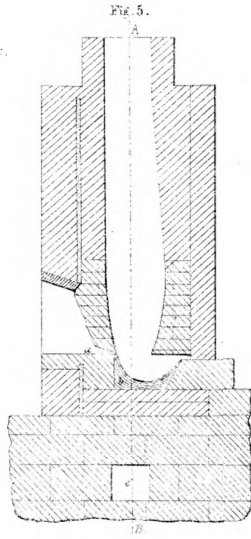
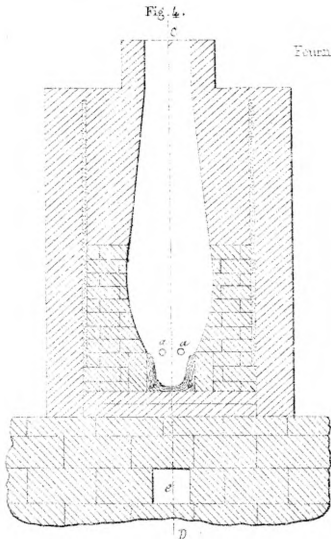
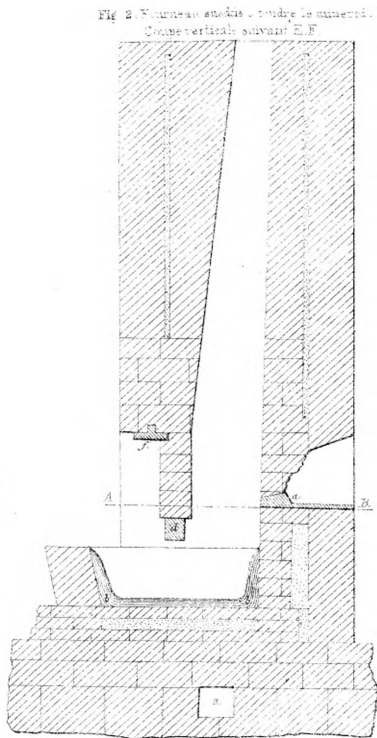
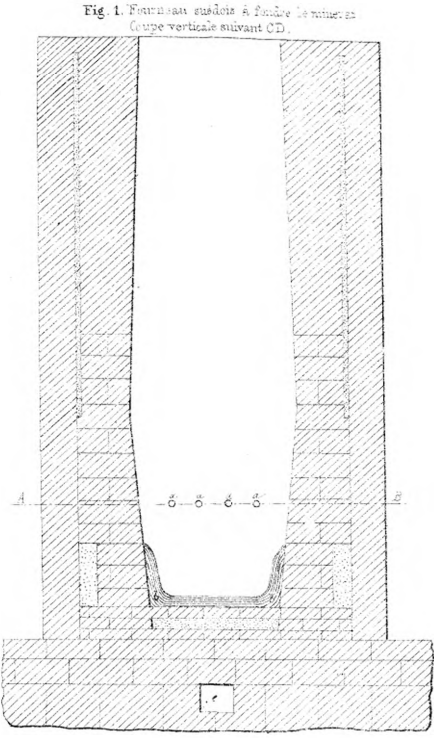
Fig 8. Vue de face.

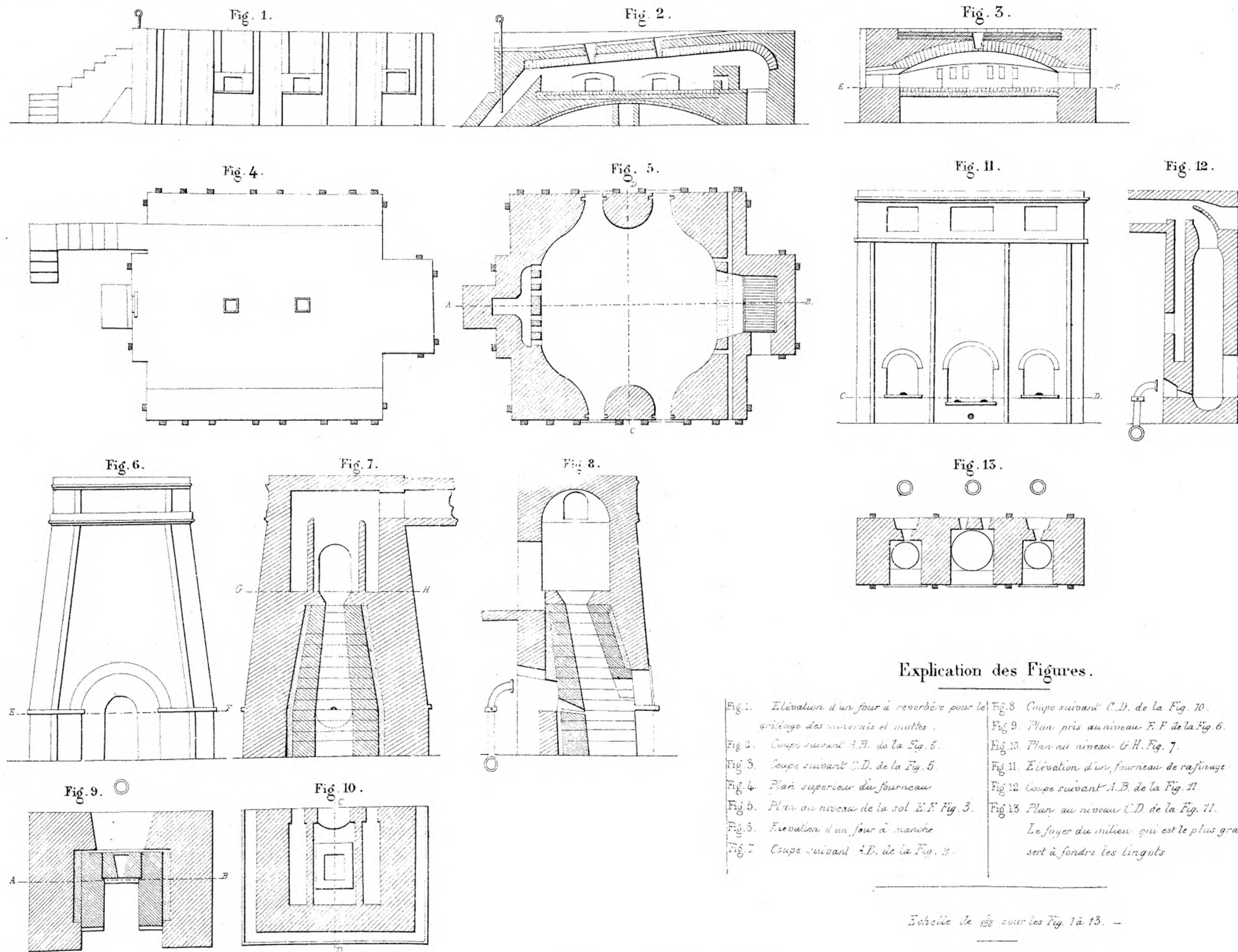
Fig 9. Vue de profil.



Echelle des Fig 1 et 2 3 et 4 0^{me} 02

Echelle des Fig 8 et 9 0^{me} 05 p.m.





Explication des Figures.

- Fig. 1. Elevation d'un four à reverberaire pour le grillage des minerais et mattes.
 Fig. 2. Coupe suivant A.B. de la Fig. 1.
 Fig. 3. Coupe suivant C.D. de la Fig. 1.
 Fig. 4. Plan supérieur du fourneau.
 Fig. 5. Plan au niveau de la sol E.F. Fig. 1.
 Fig. 6. Elevation d'un four à manche.
 Fig. 7. Coupe suivant G.H. de la Fig. 6.
 Fig. 8. Coupe suivant C.D. de la Fig. 6.
 Fig. 9. Plan pris au niveau E.F. de la Fig. 6.
 Fig. 10. Plan au niveau G.H. Fig. 6.
 Fig. 11. Elevation d'un fourneau de raffinage.
 Fig. 12. Coupe suivant A.B. de la Fig. 11.
 Fig. 13. Plan au niveau C.D. de la Fig. 11.
- Le foyer du milieu qui est le plus grand sert à fondre les lingots

Echelle de 1/50 pour les Fig. 1 à 13. —

Grillage des Minerais sulfurés.

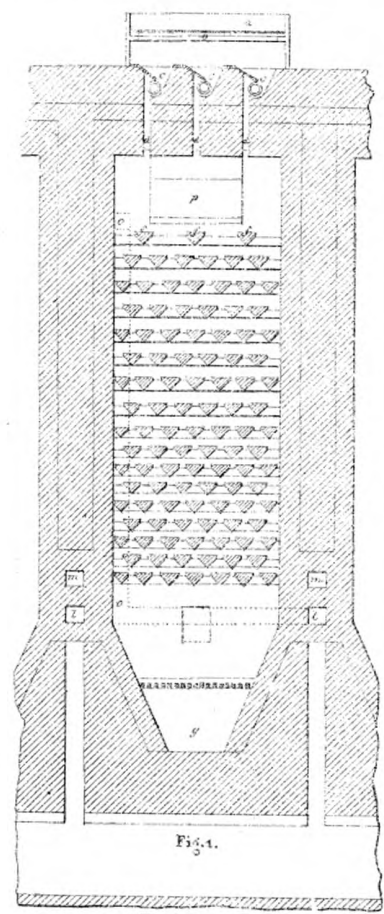


Fig. 1.

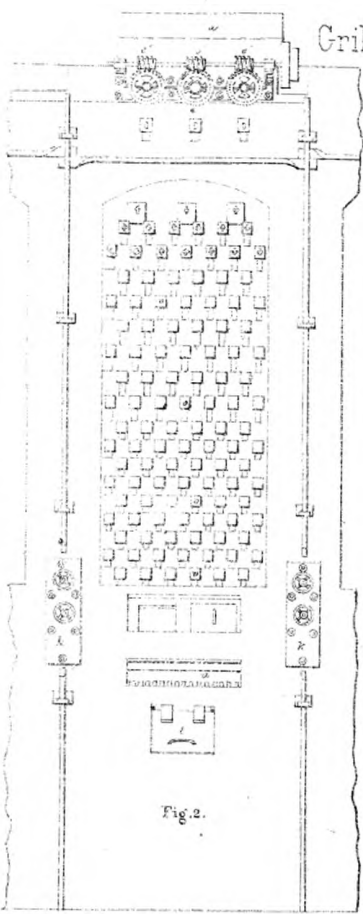


Fig. 2.

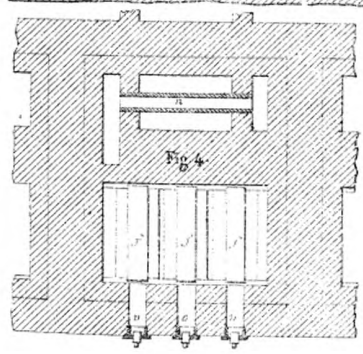


Fig. 3.

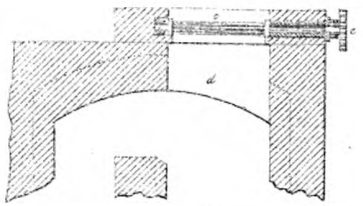


Fig. 4.

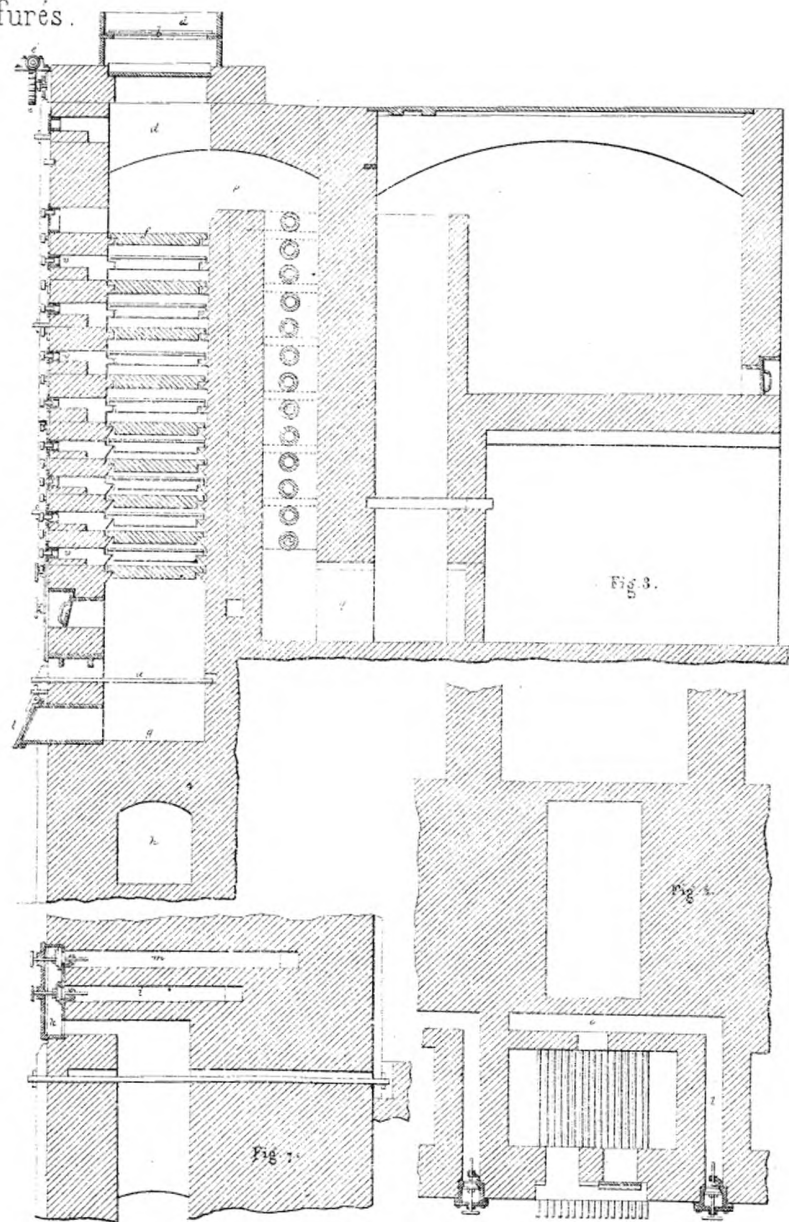


Fig. 5.

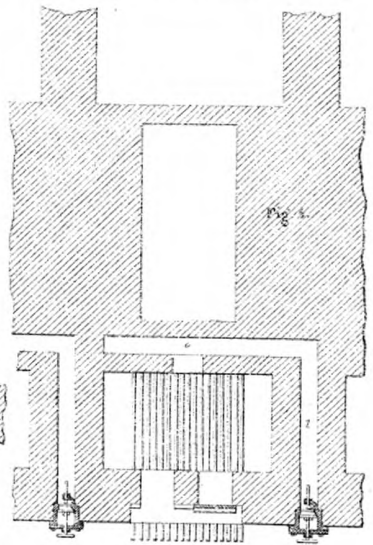


Fig. 6.

Lavoirs à Schlamms de la Nouvelle-Montagne.

Fig. 1 Lavoirs à Schlamms d'Engis. Plan.

Echelles Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, - $\frac{1}{30}$
Fig. 8. - $\frac{1}{3}$
Fig. 10, 11. - $\frac{1}{64}$.

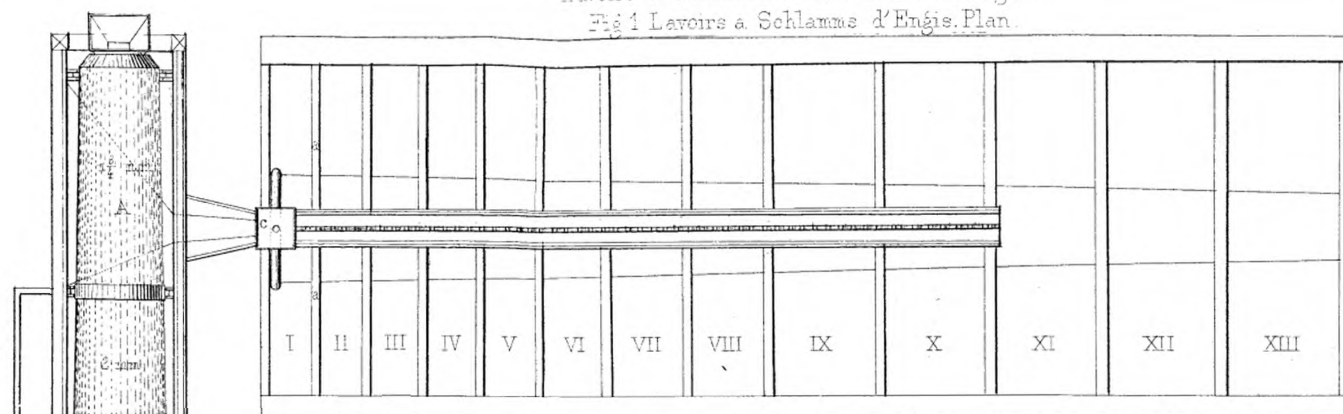
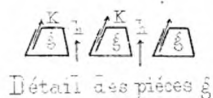
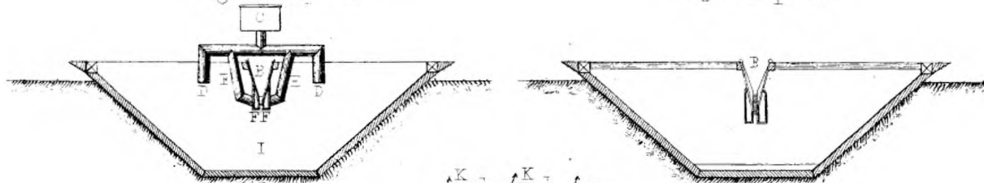


Fig. 3. Coupe ab.

Fig. 4. Coupe cd.



Détail des pièces g.

Fig. 2. Coupe longitudinale.

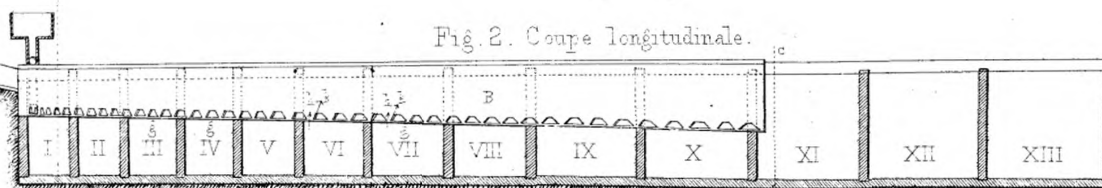


Fig. 5. Lavoir à Schlamms de la Mallesue Coupe longitudinale.

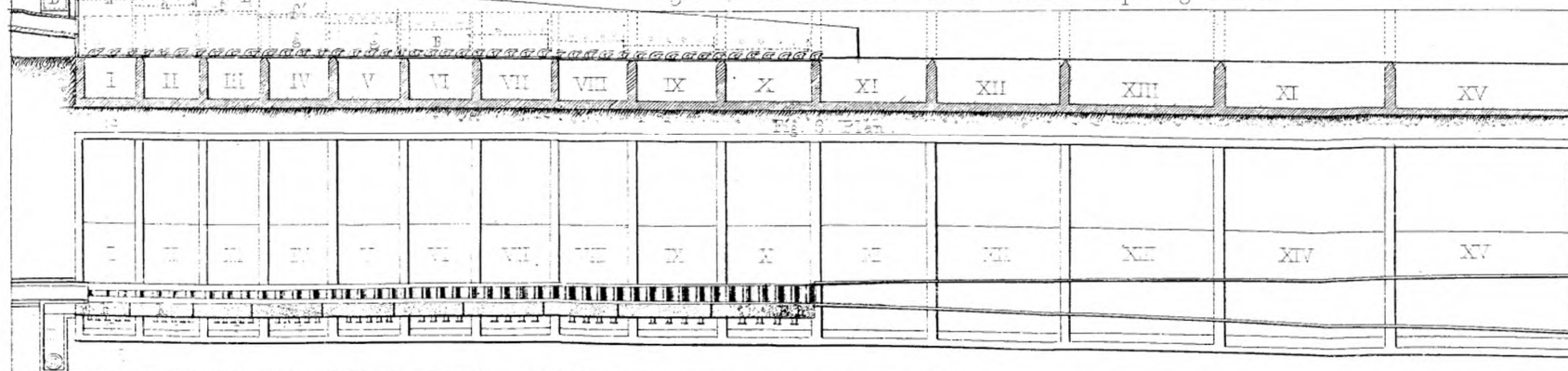


Fig. 6. Plan.

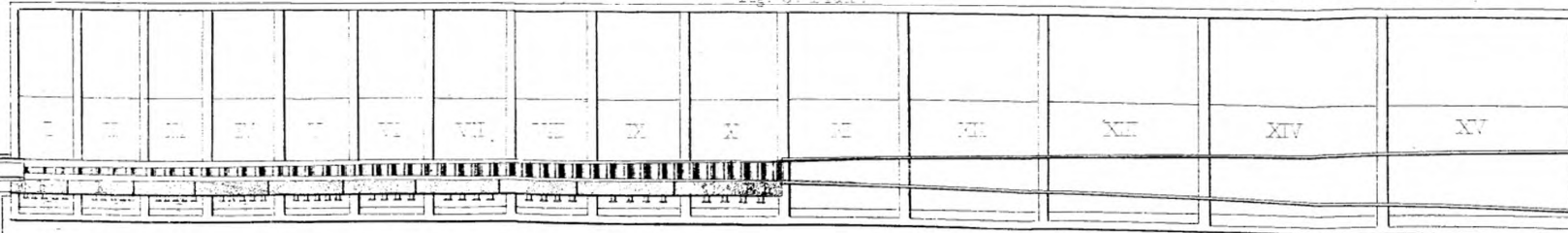


Fig. 10.

Appareil à courant ascensionnel de Mechernich.

Fig. 9.

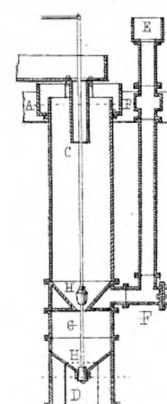


Fig. 8.

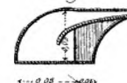
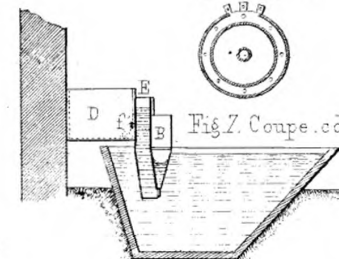


Fig. 11. Coupe AB.



Fig. 7. Coupe cd.



Classificateur à cascade double
de M. E. Bittinger (Schlennitz)

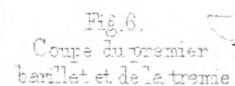
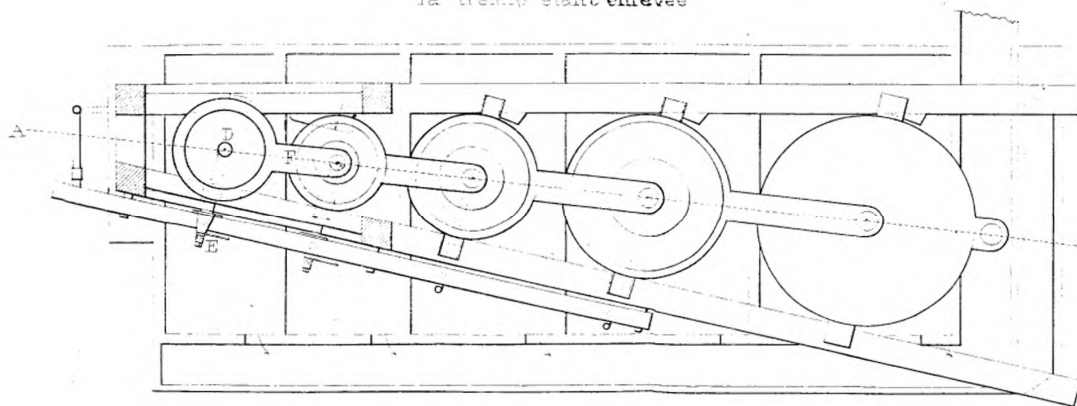
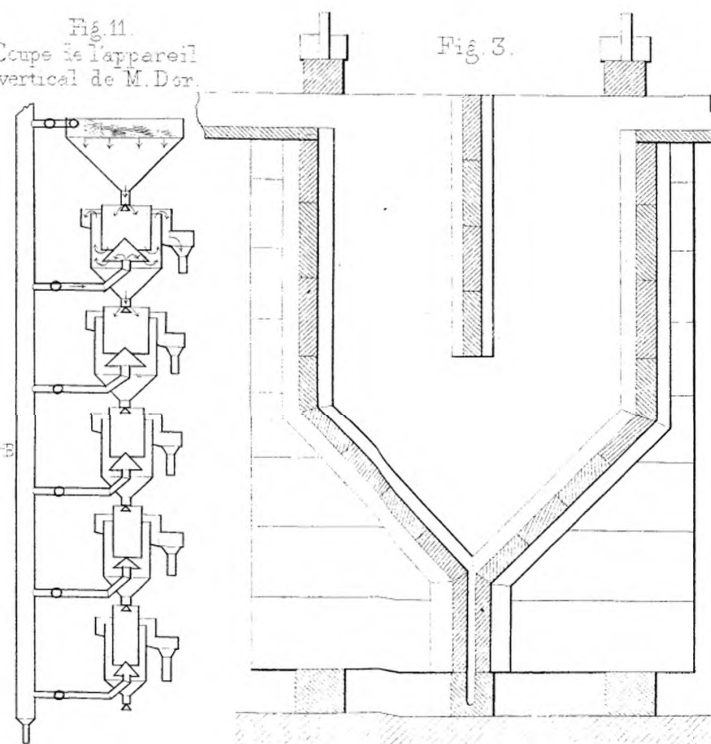


Fig. 11.
Coupe de l'appareil
vertical de M. Dor.

Épave Plan de l'appareil à disques de M. Dor,
la trémie étant enlevée


$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{4, 2, 3}{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11} = \frac{1}{20}$$


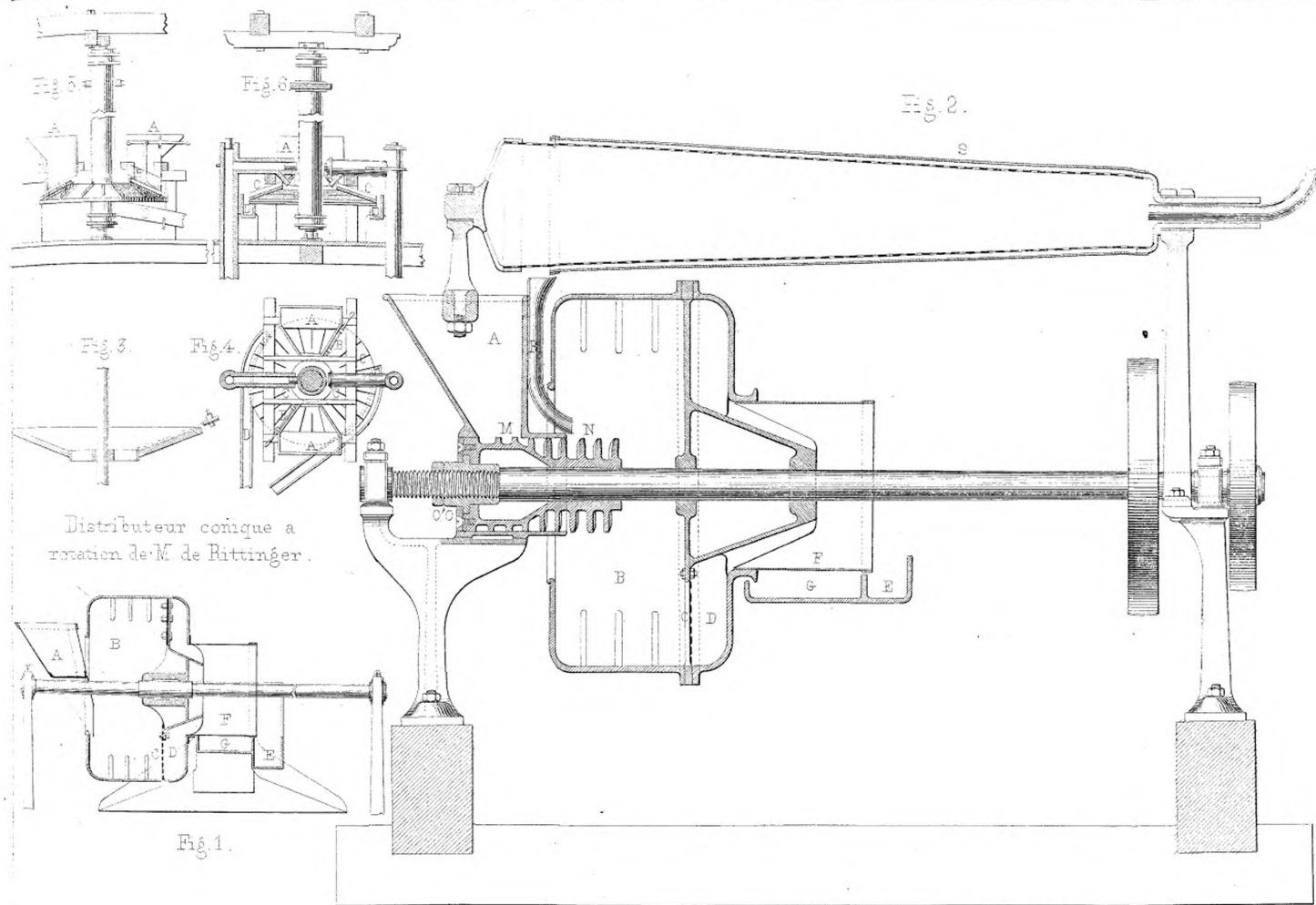
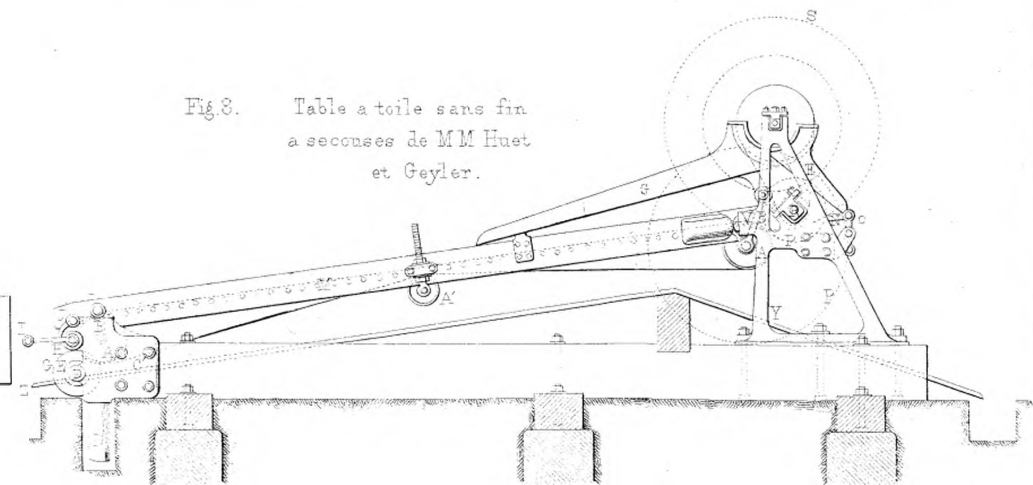
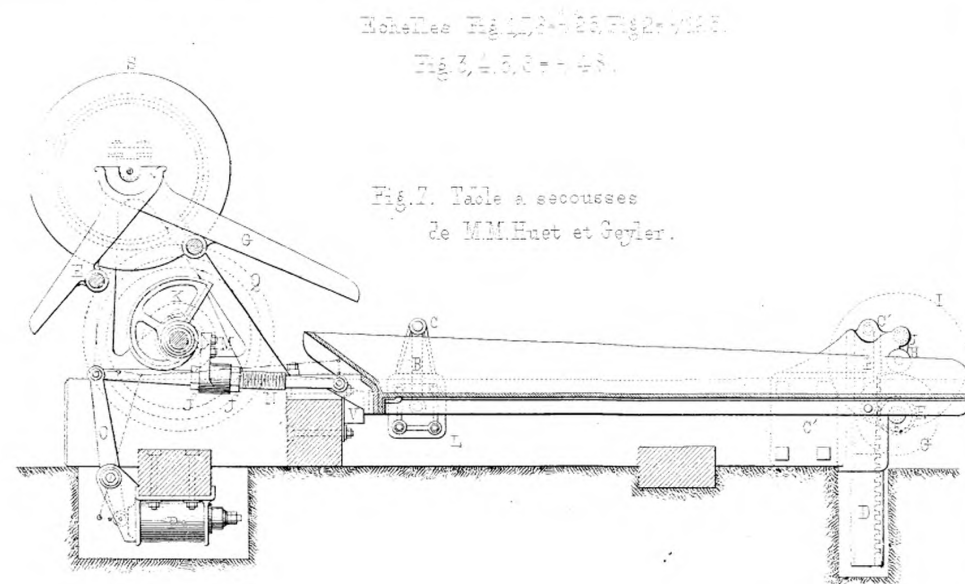
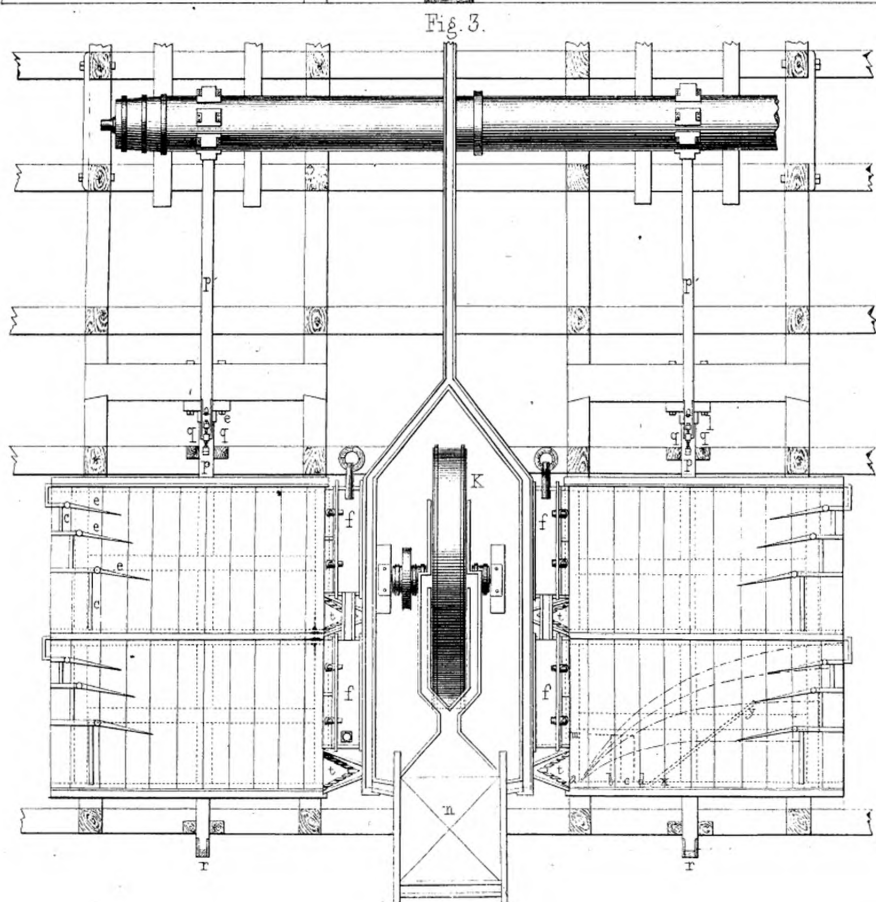
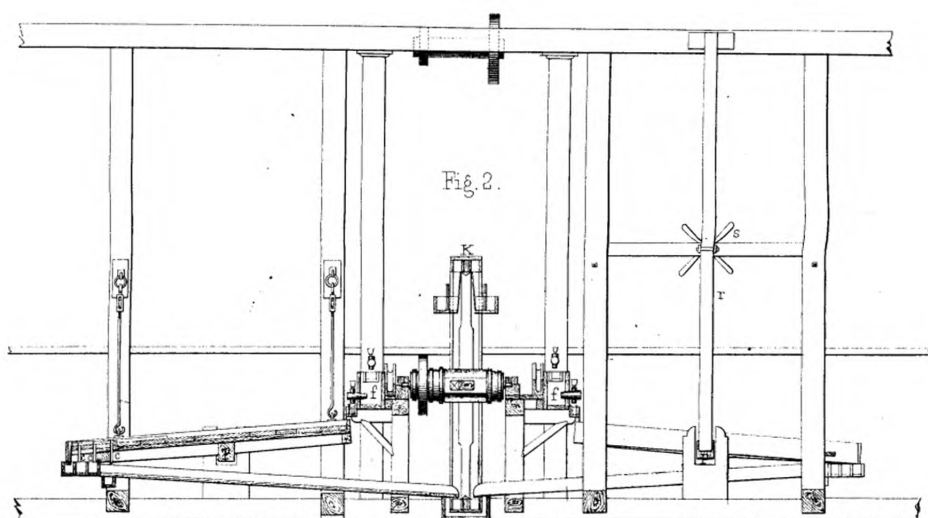
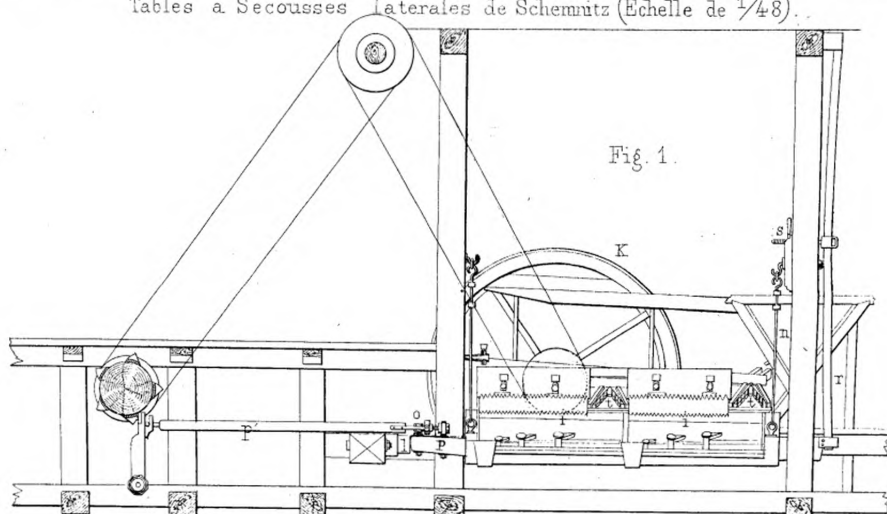


Fig. 1 et 2. Livres-Distributeurs de MM. Huet et Geyler.



Tables a Secousses laterales de Schemnitz (Echelle de $\frac{1}{48}$)



Tables tournantes convexes et concaves de M.M. Huet et Geyler.

Fig. 1. Table convexe.

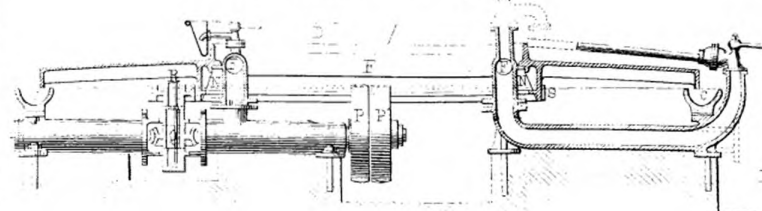


Fig. 3. Table concave.

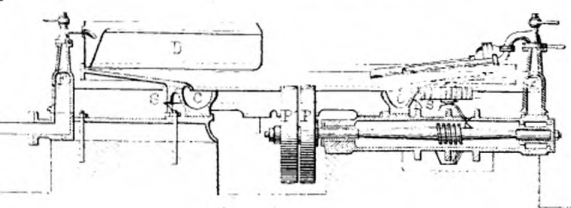


Fig. 2.

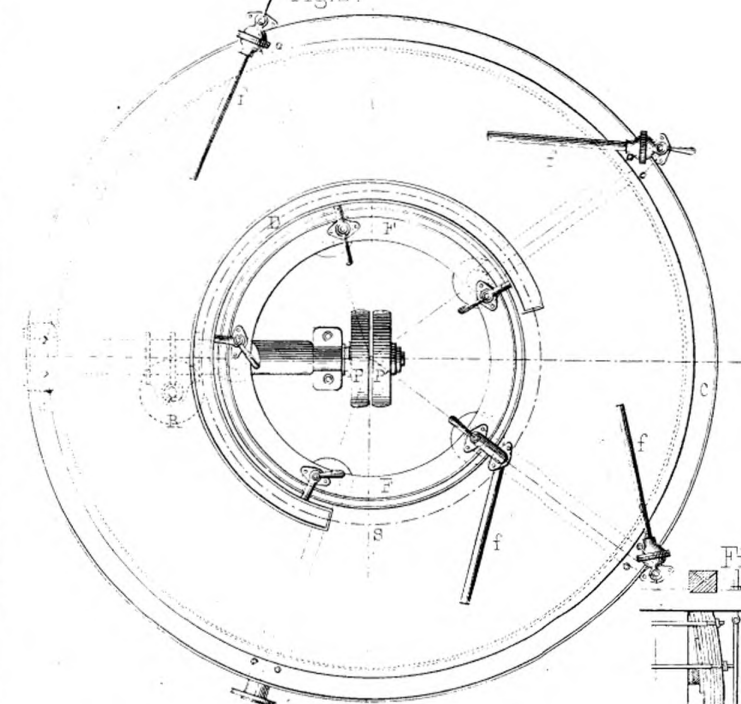


Fig. 4.

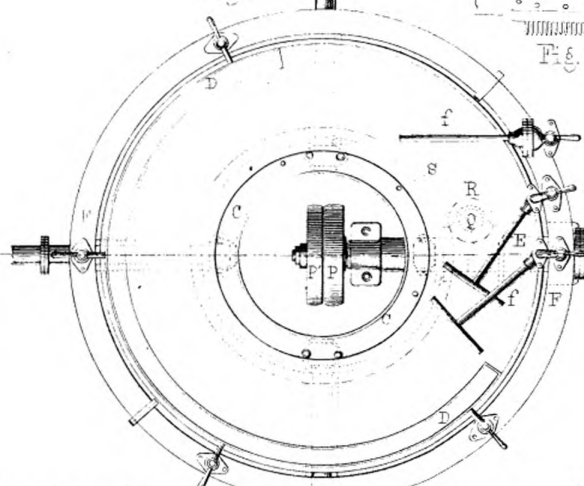
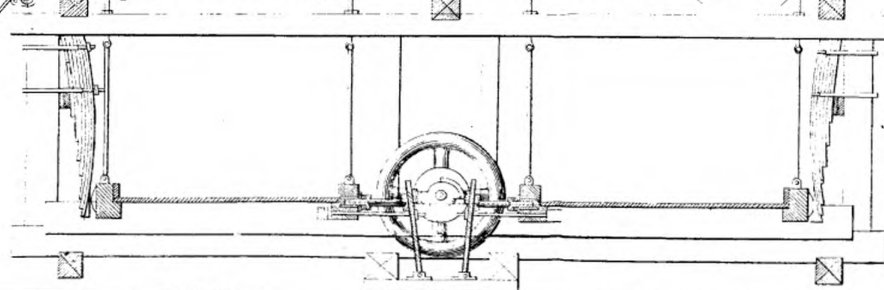


Fig. 7.

Fig. 10. Table Rittinger

du Dam (Anvers)



Echelles: Fig. 1, 2, 3, 4 = $\frac{1}{5}$
 5, 6, 9 = $\frac{1}{4}$
 7, 8 = $\frac{1}{2}$

Table tournante concave de M. de Bismarck (Schernitz).

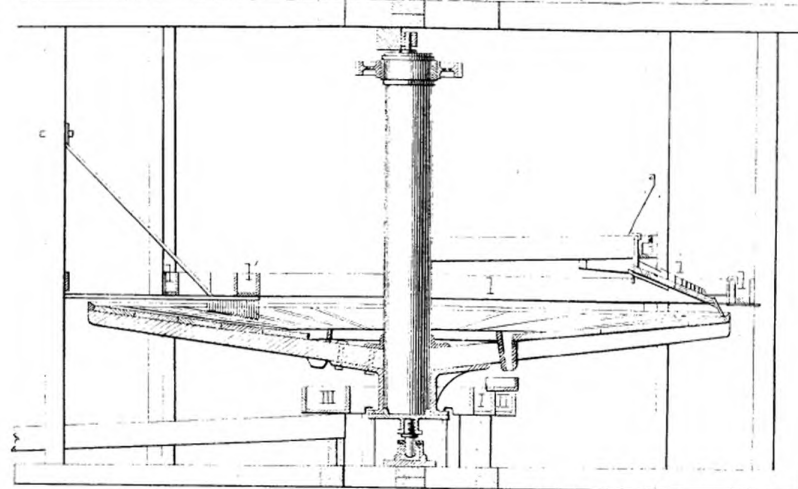


Fig. 5.

Fig. 8.

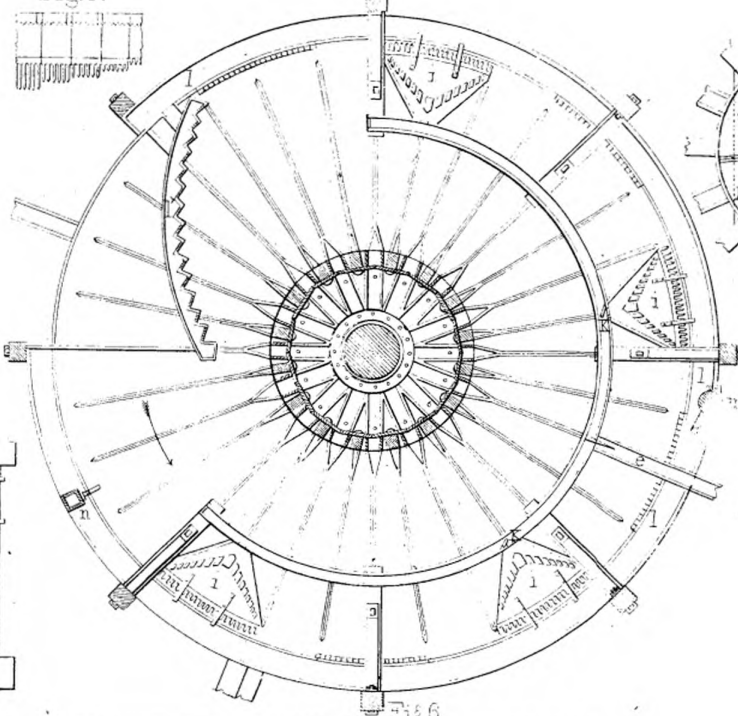


Fig. 9.

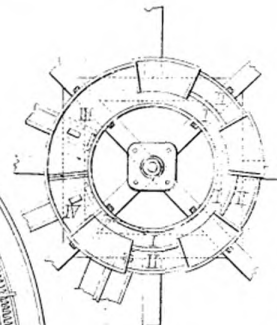


Fig. 2.
Corps CD.

Fig. 1.
Corps AB.

Le système de la machine
est composé de deux
parties principales :
1° Le corps AB.
2° Le corps CD.

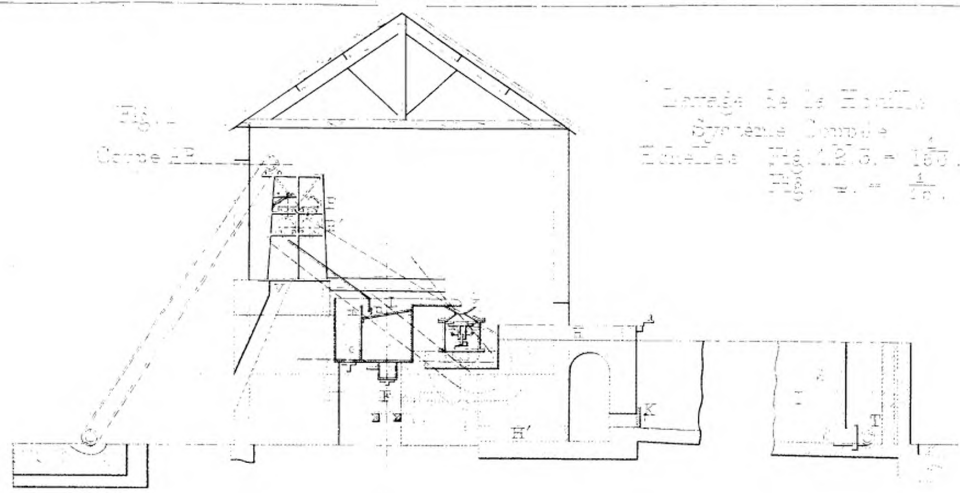
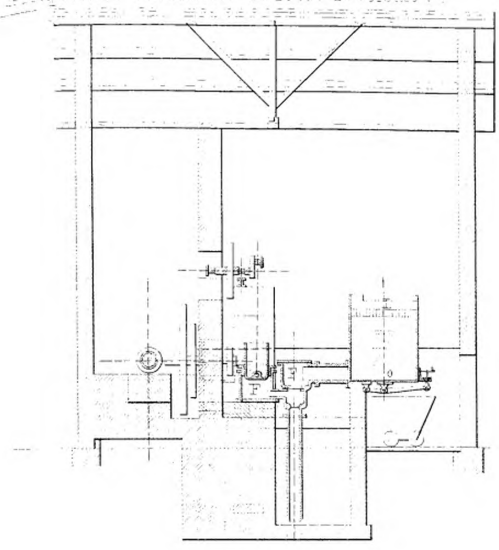
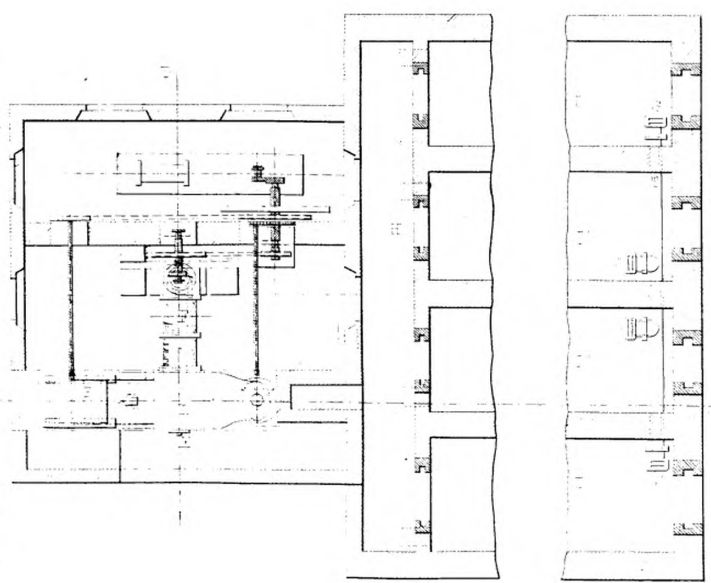
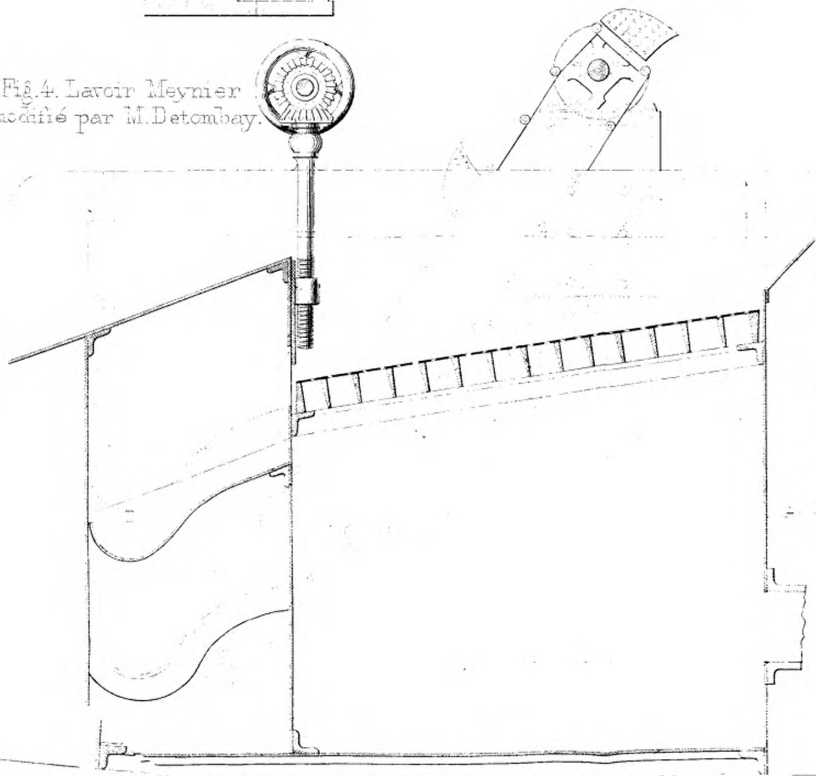
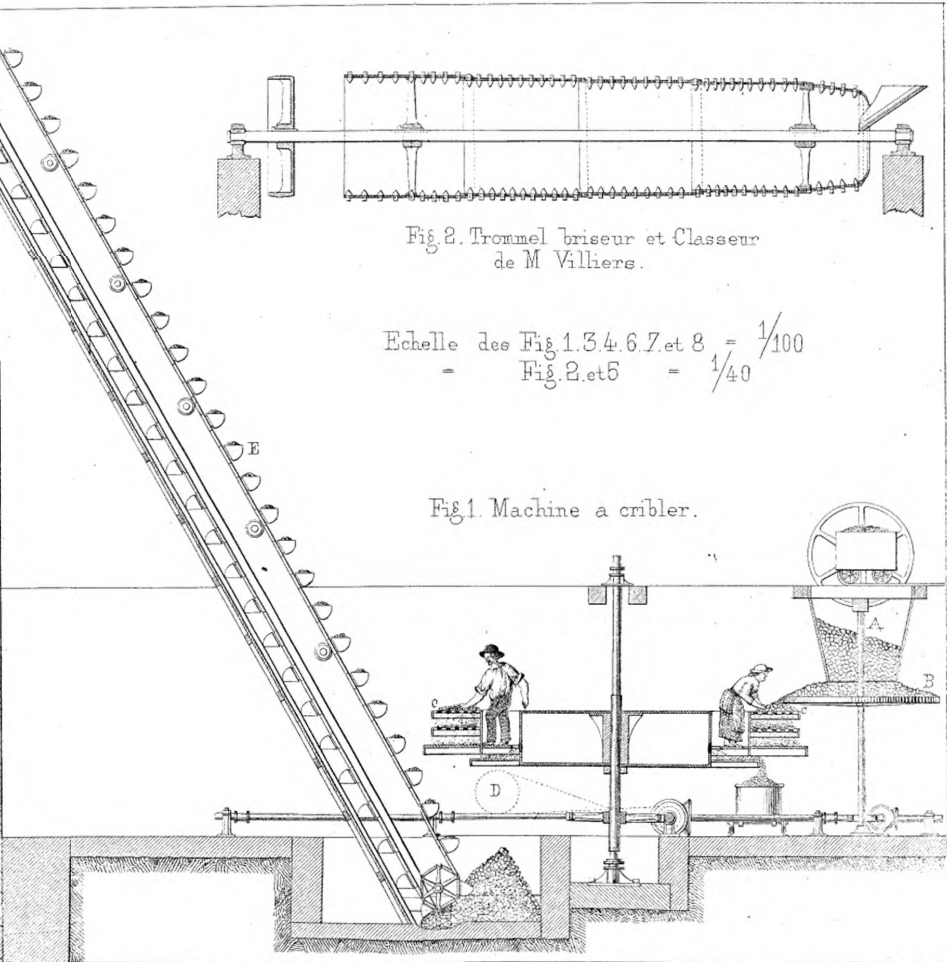
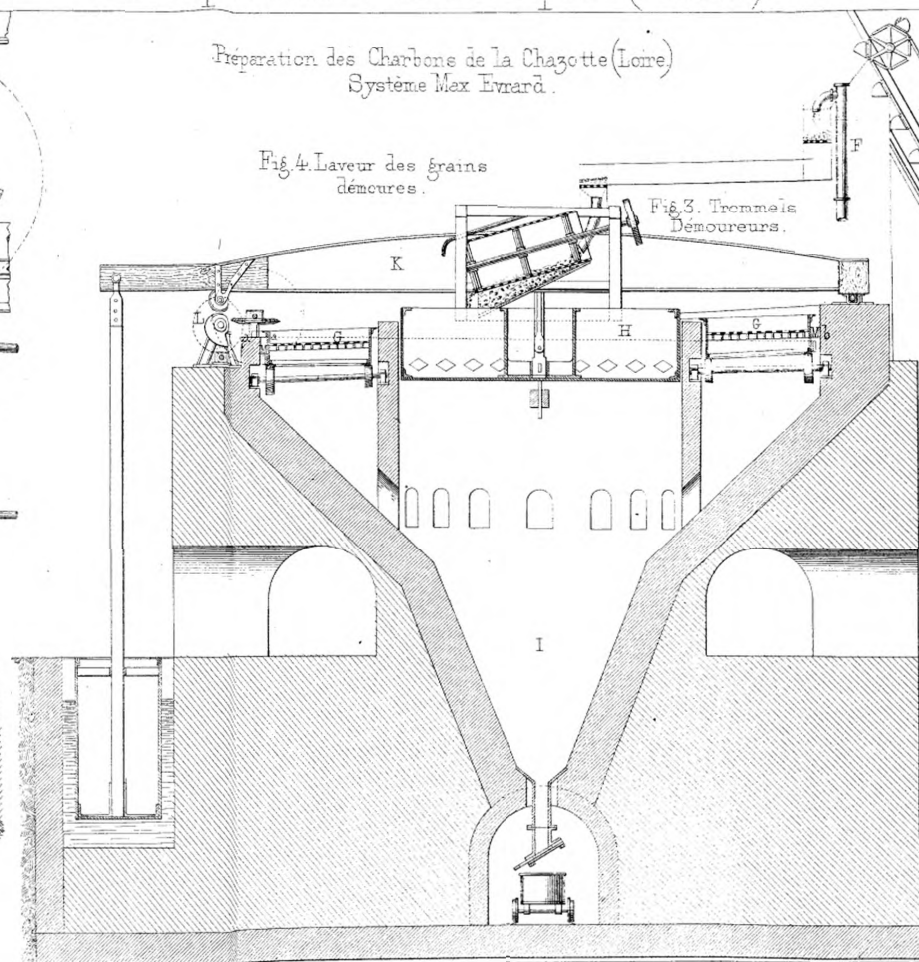
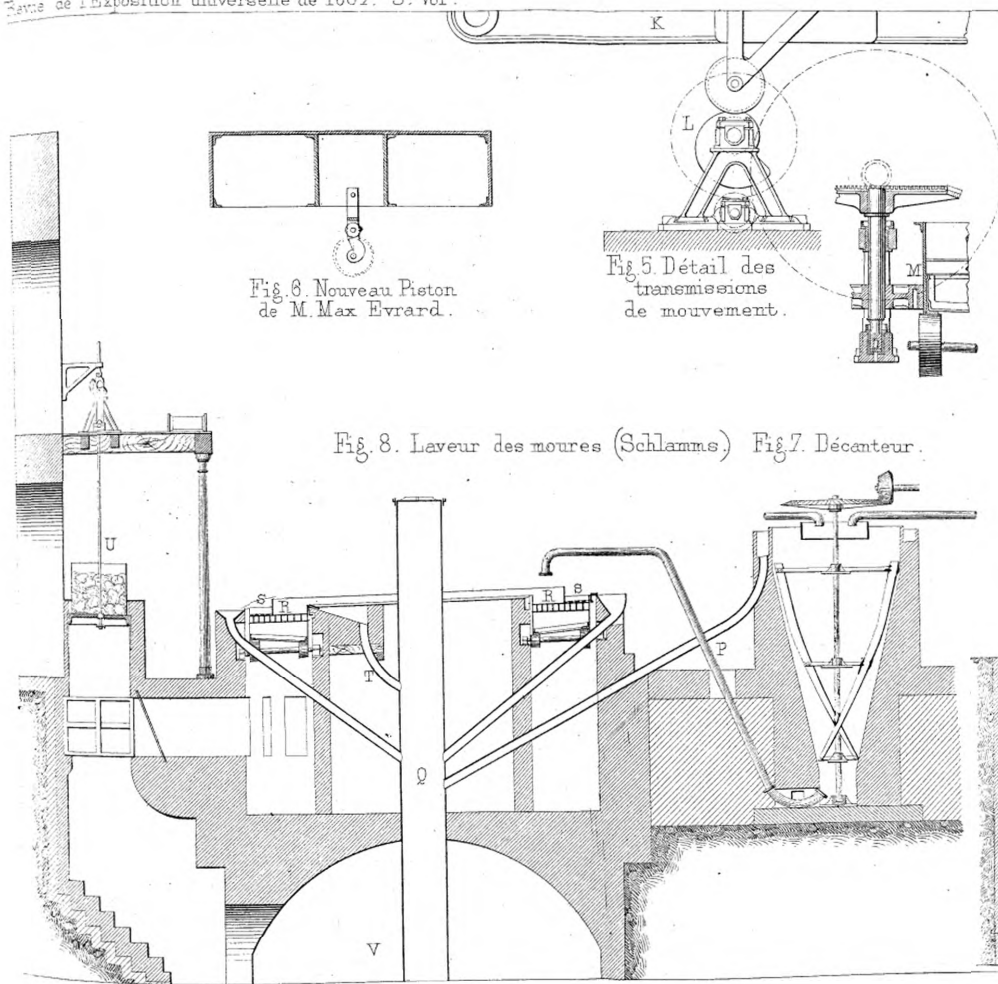


Fig. 4. Lavoir Meynier
modifié par M. Detombay.

Fig. 3. Plan.





Echelle des Fig. 1. 3. 4. 6. 7. et 8 = $\frac{1}{100}$
 - Fig. 2. et 5 = $\frac{1}{40}$

Machine de MM. Sulzer frères.

Fig. 4.

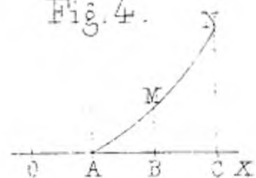
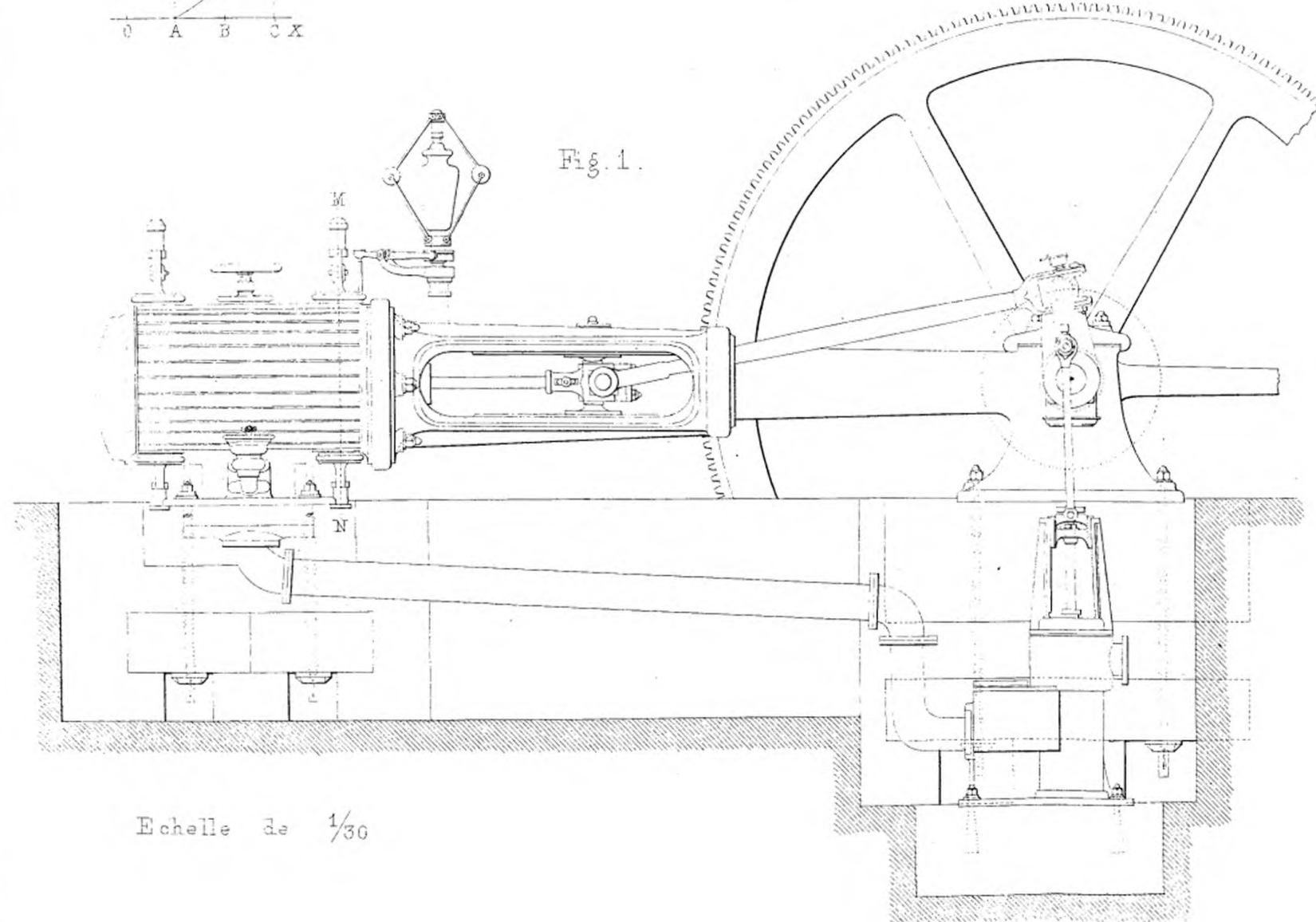
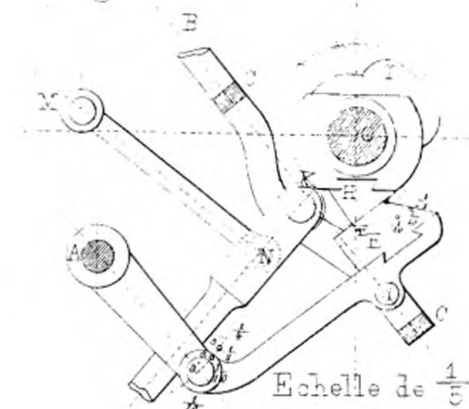


Fig. 1.



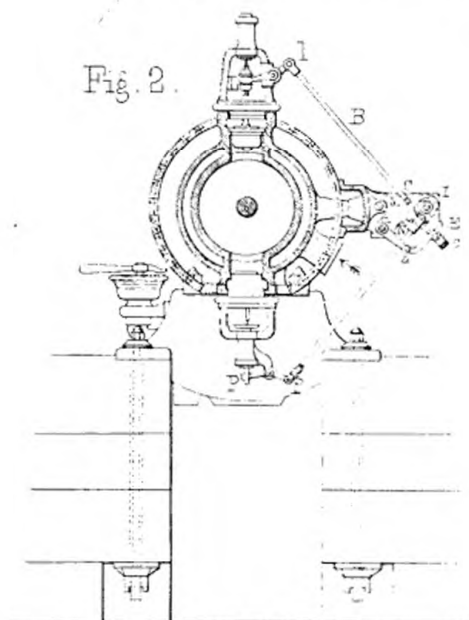
Echelle de $\frac{1}{30}$

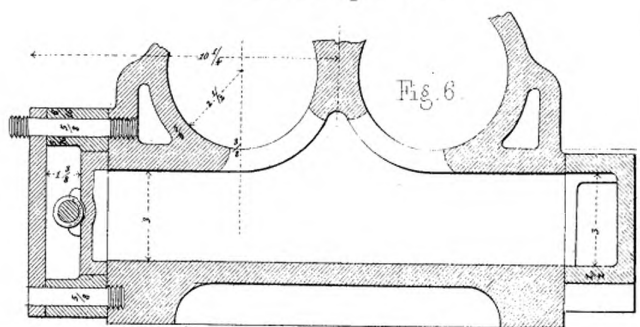
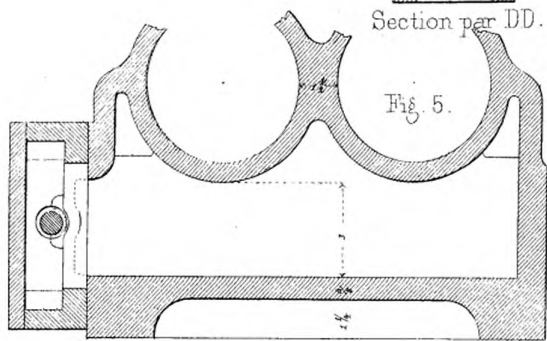
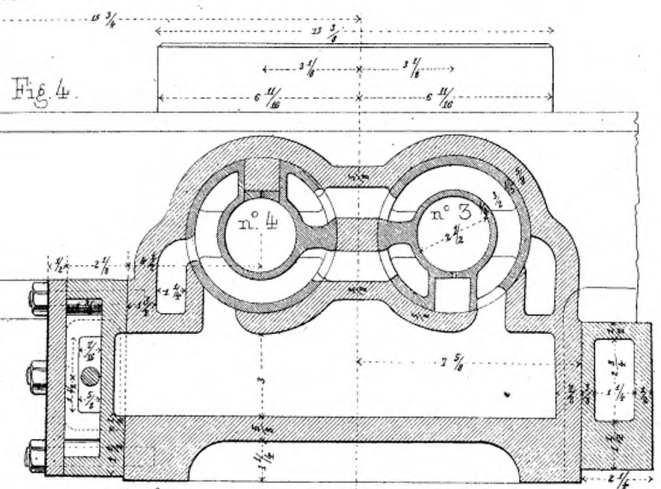
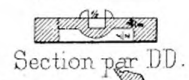
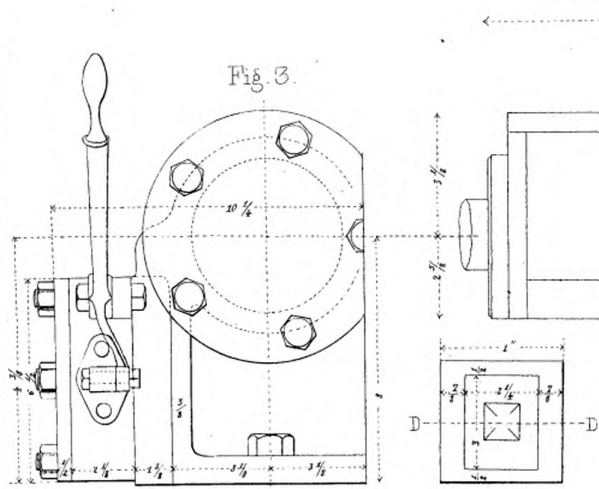
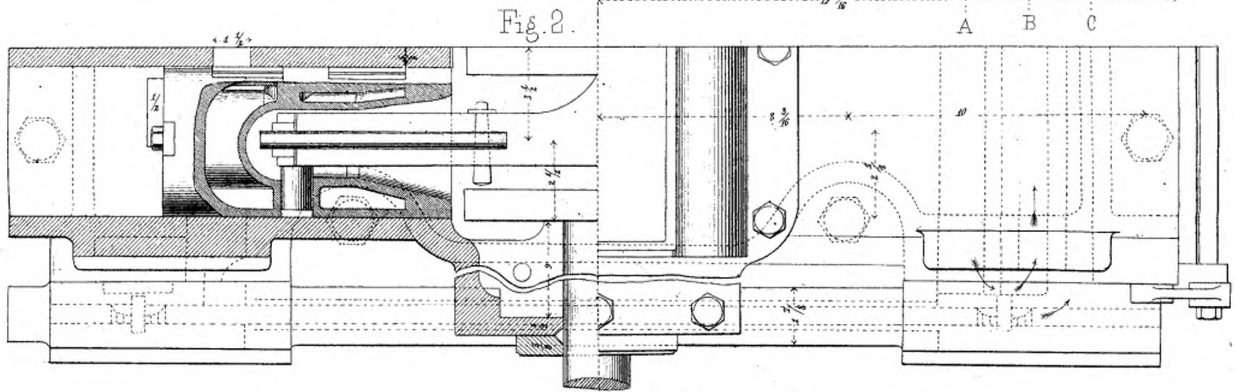
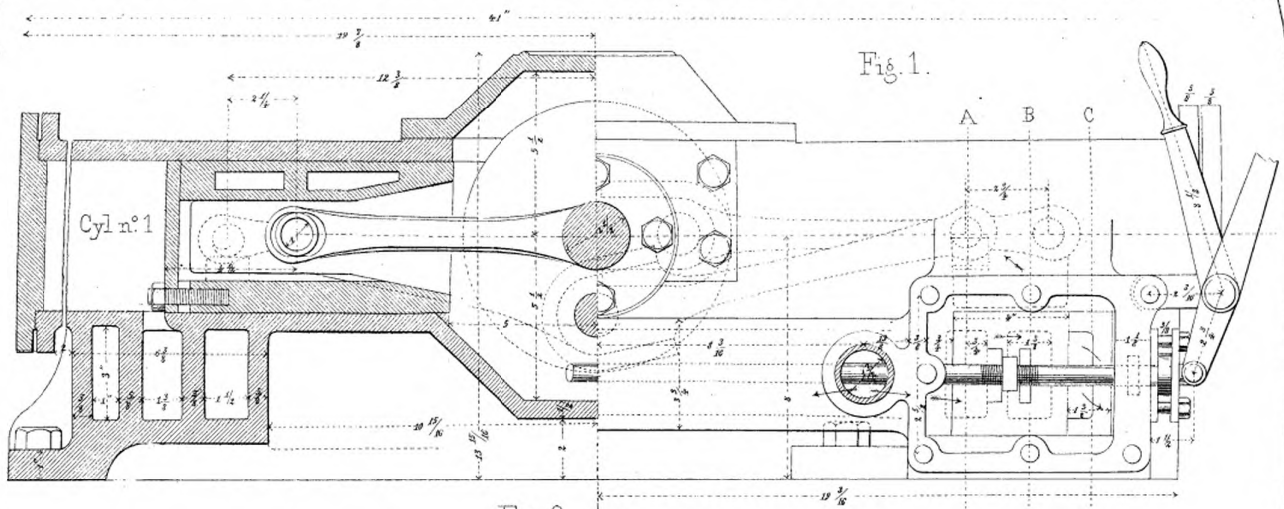
Fig. 3.



Echelle de $\frac{1}{6}$

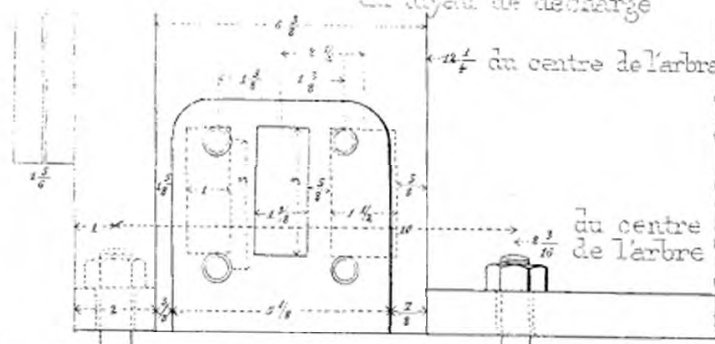
Fig. 2.





Machine Hicks.

Fig. 7. Élévation de côte assemblage
au tuyau de décharge



Élévation du côté intérieur du tige à l'apex.

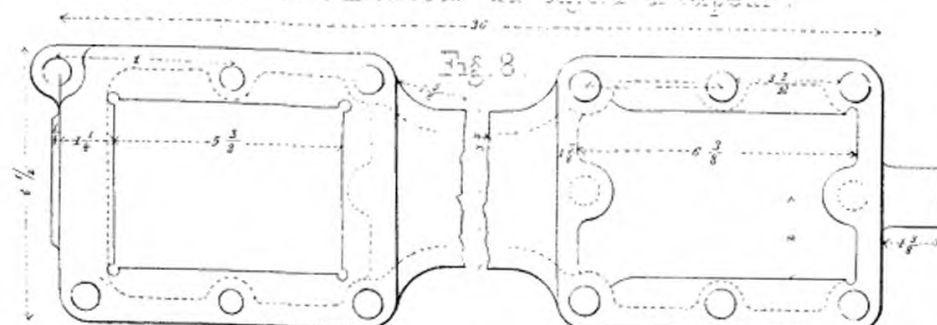


Fig. 23.

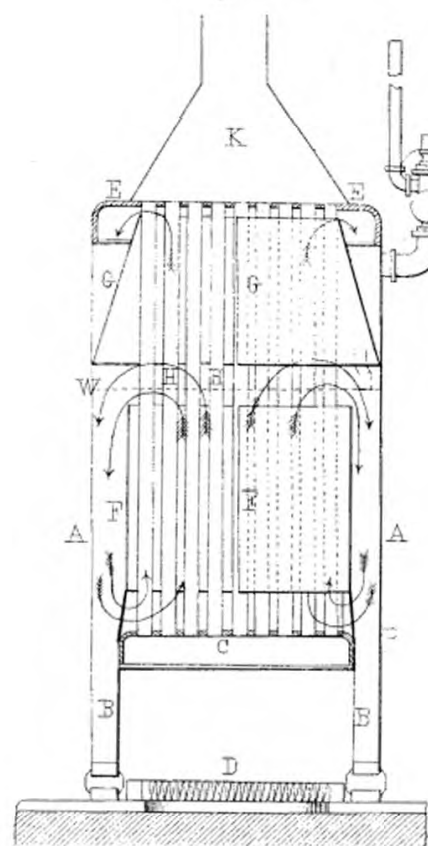


Fig. 9

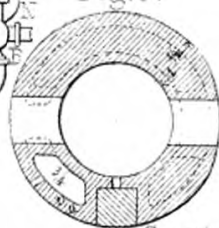


Fig. 10

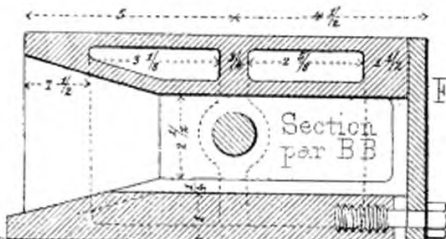


Fig. 11

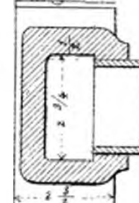


Fig. 12.

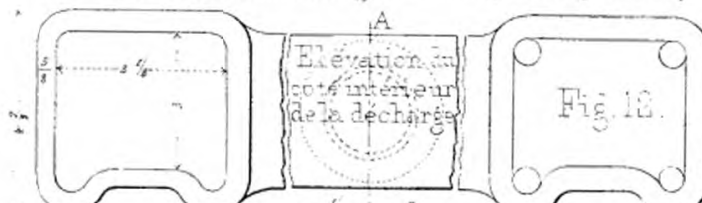


Fig. 15

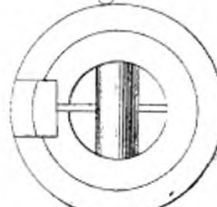


Fig.16

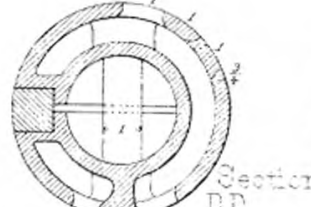


Fig. 12

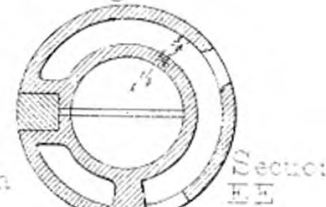


Fig. 13

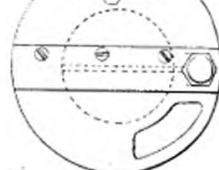
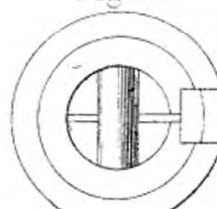


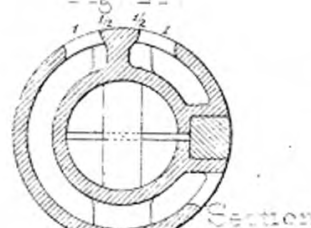
Fig 14.



Fig. 20



U. S. 21



4.6.2

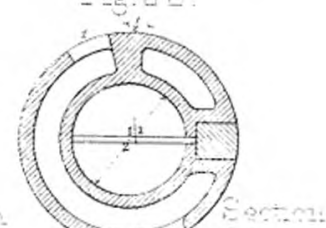
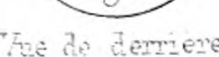
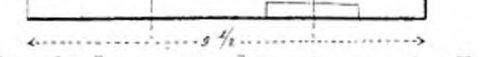


Fig. 18



11



Diagrammes pris a l'indicateur Richard
a deux ressorts.

Fig. 5.

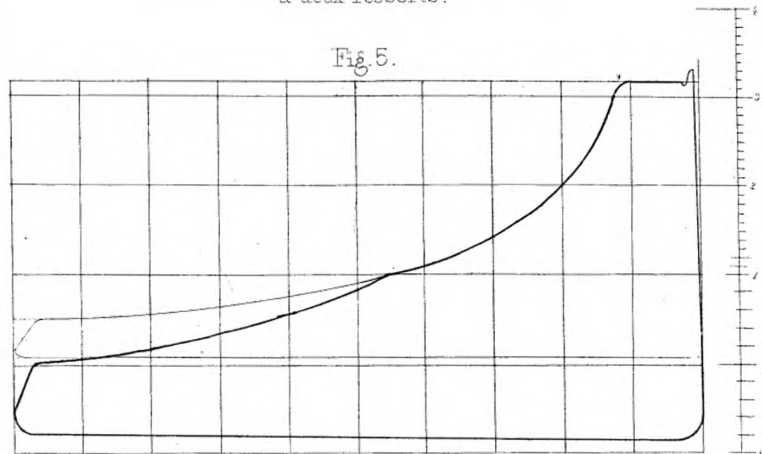


Fig. 6.

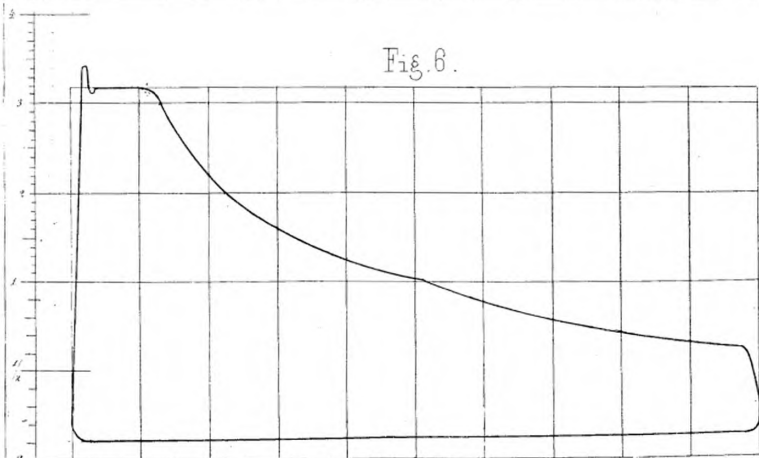
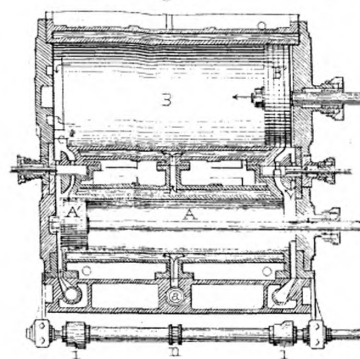


Fig. 2.



Machine de M^r Van den Kerchove de Gand.

Fig. 3.

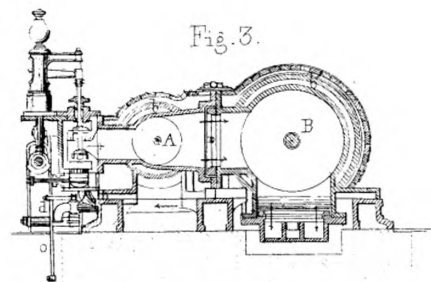


Fig. 4.

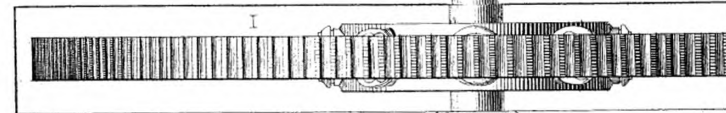
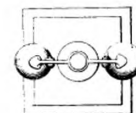
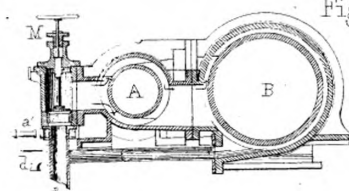
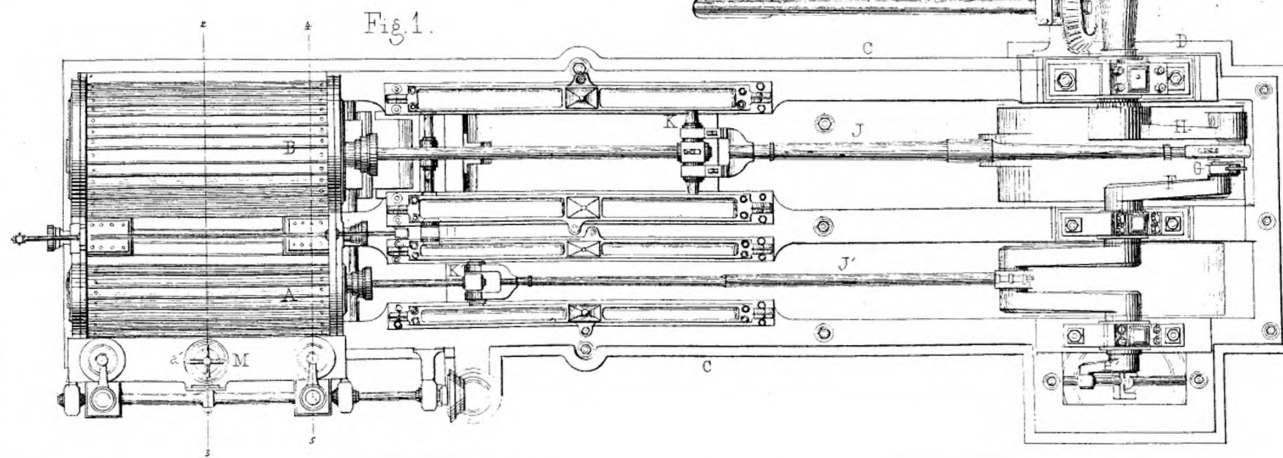


Fig. 1.

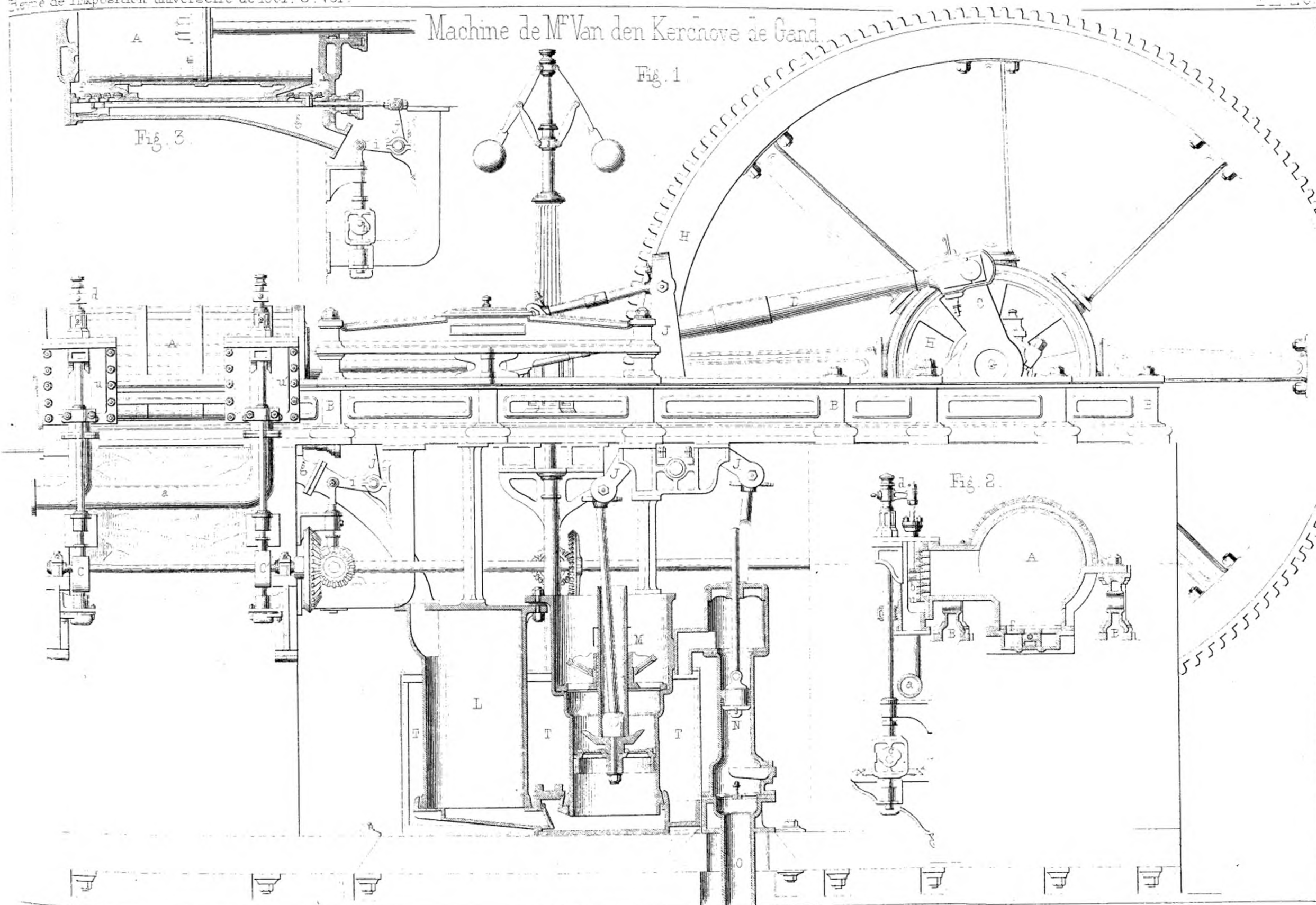


Machine de M^r Van den Kerckhove de Gand

Fig. 1

Fig. 3

Fig. 2



Phare acoustique de Daboll.

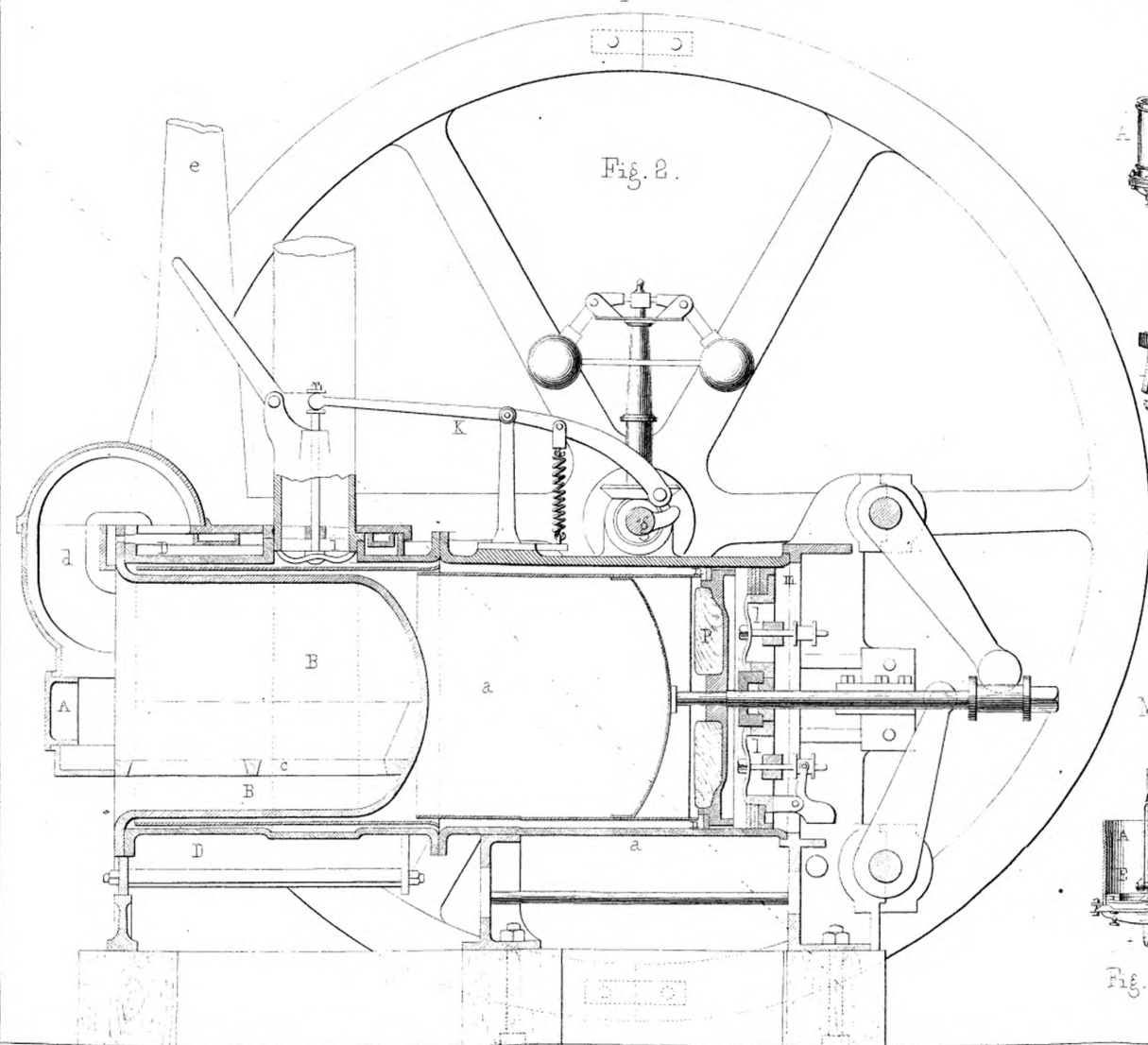
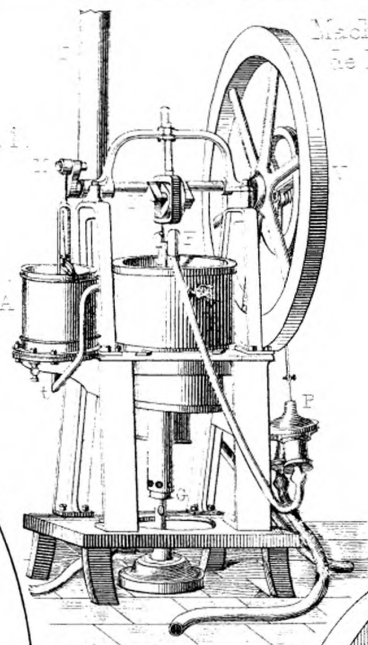


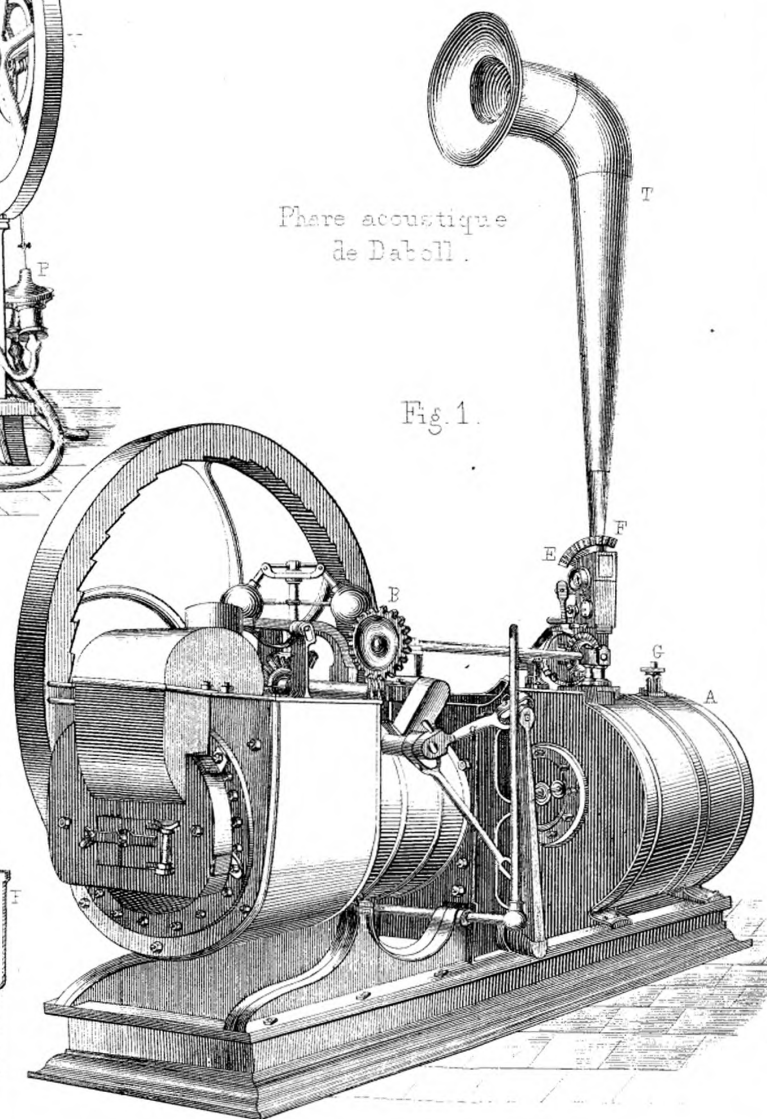
Fig. 1.



Machine à air chaud
de M. Lamberceau.

Phare acoustique
de Daboll.

Fig. 1.



Machine à air chaud
de M. Lamberceau.

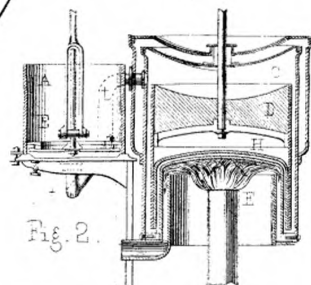
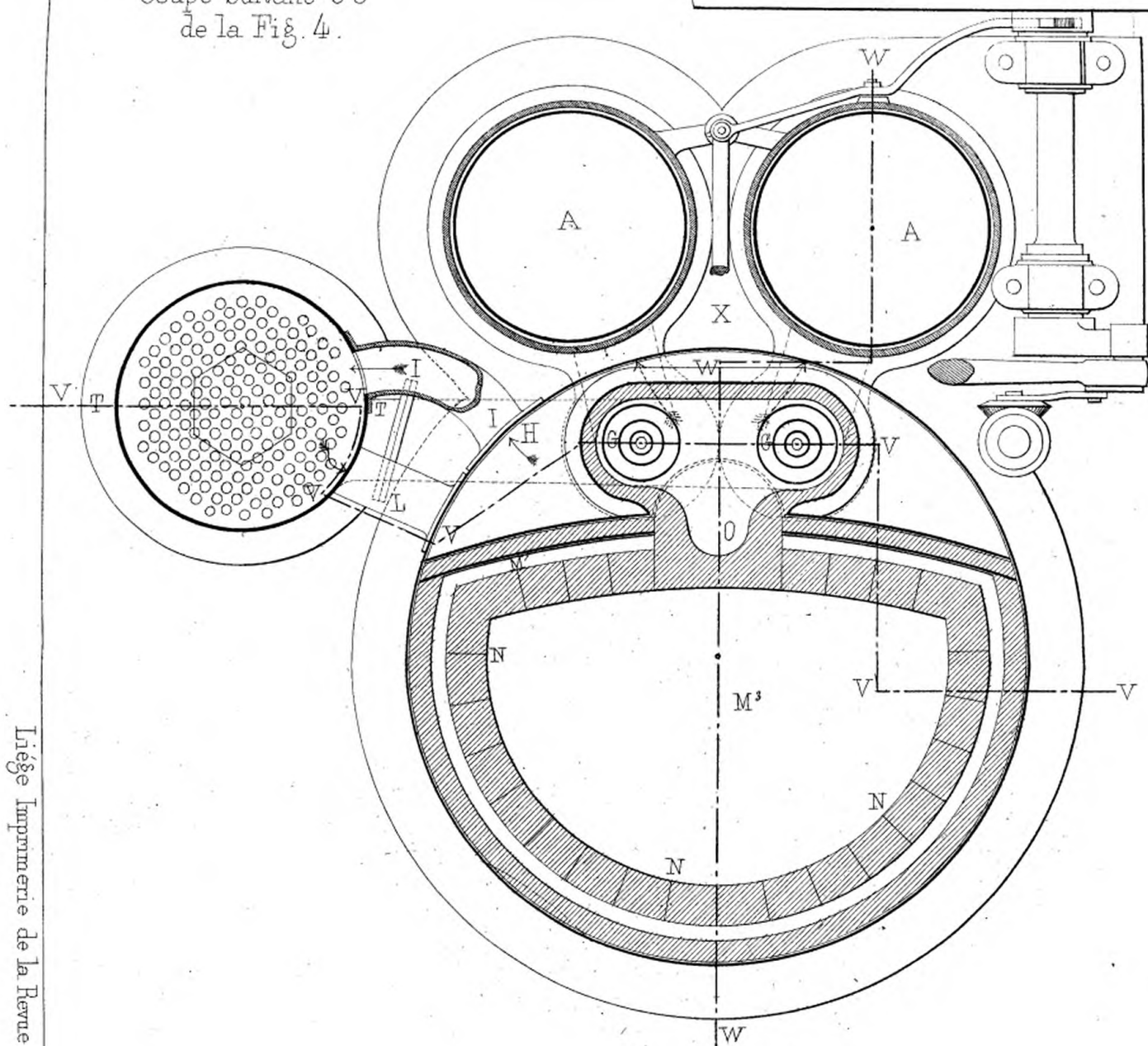


Fig. 2.
Coupe suivant UU
de la Fig. 4.



Machine à air chaud de Ph. Shaw.

Fig. 1.
Vue extérieure en élévation.

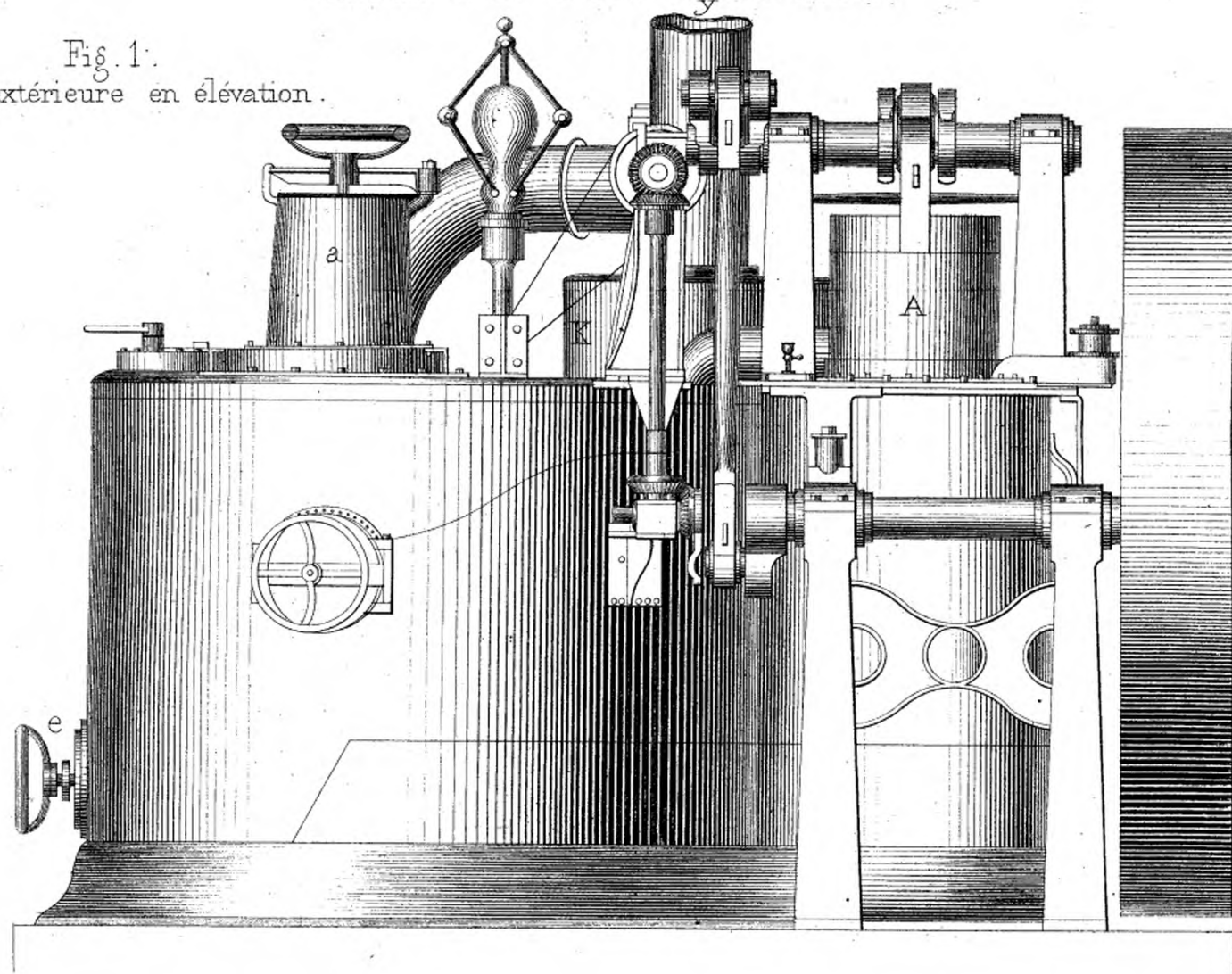
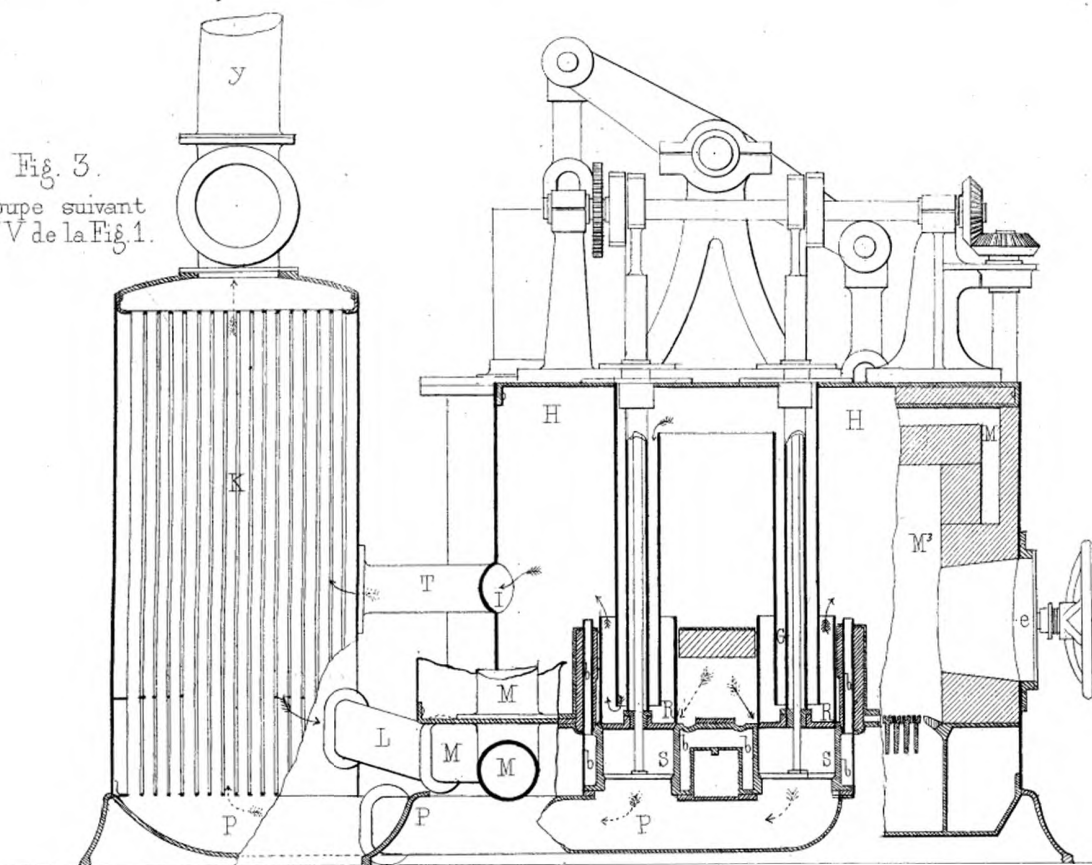
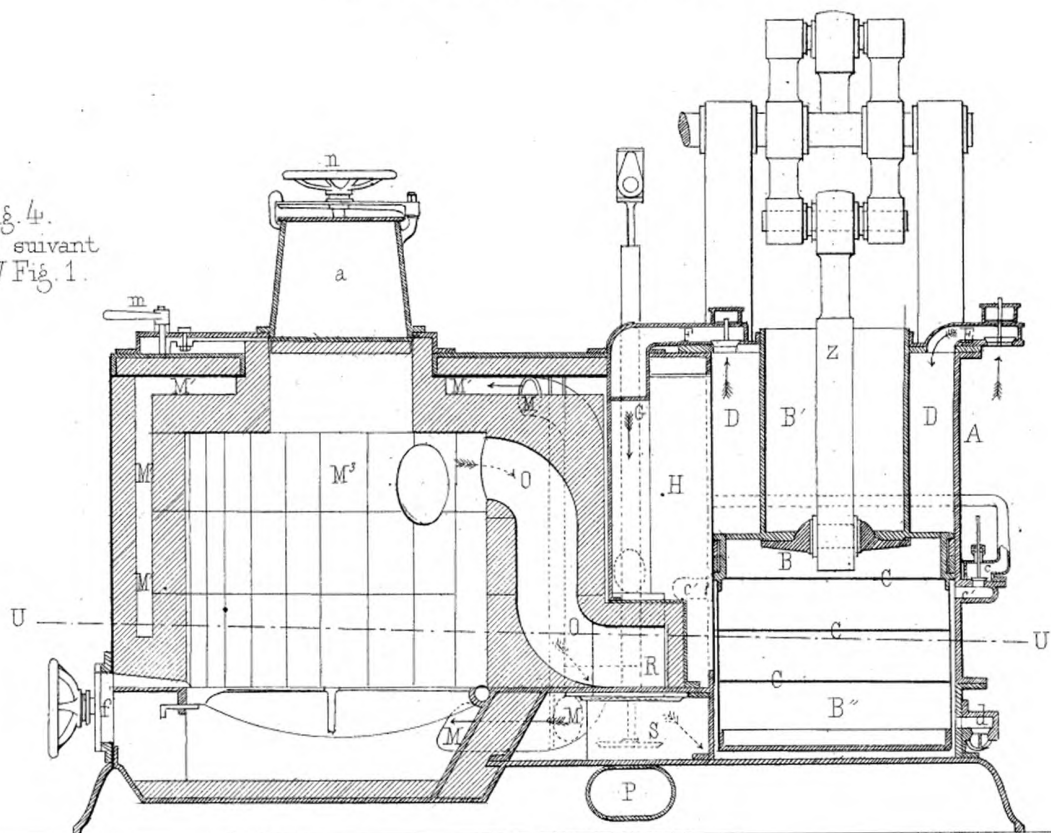


Fig. 3.
Coupe suivant
VV de la Fig. 1.



Machine à air chaud de Ph. Shaw.

Fig. 4.
Coupe suivant
WW de la Fig. 1.



Lampes Cosset-Dubrulle.

Fig. 1.

Lampe ordinaire.

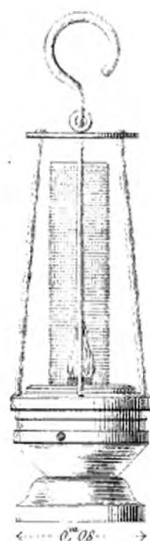


Fig. 2.

Lampe à
cylindre de cristal

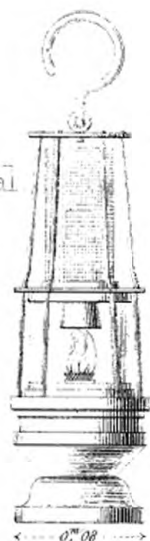


Fig. 3.

Lampe
d'accrochage.

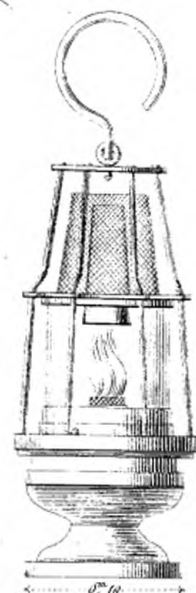
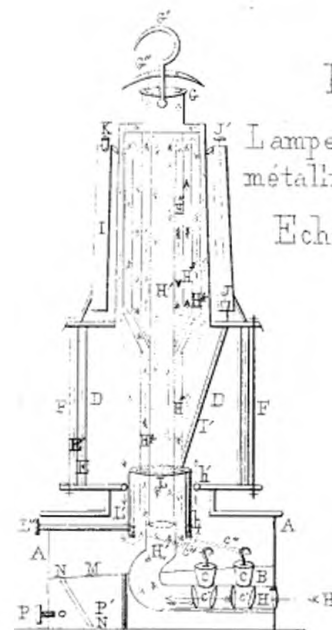


Fig. 6.

Lampe sans toile
métallique de Chuard.
Echelle de $\frac{1}{4}$



Lampe Clauzet.

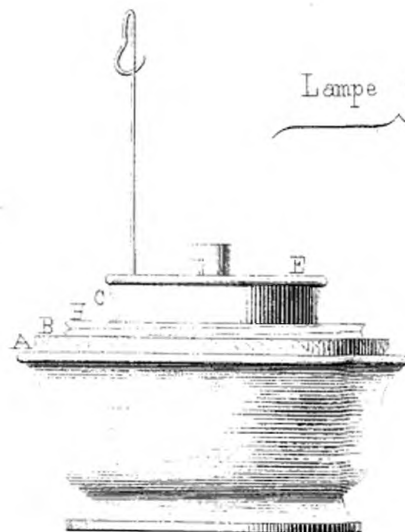


Fig. 4. Elévation.

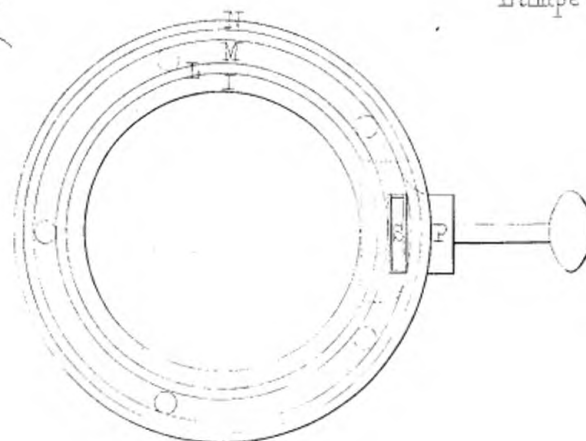


Fig. 5. — Plan.

Echelle de $\frac{1}{2}$

Fig. 7.

Lampe Souheur

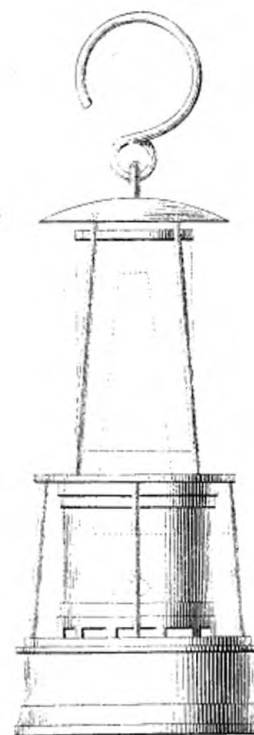
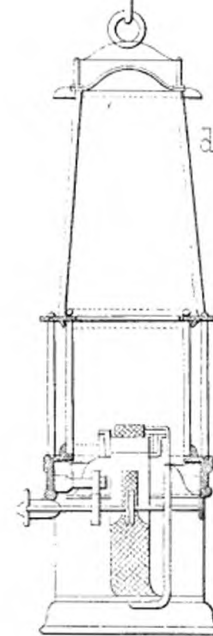


Fig. 8.

Lampe
de Heinbach.



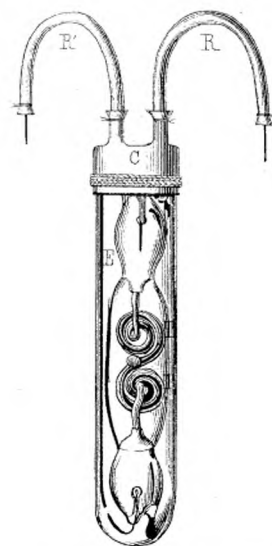


Fig. 9.
Lampe électrique
de M. Gaiffe.

Fig. 10.
Gazoscope
de
M. Chuard.

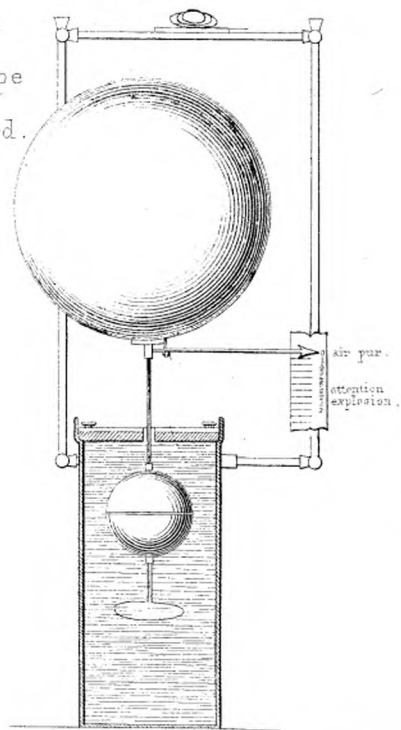


Fig. 11.
Indicateur de grisou
de M. Monnier.

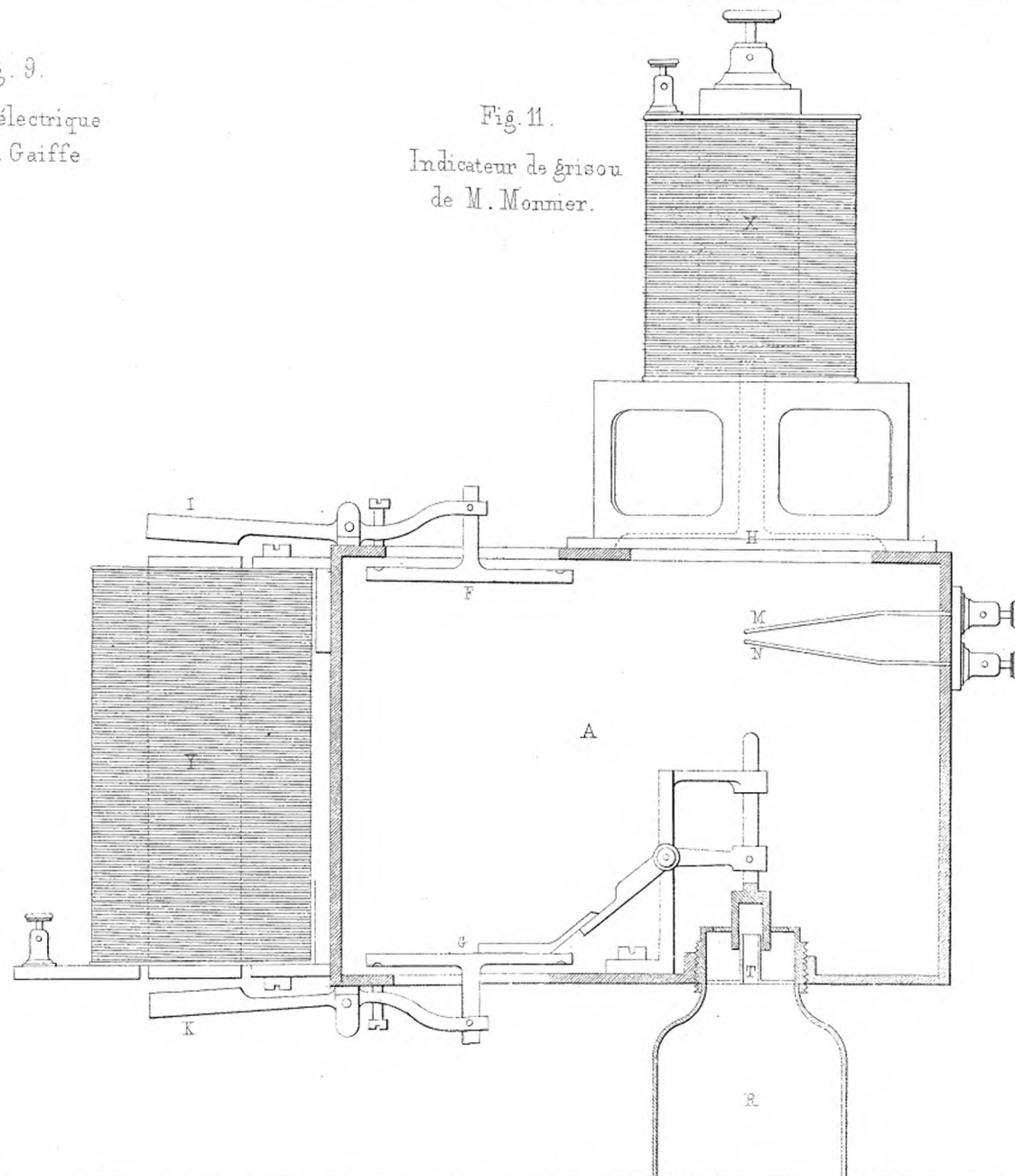
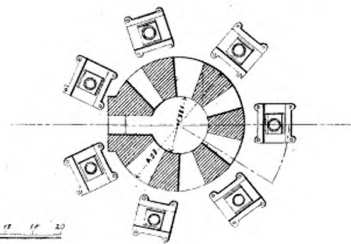
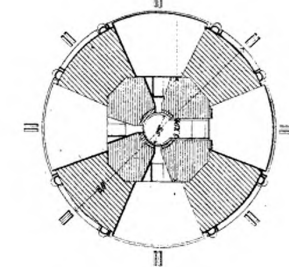
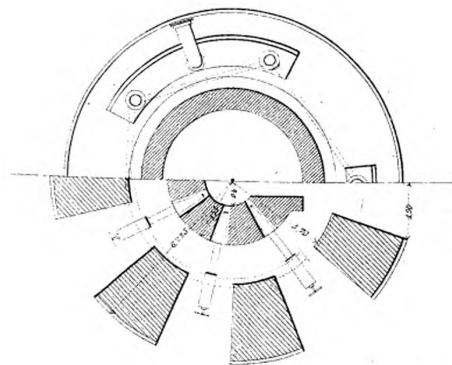
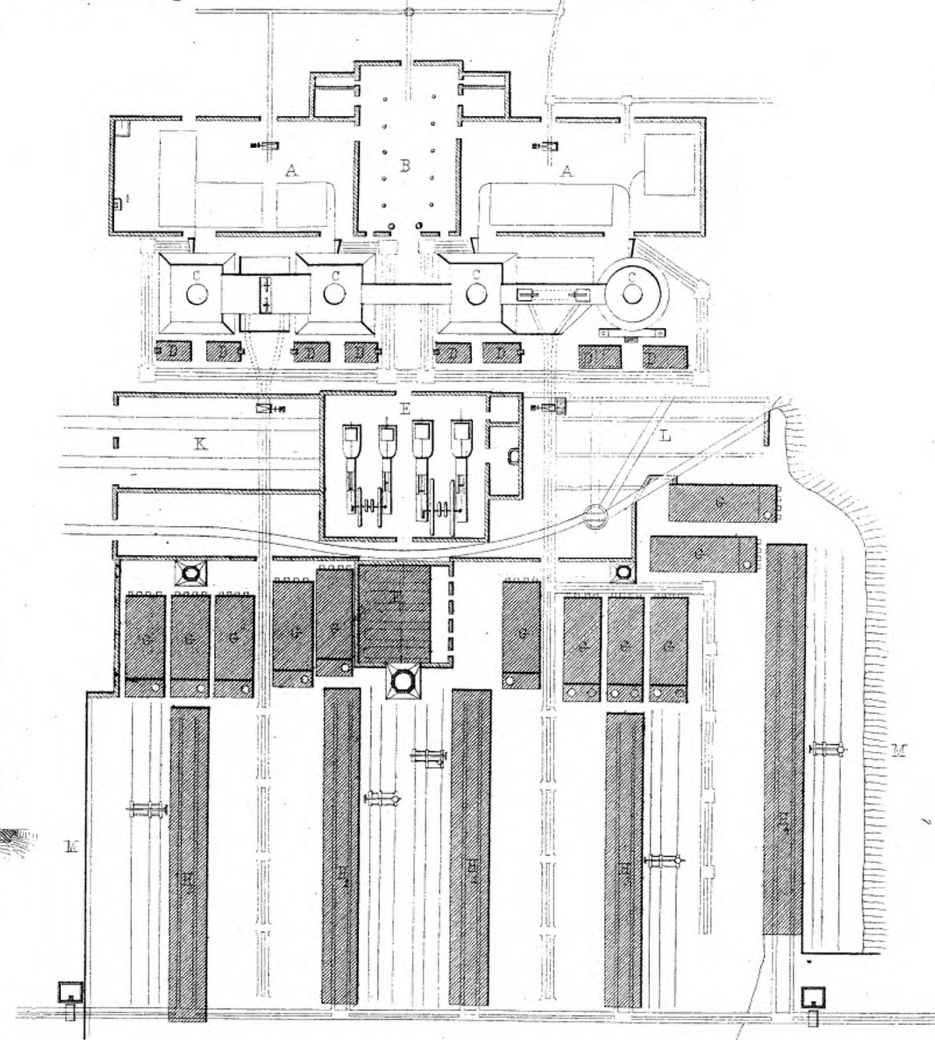
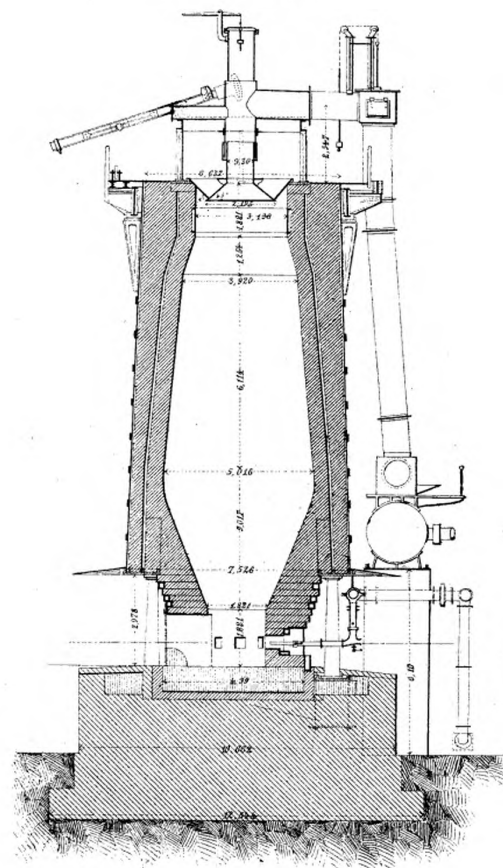
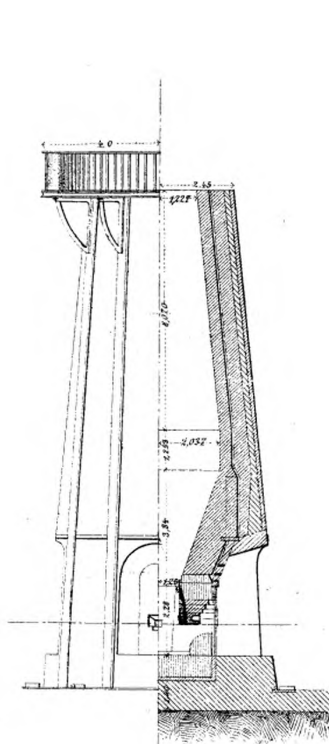
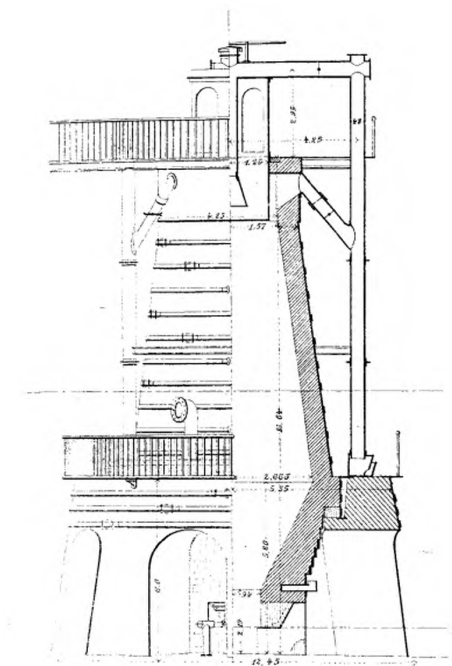


Fig. 1.
Haut fourneau à chemise libre
Système Buttgenbach.

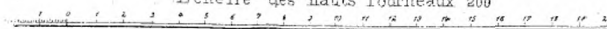
Fig. 2.
Haut fourneau de l'usine de Ruhrort
(Westphalie).

Fig. 3.
Haut fourneau de l'usine d'Oberhausen.
(Westphalie).

Fig. 4. Disposition de l'usine de Georg Marien Hutte (Hanovre).

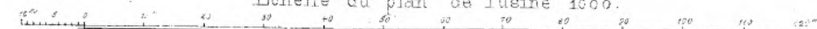


Echelle des hauts fourneaux 200



A. Halles de coulée E. Machines soufflantes H. Batterie de 32 fours à coke
B. Moulage F. Chaudières chauffées par les gaz des hauts fourneaux H. d. 40 d.
C. Hauts fourneaux G. d' d' des fours à coke K. Bâtiment des machines à
D. Appareils à air chaud H. H. Batteries de 33 fours à coke H. d. 31 fours L. Parc à minerai - M. à charbon

Echelle du plan de l'usine 1000



Exposition de 1867
USINE A FONDRE DE L'ACIER (CARNOT) CONSTRUITE PAR M. VON LUTER
USINE A FONDRE DE L'ACIER (CARNOT) CONSTRUITE PAR M. VON LUTER

Fig.1. Disposition des fours de grillage. $\frac{1}{400}$

Fig.1 a Four de grillage à cuve pour les gros $\frac{1}{400}$

Halle à charbon.

Fig.2 a Profil du h^t fourneau Johanna. $\frac{1}{100}$

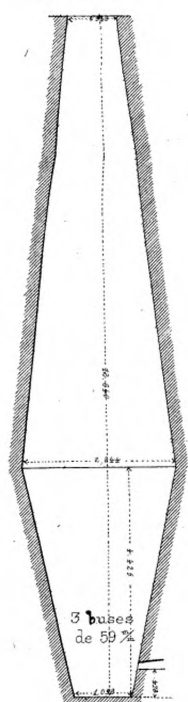


Fig.1 b. Four de grillage à réverbère pour les menus construit en 1866 par M^e D^r Seeland. $\frac{1}{50}$

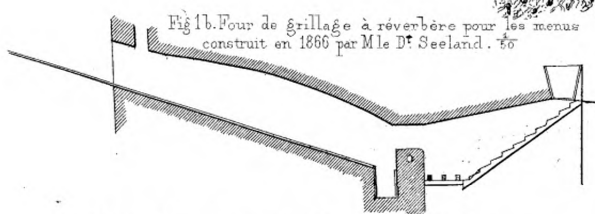
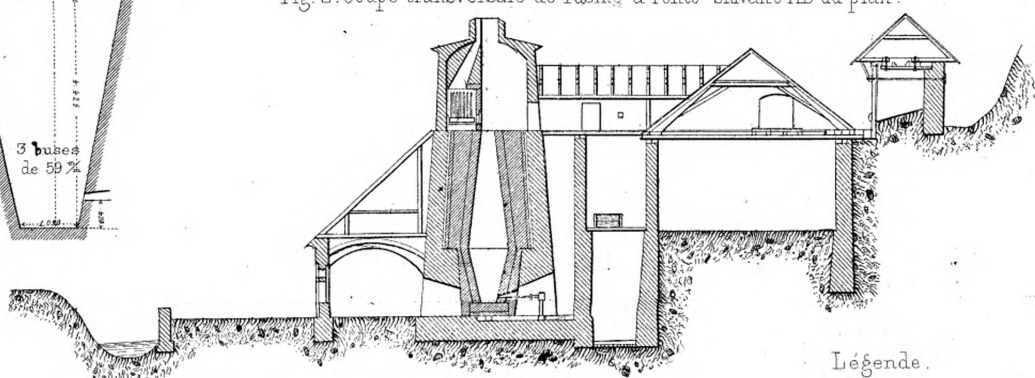


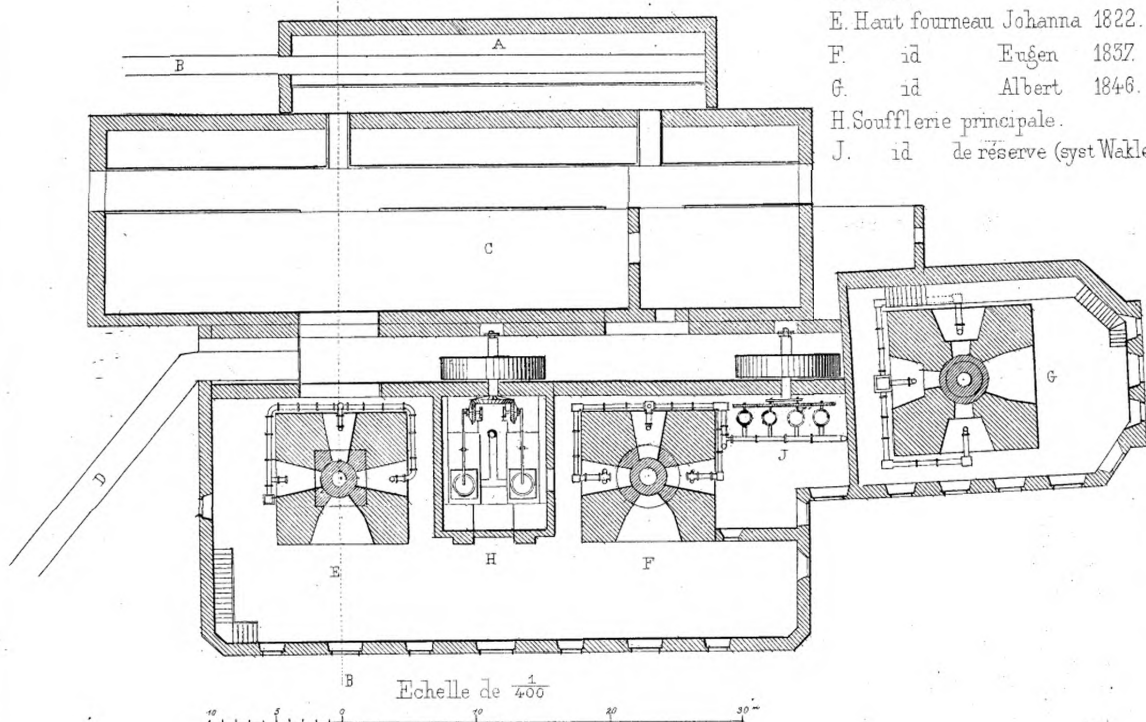
Fig. 2. Coupe transversale de l'usine à fonte suivant AB du plan.



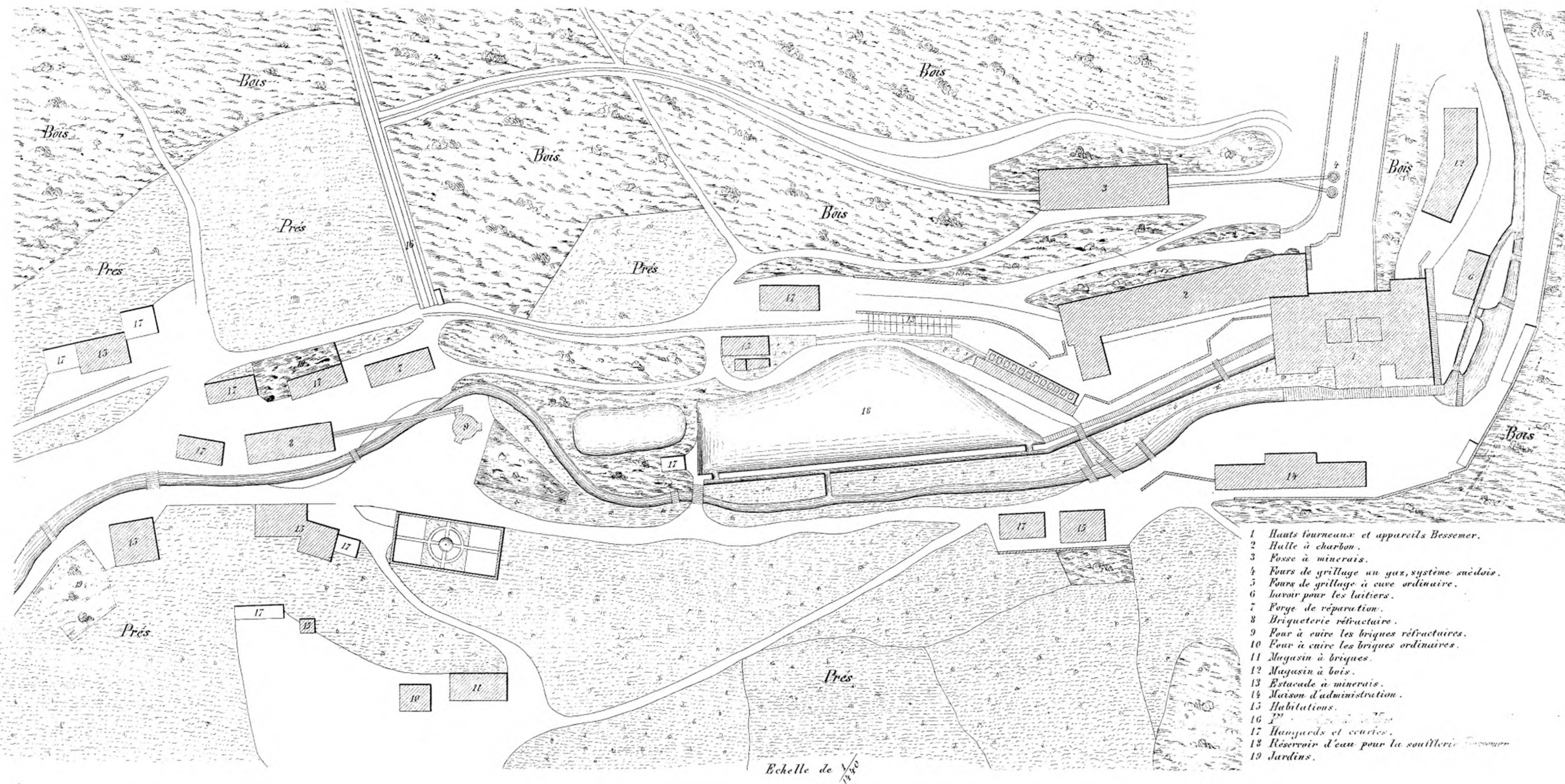
Légende.

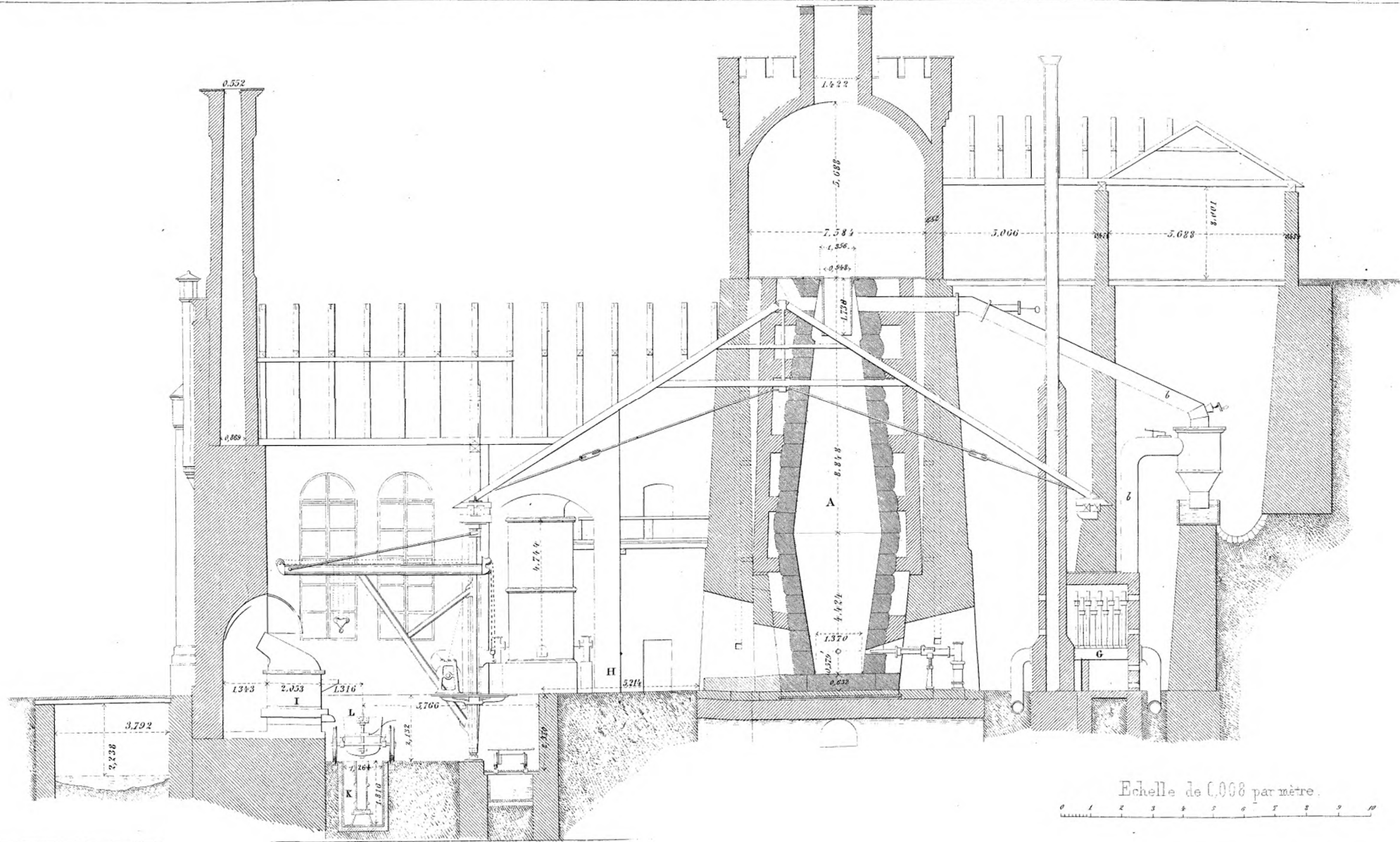
- A. Dépôt de minerais.
- B. Chemin de fer.
- C. Halle à charbon.
- D. Canal.
- E. Haut fourneau Johanna 1822.
- F. id Eugén 1837.
- G. id Albert 1846.
- H. Soufflerie principale.
- J. id de réserve (syst Wakler)

Fig.3. Plan de l'usine à fonte.



Disposition générale de l'usine de Hest.

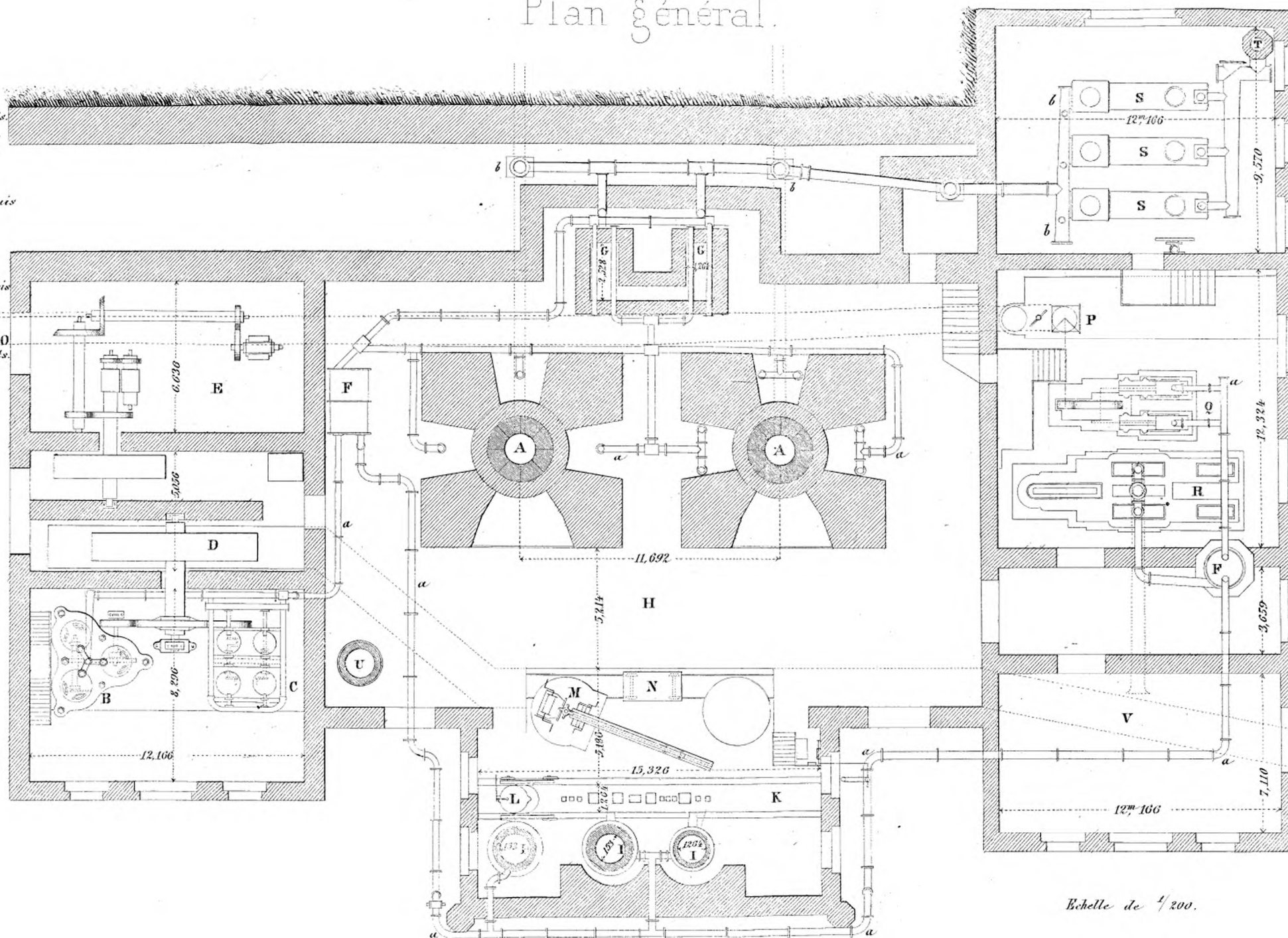




Echelle de 0.008 par mètre.

Plan général.

- AA Hauts fourneaux au charbon de bois.
 B Soufflerie à 3 cylindres verticaux.
 C " à 4 cylindres verticaux.
 D Rone hydraulique activant les souffleries B et C.
 E Atelier de préparation des minerais et des sables.
 FF Régulateurs à vent.
 GG Appareil à chauffer l'air.
 H Halle de coulée.
 III Convertisseurs Bessemer, type Suédois.
 K Fosse des lingotières.
 L Porte Chariot.
 M Grue tournante à volée variable.
 N Track pour l'enlèvement des lingots.
 O Canal de la Turbine P.
 P Turbine Jonval.



- Q Soufflerie Leyser et Stiehler mue par la turbine P.
 R Soufflerie Leyser et Stiehler mue par un cylindre à vapeur spécial.
 SSS Chaudières tubulaires chauffées par le gaz des hauts fourneaux.
 T Cheminée.
 U Cabilot.
 V Petite halle de montage.
 aa Conduites de vent.
 bb Conduites de gaz.

Echelle de 1/200.

Système Wurgler et Detombay à sections différentielles

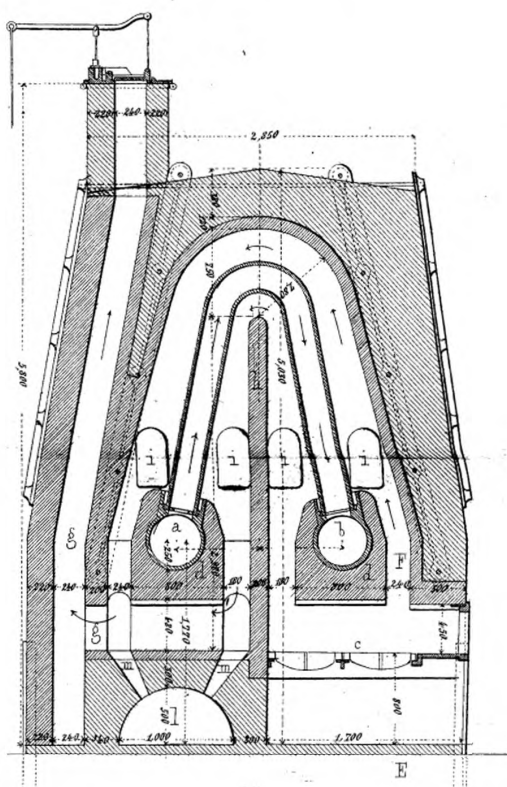
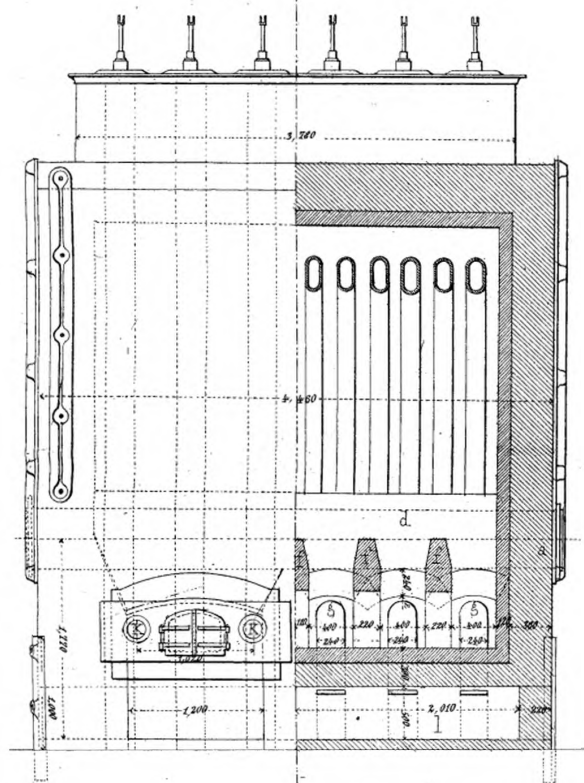
Application à l'appareil anglais dit de Calder

de l'exposition de 1867.

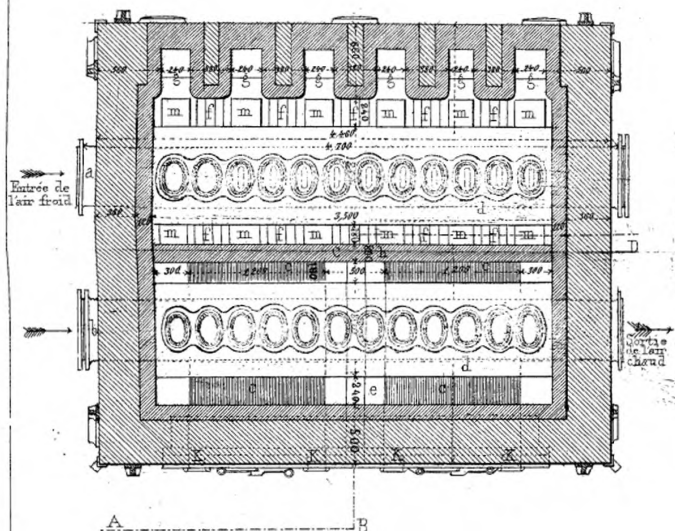
Elévation

Coupe suivant ABCD.

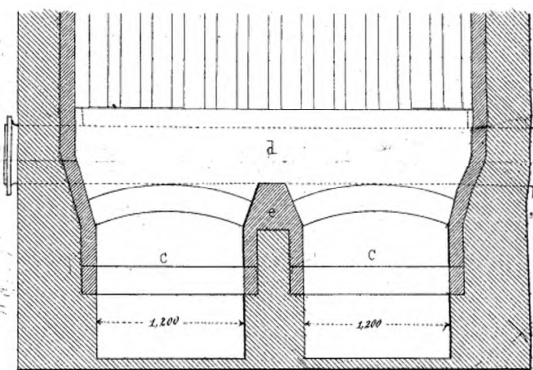
Coupe transversale



Plan.

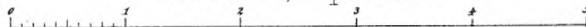


Coupe verticale suivant EF.



- a Tuyau d'entrée de l'air froid.
- b Tuyau de sortie de l'air chaud.
- c Foyer.
- d Maçonnerie enveloppant les tuyaux a et b.
- e Mur de refend.
- f Mur de division et de soutènement.
- g Cheminées.
- h Mur reliant les maçonneries et formant cloison pour le retour des gaz.
- i Portes de nettoyage.
- k Orifices pour l'admission des gaz dans les foyers.
- l Chambre à poussières de cendres.
- m Carreaux pour établir la communication entre l'appareil et la chambre l.

Echelle de 0,02 par mètre.



APPAREILS A AIR CHAUD. (BELGIQUE.)

(Siderurgie. PL. XXII) PL.

Fig 10 H⁺ fourneau à anthracite
de l'usine Thomas
à Hazendagua (Etats Unis)

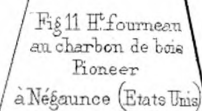


Fig 7 H^t fourneau au charbon de bois
de Lombardie.



Liège Imprimerie de la Revue universelle