

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](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 possible 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 BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Auteur(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	16 vol. ; in-8
Nombre de volumes	21
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353
Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353
LISTE DES VOLUMES	
	1. Première partie. L'architecture
	2. Deuxième partie. La construction
	3. Troisième partie. Les travaux publics
	4. Quatrième partie. Mines et métallurgie
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	5. Quatrième partie. La minéralogie, la minéralurgie et la géologie
	6. Cinquième partie. Les chemins de fer
	7. Sixième partie. [Tome I] Chaudières à vapeur et machines thermiques
	8. Sixième partie. Tome II. Chaudières à vapeur et machines thermiques
	9. Septième partie. Mécanique générale. Machins outils. Hydraulique générale. Travail du bois. Travail des métaux. Machineries industrielles
	10. Septième partie. Tome II. Les machines outils
	11. Huitième partie. Électricité et applications
	12. neuvième partie. Marine et arts militaires
	13. Dixième partie. Arts industriels
	14. Onzième partie. Industries chimiques
	15. Onzième partie. Tome II. Industries chimiques
	16. Première partie. Comptes-rendus des séances générales. Procès verbaux des séances de section. Listes des membres, etc
	Atlas des 1re, 2e et 3e parties comprenant : Architecture, La construction, Travaux publics
	Atlas des 4e et 5e parties comprenant : Mines et métallurgie, Chemins de fer (Signaux), Chemins de fer (Voie et matériel roulant)
	Atlas de la 6e partie comprenant : Chaudières à vapeur, Machines à vapeur
	Atlas des 7e et 8e parties comprenant : Hydraulique, Machines-outils, Electricité
	Atlas des 9e, 10e, 11e parties comprenant Marine et Arts militaire, Arts industriels, Industries chimiques

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Volume	5. Quatrième partie. La minéralogie, la minéralurgie et la géologie
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	1 vol. (288 p.) : ill. en noir et blanc ; 27 cm
Nombre de vues	292
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353 (5)

Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris) Minéralogie Minéralurgie Géologie
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/106718797
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353.5

7° 528
6 Xe 3323

REVUE TECHNIQUE DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS, DE PROFESSEURS
D'ARCHITECTES ET DE CONSTRUCTEURS

CH. VIGREUX, FILS &

Ingénieur des Arts et Manufactures
Inspecteur du Service mécanique et électrique à l'Exposition Universelle de 1889
Secrétaire de la Rédaction

ORGANE OFFICIEL
DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE
Tenu à Paris du 16 au 21 Septembre 1889



PARIS

E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

53^{ter}, Quai des Grands-Augustins, 53^{ter}

1893

QUATRIÈME PARTIE

LA MINÉRALOGIE,
LA MINÉRALURGIE ET LA GÉOLOGIE

QUATRIÈME PARTIE

LA MINÉRALOGIE

LA

MINÉRALURGIE et la GÉOLOGIE

MATERIEL ET PROCÉDÉS

DE

L'EXPLOITATION DES MINES

à l'Exposition universelle de 1889

PAR

F. DUJARDIN-BEAUMETZ

INGÉNIEUR CIVIL

SÉCRÉTAIRE GÉNÉRAL DE LA SOCIÉTÉ DES MINES DE CARMAUX

SÉCRÉTAIRE DU COMITÉ CENTRAL DES HOUILLÈRES DE FRANCE

AVANT-PROPOS

L'industrie des Mines s'exerce d'une manière très différente suivant les milieux et les conditions. Ce qui la caractérise c'est le maniement des grandes masses dans des conditions particulièrement difficiles d'abatage et de transport, avec la nécessité d'arriver à un prix de revient minime. On conçoit donc que l'art des mines soit conduit à emprunter aux autres arts toute la puissance d'ouillage et tous les engins perfectionnés qu'ils peuvent lui apporter.

Les armes du mineur ne sont plus aujourd'hui comme autrefois un pic et une pioche, et c'est ainsi qu'on voit accumuler sur le siège d'extraction d'une grande houillère tous les moyens, quels qu'ils soient, dont dispose l'industrie moderne. C'est par la concentration des forces et des hommes sur un champ restreint que l'ingénieur des mines lutte contre les obstacles de la nature et les difficultés économiques.

Si la classe 48, spécialement destinée à montrer le matériel et les procédés de l'exploitation des mines, offrait un intérêt plus immédiat, l'ingénieur soucieux de son art trouvait à chaque pas dans la vaste enceinte de l'Exposition la matière

d'observation et le germe de l'application de demain. Le savoir encyclopédique du génie civil a toujours son emploi dans le cas particulier. Cette réflexion venait naturellement à l'esprit au moment de présenter cette étude ; elle servira d'excuse pour les lacunes qu'on y remarquera, et le lecteur trouvera le plus souvent le complément de notre travail dans les autres fascicules de la *Revue technique*.

D'autre part, on conçoit qu'une Exposition universelle se prête mal, pour des raisons d'ordres divers, à présenter à l'œil du visiteur un ensemble de faits et de choses qui donne à l'esprit une idée nette de ce qu'est l'industrie minière. Il faut toutefois rendre justice à l'Exposition universelle de 1889, que jamais les exposants ne se sont autant préoccupés de montrer sous une forme appréciable pour tous l'outillage de leur industrie et le milieu où elle s'exerce. Ce n'était point par coquetterie, mais par un juste sentiment d'orgueil, et par une pensée de haute philosophie que la Compagnie d'Anzin faisait figurer le petit puits d'extraction de 1789, avec son toit de chaume et son baritel mû par deux mullets, en parallèle avec l'installation grandiose et harmonique de la fosse Lagrange en 1889. On doit une mention toute spéciale au magnifique modèle du siège d'exploitation de la fosse n° 5 de Bascoup, qui figurait dans l'exposition collective des sociétés de Mariemont et de Bascoup. Les mines d'Aniche montraient également un beau modèle d'un de leurs sièges d'extraction.

La Compagnie de Lens avait même installé un chevalement de mine à demi-grandeur montrant ainsi aux visiteurs le fonctionnement réel des constructions ingénieuses et des appareils de sécurité dont elle a poussé si loin le perfectionnement. Il est de toute justice de citer ici le nom de l'Ingénieur en chef de cette Compagnie, M. Reumaux.

La Compagnie de Blanzy reliait dans un ensemble très vivant les engins de la surface à l'ensemble de l'exploitation souterraine, de même que celle de la Grand-Combe, de la Loire et de Carmaux. D'autres sociétés houillères, parmi elles notamment Montrambert, Saint-Etienne et Firminy, montraient par des modèles très bien compris les méthodes appropriées par elles à l'exploitation de la richesse houillère.

On conçoit qu'en un temps où les progrès incessants de l'art des mines sont portés, dès leur apparition, à la connaissance des ingénieurs par tant de sociétés savantes et de publications autorisées, les sociétés minières se soient surtout préoccupées de mettre sous les yeux du public ce que leurs travaux et leur expérience les avaient conduits à installer tout récemment et à signaler les tentatives et les tendances de leurs recherches.

Le même esprit nous guidera dans la rédaction des pages qui suivent, bien loin de montrer l'état présent du matériel et des procédés de l'exploitation des mines, nous devrons nous borner dans le choix de nos descriptions et de nos planches, à signaler ce qui, dans les galeries de l'Exposition universelle, nous a paru plus particulièrement nouveau et inédit.

TRANSPORT DE LA FORCE

AIR COMPRIMÉ

On rappellera pour mémoire les développements considérables de l'emploi de l'air comprimé qui, outre son action comme transport de force, a l'avantage d'aérer les chantiers.

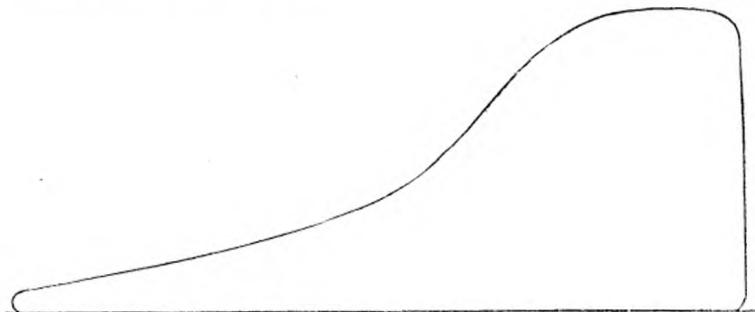
Les appareils qui produisent l'air comprimé dans les mines sont bien connus et divers constructeurs se sont ingénierés à en perfectionner les engins.

M. Hanarte, ingénieur civil à Mons (Belgique), exposait le compresseur parabolique de son système.

Les compresseurs paraboliques installés aux mines de Dourges et de Bois-du-Luc dans les conditions suivantes :

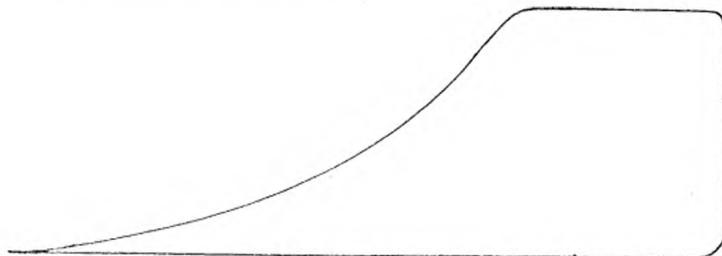
Course des pistons	1 mètre
Nombre de tours par minute	27 à 40
Pression de la vapeur aux chaudières	3 atmosphères
Pression de l'air comprimé	3 »

ont donné les diagrammes ci-joints.



Travail brut de la vapeur

Cylindre à vapeur	{	diamètre	0 ^m ,650
		surface	0 ^{m2} ,3318
Ressort taré à raison de 0 ^m ,018 par kil. sur 1 c ²			
Longueur du diagramme			0 ^m ,102
Surface du diagramme			0 ^{m2} ,0022
Ordonnée $\frac{0,0022}{0,102}$			0 ^m ,02156



Travail produit dans le cylindre compresseur

Cylindre à air	{	diamètre.	0 ^m ,540
		surface	0 ^{m²} ,2290
Ressort taré à raison de 0 ^m ,012 par kil. sur 1 c ² .			
Longueur du diagramme.			0 ^m ,102
Surface du diagramme			0 ^{m²} ,001860
Ordonnée $\frac{0,001860}{0,102}$			0 ^m ,0182
Pression en kil. par c ² $\frac{0,0182}{0,012}$			1 ^k ,516
Travail $\frac{2290 \times 1,516 \times 0,90}{75} = 41$ chevaux $\frac{6}{10}$			

La Société Cockerill de Seraing avait installé dans la galerie des Machines un compresseur, système Dubois et François, devant produire par cylindre et par heure 500 mètres cubes d'air comprimé à la pression de 6 atmosphères et à une température ne dépassant pas de 15° celle de l'air ambiant.

Les cylindres compresseurs sont disposés par paires, chacun d'entre eux étant actionné directement par un des cylindres de la machine Compound.

Les deux cylindres à vapeur sont placés entre les cylindres compresseurs et un arbre à manivelles calées à angle droit. L'arbre porte un volant placé au milieu de sa longueur.

Pour le bâti des cylindres à vapeur on a adopté le système américain dit à baïonnette, en conservant cependant les guides plates, plus facile à remplacer en cas d'usure.

La pompe à air est commandée par une contre manivelle.

Le cylindre à haute pression est muni d'une détente Meyer, réglée à la main. Le régulateur n'agit pas sur l'appareil de la détente, de faibles variations de la

vitesse étant sans importance, mais sur un papillon, afin de prévenir simplement toute accélération dangereuse pour les pièces de la machine.

Le cylindre à basse pression a un tiroir du système Trichk permettant une détente assez prolongée de la vapeur, sans course exagérée du tiroir.

Les cylindres compresseurs sont à double effet, les soupapes d'aspiration et de refoulement étant logées dans deux chapelles placées aux extrémités des cylindres.

Les soupapes d'aspiration sont accouplées par paires sur une tige en deux parties, reliées au moyen d'un ressort à boudin qui les ramène sur leurs sièges. Ces soupapes sont d'une forme souvent employée dans les machines soufflantes, à savoir des disques plats garnis de cuir ou de caoutchouc. Les soupapes de refoulement sont en bronze à simple siège.

Les dimensions principales de cette machine sont les suivantes :

Cylindres à vapeur à haute pression	diamètre	0 ^m ,700
» » basse pression	»	1 ^m ,150
Cylindres à air	»	0 ^m ,600
Course des cylindres	»	1 ^m ,200
Pression de la vapeur	»	8 atmosphères
Révolutions par minute	»	45
Comprimant l'air à une pression de	»	6 atmosphères

MM. Maillet et C^{ie} ont fourni, en 1889, à la Société des Mines de Carmaux, un compresseur d'air dont les dessins figuraient à l'Exposition. Il est constitué, comme il suit, dans ses principaux organes.

Les deux cylindres à vapeur ont 0^m,650 de diamètre et 1^m,10 de course.

Une vanne centrale de 0^m,160 de diamètre règle l'arrivée de la vapeur dans les boîtes à tiroir de chacun des cylindres.

La distribution de la vapeur dans chacune des boîtes à tiroir s'effectue par des tiroirs plans sur le dos desquels un excentrique spécial fait mouvoir les barrettes planes de la détente Meyer, variable à la main depuis l'introduction de $\frac{1}{10}$ jusqu'à celle de $\frac{7}{10}$.

Les bâtis de ces machines sont du genre Corliss, mais avec bras reposant entièrement sur le sol.

Les cylindres compresseurs ont 0^m,550 de diamètre intérieur et 1^m,10 de course ; les tiges de leurs pistons sont directement attelées aux tiges des pistons à vapeur. L'avant de chacun des cylindres compresseurs est entretoisé à l'arrière des cylindres à vapeur par deux forts tirants, clavetés dans de solides boulages venus de fonte aux couvercles de ces deux cylindres.

Deux soupapes d'isolement de 0^m,150 de diamètre, placées sur le tuyau de refoulement d'air, permettent d'isoler l'un ou l'autre cylindre compresseur en cas de marche d'un seul côté de la machine.

Les deux soupapes d'aspiration sont levées par un dispositif particulier, dont nous parlons plus loin, et le conduit de refoulement sur le cylindre est muni d'une soupape de sûreté. Un excentrique placé sur l'arbre entre les deux machines actionne une pompe à double effet, dont le débit est fonction de la vitesse de la machine et qui aspire et refoule le volume d'eau nécessaire au moment de l'aspiration des pistons compresseurs.

Un volant de 5 mètres de diamètre, et du poids de 8000 kilogrammes en deux pièces, régularise le mouvement de la machine. La vitesse de rotation peut être comprise entre 10 et 50 tours. Le compresseur est capable de fournir 3^m,75 d'air comprimé à 6 kilogrammes par minute, à la vitesse de 25 tours.

Le constructeur garantit un rendement des compresseurs en air de 80 %.

M. Reumaux a imaginé il y a quelques années, de provoquer et de maintenir l'ouverture des soupapes de compresseurs au moyen de cames. Les soupapes ne sont abandonnées à l'action des ressorts qu'au moment où elles doivent être ramenées sur leur siège. Les ressorts destinés à déterminer rapidement la fermeture ont en effet l'inconvénient de produire par cela même un étranglement et une diminution de rendement. C'est un dispositif analogue qui a été appliqué par M. Maillet au compresseur de Carmaux.

Plus récemment, M. Reumaux a supprimé les ressorts et renoncé à l'ouverture mécanique. La tige de la soupape guidée dans un cylindre en bronze relié au siège, est arrêtée dans sa course par une rondelle de caoutchouc maintenue par un écrou. Comme il n'y a pas de ressorts, la soupape ne rencontre aucune difficulté lorsqu'elle doit s'ouvrir et demeure complètement ouverte pendant toute la durée de la course. La fermeture est produite par une injection d'eau, la buse d'injection étant recourbée à l'intérieur de manière à lancer le jet d'eau contre la face intérieure de la soupape.

MM. Sautter et Lemonnier exposaient le compresseur qu'ils ont construit, avec M. Colladon pour le tunnel sous-marin.

MM. Ingersoll et Sergeant (de New-York) exposaient un compresseur à disposition horizontale formé de trois cylindres, un à vapeur et deux à air avec la disposition compound. Ils sont placés tous trois en prolongement sur le même axe. Une même tige porte les trois pistons dont la course est commune. Les cylindres à air ont des volumes inégaux dont le rapport est de 3 à 1. Le petit cylindre est boulonné directement sur le grand.

Deux volants, reliés par manivelles et bielles à la tige des pistons, régularisent le mouvement.

Il n'y a pas d'injection ; l'échauffement est simplement combattu par une circulation d'eau dans les enveloppes des cylindres. L'espace compris entre les deux pistons compresseurs communique librement avec l'atmosphère. Le piston du grand cylindre est percé à sa surface d'une série de trous recouverts par une

plaqué d'acier pouvant se déplacer en se soulevant sous l'effet de l'aspiration de l'air.

Une conduite rectangulaire fait communiquer la partie antérieure du grand cylindre avec la partie postérieure du petit. Un premier jeu de soupapes existe entre le fond du grand cylindre et la conduite intermédiaire, un second, entre le fond du petit et la conduite de transport.

Lorsque le grand piston vient de fonctionner par aspiration, il comprime l'air, et celui-ci, soulevant les soupapes passe derrière le petit piston, de sorte que l'air refoulé d'un côté est en quelque sorte aspiré de l'autre. Dans le mouvement inverse, la plaque d'acier du grand piston se soulève et l'air est aspiré dans le grand cylindre, tandis que celui que nous venons de voir pénétrer dans le petit cylindre pendant la course précédente est comprimé une seconde fois, et refoulé dans la conduite générale.

Les dimensions principales du compresseur exposé sont les suivantes :

Diamètre du grand cylindre à air	0 ^m ,520
Diamètre du petit cylindre à air	0 ^m ,295
Diamètre du cylindre à vapeur.	0 ^m ,355
Course des pistons	0 ^m ,457
Nombre de tours par minute	35 à 40
Pression finale	7 à 8 atmos.

MM. Ingersoll et Sergeant construisent des appareils capables de comprimer l'air à 17 atmosphères, et pouvant faire jusqu'à 150 révolutions par minute. La répartition de la compression dans deux cylindres a pour effet de réduire de 22,5 % suivant les inventeurs la résistance finale que l'on rencontrerait dans un compresseur monocylindrique.

Le nouveau compresseur du système de MM. Burckhardt et Weiss figurait dans diverses sections françaises et étrangères (pl. 1 et 2). Le concessionnaire pour la France est le constructeur bien connu de Châlon-sur-Saône, M. Pinette.

Le rendement des pompes à air à soupapes est diminué : 1^o par l'influence des espaces nuisibles ; 2^o parce qu'il n'est possible d'admettre qu'une marche lente avec de telles machines. MM. Burckhardt et Weiss recherchent dans leur compresseur la suppression de ces inconvénients. Une marche rapide est obtenue par l'emploi d'une distribution à tiroir mobile. L'influence des espaces nuisibles est diminuée par un canal qui se trouve coulé dans le tiroir à coquille et met en communication dans sa position moyenne les deux côtés du piston. Cette position moyenne du tiroir se présente à chaque changement de marche du piston. Il en résulte qu'après chaque course l'air comprimé, qui se trouvait dans l'espace nuisible devant le piston, passe derrière, et est refoulé avec celui qui vient d'être aspiré à nouveau. Dans l'espace nuisible la pression de l'air au

commencement de la course est déjà descendue à la tension de l'espace d'aspiration de sorte que de l'air est immédiatement aspiré. Les recouvrements extérieurs et intérieurs du tiroir sont assez grands pour que dans son mouvement, le canal de communication soit déjà fermé par la surface de la glace quand les angles extérieurs ou intérieurs des bords du tiroir ouvrent les canaux d'entrée et de sortie de l'air.

Les recouvrements extérieurs et intérieurs sont égaux.

La figure ci-dessous représente le diagramme de la distribution.

On a :

e recouvrement extérieur = i recouvrement intérieur.

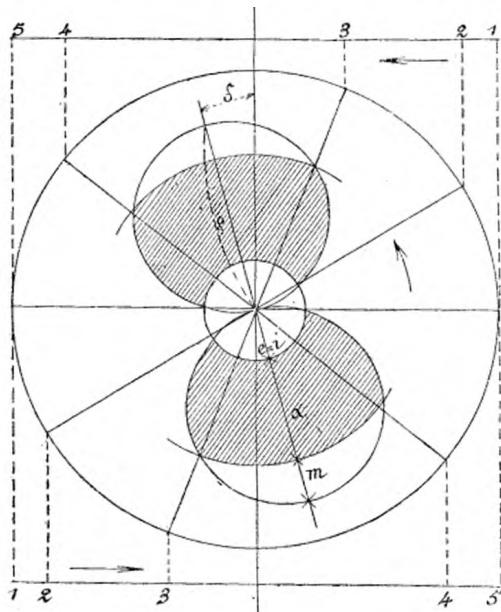
a largeur de la lumière du canal mesuré dans le sens du mouvement du tiroir.

m petit excès du mouvement du tiroir sur la longueur exigée par la largeur du canal.

On aura pour l'excentricité

$$e = a + e + m.$$

L'angle de calage de l'excentrique en retard par rapport à la manivelle de 90° est choisi de telle sorte que la fermeture des canaux se fasse juste à la fin



de chaque course. Si nous désignons les positions principales du piston par les chiffres 1 2 3 4 et 5 :

- De 1 à 2 a lieu la compensation de pression.
- De 2 à 3 les canaux d'entrée et de sortie s'ouvrent.
- De 3 à 4 les canaux sont entièrement ouverts.
- De 4 à 5 les canaux se ferment de nouveau.

Grâce au choix de l'angle à la compensation a lieu exactement à la fin de la course.

Les canaux d'entrée et de sortie sont ouverts en plein pendant la plus grande partie de la course. Lorsque le piston n'a plus que 1 % de son chemin à parcourir la largeur de l'ouverture du canal est encore le quart de la largeur totale. La vitesse du piston et celle de l'air sont à ce moment presque nulles. L'air n'est donc étranglé ni au commencement de l'aspiration ni au commencement du refoulement.

Pour éviter au moment du changement de course du tiroir de laisser rentrer dans le cylindre à travers les canaux l'air déjà refoulé hors de la boîte à tiroir, on place sur le dos de celui-ci une soupape de retenue. On aurait pu avec quelques complications remplacer cette soupape par un second tiroir sur le dos du premier s'ouvrant au moment où la pression devant le piston serait montée à tension de l'espace de compression.

La surface du siège et la plaque de retenue portent des rainures qui ne sont pas placées vis-à-vis les unes des autres. Pour une très petite course de la plaque on a donc une grande section d'ouverture.

Les diagrammes relevés montrent que cette soupape est parfaitement étanche et qu'un très faible surcroît de pression suffit pour la soulever. Les ressorts qui la maintiennent ont une force double du poids de la plaque.

L'air est comprimé à sec. Les constructeurs dans le but d'atténuer la perte de travail dû à l'échauffement, ont adopté un mode de refroidissement par eau courante et froide autour du cylindre et des couvercles ; ceux-ci étant débarrassés de tout organe de distribution ont ainsi une action refroidissante prépondérante sur celle de la surface cylindrique qui diminue sans cesse au fur et à mesure que le piston approche de la fin de sa course. La perte de travail d'après les expériences faites par les constructeurs ne dépasse pas plus de 17 %.

Les 4 diagrammes des planches 1 et 2 représentent les courbes isothermiques et adiabatiques relevées sur deux compresseurs à tiroirs et deux compresseurs à soupapes. Les constructeurs ont calculé :

La surface de travail théorique (d'après la loi de Mariotte).

Les surfaces de travail dépensé en plus :

- 1^o par suite de l'étranglement de l'air ;
- 2^o par suite de l'échauffement.

Le diamètre du cylindre, la course, le nombre de tours, la vitesse du piston sont annotés à côté du diagramme. La vitesse moyenne de l'air dans les ca-

naux des deux machines à tiroirs était de 30 mètres à la seconde. Le compresseur à soupape avait à chaque extrémité du cylindre :

Une soupape d'admission de 80 millimètres de diamètre et 12 millimètres de course ;

Une soupape de compression de 68 millimètres de diamètre et 8 millimètres de course.

La vitesse moyenne d'entrée de l'air dans la soupape d'aspiration était dans le cas III égale à 31 mètres et dans le cas IV à 28 mètres ; les vitesses moyennes de sorties correspondantes étaient de 55 et 49 mètres. Aux deux machines à tiroirs l'espace n'utile était de 7 % ; dans les compresseurs à soupapes il était à peu près nul, parce que le piston s'avancait presque jusqu'au couvercle du cylindre.

Les résultats numériques tirés des diagrammes montrent que l'échauffement et l'étranglement de l'air consomment dans la machine à tiroirs 14 à 17 % du travail, et 29 à 23 % dans les compresseurs à soupapes.

Les machines étaient refroidies de la même manière ; on avait supprimé l'eau dans les couvercles du compresseur à tiroirs : malgré cela les diagrammes montrent que l'échauffement dans ces machines est resté considérablement au-dessous de celui des machines à soupapes, grâce à l'action rafraîchissante de l'eau sur les canaux, action qui existe dans les premières et n'existe pas dans les secondes. La différence est encore plus accentuée lorsqu'on laisse arriver l'eau froide dans les couvercles des compresseurs à tiroirs.

Deux compresseurs Burckhardt ont été installés à Blanzy, en 1889. Les cylindres à air et à vapeur sont accouplés sur le même arbre moteur. Les dimensions principales sont les suivantes :

	Piston	Tige	
		avant	arrière
Cylindre à vapeur . . .	0 ^m ,550	0 ^m ,070	0 ^m ,060
{ Diamètres	0 ,600	0 ,600	0 ,600
Course			
Volume engendré par cylindrée face avant	0 ^{m3} ,140.241		
» » arrière	0 ^{m3} ,140.854		
Moyenne		0 ^{m3} ,140.547	

	Piston	Tige	
		avant	arrière
Cylindre à air	0 ^m ,500	0 ^m ,070	0 ^m ,060
{ Diamètres	0 ,600	0 ,600	0 ,600
Course			
Volume engendré par cylindrée face avant	0 ^{m3} ,115.501		
» » arrière	0 ^{m3} ,116.113		
Moyenne		0 ^{m3} ,115.807	

Les diagrammes relevés sur ces compresseurs indiquent une courbe de refoulement un peu tremblée par suite des battements du clapet de retenue.

La chute de pression est restée aussi franche aux allures de 108 tours qu'à celle de 44 tours. La vitesse de régime varie entre 95 et 110 tours par minute.

Les mines de Blanzy, sont croyons-nous, celles de France où l'emploi de l'air comprimé s'est fait sur la plus vaste échelle. On trouvera à ce sujet les renseignements les plus intéressants dans la brochure de son très distingué directeur M. Mathet : *L'air comprimé aux mines de Blanzy*.

Dans le modèle intéressant à divers points de vue, qu'exposait la compagnie de Blanzy, l'exploitation était assurée exclusivement par l'air comprimé. On trouvait ainsi condensés les divers emplois de ce précieux engin pour l'abatage, pour le transport, pour l'aérage et même pour l'épuisement.

ÉLECTRICITÉ

On conçoit que le transport électrique de la force dans les galeries souterraines au moyen de simples câbles conducteurs se prêtant à toutes les sinuosités des voies et au déformations des galeries, ait justement préoccupé dans ces dernières années les exploitants de mines. La question sera exposée dans d'autres parties de cet ouvrage, nous nous contenterons de signaler les applications souterraines faites aux mines tout en faisant des réserves au sujet de la façon dont pourrait se comporter l'électricité à forte tension en présence du grisou. Cependant il nous sera permis d'ajouter que l'étude de l'électricité est aujourd'hui au nombre des connaissances nécessaires de l'ingénieur des mines, tant pour les installations du jour que pour celles du fond.

La Sperry Mining machine Co de Chicago exposait une haveuse agissant par percussion et actionnée par une petite dynamo.

Des essais ont donné les résultats suivants :

Force motrice à la surface	24.55
Force électro-motrice à la surface	80 volts
Intensité du courant	20 ampères.
Longueur du circuit	1060 m.
Perte dans la ligne	2,25 volts
Force fournie à l'outil	1,73 chev.
Rendement.	80 %

M. Taverdon a fait quelques tentatives dans ce sens avec sa perforatrice à couronne de diamant.

M. Tedesco a également cherché à appliquer une commande électrique aux perforateurs à vis Fontan et Tedesco. Citons encore la haveuse Lechner essayée

dans une houillère du comté de Clarfield en Pensylvanie et celle de MM. Bower Blackburn et Mori, essayée en Angleterre. Avec la haveuse Lechner le moteur, du système Sprague et d'une puissance de 10 chevaux est porté par un truc établi sur rails ; son poids est de 450 kilogrammes ; il est relié à l'outil par un câble d'une longueur de 10 mètres et fonctionne à une distance de la dynamo génératrice qui peut atteindre jusqu'à 500 mètres.

M. Chanselle, ingénieur principal de la Société des houillères de Saint-Etienne, rappelle dans son rapport présenté au Congrès international des mines et de la métallurgie les diverses applications de l'électricité au transport de la force motrice dans les mines.

En mai 1881, la Société des houillères de Saint-Etienne, installait au puits Thibaud un treuil électrique pour l'extraction dans un petit bure intérieur de 30 mètres.

L'installation au jour comprenait une machine à vapeur horizontale (diamètre du piston 0^m,180, course 0^m,320) et une machine Gramme, type A. Deux câbles conducteurs de 250 mètres de long, formés de 16 fils de cuivre rouge de $\frac{11}{10}$ de millimètre, reliaient la génératrice à la réceptrice. Celle-ci tournait toujours dans le même sens. Le changement de marche était obtenu au moyen d'un manchon d'embrayage et de deux pignons coniques. En marche normale, le treuil montait une charge utile de 500 kilogrammes de charbon en 3 minutes à 24^m,50 de hauteur ce qui représente 0^{ch},9, la machine réceptrice faisant 1300 tours, et la génératrice 1800. La machine à vapeur développait 3^{ch},6 ce qui fait un rendement brut de 25 %.

Vers la même époque on installait aux mines de La Péronnière deux treuils à 400 mètres de profondeur : le premier est placé à la tête d'une descente de 105 mètres de longueur qui sert à éléver les charbons d'une hauteur verticale de 40 mètres, il est à 1200 mètres de l'orifice du puits ; le second est à 1500 mètres de cet orifice et entraîne dans son mouvement un câble en acier portant une cage et un contre-poids : la profondeur de ce bure est de 26 mètres. Cette installation a rendu et continue à rendre de très bons services ; les résultats suivants ont été obtenus :

Travail de la vapeur par seconde	3294 kgm.
Travail utile par seconde	989 kgm.
Rendement	0,285.

M. de Bovet a bien voulu nous donner des renseignements inédits sur le treuil d'extraction qu'il a installé à la mine d'or de Faria (Brésil). Ce treuil utilise la force motrice d'une chute d'eau transmise à distance après transformation en énergie électrique. A l'une des extrémités de la ligne, la génératrice est commandée, au moyen d'une courroie sans fin en coton, par une turbine à axe hori-

zontal. Cette turbine utilise une chute d'eau de 12 mètres ; elle a 0^m,70 de diamètre et donne 20 chevaux à la vitesse de 225 tours.

La distance de la génératrice à la réceptrice est d'environ 1600 mètres. Ces deux machines sont des dynamos Gramme identiques, ce qui donne l'avantage de pouvoir remplacer indifféremment l'une ou l'autre, en cas d'avarie, avec une seule machine de rechange.

Les conditions de marche sont les suivantes :

Puissance disponible sur l'arbre de la réceptrice	10 chevaux
Différence de potentiel aux bornes de la génératrice	330 volts
Intensité du courant	33 ampères
Vitesse de la génératrice	900 tours
Vitesse de la réceptrice	650 tours
Résistance des conducteurs pour 3600 mètres aller et retour	1,8 ohm
Rendement entre les arbres de la génératrice et de la réceptrice	55 à 58 %
Poids de la dynamo	1300 kg.

La ligne est formée d'un câble de 36 fils de cuivre de 1 millimètre de section. Il y passe donc moins d'un ampère par millimètre carré. Elle est portée par des isolateurs en porcelaine fixés à des poteaux de bois.

L'arbre de la réceptrice porte un pignon en acier qui attaque le premier arbre du treuil par l'intermédiaire d'une roue à dents de bois. On a voulu éviter toute manœuvre sur les appareils électriques, aussi ce premier arbre tourne comme la réceptrice toujours dans le même sens et porte deux boîtes d'embrayage à ressorts, système Mégy. Ces boîtes contiennent l'une deux, l'autre trois roues et transmettent par suite le mouvement dans un sens ou dans l'autre. L'installation comprend en outre un rhéostat qui peut se fractionner : il est relié au levier du treuil, en sorte que la résistance est introduite dans le circuit chaque fois que le mécanicien débraye. Cette disposition jointe au régulateur empêche tout emballlement de la machine.

Le treuil dans ces conditions peut lever une benne contenant 450 kilogrammes de mineraux avec une vitesse de 1 mètre par seconde.

Nous devons encore citer le treuil électrique de 10 chevaux installé à New-Stassfurt en 1886, puis les diverses installations et essais faits à la Chapelle-sous-Dun (Saône-et-Loire), au Moncel-Sorbiers et à Saint-Chamond (Loire), aux mines de Blanzy, où deux machines Gramme ont actionné un ventilateur et une pompe centrifuge Dumont.

La compagnie des mines d'Anzin vient également d'appliquer l'électricité à un treuil destiné à l'extraction en vallée.

EAU

Pour approfondir un siège d'extraction, la Société anonyme des houillères de Montrambert et de la Béraudière se propose d'utiliser les eaux qui descendent dans la mine du niveau 356 au niveau 406. La préparation du nouvel étage sera commencée par le creusement du travers banc relié provisoirement au niveau 406 par une descente armée. Le débit utilisable des eaux est de 8 litres par seconde. Pour une chute verticale de 50 mètres et en supposant un rendement pratique de 40 %, le travail sera de 13.860.000 kilogrammètres par 24 heures. Pour extraire de 50 mètres pendant le même temps 250 bennes de remblais et d'eau d'un poids de 900 kilogrammes, il faut un travail de 11.250.000 kilogrammètres, la quantité d'eau sera donc largement suffisante. (planches 3 et 4).

Le récepteur hydraulique choisi est une turbine construite par MM. Crozet, Fourneyron et C^{ie}. Elle a 0^m,66 de diamètre et fait 600 tours par minute. Elle est réversible et constitue en quelque sorte deux turbines à aubes opposées de manière à pouvoir renverser le sens du mouvement de rotation à l'aide d'une vanne.

Le réservoir d'eau qui alimentera la turbine a été creusé dans une couche de houille ; il a une section de 4 mètres carrés et une longueur de 50 mètres, soit 200 mètres cubes de capacité.

La conduite plonge dans ce réservoir et forme siphon ; un clapet de retenue la termine de ce côté ; le maximum de hauteur d'aspiration est de 2^m,50 ; le siphon s'amorce très facilement à l'aide d'une pompe à bras.

Cette conduite de 0^m,16 de diamètre intérieur peut débiter 23 litres par seconde avec une vitesse de l'eau de 1^m,15 et une perte de charge de 0^m,012 par mètre courant. Deux clapets de sûreté devant se fermer sous l'action d'une vitesse excessive de l'eau préviennent tout danger d'inondation en cas de rupture de la conduite.

La descente creusée avec une pente moyenne de 30° est armée d'un tourniquet qui reçoit le mouvement de la turbine au moyen d'une chaîne de Galle et de deux roues dentées fixées l'une sur l'arbre du tourniquet l'autre sur l'arbre de la roue hélicoïdale actionnée directement par la turbine. La roue fait un tour pour 24 faits par la turbine. Le diamètre des roues dentées étant le même et celui de l'enroulement des câbles sur le tourniquet étant de 0^m,80 la vitesse de marche des bennes dans la descente se trouve être de 1 mètre par seconde.

Nous n'avons pas à revenir ici sur les diverses applications de l'eau sous pression qui trouveront leur place dans une autre partie de ce recueil.

Pour utiliser les chutes d'eau qui se rencontrent fréquemment dans les mines M. Pinette a construit un treuil hydraulique qui figurait à l'Exposition. Le mouvement est donné par 4 cylindres accouplés deux à deux. (planches 3 et 4).

Deux cylindres conjugués, ayant leur axe en prolongement l'un de l'autre, reposent par un de leurs fonds, sur un gros tourillon, autour duquel ils peuvent recevoir un mouvement d'oscillation. Les fonds des cylindres ne recouvrent que deux secteurs diamétralement opposés de la surface du tourillon ; les deux autres sont recouverts par des secteurs annulaires faisant corps avec les cylindres et communiquant avec les fonds restés libres.

La surface cylindrique du tourillon, à l'intérieur duquel arrive l'eau sous pression, est percée de plusieurs lumières. Lorsque les cylindres qui oscillent autour du tourillon sont dans l'une de leur position extrême, les lumières qui se trouvent contre le fond des cylindres sont ouvertes, les autres fermées et les deux pistons s'éloignent ensemble.

Lorsque les cylindres occupent l'autre position extrême de l'oscillation, la communication est renversée et les deux pistons se rapprochent ensemble.

L'échappement de l'eau se fait par des orifices à section en V ménagés sur les contours du tourillon distributeur et dont le jeu est évidemment inverse de celui des lumières. Les tiges des pistons sont directement attachées aux tourillons excentrés des roues d'engrenage qui actionnent le treuil, et les cylindres reçoivent ainsi le mouvement d'oscillation nécessaire à la distribution.

Une vanne permet d'envoyer l'eau sous pression dans le tuyau qui servait précédemment à l'échappement : le jeu du tourillon est inversé et l'eau sous pression arrive par les ouvertures en V et sort par la partie centrale ; par suite le changement de marche est obtenu.

SONDAGES

Dans la section Française, trois maisons, celles de MM. Lippmann et C^{ie}, Arnaud, et Hulster et fils, montraient par des expositions très complètes et par de nombreux modèles tout l'ensemble de leurs appareils, tant pour les sondages à faible profondeur que pour ceux à grande profondeur.

M. Arnaud avait fait figurer une installation en vraie grandeur pour sondage à 200 mètres, et on remarquait dans l'exposition de M. Lippmann de grands trépans pour puits de mine de 4^m, 40 de diamètre munis de cinq lames en forme de double Y.

Les perfectionnements apportés en France dans l'outillage des sondages sont aujourd'hui classiques et nous n'y reviendrons pas.

La société agricole et industrielle de Batna et du Sud Algérien a fait construire par la maison Lippmann et C^{ie}, un matériel de sondage portatif appelé à

rendre de grands services dans les régions d'un accès difficile. Les différentes pièces du chevalet, tous les outils et les accessoires peuvent être transportés à dos par les bêtes de somme. On a pu exécuter au nord du Sahara, avec ce matériel, des trous de sonde de 120 mètres de profondeur après avoir parcouru 170 kilomètres dans un pays privé de toute voie de communication.

L'intéressant fac-simile d'un de ces puits ainsi que des collections d'eaux, de terrains, de poissons et de coquillages se trouvaient à l'esplanade des Invalides.

M. Didion (Belgique) exposait une sonde portative, (système Van der Broeck et Rulot), pour la reconnaissance rapide des terrains.

Le sondage à tiges creuses et à courant d'eau, système Fauvel, rend de grands services, tant par sa rapidité et son bas prix de revient, que par la simplicité de son appareil. Il est employé tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. M. Przibilla, ingénieur à Cologne, a apporté quelques modifications dans le jeu des pompes qui refoulent l'eau, dans les tiges creuses, et dans la combinaison du joint à chute libre avec le mécanisme de rotation du trépan.

MM. Deutsch exposaient avec détails le matériel de forage, de création américaine, employé par eux pour l'exploitation des pétroles du Caucase. L'atelier du puits se compose d'un derrick, charpente en bois au sommet de laquelle est montée une poulie où passe le câble qui permet de descendre et de remonter la tige de sonde. Des constructions sommaires abritent la machine à vapeur, qui, par l'intermédiaire d'une grande poulie-volant, commande les différents appareils mécaniques, le balancier pour le battage du trépan, le treuil de service de la pompe à sable, le treuil de levage pour la manœuvre de la tige de sonde. La tige de sonde américaine se compose d'un trépan à la partie inférieure, et au-dessus, d'une allonge de 8 à 9 mètres de longueur, des étriers ou glissières, d'une allonge semblable à la précédente mais moins longue et de la fourchette d'attache, par laquelle la tige est reliée au câble du treuil de levage. Pour les gisements peu profonds, la tige de sonde est menée directement par ce câble. Si on descend plus bas que 80 mètres, on équipe la tige de sonde complète et le battage du trépan s'effectue au moyen du balancier par l'intermédiaire de la vis d'avancement. Cette exposition rappelait en même temps les grandes canalisations dites pipes-lines de la Pensylvanie et du Caucase.

M. Syroczynsky a présenté au Congrès des mines et de la métallurgie une note sur le procédé de forage, appelé canadien, aujourd'hui très employé pour l'exploitation du pétrole dans la Galicie Autrichienne (planches 5-6).

Le trépan est vissé par une vis conique à la tige de surcharge longue de 6 à 9 mètres ; le poids total varie de 600 à 750 kilogrammes. Il est suspendu au moyen d'une coulisse d'Oyenhausen à une série de tiges en bois de frêne (0^m,050 de diamètre) attachée au moyen d'une chaîne à un levier de battage. Cette

chaîne est enroulée trois fois sur la tête du balancier, armée à cet effet d'une pièce cylindrique en fonte, avec des rainures en spirales, puis attachée à un treuil placé sur le balancier même. Le maître foreur met le treuil en mouvement au moyen d'un encliquetage et peut ainsi allonger ou raccourcir la chaîne. Pour descendre ou monter le trépan, la tige détachée du balancier est supportée par une corde en aloès de 45 millimètres de diamètre enroulée sur un tambour. Au battage le balancier est enlevé de 50 centimètres environ et donne 50 à 60 coups par minute. La cuillère pour enlever les déblais est un tuyau de 10 mètres, muni d'un clapet à la partie inférieure. Il faut à peine une demie minute pour détacher une tige de sondage et un système de tiges de 200 mètres et remonté ou descendu en 10 à 12 minutes.

Le trou dont le diamètre initial varie de 0^m,25 à 0^m,40, et que l'on termine avec le diamètre de 0^m,10 est soutenu et préservé de l'éboulement par une colonne de tuyaux en fer vissés l'un sur l'autre.

Les dessins exposés par la Compagnie des mines de Lens montraient les grands services qui lui ont été rendus par un sondage exécuté sous la direction de M. Reumaux. Une venue d'eau très considérable s'étant déclarée brusquement dans un puits de recherche intérieur, tous les travaux d'un étage ont été inondés. Le raccordement des plans du fond et de la surface a permis de forer un trou de sonde exactement au-dessus du puits intérieur. Le béton et le ciment coulé dans le trou de soude ont aveuglé les sources. Les pompes ont pu dès lors épuiser les eaux et permettre de rentrer dans la mine.

FONÇAGE

FONÇAGE A NIVEAU PLAT

Le modèle du puits Combe en fonçage, exposé par la Société des mines de Roche-la-Molière et Firminy, représentait, dans sa partie inférieure, le chantier de fonçage avec soutènement provisoire des parois au moyen de cercles en fer ; dans sa partie moyenne, le système de construction des recettes intérieures avec pieds-droits en maçonnerie, pontrelles en fer à double T et garnissage en béton ; dans sa partie supérieure, le chantier de muraillement avec plafond à deux étages et à pattes de sûreté.

Un élégant modèle exposé par la Société des mines de la Loire montrait aux visiteurs l'approfondissement d'un puits d'extraction par fonçage sous demi-stot.

Ce mode de travail a été exécuté par M. Du Rousset pour augmenter de 300 mètres la profondeur d'un puits de 220 mètres sans arrêter ni ralentir l'extraction. L'une des cages continuait sa descente normale, l'autre s'arrêtait à 50 mètres du fond, le tambour de l'une des bobines ayant été augmenté. Sur

cette hauteur de 50 mètres, la moitié du puits devenu libre fut complètement isolée par une cloison et un solide plafond. Après un approfondissement de quelques mètres dans cette chambre, il était facile de s'élargir sous le demi-stot conservé, le fond du puits étant arrêté dans un banc de grès dur et compact. L'extraction des déblais du fonçage était faite jusqu'au niveau 220 par une machine installée au jour. Les câbles en acier descendaient jusqu'au plafond derrière les moises du guidage et étaient à ce niveau ramenés à l'aplomb convenable par des poulies de renvoi.

FONÇAGE A NIVEAU PLEIN

Le procédé Kind et Chaudron n'a pas cessé depuis dix ans de recevoir de nombreuses applications. Sa description n'est plus à faire mais nous devons citer quelques perfectionnements.

Dans la descente du cuvelage du puits n° 2 des Charbonnages du Nord du Flénu, on a placé deux faux fonds, l'un près de la base du cuvelage et l'autre 75 mètres plus haut. Le premier n'a donc supporté que la charge des cinquante premiers anneaux avant d'être aidé par la résistance du second. On évite ainsi les fuites occasionnées dans le faux fond par un trop grand travail.

La modification apportée au fonçage du puits n° 2 de Gneisenau (Wetsphalie) crée véritablement un nouveau procédé. Une partie du puits seulement, entre 200 et 243 mètres de profondeur, a été cuvelée, ce qui apporte une économie considérable. La colonne de cuvelage est fermée en haut comme à la partie inférieure et l'on y introduit que la quantité d'eau nécessaire pour la faire arriver doucement au fond. Une soupape permet de faire entrer l'eau du puits dans le cuvelage à la fin de l'opération, et la boîte à mousse se comprime régulièrement. Des cordes en fil de fer attachées au tronçon inférieur, du côté extérieur, servent de guides pour la descente des cuillères à bétonner. Pour la sécurité on allonge le cuvelage de quelques mètres à la partie supérieure, puis on le termine par un picotage pour bien isoler les terrains aquifères.

La descente des cuvelages dans les terrains ébouleux et aquifères a reçu différentes solutions. A Trazegnies, la Société de Bascoup a enfoncé à niveau plein des colonnes de cuvelage de fonte de 4^m,25 de diamètre intérieur, munies à la partie inférieure de trousseuses coupantes. On a dû pour déterminer l'enfoncement employer des vis de pression. Celles-ci prenaient leur point d'appui sur un échafaudage très solide, établi au-dessus de l'ouverture du puits et lesté par une quantité de fonte brute dont le poids était à la fin de l'opération de 450.000 kilogrammes : cette charge énorme était alors entièrement soulevée et la pénétra-

tion se faisait dans le terrain houiller sous un effort de 650.000 kilogrammes, y compris le poids du cuvelage.

M. Chavatte, directeur de la Compagnie de Crespin, n'a pas voulu recourir à ces charges extrêmes pour le creusement du puits de Quiévrechain. Il a préféré l'emploi d'une sorte de dragueuse à axe vertical pour déterminer l'enfoncement d'un envelage en fonte armé, comme à Trazegnies, d'une trousse coupante. Les bras horizontaux de la dragueuse portent à leur extrémité des râteaux et des lames d'acier qui divisent le terrain et le soulèvent, permettant ainsi aux déblais de pénétrer dans des sacs de toile, maintenus ouverts par des cadres métalliques formant les poches de la dragueuse. Tout en travaillant à niveau plein, cet appareil n'enlève donc que le terrain auquel on le fait s'attaquer, l'eau sortant des sacs au travers des mailles de la toile. Il n'y a pas d'affouillements possibles et le niveau statique ne baisse même pas à la sortie des sacs, si on a soin de faire pomper dans le cuvelage un volume d'eau équivalent à celui du terrain enlevé. Quand les terrains ont une certaine plasticité, on peut même remettre assez d'eau dans le cuvelage pour en conserver toujours une surcharge de 1^m,50 à 2 mètres qui s'opposera encore bien d'avantage aux affouillements.

La boîte à mousse semble perdre un peu de la faveur qui lui avait été d'abord accordée. Elle constitue certainement un excellent picotage lorsqu'elle peut fonctionner régulièrement; mais il lui arrive souvent de se déchirer avant d'arriver en place. Aussi M. Brun, ingénieur des mines de l'Escaruelle, a supprimé sans hésitation cet appareil, suivant en cela l'exemple déjà donné par M. Bourg, directeur des mines de Bois-du-Luc (Belgique) et par M. Chavatte. Par suite de cette suppression le bétonnage acquiert une plus grande importance et demande plus de soins. Sa bonne exécution et la qualité des matériaux employés garantissent seules le cuvelage contre toute infiltration des eaux.

M. Brun a aussi supprimé, comme M. Bourg, le faux fond et la colonne d'équilibre du procédé Kind et Chaudron. La Compagnie des mines de l'Escaruelle exposait un modèle réduit du cuvelage exécuté sous la direction de M. Brun et terminé en avril 1885.

FONÇAGE PAR CONGÉLATION, PROCÉDÉ PETSCHE

Solidifier complètement les terrains inconsistants que l'on doit traverser et y construire un cuvelage très résistant et parfaitement étanche, telle est en quelques mots l'exposé de cette nouvelle méthode, qui d'après son inventeur doit permettre le percement de tous les puits ou galeries à travers les terrains mouvants et aquifères et la reprise de tous les fonçages que l'on avait dû abandonner. Le procédé consiste à disposer sur une circonférence extérieure et con-

centrique à la section du puits en creusement, une série de tubes verticaux, fermés à la base, équidistants les uns des autres, qui traversent la couche aquifère et pénètrent dans les couches sous-jacentes ; au centre de chacun de ces tubes sont placés d'autres tubes de moindre diamètres ouverts aux deux extrémités. Un liquide convenablement refroidi descend par ces derniers et remonte par les espaces annulaires compris entre les deux parois métalliques en abaissant la température du terrain.

Les zones congélées se soudent les unes aux autres en s'agrandissant, et transforment en un bloc de glace le terrain où doit se trouver le puits. Dès lors, on n'a plus qu'à effectuer le fonçage d'après les moyens ordinaires. Les ouvriers ne travaillent qu'au pic ou à l'aiguille ; l'ébranlement qui résulterait d'un coup de mine pourrait disloquer la masse solidifiée et briser les tubes de circulation.

Le liquide employé par M. Poetsch est une solution de chlorure de calcium à 21° Baumé, refroidie au jour par l'évaporation de l'ammoniaque liquide.

La première expérience de M. Poetsch, faite avec succès dans la concession de Douglas (Cercle de Magdebourg), en 1883, a donné lieu à de vives discussions. Inconvénients de la basse température pour les ouvriers et pour la prise du ciment, difficulté de produire une quantité de froid suffisante pour la traversée de couches aquifères puissantes telles étaient les principales objections.

Mais, diverses applications ont été faites depuis. La température au fond des puits se trouve être seulement de 1° ou 1° 1/2 au-dessous de zéro. Les ciments prompts ont donné de bonnes prises, sans que l'on soit obligé d'y mélanger du sel, comme on l'avait proposé pour retarder la congélation de l'eau; enfin, le fonçage du puits de 5 mètres de diamètre, de Jessemitz, en Mecklembourg, à travers une couche aquifère de 75 mètres de hauteur, a montré que la méthode de M. Poetsch devait bien prendre rang parmi les procédés de l'industrie.

ESSAIS DE FONÇAGE A L'AIR COMPRIMÉ

Dans les grands travaux du port de Calais, la fondation des quais, formée de puits isolés en maçonnerie, a été exécutée d'une manière fort originale, qui rappelle par certains côtés le procédé dit à trousses coupante.

La maçonnerie a été élevée directement sur le fond des fouilles, et le fonçage effectué huit jours après son achèvement.

La descente a été obtenue au moyen de simples courants d'eau qui, en désagrégant le sous-sol sableux, le mettaient en suspension et l'entraînaient en dehors. Les lances, amenant l'eau sous pression, étaient disposées verticalement à l'intérieur de la maçonnerie. Une pompe centrifuge, dont la crête était au centre du puits, épuisait en même temps l'excès des eaux. M. Ludovic Breton, propose d'appliquer ce système pour le fonçage des puits de mines à travers les sables ébouleux.

EXTRACTION

MOTEURS D'EXTRACTION

La Société anonyme de Marcinelle et Couillet exposait une machine horizontale, à deux cylindres conjugués, de 1,200 chevaux, destinée à l'extraction du charbon à 1,000 mètres de profondeur.

La distribution de vapeur se fait au moyen de quatre soupapes équilibrées. Le mécanisme de distribution, avec détente du système de M. Lelong, ingénieur-régisseur de la Société de Couillet, est commandé par deux poulies excentriques communiquant le mouvement d'oscillation, par l'intermédiaire d'une coulisse de changement de marche, au plateau de distribution qui porte quatre bielles. Les deux bielles inférieures attaquent directement les soupapes d'échappement, les deux bielles supérieures commandent les soupapes d'admission par des axes secondaires. Une vis avec sonnerie commande, en cas d'inadéquation du mécanicien, un évitemolettes qui, en serrant le frein à vapeur et fermant l'admission, produit l'arrêt instantané de la machine. Le frein est à mâchoires, commandé par un balancier double qui reçoit son mouvement, soit d'un cylindre à vapeur vertical, soit d'une vis avec volant à poignées. Outre ces deux appareils, la machine est encore pourvue d'un frein à déroulement et à contre-poids, destiné à provoquer l'arrêt en cas d'accident, si le frein à vapeur ne fonctionnait pas.

Les dimensions principales de la machine sont les suivantes :

Diamètre des cylindres à vapeur	1 ^m ,050
Course des pistons	1 ^m ,600
Diamètre du cylindre de frein.	0 ^m ,400
Course du piston du frein	0 ^m ,500
Diamètre de l'arbre	0 ^m ,500
Diamètre extérieur des bobines	8 ^m ,000
Distance d'axe en axe des machines	6 ^m ,000

M. Tripier, ingénieur à Anzin, a fait breveter, en 1884, un excentrique sphérique donnant très simplement le changement de marche et la détente variable (pl. 7, 8, 9, 10). Cet appareil constitue un système idéal de deux leviers d'équerre EOS. L'axe du milieu O le rend solidaire du mouvement de rotation de l'arbre moteur; une de ses extrémités S est une portion de sphère; l'autre extrémité E, sur laquelle on agit par un intermédiaire, transmet au centre de la sphère le déplacement qu'elle reçoit. On fixe cette extrémité au point voulu sur la droite qui joint ses positions extrêmes. Si le point S, centre de la partie sphérique, est en coïncidence avec l'axe de l'arbre, l'excentrique qui commande le tiroir reste immobile. Si le centre étant en AV, on l'amène en AR, l'angle de calage varie de 180° : on obtient donc le changement de marche. On peut de même,

par un déplacement du point E, faire varier l'angle de calage et obtenir ainsi la détente variable. La vis qui commande l'extrémité E du levier peut se manœuvrer à la main ou automatiquement par la machine.

La Compagnie des Mines d'Anzin exposait un de ces excentriques ayant fonctionné nuit et jour, depuis juillet 1885, sur une machine d'extraction de 300 chevaux. Sa conservation est parfaite.

M. Maillet, d'Anzin, a construit pour la Société des Mines de Carmaux une machine d'extraction dont les dessins figuraient à l'Exposition. Elle est à deux cylindres conjugués, bâti à baïonnette et distribution par tiroirs plans.

Les conduits de distribution sont réduits au minimum, et la partie inférieure des lumières se trouve en contre-bas des cylindres, de manière à faciliter l'écoulement des eaux de condensation. Le changement de marche à levier se manœuvre très facilement à la pression de 4 kilogrammes.

Diamètre. 0^m,650.

Course des pistons 1^m,600.

Contrôle des machines d'extraction. — Pour contrôler la vitesse des machines d'extraction, M. Simon, ingénieur divisionnaire de la Compagnie des Mines de Liévin, a fait construire un appareil analogue aux chronotachymètres employés sur les locomotives. L'axe d'une des molettes communique, par un engrenage, son mouvement à une came. Celle-ci, à intervalles réguliers, correspondant à 10, 20, 30 mètres de parcours dans le puits, établit un contact entre deux lames métalliques ; ce contact transmet un courant électrique dans le récepteur qui trace chaque fois un trait vertical sur une bande de papier animé d'un mouvement horizontal uniforme. On peut ainsi contrôler rigoureusement le service de l'extraction.

Régularisation de l'extraction par tambour spiraloïde. — Pour obtenir l'équilibre des câbles dans les extractions à grandes profondeurs, la Société des Mines d'Aniche emploie un tambour spiraloïde dont elle a exposé le modèle à échelle réduite. En voici les données principales :

Diamètre initial de la partie spiraloïde.	5 ^m ,00
Diamètre de la partie cylindrique	8 ^m ,25
Diamètre des cylindres	0 ^m ,850
Course des pistons	1 ^m ,600

Un tour de tambour fait parcourir à la cage 26 mètres. La machine motrice est à deux cylindres conjugués et détente variable par le régulateur.

Treuils. — On tend à armer les puits d'un treuil de secours en cas d'accidents. Le treuil à vapeur de la Société de Marcinelle et Couillet repose sur un chariot à quatre roues, complètement en fer.

L'appareil est construit pour soulever au besoin une charge de 1,500 kilogrammes à une profondeur de 5 à 600 mètres, au moyen d'un câble ayant 2 centimètres de diamètre, et pesant environ 2 kilogrammes par mètre courant. L'effort total dans ces conditions n'atteint pas 3,000 kilogrammes. Le poids du treuil est de 7,000 kilogrammes environ. Ses dimensions principales sont :

Surface de chauffe du foyer	2 ^{m2}
Surface de chauffe des tubes	8 ^{m2}
Timbre de la chaudière.	6 atmos.
Diamètre des cylindres.	0 ^m ,180
Course des pistons	0 ^m ,300
Diamètre du tambour	1 ^m ,400
Rapport des engrenages.	1,18
Longueur totale de l'appareil	3 ^m ,750
Largeur	2 mètres.

Le treuil à air comprimé ou à vapeur, exposé par M. Pinette, appelle l'attention par son système de changement de marche à robinet. Le moteur se compose de deux cylindres agissant sur un arbre à deux condes à 90°. La distribution de chaque cylindre se fait par un tiroir à coquille actionné directement par un seul excentrique dont le calage de 90° par rapport à sa manivelle est fixe (pl. 11-12).

Le changement de marche dans chaque cylindre se fait par un robinet actionné par un levier et une traverse.

Le robinet, intercalé entre la glace du tiroir et le cylindre, est traversé par deux systèmes de canaux. Le premier système fait communiquer la lumière droite de la glace avec le fond de droite du cylindre, et la lumière gauche avec le fond de gauche. Le second système se compose de deux canaux croisés. La communication deviendra donc l'inverse de ce qu'elle était précédemment lorsqu'on fera faire au cylindre une demi-révolution.

Un autre treuil à air comprimé était exposé par la Société houillère de Liévin : cet appareil est représenté, ainsi que celui de M. Pinette, par les dessins des planches 11 et 12.

A chaque extrémité du cylindre vient aboutir un canal dont l'autre orifice est situé sur un disque dans la chambre du modérateur. Un tiroir, animé d'un mouvement circulaire, vient fermer alternativement ces deux orifices, laissant ainsi l'air comprimé pénétrer d'un côté du piston, tandis que l'autre face se trouve par le tiroir en communication avec l'échappement.

La figure 6 de la planche indique la disposition des deux canaux qui amènent l'air comprimé du modérateur au cylindre en passant par les tourillons.

Signaux. — La communication sûre et rapide des signaux du fond avec la surface a continué à être l'objet des préoccupations des ingénieurs.

Pour mieux fixer l'attention du mécanicien, les signaux doivent être, autant que possible, acoustiques et optiques en même temps. Les signaux électriques répondent bien à ce besoin.

On a utilisé à Blanzy, au puits Jules Chagot, des dérivations prises sur les conducteurs de l'éclairage. Sur un premier fil en dérivation on a installé :

1^o Dans la chambre d'encagement un bouton interrupteur qui permet d'envoyer le courant dans le fil et dans une lampe de 55 volts.

2^o À la recette supérieure du puits, une deuxième lampe de 55 volts et une bobine de résistance : des extrémités de cette bobine part une dérivation allant à une sonnerie trembleuse.

Chaque fois que l'on appuie sur le bouton de la chambre d'encagement le courant, passant dans le fil, allume les lampes et fait marcher la sonnerie. La clarté de la lampe inférieure indique que le signal parvient à destination.

Le receveur du jour communique avec le fond par un système entièrement semblable : il peut donc en cas de doute faire répéter le signal.

Le signal du fond doit toujours être répété par le mécanicien de jour, lorsque la cage doit transporter des hommes.

Pour augmenter encore la sécurité on a placé une troisième dérivation sur laquelle sont placés au fond un commutateur et une lampe à verre rouge, au jour une lampe pareille. Lorsque la cage arrive sur les taquets d'arrêt, l'encageur allume les lampes rouges, et ne les éteint qu'après la manœuvre terminée et en même temps qu'il donne le signal de marche.

On emploie encore avec les courants électriques des cadrons à signaux, (mines de Marles) des tableaux indicateurs, (mines de Nœux) ou des téléphones, (mines de la Péronnière).

Des signaux électriques à cadran indicateur réversibles, c'est-à-dire donnant la communication du jour avec le fond et vice-versa, ont été étudiés avec la maison Bréguet par la direction de Rochebelle, et établis avec répétition des signaux au point de départ ; ces signaux ont été combinés avec une communication téléphonique composée au jour d'un téléphone Bréguet avec microphone, et au fond d'un téléphone Botcher très robuste, monté sur ardoise et ne craignant pas l'humidité ; on pouvait voir dans l'exposition des mines de Rochebelle, le modèle de cette installation.

Afin de permettre aux hommes qui parcourent le puits pour le visiter et le réparer, de communiquer avec le mécanicien, on a proposé de garnir un des guides du puits, de deux fils métalliques aboutissant à la sonnerie du jour.

On a essayé sans succès de loger ces fils dans le câble d'extraction. Récemment M. Catrice a suspendu verticalement dans le puits deux fils (un seul lorsque le câble d'extraction est métallique) de 3 millimètres de diamètre. Ces fils passent dans la gorge de deux poulies attachées au sommet de la cage. Un manipula-

teur très simple permet d'établir le contact quelle que soit la vitesse et même en cas de déraillement.

On met à l'essai à Lens une sirène à l'air comprimé.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE
POUR ÉVITER L'ENVOI DE LA CAGE AUX MOLETTES

Dans un très remarquable rapport présenté au Congrès des mines et de la métallurgie, M. Reumaux a résumé, comme suit, les mesures considérées aujourd'hui comme très utiles, sinon comme nécessaires, pour éviter l'envoi de la cage aux molettes.

a. — Annoncer l'arrivée de la cage au jour par une marque blanche bien apparente sur le câble et par un signal, sonnerie ou sifflet à vapeur donné automatiquement par la machine.

b. — Faire connaître la position des cages dans le puits, au moyen d'un appareil représentatif, autant que possible rectiligne et vertical placé bien en vue du mécanicien.

c. — Surélever la belle fleur. Le règlement allemand fixe à 20 mètres la distance entre la recette et l'axe des poulies. Cette grande hauteur ne paraît pas nécessaire, on se tient en général aux environs de 15 mètres.

d. — Rapprocher les guides au voisinage des molettes. Ce préservatif a été rendu obligatoire par le règlement belge de 1884.

e. — Interposer entre la cage et le câble un crochet de sûreté qui dégage la cage lorsqu'elle s'élève et la laisse suspendue à des sommiers disposés à cet effet. Ces crochets ont reçu diverses formes : Bertincharp (mines de Courrières), Walker (Industrie minérale, 1875), Kirby et Humble (Industrie minérale, 1886), Bryham, King, Ramsay et Fischer. Ils sont tous basés sur le même principe.

Un obstacle disposé à cet effet dégage un verrou, ou force à se rapprocher les deux branches d'une fourche, ou provoque la rupture d'un rivet et permet ainsi le déclenchement de l'anneau fixé au bout du câble. Peu employés sur le continent, les crochets de sûreté ont au contraire reçu de nombreuses applications en Angleterre où ils ont été recommandés par la Commission des accidents.

f. — Installer des taquets de sûreté pour recevoir la cage au cas où le coinçement dans les guides rapprochés n'aurait pas suffit à la retenir après rupture du câble.

g. — Etablir en-dessous des molettes des tampons de choc élastiques pour le cas où le rapprochement des guides n'arrêterait pas la cage.

h. — Employer des machines obéissant facilement et sans grand effort. Les prescriptions réglementaires ont, dans tous les pays, rendu le frein obligatoire, sans toutefois préciser le mode d'action de la force motrice. Tantôt la vapeur agit

pour serrer le frein maintenu ouvert par un contre-poids, tantôt au contraire elle soutient le contre-poids qui, abandonné à lui-même, produit le serrage. On a recours quelquefois à l'emploi simultané à la vapeur et de l'air comprimé. L'action du fluide est instantanée ou graduelle. Très favorable à la conservation du matériel le serrage progressif n'est pas moins utile à la sécurité, si les dispositions permettent de le transformer en serrage instantané dans le cas d'accident.

i. — Adjoindre à la machine un appareil d'arrêt automatique, qui supprime l'admission de la vapeur et serre le frein lorsque la cage dépasse le point prévu, ou le franchit avec une vitesse trop grande. Beaucoup d'appareils ont été proposés qui résolvent plus ou moins complètement le problème.

Evite-molettes Reumaux. (Pl. 13-14). — La vapeur avant d'arriver dans les cylindres de la machine d'extraction traverse un obturateur. Celui-ci consiste en un cylindre alésé dans lequel se meut un piston composé de deux parties réunies par une tige de petit diamètre. La partie de gauche, qui est la plus longue, peut fermer la conduite de vapeur. En marche normale les deux faces du piston sont en communication avec la vapeur par deux petites tuyères orientées de manière à ce que le courant maintienne le piston dans sa position d'équilibre ; mais si on vient à créer une dépression dans la chambre C, l'arrivée de la vapeur sera immédiatement fermée, jusqu'au moment où une nouvelle dépression dans la chambre opposée C' rétablira l'équilibre. Deux soupapes S et S' permettent de faire communiquer les chambres C et C' avec l'atmosphère. La soupape S', destinée à ramener le piston au milieu du cylindre, est commandée à la main par le mécanicien ; la soupape S au contraire est commandée automatiquement par la machine. Sur une vis sans fin, qui reçoit de l'arbre de la machine un mouvement de rotation, est monté un écrou qui porte du côté de l'obturateur quatre doigts : les deux premiers sont destinés à agir quand l'arbre de la machine et la vis tournent dans un sens, et les deux autres, quand la machine et la vis tournent en un sens opposé.

Lorsque par suite du mouvement de translation de l'écrou, le premier doigt vient buter contre le levier de la soupape S, celle-ci s'ouvre, et par suite de la dépression, le piston obturateur prend vivement la position fermée et étrangle l'arrivée de la vapeur, de manière à réduire la pression dans les cylindres de la machine d'extraction à la valeur strictement nécessaire pour empêcher la cage chargée de redescendre. Une vis permet de régler une fois pour toutes l'étranglement approprié à chaque machine.

Un mécanisme analogue assure le serrage automatique du frein. Un piston en équilibre sera brusquement déplacé vers le bas, par suite de l'ouverture d'une soupape commandée comme la précédente. Ce déplacement serre le frein, et est maintenu par la pression qui s'exerce au-dessus du piston.

L'ensemble de l'appareil fonctionnera de la manière suivante : lorsque la cage

est à 40 mètres de la recette, le premier doigt fait ouvrir la soupape S et la vapeur est étranglée, le mécanicien, prévenu par le sifflet de l'échappement, ramène le piston à sa position d'équilibre et la cage continue à monter doucement à la recette. Si par inadvertance, le mécanicien laisse alors la cage s'élever au-dessus de la recette, le second doigt vient à son tour couper la vapeur une seconde fois, et, en même temps, un troisième doigt agit sur le mécanisme du frein et produit un serrage instantané.

Modérateur de vitesse Wéry. — Un mouvement d'horlogerie donne une rotation uniforme à un arbre, et, par l'intermédiaire d'un pignon, à une roue dentée; un cliquet saute d'une dent à l'autre pendant la rotation de la roue, l'ensemble de la roue et du cliquet repose sur deux pièces mobiles. Une tige recevant une avance proportionnelle au mouvement de la machine porte un taquet qui, à un moment donné, vient buter contre le cliquet.

Si la vitesse du taquet, déterminée par la vitesse de la machine, ne dépasse pas la limite imposée, le cliquet continue à suivre le mouvement de la roue. Si, au contraire, la limite est dépassée, le cliquet vient appuyer sur la dent et soulève la roue.

L'axe de celle-ci donne, par son mouvement, l'admission de vapeur dans un petit cylindre dont le piston commande le frein. Cette même transmission pourrait fermer l'admission de vapeur ou renverser la marche. Si la cage vient à continuer son mouvement d'ascension après avoir dépassé la recette, elle actionne une tringle qui, par un mécanisme, donne la vapeur dans le cylindre du frein. Cette transmission directe de la cage au frein à l'avantage de soustraire l'instant du serrage aux variations de longueur subies par le câble suivant la charge et par suite aux variations qui en résultent dans le mouvement de la machine.

Évile-molettes Villiers. (Planches 13-14). — Un régulateur déplace un petit tiroir équilibré, si la vitesse qui lui est imprimée par la machine dépasse une certaine limite. Ce tiroir coupe par son mouvement l'admission de la vapeur. La machine se ralentit; le régulateur cesse d'agir sur le tiroir qui est ramené dans sa position d'équilibre par un contre-poids. Comme cet appareil ne doit point fonctionner pendant toute la durée d'une extraction, le régulateur reçoit le mouvement seulement pendant les derniers mètres du parcours.

L'embrayage est donné par une vis de sonnerie et une roue à rochet, qui, une fois en mouvement, rapproche deux cônes de friction. Dès que la vis de sonnerie change de sens, un contre-poids ramène la roue à rochet dans sa position d'équilibre et par suite éloigne les cônes de friction.

Un deuxième appareil de sûreté consiste dans une roue à encoche montée sur le même axe que la roue à rochet. L'encoche pousse un verrou relié à un levier par une coulisse. Ce levier agit sur le tiroir du servo-moteur et renverse ainsi la distribution lorsque la cage arrive à 10 ou 15 mètres de la recette. Cet effet ne

se produit pas si le mécanicien soulève le loquet de la barre de commande du servo-moteur et par suite est prêt à arrêter la machine.

Enfin si la cage s'élevait beaucoup au dessus de la recette, un taquet soulevé ferait immédiatement fonctionner le frein à vapeur.

CHEVALEMENTS

On tend aujourd'hui à ne plus enfermer les chevalements d'extraction et l'on se contente de mettre à l'abri des intempéries les recettes et les poulies.

C'est cet ordre d'idées que la compagnie des mines d'Anzin a apporté dans la construction du chevalement de la fosse Lagrange. Le chevalet construit dans les ateliers de M^{me} V^e Taza-Villain se compose de quatre parties distinctes (planches 7, 8, 9, 10).

- 1^o Clichage inférieur ;
- 2^o Partie verticale formant le prolongement du puits et constituée par quatre montants verticaux croisillonnés entre eux.
- 3^o Contre-fiche placée obliquement dans la bissectrice de l'angle formé par le câble et l'axe des puits.

4^o Campanile à la partie supérieure. La résultante de la traction des câbles qui vont à la machine et de la résistance des cages passe par la contre-fiche. On a employé pour cette partie de la construction qui reçoit tous les efforts de gros fers de 400 sur 200 millimètres solidement croisillonnés. Pour maintenir l'écartement de la contre-fiche, les sabots, dans lesquels sont encastrés les extrémités des fers en double T, sont solidement reliés par de gros boulons avec le plancher de la recette.

Les quatre montants du chevalet reposent sur les quatre colonnes du clichage. Un escalier ménagé sur la contre-fiche permet l'accès du campanile. Ce chevalet pèse 50 tonnes y compris le clichage. Le même système de construction a été appliqué au chevalet de la fosse n° 3 des mines d'Ostricourt.

Rappelons encore ici le chevalement des mines de Lens exposé en demi-grandeur et montrant le fonctionnement de la cage d'extraction et des appareils de sécurité, (planches 5 et 6).

CABLES

L'accroissement de la profondeur, en même temps que les progrès de la fabrication, ont accru la proportion des câbles en acier employés dans les mines. On peut se reporter à ce sujet au rapport que M. Aguillon, ingénieur en chef des mines, a publié au nom de la Commission chargée d'étudier les questions relatives à la rupture des câbles de mines.

L'exposition présentait un grand nombre de câbles tant en métal qu'en textile.

MM. Saint Frères fabriquent des câbles en chanvre, aloès, jute et lin. Ils ont exposé entre autres un câble de mines en aloès destiné aux mines de Blanzy ; 1 a 540 mètres de long, 0^m,250 de large et une épaisseur de 0^m,050. Ils exposent un deuxième câble pour les mines de Nœux, d'une longueur de 500 mètres, 0^m,240 largeur et 0^m,048 d'épaisseur.

Citons comme curiosité une élingue exposée par MM. Guérin et Vallée (Paris) d'une force de 120,000 kilogrammes.

Les maisons qui s'occupent à la fois de la fabrication des câbles en textile et en métal sont assez nombreuses.

Nous trouvons dans cette catégorie M. Bessonneau, d'Angers, qui exposait un câble plat en aloès goudronné pour mines d'une longueur de 670 mètres et d'un poids de 7.700 kilogrammes. Ce câble est à section décroissante ; la plus grande est de 0^m,26 \times 0^m,052 et la plus petite 0^m,15 \times 0^m,032. Cette maison exposait encore toute une collection de câbles ronds en fils de fer clair pour mines et transmissions de forces.

M. Frété (Paris) a des câbles de toutes sortes en lin, chanvre et fil d'acier clair pour mines et plans inclinés.

MM. Benet, Duboul et C^{ie} (Marseille) exposaient des câbles plats en aloès goudronné ou en chanvre d'Italie, de section égale ou décroissante et qui ont une résistance de 5 à 6 kilogrammes par millimètre carré ; des câbles ronds en chanvre d'Italie blanche, résistance de 7 à 8 kilogrammes par millimètre carré, et les mêmes goudronnés, résistance de 6 à 7 kilogrammes.

Parmi les maisons qui font exclusivement des câbles métalliques, la maison A. Stein de Danjoutin, Belfort, exposait des câbles de mines ronds et plats, en fil de fer et en fil d'acier. Elle entreprend aussi la fabrication des câbles pour plans inclinés de grande longueur. On pouvait voir à son exposition un échantillon d'un câble de 6 kilomètres de long, fabriqué pour le Creusot ; son poids est de 5,400 kilogrammes, et son diamètre de 0^m,018.

Les tréfilerie et corderie mécaniques des ardoisières d'Angers exposaient des cordages en fils métalliques, fer, acier, cuivre, de tous les systèmes d'enroulement, de toutes les dimensions et satisfaisant à tous les usages. Cette maison a entrepris une nouvelle fabrication, celles d'haussières flexibles perfectionnées en fil d'acier galvanisé, pouvant s'enrouler sur un diamètre de 0^m,30, et remplaçant avantageusement les chaînes-câbles et les cordages en chanvre.

MM. Teste, Moret et Pichat, (Lyon), exposaient des câbles à torons en fils de fer et en fils d'acier de toutes résistances pour mines, carrières, plans inclinés, funiculaires, transmissions de forces. Remarquons les câbles Excelsior à surface lisse et fils enclavés. Le noyau du câble se compose de fils ordinaires à section circulaire, mais la périphérie est composée de fils d'une section

spéciale, permettant d'obtenir une surface lisse qui doit rendre l'usure plus égale ; ces câbles Excelsior sont surtout employés pour les funiculaires.

Dans la section belge nous trouvons deux importantes expositions de câbles. L'une, celle de M. Vertongens-Gœns, de Termonde, comprenait toute une collection de câbles répondant à des usages différents :

Trois câbles plats en aloès légèrement goudronnés, des dimensions et forces suivantes :

	Largeur	Épaisseur	Charge de rupture
1 ^{er} Câble	0 ^m ,39	0 ^m ,064	194,000 kilogs.
2 ^e »	0 ^m ,26	0 ^m ,061	114,000 kilogs.
3 ^e »	0 ^m ,16	0 ^m ,025	32,700 kilogs.

Deux câbles de transmission l'un en aloès, l'autre en chanvre fort des Flandres, d'un diamètre de 0^m,07, et qui ont tous deux une charge de rupture de 22,600 kilogrammes.

Dans la collection des câbles métalliques, un câble en acier d'un diamètre de 0^m,062 dont la charge de rupture est de 164,000 kilogrammes ; un deuxième en acier, du système Cockerill, d'un diamètre de 0^m,055 et résistant à 81,000 kilogrammes ; un câble guide en acier doux de 0^m,032 de diamètre, et d'une force de 35,500 kilogrammes ; deux câbles porteurs, le premier du système Batchelor, d'un diamètre de 0^m,03 et d'une force de 41,000 kilogrammes.

Trois câbles plats d'extraction en acier fondu, système Martinek, des dimensions et forces suivantes :

	Largeur	Épaisseur	Charge de rupture
1 ^{er} Câble	0 ^r ,085	0 ^m ,023	53,000 kil.
2 ^e »	0 ^r ,104	0 ^m ,020	72,500 »
3 ^e »	0 ^r ,136	0 ^m ,020	97,000 »

La deuxième maison belge est la corderie mécanique de Ligny, qui avait également une exposition très complète de ses produits, aussi bien en câbles textiles qu'en câbles métalliques.

M. Saint, directeur de la corderie de Tronçais (Allier), est arrivé aux conclusions suivantes pour le travail les câbles métalliques :

Généralement le câble textile travaille au $\frac{1}{8}$ de la résistance à la rupture et le câble métallique au $\frac{1}{10}$ de cette résistance.

La résistance du travail admise par chaque centimètre carré de section réelle est donc : 75 kilogrammes pour le câble textile, 1150 kilogrammes pour le câble métallique.

Pour faire travailler deux câbles, l'un textile l'autre métallique, sous un même effort A, nous aurons :

$$A = 75. C = 1.150.C_1$$

C et C_1 étant les sections des deux câbles évaluées en centimètres carrés.

Les poids du mètre courant seront respectivement :

$$\begin{aligned} P &= 0,120. C & \{ & \text{Evalués en kilogrammes.} \\ P_1 &= 0,780. C_1 & \{ & \end{aligned}$$

Pour la même charge A on a donc :

$$75. \frac{P}{0,12} = \frac{1150}{0,78}. P_1 \text{ d'où } \frac{P_1}{P} = \frac{75 \times 0,78}{1150 \times 0,12} = 0,43$$

Pour le même travail pratique, le poids du câble en acier serait donc les $\frac{43}{100}$ de celui du câble en textile.

Dans un mémoire sur l'installation des puits Saint-Louis et l'Archevêque, aux mines d'Aniche, M. Vuillemin est arrivé aux mêmes conclusions à propos des câbles en acier, et indique une autre considération tout en leur faveur. Pour la profondeur de 500 mètres, il faudrait un câble en aloès s'enroulant 55 fois sur la bobine : avec le câble rond en acier et le tambour de grand diamètre, 23 tours suffisent pour l'ascension, ce qui permet une vitesse moitié moindre de la machine. Le câble plat en acier donnerait le même résultat, mais, outre son prix plus élevé, ce câble périrait plus rapidement à cause de l'usure des fils du câble à chacun des points de contact avec les coutures.

M. Haton de la Gouillièrre, inspecteur général des mines, a fait paraître, en 1882, une étude très complète sur la théorie des tambours spiraloïdes et des câbles logarithmiques, établissant les formules qui permettent de construire les uns et les autres.

M. Vertongen-Gœns (Belgique) a donné pour les câbles plats en aloès une nouvelle formule, en faisant diminuer régulièrement la charge depuis la partie inférieure jusqu'à l'enlèvement. La variation est de 22 kilogrammes par centimètre carré, pour les profondeurs ordinaires ; elle est augmentée pour les grandes profondeurs. M. Planchard, ingénieur aux mines de Commentry, a vérifié que les câbles construit suivant cette nouvelle formule travaillaient plus régulièrement que les câbles logarithmiques.

Quelle que soit la matière des câbles employés, leur entretien doit être parfaitement soigné, c'est ainsi que la conservation des câbles en aloès exige un certain degré d'humidité, tandis qu'il faut suiffer les câbles en chanvre et graisser

les câbles métalliques avec un mélange chaud d'huile et de graisse. Il convient qu'un employé spécial soit attaché à la visite régulière des câbles.

Le nouveau règlement des Mines de Dortmund prescrit de couper les pattes des câbles tous les trois mois; il interdit d'employer pour la translation des hommes un câble en aloès pendant plus de trois ans; il exige enfin que les tiges d'attelage, chaînes, anneaux, etc., soient renouvelés tous les deux ans, à moins de leur faire recouvrer leur résistance première par un chauffage au rouge suivi d'un refroidissement lent.

PARACHUTES ET GUIDAGES

L'utilité des parachutes est encore aujourd'hui contestée par de nombreux exploitants.

En France, l'administration des mines recommande l'emploi sans l'imposer. Le règlement belge, d'avril 1884, est muet sur cette question. La commission anglaise de 1886 se déclare incapable de conclure en faveur de ces appareils comme sauvegarde efficace contre les accidents. En fait, l'emploi du parachute est général en France, très répandu en Allemagne et en Belgique, fort rare en Angleterre, où l'attention des ingénieurs se porte de préférence sur le choix et l'entretien des câbles.

C'est aux ressorts d'acier que l'on demande la réaction capable de mettre en jeu les organes de prise. Le caoutchouc, dont on s'est servi quelquefois, s'altère en peu de temps dans l'atmosphère chaude et humide des mines. Enfin, le ralentissement graduel est indispensable: le travail seul est capable de neutraliser la force vive et d'amener la cage au repos sans danger pour les personnes, ni dommage pour le matériel.

Pour obtenir un frottement suffisant des griffes contre le boudin des rails de guidage, on creuse parfois à la circonference de la griffe une dentelure peu profonde. Dès que le contact a lieu, une légère pénétration s'établit, et grandit sous l'effort même de la cage. C'est le cas du parachute des mines de Lens (planches 15-16).

Le parachute des mines de Nœux (planches 15-16), est basé sur le même principe, et diffère seulement par quelques détails. Les griffes, solidement appuyées contre des buttoirs en fer forgé, sont établies sur les faces opposées de la cage, tandis que celles du modèle précédent sont montées sur un même côté long; cette disposition, imposée par le guidage latéral, crée un porte-à-faux inadmissible avec les cages très chargées. On est alors obligé, ou de doubler le guidage, ou d'établir une ligne de poutrelles spéciales destinées à recevoir l'action du parachute (Lens, Anzin, planches 17-18). Cette dernière disposition répond bien à la nécessité de distinguer les faces de guidage des faces de prises.

La Société des Mines de Dourges montrait une application du parachute Li-botte aux guidages en fer (planches 17-18).

Quand le câble casse, le ressort plat, qui passe dans un étrier de la tige suspendue au câble, n'étant plus tendu, reprend sa position normale en abaissant un levier articulé sur l'arbre horizontal qui règne sur toute la longueur de la cage, et les deux coins à dents saisissent le champignon du rail et mordent sur lui.

M. Hypersiel a appliqué, l'un des premiers, au guidage métallique, un parachute capable d'amortir progressivement la force vive. Cet appareil a fonctionné avec succès à diverses reprises aux mines de Mariemont et de Sacré-Madame. On a aussi récemment essayé, pour les guidages en fer, les coins Foudrinier (mines d'Hénin-Liénard).

Divers appareils à pénétration ont été proposés. Les uns (Machecourt, Fontaine, Taza) obtiennent la pénétration par choc et pression directe de la cage, Les autres produisent la pénétration par un effet d'arc-boutement (Guibal, Owen, Micha).

On a essayé d'obtenir, avec le principe de la pénétration, un arrêt progressif en interposant des ressorts entre la cage et le châssis porteur du parachute; mais cela complique la cage et ne produit que des effets très limités.

M. Cousin a imaginé de reporter l'action des griffes sur un câble plat en aloès, dont l'une des extrémités est fixée au fond du puits, et qui soulève une série de contre-poids.

Dans le système Koepe la cage glisse le long d'un câble métallique auxiliaire passant sur une poulie-frein. Si le câble porteur vient à se rompre, le parachute saisit le câble auxiliaire, et le frein mis en action amortit progressivement la vitesse.

La chute d'une grande longueur de câble, venant s'abattre dans le puits, après le fonctionnement du parachute, peut desserrer les griffes et occasionner la chute définitive de la cage. M. Soupart, directeur du Charbonnage de Marchiennes (Belgique), a fait exécuter un attelage qui, en cas de rupture, se déclanche automatiquement. La barre d'attelage est traversée par deux boulons maintenus par des ressorts : si une rupture se produit, deux coins viennent presser les ressorts et écarter les boulons ; la barre se détache donc immédiatement.

M. Reumaux, dans son rapport au Congrès international des mines et de la métallurgie, exprime le voeu que les cages munies de parachute soient soumises à des épreuves et expériences réglementaires ; il propose en outre, pour éviter les prises intempestives, et pour conserver au ressort toute son élasticité, de caler le parachute pendant l'extraction, lorsque la cage ne transporte pas les ouvriers ; cette mesure est usitée d'ailleurs dans un grand nombre de mines.

Le parachute amovible de M. Marsaut (planches 15 et 16), introduit dans la cage seulement au moment de la descente ou de la montée du personnel, répond bien à ce désideratum : les ressorts ne travaillent point inutilement, et l'appareil peut être facilement entretenu. Il présente de plus cet avantage de diminuer le poids mort pendant l'extraction.

M. Soupart, propose de remplacer les mains-courantes des cages d'extraction par des roues, afin d'obtenir un frottement de roulement au lieu d'un frottement de glissement.

Afin d'éviter les inconvénients occasionnés par le rapprochement des guides, les mains roulantes ont été placées sur ressorts.

Une application récente faite dans un puits du bassin de Charleroi, dont l'extraction menaçait d'être arrêtée par une déviation du guidage métallique, a donné de bons résultats un modèle figurait à l'Exposition. En cas de rupture du câble ces roues sont freinées par un coin, ce qui aide l'action du parachute.

Des mains courantes formées de deux pièces mobiles avec jeu dans tous les sens sont aussi employées au Charbonnage du Horloz depuis plusieurs années.

Les faces du guidage, qui doivent en cas de rupture recevoir la prise des griffes de parachute doivent être en parfait état. Les faces sur lesquelles s'exercent l'action des mains courantes doivent donc être distinctes des faces de prise. Pour éviter de changer les guidages, on cherche aujourd'hui à faire porter l'usure sur les mains courantes, faciles à remplacer, en employant un métal peu dur. Pour les guides, au contraire, l'emploi du métal laminé assure leur bonne conservation et est tout indiqué pour permettre l'action du parachute frein. Le guidage en acier est aujourd'hui adopté presque exclusivement dans toutes les installations nouvelles, sous forme de rail ordinaire de 20 à 30 kilogrammes le mètre courant.

Aux mines de Nœux, la cage porte au dessous des mains courantes un graisseur pour faciliter le glissement sur les guides ; un modèle réduit figurait à l'Exposition.

ORGANISATION DES RECETTES

On s'efforce d'assurer la sécurité des recettes, en établissant la solidarité entre les signaux, les barrières du fond et les taquets du jour.

Les taquets de recettes intermédiaires sont disposés pour être tenus constamment ouverts par un contre-poids. Ils sont manœuvrés directement de la surface (Charbonnages du Hasard), ou enclanchés aux taquets du jour et à la sonnerie, de telle façon qu'on ne puisse ni sonner du fond, ni démarrer du jour lorsque les taquets des étages intermédiaires sont baissés (Mines de Lens) ; ils peuvent encore être manœuvrés automatiquement par la cage (Charbonnages de Belle et Bonne).

M. Reumaux a proposé un système d'enclanchement des taquets du jour avec les barrières du fond qui est appliqué à toutes les fosses de la Compagnie des mines de Lens (planches 19 et 20).

Supposons la cage du jour sur ses taquets : tant que ceux-ci ne seront point retirés, le départ ne pourra point avoir lieu. Un levier de manœuvre au fond, commande un cran d'arrêt qui rend impossible au jour tout mouvement des taquets. Le même levier ferme les barrières d'accès au fond. Pour pouvoir charger la cage du fond, le chef de poste fixe donc les taquets du jour en ouvrant les barrières ; inversement avant de donner le signal du départ il est obligé de refermer les barrières.

Dans le but de parer aux pertes de temps dues au soulèvement de la cage qui précède le retrait des taquets, M. Stauss a établi au Charbonnage Concordia de Zabrze (Haute Silésie) un système de taquets qui s'effacent en s'abaissant. Ils ont été utilisés aussi en Belgique ; à Bascoup on est arrivé à extraire 88 cages à l'heure au lieu de 78, soit une économie de 13 % sur le temps d'extraction.

M. Malissard-Taza exposait un système analogue de taquets, dont le retrait accompagné d'abaissement peut s'exécuter malgré la pression exercée par la cage (planches 5-6).

Pour augmenter la rapidité des manœuvres de chargement et déchargement, rapidité nécessitée de plus en plus par la concentration des efforts de l'extraction, certains puits extrayant jusqu'à 1000 tonnes par jour, on peut installer, comme aux mines de Blanzy, une recette double qui permet de charger en même temps les deux étages de la cage. Les deux niveaux sont alors en communication par deux balances, une pour les charbons, l'autre pour les remblais ou les wagonnets vides. A Liévin, on charge les cages à deux étages à deux niveaux différents situés d'un côté et de l'autre du puits. Pour les cages à quatre étages on a encore ces deux recettes opposées, mais chacune d'elles est double, les niveaux superposés étant en communication comme à Blanzy par des balances sèches ; on charge ainsi les quatre étages à la fois.

Dans le même but on a imaginé un certain nombre d'appareils mécaniques pour faire entrer ou sortir les berlines des cages d'extraction. M. Rossigneur a fait exécuter, pour les mines de Dourges, une chaîne sans fin actionnée par un cylindre à vapeur. Chaque coup de piston donne à la chaîne une course horizontale de 3 mètres, suffisante pour pousser les berlines dans la cage.

L'appareil Fischer, de la mine de Clifton (Derbyshire), soulève légèrement le plancher de la cage, les wagons sortent ainsi d'eux-mêmes tandis que d'autres rentrent, amenés par la déclivité de la voie.

Celui de M. Fowler pousse les wagons d'une cage à trois étages sur un monte-charges au moyen de pistons hydrauliques. Le monte-charges, hydraulique lui-même, est déchargé pendant le mouvement des cages.

L'encagement des vides a lieu par le même procédé. Les trois étages sont donc chargés ou déchargés simultanément.

Les orifices des puits, tant aux recettes du jour qu'à celles du fond, sont fermés au moyen de barrières automatiques ou manœuvrées par le receveur.

Lorsque plusieurs accrochages sont en activité dans le même puits, chacun d'eux communique avec le jour par un timbre spécial dont le son est bien distinct de celui des autres.

On installe souvent dans les puits, à 3 mètres environ au-dessous de la recette, un plancher mobile. Le filet métallique employé pour cet usage à Blanzy est une bonne solution, grâce à la résistance des câbles en fil d'acier dont il est formé. Il est de plus tout indiqué si la partie inférieure du puits doit servir de retour d'air pour les étages inférieurs.

Recettes des plans inclinés. — Les barrières mobiles, que l'envoyeur doit ouvrir pour engager un wagon sur le plan incliné, doivent se refermer d'elles-mêmes après le passage : mais de plus elles doivent autant que possible présenter un arrêt infranchissable sans l'intervention du rouleur.

Le modèle d'arrêt automatique exposé par les mines de Roche-la-Molière et Firminy répond bien à ces conditions. Deux taquets fixés sur le même axe horizontal sont disposés de telle sorte que l'un des deux arrêtera toujours l'essieu du wagon. Il faut donc, une fois le premier taquet passé que le rouleur le relève pour abaisser le second.

Parfois les barrières sont enclanchées à une sonnerie ou bien avec les barrières des voies qui ont accès au plat supérieur du plan incliné (mines de Lens; mines de Douchy, système Mélisse). La manœuvre de la sonnerie et l'accès du plat sont ainsi condamnés lorsque la barrière est ouverte.

TRANSLATION DES OUVRIERS

Généralement les échelles fixes ne sont installées qu'en cas de secours et particulièrement dans les puits d'aérage. La translation des ouvriers a lieu le plus souvent par cages. Dans certains cas, on emploie pour le transport des ouvriers des cages spéciales grillées ; elles sont imposées par le règlement dans le bassin de Westphalie.

Les Fahrkunsts anciennement montées en Allemagne sont pour la plupart restées en service, mais on a créé peu de nouvelles installations; la dernière paraît dater de 1875. C'est la Fahrkunst du siège Koenigin-Maria, à Clausthal, qui fonctionne à 628 mètres de profondeur. Elle permet de descendre une brigade de 900 hommes en 73 minutes 6 secondes.

En Belgique la plupart des fahrkunsts établies autrefois ont été successivement démontées et il n'en reste aujourd'hui que 6 en service.

Toutefois nous ne pouvons passer sous silence la remarquable disposition, due à M. Guinotte, dont l'exposition des mines de Mariemont montrait un modèle réduit (planche 21-22).

Comme dans la warocquère primitive, les tiges et les paliers sont suspendus à deux pistons plongeurs formant balancier hydraulique : l'équilibre ne s'obtient plus par la communication directe des deux cylindres recevant les pistons, mais par l'intermédiaire d'un arbre à manivelles, auxquelles sont attelés les pistons plongeurs des deux pompes. Chacune de ces dernières communique avec un des cylindres du balancier. Les manivelles sont disposées de telle façon qu'une pompe refoule dans le balancier quand l'autre aspire. Les courses des pistons des pompes et du balancier étant en raison inverse des sections, on peut avec une manivelle de dimensions ordinaires obtenir une course très grande aux paliers. Les manivelles ont dans le cas présent un rayon de 0^m,750 tandis que la course utile des paliers est de 5 mètres.

Le mouvement est donné à l'arbre des pompes par un moteur ordinaire à rotation continue faisant 10 révolutions pendant que l'arbre des pompes n'en fait qu'une; la réduction de vitesse est obtenue par engrenages.

Ce moteur est à détente variable, système Guinotte ; la détente est réglée par un pendule conique. Grâce à ces dispositions on est arrivé à doubler la vitesse de translation tout en donnant à l'ouvrier le temps nécessaire pour passer d'un palier à l'autre.

Il ne résulte d'ailleurs de cette grande vitesse aucun malaise pour l'ouvrier, puisque les paliers se meuvent comme s'ils étaient commandés par les manivelles, c'est-à-dire que la vitesse se ralentit considérablement aux points morts et que le départ se fait sans secousse.

EXTRACTIONS SECONDAIRES

On peut descendre les bennes de remblais en vertu de leur propre poids dans un puits spécial et avec cages à deux étages sans doubles recettes de la manière suivante. Un câble contre-poids d'un diamètre supérieur à celui qui porte les cages est accroché au-dessous de celles-ci : soit pour un puits de 300 mètres de profondeur un câble contre-poids pesant 1 kilogramme de plus par mètre que le câble porteur en tout 300 kilogrammes. Lorsque la cage chargée de deux bennes pleines arrive au fond, on retire une benne pleine aussitôt remplacée par une vide et au jour on remplace au contraire une vide par une pleine. Les cages s'équilibrivent à ce moment. Mais la cage du jour supporte l'excès des 300 kilogrammes du câble contre-poids plus le poids du garde-fou mobile ; en desserrant les freins, la cage du jour va donc descendre lentement puis un système de taquets arrêtera le mouvement lorsque les étages des cages non encore déchargées

seront de niveau avec les voies de roulage. Ce système a reçu aux mines de Montrambert et la Béraudière une remarquable application pour la descente de remblais du puits de Lyon, dont le modèle figurait à l'Exposition.

Les mines de fer d'Allevard utilisent une source comme moteur d'extraction. Un wagon réservoir circule au jour sur un plan incliné; il est attelé au câble d'extraction. Le wagon plein est plus lourd que l'ensemble des berlines pleines et de la cage; vide il est au contraire plus léger que la cage plus les berlines vides. Si le wagon se remplit automatiquement lorsqu'il arrive en haut du plan incliné, et se vide de même en bas de sa course au moyen d'un système de buttoirs convenablement disposés, on obtiendra l'élévation de la cage ou sa descente en desserrant les freins d'une poulie sur laquelle le câble est enroulé.

EXHAURE

En dehors des divers types connus et employés pour faible épuisement et dont la description trouvera place dans les autres parties de la *Revue Technique*, il ne figurait à l'Exposition qu'un petit nombre de pompes de mines.

Cependant les puissantes installations d'épuisement doivent prendre un développement de plus en plus considérable, tant par l'approfondissement que par l'abandon de couches exploitées dont on ne peut pas toujours se défendre par des serrements.

Certaines houillères, sont arrivées à extraire jusqu'à 20 mètres cubes d'eau par tonne de houille, et on sait qu'en Belgique, on se préoccupe beaucoup de la création de grands centres d'exhaure destinés à assécher l'ensemble de plusieurs concessions exploitées ou épuisées.

Dans une notice publiée à l'occasion de l'Exposition universelle, la Compagnie de Roche-la-Molière et Firminy décrit les travaux considérables qu'elle a exécutés pour la déviation de la rivière de l'Ondaine et les canalisations de l'Echapre et du Pêchier.

La Société de Couillet, exposait un type de machines jumelles, compound ou non, actionnant : 1^o des soulevantes de 45 mètres de jet, déversant l'eau dans un grand réservoir où les foulantes prennent l'eau en charge; 2^o des pompes foulantes placées derrières chacun des cylindres à vapeur et actionnées directement par les pistons à vapeur. Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre des pistons à vapeur.....	0 ^m ,620
Section utile des plongeurs des pompes foulantes..	0 ^m ,352
Course commune	3 ^m ,200
Poids du volant	5000 kil.
Diamètre du tuyau de prise de vapeur.....	0 ^m ,180
Diamètre du tuyau de refoulement.....	0 ^m ,200
Diamètre du piston des pompes à air du condenseur	0 ^m ,220
Course de ces pistons.....	1 ^m ,000
Nombre de tours par minute	30

Ce type de machine est capable d'épuiser 2000 mètres cubes d'eau en 10 heures à la profondeur de 190 mètres.

La Société de Couillet exposait également la machine d'épuisement à rotation installée aux Charbonnages de Noel Sart-Culpard à Gilly. Cet appareil d'exhaure se compose d'une machine horizontale montée sur un fort bâti portant le cylindre à vapeur, derrière celui-ci deux paliers dans lesquels tourne l'arbre des volants, et deux glissières portant une grande traverse en acier forgé. La traverse en acier, reliée, en son milieu au moyen d'une crosse à la tige du piston à vapeur et à la grande bielle commandant les pompes, est attaquée à ses deux extrémités par deux bielles en retour, actionnant les deux volants régulateurs. Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre du piston à vapeur	1 ^m ,100
Course du piston à vapeur	2 ^m ,500
Diamètre des volants	6 ^m ,000
Poids d'un volant	19 tonnes
Longueur de la grande bielle	10 ^m ,700

Cette bielle est construite en chaudironnerie et présente un profil parabolique en treillis. Elle transmet le mouvement de la machine aux pompes par l'intermédiaire d'un balancier triangulaire en tête de cheval qui porte le contre-poids d'équilibre. La colonne du puits mesure 460 mètres de profondeur et se compose de jeux de pompes du système Rittinger, à pistons différentiels ayant 80 à 85 mètres de jet. Ces pompes ont des plongeurs de 0^m,540 et 0^m,380 de diamètre et une course de 1^m,500. La machine fait dix révolutions par minute.

Les deux puissants moteurs d'exhaure, dont un petit modèle figurait dans l'installation de la société de Mariemont (pl. 23 et 24), élèvent chacun un demi-mètre cube d'eau par coup et atteignent facilement une vitesse de 10 coups par minute. Cette machine à rotation continue est à balancier, et la tige du piston porte à sa partie inférieure un contre-poids qui équilibre la maîtresse tige. Elle est combinée de telle façon que le balancier ne travaille jamais que dans un seul sens, et n'est jamais soumis qu'à l'effort même de la maîtresse tige. Chacun des rivets qui assemblent les différentes parties de ce balancier conserve donc toujours les mêmes points de contact, et il est facile de voir que dans de telles conditions, le balancier est mis à l'abri des causes qui amènent si souvent la détérioration et même la rupture de ce genre d'organes.

On comprend de suite aussi que les bielles qui réunissent le piston au balancier, se trouvent travailler dans les mêmes conditions que ce balancier, tandis que celles qui réunissent la traverse et la tige du piston à l'arbre des volants, lequel est placé au-dessous des cylindres, n'ont à supporter que les efforts résultant de la transmission et de la reprise, par rapport aux volants, de la variation de la force vive.

Les pompes sont renversées, en sorte que la maîtresse tige travaille uniquement par traction. Le piston en est fixe, tandis que le corps de pompe est mobile. Le bourrage est garanti contre les boues et matières entraînées par l'eau par un réservoir dans lequel elles viennent s'accumuler et qu'il est aisément de nettoyer de temps en temps. Afin d'éviter l'intercalation de cadres dans la maîtresse tige, celle-ci traverse le couvercle supérieur des pompes. Si l'on a ainsi un bourrage de plus à chaque jeu de pompes, on a par contre le grand avantage d'avoir une maîtresse tige formée du haut en bas d'une simple barre de fer ronde et qui n'a pas besoin d'être guidée. Le puits a 250 mètres de profondeur et l'eau est refoulée par trois jeux de pompes, chacun faisant accomplir à l'eau une ascension de 80 à 85 mètres.

En 1885, la Compagnie de Montrambert, ayant approfondi des travaux intérieurs, a dû prolonger la pompe du puits de l'Ondaine de 100 mètres. Elle a pu utiliser son ancienne machine d'épuisement, à simple effet et à balancier, du système dit de Cornouailles, par l'addition du balancier et régénérateur de force de Bockholtz. Elle exposait le modèle du balancier qu'elle a adopté et qui a été décrit par l'inventeur, M. Rossigneux, dans le Bulletin de l'industrie minérale.

M. Rossigneux obtient sensiblement les effets du Bockholtz en faisant rouler un balancier ordinaire sur une table par une courbe. Par ce roulement, les bras de levier de la maîtresse tige et du contre-poids varient à chaque instant.

A l'origine de la course descendante de la maîtresse-tige, il résulte de l'inégalité des bras du levier un certain poids libre de celle-ci, qui produit l'accélération du mouvement. Ce poids libre diminue sans cesse, jusqu'au point où les moments de la puissance et de la résistance sont égaux. Pendant cette première période du mouvement, l'excès du travail du poids disponible de la maîtresse-tige sur le travail résistant du contre-poids a été emmagasiné dans les masses en mouvement sous la forme de force vive. Pendant la seconde période, le travail résistant du contre-poids est supérieur à celui du poids disponible, et le mouvement s'éteint lorsque le travail emmagasiné pendant la première période a été absorbé.

Les mêmes effets se reproduisent pendant la course montante de la maîtresse tige; le contre-poids accélère d'abord le mouvement jusqu'au point d'équilibre, puis le retarde de plus en plus, jusqu'à la fin de la course.

En résumé le point d'équilibre entre les travaux moteurs et résistants a lieu dans le Bockholtz au milieu de la course, tandis qu'il est plus bas dans le Rossigneux.

Nous ajouterons quelques exemples d'installations récentes.

Les machines d'épuisement souterraines installées au charbonnage d'Arsimont, en 1888, dans le bassin de Charleroi (Belgique), ont été établies pour répondre aux conditions suivantes :

1^o La venue d'eau à épuiser varie de 1,800 mètres cubes en été à 4 et même 5,000 mètres cubes pendant les mauvais hivers.

2^o Cette quantité d'eau doit s'exhauer :

a. Actuellement, et pendant trois ou quatre années encore, en partie de la profondeur de 203 mètres, et en partie de la profondeur de 260 mètres.

b. Pendant cinq ou six années ensuite de la profondeur de 260 mètres en totalité.

c. Enfin, pendant 10 ou 12 années, de la profondeur de 350 mètres, une partie étant supposée pouvoir être maintenue à 260 mètres.

On s'est décidé à établir directement deux machines souterraines à la profondeur de 260 mètres; à laisser descendre à ce niveau, pendant les premières années, la venue d'eau de 203 mètres, et on a résolu la question de l'épuisement au niveau futur, sans déplacement des machines, en combinant le système des machines foulantes avec le système d'épuisement par maîtresse-tige.

Les deux machines, absolument identiques, sont placées bout à bout, dans une salle située sur le côté du puits d'extraction, et à 10 mètres au-dessus de l'envoyage, pour être à l'abri des eaux en cas d'accident (pl. 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34).

Les dimensions de cette salle sont les suivantes, à l'intérieur des maçonneries :

Longueur	36 ^m
Largeur.	6 ^m
Hauteur.	4 ^m ,75

Le plafond est fait en voussures sur poutrelles légèrement cintrees. La nature du terrain a permis de se dispenser de placer des colonnes de soutènement.

Les machines sont du système compound, à condensation. — Le condenseur est placé entre les deux cylindres et commandé par un excentrique calé sur l'arbre du volant.

Chaque machine comprend quatre corps de pompe placés deux à deux en prolongement derrière chaque cylindre. Ces corps de pompe, surmontés chacun d'une cloche à air, refoulent l'eau dans un grand réservoir d'air, en fonte, commun aux deux machines, et, de là, directement à la surface. L'air est entretenu dans les petites cloches par les reniflards des pompes, et, dans le grand réservoir par une petite pompe à air placée sur chaque machine.

Au milieu de la salle est creusé un burquin central qui communique avec le fond du puits d'extraction. Sur l'arbre du volant de chaque machine, est calé un pignon, qui commande un engrenage placé sur un arbre spécial (rapport 1/3). Cet engrenage porte un pivot qui commande, par son mouvement rotatif, la maîtresse-tige d'une pompe Rittinger aspirante et foulante.

Actuellement, chaque pompe Rittinger prend l'eau à 17 mètres sous le niveau de la salle, et la refoule dans un réservoir épurateur; celui-ci transmet l'eau en charge au condenseur, qui, lui-même, la transmet également en charge au ré-

servoir fermé qui est en communication avec les quatre corps des pompes horizontales. Il n'y a donc aspiration qu'au fond du burquin, et les pompes foulantes des machines rotatives, de même que le condenseur, donnent ainsi un résultat presque théorique.

Les engrenages, les bielles, les pompes Rittinger, les colonnes de refoulement du burquin, etc., sont calculés pour la profondeur future de 350 mètres. Il suffira donc, lorsque cela sera nécessaire, d'approfondir le burquin, de descendre les Rittinger, et de porter à 90 mètres la longueur des maîtresses-tiges et des colonnes de refoulement du burquin.

Le burquin des pompes, rectangulaire, a 4 mètres de long, sur 1^m,50 de large.

Les colonnes d'eau et de vapeur sont placées dans le puits d'aérage. La vapeur arrive au fond dans un réservoir dessicateur qui la distribue, par des conduites distinctes, aux deux machines.

Les machines, construites par les ateliers de la Meuse, à Liège, ont donné toute satisfaction ; elles doivent fournir chacune, à 30 tours par minute, soit 10 coups pour les pompes Rittinger, un minimum de 2.500 mètres cubes en eau réellement élevée à la surface. — Or, elles ont fonctionné, dans différentes expériences, à 50 et 55 tours par minute, sans inconvenient.

Voici les dimensions principales :

A. — *Pompes du burquin*

Diamètre des plongeurs	0 ^m ,495
Course	1 ^m ,200
Volume engendré par course	0 ^{m3} ,230
Diamètre des tuyaux d'aspiration	0 ^m ,500
» » de refoulement	0 ^m ,600
Vitesse de l'eau dans les tuyaux de refoulement pour 30 tours ou 10 coups de pompe par minute.	0 ^m ,85

B. — *Machines à vapeur*

Diamètre du petit piston à vapeur	0 ^m ,600
Diamètre du grand »	1 ^m ,000
Course des pistons	0 ^m ,800
Longueur du récipient	2 ^m ,150
Diamètre »	0 ^m ,400
Diamètre du volant	3 ^m ,500
Diamètre des tuyaux de la colonne de vapeur.	0 ^m ,200
Epaisseur » »	0 ^m ,014
Nombre de joints de dilatation, sur 250 mètres	3
Diamètre de la colonne permettant, au besoin, la décharge à l'air libre dans le puits d'air	0 ^m ,095

C. — *Condenseur*

Diamètre du piston de la pompe à air	0 ^m ,500
Course » » » » »	0 ^m ,320
Volume engendré par tour	0 ^{m3} ,080

D. — *Pompes foulantes horizontales*

Hauteur de refoulement, au-dessus de l'axe des machines	250 m.
Prise des eaux au fond du burquin	268 m.
Diamètre des plongeurs des pompes horizontales	0 ^m ,180
Diamètre des tiges (à déduire)	0 ^m ,085
Course du piston	0 ^m ,800
Quantité d'eau théorique élevée par chaque machine et par 24 heures, pour 30 coups par minute	2733 ^{m3}

E. — *Colonnes de refoulement*

Diamètre des colonnes, spéciales à chaque machine dans la salle	0 ^m ,200
Vitesse de l'eau par seconde pour 30 tours	0 ^m ,970
Diamètre du grand réservoir d'air cylindrique	0 ^m ,700
Hauteur » » » » »	6 ^m ,100
Epaisseur des parois en fonte	0 ^m ,040
Diamètre des conduites de refoulement dans le puits d'air	0 ^m ,280 0 ^m ,290 et 0 ^m ,300
Epaisseur des parois des tuyaux	0 ^m ,030 0 ^m ,025 et 0 ^m ,020
Vitesse de l'eau dans la colonne pour les deux machines à 30 tours	0 ^m ,860

RÉSULTATS FOURNIS PAR LES MACHINES EN MARCHE RÉGULIÈRE A 30 TOURS

Rendement effectif des pompes horizontales, en eau élevée à la surface	97 1/2 %
Cube d'eau obtenu à la surface pour 30 tours des deux machines par 24 heures	5318 ^{m3}
Consommation totale de vapeur par heure et par cheval utile, en eau élevée à la surface	16 ^k ,2
Condensation totale par heure	400 litres
Pression de la vapeur aux chaudières	5 atmosphères
Pression constatée au réservoir dessicateur des machines	4 3/4 à 5 atm.
Degré de vide au condenseur	760

La machine d'épuisement intérieure, installée par la Société des Mines de Carmaux, dans son puits n° 1 de Sainte-Barbe, est logée dans une excavation atteignant à la colonne du puits, à 200 mètres environ de la surface.

Cette machine, à deux cylindres à vapeur jumeaux commandant directement chacun deux pompes à plongeur en bronze, de 0^m,160 de diamètre, refoule d'un seul jet au jour, à une vitesse de 40 tours par minute, 4.300 mètres cubes d'eau en 24 heures, la pression de la vapeur au fond, étant de 4 kilg. 250 dans les cylindres à vapeur, le vide étant de 700 grammes au condenseur.

Les cylindres à vapeur ont 0^m,640 de diamètre;

La course du piston à vapeur ainsi que celle de la pompe est de 1^m,10.

La distribution de vapeur se fait par tiroir, et la détente circulaire, variable de $\frac{1}{10}$ à $\frac{7}{10}$ d'introduction, est commandée par un régulateur commun aux deux machines.

Le bâti en fonte est de la forme dite Corliss.

L'arbre a 0^m,325 en son milieu, où se trouve calé un volant de 4 mètres de diamètre, en deux pièces, du poids de 5.000 kilogrammes.

Les cylindres et les pompes de chaque machine reposent sur un long bâti en fonte d'environ 7 mètres de longueur et de forme en U.

Les pompes sont reliées aux fonds des cylindres chacune par deux forts tirants supportant presqu'entièrement le travail de refoulement, afin de réduire au minimum le travail du bâti.

Deux petits réservoirs à air, de 1^m,750 de hauteur et 0^m325 de diamètre intérieur, desservent chacun deux corps de pompe conjugués.

Le diamètre des soupapes d'aspiration est de 0^m,175;

Celui des soupapes de refoulement, de 0^m200.

Un condenseur, placé entre les deux machines, et mû par un excentrique, prend les eaux directement au puisard jusqu'à une profondeur d'aspiration de 5 mètres.

L'eau, à sa sortie du condenseur, tombe en charge dans les tuyaux d'aspiration des pompes, et l'excédent retourne au puisard par un tuyau de trop plein.

La colonne amenant la vapeur du jour est en fer.

La pompe a été construite par M. Maillet, d'Anzin.

La machine souterraine des charbonnages de Bernissard (Belgique), installée en 1886, donne 1800 mètres cubes d'eau par 24 heures, avec des corps de pompes de 0^m,114 de diamètre, refoulant l'eau d'un seul jet à 240 mètres de hauteur. La distribution, très soignée, permet de marcher sans inconvénients à 44 tours par minute.

La machine d'épuisement, installée au fond de la mine d'Hardinghen (Pas-de-Calais), donne 2.400 mètres cubes par 24 heures, en marchant à la vitesse de 40 tours par minute. Elle se compose d'une machine à vapeur ordinaire à deux cylindres horizontaux, de quatre pompes foulantes à réservoir d'air commandées directement par les pistons à vapeur, et d'un condenseur.

Les cylindres à vapeur ont 0^m,575 de diamètre intérieur et 0^m,70 de course.

Les pompes sont à simple effet, les pistons ont 0^m,148 de diamètre et sont attelés directement sur les pistons à vapeur.

La pompe Tangye, installée en 1883, aux mines de Béthune (Pas-de-Calais), a un débit de 1200 mètres cubes par 24 heures, elle refoule l'eau d'un seul jet à 198 mètres de hauteur.

Diamètre du piston à vapeur	0 ^m ,605
Diamètre du piston de la pompe	0 ^m ,175
Course commune	0 ^m ,900

Diamètre de la conduite de vapeur 0^m,100 intérieur 0^m,110 extérieur
Diamètre de la conduite de refoulement 0^m,130 » 0^m,140 »

A 40 coups par minute le débit par 24 heures est de 1.206 ^{m³} ,7	
A 54 coups $\frac{3}{10}$ » » »	1.594 ^{m³} ,2
A 63 coups » » »	1.704 ^{m³} ,6

Les rendements correspondant à ces débits ont été de :

A 40 coups	0,970
A 54 coups $\frac{3}{10}$	0,944
A 63 coups	0,874

On voit que le rendement, maximum à la vitesse de 40 coups, diminue quand ce nombre augmente.

La même houillère a installé au jour une machine d'épuisement à traction directe, pouvant éléver 3,500 à 4,000 mètres cubes par 24 heures.

Diamètre du piston à vapeur	1 ^m ,30
Course maxima	2 ^m ,80

Les pompes à simple effet installées dans le goyau sont au nombre de trois : l'une soulevante à 195 mètres, les deux autres foulantes à 170 mètres et 100 mètres ; la hauteur de la colonne soulevante est de 30 mètres, celle des deux foulantes est pour la première de 70 mètres et pour la seconde de 106 mètres.

Diamètre du piston de refoulement	0 ^m ,450
Course	3 mèt.
Diamètre de la soulevante	0 ^m ,460
Course	3 mèt.
Diamètre du corps de pompe foulante	0 ^m ,465

Une pompe à colonne d'eau, du système Roux, a été installée en 1885, à la houillère du Creusot.

Les 2 à 3000 mètres cubes d'eau fournis quotidiennement par l'étage 266 mètres se réunissent dans un bassin de dépôt de 1^m,90 de largeur, 1^m,30 de hauteur et 20 mètres de longueur, où le ralentissement de la vitesse produit le dépôt des poussières et l'épuration nécessaire. La chute de 85 mètres qui amène les eaux à l'étage 351 mètres, est utilisé par la pompe Roux pour remonter au jour une partie de cette eau. Le diamètre de la colonne de descente est de 0^m,20, celui de la colonne de refoulement de 0^m,14. La chute d'eau refoule les 0,1222 de son volume; elle ne pourrait remonter théoriquement que

$$\frac{h}{H} = \frac{70^m,00}{349^m,40} = 0,2003$$

(la hauteur de la chute utilisée est de 70 mètres), l'effet utile de la pompe est donc $\frac{0,1222}{0,2003} = 0,61$.

La Compagnie des mines de Marihaye échelonne dans un puits plusieurs appareils permettant de capter les sources ou venues, là où elles se produisent. Un flotteur métallique, se mouvant verticalement dans une caisse fermée et à clapets, fait marcher une distribution mettant ce réservoir en communication tantôt avec la conduite d'air comprimé, tantôt avec l'atmosphère, de manière à produire l'exhausion du liquide.

POMPE A VAPEUR WORTHINGTON

Cette pompe à vapeur est à connexion directe des pistons à vapeur et à eau, et, tout d'abord, le constructeur a du rechercher le mode de distribution le plus convenable pour ce genre de machines.

Son tiroir est du système ordinaire, mais il est mû par un levier qui parcourt toute la course; ce mécanisme à liaisons forcées est supérieur à celui des commandes de tiroirs généralement usités.

Les machines Worthington sont jumelles, le plus souvent du système compound, le petit et le grand cylindre disposés à la suite l'un de l'autre. Leur marche est extrêmement régulière. Pendant que le piston de l'une des machines est en pleine marche, la tige déplace lentement par l'intermédiaire du levier le tiroir de distribution de l'autre, de telle façon que la vapeur agisse dans la seconde pompe avant la fin de la course du piston considéré.

Cette course terminée, le piston de la seconde machine, qui a commencé à se déplacer, passe rapidement à un mouvement régulier, tandis que le premier piston, qui s'est arrêté, attend pour recommencer sa course inverse, que son ti-

roir à vapeur ait été ouvert par l'autre machine. Il résulte de là un mouvement presque complètement uniforme de la colonne d'eau dans les tuyaux de refoulement.

Cette uniformité du mouvement de la colonne d'eau permet de lui donner une vitesse plus considérable et de réduire dans de notables proportions les dépenses d'installation.

De plus, pour conserver au travail de la vapeur son mode le plus avantageux caractérisé par un diagramme présentant une courbe à ordonnées décroissantes, le travail de résistance de l'eau à éléver demeurant d'ailleurs constant, M. Worthington a muni sa pompe de deux cylindres oscillants, aux quels il a donné le nom de compensateurs.

Les pistons de ces cylindres oscillants sont reliés à une traverse fixée sur le prolongement de la tige du piston à vapeur et agissant sur de l'eau en communication avec des réservoirs d'air à haute pression.

Dans la première partie de la course, alors que la puissance est supérieure à la résistance, les compensateurs refoulent l'eau et agissent en sens contraire du piston à vapeur. Dans la seconde partie de la course, alors que la puissance est inférieure à la résistance, ils agissent dans le même sens que le piston à vapeur.

Précisant les conditions de fonctionnement de la pompe Worthington, M. le professeur Reuleaux dans une conférence faite en 1886, conclut en disant :

« Dans la machine élévatrice à action directe, il est possible, avec les compensateurs Worthington, d'obtenir que la pression de l'eau et celle de la vapeur agissent tous les deux dans de bonnes conditions et la solution imaginée par Worthington constitue un progrès essentiel réalisé dans l'emploi de la vapeur.

SOUTÈNEMENT

FAÇONNAGE DES BOIS DE MINES

M. Sottiaux, de Bracquegnies, exposait au Champ de Mars une façonneuse de bois de mines, dont les couteaux circulaires taillent rapidement les biseaux ou creusent les gorges. Cet appareil paraît se répandre en Belgique. Il réalise une économie notable tant en main-d'œuvre qu'en temps.

CADRES DE MINES EN FER

De nombreuses tentatives sont faites pour substituer le fer au bois particulièrement dans les galeries ébouleuses ou de durée.

Les mines de Roche-la-Molière et Firminy exposaient trois types de cadres métalliques circulaires, de 1^m,80 de diamètre intérieur, en 2 pièces assemblées par des manchons ; le premier, en vieux rails de grande voie, pèse 209 kilogrammes ; le second en fer en U, 98 kilogrammes ; le troisième en acier à patin et champignon, 82 kilogrammes. Dans les galeries à double voie et dans les plans inclinés à chariot-porteur, le cadre est elliptique, en quatre pièces.

La Société des houillères de Saint-Etienne emploie pour le soutènement des galeries des cercles en fer en U dont les deux tronçons sont réunis par des manchons : le blindage des parois est fait au moyen de petits fers creux demi-ronds.

Le blindage en fer est considéré à Rochebelle comme devant remplacer seulement les muraillements, trop coûteux d'établissement, et les boisages ordinaires dans les galeries qui forcent et où les bois doivent être renouvelés souvent. Les cadres circulaires sont fabriqués avec des vieux rails de 13 à 25 kilogrammes ; ils sont en deux pièces reliées par des manchons en tôle. On avait essayé des manchons en fonte qui ont été abandonnés.

M. Gerrard, ingénieur des mines de Rochebelle, a publié dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* une intéressante comparaison entre les cadres de bois et les cadres métalliques. Ceux-ci devraient être préférés au point de vue économique dès que la durée de la galerie doit dépasser 4 années.

Pour le garnissage des cadres, on préfère à Rochebelle le garnissage métallique : les vieux cercles de bennes rebutés, qui ont été employés, fléchissent assez facilement sous la pression du terrain : il travaillent alors uniquement par traction ; ce fait a conduit à rechercher la garniture la plus flexible possible, si bien qu'on est arrivé à employer le fil de fer.

Aux mines de Liévin, l'emploi des chapeaux en fer posés sur montants en bois est assez répandu. Les chapeaux sont pris soit dans des fers spéciaux, soit dans des débris de cadres en fer hors d'usage, soit dans les vieux rails. Les cadres entièrement métalliques sont appliqués depuis dix ans. Le nombre des cadres placés dans la mine était de 8.100 au 31 mars 1889.

Le fer employé pesant 15^k,500 a pour profil un double T à ailes inégales, la plus large est à l'intérieur de la galerie. Les cadres sont formés par deux montants inclinés, recourbés à leur sommet, en arc de cercle et reliés soit par des éclisses soit par un manchon de fer.

Le manchon est fait avec du fer de 10 millimètres d'épaisseur provenant de vieilles tôles.

Les pieds des montants des cadres sont posés sur le terrain dur, ou à défaut de base convenable, sur une pièce de bois couchée à plat afin de mieux répartir la pression.

Le garnissage qui a donné les meilleurs résultats consiste en rondins de bois, de 10 à 12 centimètres de diamètre, dont les extrémités sont logées entre les deux ailes du double T, jointifs ou écartés suivant la nature du terrain ; ils maintiennent bien l'écartement des cadres ce qui est la condition importante.

DÉBOISAGE

On est parvenu à exécuter le déboisage aux mines de Marles, dans des conditions économiques, grâce à l'emploi de rallonges métalliques. Celles-ci se retirent plus facilement et demandent moins de soutien que les rallonges de bois ; elles permettent un bon garnissage du toit, le travail est donc plus facile dans le chantier. Le type adopté à Marles est un fer en I posé à plat, contrairement à la théorie de la résistance des matériaux, parce que la pose est ainsi plus facile et la stabilité meilleure : la flexion, le cas échéant, a lieu dans un même plan vertical, et enfin, lorsque cette flexion dépasse une certaine limite, les ailes se déchirent avant l'âme, ce qui indique que le soutènement doit être consolidé.

MÉTHODES D'EXPLOITATION

Nous ne parlerons ici que des méthodes d'exploitation dont les modèles en relief figuraient à l'Exposition universelle.

On sait combien les méthodes proprement dites d'exploitation, qui jouent un si grand rôle tant pour l'épuisement complet du gîte que pour la sécurité des ouvriers et l'obtention d'un bas prix de revient, ont été étudiées d'une manière rationnelle, et à quel problème complexe se relie leur choix. La tendance qu'il convient de signaler, comme s'introduisant de plus en plus dans les houillères, est, après avoir déterminé la méthode la plus appropriée à l'ensemble du gîte, de savoir en sortir, et même souvent de la transformer complètement dans une même exploitation, soit pour des couches déterminées, soit pour des cas particuliers.

GRAND' COMBE

La Compagnie des mines de la Grand'Combe exposait un modèle en relief de la méthode employée pour l'exploitation de la couche Grand-Beaume. Cette cou-

che est formée de deux bancs de charbon : l'un de 2 mètres d'épaisseur, au toit, appelé banc-supérieur, et l'autre de 6 mètres d'épaisseur, au mur, appelé banc inférieur.

Ces deux bancs de charbon sont pris par grandes tailles et remblais complets. On commence par le banc supérieur que l'on enlève en une seule fois. Lorsque le dépilage, fait en direction, est avancé de 30 mètres, un second chantier est établi au mur du banc inférieur. Lorsque ce chantier dont la hauteur est aussi de 2 mètres, a déplié à son tour 30 mètres en direction, on monte sur le remblai qui suit immédiatement l'abatage et on attaque une nouvelle tranche de 2 mètres d'épaisseur au-dessus de la première ; puis une troisième lorsque la seconde a pris 30 mètres d'avance. On a finalement un ensemble de quatre tranches, dont les fronts de taille parallèles, sont distants les uns des autres de 30 mètres suivant la direction. On peut mener ces chantiers aussi loin qu'on le veut, et sans autre considération que celle d'une division de l'étage en vue d'une production déterminée.

L'étage a une hauteur de 100 mètres, mesurée suivant l'inclinaison de la couche.

Des lignes de plus grande pente laissées dans les remblais de chaque tranche, réunissent la galerie supérieure d'introduction des remblais et la galerie inférieure d'évacuation des charbons. Ces lignes se déplacent tous les 30 mètres et à chaque déplacement se rapprochent de leur chantier respectif.

MONTRAMBERT ET LA BÉRAUDIÈRE

La Société des mines de Montrambert et La Béraudière, montre par ses modèles très remarqués à l'Exposition, la généralisation qu'elle a faite de la méthode par tranches horizontales, et ses diverses applications aux cas particuliers.

Sauf des cas très rares, la Grande Couche, d'une puissance de 6 à 7 mètres, est toujours exploitée par cette méthode. Lorsqu'un sous-étage est déhouillé, la quatrième tranche du sous-étage immédiatement inférieur est déjà en dépilage et l'on attaque la première tranche du suivant (fig. 1).

Au lieu de disséminer les recoupes sur toute l'étendue du champ d'exploitation, on les dispose par groupes et en gradins, le nombre des points d'attaque variant suivant les besoins de la production (fig. 2 et 3).

La largeur de ces recoupes varie de 3 à 8 mètres suivant la dureté de la houille.

Pour toutes les couches de moyenne puissance, on divise le champ d'exploitation en massifs ou quartiers distincts, desservis chacun par un plan automoteur

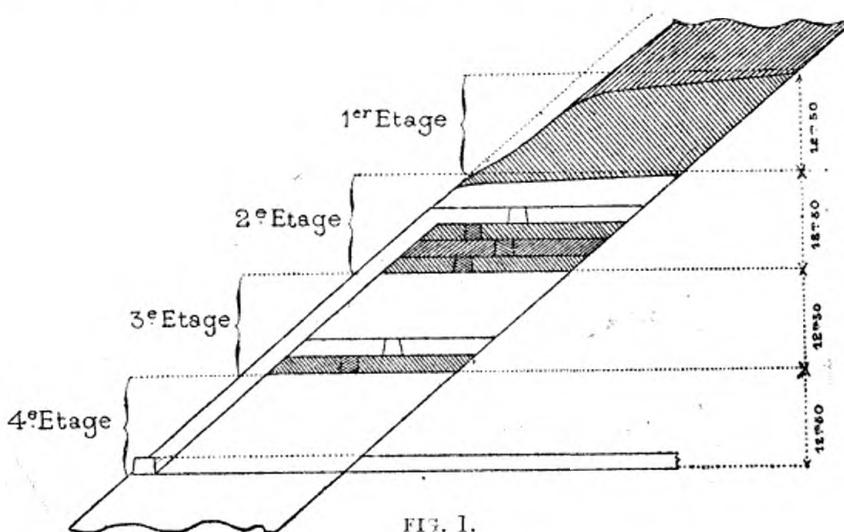


FIG. 1.

central à chariot porteur et contre-poids allant de la base au sommet de l'étage.

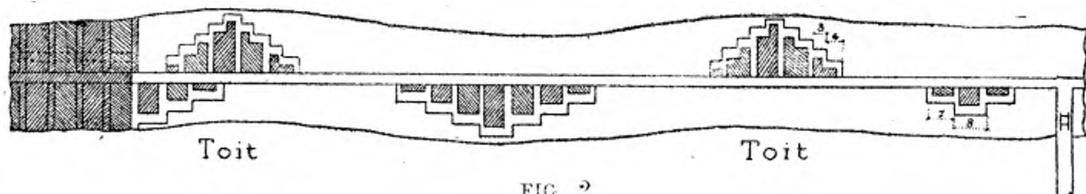


FIG. 2

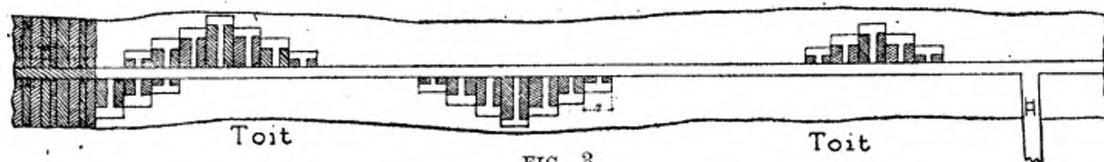


FIG. 3

La longueur de ces massifs varie entre 100 et 120 mètres, leur hauteur de 33 à 50 mètres.

Chaque quartier est exploité le plus rapidement possible avec remblais complets, même dans les couches de 1 mètre de puissance.

Le déhouillement d'un massif a lieu de diverses manières suivant les couches. Dans la couche des Littes, de 1 mètre à 2^m,40 de puissance et 35 à 70° d'inclinaison, l'ancienne voie de roulage de l'étage précédent sert à amener les remblais du jour à chaque massif, et la galerie inférieure, à conduire les charbons

au puits. A partir du plan incliné, on dépile directement par sous-étage de 6^m,20 de hauteur verticale, donnant habituellement des fronts de taille de 8 mètres de longueur s'avancant en direction. L'ensemble forme à un moment donné une série de gradins renversés (fig. 4 et 5).

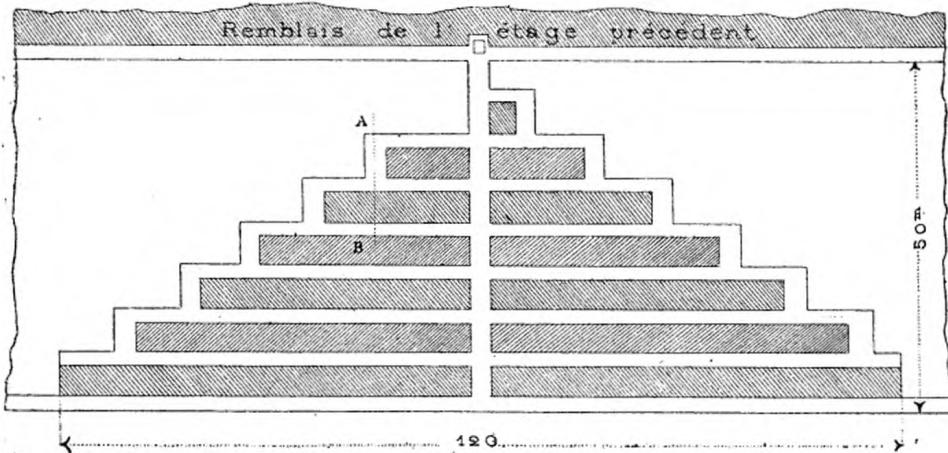


FIG. 4



FIG. 5

A La Béraudière, où la pente dépasse souvent 70°, la marche des travaux est plus difficile. On est forcé de placer les plans inclinés en biais et de laisser une

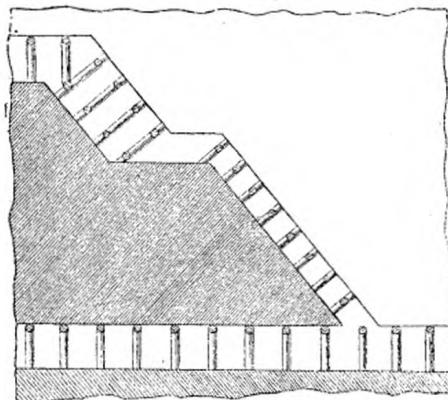


FIG. 6

pile protectrice en dessous. La disposition des sous-étages est la même mais

leur hauteur est double. Ils sont dépilés par rabattages en direction, dans lesquels le boisage supporte le front de taille disposé en gradins comme l'indiquent les figures 6 et 7.

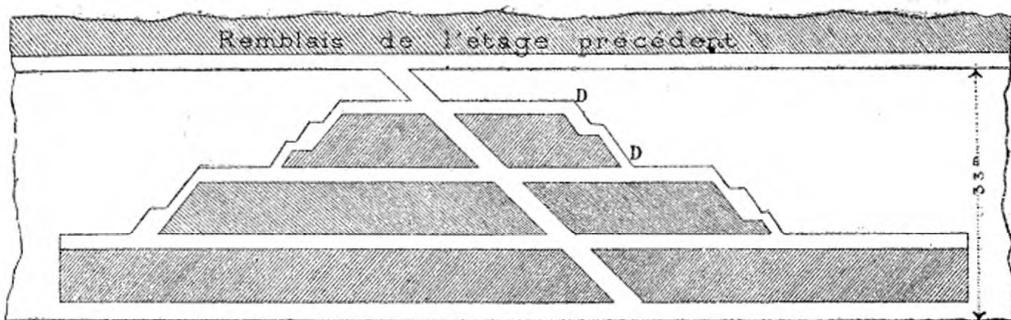


FIG. 7

Pour la deuxième Brûlante, dont la puissance varie de 2^m,50 à 4 mètres, la galerie principale et les plans inclinés sont creusés dans les schistes sous le vrai toit composé de grès solides.

L'étage est divisé en cinq sous-étages de 10 mètres de hauteur, que l'on déhouille en même temps, par tranches horizontales, en maintenant une avance d'une tranche au sous-étage supérieur sur le suivant (fig. 8, 9 et 10).

Chacune de ces tranches est dépilée, sans traçage préalable, à partir du plan incliné, le front de taille occupant toute la traversée de la couche, et les remblais suivant à mesure avec un chemin de service au milieu.

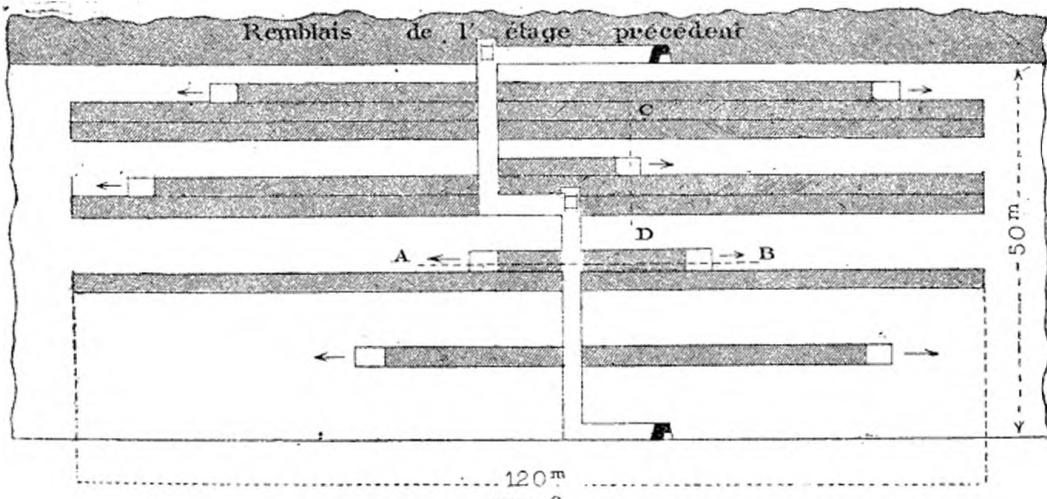


FIG. 8

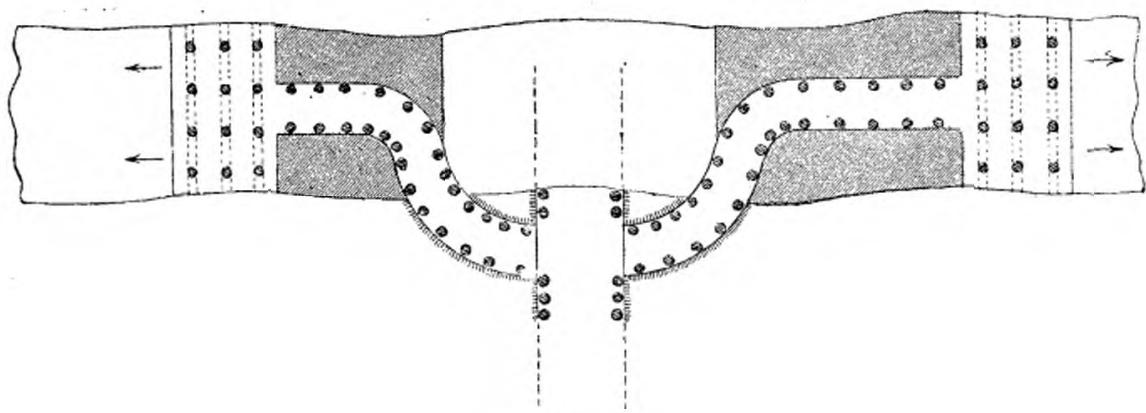


FIG. 9

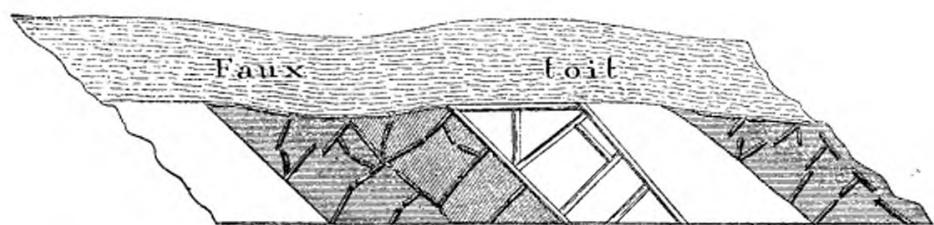


FIG. 10

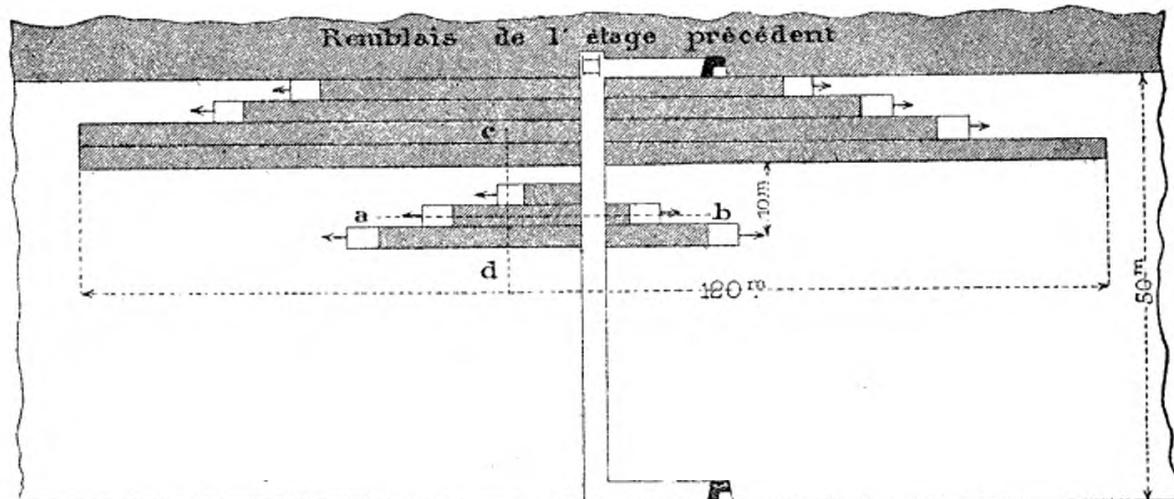


FIG. 11



FIG. 12

Dans la troisième brûlante, la division en sous-étage est la même, mais lorsque la pente est faible, on peut enlever dans chaque sous-étage les quatre tranches à la fois, les fronts de taille se suivant de très près (fig. 11, 12 et 3 1.)

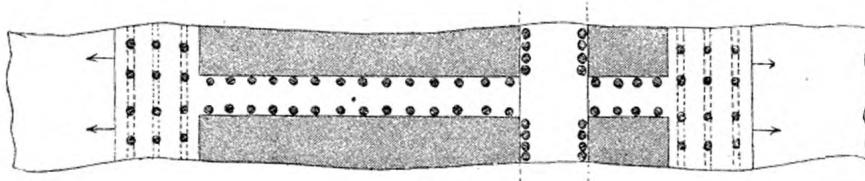


FIG. 13

ROCHE-LA-MOLIÈRE ET FIRMINY

Après avoir étudié les méthodes d'exploitation de la Société des mines de Montrambert et La Béraudière, le visiteur était naturellement amené à examiner les modèles d'exploitation très soignés, figurés également en relief, dans l'exposition des mines de Roche la Molière et Firminy.

La grande couche du Ban est exploitée par tranches horizontales avec tailles chassantes.

La couche a 30 degrés d'inclinaison, 15 mètres de puissance et 30 mètres de traversée horizontale.

L'étage de 100 mètres se divise en huit sous-étages comprenant chacun cinq tranches horizontales de 2^m,50.

Les sous-étages sont pris dans l'ordre descendant, et les tranches dans l'ordre ascendant.

Le déhouillement d'une tranche se fait de chaque côté du plan incliné, sans laisser de pilier protecteur, par une taille chassante qui s'avance jusqu'à la limite du champ d'exploitation, soit environ 100 mètres. Le front de taille, qui occupe toute la traversée de la couche du toit au mur, est rectiligne, desservi par une voie que l'on déplace au fur et à mesure de l'avancement et suivi de près par le remblayage.

Deux voies de service sont ménagées dans les remblais. La première, sous le toit, communique avec un plan incliné tracé dans une petite couche supérieure et sert à l'arrivée de l'air. La seconde qui longe le mur sert à la sortie de l'air et au roulage. Pour arriver aux voies de retour, l'air n'a pas d'autre chemin que les fronts de taille en activité.

Le triangle laissé au mur s'enlève en rabattant quand la taille est achevée.

Le modèle de la grande couche de Latour montrait la même méthode un peu modifiée. Cette couche, inclinée de 27°, se compose de deux bancs séparés par un intervalle stérile de 1^m,80. La division en sous-étages et en tranches est à peu près la même. Le banc inférieur puissant de 3^m,20 s'exploite par une seule taille chassante.

Le banc supérieur puissant de 7^m,70 s'enlève par un certain nombre de tailles chassantes ou rabattantes, greffées sur un traçage fait à l'avance suivant le mur avec la plus grande célérité possible. Le triangle du mur se prend en dernier lieu.

Les travaux exécutés simultanément dans les deux parties de la couche sont, de distance en distance, mis en communication pour l'aérage à travers l'entre-deux stérile.

Un autre modèle, celui de la deuxième couche Malafolie, dont la puissance est seulement de 1^m,80, montrait l'emploi d'une méthode par traçages et dépilages avec remblais partiels. On fait une division en piliers de 200 mètres de longueur suivant la direction et 20 mètres de largeur suivant l'inclinaison. Chaque série de piliers suivant l'inclinaison est desservie par un plan incliné médian. On prend 2^m,50 de charbon en traçant et 17^m,50 en dépilant.

Comme la couche est grisouteuse, les dépilages ne peuvent être amorcés par des remontées et tous les percements se font en descente. Au bas de chaque tranche en dépilage on construit un cordon de remblai suffisamment large pour limiter l'éboulement produit par le foudroyage du reste de la tranche.

L'exploitation par une méthode inclinée et tailles chassantes était représentée par le modèle de la couche dite La Grille n° 2. La puissance utile de cette couche est de 1^m,45; elle est divisée en 4 lames par trois nerfs, ce qui lui donne une puissance totale de 2 mètres. On donne à la taille chassante un front de 10 mètres. Avec les matériaux fournis par l'abatage des trois nerfs, on construit un pilier de remblai large de 6 mètres: les tailles arrivent à leur limite, soit à 100 mètres du plan incliné, avant qu'la voie de roulage, établie au bas de la taille et le chemin d'air ménagé vers le haut aient exigé aucune dépense d'entretien. On peut dépiler ainsi dans l'ordre ascendant un très grand nombre de tailles, mais la conservation du plan incliné réclame le maintien d'un pilier protecteur.

Le modèle de la couche du Peyron montrait l'exploitation d'une couche de faible puissance (0^m,90 de puissance, 20° d'inclinaison) par tailles de traçage remblayées et tailles de dépilage.

La largeur du traçage est de 12 mètres, sa longueur de 100 mètres. Le vide produit est maintenu de chaque côté par le massif de charbon, et au milieu par un pilier de remblai dont les matériaux sont fournis par deux coupages de mur que l'on effectue simultanément l'un en haut, l'autre en bas du traçage. Pendant la période du traçage, le courant d'air détourné par le remblai lèche nécessairement le front de taille, et à l'extrémité du champ d'exploitation, l'amorce du dépilage peut être faite en montant. La taille rabattante, large de 15 mètres, ne comporte ni remblai, ni percement de voie, car on prend comme voie de service le chemin supérieur du traçage. Pendant cette période l'air suit le front de taille qui est son plus court chemin pour parvenir à la voie de retour, mais en se dif-

fusant un peu dans le vide du dépilage. Des toiles d'aérage sont placées dans le plan incliné vis-à-vis le remblai pendant la première période, et au-dessus du traçage pendant la seconde.

LA LOIRE.

La Société anonyme des mines de la Loire exposait le modèle de l'exploitation d'une couche de 4 mètres de puissance, dont l'inclinaison varie de 19 à 20°.

Cette méthode due à M. Du Rousset, ingénieur-directeur de la Société, permet d'enlever en une seule fois toute la hauteur de charbon.

On divise la couche en piliers de 50 mètres de longueur suivant le pendage, et de 30 mètres de largeur suivant la direction. Chaque pilier est attaqué sur toute sa largeur par le niveau inférieur, et le chantier avance suivant la ligne de plus grande pente. Les piqueurs enlèvent en premier lieu la partie supérieure de la couche sur toute la largeur du front de taille, en laissant sous leurs pieds un banc de charbon de 1^m,30 d'épaisseur environ. Il soutiennent le toit par une ligne de longuerines placées parallèlement au front de taille, et étayées par des buttes provisoires. Après avoir fait 2^m,80 à 3 mètres d'avancement, les piqueurs enlèvent le charbon resté au mur, et remplacent les buttes provisoires par des buttes définitives, sans toucher aux longuerines.

La couche ainsi déhouillée sur un avancement de 3 mètres environ, on attaque de nouveau le charbon du toit et ainsi de suite. Le poste à remblai suit le poste à charbon.

SAINT-ÉTIENNE.

La Société des mines de Saint-Etienne montrait un modèle à l'échelle de $\frac{1}{10}$ de l'une des grandes tailles chassantes de l'exploitation de la treizième couche, au puits Saint-Louis, dans la période d'enlèvement de la tranche inférieure. Cette société a généralisé l'emploi des grandes tailles chassantes ou montantes, malgré les difficultés sérieuses que présente cette méthode dans les couches puissantes et ébouleuses, se préoccupant surtout d'assurer un remblai aussi parfait que possible et de disposer les chantiers de manière à faire constamment lécher le front de taille par le courant d'air convenablement divisé.

BLANZY

Le déhouillement rapide d'une succession de tranches, prises en s'élevant sur les remblais, est le principe de la méthode d'exploitation appliquée depuis quelques années à Blanzy. Le remblayage devant suivre de très près l'enlèvement de la houille, on est arrivé naturellement à la simultanéité des deux postes à charbon et à remblai qui, dans le début, étaient séparés.

On obtient ainsi les avantages suivants :

Concentration des travaux de préparation et d'abatage ;

Renouvellement rapide des surfaces de charbon en contact avec les remblais, et suppression à peu près absolue des échauffements et des feux ;

Economie de boisage, les remblais étant toujours au courant ;

Suppression du personnel tels que allumeurs de lampes, charretiers, rouleurs, portiers, etc., du poste à remblai ;

Surveillance plus rigoureuse des travaux, car les deux postes ont en même temps la visite des chefs de poste, des maîtres-mineurs et des ingénieurs ;

Economie sur les chevaux : la production annuelle par cheval, était en 1875-76, de 66.140 hectolitres, elle est aujourd'hui de 101.320 hectolitres ;

Augmentation de l'effet utile des mineurs ; en 1875-76, le rendement moyen par journée d'ouvrier du fond, surveillance comprise, était de 8^h47, en 1887-88 ce rendement a été de 12 hectolitres soit une différence de 3^h53 par ouvrier du fond et par journée, résultat qui ne peut être attribué qu'aux heureuses modifications apportées dans les méthodes d'exploitation. Le salaire des ouvriers s'est élevé proportionnellement.

Dans le modèle exposé, l'exploitation a lieu par étages descendants de 15 mètres de hauteur verticale; cette hauteur a été déterminée par l'expérience; avec la nature du charbon et l'inclinaison de la couche, une plus grande hauteur amènerait des échauffements dangereux.

On déhouille chaque étage en montant par tranches successives de 2^m30 de hauteur.

Ces étages sont desservis, au point de vue du roulage, par un plan incliné ou par un bure muni l'un ou l'autre d'un treuil à air comprimé.

Suivant que l'étage est à l'amont-pendage ou à l'aval-pendage du niveau des galeries principales de roulage, le treuil sert à monter ou à descendre les charbons.

Les galeries principales servent au roulage de tous les chariots vides ou pleins; on évite ainsi d'avoir une galerie supérieure à l'étage, et cette concentration du roulage diminue les frais de main-d'œuvre et permet d'établir des transports mécaniques.

Le plan incliné ou le bure se trouve au milieu du quartier, et l'on s'arrange pour que l'un des côtés soit en dépilage, tandis que l'autre est en traçage, de façon à régulariser la production. La durée moyenne du déhouillement d'une tranche est de trois mois et demi.

La couche étant divisée en deux par une barre stérile, on trace deux galeries en direction, l'une entre le mur et la barre appelée galerie du mur, l'autre entre la barre et le toit appelée galerie du toit ; elles aboutissent toutes deux au plan incliné ou bure.

Les chantiers sont à 15 mètres de distance l'un de l'autre, d'un même côté de la galerie, et conduits par tailles chassantes.

On commence par pousser une traverse que l'on boise, au fur et à mesure de l'avancement, avec des cadres en bois ; lorsqu'elle est arrivée à sa limite, on place sous les chapeaux, du côté que l'on doit attaquer, des perches de 4 mètres de longueur soutenues par des étais verticaux, appelés chandelles, de façon à donner aux ouvriers l'espace nécessaire pour la manœuvre de leurs outils. Lorsqu'on a enlevé à côté de la traverse une bande de charbon variant de 1^m,50 à 2 mètres, suivant la solidité du plafond, on replace le chemin, qui était dans la traverse, contre le front de taille et alors on remblaie la traverse en même temps que l'on avance le front de taille ; on continue ainsi l'enlèvement du pilier de 15 mètres par tailles successives.

Au fur et à mesure de l'avancement du front de taille, les mineurs soutiennent le plafond au moyen de perches de 4 mètres, avec chandelles et garnissage de vieux bois refendus ; l'écartement de ces perches varie avec la solidité du plafond.

Lorsqu'on doit déplacer le chemin, on remplace les chandelles qui obstrueraient la voie par des cadres en bois.

Les remblais sont faits par les mineurs et se composent de terres et de rochers.

Dans chaque galerie de roulage d'une tranche, on installe des voies de garage tous les 100 mètres de distance, sur lesquelles les mineurs conduisent les chariots pleins ou viennent chercher les vides et les remblais. Ils n'ont donc jamais plus de 50 mètres à faire en dehors de leur chantier.

Lorsque tous les chantiers d'une tranche sont terminés, on ouvre par les galeries de cette tranche des rabattages à 30 mètres de distance l'un de l'autre, qui servent à pousser les galeries de la tranche supérieure, que l'on place à quelques mètres à côté de celle du bas.

On a ménagé dans les remblais un petit vide à côté du chemin, où l'on peut garer un chariot ; au-dessus on s'élève en rabattage de 2^m,30 sur les remblais et on pousse une petite traverse d'où partent deux galeries en direction ; le charbon produit est chargé dans un chariot puis versé dans un couloir qui le conduit dans un autre chariot placé au niveau inférieur.

Toutes les directions prises par ces rabattages sont conduites de façon à communiquer l'une dans l'autre, et à établir la voie de roulage de la tranche supérieure. Lorsque ce travail est achevé, et que la galerie aboutit au plan incliné ou au bure, on remblaie les galeries inférieures en prenant les traverses, qui doivent servir à ouvrir les chantiers, comme point d'attaque de ce remblayage.

C'est principalement dans ces galeries en rabattage que l'on voit du grisou ; chaque fois que le fait se produit, on installe un ventilateur à air comprimé au bas de la verre, qui refoule de l'air pris dans la galerie jusqu'au front de taille, à l'aide de tuyaux en tôle galvanisée de 0^m,30 de diamètre.

CARMAUX

La Société des Mines de Carmaux montrait le modèle de l'exploitation d'une couche dont la puissance est de 3 mètres environ. Elle est supposée traversée par une faille qui la rejette d'une manière inégale, sorte d'accident dont le gisement de Carmaux présente plusieurs exemples.

Dans les parties où l'inclinaison est supérieure à 0^m,20, est appliquée la méthode d'exploitation par tranches horizontales.

Dans celles où l'inclinaison est inférieure à 0^m,20, c'est l'exploitation par grands fronts montants qui est employée.

Dans les chantiers pris par tranches horizontales, le pilier en exploitation est refendu par des remontées partant de la galerie d'écoulement des charbons et aboutissant à la galerie supérieure d'introduction des remblais.

La distance entre les remontées est établie de manière que, pendant tout le temps nécessaire à l'enlèvement d'une tranche, il n'y ait pas à faire au boisage d'importantes réparations.

Elles sont généralement espacées de 50 mètres.

Plusieurs chantiers sont ouverts simultanément à divers niveaux ; la hauteur des tranches est de 2^m,50.

On rembliae soigneusement les deux côtés de la galerie de roulage, puis la galerie elle-même quand le chantier est terminé.

On peut d'ailleurs recommencer un nouveau chantier immédiatement au-dessus de celui qui s'achève avant la fin de cette dernière opération, attendu que les voies de roulage ne se trouvent jamais sur le même aplomb.

Ces chantiers sont desservis par des chariots porteurs qui descendent les wagons pleins de remblais du niveau supérieur, et les amènent ensuite pleins de charbon au niveau inférieur.

Dans les chantiers exploités par grands fronts montants, le gite est découpé par des remontées espacées de 50 mètres environ.

Elles aboutissent d'un côté à la galerie d'amenée des remblais, de l'autre à la galerie de roulage des charbons.

Deux piliers sont attaqués simultanément. Sur toute leur face de niveau, on établit, de 10 mètres en 10 mètres, une avancée en montant sur une profondeur de 2^m,50 et d'une largeur d'au moins 3 mètres.

L'abatage du charbon se fait ensuite sur les parois latérales de cette entrée jusqu'à ce que la tranche comprise entre deux entailles consécutives ait été enlevée. Le travail est conduit de manière que cette opération s'achève en même temps sur toute l'étendue du front. Les wagons arrivent, soit à vide, soit chargés de remblais, par la remontée du milieu. Ils circulent sur une voie parallèle devant le front du dépilage d'une nouvelle tranche, sont déchargés, s'il y lieu,

puis chargés de charbon et envoyés sur la voie de fond par les remontées extrêmes.

Quand la tranche de charbon est enlevée sur toute l'étendue du chantier, la voie de roulage est reportée tout près du front du massif où de nouvelles entailles sont pratiquées pour le dépilage d'une nouvelle tranche.

Les remblais sont alors accumulés, au fur et à mesure de leur arrivée, dans la galerie de roulage abandonnée.

Le plan en relief représentait des chantiers à divers degrés d'avancement.

La circulation des wagons sur les plans inclinés est réglée par des tambours ou des poulies à frein. Dans certains cas, lorsque par suite d'un accident de terrain, des chantiers se trouvent en vallée sur une étendue relativement restreinte, on fait usage de poulies ou de tambours bis-automoteurs. C'est par ce moyen qu'est desservi le chantier indiqué sur le second versant de la couche. Le câble remorqueur s'enroule sur un tambour de diamètre tel que le wagonnet de charbon arrive en tête de la rampe lorsque l'extrémité du câble, enroulé sur le tambour contigu, aboutit avec le wagonnet qui lui est accroché au pied du plan incliné ménagé sur l'autre versant.

ABATAGE MÉCANIQUE

Les perforateurs mécaniques jouent aujourd'hui un rôle considérable, dans l'aménagement des houillères, par l'économie de temps qu'ils procurent.

PERFORATEURS MÉCANIQUES

La Société des mines de Blanzy, exposait un perforateur Dubois et François modifié.

Les modifications apportées sont les suivantes :

1^o Pour obtenir une plus grande rapidité dans le forage des trous de mine, on conduit l'eau d'injection jusqu'au taillant du fleuret, au lieu d'arroser seulement l'orifice du trou, au moyen d'une lance, ainsi que cela se faisait auparavant. Le fond du trou est ainsi toujours nettoyé et par conséquent l'effet utile du choc du fleuret est plus considérable, surtout lorsque l'on perce des trous de 1^m,50 à 2 mètres de profondeur.

On place sur la tige du piston, à l'arrière du manchon qui reçoit le fleuret, un petit réservoir cylindrique dont les deux extrémités sont fermées par des garnitures de presse hydraulique ; pour empêcher le réservoir de suivre le mouvement de rotation de la tige, on le maintient soit au moyen d'un contre-poids, soit, ce qui est préférable, au moyen d'une tige guidée s'enfonçant entre les longerons qui portent le perforateur et s'avancant en même temps que ce dernier. On amène l'eau au réservoir au moyen d'un tuyau en caoutchouc fixé à une tubulure.

L'eau s'en échappe par un conduit intérieur qui traverse l'extrémité de la tige, passe à travers le manchon pour revenir à l'extérieur et est amenée par un petit tuyau en caoutchouc au tube en cuivre logé dans une rainure faite sur toute la longueur du fleuret ; on prend la précaution de faire passer l'eau d'injection à travers un tamis en toile métallique pour enlever les détritus qui pourraient obstruer le tuyau.

2^o La seconde modification porte sur l'affût ; dans la bosseyeuse François-Dubois, celui-ci reste toujours au milieu de la galerie, ce qui donne une assez grande obliquité aux coups de parement et par suite occasionne une dépense un peu plus considérable d'explosifs.

Pour remédier à cet inconvénient, on a disposé l'affût de façon à pouvoir facilement le déplacer perpendiculairement à la voie.

On place au milieu du chariot d'avant, et parallèlement aux deux essieux, un arbre sur lequel peut glisser un anneau fixé à la barre de fer, qui prolonge la base en fonte de ce côté ; de plus on munit l'arrière de cette base, dont on a modifié un peu la forme à cet effet, de deux galets qui peuvent rouler sur un rail spécial porté par la pièce de bois, sur laquelle on fixe l'affût lorsqu'il est en place.

La perforatrice Schram, exposée par M. Von Berg, est à action directe et peut être actionnée soit par la vapeur, soit par l'air comprimé.

Elle se compose d'un cylindre en fonte dans lequel se meut un piston, dont la tige porte le fleuret.

Le mouvement de rotation de l'outil est obtenu au moyen d'une barre tordue qui pénètre dans un écrou placé sur le fond du piston ; cette barre est supportée à son extrémité par une partie cylindrique sur laquelle elle peut tourner ; elle porte en outre une roue à roches et sur les dents de celle-ci s'appuie un cliquet ; ce dernier est pressé à sa partie supérieure par un pistonnet, sur lequel agit constamment le fluide moteur.

Quand le grand piston marche en avant, le pistonnet étant soumis à l'action de la vapeur devant et derrière, le cliquet n'est pas appuyé sur la roue à roches ; celle-ci tourne et par suite la barre est mobile : l'outil frappe donc sans tourner. Au contraire, dans le mouvement de retour en arrière le cliquet fixe la roue, et le piston est obligé de tourner proportionnellement au pas de l'hélice de la barre.

Le mouvement de progression du cylindre est obtenu au moyen d'une vis et d'une manivelle mue à la main.

La perforatrice Ingersoll est montée sur un trépied. Un plateau conique à friction emprisonné dans une genouillère, qui fournit un serrage à volonté, permet de lui donner toutes les positions.

L'avancement est fait à la main et la rotation de l'outil est obtenue automatiquement au moyen de rainures hélicoïdales placées sur le piston moteur ; cette disposition existe dans la machine Mac-Kaen.

Le piston a deux faces de surfaces inégales ; l'outil perforant est en forme de Z ; son attache à la tige du piston s'effectue avec un étrier à écrou.

Cette même perforatrice peut être placée sur une double barre lisse et ronde en fer creux. Elle est alors rendue solidaire d'une grande vis, qui court sur toute la longueur de ces barres, et peut ainsi parcourir tout une ligne sur laquelle il s'agit de faire des trous. Le tout est porté sur un châssis reposant sur 4 pieds inclinés pouvant varier de hauteur de manière à avoir à volonté une inclinaison de tout le système.

PERFORATEURS A MAIN.

Un des désidérata de l'exploitation serait d'armer chaque mineur d'un petit perforateur, et d'arriver ainsi à la suppression aussi complète que possible du travail au pic.

De très nombreux appareils ont été proposés. Comme tous les perforateurs ils peuvent se diviser en appareils à percussion et appareils à rotation.

Parmi les premiers citons celui de Burton, où le travail de l'ouvrier est employé à comprimer derrière un piston porte-outil un certain volume d'air ; puis celui de Daubresse où le fleuret est lancé en avant par la détente d'un ressort à boudin. Cette perforatrice est surtout employée dans les terrains durs.

Parmi les appareils à rotation les uns ont un avancement régulier ; leur type est le modèle d'origine Anglaise appelé le Conquérant ; les autres ont un avancement variable avec la dureté des terrains. Le perforateur Lisbet, longtemps employé seul dans le Nord et le Pas-de-Calais, a été perfectionné et se trouve être aujourd'hui le plus ancien d'une série nombreuse, où nous rencontrons l'Elliot, la Charbonnière, le Jubilé, la Cantin, tous trois construits par M. Bornet, le perforateur Berthet, l'Universel dû à M. Sartiaux d'Hénin-Liétard, etc.

EXCAVATEURS.

Après avoir foré les grands puits de mine par sondage et d'un seul coup, on conçoit qu'on ait été conduit à procéder d'une manière analogue, mais pour des

raisons différentes, à l'exécution des galeries de mine, notamment dans les terrains de composition uniforme.

C'est avec la machine du colonel Beaumont qu'on se proposait de forer le tunnel sous la Manche.

La Société des charbonnages des Bouches-du-Rhône exposait l'outil de l'appareil Brunton, dont elle a décidé l'emploi pour le percement de la galerie d'écoulement de 15 kilomètres qui doit relier la concession de Gardanne à la mer. La différence essentielle entre les deux machines, consiste en ce que les outils de M. Brunton sont des molettes en bédane qui détachent les éclats de roche, tandis que les outils de M. Beaumont sont des grattoirs qui mettent la roche en farine grossière.

HAVAGE

Le problème du havage est toujours à l'ordre du jour. L'Exposition montrait les nouveaux perfectionnements introduits à la haveuse Winstanley par la Société des mines de Blanzy, une nouvelle haveuse à mouvement excentrique, due à M. Paul Fayol, la haveuse électrique de Sperry et celle d'Ingersoll, mue par l'air comprimé.

La haveuse Ingersoll est montée sur roue. L'axe du cylindre est perpendiculaire à l'essieu : le mouvement d'avancement ou de recul de l'outil a lieu en vertu de la différence des surfaces d'avant et d'arrière du piston. Deux petits brancards à poignées en fer, placés en arrière du piston, permettent à l'ouvrier de faire occuper à sa haveuse toutes les positions devant le front de taille. L'outil ne tournant pas, le ciseau qui le termine coupe toujours verticalement.

La haveuse électrique de Sperry agit aussi par percussion. L'outil est fixé à l'extrémité d'un cylindre en acier dont l'autre extrémité est relié par une bielle à un plateau manivelle, calé sur un arbre mû par le moteur électrique au moyen d'engrenages. Ce plateau-manivelle est composé de deux parties ; un disque intérieur placé sur un arbre et portant sur sa circonférence des dents formant rochet, et un collier auquel est fixé le maneton de manivelle et portant à l'intérieur des ressorts formant cliquet.

La dynamo n'agit que pendant le mouvement de retraite de l'outil, son effort sert à comprimer un ressort qui, en se détendant, projette vivement le couteau contre la veine de charbon.

La haveuse Fayol se compose essentiellement d'une lame plate dentée, fixée sur une bielle animée d'un mouvement excentrique analogue à celui des bielles d'accouplement d'une locomotive.

Le moteur est une machine à air comprimé, à deux cylindres conjugués. L'appareil, monté sur roue, circule aisément sur les voies de mine. Pendant le havage il repose sur quatre patins.

La partie supérieure peut tourner sur le chariot, ce qui permet de faire pénétrer l'outil dans le massif.

Une chaîne, fixée à l'extrémité du chantier et passant sur une roue à empreintes, donne l'avancement automatique.

La haveuse est symétrique et peut faire le havage à droite ou à gauche.

Après de nombreux essais de havage mécanique, on a reconnu à Blanzy qu'avec les couches puissantes de la concession le point du front de taille le plus favorable pour faire le havage se trouvait à 0^m,90 ou à 1^m,10 du sol et que la profondeur de ce havage devait être de 1^m,10 à 1^m,20, pour ne pas nécessiter un boisage trop dispendieux.

De toutes les haveuses essayées, celle de Winstanley avait donné les meilleurs résultats; on fut conduit à la perfectionner de la façon suivante.

Toute la partie mécanique, destinée à donner le mouvement de rotation à la roue dentée, se trouve au-dessous de celle-ci. Elle se compose de deux cylindres à fourreau (course du piston 140 millimètres, diamètre du cylindre 260 millimètres, diamètre du fourreau 120 millimètres). Ces deux cylindres actionnent un arbre coudé, portant à la partie inférieure un pignon engrenant avec une roue montée sur un deuxième arbre vertical. Tout ce mécanisme, y compris celui de distribution des tiroirs, est placé dans une caisse en tôle complètement fermée de façon à ce que les poussières ne puissent y pénétrer; des graisseurs sont placés à l'extérieur de la caisse et conduisent l'huile aux différents points nécessaires. Le deuxième arbre dépasse la partie supérieure de la caisse et se termine par le pignon qui doit actionner la roue portant les dents; celle-ci est soutenue par un bras en acier comme dans la haveuse primitive Winstanley; elle a 1^m,50 de diamètre au lieu de 0^m,80. Les dents sont également modifiées, elles sont au nombre de 28 et au lieu d'être à fourche et de trois modèles différents toutes sont droites; mais les logements de ces dents dans la roue offrent quatre par quatre des inclinaisons différentes par rapport au plan de la roue, de façon à ce que le havage qui a 0^m,08 de hauteur soit obtenu par quatre rainures. L'échappement se fait à l'intérieur de la caisse et un tuyau en conduit une partie sous le pignon qui commande la roue de façon à éviter en cet endroit l'accumulation des poussières.

Pour empêcher les poussières d'encombrer la voie sur laquelle la machine s'avance, on les recueille dans un couloir ayant un côté mobile qui peut s'appuyer sur le front de taille en suivant les sinuosités, et d'où elles sont évacuées au moyen d'une vis sans fin dont le mouvement est pris sur le deuxième arbre: cette vis les rejette à l'arrière de la machine.

Une disposition analogue à celle de la haveuse Winstanley, mais plus forte, permet de faire pénétrer la roue dans le front de taille ou de la sortir.

Les roues qui supportent la haveuse pendant le travail sont à gorge et pla-

cées aux extrémités de la caisse pour obtenir la plus grande solidité possible ; elles sont montées sur crémaillères de façon à faire varier dans de certaines limites la hauteur à laquelle on fait le havage. Le grand écartement de ces roues et leur forme rendraient difficiles les déplacements de la machine sur les voies ordinaires des galeries ; aussi a-t-on placé sous la caisse deux autres essieux très rapprochés avec roues à boudin qui permettent de la manœuvrer presque aussi facilement qu'un chariot. Lorsque la machine doit être déplacée, on relève les roues à gorge au moyen de leurs crémaillères pour faire porter les autres roues.

La roue dentée est fixée sur son bras au moyen de 4 boulons qui permettent de l'enlever lors de ces déplacements.

Avec l'ancienne haveuse l'avancement se faisait en la tirant avec un treuil placé à l'extrémité du front de taille, maintenant on l'obtient par une noix avec chaîne placée dans la caisse de la machine et pouvant être mise en mouvement soit au moyen d'engrenages et d'une manivelle soit au moyen d'un petit cylindre spécial à air comprimé qui permet d'obtenir la vitesse que l'on désire.

Avec la haveuse exposée, deux ouvriers suffisent à conduire le travail ; l'un se tient à la machine pour accélérer ou modérer le mouvement de pénétration ou de translation ; le second enfonce des coins en bois dans la rainure en arrière de la machine, pour empêcher les chutes de charbon et éviter qu'il ne pèse sur la roue dentée.

ABATAGE SANS EXPLOSIFS

L'abatage sans explosifs a fait de nouveaux progrès. Le tirage des mines est devenu un fait exceptionnel à Liévin ; grâce à l'emploi des perforateurs à main et du coin multiple d'Elliot, cette transformation a pu s'opérer sans augmentation de prix de revient.

Après le coin Elliot, nous devons citer ceux de Burnett, d'Haswell, de Bell et Ramsay, le coin hydraulique Levet et celui de Walcher.

Ce dernier pèse seulement 68 kilogrammes en y comprenant le poids de l'appareil hydraulique destiné à produire la pression nécessaire. Comme fluide compresseur on préfère la glycérine qui préserve de la rouille et agit en même temps comme matière lubrifiante.

De nombreuses applications des coins hydrauliques ont été faites en Angleterre, en Westphalie, dans le bassin de Saarbruck, aux charbonnages du Hazard en Belgique, etc.

Aux mines de Blanzy on emploie exclusivement la bosseyeuse Dubois-François.

EXPLOSIFS

EXPLOSIFS DE SURETÉ

La question des explosifs, si importante à divers points de vue dans l'exploitation des mines sera traitée dans une autre partie de cette Revue.

Dans ces dernières années, une des questions qui ont le plus préoccupé, tant en France qu'à l'étranger, les ingénieurs des mines, a été l'emploi des explosifs en présence du grisou, et c'est ce point de vue de la question que nous nous bornerons à examiner ici en analysant le rapport approfondi présenté par M. l'Inspecteur général Mallard au Congrès international des mines et de la métallurgie.

Dans certains cas, et même dans l'ensemble de certaines mines, on a été conduit à supprimer complètement l'emploi des explosifs pour l'abatage de la houille. Toutefois des recherches se sont portées sur la découverte d'explosifs moins dangereux que ceux en usage.

D'une manière générale, l'inflammation se propage très différemment dans les substances déflagrantes, analogues à la poudre noire, et les substances explosives proprement dites. Les premières ayant une combustion relativement lente produisent leur effet mécanique de rupture avant décomposition complète ; leur emploi doit donc être absolument proscrit dans les mines à grisou. Dans les secondes, la réaction se propage avec une vitesse qui atteint et dépasse 5000 mètres à la seconde.

C'est à cette propagation spéciale qu'on donne le nom d'onde explosive. Il est évident que dans ces conditions toute combustion sera terminée avant qu'aucun effet mécanique ait pu se produire. La masse des gaz produite par l'explosion se trouve, immédiatement après celle-ci, à une température et une pression très élevées. Le travail demandé à cette masse de gaz avant de lui permettre de se mélanger à l'atmosphère de la mine, abaissera considérablement sa température.

La sécurité parfaite, impossible avec l'emploi de la poudre noire, devient donc possible avec un explosif convenablement choisi.

La sécurité procurée par cet explosif sera d'autant plus grande que le travail qui lui est imposé à poids égal est plus grand; que l'explosif est mieux et plus complètement bourré dans le trou de mine; que la masse de l'explosif est moins considérable.

Enfin les études très complètes faites sur ces substances ont montré que l'aptitude à la détonation n'a rien d'absolu; elle dépend de l'intensité du choc qui la met en œuvre et de l'état physique de l'explosif. Une substance dont la détonation ne peut être provoquée par une capsule de fulminate, pourra détonner si l'on interpose entre elle et la capsule un autre explosif.

Les travaux qui ont amené ces conclusions indiquent la nécessité de l'usage des produits azotés essentiellement brisants.

Parmi les mélanges qui paraissent répondre le mieux aux *desiderata* des mineurs, on peut citer :

Les mélanges de dynamite n° 1 et d'azotate d'ammoniaque dans lesquels la proportion de dynamite ne dépasse pas 40 %.

Les mélanges de dynamite-gomme et d'azotate d'ammoniaque dans lesquels la proportion de dynamite-gomme ne dépasse pas 30 %.

Les mélanges de coton-poudre octonitrique dans lesquels la proportion de coton-poudre ne dépasse pas 20 %.

Les mélanges de binitrobenzine et d'azotate d'ammoniaque dans lesquels la proportion de binitrobenzine ne dépasse pas 10 %.

Ces divers explosifs ont été expérimentés avec succès dans les mines d'Anzin, de Firminy, de Blanzy et de Ronchamp en 1888 et 1889.

M. Favier exposait dans la section Belge une nouvelle série de substances explosives où les éléments azotiques sont simplement juxtaposés aux éléments hydrocarbonés. On peut déterminer leur détonation en augmentant convenablement la force de l'ébranlement moléculaire initial. Le nitrate d'ammoniaque complètement desséché est enrobé dans la substance hydrocarbonée, qu'on doit lui associer préalablement fondue ; après mélange parfait la matière est moulée et comprimée dans des cartouches. On peut citer comme exemple de ces nouvelles poudres, le mélange de nitrate d'ammoniaque et de mononitronaphthaline. Chacune de ces substances prise isolément ne présente aucun danger, le mélange seul est explosif.

POUSSIÈRES DE CHARBONS

La discussion soulevée sur l'influence des poussières charbonneuses dans les accidents survenus dans les mines ne cesse point d'être très vive.

De nombreuses expériences ont été faites. Rappelons celles de M. le professeur Abel pour étudier le rôle des poussières de la houille dans les explosions de Seaham et Penygraig, les expériences de la Commission prussienne du grisou à la mine de Koenig, près de Neunkirchen (bassin de Saarbrück), dirigées par M. Hilt, ingénieur des mines à Dortmund. Le rapport de M. Hilt conclut au peu de danger des poussières seules, mais au danger très grand d'une atmosphère poussiéreuse renfermant en outre 3 0/0 de grisou.

MM. Mallard et Le Chatelier ont, à plusieurs reprises, discuté cette influence.

Dans une publication récente, M. Macquet, ingénieur au corps des mines du Royaume de Belgique, admet l'influence prépondérante des poussières dans les explosions.

ARRROSAGE DES GALERIES

Comme moyen préventif contre les explosions dues aux poussières de charbon, on n'a proposé jusqu'ici que l'arrosage du sol. Des essais ont été faits à Blanzy, à Saint-Éloy, au puits Jabin.

MM. Archer et Robson ont construit un tonneau de 450 litres, tournant sur lui-même, dans un plan vertical. L'eau sort pulvérisée et retombe en fines gouttelettes sur le sol. Il faut repasser plusieurs fois. On peut avec cet appareil arroser 1,500 mètres de galerie en une heure. Il figurait à l'Exposition minière de Newcastle-on-Tyne en 1887.

On a essayé enfin de maintenir le sol humide dans les galeries poussiéreuses en y répandant du chlorure de calcium.

BOURRES DE SURETÉ

Il est incontestable, à un point de vue plus restreint, que les bourres de charbon fin sont dangereuses ; d'ailleurs quel que soit le procédé employé, l'explosion arrachera infailliblement une forte proportion de poussières aux parois du fourneau. Aussi M. Macquet estime qu'un explosif ne serait pas de sécurité s'il ne résistait point à un traitement d'épreuves avec bourres de poussières de charbon, et que les plus inflammables conviendront le mieux dans ce but.

Cet ingénieur fait en même temps connaître une série d'expériences fort intéressantes, exécutées aux Charbonnages des Produits à Flenu. Les procédés d'abattage mécanique, dit-il, donnent beaucoup d'étincelles dont quelques-unes sont susceptibles d'enflammer les mélanges grisouteux. C'est donc aux explosifs qu'il faut demander la sécurité du minage. M. Macquet persiste à défendre à ce point de vue les bourres à l'eau et la cartouche Settle, et donne surtout la préférence aux explosifs, tels que la grisoutite, qui renferment un sel capable d'absorber une grande partie de la chaleur des gaz en se décomposant.

Cependant en France les essais de bourrage à l'eau n'ont pas donné les résultats qu'on avait espérés. L'eau, en se volatrisant, devait absorber une grande quantité de chaleur, et par suite abaisser notablement la température des gaz. Mais, l'effet des explosifs est trop instantané pour produire cette volatilisation, et l'eau semble se comporter seulement comme une matière plastique. Ce qu'il faut surtout obtenir, c'est une grande densité de chargement. Il est par suite utile de garnir le fond du trou d'une matière plastique telle que l'argile humide, et d'employer une matière semblable pour les premiers éléments du bourrage, afin de remplir le vide laissé entre les parois et la cartouche. Les bourres d'eau gélatinisée, de MM. Chalon et Guérin, ont donné sous ce rapport de bons résultats.

MODE D'ALLUMAGE

Les mèches de sûreté, si parfaites qu'elles puissent être, et l'Exposition en montrait un grand nombre de très bonne fabrication, présenteront toujours un inconvénient par suite de la nécessité d'enflammer l'extrémité à l'air libre.

MM. Heath et Frost, en Angleterre, proposent d'y remédier au moyen d'une lampe de sûreté d'une construction spéciale. La mèche est engagée dans un tube traversant horizontalement la lampe; l'extrémité intérieure de ce tube peut alors être débarrassée de son obturateur. Une petite broche en fer, mobile dans la lampe, est portée dans la flamme, et, une fois au rouge, enflamme l'extrémité de la mèche. Celle-ci est retirée après fermeture des obturateurs.

Il semble toutefois qu'on réalisera un progrès en supprimant l'emploi de la mèche de sûreté.

On a préconisé en Autriche, il y a deux ou trois ans, l'emploi d'amorces de friction, semblables à celles de l'artillerie, et adaptées à l'usage des mines par M. Lauer, lieutenant-colonel du génie autrichien. Les essais faits en Silésie, et par M. François, aux mines d'Anzin, ont été satisfaisants, mais la corde attachée au rugueux de l'amorce ne peut être indéfiniment longue, et l'ouvrier ne pourra point s'éloigner beaucoup.

On aura, par contre, tout l'éloignement désirable avec la mise de feu par l'électricité si répandue aujourd'hui.

Rappelons les amorces électriques de Scola d'Abbey, de Nobel, et, parmi les explodeurs, la machine d'Ebner, et celle plus perfectionnée de Bornhardt, utilisant toutes deux l'électricité statique; le coup de poing Bréguet, et autres appareils fondés sur la propriété de la self-induction; enfin toutes les machines dynamos.

Dans les mines à grisou, on doit renoncer aux appareils susceptibles de donner des étincelles.

On est donc amené à recourir aux appareils faisant rougir un fil métallique par un courant à faible tension. Les piles étant d'un emploi fort incommodé dans les mines, on leur préfère les dynamos. Mais il faut prendre des précautions pour éviter les étincelles aux balais.

La Commission belge donne au contraire la préférence aux courants à grande tension, les étincelles, qu'ils sont capables de produire, pouvant être d'après elle, aisément évitées.

Un courant dont l'intensité augmente progressivement peut décomposer le fulmicoton dont il est entouré dans l'amorce avant de produire son inflammation et occasionner un raté.

MM. Manet frères présentaient à l'Exposition une dynamo donnant immédiatement un courant assez intense pour parer à cet inconvénient et assurer en même temps la simultanéité de plusieurs coups de mine montés sur le même circuit. Les pièces sont mises en mouvement rapide avant de fermer celui-ci ; la fermeture se produit seulement lorsque la vitesse de rotation a atteint une valeur déterminée. Il se produit alors instantanément un courant intense susceptible de rougir à la fois tous les fils fins métalliques placés dans le circuit.

Pour déterminer la simultanéité des coups de mines, on étudie en ce moment l'emploi d'un cordeau détonnant où la vitesse de propagation d'inflammation est de 5.200 mètres à la seconde.

TRANSPORTS

TRAINAGE MÉCANIQUE

La tendance de concentrer tous les efforts de l'extraction sur un nombre de sièges limités se manifeste aujourd'hui très nettement. Aussi voyons-nous la traction mécanique se développer dans les travaux souterrains.

En Angleterre on semble préférer la traction par câbles en fil d'acier. Sur le continent l'emploi des chaînes a prévalu. L'énumération des installations de ce genre faites depuis dix ans serait longue, mais il faut pourtant faire quelques citations.

Aux Charbonnages des Bouches-du-Rhône existe une chaîne flottante de 3.500 mètres. Ce traînage comprend deux chaînes distinctes commandées par le même moteur situé au point culminant du parcours.

Aux Charbonnages du Hazard, une chaîne de 3.200 mètres peut transporter 1.000 tonnes de charbon en 8 heures.

A Mariemont, on installe au siège Saint-Arthur un réseau de chaînes flottantes dont le développement ne sera pas inférieur à 2,000 mètres ; à la fosse Sainte-Henriette, le réseau doit atteindre prochainement le chiffre de 2.500 mètres. Le réseau total de la concession est de 9 kilomètres. Pour communiquer le mouvement à toutes ces chaînes, trois systèmes principaux ont été employés : on utilise la vapeur dans un moteur spécial installé au fond, ou bien le mouvement est transmis de la surface du sol par un câble sans fin ; le troisième système est automoteur et consiste à faire descendre les charbons à un niveau inférieur à celui de l'étage en exploitation, en utilisant le travail de cette descente pour provoquer le trainage sur des voies horizontales. C'est alors la machine d'ex-

traction qui doit éléver les produits d'une plus grande profondeur et paie ainsi indirectement la force nécessaire pour effectuer le traînage horizontal.

A Blanzy, la traction mécanique installée au puits Jules Chagot mérite d'être citée pour la disposition ingénieuse des pentes utilisées non seulement pour le passage des courbes, mais aussi pour conduire automatiquement les wagons pleins à l'accrochage une fois qu'ils ont quitté la chaîne et ramener de même les vides ou les wagons de remblais. Deux fils métalliques suivent les galeries au toit ; en les réunissant à la main on ferme le circuit d'un courant électrique qui actionne un signal près de la machine motrice ; on peut par ce moyen correspondre à tout instant avec le mécanicien d'un point quelconque du traînage, condition nécessaire à la sécurité. Ce mode de signaux est une importation venue des mines de Clifton, dans le Derbyshire (Angleterre).

A Silksworth Colliery, dans le bassin de Newcastle, un traînage par corde-tête et corde-queue se développe sur une longueur de 2.040 mètres en deux sections.

A Bearpark Colliery, dans la même région, les wagons attelés en train au câble ont une vitesse de 8 mètres par seconde sur un parcours de 1600 mètres.

Dans la mine Dukinfield (Lancashire) les wagons sont remorqués sur une pente de 24° et de 900 mètres de longueur : ce plan incliné part immédiatement du fond du puits à la profondeur de 627 mètres.

Pour tous les traînages par câbles, la poulie Fowler, malgré son prix élevé et son entretien coûteux, est d'un usage général en Angleterre par suite de l'adhérence parfaite obtenu avec minimum d'usure.

En France, on emploie souvent la poulie Champigny qui donne également de très bons résultats et dont deux modèles figuraient dans la classe des Mines à l'Exposition.

Le traînage par chaîne flottante rend aussi de grands services pour faciliter les transports au jour dans des conditions particulières. C'est ainsi que M. l'ingénieur Brüll a installé ce mode de transport aux mines d'Aïn-Sedma, situées dans la province de Constantine, à 6 kilomètres à vol d'oiseau de la Méditerranée et à l'altitude de 706 mètres. La ligne prend naissance au débouché de la principale galerie de la mine et aboutit au bord de la mer, rachetant dans son ensemble une différence de niveau de 698^m,57. La longueur totale est de 7.160 mètres. Par suite des paliers et des rampes, la pente moyenne est de 0^m,155 par mètre. Le parcours total a été décomposé en six sections. Une station tête de section se compose :

1^o D'une poulie motrice sur laquelle s'enroule la chaîne en faisant un tour et demi ou deux tours et demi.

2^o D'une poulie à simple gorge qui sert de renvoi à la chaîne de la section supérieure : cette poulie est folle sur l'arbre vertical.

3^o D'un frein à ailettes régulateur.

4^o D'un frein ordinaire à sabots à l'aide duquel on peut opérer l'arrêt de la chaîne sur toute la section.

Une station de transmission entre les alignements d'une même section se compose simplement de deux poulies motrices calées sur un même arbre. Au passage des stations, les berlines abandonnent d'elles-mêmes la chaîne pour aller rejoindre la suivante, grâce aux pentes ménagées.

Une installation toute semblable a été faite aux mines de Fillols dans les Pyrénées pour franchir une longueur de 12 kilomètres.

La Société Franco-Belge des mines de Sommorostro présentait à l'Exposition le modèle de sa belle installation par câbles et plan. Le plan est toujours automoteur, seulement les wagons sont attelés en train et conduits par un câble au lieu d'une chaîne. La machinerie se compose d'un grand tambour de 5 mètres de diamètre dont l'enveloppe en tôle de 20 millimètres d'épaisseur est supportée par trois forts croisillons en fonte. Celui du milieu porte une roue denté qui actionne un pignon calé sur l'arbre du frein à ailettes. Ce frein est formé de quatre ailettes droites en fer et bois de 2 mètres environ de largeur et de 5 mètres de diamètre extérieur. Les deux croisillons extrêmes du tambour portent des jantes destinées à recevoir des freins à rubans solidaires. Les deux câbles sont en acier d'un diamètre de 40 millimètres. Pour assurer leur enroulement régulier sur le tambour, on a donné à ce dernier la forme de deux troncs de cônes réunis à la base. Le tambour situé environ à 60 mètres en arrière de la tête du plan est supporté par deux solides massifs en pierre d'une hauteur suffisante pour permettre en dessous la circulation des trains qui viennent se former en tête du plan.

PLANS AÉRIENS

Les transports par câbles aériens ont continué à être utilement employés dans les pays accidentés ou dans ceux qui ne permettent pas de se servir du sol pour une cause quelconque.

On distingue deux types principaux de chemins aériens : dans le premier, le câble même qui porte le véhicule est animé d'un mouvement de translation ; dans le second, le câble qui sert de support est fixe, le mouvement de translation étant donné par un câble spécial.

Les modes d'attelage varient beaucoup. En général on recherche, comme dans les systèmes Beer et Otto un attelage avec déclenchement automatique à l'arrivée, qui permet au wagonnet de s'engager lui-même sur une voie de garage.

Citons le transport funiculaire d'Esch-sur-l'Alzette, d'une longueur de 4.500 mètres, établi par la Société des Hauts-Fourneaux Luxembourgeois pour le service de ses minières, et celui de Vajna-Hunyad, à Vadudobri en Transylvanie, dont le parcours est de 31 kilomètres, en huit sections variant de 1.800 à 5.300 mètres. Les stations motrices sont installées au milieu de chaque section.

TRACTION MÉCANIQUE EN RAMPE AVEC PROFIL D'ÉQUILIBRE.

La traction mécanique est parfois destinée à remonter sur une rampe par l'action d'un moteur les matières premières fournies par l'exploitation en vallée. La perturbation apportée dans le jeu du moteur par la variation de poids du câble peut donc y prendre, dans certains cas, une réelle importance et l'on a dû songer à régulariser cette action.

On emploie à ce sujet des procédés analogues à ceux qui servent pour l'traction verticale. On peut citer des exemples, non seulement pour la traction mécanique en rampe, mais même pour la descente automotrice, comme aux grands plans de Saint-Pierre d'Allevard, du Chayla (Isère), de Saint-Georges d'Hurtières (Savoie).

M. le professeur Julius von Hauer, de l'Académie des Mines de Lœben, a proposé une solution toute nouvelle qui consiste à creuser la voie en courbe, en lui donnant un profil tellement choisi que les variations du poids du câble soient compensées par des variations correspondantes dans la pente et par suite dans les composantes tangentielles du poids mort et du poids utile à chaque instant. M. de Hauer a démontré que cette courbe n'était autre que la cycloïde.

LOCOMOTIVES SOUTERRAINES.

La Compagnie continentale des locomotives sans foyer exposait l'application du système Lamm et Franck pour le service des mines. Dans cette locomotive, la chaudière est remplacée par un récipient cylindrique rempli d'eau aux trois quarts. Cette masse d'eau est portée à une haute température, et fournit la vapeur nécessaire pour produire le travail de la traction. Elle doit être chauffée à une température notablement supérieure à celle correspondant à la pression d'utilisation de la vapeur, ce qui conduit à de très fortes pressions dans le récipient (16 à 20 kilogrammes ordinairement). On interpose un régulateur de pression entre le récipient et le mécanisme moteur.

CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE.

M. Martin a fait connaître, par le Bulletin de la Société de l'industrie minérale, le chemin de fer électrique installé en 1882 dans la mine de Zaukeroda,

en Saxe, à une profondeur de 220 mètres. Le roulage électrique s'effectue sur 620 mètres. Une voie sert pour les chariots pleins, une autre pour les vides. La machine génératrice du courant est installée à la surface à 63 mètres de distance du puits. Les conducteurs sont :

A l'extérieur, de la machine au puits, deux fils de cuivre nu de 6^{mm},5 de diamètre ;

Dans le puits, pour l'aller, un fil de cuivre de 6^{mm},5 enveloppé de gutta-percha, de plomb et d'une armature de fil de fer galvanisé ; pour le retour d'un câble composé de même, à l'exception de l'armature de fil de fer qui manque ; l'un et l'autre sont suspendus tous les 10 mètres par des agrafes ;

Dans le travers-banc, deux lignes de rails à section en forme de T renversé, fixées sur des isolateurs.

La locomotive, qui sert de machine électrique réceptrice, est reliée à chaque ligne de fer à T par un petit câble métallique terminé par un coulisseau de contact. Ces coulissoirs entraînés par la machine saisissent les conducteurs par des griffes à ressort. La locomotive porte en outre des leviers d'introduction de courant, de changement de marche et de frein. Le conducteur du train communique avec la surface en réunissant à la main deux fils de cuivre nu, supportés à la voûte par des isolateurs : il ferme ainsi un courant qui actionne une sonnerie. Les convois sont de 15 chariots portant 475 kilogrammes de charbon. La durée du trajet est de 4 minutes en moyenne, ce qui correspond à une vitesse de 2^m,60 par seconde. La locomotive agit toujours en poussant les chariots.

Le machiniste du jour s'aperçoit de l'arrêt dans le fond à l'accélération de sa propre machine. Il diminue alors l'admission, et redonne au contraire la vapeur dès qu'il voit reparaitre les résistances.

Le rendement en force de la transmission électrique c'est-à-dire le rapport du travail de la locomotive à l'effort exercé par le moteur à vapeur sur la machine génératrice, est de 46,60 %. Cette installation met en possession d'une source de force facile à utiliser, dans l'intervalle des postes d'extraction : on peut en produire pour faire mouvoir une pompe, un treuil, etc., lorsque le courant n'est pas employé directement au transport, le recueillir par des accumulateurs.

Des chemins de fer électriques, analogues à celui de Zaukeroda, ont été établis aux mines de Beuthen (Haute Silésie) sur des parcours de 800 mètres et de 1000 mètres, et à celles de New-Stassfurt sur des parcours de 1100 mètres et de 1.500 mètres ; toutes les machines avaient été construites par la maison Siemens et Halske de Berlin.

VOIES MÉTALLIQUES SOUTERRAINES.

La Société des mines de la Loire emploie dans ses travaux des voies entièrement métalliques. Les traverses et les rails ne sont pas indépen-

dants ; on introduit ces voies dans l'intérieur par tronçons de 5 à 6 mètres de long, composés de deux rails et de traverses rivées, et portant à un bout des écisses avec leurs boulons, toutes prêtes à opérer la jonction avec un tronçon voisin. Le rail est à simple champignon, et pèse 7 kilogrammes le mètre. Pour les traverses, après avoir longtemps employé pour les construire, les vieux rails plats mis hors de service, on emploie maintenant un fer cornière. Les aiguilles sont à ressort, s'ouvrant automatiquement dans le sens de la marche.

M. Achille Legrand, constructeur à Mons (Belgique), exposait divers systèmes de traverses métalliques, destinées aux voies souterraines. Pour les rails-lames à talon, ou les rails à double champignon, on peut choisir entre les diverses traverses embouties. Le rail est calé dans l'U formé à chaque extrémité par la traverse deux fois repliée. Pour les rails Vignole, les traverses toujours en fer ou acier avec profil en  sont également indépendantes des rails. Ceux-ci sont fixés par une sorte de butée qui, rivée sur la traverse, vient s'appuyer contre l'âme du rail immédiatement au-dessus du patin. Si sur une traverse les deux butées sont extérieures à la voie, elles seront intérieures sur la suivante. Pour le montage on place bien parallèlement et à distance convenable les traverses impaires A, puis entre elles et obliquement les traverses paires B. On pose les rails en engageant le patin bien à fond sous les butées des traverses A et on redresse normalement aux rails d'un coup de marteau les traverses B, dont les butées viennent serrer l'intérieur de la voie en assurant le calage et l'écartement.

MM. Decauville exposaient, dans la classe des mines, leur type de voie métallique si répandue aujourd'hui. Cette voie se compose, comme on sait, d'éléments qui ont la forme d'échelles, et sont droits, courbes ou combinés en forme de croisement pour répondre à tous les besoins. Ces éléments en rails d'acier de 4^k,500, 7^k, 9^k,500, 12 et 15 kilogrammes, peuvent se poser et se déposer avec la plus grande rapidité. Les travées ont 5 mètres de longueur. Le patin du rail a une largeur proportionnellement beaucoup plus grande que dans les voies ferrées ordinaires. Le plus petit modèle peut supporter normalement une charge de 1.000 kilogrammes par essieu. Les rails sont rivés à froid sur de traverses en acier embouties pour leur donner plus de rigidité.

MATÉRIEL ROULANT.

Nous ne parlerons ici que des berlines métalliques.

En raison du travail qu'il exécute et des chocs qu'il subit, ce matériel exige des réparations fréquentes. Pour faciliter celles-ci, les pièces doivent être interchangeables.

La maison V^e Taza-Villain montrait la berline en fer des mines d'Anzin et

celle des mines de Lens. Les essieux de la première tournent dans des coussinets en acier, formés simplement de plates-bandes d'acier recourbées et maintenues dans des cornières reliées au fond de la caisse ; les essieux de la seconde tournent dans des crapaudines en acier fondu reliées au fond par boulons ou rivets.

M. Malissard Taza a récemment perfectionné la fixation des coussinets sur le fond des berlines, en imaginant une armature emboutie dans laquelle s'encastrent les coussinets, ce qui maintient bien le parallélisme des essieux et renforce en même temps le fond de la berline.

M. Romain Sartiaux, constructeur à Hénin-Liétard, et M. Bodard, de Commentry (Allier), exposaient une nombreuse série de berlines toutes en acier sur lesquelles on trouvera ci-dessous les renseignements de poids et contenances.

M. Achille Legrand, dont nous avons déjà cité le nom à propos des voies entièrement métalliques, exposait une berline en tôle avec essieux en acier forgé et roues en acier fondu, en même temps qu'une série de wagons basculeurs de diverses formes : le type basculeur à huit pivots présente une disposition telle que, dans la chute fractionnée de la caisse, la résistance au basculement reste constante, quels que soient les pivots sur lesquels la caisse vient poser. Tous ces véhicules sont munis de coussinets en bronze et de boîtes à huile, système Legrand. L'essieu porte normalement à son axe une petite palette qui à chaque tour de roue vient plonger dans le réservoir d'huile et relève quelques gouttes de la matière lubrifiante.

Un certain nombre de berlines des constructeurs français, présentaient également des boîtes à huiles ou à graisses. Citons celle de M. Paul Fayol, celle des mines de Saint-Etienne, composée par M. l'ingénieur Chanselle avec une combinaison de la précédente et de la boîte Pagat, celle de M. J. Bodard, etc.

COMPARAISON DES DIVERSES BERLINES

CONSTRUCTEURS	MINES	CONTENANCE	POIDS	RAPPORT du poids mort à la charge en comptant l'hectolitre à 100 k.
Taza-Villain	Anzin (fer)	5 ^h	208 ^k	41,6
	Lens (acier)	5,8	194	33,4
	Vicoigne et Noeux (acier)	6	226,5	37,7
	Dourges (acier)	5,5	195,5	35,5
	Dourges (acier)	6	216	36
	Liévin (acier)	6,1	224,5	36,3
	Lens (acier)	5,8	192,1	33,3
	Anzin (acier)	5	204	40,8
Romain Sartiaux	Bruay	5,6	212,6	37,9
	Courrières	5,92	186,8	31,6
	Béthune	5,8	202,3	32,1
	L'Escarpelette	5,13	198,25	38,6
	Douchy	5,6	226	40,3
	Drocourt	6,46	216,7	33,5
	Meurchin	6,4	224,83	41,6
	Ferfay	5,8	198,20	34,1
Bodard	Roche La Molière et Firminy (acier)	6	220	36,6
	Berlines elliptiques en tôle d'acier	6,6	243	33,8
	Berlines rectangulaires	5	205	41,0
		7	280	40,0
		5	230	46

AÉRAGE

VENTILATEURS

Une des nouveautés de l'Exposition était le ventilateur construit sur les données de la théorie du regretté M. Ser, professeur à l'Ecole centrale, et dont MM. Geneste, Herscher et C^{ie}, sont les concessionnaires ; de nombreuses applications se sont répandues dans les mines, tant en France qu'à l'étranger.

Les planches 35 et 36 représentent un ventilateur pour mines. La roue est formée d'un plateau circulaire de 2 mètres de diamètre sur lequel sont fixées 32 ailettes courbes ayant pour diamètre extérieur celui de la roue, et pour dia-

mètre intérieur 1^m,12 ce qui donne 0^m,44 de hauteur aux ailettes. Leur largeur est décroissante avec la distance au centre suivant une courbe particulière. La roue tourne dans une enveloppe en forme de spirale à section croissante : elle ne doit en effet contenir au point A que le débit d'une ailette et au point B le débit de 32 ailettes. Les ouies puisent l'air dans une chambre d'aspiration mise en communication avec la mine, et la spirale se termine par un diffuseur à section croissante qui a pour effet de réduire la vitesse et de transformer en pression la force vive de l'air sortant des ailettes.

La maison E. Farcot fils exposait les plans et coupes de son installation de ventilateur à Decazeville et à Campagnac.

Les aubes mobiles sont partagées en deux par un diaphragme vertical et sont comprises entre deux feuilles de tôle percées d'une ouie circulaire en leur milieu. L'assemblage se fait par rivets dont la distance décroît du centre à la circonférence où la force centrifuge est maximum. Les aubes sont enroulées suivant une courbe coupant à 45° tous les rayons qu'elles rencontrent. Le ventilateur tourne dans le sens de la concavité des aubes, de telle sorte que la vitesse de l'air à la circonférence est plus grande que la vitesse mesurée à l'extrémité du rayon. Par suite, pour une certaine dépression à obtenir, le nombre de tours nécessaires est moindre.

M. Mortier, ingénieur-mécanicien de la Compagnie des Mines de Roche-la-Molière et Firminy, vient de faire construire par la maison Biétrix et C^{ie} un nouveau ventilateur volumogène. La cuve a la forme d'une anse de panier dont le grand axe est horizontal ; le centre est occupé par un noyau. Cinq ailes tournent ensemble autour du centre ; elles ont la forme de lentilles et sont astreintes à rester toujours horizontales. Leurs dimensions sont telles que dans toutes leurs positions elles obstruent complètement le vide existant entre la cuve et le noyau. L'espace compris entre deux ailes passe à chaque demi révolution par un maximum et un minimum. Cet espace communique avec l'admission quand il s'accroît, avec l'échappement quand il décroît.

La maison Sautter et Lemonnier exposait un petit ventilateur à ailettes courbes, actionné directement par une machine dynamo-réceptrice à deux pôles et enroulement Gramme, inducteurs type Manchester à pôles conséquents et enroulement compound.

MM. Reardon et Ennis, de River Street (Etats-Unis), exposaient également un ventilateur mû par l'électricité.

La Compagnie des mines de Liévin montrait à l'Exposition un ventilateur à force centrifuge, mû par l'air comprimé, employé pour assainir ses travaux

intérieurs. Son diamètre extérieur est de 0^m,75 et le diamètre et la course du cylindre moteur sont de 0^m,10. L'appareil pèse 650 kilogrammes.

M. Pinette a construit pour les mines de Blanzy un petit ventilateur Ser portatif, dont le châssis porte en outre un moteur à air comprimé à deux cylindres.

Diamètre extérieur de l'appareil : 0^m,50.

Vitesse du moteur : 400 tours par minute.

Vitesse du ventilateur : 1000 tours par minute.

Volume d'air produit : 1883 litres par seconde.

La dépression a varié de 60 à 75 millimètres d'eau.

Il faut encore citer comme ventilateur portatif celui de M. Garcenot expérimenté en même temps que celui de M. Pinette à Blanzy ; cet appareil, par suite de son grand rendement, semble appelé à se répandre rapidement.

Dans un mémoire sur le bassin de la Ruhr, publié en 1886 dans les *Annales des mines*, M. Louis Bochet, ingénieur au corps des mines, donne la description de quelques ventilateurs récemment installés.

Le ventilateur Pelzer date de 1879. Il se compose d'une roue en tôle formée de huit ailes hélicoïdales tournant autour d'un axe horizontal. La partie centrale de la roue ferme l'orifice du canal et agit comme vis pneumatique ; l'extrémité des ailes donne à l'air le mouvement centrifuge. L'appareil a 2^m,50 ou 3 mètres de diamètre ; il tourne à 250 tours par minute.

Les ventilateurs Dinnendahl et Kaselowski sont analogues au ventilateur Pelzer.

Le ventilateur Winter est un appareil à force centrifuge de 2^m,50 à 3 mètres de diamètre faisant 250 à 300 tours par minute.

Le ventilateur Kley ressemble au ventilateur Guibal ; mais l'onie est précédée d'une chambre à contour spiraloïde qui facilite la mise en mouvement de l'air. Il faut ajouter à cette énumération les ventilateurs Moritz et Geissler.

La Société des ingénieurs du Nord de l'Angleterre a fait étudier les ventilateurs mécaniques par une commission spéciale dont le rapport a été traduit et publié par M. Daniel Murgue, ingénieur de la Compagnie houillère de Bessèges. Tous les chiffres de ce rapport ont été soigneusement rapprochés et comparés par M. Murgue dont les conclusions sont les suivantes :

Dans les mines larges, présentant plus de 2 mètres carrés d'orifice équivalent, les ventilateurs volumogènes sont franchement inférieurs aux déprimogènes.

Pour l'aérage des mines moyennes, (1^m,40 à 1^m,80 d'orifice équivalent), le Guibal est supérieur aux volumogènes peu étanches, tels que les machines pneu-

matiques sèches, Lemielle et le Cook ; il peut lutter sans désavantage avec les volumogènes bien étudiés et bien construits comme le Roots.

Pour les mines étroites les déprimogènes, au contraire, doivent être complètement écartés.

La Commission prussienne du grisou a nommé une sous-commission des ventilateurs chargée d'étudier cette même comparaison. Le rapport de son président, M. Althans, a été traduit et résumé par MM. Daniel Murgue et Prosper Brun, ingénieurs de la Compagnie houillère de Bessèges. Les conclusions confirment celles de la Commission anglaise. Les chiffres cités prouvent de plus que dans les mines étroites les ventilateurs à rotation rapide doivent être préférés.

RÉGULATEURS VOLUMÉTRIQUES

Le volume d'air que débitez les ventilateurs à force centrifuge n'est pas constant pour une vitesse déterminée du moteur. Il est donc rationnel de leur adjoindre un appareil régularisant le mouvement, de telle sorte que le volume débité soit constant dans de certaines limites.

La Société houillère de Liévin donne un bon exemple de cette régularisation.

Une palette équilibrée, placée sur le courant d'air venant de la mine, subit, sous l'action de ce courant, des déplacements correspondants aux variations des volumes d'air. Quand ces mouvements dépassent une certaine amplitude, dans un sens ou dans l'autre, un dispositif établit un courant électrique agissant sur le tiroir de détente de la machine ou sur le robinet d'admission de vapeur de la manière suivante : le courant passe suivant les cas dans l'un ou l'autre des deux électro-aimants disposés près du tiroir. Un levier, attiré par l'électro, agit sur un rochet à mouvement alternatif et fait tourner une roue dentée ; celle-ci, en rapport avec le tiroir, réduit ou augmente la période de détente et par suite, ralentit ou accélère la vitesse de marche. Cet appareil est dû à M. Desailly, ingénieur divisionnaire de la Compagnie, et à M. Dubois, constructeur à Anzin.

SURVEILLANCE DE L'AÉRAGE

Sur la demande de la Commission du grisou, M. Aguillon, ingénieur en chef des mines, a publié, en 1881, dans les *Annales des mines*, un rapport sur les appareils de contrôle employés pour la surveillance de l'aérage. Il cite : 1^o les appareils employés pour mesurer la quantité d'air circulant en un point donné de la mine : anémomètres de Combes, de Havy, de Casartelli, de Casella, de Bourdon et l'appareil de M. Murgue ; 2^o les appareils destinés à la mesure du

volume total de l'air envoyé dans la mine, de la vitesse de marche des machines, ou de la dépression totale sous laquelle se produit le courant : tubes manométriques ; tube de Pitot ; manomètre à aiguille d'Ochwaldt ; mouchards divers ; tachymètre de Buss, de Napoli ; cinémomètre de Jacquemier.

M. Haton de la Gouillièrre, dans son rapport présenté au nom de la Commission française du grisou, cite en outre les appareils de Arson, Bianchi, Biram, Buis et Lombart, Buxton, Davy and Son, Dickinson, Fuss, Hardy, de Hennant, Kallstenius, Francisque Michel, Leslie, Morin, Newmann, Van Eck, puis l'appareil de M. de Vaux pour reconnaître les perturbations du courant d'air, celui de Bia et Durand pour le contrôle des ventilateurs, le baromètre différentiel de Guibal, le compteur graphique de Hennant, l'avertisseur Duber et Delsaux actionnant un sifflet à vapeur lorsque la vitesse descend au-dessous d'une limite fixée.

Les travaux de la Commission du grisou ont conduit à la construction de trois nouveaux appareils : celui de M. Vicaire, ingénieur en chef des mines, qui est en même temps un avertisseur électrique ; l'anémomètre de M. Le Chatellier, analogue au tube de Pitot, et très sensible, enfin l'appareil de MM. Mallard et Le Chatellier, se composant de deux manomètres à eau colorée en relation l'un avec le courant d'air sortant du ventilateur, l'autre avec l'atmosphère de la mine.

A Firminy, la marche des ventilateurs est contrôlée au moyen d'appareils enregistreurs de dépression ; à Roche-la-Molière, c'est l'appareil Dehennault-Bouillet, et au puits du Soleil, le manomètre enregistreur de MM. Richard frères. Les diagrammes en étaient exposés.

Aux mines de Liévin, l'indicateur de dépression est disposé de manière à avertir le mécanicien par une sonnerie électrique lorsque les variations dépassent les limites voulues.

VENTILATEURS SOUTERRAINS

Il arrive souvent qu'on outille le puits d'aérage de façon à ce qu'il puisse servir également de puits d'extraction et, dans ce cas, le puits est fermé soit par des clapets Briart, soit par un sac à air en tôle ou en maçonnerie.

Pour éviter cette installation, les houillères de Schamrock, en Westphalie, ont installé au fond de la mine un ventilateur Geissler de 3^m,50 de diamètre marchant à 200 tours par minute avec un débit de 4000 mètres cubes.

GRISOU — LAMPES DE SURETÉ

Le rapport présenté par M. l'inspecteur général Haton de la Goupillière, en 1880, est aujourd'hui classique et doit servir de base à toute étude sur la question. On ne doit pas non plus passer sous silence le rapport plein d'observations et de faits de MM. Pernolet et Aguillon sur l'exploitation et la réglementation des mines à grisou en Belgique, en Angleterre et en Allemagne.

Depuis ont été publiées un grand nombre d'études, parmi lesquelles nous citerons seulement celles de la Commission prussienne du grisou, celles de M. Kohler, Conseiller des mines, (Autriche-Hongrie), et celles de M. Chesneau, ingénieur au corps des mines.

Des expériences et relevés statistiques faits par M. Kohler à la mine Gabrielle, près Karwin (Silésie), on peut conclure que les dépressions atmosphériques très rapides ont une influence marquée sur les dégagements du gaz.

Aux observations barométriques, M. Chesneau a joint une seconde série d'observations, celle des mouvements du sol. La première idée de comparaison entre ces mouvements et les dégagements de grisou se trouve dans *The Engineer* du 17 décembre 1875. Nous la retrouvons une seconde fois dans une note de M. de Chancourtois, parue en 1883. M. Walton Brown, ingénieur à Newcastle-on-Tyne, revient sur cette question en 1884 et rappelle les expériences du professeur John Milne, dans les houillères de Takoshima, entreprises sur l'initiative du gouvernement Japonais.

Les observations de M. Chesneau ont porté sur les appareils enregistreurs des ondulations microsismiques installés en 1885 à l'École des mines de Paris, à l'École des mineurs de Douai, et en 1886 à la fosse d'Hézin à Anzin. D'après les statistiques, il semble exister une certaine corrélation entre les bourrasques sismiques et les dégagements de grisou. Les variations barométriques relevées ne semblent point permettre de conclusions bien nettes. M. Chesneau a reçu mission de répéter ces expériences et observations dans les bassins de la Loire et du Gard.

LAMPES

Parmi l'extrême variété de lampes de sûreté que les inventeurs se sont ingénierés à créer, M. l'ingénieur en chef Le Chatelier, dans son rapport au Congrès international des Mines et de la Métallurgie en 1889, retient quatre types, tant par la valeur théorique des principes qui ont présidé à leur conception, que par la sanction pratique qu'elles ont reçues. Ce sont :

La lampe Clanny à verre et tamis, dans laquelle l'alimentation est renversée ; elle est désignée depuis quelques années en France sous le nom de lampe Boty ;

La lampe Marsaut à double tamis entouré d'un écran métallique ; on doit en rapprocher la lampe Evan-Thomas ; l'alimentation est renversée ;

La lampe Mueseler à verre, tamis, cheminée et diaphragme et alimentation renversée ;

La lampe Fumat à alimentation directe dont on doit rapprocher la lampe Gray.

M. Marsaut, ingénieur en chef de la Compagnie houillère de Bessèges, a publié récemment une brochure où sont réunies les appréciations diverses des commissions officielles du grisou en France, Belgique, Angleterre, Prusse, Saxe et Autriche.

On trouvera dans les planches 35 et 36 *bis* les dessins de ces lampes de sûreté qui parleront mieux que toute description.

La lampe Clanny est celle qui donne le plus fort pouvoir éclairant ; les lampes Mueseler et Marsaut arrivent ensemble au second rang.

La lampe Clanny résiste bien aux courants d'air, elle est à peine sensible à l'inclinaison.

La lampe Mueseler, type réglementaire obligatoire belge, et la lampe Marsaut résistent parfaitement aux courants d'air ; mais elles s'éteignent par inclinaison, la première sous un angle de 40°, la seconde seulement sous un angle de 60°. La lampe Fumat résiste bien à l'inclinaison.

Fermetures de sûreté. — Nous passerons en revue un certain nombre de fermetures de sûreté qui figuraient à l'Exposition et qui ont reçu la sanction de la pratique.

Fermeture magnétique Villiers. — Un verrou maintenu par un ressort empêche de dévisser la lampe. Ce verrou terminé à la partie inférieure par une pièce de fer doux ne peut être abaissé que par un aimant puissant.

Fermeture Cuvelier. — Le verrou qui empêche de dévisser est sollicité à sortir de son logement par un ressort : mais il bute contre les extrémités d'un tube recourbé en arc de cercle. Celui-ci est complètement enfermé dans la lampe ; un petit canal permet d'y faire arriver de l'eau sous pression, au moyen d'un petit accumulateur spécial. Sous cet effort les branches du tube s'écartent et le verrou peut descendre.

Fermeture à rivet de plomb d'Anzin. — Les deux parties de la lampe, une fois vissées, sont réunies par un rivet de plomb poinçonné.

Fermeture à rivet de Plomb Dinoire.— Ce système ingénieux, dû à M. Dinoire, ingénieur aux Mines de Lens, peut s'appliquer facilement à une lampe quelconque. (Pl. 35 et 36 bis).

Contre un des montants de la garniture métallique portant le verre et les tamis et se vissant sur la lampe, on fixe au moyen d'un rivet de plomb le petit cylindre creux BB. Le verrou pressé hors de son logement par un ressort permet bien de visser, son extrémité taillée en biseau pouvant glisser sur les crans de la crémaillère circulaire. Mais il s'oppose à tout retour en arrière lorsque la lampe a été vissée à fond. Il faut alors pour ouvrir, couper le rivet de plomb. Celui-ci coupé, le verrou sort au maximum et il est impossible de maintenir le cylindre dans sa position ; la surveillance est donc facile.

Il est à remarquer que les rivets peuvent être placés longtemps avant l'allumage : la partie supérieure est alors simplement vissée de trois tours et peut encore se dévisser ; l'ouvrier au moment de prendre sa lampe allumée vérifie qu'elle est en bon état et la visse complètement lui-même.

Rallumage des lampes.— On emploie en Westphalie une lampe à benzine système Wolf. L'inventeur de cette lampe a imaginé un dispositif qui permet de la rallumer sans l'ouvrir.

C'est un petit chien qui vient frapper sur une amorce placée vis à vis de la mèche. On arme le chien en tirant une tige qui passe à travers le réservoir et on le fait partir en repoussant la tige. Les amores sont portées au nombre de 75 par un petit ruban en papier qui se déroule automatiquement d'une longueur comprise entre deux amores chaque fois que l'on arme le chien. On est un peu effrayé de la détonation qui se produit au moment du rallumage par suite des vapeurs de benzine. D'après l'inventeur, ces explosions ne seraient pas dangereuses. On peut du reste les éviter en ayant soin de souffler dans la lampe à travers le tamis avant de la rallumer.

M. Catrice a proposé un autre mode de rallumage intérieur s'appliquant aux lampes à huile. Le dispositif consiste essentiellement en un cylindre percé de 8 trous porte-feu garnis d'allumettes. L'allumette poussée vivement par un poinçon vers l'intérieur de la lampe, sort à frottement entre deux rugueux qui déterminent son inflammation.

LAMPES ÉLECTRIQUES

Nous n'avons pas remarqué à l'Exposition universelle de lampes électriques portatives pour mine.

Il convient de rappeler ici les différents types qui paraissent se répandre dans quelques exploitations en Angleterre.

Lampe Swan. — Les électrodes, plomb et oxyde de plomb, disposées concentriquement dans une boîte en gutta-percha et plongées dans de l'eau acidulée d'acide sulfurique, sont chargées par une dynamo. Intensité lumineuse, 1 bougie à 1,80 ; durée, 10 heures ; poids, 3 kilogrammes.

Lampe Pitkin. — L'électricité est fournie par quatre éléments secondaires, ayant chacun 8 plaques formées de peroxyde de plomb et de plomb spongieux. Intensité lumineuse, 4 à 5 bougies ; durée, 8 heures ; poids, 3 kil. 6.

Nouvelle lampe portative de la *electric lamp and Power syndicate Co.* L'électricité est fournie par des accumulateurs au lithanode et au plomb spongieux. Intensité lumineuse, 1 bougie ; durée, 10 heures ; poids, 2 kilogrammes.

Lampe Walker. — L'électricité est fournie par une pile primaire (bichromate et zinc) dont le charbon forme le récipient. Le liquide excitateur est un mélange de bichromate de potasse, d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Poids 3 kilogrammes.

Lampe Schanschieff. — L'électricité est fournie par une pile primaire dont le liquide excitateur est une solution de sulfate de mercure basique dans le sulfate acide. Les électrodes sont du zinc et du charbon. Intensité lumineuse, 1 1/2 bougie à 2 bougies. On change le liquide toutes les huit heures. La solution occupe moins de la demi-hauteur de chaque élément et les électrodes l'autre moitié ; il suffit donc de renverser la lampe pour produire l'allumage ou l'extinction.

SURVEILLANCE DU GRISOU

Un grand nombre d'appareils ont été proposés pour la surveillance du grisou dans les mines.

M. Coquillon présentait à l'Exposition son indicateur de grisou ; un appareil portatif permet d'analyser le gaz dans la mine, par sa combustion sur un fil de palladium porté au rouge blanc par un courant électrique. Un appareil analogue a été construit pour faire les analyses dans le laboratoire avec plus de précision.

Plusieurs indicateurs de grisou ont été transformés en avertisseurs. La flamme en s'allongeant, par suite de la présence des gaz inflammables dans une lampe, peut fondre un fil métallique et rompre un courant électrique, (Ansell, Somzée). Une vessie de caoutchouc en se dilatant par endosmose peut fermer un circuit métallique et laisser passer un courant (Clermont). Dans l'indicateur Hyde, en plus de la sonnerie, le courant produit le déclenchement d'un écran, qui retombe et éteint la lampe.

On a proposé encore l'établissement d'un circuit métallique avec interruption dans les endroits grisouteux. Le courant lancé dans ce circuit donnerait des étin-

celles en présence du grisou : les étincelles brûleraient un fil de soie dont la rupture produirait le déclenchement d'une sonnerie.

Le procédé pratique actuellement en usage pour la surveillance du grisou est l'examen de la flamme des lampes de sûreté. Pour faciliter les observations, la Commission du grisou a proposé d'entourer la flamme d'un écran. A la condition d'être dans une obscurité complète, on peut observer autour de la flamme de la lampe une auréole bleue dans une atmosphère renfermant seulement 1 % de grisou. M. Cosset-Dubrulle, constructeur de lampes de mines, à Lille, réalise ces conditions d'une manière ingénieuse dans sa lampe de sûreté. Avant lui M. l'inspecteur général des mines Castel avait fait placer derrière la flamme un petit écran de drap noir.

La Commission du grisou avait indiqué pour la constatation de la présence de ce gaz, l'emploi d'alcool pur ou d'hydrogène à la place de l'huile. On a ainsi des flammes de faible pouvoir éclairant même quand on leur donne une grande hauteur ; les dimensions de l'auréole augmentent avec celles de la flamme, on a donc une plus grande sensibilité et l'on peut reconnaître 1/4 % de grisou. La lampe à hydrogène n'a pas encore été essayée. La lampe à alcool, sous un modèle particulier appelé lampe Pieler, commence à être d'un emploi assez répandu. Mais l'attention a été appelée sur les dangers qu'elle peut présenter en raison de la volatilité de l'alcool.

La Compagnie des Mines de Lens exposait une lampe Pieler modifiée, avec une coulisse régulatrice et munie d'un tissu solidement assujetti avec une bague vissée sur le réservoir. Elle porte, en outre de la fermeture à rivet de plomb, un piston à ressort s'opposant à l'addition de la cuirasse avant la mise en place du tissu métallique, et un arrêt qui régle le bord supérieur de l'écran à 30 millimètres au-dessus de la mèche.

RIVAGES

L'intensité donnée à l'extraction par le développement de la force productive des puits a conduit à chercher les moyens rapides de chargement, tant sur esieux que sur bateaux. L'Angleterre, qui tient le premier rang du monde pour le tonnage produit, s'est la première outillée dans ce sens, et c'est chez elle que les autres peuples ont commencé par aller chercher leurs modèles. L'Exposition ne montrait aucune disposition par spouts ou drops si répandues dans ce pays.

On peut de même regretter de ne pas y avoir trouvé les installations westphaliennes.

Les Expositions de la France présentaient plusieurs systèmes d'embarquements mécaniques très bien compris pour les grandes exploitations, et l'on en comprendra l'importance, lorsque l'on rappellera que le Pas-de-Calais a expédié par voie d'eau, en 1888, 35,1 % de sa production.

Ces systèmes peuvent se résumer à trois :

- 1^o Embarquements à l'aide de caisses mobiles s'articulant sur les trucks ;
- 2^o Embarquements au moyen de basculeurs ;
- 3^o Embarquements avec des wagons verseurs.

Le premier système, employé aux mines de Lens, Liévin, Courrières, Nœux, Anzin, etc., exige une installation de force motrice et un appareil de levage. Les mines de Lens ont adopté une solution élégante pour ce problème en employant une locomotive qui porte une grue et verse les wagons en circulant sur une voie latérale.

La Société des mines de Liévin emploie un châssis roulant, entièrement métallique, portant deux caisses d'une contenance de 5 tonnes chacune. Un train de vingt wagons est amené sur la voie longeant le quai du canal. Le train est alors enserré par deux câbles s'enroulant en sens inverse sur le tambour d'un petit treuil à vapeur. On peut ainsi, par le mouvement du treuil à changement de marche, faire avancer ou reculer le train et amener telle ou telle caisse vis à vis d'une grande trémie de chargement.

Le versement du contenu des caisses dans la trémie est obtenu par leur soulèvement au moyen de deux cylindres à vapeur, un par caisse, placés contre la voie, du côté opposé à la trémie. Ces cylindres sont à simple effet, avec communication du dessus au dessous pour l'équilibre pendant la descente : la tige du piston est prolongée par une chaîne passant sur une poulie fixe, et munie à l'autre extrémité d'un crochet spécial qui vient prendre la caisse sur le côté ; un dispositif automatique amène les becs de ce crochet contre la caisse (pl. 39 et 40).

Cette installation a permis de charger, un bateau de 250 tonnes en 47 minutes ; si ces chiffres sont un maximum, on peut opérer pratiquement le chargement de six bateaux, soit 1.500 tonnes en 12 heures.

Les portes des caisses des wagons de Liévin s'ouvrent automatiquement par le simple soulèvement des caisses, grâce au système de fermeture imaginé par M. Viala. On peut également ouvrir les portes à la main sans déplacer les caisses du châssis. Ce système, d'une très grande simplicité, est représenté par les planches 39 et 40. Il est le premier en date, permettant à la fois l'ouverture automatique et à la main.

La première application en France, d'un basculeur latéral, qui figurait déjà à

l'Exposition universelle de 1878, a été faite aux mines de Bruay. Elle est due à M. Fougerat, ingénieur en chef du matériel et des constructions de cette société houillère.

Cet appareil se compose d'une plate-forme placée dans l'axe de la voie parallèle au quai. Les fers transversaux des extrémités de la plate-forme sont recourbés verticalement et viennent s'appuyer sur deux tourillons. La partie supérieure de ces montants verticaux est terminée par un mouvement à vis sans fin permettant de serrer deux taquets contre la caisse du wagon afin de la maintenir dans son mouvement d'inclinaison. En dessous de la plate-forme, se trouve une presse hydraulique ordinaire qui reçoit l'eau d'une pompe, ou mieux d'un accumulateur-régulateur de pression. Le piston de la presse hydraulique est réuni à la plate-forme par l'intermédiaire de deux bielles. Une trémie trapézoïdale sert à conduire le charbon du wagon dans le bateau. Avec quatre culbuteurs de ce genre, la Compagnie de Bruay peut embarquer 5.000 tonnes de houille par jour.

M. Malissard-Taza, directeur-gérant de la maison V^{re} Taza-Villain, a fait construire dernièrement, pour les mines de Marles, un basculeur automatique à pendule différentiel et à frein hydraulique. Ce basculeur complet figurait à l'Exposition. Il se compose d'un tablier métallique parfaitement rigide, muni de deux gros axes, tourillons de rotation, reposant sur deux paliers en fonte scellés sur le châssis en bois qui forme l'encadrement intérieur. Ce tablier reçoit le wagon chargé, qui s'y trouve maintenu d'un côté par deux joues en tôle épaisse, et de l'autre, à la hauteur des longerons, par deux mains d'arrêt. Ces arrêts se manœuvrent par le moyen d'un petit volant actionnant une vis fixe dont la main forme l'écrou mobile. Le wagon se trouve ainsi complètement calé.

Le basculeur est maintenu fixe et horizontal par un verrou sur lequel il repose. Ce verrou est guidé par une gaine en fonte, et commandé par un levier ; il est maintenu fermé par un contre-poids.

La première manœuvre pour le basculement consiste à ouvrir le verrou de sûreté : cela fait, le tablier et le wagon restent encore au repos, maintenus par le frein hydraulique auquel le basculeur est attelé par l'intermédiaire d'une bieille. Le mécanicien ouvre alors lentement avec un volant le robinet qui établit la communication des parties supérieures et inférieures du cylindre. Le basculeur s'incline doucement retenu par le frein. A cette action vient s'ajouter celle du contre-poids pendule attaché au basculeur, et dont l'effet, nul au début, prend successivement, par le fait de l'inclinaison, une plus grande importance. Tout le système étant basculé sous un angle de 35°, on ferme complètement le robinet, et cela suffit pour maintenir le basculeur à l'état de repos. Toutefois, par mesure de précaution, on fait jouer le verrou qui prend le tablier à sa partie supérieure.

Le wagon étant vidé, pour le ramener dans sa position horizontale, il suffit de dégager de nouveau le verrou de sûreté, et d'ouvrir légèrement le robinet de communication. Le charbon ne faisant plus équilibre au contre-poids pendule, tout, le système se met en mouvement en sens inverse. Le wagon, construit aussi par M. Malissard, est fermé par des portes qui s'ouvrent automatiquement un peu avant la fin du culbutage par le fait de la butée de leurs verrous de fermeture sur les supports fixes adaptés au châssis en bois de l'installation. Comme dans le wagon de Liévin, les portes peuvent aussi s'ouvrir à la main.

Le charbon se déverse dans une trémie capable de contenir 10 tonnes. Cela permet de vider plus rapidement le wagon. Pendant que le basculeur se relève et que l'on remplace le wagon vide, on distribue dans le bateau le charbon emmagasiné.

La Compagnie des Mines de Béthune possède à Violaines une installation très complète de rivage dont les culbuteurs présentent beaucoup d'analogie avec celui que nous venons de décrire.

Le modèle de l'ensemble de ce rivage figurait à l'Exposition.

L'Exposition montrait de nombreux spécimens de wagons verseurs, qui sont comme on sait, très employés dans les terrassements et dans certaines exploitations. Les types en sont connus, et nous n'en avons pas remarqué s'appliquant à des charges de quelqu'importance.

PRÉPARATION MÉCANIQUE

BROYEURS

La préparation mécanique des minerais proprement dits était peu représentée à l'Exposition universelle de Paris.

Nous devons toutefois citer les appareils bien connus qu'exposaient MM. Jacomety et Lenicque, notamment leurs caisses de classification de matières fines, leur érible continu à grilles filtrantes, et leur broyeur à mâchoires composé de deux plaques en fonte durcie dont l'une est fixe et l'autre mobile. Celle-ci est mise en mouvement par une came oscillante contre laquelle elle s'appuie. L'appareil devait céder devant un fragment trop dur, la came s'appuie elle-même sur un volet formé de deux tôles assemblées qui se plieront sous l'effort d'une pression trop forte : il suffira de changer les tôles pour réparer un accident en quelques minutes.

Parmi les meules verticales, M. Jannot, de Trier, exposait un broyeur tamiseur pour tous minerais.

La maison Veidknecht exposait un concasseur à huit manettes pour coke ou charbon produisant quarante tonnes à l'heure avec une force de 5 chevaux, ainsi que son pulvérisateur et son granulateur.

Dans ces appareils le concassage est obtenu au moyen de marteaux articulés sur un arbre tournant (système Loiseau).

Il faut rappeler également le broyeur et le pulvérisateur à mâchoires multiples de M. Théodore Blake de New-Haven (Connecticut) et le broyeur Vapart exposé par M. Eugène Bordier.

Le cyclone pulvérisateur était une des nouveautés de l'Exposition. Il est basé sur un principe différent de celui des autres broyeurs.

Deux hélices en acier tournant en sens inverse et en face l'une de l'autre dans un espace restreint produisent une sorte de tourbillon dans lequel les matières à broyer sont entraînées et projetées les unes contre les autres avec une puissance destructive considérable. Sous cette action répétée, les différentes parties se brisent presque instantanément en particules réduites à un état de ténuité très grande. Les matières ainsi réduites sont entraînées dans des chambres de dépôt par une simple aspiration réglable à volonté et produite par un ventilateur ; elles se classent naturellement suivant leur degré de finesse et de densité (pl. 41-42).

SÉPARATION MAGNÉTIQUE DES MINERAIS

Depuis quelques années on a utilisé avec avantage pour la séparation mécanique des minerais la propriété magnétique dont jouissent certains d'entre eux.

L'Exposition de M. Edison montrait un appareil qu'il dénommait triuse électrique et dans laquelle le champ magnétique était déterminé par le courant d'une machine dynamo. La bobine sur laquelle est enroulé le fil est mobile dans un plan vertical et l'ouverture, par laquelle tombe le minéral à trier, peut être réglée en grandeur et en position.

Cet appareil est beaucoup moins perfectionné que celui construit par M. l'ingénieur Vial pour la séparation des minerais de zinc ferrugineux de Mercadal (Espagne). L'appareil des mines de Mercadal se compose d'un faisceau de six aimants en fer à cheval, groupés horizontalement par les pôles semblables sur une règle fixe en bronze, et séparés les uns des autres par des cloisons faites du même. Une feuille mince de fer doux réunit les pôles et évite toute désalliage d'aimantation. Les aimants sont entourés d'un cylindre en zinc, frôlant presque les bords des aimants et animé d'un mouvement de rotation. Tant l'ensemble peut être plus ou moins éloigné de la rainure de la trémie, par laquelle s'écoulera le

mineraï en couche mince. Afin d'éviter que la rainure ne s'obstrue, elle est constamment soumise au choc d'une planchette à marteaux actionnée par deux cames placées sur la poulie qui donne le mouvement au cylindre en zinc. Une cloison articulée située dans la verticale permet de faire la séparation du mineraï d'après les données de l'expérience. Le mineraï tombant en nappe mince devant le champ magnétique fixe, tout ce qui est ferrugineux est attiré par les aimants et dévié plus ou moins de la verticale suivant la richesse en fer, les parties les plus riches allant jusqu'à adhérer aux cylindres en zinc ; mais la rotation de ce dernier les éloignant de l'influence magnétique, elles se détachent et tombent. La partie du cylindre qui recouvre directement les aimants est ainsi rendue libre de tout mineraï et l'attraction magnétique reste toujours complète.

Le trieur magnétique Vavin se compose essentiellement de deux cylindres superposés tournant dans le même sens et formés d'anneaux en fer doux séparés par des anneaux de cuivre ; les anneaux de fer doux sont en contact avec des aimants en fer à cheval placés dans l'intérieur des cylindres. On utilise généralement cet appareil pour la séparation des limailles de fer de celles d'autres métaux.

L'électro-trieur Siémens est également à citer. Les électro-aimants y sont en relation avec une machine dynamo-électrique à courant continu ; on peut faire varier l'intensité magnétique suivant les conditions du mineraï à traiter et cela par le changement de vitesse de la bobine inductrice.

Dans la trieuse Jaspar, deux électro-aimants très puissants sont placés horizontalement et mis en regard de leurs pôles de même nom. Les noyaux des bobines sont réunis intérieurement sur des cylindres de plus grand diamètre, lesquels forment ainsi deux surfaces polaires, l'une positive et l'autre négative. Ces deux cylindres tournent en sens inverse ; entre eux on a ménagé un certain intervalle pour le passage des matières à trier.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DE LA HOUILLE

On sait le rôle que joue aujourd'hui dans le commerce de la houille la préparation mécanique proprement dite. La nature particulière de certains combustibles, les rivalités commerciales, les exigences croissantes des consommateurs et aussi l'usage plus rationnel des foyers ont conduit à imaginer des appareils très perfectionnés, tant pour la classification que pour l'épuration des charbons. Et, si quelques pays, grands producteurs de houille, comme l'Angleterre, livrent encore aux consommateurs pour la plus grande partie le charbon tel que le donne l'abatage, c'est-à-dire le tout venant, on peut dire qu'il est de règle, tout au moins

sur le continent, de séparer cette houille par grossesurs, c'est ainsi que dans la plupart des installations bien organisées, le tout venant peut-être reconstitué par un dosage convenable des sortes préalablement triées.

Il n'entre pas dans le cadre de cet aperçu de décrire les puissantes installations d'ateliers de préparations des charbons telles que les comprend l'industrie moderne ; on ne peut toutefois passer sous silence les ateliers d'Anzin, de Lens, de Commentry, de Blanzy, de Carmaux, etc.

La Compagnie des mines d'Anzin montrait dans son exposition l'installation complète des ateliers de la fosse Lagrange (pl. 7, 8, 9 et 10). Les charbons au sortir de la mine sont culbutés sur un crible Briart de 2^m 40 de longueur par un verseur mécanique contenant deux berlines à la fois. Le crible retient le gros et la grosse gaillette et laisse passer tout ce qui est inférieur à 0^m,06. Une table à secousse de 2^m,300 de largeur complète la division en retenant la petite gaillette et laissant les produits inférieurs tomber dans une vaste trémie. La grosse et la petite gaillette peuvent être chargées mécaniquement après avoir été lavées sur des toiles métalliques, système de Lens. Les fines inférieures à 0^m,06 (trous ronds) sont puisées dans la trémie par une noria et remontées à la partie supérieure d'un atelier de lavage où elles sont décomposées en :

Fines de	0 à 8
	8 à 15 (1)
Grains de	15 à 25 (2)
	25 à 45 (3)
	45 à 60

Les numéros (1), (2) et (3) sont lavés ; les braisettes 45-60 sont triées à la main. Une autre partie de l'atelier comprend 4 cribles à grilles fixes et à divers écartements afin de pouvoir fournir au commerce des fines à 0,025 (barreaux), à 0,040 ou à 0,060. Ils peuvent également fournir des tout venants ordinaires ou contenant 40 à 45 % de gaillettes. Tout l'atelier peut traiter de 12 à 1500 tonnes de charbon par jour.

L'Exposition de Mariemont montrait aussi l'appareil de M. Briart que nous venons de voir figurer parmi les installations d'Anzin. Deux séries alternantes de barreaux mobiles, assemblées chacune sur un cadre différent, s'élèvent ou s'abaissent en prenant un mouvement de translation vers la partie inférieure de leur déplacement.

A Decize on a préféré le crible à secousses de dimensions restreintes (2^m,75 de longueur, 1^m,50 de largeur) et donnant un grand nombre de coups par minute. Chaque crible pèse 350 kilogrammes et est formé de deux tôles d'acier perforées superposées donnant trois grossesurs.

Les mines de Carmaux exposaient leur atelier de criblage et de triage qui comprend : (planches 13-14)

1^o Un verseur mécanique capable de recevoir deux wagonnets à la fois, soit 900 kilogrammes de charbon ;

2^o Une trémie, pourvue d'une grille à barreaux longitudinaux, qui retient les gros morceaux. Ceux-ci glissent sur une table où ils sont examinés et écailles au besoin, puis dirigés par un couloir à un niveau inférieur. Ce qui passe à travers la grille s'écoule par deux couloirs terminés par deux rouleaux distributeurs.

3^o Chacun de ces rouleaux déverse régulièrement le charbon sur un crible à secousses pourvu de deux tôles perforées. Les refus de ces tôles sont projetés séparément sur deux toiles sans fin contigues, sur lesquelles on peut opérer un triage complet. Ce qui tamise à travers la deuxième tôle, et qui n'est plus triable à la main, peut au besoin être séparé en deux parties par une troisième tôle. Dans ce cas le refus est envoyé sur une toile sans fin inférieure, tandis que la partie tamisée tombe dans une trémie. Par un jeu de volet on peut d'ailleurs réunir ces deux dernières parties soit sur la toile sans fin, soit dans la trémie.

4^o Les couloirs qui reçoivent les deux premières qualités au sortir des toiles sont distincts. Par l'enlèvement de volets, ces deux sortes peuvent être réunies dans un collecteur commun et versées dans le même wagon que les parties tamisées amenées par la toile inférieure. Le tout venant peut être ainsi reconstitué après nettoyage.

Les toiles sans fin, en chanvre de Manille, sont pourvues de tendeurs à leurs deux extrémités.

Un atelier de ce genre peut traiter 400 tonnes par poste de 8 heures. Il demande une force motrice de 4 chevaux vapeur.

M. Karlik a proposé, en 1885, un crible à mouvement de pendule, qui s'est répandu assez rapidement surtout en Allemagne et en Belgique. L'appareil se compose d'une série de tôles perforées, superposées rondes et fixées à l'extrémité de pièces en fer formant les génératrices d'un cône suspendu par son sommet à l'aide d'une articulation sphérique : le mouvement est donné par un plateau-manivelle faisant environ 150 tours par minute.

On sait que le triage se fait soit sur les grilles elles-mêmes, ou bien sur des couloirs, ou encore sur des tables fixes ou tournantes. Les toiles sans fin, de chaque côté desquelles se placent les trieurs, et qui servent également de transporteurs, sont très répandus aujourd'hui : l'Exposition en montrait de nombreux exemples.

LAVAGE DE LA HOUILLE

On sait combien dans ces dernières années, s'étaient répandus, surtout pour les fines, les lavoirs à grilles filtrantes analogues aux cibles du Hartz. Le prix élevé de ces appareils et les quantités d'eau importantes qu'ils exigent, ont restreint leur application, notamment en France, où, en ceci comme en bien d'autres choses, chaque houillère s'est surtout appliquée à perfectionner l'outillage dont elle disposait et dont elle avait la pratique.

C'est ainsi que la Société des mines de Carmaux a transformé son ancienne batterie de bacs à piston en ce qu'elle appelle lavoir double. (planche 45-46).

Cet appareil, destiné à pousser aussi loin que possible l'épuration des menus, se compose de deux bacs à piston mûs mécaniquement.

Les parties les plus légères de la masse soumises au lavage, sont enlevées dans le premier lavoir par une roue à palettes qui les rejette dans le second où elles sont soumises à un nouveau classement de densité.

Les produits les plus purs sont éliminés comme dans le premier lavoir par une roue à palettes qui les envoie, par l'intermédiaire d'une toile sans fin en fils métalliques, dans les trémies d'égouttage.

Celles-ci au nombre de deux reçoivent alternativement les produits lavés, l'une s'empilant tandis que l'autre est en vidange.

Dans chaque lavoir les matières les plus denses, s'échappent par une lumière ménagée au-dessous du niveau des charbons purs. Le passage des matières est d'ailleurs réglé par une petite roue à palettes qui tourne, à intervalles réguliers, de l'angle de deux palettes consécutives.

Ce mouvement est déterminé par une roue à taquets qui attaque une étoile. En augmentant ou en diminuant le nombre des taquets, on démasque à des intervalles plus ou moins rapprochés la lumière d'évacuation des matières pauvres.

Celles-ci tombent dans une caisse fermée d'où on les extrait de temps à autre par une vanne.

Les schlammis accumulés dans la caisse principale sont extraits seulement toutes les 10 heures.

Cette sorte de lavoir peut traiter utilement tous les charbons menus dont la grosseur maximum ne dépasse pas 30 millimètres et n'est pas inférieure à 12 millimètres.

Le premier lavoir élimine le stérile proprement dit; le second, les charbons barrés.

On passe par journée de 10 heures et par appareil 30 tonnes de charbon brut avec une consommation journalière d'eau de 20 mètres cubes, étant supposé qu'on ne se sert jamais qu'une fois de la même eau, ce qui n'est pas indispensable.

La force nécessaire pour faire fonctionner un de ces appareils n'atteint pas trois quarts de cheval vapeur.

M. Maximilien Evard, exposait le lavoir à palettes de son invention. Le système consiste essentiellement : 1^o dans l'entraînement mécanique sur toute la longueur de la table de lavage de la couche superficielle de la matière traitée ; 2^o dans la division de la table de lavage en autant de compartiments que l'on veut obtenir de qualités différentes ; 3^o dans une action graduée du pistonnage différente pour chacun des compartiments en l'appropriant à la densité des grains qu'ils contiennent.

L'appareil comprend :

- 1^o Un châssis fixe de 3 mètres de longueur, recouvert de tôles perforées. Les diamètres des trous diminuent progressivement depuis le point d'arrivée des charbons ;
- 2^o Un cadre mobile garni de palettes verticales ;
- 3^o Des vannes et contre-vannes pour le départ des pierres ;
- 4^o Un piston agissant sur toute la surface de l'eau du bac par la compression de l'air enfermé entre l'eau et le piston.
- 5^o Tous les mécanismes nécessaires pour le piston, le cadre mobile et le tiroir de la trémie de distribution du charbon.

Le cadre mobile a un mouvement en avant de 0^m,50, pendant lequel il entraîne et remue la couche superficielle, puis il se soulève au-dessus de la charge et revient en arrière : le charbon est donc repris six fois depuis son entrée sur le châssis jusqu'à sa sortie. Le piston donne 45 à 55 coups par minute pendant ce parcours.

Cet appareil pèse environ 6000 kilogrammes, et demande une force motrice de 4 à 6 chevaux et un ouvrier pour traiter dans deux lavoirs accouplés 12 à 18 tonnes par heure.

L'appareil imaginé par M. Marsaut, ingénieur en chef de la Compagnie houillère de Bessèges, se rapproche dans sa disposition générale du lavoir de M. Gervais. Seulement dans cet ancien lavoir on procédait avec la vapeur par ascensions ou descentes alternatives, tandis que M. Marsaut a réalisé la descente continue. Une cuve de section rectangulaire, ouverte à sa partie supérieure, est fermée au bas par une cloison munie de vannes. Au-dessus de la cuve et dans son axe est placé un cylindre avec piston hydraulique dont la tige supporte une cage en fer guidée, dont le fond est une claire ordinaire de lavoir. L'eau distribuée régulièrement dans le cylindre détermine la descente de la cage par chutes régulières, variables à volonté de 2 à 20 centimètres d'amplitudes. La cage relevée, le charbon est séparé en tranches par des cadres-tiroirs qui forment les côtés de la cage ; ces cadres sont mis en mouvement par des pistons hydrauliques ; chaque tranche est déversée dans une trémie spéciale. On lave ainsi en même temps de 3 à 5 tonnes. Les essais faits à Bessèges ont montré qu'un ouvrier ordinaire peut

faire produire à un lavoir de ce genre et de dimensions moyennes 120 à 150 tonnes de charbon lavé en 10 heures.

MM. Bernard et Seibel montraient le plan d'un atelier de lavage perfectionné pour traiter 400 tonnes de houille en 10 heures. Les charbons divisés en six catégories par deux trommels, sont lavés suivant leur grosseur dans des caisses à feldspath ou dans des spitzkasten.

AGGLOMERATION

L'utilisation des menus par leur transformation en briquettes agglomérées au moyen de brai provenant de la distillation du goudron, s'est beaucoup développée. Toutefois, les chemins de fer, pour lesquels cette fabrication avait tout d'abord été créée, tendent de plus en plus à brûler directement les menus sur des foyers appropriés. Il convient d'ajouter que l'usage des briquettes s'est répandu pour les foyers domestiques et a donné lieu ainsi à une fabrication très variée d'agglomérés de petites dimensions qu'on désigne sous le nom de briquettes à trous, agglomérés ovoïdes, etc.

Le brai est toujours la matière agglutinante. De ce fait la France est tributaire de l'Angleterre. Cependant on commence à y distiller le brai dans quelques usines, installées à cet effet.

M. Roux, chef de fabrication aux ateliers d'agglomération de Port-de-Bouc, a fait breveter une presse qui a été perfectionnée par MM. Veillon frères, d'Ailas. Ces constructeurs exposaient les dessins de cette machine où la double compression est donnée par une presse hydraulique.

M. Couffinhal, ingénieur des ateliers de la maison V. Biétrix et C^{ie}, a perfectionné sa première machine brevetée en 1878. Un mouvement alternatif est donné à deux balanciers placés au-dessus d'un plateau à alvéoles ; ces balanciers portent le piston compresseur supérieur et le piston démouleur. Une seconde paire de balanciers porte, au-dessous du plateau, le piston compresseur inférieur. La compression est double ; son intensité, par centimètre carré, est limitée par une disposition ingénieuse. L'axe arrière des balanciers supérieurs peut se déplacer dans une coulisse verticale ; il y est maintenu par la pression du piston d'un court cylindre hydraulique dit pot-de-presse. Lorsque l'effort dépasse une certaine limite, les soupapes maintenues par des ressorts se soulèvent. Grâce à cette disposition, la compression se fait en trois temps :

1^o Le piston supérieur s'enfonce dans le moule jusqu'à ce que la réaction développée atteigne une certaine limite.

2^o Le piston inférieur monte jusqu'à ce que la pression soit égale sur les deux faces de la briquette.

3^o Le piston du pot-de-presse se met en mouvement et la pression est maintenue sur les deux faces pendant une certaine période.

Les chiffres suivants correspondent à l'une des presses exposées dans la Galerie des machines et donnant des briquettes de 9 à 10 kilogrammes

Pression sur chaque face	160,000 kilogrammes.
Production par poste de dix heures	150 tonnes.
Poids de la machine	26,000 kilogrammes.

La maison Biétrix de Saint-Etienne a fourni un grand nombre de ces presses. Comme exemple de l'ensemble d'une installation, nous citerons celle qu'exposent les charbonnages belges de Marihbey et qui se compose :

Des appareils de préparation et de distribution de brai par soles tournantes ;
D'un broyeur à brai et à charbon ;

Du four à sécher et à chauffer le charbon système Couffinhal ;

De la presse Couffinhal.

Le brai broyé fin rejoint le charbon à sa sortie du four, et, se mélange avec lui dans une vis d'abord et dans un mallaxeur vertical ensuite. Ces deux appareils sont à enveloppe de vapeur. De là le mélange se rend dans la distribution de la presse. Un cordon transporteur, sur lequel tombent les briquettes au sortir de la presse, mène celles-ci au wagon de chargement. La presse peut fournir en dix heures 90 tonnes de briquettes de 5 kilogrammes, ou 35 tonnes de briquettes perforées de 1 kilogramme, ou 80 tonnes de briquettes de 700 grammes.

Il convient de citer la machine à moules ouverts, employée aux mines de Mariemont, dans laquelle deux pistons horizontaux foulent successivement la pâte dans deux moules à section rectangulaire alimentés par un distributeur.

M. Guinotte a introduit récemment un perfectionnement qui consiste à intercaler deux cylindres hydrauliques, communiquant entre eux, entre les pistons compresseurs et les bielles qui les commandent. La pression est maintenue constante dans le cylindre à l'aide d'un piston plongeur qu'on charge à volonté ; de cette manière les manivelles travaillent de telle façon que l'effort compresseur s'y trouve partagé entre les deux courses tandis que dans les machines ordinaires elles supportent l'effort total pendant l'une des courses seulement.

Une machine à agglomérer, basée sur le même principe, a été exposée par

la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Elle a été créée par M. A. Henry, ingénieur en chef du matériel et de la traction. Elle se compose d'un nombre plus ou moins grand d'éléments identiques entre eux, et contenant chacun deux moules. Chaque moule est fixe, formé d'un cylindre horizontal ouvert à ses deux extrémités et surmonté en son milieu d'une petite trémie de chargement. Par l'une des extrémités pénètre le piston compresseur mené par un excentrique. L'autre extrémité peut être successivement fermée et ouverte par un piston obturateur conduit par une came dont la forme est telle que le moule reste bouché pendant la période de compression, et s'ouvre rapidement lorsque le piston compresseur achève sa course en démolant la briquette. Les obturateurs s'appuient sur des rondelles Belleville, dont la flexion n'est possible que sous un effort de 300 kilogrammes par centimètre carré, exercée sur la tête du piston. Les rondelles doivent fléchir à chaque compression. Il suffit, pour obtenir ce résultat, d'introduire dans le moule une quantité de mélange suffisante pour remplir, après compression, un espace un peu supérieur à l'espace minimum existant entre les deux pistons. On sera sûr d'obtenir ainsi la flexion des ressorts. La quantité de mélange introduite est déterminée par le tiroir distributeur de chaque trémie. Une machine semblable à celle qui était exposée fonctionne aux mines de La Chazotte, et produit 18 tonnes de briquettes en 10 heures, à 30 tours par minute. Le mélange à comprimer renferme 3 % d'eau et 5 % de brai.

La Compagnie des fonderies et forges de l'Horme exposait une presse pour agglomérés ovoïdes, système Robert. La presse comporte deux paires de roues tangentialles dont les arbres ont un écartement variable à volonté. Deux roues dentées, qui engrènent ensemble, communiquent aux deux roues d'une même paire un mouvement en sens inverse, convergent vers l'intérieur du haut en bas, de façon à entraîner le mélange. L'une des roues dentées est actionnée par un pignon calé sur l'arbre des poulies de commande. Sur la surface des roues tangentialles, sont creusées des cavités demi-ovoïdes, qui, en se rencontrant deux à deux, forment moule.

La maison Pinette, de Châlon-sur-Saône, exposait une machine à boulets ovoïdes (système Fouquemberg), fabriquant 6 tonnes à l'heure.

Elle se compose de deux rouleaux tournant en sens inverse, couverts de petits moules disposés comme des alvéoles, et coïncidant exactement deux par deux quand ils arrivent à la ligne de contact des rouleaux. Le démolage se fait naturellement par l'effet de la pesanteur. L'arbre moteur, commandé par poulie, porte deux vis sans fin, entraînant en sens inverse deux engrenages hélicoïdaux calés sur les arbres des rouleaux. L'égalité d'usure des vis maintient les demi-moules des deux rouleaux en coïncidence parfaite et annule la poussée sur les

coussinets. Les vis et les roues hélicoïdes baignent dans de l'huile et sont recouvertes par une enveloppe en tôle qui les préserve de la poussière. Les coussinets des paliers sont en quatre pièces et à coins de serrage pour racheter l'usure et réduire au minimum les coutures des agglomérés. Les cylindres sont creux et chauffés par un courant de vapeur lors de la mise en marche, de manière à éviter les empâtements.

MM. Th. Dupuy et Fils, constructeurs-mécaniciens, construisent une machine à agglomérer dans laquelle l'emplissage des moules se fait au moyen d'un distributeur à trois palettes. La compression est obtenue au moyen d'un piston dont la tige est réunie à la tête par une boîte contenant douze paires de ressorts Belleville.

Ces constructeurs ont exposé en outre une nouvelle machine à boulets à plateau horizontal. L'emplissage est réglé à volonté en marche en diminuant ou en augmentant le volume des moules. La pression est élastique, car, au moment où les moules passent sous les pistons supérieurs, les pistons inférieurs montent sur un galet, dont l'axe repose sur des ressorts; grâce aussi à ce mouvement, la compression a lieu sur les deux faces. Le démolage est assuré par le piston inférieur. Une broche fixe qui passe à travers ce piston permet d'obtenir des boulets perforés.

APPENDICE

Dans la longue énumération qui précède, nous avons dû nous borner à des points particuliers, parmi les engins multiples qui composent l'outillage du mineur. Nous espérons que le lecteur sera arrivé avec nous à la réflexion que nous exprimions au début. Si complète qu'ait pu être l'instruction première d'un jeune homme, si chargés que soient les programmes de nos écoles, quel que zèle qu'ait pu apporter l'ingénieur à perfectionner son bagage scientifique et à approfondir les problèmes que le maniement des choses lui présente tous les jours, on comprendra qu'un seul homme soit impuissant à apporter une égale supériorité au milieu de tant de questions si diverses et si complexes, et qui n'ont de commun que le but poursuivi.

Si l'on ajoute que ces études d'un caractère tout théorique, nous allions presque dire scientifique, se poursuivent au milieu d'occupations souvent pénibles, demandant un grand effort physique, et à travers les mille difficultés de détail qu'amène le maniement d'un grand nombre d'hommes parmi lesquels une discipline stricte s'impose, en raison même du métier qu'ils exercent et de la sécurité de tous, on concevra qu'un ingénieur, également compétent sur toutes les parties de son œuvre, ne saurait plus exister aujourd'hui, sinon à l'état de très rare exception. C'est ce qui a conduit, dans la pratique des faits, à la division des services entr'eux, et c'est ce qui conduira à la spécialisation de plus en plus grande de tous ceux qui concourent à l'œuvre commune.

La division entre le service du jour et le service du fond est aujourd'hui généralement adoptée, et, dans un avenir qu'on peut prévoir, cette division s'imposera pour chaque nature d'engins ou d'appareils. Qui sait si, par un même phénomène, mais pour d'autres causes, on ne verra pas s'établir sur le continent les habitudes anglaises, dans lesquelles le service technique de la houillère est complètement séparé du service d'exploitation proprement dite et confié à un ingénieur qui ne réside pas sur les travaux, et dont les soins s'étendent à plusieurs exploitations appartenant à des propriétaires différents ?

Dans un ordre d'idées analogue, un grand nombre d'industriels ont recours aux avis d'associations, telles que celle des propriétaires d'appareils à vapeur. C'est là une tendance qui, croyons-nous, ne fera que s'accentuer.

D'ailleurs, les conditions mêmes de la vie de l'industrie moderne, les difficultés de la production économique, l'énormité des capitaux engagés, font d'une houillère une machine terriblement lourde et dont le poids n'ira qu'en s'accentuant. Les exemples de production de plus de deux millions de tonnes dans la même main ne sont pas une exception aujourd'hui, et la tendance des exploitations à se grouper sous la même direction, alors même que les intérêts financiers

restent séparés, sont un fait accompli. Nous ajouterons que, dans notre pensée, c'est là une loi qui s'imposera ; elle a déjà été réalisée en raison de questions économiques, elle le sera aussi pour des raisons d'ordre d'exploitabilité des gîtes et d'ordre technique.

Ce n'est pas sortir de notre cadre que de rappeler, en terminant, les masses en poids et en argent que met en œuvre l'industrie minière, et, pour emprunter un dernier document à tous ceux que présentait l'Exposition Universelle de 1889, nous citerons les chiffres qu'avait groupés la belle carte du Ministère des Travaux publics de France, en ajoutant que le tableau ci-dessous ne comprend pas le produit des carrières, dont les procédés font partie de l'art des mines et qui contribuent, dans une proportion considérable, aux besoins des hommes.

PRODUCTION DU GLOBE EN 1887

PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS
	tonnes	francs
1^o MÉTALLIQUES		
Fonte	22.721.000	1.155.297.000
Or	158	629.600.000
Argent	3.383	700.500.000
Cuivre	291.000	324.908.000
Plomb	474.000	180.785.000
Zinc	333.000	129.795.000
Étain	35.000	95.123.000
Mercure	3.794	19.780.000
Nickel, cobalt, platine, antimoine, etc	2.206	9.372.000
Ensemble	23.863.541	3.545.160.000
2^o NON MÉTALLIQUES.		
Charbon	435.024.000	3.000.652.000
Pétrole	5.800.000	173.321.000
Shistes bitumeux, asphalte	2.009.000	14.227.000
Sel gemme	8.508.000	123.850.000
Soufre	465.000	31.964.000
Pyrites de fer	564.000	9.226.000
Manganèse	208.000	7.775.000
Substances diverses : aluminium, fer chromé, graphite, plombagine	80.000	8.962.000
Ensemble	452.658.000	3.369.971.000
Totaux généraux	476.521.541	6.915.131.000

LA MÉTALLURGIE

(Fonte, Fer, Aciers)

PAR

MM. HALLOPEAU ET CAMPREDON

AVANT-PROPOS

L'Exposition de 1889 a fait ressortir les progrès réalisés par l'industrie du fer, notamment en France.

Le présent chapitre de la *Revue technique* présentera un résumé de l'étude des produits métallurgiques des forges et aciéries françaises, et de leurs procédés de fabrication, dans les conditions où ils ont figuré au Champ de Mars (1).

La transformation de l'industrie du fer a fait d'énormes progrès à partir de 1860, et poursuit sa marche rapide. Depuis 1878, les procédés de fabrication se sont encore perfectionnés, et les forges françaises peuvent lutter avec avantage sur tous les marchés, surtout pour la livraison des produits de bonne qualité.

La production s'est du reste développée dans une forte proportion.

Dès le premier coup d'œil, en pénétrant dans l'enceinte fermée sur trois des côtés par les bâtiments de l'Exposition, le visiteur était frappé par l'aspect des constructions. L'architecte, dans la dernière partie du XIX^e siècle, fait emploi avec un réel succès des matériaux nouveaux, fers et céramiques ; les terres cuites et les terres émaillées rendent aux grands édifices, dans de bonnes proportions, le caractère un peu massif qui leur est nécessaire, et que les profils trop légers de l'ossature métallique ne peut donner.

Dans les grandes lignes, les poutres métalliques et les colonnes d'appui peintes en bleu clair montraient nettement ce nouveau mode de construction, fer et céramique, rendu gracieux, presque gai, par les jeux de lumière.

(1) L'étude des produits étrangers sera comprise dans un autre chapitre, ainsi que celle des métaux autres que le fer.

Trois grands dômes, aux courbes élancées, formés d'une habile enchevêtrure de poutres en fer, recouvertes de briques émaillées aux couleurs multiples et chatoyantes, attiraient le regard, jusqu'au moment où, selon la désignation adoptée dans le langage courant, LE CLOU de l'Exposition, l'immense tour en fer de 300 mètres, chef-d'œuvre de la maison Eiffel, venait s'emparer de toute l'attention, et imposer définitivement le triomphe du fer, le plus précieux des métaux.

Dans l'intérieur des palais, c'était encore le fer et la fonte qui dominaient, mis en relief par une jolie peinture de tons bleus également.

Enfin, la Galerie des machines, avec sa gigantesque charpente de 115 mètres de portée libre, sans aucun appui intermédiaire, donnait une impression ineffaçable des conditions nouvelles de la construction métallique, si habilement conçues et exécutées par le génie civil français.

En résumé, la caractéristique de l'architecture monumentale, à la fin du XIX^e siècle, sera l'emploi combiné du fer et de la brique, cette dernière dissimulée d'ailleurs sous un revêtement en terre cuite nue ou émaillée.

La fabrication de ces produits céramiques a reçu également de nombreux perfectionnements depuis quarante ans, sous la vigoureuse impulsion de l'habile architecte ingénieur Emile Muller, qui a su transporter dans le domaine de l'industrie pratique les merveilleux résultats obtenus dans le laboratoire de la Manufacture nationale de Sèvres par Salvetat, dans le laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers par M. Victor de Luynes.

Les forges françaises ont fourni toutes les matières employées dans la construction de l'ossature métallique en fer et en fonte. Elles auraient été à même de fournir aussi bien l'acier doux (fer fondu), mais, lors de l'adjudication, des circonstances particulières ont fait ressortir le prix du fer fondu à un prix légèrement supérieur à celui du fer ordinaire qui obtint de ce fait la préférence.

La maison Cail et la Société de Fives-Lille ont construit la charpente du Palais des machines (115 mètres de portée); la maison Jolly, le dôme de la galerie des Arts libéraux, près l'avenue de Suffren; la Société des ponts et travaux en fer, celui de la galerie des Beaux-Arts, près l'avenue de La Bourdonnais; MM. Moisant, Laurent, Savey et C^{ie}, le dôme de la Galerie centrale; et enfin, la Société des forges de Franche-Comté, la charpente de 30 mètres de cette Galerie centrale.

Les fonderies françaises ont fourni également toutes les pièces de moulage.

Les hauts-fourneaux de MM. Ferry, Curieque, à Micheville, ont livré la majeure partie des colonnes, de concert avec les hauts-fourneaux de Brousseval avec ceux de Montluçon et avec ceux de Pont-à-Mousson.

Même, dans la construction des pavillons annexes, le fer remplissait partout un rôle important.

Les chiffres ci-après indiquent le tonnage de la partie métallique dans les diverses parties :

Palais des Machines	12 761'063
Galeries des industries diverses	8 337 679
Galerie des Beaux-Arts et Dôme.	4 013 080
Galerie des Arts libéraux et Dôme	4 013 720
Dôme central et grande Galerie de 30 mètres .	1 092 000
Galeries de l'Agriculture, sur le quai	788 916
Pavillon du Mexique	607 000
Pavillon de la République argentine.	600 000
Voies ferrées du Champ de Mars, y compris les voies Decauville	1 010 600
Constructions diverses.	2 704 976
Tour Eiffel.	<u>7 347 230</u>
Total.	43 276 904

A l'Exposition de 1889, la métallurgie était représentée surtout par les usines françaises, par les usines belges et par les usines du Luxembourg.

Pour les autres nations, les exposants étaient en très petit nombre.

Les exposants français de la classe 41 (produits de la métallurgie) et de la classe 48 (procédés de fabrication), ont donné une marque imposante de la vitalité de l'industrie du fer dans notre pays, soit par leurs expositions personnelles, soit par les expositions présentées sous forme d'expositions collectives par les différents syndicats des groupes de la Loire et du Nord; tous ont contribué à l'éclat de cette partie de l'Exposition. Toutefois, les diverses expositions ont été réparties dans des emplacements très espacés, ce qui rendait l'étude assez complexe pour le visiteur. Ainsi, pour la classe 41, les usines de la Loire, celles de l'Est, et quelques autres, étaient confondues dans l'une des galeries latérales, tandis que les forges du Nord, celles des usines de l'Horme, de la maison Cail occupaient des pavillons spéciaux près l'avenue de La Bourdonnais. De plus, les appareils métallurgiques (classe 48) étaient disséminés en différents points de la Galerie des machines.

Dans l'ensemble, les établissements métallurgiques ont exposé surtout leurs produits, soit à l'état brut, soit finis, ainsi que des échantillons montrant les résultats d'essais mécaniques, et des tableaux d'essais physiques et d'analyses chimiques. Les renseignements sur le mode de fabrication et sur les procédés mis en œuvre ont été donnés très librement sous forme de notes et de brochures imprimées qui ont été remises à tous les visiteurs, sur leur demande.

Les documents ainsi recueillis ont été groupés sous forme méthodique; on en trouvera ci-après le résumé succinct.

Aussi favorisée que celles qui l'ont précédée, l'Exposition de 1889 a eu la bonne fortune de faire connaître les applications de l'une de ces grandes inven-

tions métallurgiques dont la découverte marque le commencement d'une industrie nouvelle.

L'Exposition de 1799 fut caractérisée par les produits du puddlage ;

Celle de 1827	»	»	tôles de grandes dimensions ;
Celle de 1855	»	»	acières puddlés ;
Celle de 1862	»	»	acières Bessemer ;
Celle de 1878	»	»	acières au manganèse et les aciers au chrome.

En 1889, ont pris place parmi les produits appelés à devenir d'un usage courant, bien qu'à des titres très différents :

1^o Les fers fondus (dits parfois aciers extra-doux, métal homogène) ;

2^o Les aciers moulés malléables.

Il est maintenant acquis, qu'à la suite des résultats mis en évidence par l'Exposition, l'emploi de ces métaux va se répandre de plus en plus, aussi bien dans la construction des machines que pour la construction des ouvrages d'art.

Ces métaux nouveaux, présentés sans bruit, sous forme de simples échantillons, prendront rapidement une place considérable ; leur mise en œuvre entraînera de nombreuses transformations dans les applications de l'art de l'ingénieur-constructeur.

Pour la fabrication du fer fondu, comme pour celle des aciers moulés, il est fait usage des appareils connus, fours et convertisseurs ; le progrès est dû à la connaissance plus approfondie des réactions chimiques et à des perfectionnements de détail habilement conçus, tels que : la garniture des fours, le mode de chauffage, la marche de l'opération.

En dehors des fers fondus et des aciers moulés, dont le rôle dans l'industrie doit être signalé comme devant prendre place au premier rang, ont été remarqués également divers demi-produits d'un grand intérêt, bien que pour la fabrication seule, et par suite pour les métallurgistes exclusivement : c'est la série des fontes à haute teneur de certains métaux associés, tels que le ferro-manganèse, le ferro-chrome, le ferro-silicium, et celle des aciers à faible teneur en aluminium et en nickel.

La production de ces composés ferreux a été précisément l'origine des progrès considérables qui se sont manifestés par l'apparition, vers 1885, des fers fondus et des aciers moulés d'une part, et aussi par la production d'acières spéciaux doués d'une supériorité toute exceptionnelle pour la confection des outils, des armes de guerre, des projectiles, etc.

A côté des métaux bruts, le visiteur a trouvé, dans les galeries de l'Exposition, toute la série des produits des forges et des aciéries sous toutes leurs formes.

En ce qui concerne les fontes de moulage, l'attention était attirée tout spé-

cialement par de magnifiques spécimens, tels que des tuyaux de 2^m,10 de diamètre, des affûts de canons pour l'artillerie de marine du poids de plusieurs tonnes.

Les fers et les aciers communs, sous forme marchande, étaient représentés par des barres de grandes dimensions et d'une section toute exceptionnelle, telles que les fers à I de $\frac{250 \times 203}{16}$ et de 25 mètres de longueur.

Pour les tôles, les échantillons présentaient les dimensions les plus variées, depuis la tôle extra-mince de 0^m,00025 d'épaisseur, mesurant 2^m,00 \times 1,00, jusqu'à la tôle de blindage de 0^m,55 d'épaisseur, mesurant 4 mètres sur 2 mètres.

Des arbres d'hélice, de 0^m,60 de diamètre, des essieux, des bandages, du fer-blanc, des fils, étaient exposés en même temps qu'une série de tableaux d'épreuves permettant d'apprécier la qualité ainsi que la composition du métal.

De même pour les aciers; les nombreux échantillons d'acières fins et d'acières communs, soit laminés, soit moulés, étaient le plus souvent accompagnés de tableaux donnant la composition chimique, ainsi que les coefficients relatifs à la limite élastique et à la limite de rupture avec l'allongement correspondant : 1^o l'état naturel, 2^o après recuit, 3^o après trempe.

Les nombreux chiffres contenus dans ces divers tableaux dénotent les efforts considérables qui ont été faits dans les usines françaises pendant ces dernières années, en vue d'assurer la parfaite régularité des métaux, et de donner toute satisfaction à leur clientèle; les usines de production, comme les consommateurs, tels que les services de la guerre et de la marine, les compagnies de chemins de fer, les grands ateliers de construction, etc..., tous se sont attachés à suivre pas à pas la fabrication, en procédant méthodiquement à une série d'essais chimiques et physiques, qui permettent d'apprécier exactement la qualité des produits.

Les usines savent maintenant assurer dans tous les détails la marche des opérations, et les consommateurs ont ainsi une première et sérieuse garantie; ils peuvent dès lors faire usage, en toute confiance, des produits qui leur sont fournis.

Les appareils d'épreuves ont reçu de notables perfectionnements sous diverses formes. Il est devenu facile de déterminer très exactement la charge limite d'élasticité, celle qu'il importe le plus de connaître, puisqu'elle sert de base à l'établissement des coefficients de sécurité admis dans les calculs de résistance pour l'étude des constructions métalliques. Jusqu'à présent, les cahiers des charges pour les fournitures spécifient les charges limites de rupture et l'allongement correspondant; la charge limite d'élasticité n'est guère inscrite qu'avec une très large marge, eu égard à la difficulté que l'on éprouve à la mesurer d'une manière exacte. Peut-être, avec les nouveaux instruments de précision, récemment construits sera-t-il maintenant possible de prendre pour base certaine cette limite élastique?

Après cet aperçu rapide de toutes les parties qui ont fixé l'attention du métallurgiste à l'Exposition de 1889, il est possible de définir dans ses grandes lignes la marche suivie dans l'exposé de la présente étude.

1^{re} partie : *Examen des procédés nouveaux; description sommaire des appareils.*

2^e partie : *Examen des produits. (Propriétés générales).*

PREMIÈRE PARTIE

I. — La Fonte.

Définitions. Fonte d'affinage. Fonte de moulage.

La fonte est un demi-produit ou un produit marchand. C'est un demi-produit, quand elle est de la qualité convenable pour la fabrication des fers et des aciers; elle porte le nom de *fonte d'affinage*.

Quand elle est préparée pour la fabrication des pièces moulées, la fonte est de la qualité spéciale dite *fonte de moulage*.

C'est alors un produit marchand.

Depuis 1878 la production des fontes a été augmentée d'une façon fort appréciable, le tonnage total est passé de 1 521 000 tonnes à 1 722 000 tonnes.

Le tableau ci-dessous reproduit d'après les chiffres statistiques du « *Comité des Forges de France* », les fluctuations dans la production totale de la France, pendant les années 1877 à 1889 inclusivement.

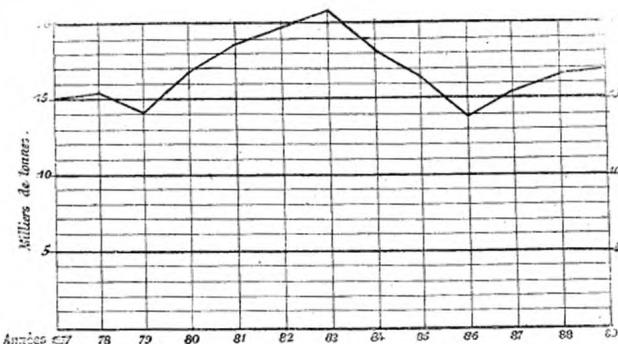
Ces chiffres présentent sous une forme succincte, le résumé du développement de la métallurgie de la fonte, matière première de la fabrication des fers et des aciers, pendant la période considérée.

Un graphique fait ressortir ces résultats.

Production totale en France.

Années 1877 — 1.506.000	Années 1881 — 1.871.000
1878 — 1.521.000	1885 — 1.630.000
1879 — 1.400.000	1886 — 1.516.000
1880 — 1.725.000	1887 — 1.567.000
1881 — 1.886.000	1888 — 1.613.000
1882 — 2.039.000	1889 — 1.722.000
1883 — 2.069.000	

La répartition de la production entre la fonte d'affinage et la fonte de moulage est restée sensiblement la même ; la fonte de moulage représente environ 1/4 du tonnage total.



Il convient de signaler le développement considérable de la production de la fonte dans le bassin métallurgique de Meurthe-et-Moselle, au détriment des autres régions.

ANNÉES	PRODUCTION TOTALE de la fonte	PRODUCTION DE MEURTHE-ET-MOSELLE		OBSERVATIONS
		En tonnes	% de la produc- tion totale.	
1874	1.423.307	226.905	16	
1886	1.507.850	735.684	48	
1889	1.722.480	940.719	54	

En résumé, en 1889, le département de Meurthe-et-Moselle représente pour la France la moitié du tonnage total : il formait seulement 16 % en 1874.

Cet accroissement si rapide est dû entièrement à l'apparition en 1880 du procédé Thomas Gilchrist pour la fabrication des fers fondus dits déphosphorés, fabrication qui permet l'emploi des fontes obtenues au moyen des minéraux oolithiques phosphoreux si abondants en Lorraine ;

La planche, qui a été établie par les soins de M. X. Rogé, président de la Chambre de Commerce de Nancy, montre la marche ascendante de la production de la fonte dans le département de Meurthe-et-Moselle de 1874 à 1886.

FABRICATION DE LA FONTE

Matières premières.

Minérais. — Suivant les régions métallurgiques, suivant aussi la nature de la fonte à obtenir, on emploie en France des minéraux étrangers, des minéraux indigènes ou des minéraux artificiels (Scories).

A. Minéraux étrangers. — En général, les minéraux importés renferment une notable proportion de fer et sont exempts de matières impures, notamment de soudure et de phosphore.

Les *minéraux oxydulés*, constitués par l'oxyde de fer magnétique, viennent de l'Algérie et de la Sardaigne. Le haut-fourneau de Firminy notamment est alimenté depuis de longues années avec du fer oxydulé provenant des gisements de Mokta-el-hadid.

Les *minéraux peroxydés anhydres* de Bilbao sont consommés plus spécialement par les usines situées sur le littoral de l'Océan atlantique et du Pas-de-Calais, c'est-à-dire par les hauts-fourneaux du Boucau, de St-Nazaire, d'Isbergues, de Denain et d'Anzin (cette dernière usine consomme annuellement environ 180 000 tonnes de minéral de Somorrostro).

Les célèbres et anciennes mines de l'île d'Elbe fournissent encore quelquefois des *fers oligistes* aux fourneaux du midi de la France.

Le tableau ci-joint présente la composition de ces divers minéraux.

Composition des Minéraux étrangers.

	MOKTA	BILBAO	ILE D'ELBE
Peroxyde de fer	81.16	78.03	82.57
Protoxyde de fer	11.06	»	2.83
Protoxyde de manganèse. . .	»	0.85	»
Manganèse métallique . . .	1.67	»	»
Silice.	2.50	5.91	7.50
Alumine.	0.60	0.21	1.20
Chaux	traces	3.61	»
Magnésie	»	1.65	0.09
Soufre	»	traces	0.13
Phosphore	traces	0.02	0.01
Cuivre	0.20	»	»

Le Boucau indique les teneurs principales suivantes pour le minéral de Bilbao qu'il emploie : Fe (42 à 60 %), Mn (4 % à 5 %), S et Ph (traces).

Les mines de Somorrostro (Espagne) sont exploitées par partie par un syndicat d'usines françaises et belges, connu sous le nom de Société franco-belge. Elle avait une exposition très remarquable dans la galerie espagnole, comprenant les plans de mines, les modèles de wagons de transport par chaîne flottante sur plans inclinés, et des engins de chargement des minerais dans les bateaux à Bilbao.

L'abattage se fait à ciel ouvert par gradins de 10 à 15 mètres de hauteur.

Les plans automoteurs sont actionnés par des treuils à tambour conique avec régulateur à grandes ailes, munis de freins à contrepoids.

Le tableau ci-après permet d'apprécier les principales conditions de cette exploitation.

	1 ^{re} place	2 ^e place
Longueur totale des plans inclinés.	674 ^m	355 ^m
Altitude de la concession.	290 ^m	
Altitude de la gare du chemin de fer	40 ^m	
Pente des plans inclinés (moyenne).	30 %	50 %
Nombre de wagonnets par train	12	8
Poids brut par train	36 ^t	24 ^t
Poids de minerai par train	24	16 ^t
id. par jour	2600 ^t	2000 ^t

L'ensemble de la voie exploitée par chaîne flottante est de 3 kilomètres avec une pente variable jusqu'à 30 %. On doit ralentir la descente au moyen de freins.

La vitesse de la chaîne est de 1^m,50 à 2 mètres par seconde.

Le prix de revient du minerai à bord est de 3 fr. 21 par tonne.

B. Minérais Indigènes. — Les minérais français sont de nature et de composition très diverses.

Le minerai d'Allevard est le *fer carbonaté spathique*, gisements de puissants filons dans le schiste talqueux, près des grès, terrains exempts de fossiles. Le minerai ne renferme pas de phosphore, mais la présence du soufre exige une préparation spéciale, c'est-à-dire un grillage suivi de macération et de lavage.

L'analyse du minerai de cette provenance dite « Rive blanc » qui, par son abondance, est la plus intéressante parmi les minérais d'Allevard, donne les résultats ci-après :

Eau de combinaison	10.687	{	matières volatiles.	40.487
Acide carbonique	29.800			
Oxyde de fer	48.147		Fer métallique	37.448
Oxyde rouge de manganèse	3.025		Mn id.	2.177
Silice.	4.850			
Chaux	2.500			
Magnésie	0.567			
Acide sulfurique	0.375			
				8.312
	99.395			

Les *minérais en grains* du Berry sont des fers peroxydés hydratés ; ils alimentaient autrefois les nombreux petits hauts-fourneaux du centre de la France ; leur composition est la suivante :

Fer métallique	41.08
Silice	11.95
Alumine	4.45
Chaux.	2.55
Soufre.	
Phosphore	traces.

L'exploitation de ces minérais, interrompue depuis plusieurs années, reprend actuellement quelque activité.

Dans le bassin géologique des basses Cévennes, aux environs d'Alais, se trouvent de nombreux gisements de minérais de fer en roches peroxydés anhydres ou hydratés. Les analyses ci-dessous sont celles des minérais de cette région, consommés par les forges d'Alais.

	I	II
Fer métallique	39.00	— 46.50
Mn id.	0.25	— 0.30
Silice.	10.00	— 13.00
Chaux	10.00	— 1.00
Alumine	2.80	— 3.00
Soufre	0.10	— 0.15
Phosphore	0.04	— 0.04

Les *minérais oolithiques et phosphoreux* de l'Est (qui sont également du peroxyde de fer hydraté), sont de beaucoup les plus employés.

Ils forment sur le lias, à la base du terrain oolithique, de puissantes couches de minérais disposées suivant un demi-cercle, qui traverse la Lorraine et finit en Belgique, en passant par le duché du Luxembourg.

Plusieurs des Sociétés métallurgiques de cette région ont fourni, sur le gisement et la nature de ces minérais, des renseignements fort précieux qui seront reproduits ci-après.

La *Société des Forges et aciéries du Nord et de l'Est* possède 3 concessions de mines de fer :

Chavigny
Houdemont
Lavaux

La concession de Chavigny est seule exploitée en ce moment.

L'exploitation de la mine de fer de Chavigny est située à Ludres, à 8 kilomètres de Jurville.

Les couches de minéral, qui la constituent, sont au nombre de trois ; la couche

supérieure accuse une très faible teneur en fer (22 %) et n'est pas exploitée quant à présent. Les diverses couches sont superposées aux marnes et aux grès supraliasiques et se présentent avec la coupe moyenne suivante :

MINÉRAL		
Couche supérieure.	1 ^m ,50	
ROCHE MARNEUSE	1 ^m ,50	
MINÉRAL		
Couche moyenne.	1 ^m ,50	
ROCHE MARNEUSE	0 ^m ,60	
MINÉRAL		
Couche inférieure.	2 ^m ,20	
MARNES ET GRÈS SUPRALIASIQUES		

La couche moyenne, où l'exploitation est très développée, présente une régularité d'inclinaison et de puissance très remarquables.

Le tableau suivant donne l'analyse moyenne du minerai des deux couches exploitées.

	Couche moyenne	Couche inférieure
Silice.	10.10	14.50
Alumine.	5.00	6.25
Chaux	8.50	6.00
Magnésie	1.00	0.75
Fer métallique	34.00	31.00
Acide phosphorique .	1.80	1.60

La concession est traversée, perpendiculairement au plan des failles, par une galerie principale de roulage, de laquelle partent des galeries latérales qui s'étendent jusqu'aux chantiers d'exploitation. Il y a actuellement 14 kilomètres de galeries dans cette mine.

La Société Ferry, Curicque et Cie a donné sur les mines de Micheville, qui lui appartiennent, les renseignements ci-après :

On distingue 3 couches de minerais :

1^o La couche supérieure, dite couche calcaire, d'une hauteur de 2^m,50, qui donne un minéral calcaireux, peu riche en fer.

2^o La couche inférieure, dite conche grise, d'une hauteur de 1^m,50, donnant un minéral relativement riche, mais fort siliceux.

3^o La couche intermédiaire, dite couche rouge, avec 2 mètres de puissance, c'est celle qui est exploitée en grand.

Ce minéral est celui qui convient le mieux et qui donne les meilleurs résultats.

Le tableau ci-dessous reproduit l'analyse moyenne de ces 3 couches :

	Couche calcaire	Couche rouge	Couche grise
Silice.	13.40	13.23	15.85
Alumine.	6.70	7.07	6.87
Chaux	18.80	7.24	4.77
Fer métallique.	27.02	39.80	40.80
Acide phosphorique	1.16	1.46	1.45

Les hauts-fourneaux de Longwy emploient les minéraux phosphoreux des concessions.

d'Hussigny	Ces minéraux contiennent de 38 à 40 % de fer, 9 à 13 % de Si O ₂ , 0,5 à 0,8 de Ph.
Herserange	
Godbrange	
Mont Saint-Martin	
La Sauvage	

Dans le pavillon du syndicat des forges du Nord, figurait un modèle en relief, très étudié et bien rendu de la mine de fer connue sous le nom de la Côte-Rouge, près Hussigny (Meurthe-et-Moselle).

Cette mine est exploitée en commun par la Société des forges de Denain et Anzin, et par la Société des hauts-fourneaux de Maubeuge.

Les hauts-fourneaux de Denain et Anzin consomment annuellement environ 120 000 tonnes de minéraux phosphoreux de Godbrange, Côte-Rouge, St-Rémy.

La Société de Châtillon et Commentry possède, à Villerupt, des hauts-fourneaux pour fabriquer des fontes phosphoreuses destinées à l'affinage pour fer ou pour acier.

En résumé, la Lorraine française est devenue depuis 1880, surtout depuis la fabrication du fer fondu (procédé Thomas et Gilchrist), un grand centre d'exploitation des minéraux peroxydés phosphoreux.

L'usine de Pompey exploite la concession de Ludres qui donne des minéraux de 3 catégories principales.

	CALCAIRE FERRUGINEUX	COUCHE MOYENNE	COUCHE INFÉRIEURE
Silice.	9.00	6 à 10	14 à 18
Chaux	25.00	7 à 10	4 à 8
Alumine.	6.00	7 à 13	8 à 9
Fer métallique	25.00	35 à 38	34 à 37

Ces minéraux sont facilement fusibles.

Parmi les minéraux oxydés, il faut citer les minéraux exposés par les forges de Champagne comme provenant de Pont-Varin-Vassy, et dont la composition est la suivante :

	PONT-VARIN		SAINT-JEAN	
	Cailloux	Lavé	Calcaire	Grès
Perte au feu	13.50	13.90	21.20	13.20
Silice.	15.00	12.70	7.30	11.22
Alumine.	17.70	7.17	7.35	10.35
Oxyde de fer	57.40	64.38	52.50	60.00
Oxyde de manganèse . .	0.80	0.86	—	—
Chaux	0.30	0.25	9.90	3.30
PbO_3	0.62	0.55	1.45	1.50
SO_3	0.12	0.88	—	—
Fer métallique	40.18	40.18	36.75	42.00

C. Minéraux Artificiels. — Les scories de forge, scories de réchauffage du fer ou de l'acier ; laitiers de puddlage, laitiers des convertisseurs et des fours à sole, etc., sont dans bien des cas, utilisés avec avantage comme matières additionnelles et passés comme tels dans le haut-fourneau concuremment avec les minéraux, pour la fabrication des fontes d'affinage et quelquefois même des fontes de moulage.

Les analyses suivantes présentent la composition de quelques-unes de ces matières additionnelles.

	Laitier de puddlage en fer fort	Scorie de réchauffage		Laitiers de Bessemer ou de four Martin	Laitier basique convertisseur ou four	
		du fer	de l'acier		Décrassage	Fin de coulée
Fe	60.0	48.0	48.0	12.0	10.0	10.0
Mn	2.0	0.2	1.0	3.0	10.0	15.0
CaO	»	»	»	40.0	40.0	»
SiO ₂	12.0	30.0	30.0	15.0	12.0	55.0
PhO ₃	1.5	0.6	0.2	8.0	7.0	0.2

Fondants.

La castine et l'argile sont les matières que le fondeur ajoute, quand il y a lieu, dans les charges du haut-fourneau, pour former le lit de fusion.

Les minerais et les cendres du combustible fournissent habituellement des proportions suffisantes d'alumine et de silice. La chaux est ajoutée sous forme de castine que l'on rencontre abondamment et presque toujours à portée des hauts-fourneaux.

La castine la plus pure est toujours celle dont l'emploi est le plus certain.

Ainsi, à l'usine du Boucau, on emploie la castine de la vallée de l'Adour, qui contient 52 % de chaux et 1 % de fer.

Combustibles.

1^o *Charbon de bois.* — Dans le haut-fourneau, il n'est plus fait emploi du charbon de bois que dans les quelques usines qui ont besoin de fontes spéciales, par exemple pour la fabrication des moules de grande résistance, ou bien encore pour la fabrication des aciers fins à outils.

En France la production de la fonte au bois représente moins de 1 % de la production totale de la fonte.

En 1886, la fabrication de la fonte au bois se répartissait comme suit :

Isère	210 ^r	15 ^r
Gironde	480	460
Landes	3.846	1.679
Pyrénées-Orientales .	4.022	»
Haute-Saône	1.792	1.047
	<u>11.080</u>	<u>3 201</u>
		14.281

Cette industrie garde donc une faible activité qui sera conservée encore, car elle a sa raison d'être par la supériorité des produits qu'elle fournit, et aussi de ce fait que certains grands propriétaires de forêts ne peuvent trouver un autre emploi de leurs bois taillés.

2^o *Coke*. — Le coke est d'un emploi général en France ; il doit présenter pour remplir le but, en métallurgie, plusieurs propriétés particulières tant au point de vue physique qu'au point de vue chimique.

Le coke doit être compact pour résister à l'écrasement sous le poids énorme des matières, surtout dans les fourneaux de grande capacité.

Il doit, autant que possible être privé d'humidité.

La proportion de cendres est très variable ; elle est rarement inférieure à 5 %.

Elle s'élève quelque fois jusqu'à 20 %, teneur cependant trop forte pour le coke métallurgique. La puissance de cet agent réducteur se trouve alors affaiblie de 1/5 par rapport au carbone pur et, d'autre part, les cendres formant encore 1/5 du poids total, peuvent selon leur nature, entraîner l'irrégularité de la marche du fourneau. Aussi n'est-il plus fait usage que de charbons lavés pour la fabrication du coke de bonne qualité.

La composition des cendres en moyenne peut être estimée comme suit :

Silice	50 à 60 %
Alumine	25 à 30
Chaux et magnésie. . . .	8 à 15
Oxyde de fer et pyrite .	4 à 6
PhO ⁵	0 à 1
S et divers	0 à 1

Le coke employé ou Bouc au renferme 10 % de cendre et 0,5 % de S.

La carbonisation de la houille est effectuée dans des fours spéciaux de divers types : (Four Appolt, four Belge, four Smet, four Coppée, four Bauer, etc.).

Le four Bauer (planche 1-2), est en usage au Creusot.

Les houilles broyées et mélangées convenablement sont déchargées par les ouvertures E dans les compartiments F. Sous l'influence de la chaleur, les gaz distillent et se dégagent par les ouvertures g ; de là ils se rendent dans la chambre G, placée entre les compartiments F, où ils rencontrent de l'air arrivé par les ouvertures A et A', et s'enflamment ; ils se rendent alors en suivant le parcours en chicanes G, au caniveau O qui les ramène dans les galeries S pour chauffer la sole des fours par dessous ; de là ils se rendent par O' dans les chambres latérales G¹ et G² puis dans les chambres de face G³ ; ils se dégagent ensuite dans les cheminées réglées par les registres R'R'.

Les ouvertures a sont destinées à ménager des rentrées d'air supplémentaires, elles aboutissent à la galerie M établie sur toute la longueur du massif ; de là les gaz redescendent dans les galeries M, régnant également sur toute la lon-

gueur et remontent par les canaux dans la circulation. Les galeries M² ne servent qu'à la mise en marche à l'aide d'un gazogène provisoire établi à l'extrémité de chaque groupe. Le défournement se fait en D.

Durée de la combustion.	24 heures
Rendement.	70 à 71 %.
Chargement d'une chambre	1800 kil.
Composé de houille grasse	60 %.
— houille maigre	40 %.

Les hauts-fourneaux français, dans le réseau situé près des frontières et sur le littoral, importent d'Angleterre, d'Allemagne et de Belgique une notable partie du coke nécessaire à leur marche.

Ce fait est d'autant plus regrettable que l'industrie française se trouve ainsi privée de la production d'une quantité intéressante de sous-produits qui trouveraient facilement leur emploi dans la fabrication de matières colorantes et autres dérivés des goudrons de houille.

Haut-Fourneau. — Dimensions et dispositions générales (1).

Depuis que le coke a remplacé le charbon de bois pour le traitement des minéraux, la capacité des hauts-fourneaux a été agrandie de plus en plus ; il en existe actuellement qui mesurent 25 mètres de haut avec une capacité totale de 700^{m₃}.

L'augmentation des dimensions du fourneau et l'emploi de l'air fortement chauffé sont deux moyens de diminuer la consommation du combustible. L'augmentation des dimensions du fourneau est rationnelle. Elle permet de tirer parti de la chaleur contenue dans le charbon, et retardé la combustion de celui-ci dans les régions supérieures de la cuve. Le fondeur doit réaliser autant que possible ce *desideratum* : empêcher la zone de réduction de dépasser le niveau où cette réduction peut s'opérer exclusivement par l'oxyde de carbone. L'importance de ce fait résulte des nombreuses expériences de Sir L. Bell relatives à l'action des oxydes de carbone sur l'oxyde de fer à diverses températures. Néanmoins, on ne doit pas non plus tomber dans l'excès inverse qui consisterait à construire des fourneaux de dimensions de plus en plus grandes. Sir Bell a reconnu que, dans le Cleveland, il était inutile de donner plus de 24 mètres de hauteur aux fourneaux au coke.

(1) Voir « *Les Principes de la Métallurgie du fer et de l'acier* » par Sir L. Bell. Traduction de M. Hallopeau, et la note de M. Mahler y relative.

La production d'un haut-fourneau n'est pas proportionnelle, tant s'en faut, à sa capacité. Nulle part dans le Claveland, un fourneau de 700^{m³}; ne produit 2 fois autant de fonte qu'un fourneau de 350^{m³}; d'autre part, les dimensions transversales sont subordonnées à la bonne descente des charges et à l'ascension régulière des gaz.

L'air chaud agit à haute température (600°) comme il a été indiqué plus haut, en augmentant le pouvoir calorifique du charbon ; il est en outre très efficace pour rendre bien nettes les différentes zones de combustion dans le fourneau.

Les dépenses qu'il faut faire pour l'installation des appareils spéciaux sont atténuées par une économie considérable dans la consommation.

Ainsi, en portant la température de l'air de 150 à 600°, on brûle 1000 kilogrammes de coke dans le haut-fourneau lorsqu'on en aurait brûlé avec l'air froid près de 2 000 kilogrammes ; en poussant la température de l'air jusqu'à 800 et 900°, les bénéfices sont moins sensibles, mais sont encore d'une réelle importance. Toutefois, Sir L. Bell a établi que dans les petits fourneaux de 14 ou 15 mètres, au bois ou au coke, il n'y a pas lieu d'employer de l'air à une température supérieure à celle de 300 ou 400°. Dans les grands appareils de 24 mètres, un surchauffage jusqu'à 900° a donné, au contraire, de bons résultats. Des difficultés pratiques, comme la construction des conduites, des difficultés théoriques, comme le maintien de la composition convenable des gaz au gueulard, s'opposent à l'emploi d'une température plus élevée pour l'air.

Dans le bassin métallurgique de Meurthe-et-Moselle où la fabrication de la fonte a pris depuis 1878 un développement si rapide, on peut trouver à ce sujet des points de comparaison très intéressants entre les divers hauts-fourneaux marchant avec les mêmes minerais.

On est arrivé⁽¹⁾ à cette conclusion qu'un haut-fourneau de 20 mètres de hauteur, avec un diamètre de 2 mètres au creuset, 6 mètres au ventre et de 4 mètres au gueulard, correspondant, pour les minerais traités dans l'Est, à une production de 100 tonnes de fonte environ par 24 heures, réunissait les conditions d'une marche pratique et économique ; ces conditions ont été approuvées par le Congrès tenu par la Société de l'Industrie minérale en septembre 1887, dans le département de Meurthe-et-Moselle.

En fait, la production journalière des hauts-fourneaux s'est accrue depuis quelques années dans une proportion considérable.

Les deux hauts-fourneaux des aciéries d'Isbergues et celui des aciéries de Firminy qui consomment des minerais de choix, produisent jusqu'à 125 tonnes de fonte grise.

Les grands-hauts-fourneaux modernes de l'Est marchent avec des minerais phosphoreux et pauvres ; ils produisent 90 tonnes par 24 heures en fonte de moulage. — 120 tonnes en fonte d'affinage.

1. Bresson. Encyclopédie chimique de M. Frémy (Fonte et Fer) V^e Dunod 1888.

Dimensions et production de quelques hauts-fourneaux français.

Nature des produits obtenus

Usines du Littoral.

Isbergues (1). — L'usine possède deux hauts-fourneaux qui ont 350 mètres cubes de capacité avec 20 mètres de hauteur, 4^m,50 au gueulard, 6 mètres au ventre et 2^m,25 au creuset.

La production moyenne par haut-fourneau est de 120 tonnes par 24 heures.

Le vent est chauffé à 750° par 12 appareils Withwel de 7 mètres de diamètre et de 12 mètres de hauteur ; sa pression est de 22 centimètres de mercure. — Les tuyères au nombre de 4, ont un diamètre de 15 centimètres.

Les minerais employés proviennent exclusivement de Bilbao (Espagne) ; la grande pureté de ces matières permet d'obtenir une fonte à acier dont la teneur en soufre ne dépasse pas 0,04 % et celle en phosphore 0,05 %.

La castine très pure provient des carrières de la Vallée-Heureuse, près de Boulogne-sur-Mer.

Usines du groupe de l'Est.

Jœuf. — L'usine possède 3 hauts-fourneaux qui ont sensiblement les mêmes dimensions que ceux d'Isbergues et produisent chacun 100 tonnes par jour ; ils sont à enveloppe de tôle. Les appareils à chauffer le vent sont du système Cowper.

Les minerais proviennent des exploitations de Jœuf et de Moyeuvre ; on y ajoute une castine ferrugineuse et, en vue du procédé Thomas, de 5 à 6 % de minéral manganésifère de Nassau à 20 % de manganèse.

La fonte renferme en moyenne de 0,7 à 0,8 % de silicium, 1,5 de manganèse et de 1,5 à 2 % de phosphore.

La fonte est de couleur gris-truité, les laitiers sont gris noirâtre.

Micheville-Villerupt (2). — Les hauts-fourneaux de Micheville (Société Feray-Curicque et C°), sont les plus grands de la région, ils sont adossés à une colline au sommet de laquelle se trouve la gare de Villerupt ; de grands murs de soutènement maintiennent les flancs escarpés du coteau.

Le minéral et le combustible arrivent au sommet de chaque gueulard par un pont de service pour partie et par un monte-charge pour le complément.

1. Knab (l'Acier), chez Steinhä, 1889.
2. Génie civil 1889.

Fourneau n° 1. — Dimensions principales :

Hauteur	20 mètres
Diamètre du creuset.	2 »
— du ventre	2,50
— du gueulard	5,25
Capacité	450 mètres cubes

Ce fourneau a été mis au feu en mars 1878.

Pendant les premières années, il donna une production journalière de 80 à 90 tonnes de fonte de moulage. En mars 1881, l'allure fut transformée et la production fut portée à 120 tonnes de fonte d'affinage par jour.

Par suite de la crise métallurgique de plus en plus intense, il devint nécessaire de réduire la production et ce fourneau n° 1 fut éteint en août 1884. Depuis il a été reconstruit en briques de Marcinelle (Belgique), il est actuellement soufflé par 4 tuyères avec du vent chauffé par 5 appareils Withwell de 15 mètres de hauteur.

Fourneau n° 2. — Mis en feu en 1881, il marcha jusqu'à novembre 1882 en fonte de moulage avec une production journalière de 80 à 90 tonnes. Depuis il a marché en fonte d'affinage, avec une production atteignant jusqu'à 130 tonnes par jour. En août 1888, il a été mis hors feu pour être réparé, puis remis en activité en janvier 1889.

Ce fourneau a les dimensions suivantes :

Hauteur	20 mètres
Diamètre du creuset	2 20
— du ventre	6 75
— du gueulard	5 50
Capacité	475 mètres cubes

Il se compose d'une tour tronconique en maçonnerie de briques rouges, portée sur colonne et fortement cerclée. Elle enveloppe la garniture réfractaire et supporte les appareils du gueulard et du pont.

A l'origine, devant produire jusqu'à 130 tonnes de fonte d'affinage, le chargement se faisait d'une manière à peu près ininterrompue; il marchait à gueulard ouvert, tout en recueillant les gaz profondément comme il est indiqué ci-après :

1° Par une trémie en forte tôle, descendant à 3 mètres dans le fourneau; elle avait pour diamètre extérieurement en haut 4^m,17 et en bas 4^m,70; elle distribuait les gaz par 4 conduites latérales de 1 mètre de diamètre.

2° Par un tuyau central de 1^m,50 de diamètre qui descendait aussi de 3 mètres dans les charges, et s'élevait au-dessus du gueulard.

Tous ces tuyaux aboutissaient à un conduit collecteur en tôle de 1^m,75 de diamètre, muni de clapets pour le nettoyage.

Mais depuis la construction de la fonderie qui a été annexée à ces hauts-fourneaux, le fourneau n° 1 est muni d'une prise de gaz du type Langen, au moyen de laquelle on peut recueillir la totalité des gaz.

Le soufflage s'opère par 4 tuyères en cuivre de 1^m,35 de long et 0^m,18 de diamètre intérieur au nez placées dans le creuset à un intervalle de 1^m,90.

Combustible. — Les combustibles employés à Micheville sont de diverses provenances :

1^o Du nord de la France ;

2^o De la Belgique ; une partie est fournie par les fours à coke que la Société Ferry-Caricque possède à Val Saint-Lambert, près Liège.

3^o De l'Allemagne (cokes de la Ruhr).

Fontes et laitiers. — Les analyses des laitiers et des fontes sont les suivantes :

	LAITIERS	
	de fonte de moulage	de fonte d'affinage
Silice	36.00	36.60
Alumine	16.70	17.85
Chaux.	42.40	38.44
Fer.	1.38	2.60

	FONTES	
	Moulage n° 3	Blanche d'affinage
Si.	2.40 à 2.75	0.30 à 0.60
S	0.02 à 0.05	0.25 à 0.50
Ph	1.60 à 2.00	1.60 à 2.00
C combiné . . .	0.700	2.75
Graphite.	2.500	»

Lits de fusion. — Le rendement du lit de fusion est de 30 % pour la fonte de moulage, avec une consommation de coke de 1 250 à 1 350 kilogrammes par tonne de fonte. Il est de 32 % pour la fonte d'affinage avec une consommation de coke de 1 000 à 1 050 kilogrammes à la tonne de fonte.

Machines auxiliaires. — Chaque fourneau possède ses machines distinctes savoir :

Une machine verticale soufflante à 2 cylindres, sortant des ateliers de Seraing conforme à celle exposée dans le Palais des Machines, et du type compound de la plus grande puissance. Dans le premier cylindre de 0^m,850 de diamètre, la vapeur agit à haute pression; dans le second de 1^m,200 de diamètre, elle agit par détente et par condensation.

Le cylindre soufflant, placé au-dessus, a 3 mètres de diamètre. La course commune est de 2^m,440.

Le volant a un diamètre de 7^m,200 et pèse 18 000 kilogrammes.

La machine peut faire 15 tours à la minute avec une pression de 3 kilogrammes ce qui exige une puissance de 260 chevaux.

Elle produit 388 mètres cubes d'air à la pression de 250 millimètres de mercure; l'air froid est recueilli dans un réservoir en tôle de 2 mètres de diamètre.

La machine porte trois pompes accessoires :

Une pompe alimentaire de 0^m,140 de diamètre, une pompe de 0^m,250 pour les tuyères et une pompe de puits de 0^m,330 ;

Deux autres pompes élèvent l'eau dans un réservoir placé en-dessus du bâtiment des machines, pour alimenter la circulation d'eau froide autour des tuyères et autres appareils;

Une machine à câble conduit le monte-chARGE qui peut monter 2 000 kilogrammes de poids utile par course. Le minerai est concassé à la machine.

Toutes ces machines sont alimentées, pour chaque fourneau, par un groupe de six chaudières horizontales chauffées au gaz; chacune d'elles se compose d'un corps cylindrique de 1^m,50 de diamètre pour 12 mètres de longueur avec tôles de 14 millimètres d'épaisseur et d'un bouilleur de 0^m,60 de diamètre et 10 mètres de longueur en tôles de 10 millimètres; leur capacité respective est de 32 mètres cubes, avec une surface de chauffe de 77 mètres carrés.

Chaque groupe de chaudières est muni d'une cheminée de 52 mètres de hauteur, dont le diamètre extérieur au sommet est de 1^m,80. Une batterie de six appareils à air Withwell, est destinée au fourneau n° 1, et une de quatre, que l'on a transformée en Cowper de 20 mètres de hauteur, au fourneau n° 2. Ces appareils avaient 6^m,72 de diamètre et 17 mètres de hauteur. Les appareils Withwell du fourneau n° 1 sont également transformés en Cowper. Les deux cheminées, pour le tirage, ont 65 mètres de hauteur et 2^m,50 de diamètre intérieur au sommet.

Un monte-chARGE amène au gueulard les minerais du Luxembourg qui arrivent au niveau inférieur; quant au minerai de Micheville, il y parvient par une voie placée à 5 mètres en contre-haut; les wagonnets le déversent directement dans la trémie des concasseurs, dont les mâchoires le débitent en morceaux ayant au plus 8 centimètres de côté.

Enfin, le troisième niveau, à l'extrémité des voies de service de Longwy à Villerupt, relie l'usine à cette dernière gare à 7^m,50 au-dessus des gueulards. Un monte-chARGE y élève les fontes brutes, moulées et ajustées, destinées au commerce.

Les cokes français et Belges viennent, par des voies suspendues, se déverser dans une série de vastes caisses ouvertes, en maçonnerie sur arcades; mais comme cette opération donne un grand déchet, on conduit autant que possible le coke du wagon directement au haut-fourneau, sans passer par un autre intermédiaire que celui du wagonnet; les caisses servent donc surtout de réserve, elles sont prévues pour l'emmagasinage de 2 500 tonnes. On peut les vider au moyen de

trappes mobiles s'ouvrant à hauteur du dessus des wagonnets pour le service des gueulards.

Longwy. — Cette usine, avec quatre hauts-fourneaux produit, par jour, 275 tonnes de fontes Thomas qui présentent la composition moyenne suivante :

Si	0 35	à	0 40
Mn	1 80		
Ph	2 »	à	2 25
S.	0 03		

Jarville. — La Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est possède à Jarville, quatre hauts-fourneaux ; leurs dimensions sont les suivantes (¹) :

	H.F. n° 1	H.F. n° 2	H.F. n° 3	H.F. n° 4
Hauteur	15.50	15.50	17.00	21.00
D au creuset.	2.00	2.00	2.25	2.25
D au ventre.	6.00	6.00	6.00	5.50
D au gueulard	3.00	4.00	4.00	4.00
Capacité.	230 ^{m3}	230	260	300
Production en fonte blanche d'affinage par 24 heures.	75 t	75 t	85 t	100 t

Ces quatre hauts-fourneaux travaillent à gueulard ouvert ; ils sont alimentés par des élévateurs établis dans des tours en maçonnerie et activés par des machines à vapeur.

Chacun de ces quatre fourneaux possède sa machine soufflante verticale du type de la Société Cockerill de Seraing. Deux de ces machines développent 80 chevaux et peuvent produire chacune 100 tonnes de fontes blanches d'affinage ou de fontes Thomas ; les deux autres développent chacune 180 chevaux et peuvent suffire à la production de 150 tonnes des mêmes fontes par machine.

Les appareils à air chaud des hauts-fourneaux n°s 1 et 2 sont des appareils en fonte système Detombay. Il y a trois appareils par fourneau et l'air est amené à la température de 500°.

Le haut-fourneau n° 3 est muni de quatre appareils à air chaud en fonte, système à pistolets, qui chauffent aussi l'air à 500°.

Le haut-fourneau n° 4, de construction récente est entouré de quatre appareils Cowper-Siemens, ayant 7 mètres de diamètre et 18^m,50 de hauteur ; ils permettent d'amener l'air à 750°.

1. Les produits exposés par la Société de Jarville figuraient dans le pavillon du Syndicat des forges du Nord.

Pompey. — Les 2 hauts-fourneaux de l'Usine de Fould-Dupont marchent en allure de moulage et d'affinage ; ils peuvent produire 110 tonnes chacun par 24 heures.

Il convient de signaler encore les hauts-fourneaux de Pont-à-Mousson où l'on coule, en première fusion un grand tonnage de tuyaux, etc.,

Région du Centre

Firminy. — Dans cette usine on traite des minéraux algériens de Mokta-el-Hadid et des minéraux espagnols de la Fragua. On peut produire avec un seul haut-fourneau de 200 mètres cubes de capacité, selon la marche adoptée.

110 à 120 tonnes de fonte ordinaire par 24 heures

75 à 85	»	» fine
35 à 50	»	» Spiegel
10 à 15	»	» Silico-Spiegel à 25 % de Si.

Allevard. — Ici, le fondeur s'attache plutôt à la qualité qu'à la quantité de fonte produite. On travaille avec des minéraux, fondants et combustibles d'une grande pureté et avec un lit de fusion calcaire en vue d'obtenir des fontes dont l'analyse suivante, correspondant à un échantillon de fonte grise, donne une idée de la composition.

C graphilique	2 809
C combiné	0 530
Si	2 062
Mn	2 988
Ca	0 214
Mng.	0 044
Ph	0 048
S.	0 006
Cu	traces.
As	néant.
Fer (p. diff.)	<u>91 299</u>
	100 000

Marche des Hauts-fourneaux. — Produits obtenus.

La marche des hauts-fourneaux est aujourd'hui bien connue et la conduite de ces appareils est devenue pour l'ingénieur facile et sûre. Les lits de fusion varient, naturellement, avec la nature des fontes que l'on se propose d'obtenir.

Dans les tableaux suivants on trouvera la composition des principales variétés de fontes employées par l'industrie métallurgique.

Il importe de mentionner le soin tout particulier avec lequel les usines ont classé leurs fontes en tenant compte surtout de la composition chimique de ces matières.

Il faut constater en effet, que maintenant la marque d'origine du produit n'est plus une estampille suffisante pour le faire accepter partout sans conteste. Il faut, encore, ajouter la composition chimique ou tout au moins la teneur des éléments les plus importants du métal.

Fontes de moulage.

Elles sont très carburées, grises et riches en silicium. Une teneur élevée en phosphore ne conviendrait plus pour l'emploi ; mais une teneur modérée donne de la fluidité à chaud, tout en augmentant la fragilité à froid.

Les fontes de moulage sont classées par numéros ; les analyses suivantes donnent la composition de divers numéros de fontes de moulage des hauts-fourneaux.

du Boucau
d'Alais
de Montluçon
de Micheville

Fontes du Boucau.

	C	Si	S	Ph	Mn
Moulage n° 1.	3.90	2.20	0.01	0.07	1.45
» n° 2.	3.60	1.70	0.01	0.07	1.35
» n° 3.	3.20	1.50	0.02	0.07	1.30
» n° 4.	3.00	1.25	0.02	0.07	1.20
Moulage grain serré.	3.00	1.05	0.10	0.07	0.50
» traité gris.	3.00	0.80	0.15	0.07	0.50
» » blanche	2.90	0.60	0.16	0.07	0.40
Fonte spéciale pour cylindres de laminoir	3.00	1.10	0.20	0.30	0.20

Fontes diverses.

	C	Si	S	Ph	Mn	
Moulage n° 1 . . .	4.20	2.50	tr.	0.10	1.50	Alais
» 2 . . .	4.15	2.50	0.02	0.12	1.30	
» 3 . . .	4.00	2.30	0.05	0.15	1.20	
» 4 . . .	3.50	2.00	0.08	0.15	1.00	
» 5 . . .	3.30	2.00	0.08	0.15	0.80	
» 6 . . .	2.90	1.80	0.10	0.15	0.60	
Moulage n° 2 . . .	3.80	2.00	0.15	0.40	0.60	Montluçon
Moulage n° 3 . . .	3.20	2.55	0.04	1.80	»	Micheville (1)

Les fontes de moulages sont employées en première fusion ou refondues au cubilot. Dans ce dernier cas, elles perdent toujours une proportion notable de leur silicium, ce qui les blanchit.

Fontes d'affinage.

Il convient de distinguer plusieurs types principaux nettement définis par leur destination :

- 1° Les fontes d'affinage pour fers,
- 2° Les fontes Bessemer,
- 3° Les fontes Thomas,
- 4° Les fontes spéciales.

Fontes d'affinage pour fers.

Elles sont de pureté variable selon qu'elles sont destinées à la fabrication de telle ou telle qualité de fer, ainsi que le montre la composition des fontes d'Alais pour puddlage.

	C	Si	S	Ph	Mn
1° de fer fin.	3.50	0.60	0.01	0.06	3.50
2° fer maréchal.	2.80	0.30	0.02	0.20	2.50
3° fer ordinaire.	2.50	0.50	0.15	0.30	0.60

Le plus souvent les fontes pour la fabrication des fers ordinaires sont de beaucoup plus phosphoreuses que celle ci-dessus; leur teneur de phosphore atteint fréquemment 0 6 %.

1. L'échantillon de fonte de moulage de Micheville est très phosphoreux et répond assez bien par sa composition à la fonte pour la fabrication de la *marmite, du poêle et de la poterie métallique*.

Fontes Bessemer et Thomas.

Elles répondent à des compositions bien déterminées : les premières sont grises et siliceuses, exemptes de phosphores ; les deuxièmes sont plus claires, peu siliceuses et très riches en phosphore.

	Fonte Bessemer (Type de Boucau)	Fonte Thomas (Type de l'Est)
C.	3.70	3.00
Si	2.00	0.40
S.	0.01	0.10
Ph	0.05	2.00
Mn	2.00	1.00

Fontes spéciales.

Ces fontes ont été obtenues pour la première fois par les hauts-fourneaux français.

Sous cette rubrique se trouvent classées les fontes de composition très diverses affinées au four Martin, acide, basique ou neutre.

Il existe, en outre, toute une catégorie de produits intéressants, véritables alliages, qui servent de réactifs dans le travail métallurgique des aciers.

Ce sont le spiegeleisen, le ferromanganèse, le ferrosilicium, le silico-spiegel, le ferrochrome, etc.

Leur fabrication mérite une mention spéciale (1).

Spiegel et ferromanganèse.

Depuis fort longtemps on produisait en Suède, en Westphalie et dans le pays de Nassau des fontes blanches lamelleuses contenant une proportion notable de Mn. Ces fontes étaient recherchées pour la fabrication des aciers de forge.

Plus tard, lorsque l'appareil Bessemer fut entré dans la pratique métallurgique, ces mêmes fontes, sous le nom de Spiegeleisen rendirent encore de grands services.

Ajoutées à dose connue dans le convertisseur après le surouillage, elles désoxydaient le métal par leur manganèse et le recarburait par le carbone combiné qu'elles renferment toujours en proportion élevée :

M. Valton avait donné, vers 1864, l'explication scientifique du rôle du man-

1. Voir le rapport de M. F. Gautier au Congrès des Mines et Métallurgie, septembre 1889.

ganèse dans l'addition finale de Spiegel, en admettant qu'il y avait une certaine relation entre la *réduction* de l'oxyde de fer en dissolution et la recarburation produite par le carbone de Spiegel.

Celui-ci ayant 8 % de Mn et 5 % de C, par exemple, quand on ajoutait dans le bain 1 de Mn, on introduisait en même temps environ 0,6 % de C.

Donc, si on voulait faire des aciers doux se rapprochant du fer, il fallait *remplacer le Spiegel par quelque autre alliage de fer et de Mn n'ayant pas plus de carbone, mais beaucoup plus riche en Mn.*

Le *desideratum* qu'exprimait M. Valton a été réalisé depuis par la fabrication des ferromanganèses.

L'insuffisance de la teneur du Spiegel en manganèse était devenue manifeste et de tous côtés on cherchait les moyens d'augmenter cette teneur.

Les progrès, dans cette voie, furent entravés par les préjugés qui régnaient alors au sujet de la réductibilité des minerais de manganèse dans le haut-fourneau.

Actuellement, la fabrication du Spiegel et du ferromanganèse, basée sur l'exacte connaissance des réactions qui la régissent est devenue un travail courant du haut-fourneau.

Spiegel, définition : On appelle Spiegel une fonte manganésée contenant moins de 20 % de manganèse.

Le spiegel présente le plus souvent une cassure blanche lamellaire ; d'autres fois, cependant surtout quand il renferme plus de 1 % de Si, elle est formée de gros grains brillants.

Le spiegel est obtenu au fourneau marchant avec un mélange de minerais de fer et de manganèse ; le combustible doit être en grand excès et le laitier calcaire.

Ferromanganèse : Les spiegels riches contenant au-dessus de 20 % de Mn sont appelés *ferromanganèses*.

A partir de la teneur de 25 %, ils cessent d'être attirables à l'aimant.

Aux teneurs élevées correspond une cassure unie, brillante, dépourvue de grain et qui s'irise rapidement au contact de l'air.

On est parvenu dans diverses usines et notamment à Saint-Louis, à produire des alliages dont la teneur en Mn dépasse 80 % et qui sont en outre exempts d'impuretés.

D'une manière générale, le fourneau qui marche en ferromanganèse est en allure très chaude. De plus, les laitiers doivent être fortement chargés de chaux et pauvres en silice ; car cet acide retient en combinaison dans le laitier, environ 1/3 de son poids de manganèse.

Composition du ferromanganèse de Saint-Louis, figurant à l'exposition ;

Fe	7	100.
Mn. . . .	85	
C	7	
Si et div . .	1	

Ferrosilicium.

Le ferrocilicium est, comme son nom l'indique, un alliage de fer et de Si, il contient toujours, en outre, une proportion notable (2 à 4 %) de carbone graphitique.

Grâce aux nombreuses communications faites en faveur de ce produit par M.-F. Gantier, le ferrosilicium est aujourd'hui très employé, non seulement dans les aciéries où il rend les plus grands services comme réactif désoxydant; mais encore et surtout dans les fonderies où on l'utilise pour adoucir les fontes blanches en séparant une partie de leur carbone à l'état de graphite, ce qui les rend grises.

Les résultats de l'expérience suivante, qui date de 1886, doivent être notés avec intérêt.

	FONTE BLANCHE primitive	FONTE GRISE obtenue par addition de ferrosilicium	FERROSILICIUM employé
C combiné . . .	2.80	1.70	»
C graphique. . .	0.60	1.90	»
C Total	3.40	3.60	3.50
Silicium	0.74	1.35	9.14
Mn	»	»	1.38

Pour fabriquer le ferrosilicium, il convient de maintenir le haut-fourneau en allure très chaude — 2 à 3 tonnes de coke pour 1 de minerai ; il faut en outre employer des minerais à silice libre plus facilement réductible. Il est préférable d'employer des minerais alumineux, car dans ce cas, il se forme un aluminate de chaux et la silice libre est exposée sans défense aux actions réductives.

Il est utile de faire entrer dans la composition du lit fusion une certaine proportion de Mn ; ce métal facilite, par sa scorification, l'élimination du soufre. 1 à 3 % de Mn dans le ferrosilicium ne nuisent généralement pas à l'emploi de cet alliage.

Les ferrosiliciums habituellement obtenus contiennent de 10 à 12 % de Si ;

il en a été exposé qui dosaient 20 % de Si, mais la fabrication de pareils produits ne saurait être économique ni régulière.

Silico-spiegel.

C'est un spiegel siliceux ou un ferrosilicium manganisé. La composition la plus ordinaire de ce produit est la suivante :

Le silico-spiegel est surtout employé dans la fabrication des aciers moulés pour éviter la formation des soufflures.

Le lit de fusion ci-après donné du silico-spiegel contenant :

Pour une tonne d'alliage :

Coke.	2.500 kil.
Fer feroxydé . . .	940
Bioxyde de Mn. . .	570
Silice libre	350
» combinée. . .	420
Cao Co^2	460
Bao So^3	190

Il est nécessaire d'avoir du vent à une température aussi élevée que possible.

Le ferro-chrome a été obtenu tout récemment.

Les usines du Boucau ont fait figurer à l'exposition des blocs de ferrochrome obtenus au haut-fourneau, coulés avec beaucoup de fluidité et présentant une richesse exceptionnelle. En voici l'analyse :

Ferro-chrome

Cr	65.00
C	11.10
Si	0.40
Mn	0.40
S	traces
Ph	0.06

Le tableau ci-après donne la composition des divers ferrochromes du Boucau. Ces alliages contiennent environ 0.01 % de soufre et 0.06 % de phosphore.

N°	Cr	Fe	C	Si	Mn
1 . . .	44.80	45.00	8.50	0.40	0.40
2 . . .	51.10	39.10	8.75	0.32	0.40
3 . . .	55.50	34.20	9.10	0.56	0.35
4 . . .	57.96	30.35	9.38	0.45	0.50
5 . . .	60.35	28.10	9.55	0.60	0.45
6 . . .	63.10	25.38	10.05	0.40	0.42
7 . . .	65.20	21.90	11.80	0.38	0.38

La teneur en fer décroît tandis que la teneur en chrome augmente.

MM. Jacob, Holtzer, d'Unieux, exposaient également des échantillons de ferrochrome plus riches encore, mais obtenus au creuset, et non plus par le haut-fourneau.

En résumé, les procédés de fabrication de la fonte n'ont pas reçu depuis 1878 de modifications dans leurs grandes lignes.

Les diverses améliorations, obtenues par un chauffage plus énergique de l'air, aux pressions plus élevées, aux augmentations dans la consommation du combustible ont eu pour objet soit l'augmentation de la production de chaque haut-fourneau soit la fabrication de nouveaux produits tels que le ferromanganèse, le ferrosilicium, le silico-spiegel, le ferrochrome.

Produits intermédiaires.

Fonte mazée et désulfurée obtenue par le cubilot Rollet

Le soufre est un élément qui, de tous temps, a été considéré par les maîtres de forges et les chefs d'ateliers comme un ennemi dangereux.

Aussi a-t-on cherché à éviter autant que possible sa présence dans les produits métallurgiques.

Beaucoup de minerais contiennent du S; le coke même en est rarement exempt. Ce métalloïde se retrouve toujours dans la fonte. Il est possible, à la rigueur, de conduire le haut-fourneau de façon à scorifier le S, et à le retenir dans le laitier. On obtient ce résultat avec un lit de fusion riche à la fois en chaux et en manganèse. Dans ces conditions, le S, chargé passe dans le laitier sous forme de sulfure de calcium, mais il n'est pas économique de marcher au fourneau en allure chaude et calcaire, et le plus souvent, quand les minerais sont chargés de S, la fonte obtenue en renferme des proportions notables.

C'est le cas le plus fréquent pour la fabrication des fontes communes.

M. Rollet (1), en opérant par simple fusion préliminaire dans un cubilot à garniture basique, en présence d'un laitier ultra-basique, est parvenu à désulfurer de la façon la plus complète les fontes les plus chargées de soufre, il entraîne aussi une partie du phosphore.

La sofflerie est disposée de manière à obtenir une atmosphère réductrice ; on désulfure la fonte sans brûler son carbone, en sorte qu'elle peut subir toutes les manipulations métallurgiques auxquelles on soumet ordinairement les fontes sans traitement ultérieur.

Les aciéries de Firminy et de Saint-Chamond, dans la Loire, emploient avec beaucoup de succès le cubilot Rollet et préparent ainsi des fontes pures qu'elles transforment ensuite en acier de qualité supérieure.

Les analyses suivantes montrent l'épuration obtenue dans le cubilot Rollet.

	FONTE A — PIQUÉE		FONTE B — BLANCHE		FONTE C — BLANCHE	
	avant fusion	après fusion	avant fusion	après fusion	avant fusion	après fusion
C	3.500	3.500	2.900	3.088	2.550	2.800
Si	0.900	0.380	0.655	0.060	0.450	0.120
Mn.	1.300	0.815	traces	traces	traces	traces
S	0.220	0.015	0.375	0.015	0.520	0.040
Ph.	0.070	0.058	0.350	0.068	1.950	0.415

La fonte A a été traitée pour désulfuration.

Les fontes C et C ont été traitées pour désulfuration et déphosphoration.

Il paraît certain que l'emploi de ce procédé se répandra dans toutes les usines qui ont besoin de fontes pures pour fabriquer les produits supérieurs.

Utilisation des laitiers de haut-fourneau.

Ciment de laitier. — L'utilisation des laitiers des hauts-fourneaux, si encombrants pour les usines, préoccupe depuis longtemps les industriels.

Coulés en bloc, ces laitiers sont quelquefois débités en pavés d'une qualité d'ailleurs assez médiocre ; d'autres fois on les concasse de manière à obtenir des fragments de grosseur convenable que l'on utilise pour l'empierrement des routes ; on a essayé aussi de les faire entrer dans la composition du verre.

La transformation des laitiers en ciment donne des résultats favorables

1. Voir communication de M. Rollet au Congrès de l'Industrie minérale à Alais, en 1882.

M. Gustave Raty, de Saulnes, a fourni sur cette question, à l'occasion de l'exposition, quelques renseignements intéressants.

Le ciment de laitier est un mélange très intime de laitier granulé et de chaux éteinte.

Ce produit est employé depuis quelque temps à l'étranger; son usage commence à se répandre en France.

L'usine de M. Raty peut produire par jour 60 000 kilogrammes de ce ciment, dont la composition moyenne est représentée ci-dessous:

Silice.	22.45
Alumine	13.95
Peroxyde de fer	3.30
Chaux.	51.10
Magnésie.	1.35
SO ³	0.35
Perte au feu.	7.50
	100.00

La densité du ciment à l'état naturel, sans tassemement, est de 0,905. Pour le gâcher à l'état de pâte de bonne consistance, il faut 25 % d'eau. La prise commence après 5 heures environ, elle est complète au bout de 10 heures.

Des briquettes de ciment pur essayées par traction et par compression, après 1 mois, ont donné les résistances suivantes par centimètre carré :

Résistance à la traction.	35 kil.
Résistance à la compression	350 kil.

Mélangés avec du sable pour former des mortiers, les ciments de laitier fournissent des briquettes, d'essai qui résistent dans d'excellentes conditions.

II. — Le Fer.

Définitions et Importance de la fabrication du fer.

Fers au bois. — Feux d'affinerie.

Fers au coke. — Puddlage à bras. — Puddlage mécanique.

Fers de ferraille. — Fers laminés tels ou platinés. — Fers ballés. — Fers paquetés.

Définitions.

Sous le nom de fer, seront examinés ici les produits sidérurgiques obtenus par soudage et qui ne durcissent pas par la trempe, c'est-à-dire le produit appelé *fer soude* dans la nomenclature de Philadelphie.

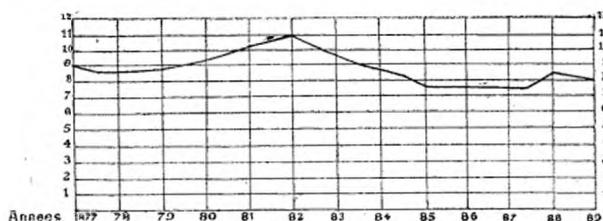
La production du fer, en France, est passée de 885 000 T en 1877, à 793 000 T en 1889.

La France avait 1 046 fours à pudler en 1877, elle n'en avait plus que 672 en 1887.

Le tableau et la courbe figurée plus loin montrent la fluctuation de cette production pendant les 12 dernières années écoulées.

Production du fer en France

Années	Tonnes	Années	Tonnes
1877.	885.000	1883.	978.000
1878.	843.000	1884.	876.000
1879.	852.000	1885.	782.000
1880.	965.000	1886.	766.000
1881.	1.026.000	1887.	771.000
1882.	1.073.000	1888.	816.000
		1889.	793.000



Fers au bois

La fabrication des fers au bois a disparu presque complètement. Il existe ce-

pendant encore quelques feux d'affinerie où l'on obtient par l'affinage des fontes pures au bois, des fers de qualité. Aux forges de Guérigny (Nièvre), la marine nationale travaille encore de cette façon, et a produit en 1888 environ 900 tonnes de fers à rivets, de vergettes et autres fers analogues.

Les statistiques indiquent pour la France en 1889, une importation de 10.000 tonnes de fers au bois ; la plus grande partie de ce fer, environ 8 000 tonnes, est importée de Suède, pour la fabrication des ferrures de l'artillerie et de l'industrie agricole.

Fers au coke

Les fers de qualités très diverses obtenus par *le puddlage* des fontes au coke, sont désignés sous le nom de *fers ou coke*, par opposition avec les fers *au bois* provenant du travail des fontes au bois.

Puddlage, théorie de l'opération. — Le puddlage bien qu'appelé à disparaître à bref délai, fournit encore environ 650 000 tonnes par an : ce produit est obtenu par l'affinage de fonte sous l'action de l'oxygène de l'air et des oxydes de fer.

Le seul progrès récent a consisté à employer des fours doubles à 2 portes qui traitent 500 kilogrammes par charge, avec une notable économie dans la consommation de combustible.

Comme son nom anglais l'indique, le puddlage est un *brassage* réalisé dans des conditions très pénibles pour les ouvriers. Au puddlage à bras on a substitué le puddlage mécanique, au Creusot notamment, mais ces tentatives n'ont donné de résultats entièrement satisfaisants que pour des fabrications spéciales : il paraît certain que l'opération du puddlage aura disparu avant que ces procédés soient entrés dans la pratique courante des forges. Le four à puddler est cependant un appareil métallurgique fort docile, permettant de réaliser en peu de temps, il est vrai pour de faibles masses, un affinage rapide et complet, mais sans arriver à une épuration satisfaisante de la fonte.

La charge est chauffée jusqu'à fusion plus ou moins pâteuse ; elle se trouve alors soumise à l'action de l'oxygène de l'air qui se trouve avec les produits de la combustion ; l'oxygène des oxydes de fer qui forment la fausse sole du four à puddler vient s'ajouter pour compléter l'action oxydante. Sous cette double action, le fer, métal dominant s'oxyde et cède ensuite son oxygène aux métalloïdes et aux métaux qui entrent dans la composition de la fonte pour les brûler.

Le C passe à l'état de CO puis de CO₂.

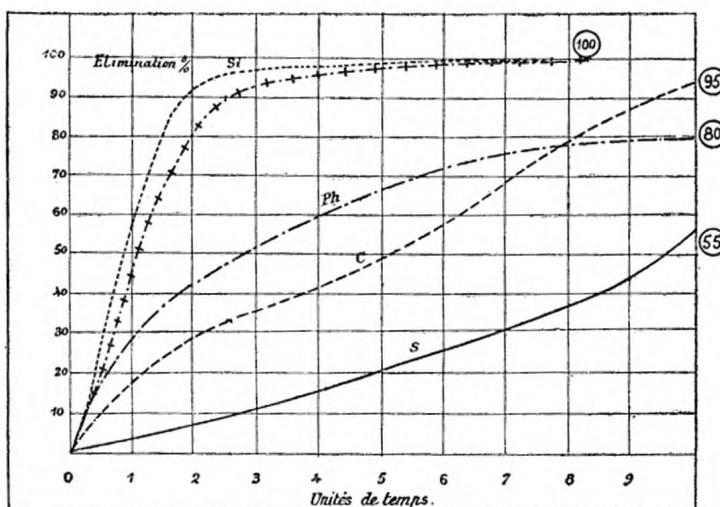
Le Si est transformé en SiO₂.

Le Mn est changé en MnO.

Le Ph produit du PhO_5 .

Le soufre enfin paraît se dégager aussi sous la forme gazeuse de SO_2 .

Le graphique suivant (1) résume un grand nombre d'analyses ; il montre nettement l'importance du travail d'affinage et d'épuration réalisé au four à puddler



Le Si et le Mn sont complètement éliminés pendant la première période du travail.

Le C brûle lentement, mais sûrement, l'élimination de ce métalloïde atteint 95 % de la quantité primitive.

L'oxydation du Ph est parallèle à celle du C ; mais elle n'atteint que 80 % de la quantité totale.

Quant au S, il est expulsé pendant toute la durée du travail, l'élimination atteint jusqu'à 55 % de la teneur de la fonte.

Dans les études les plus récentes, des ingénieurs métallurgistes et des chimistes se sont proposés de rechercher entre autres, les conditions qui déterminent l'ordre dans lequel se fait le départ des diverses matières ordinairement associées au fer. Cette question n'a pas encore été résolue d'une manière complète. Toutefois, il est permis de penser que par les progrès de la science de la thermochimie, dans ces dernières années, on pourra établir une théorie satis-

(1) Journal de l'*Iron and Steel Institute*, Tome I, 1886, mémoire de M. Harbord.

faisante des réactions qui président à l'épuration du fer dans le four à puddler, à l'épuration de l'acier dans la cornue Bessemer ou dans le four Martin-Siemens.

En ce qui concerne le départ du soufre, l'un de nous a exécuté des recherches dans les conditions suivantes :

Les fontes puddlées étaient un mélange de diverses qualités ; lorsque leur fusion était complète, le puddleur passait rapidement un crochet pour mélanger la masse et prenait avec une cuiller de fer, longuement emmanchée, un échantillon de métal qui représentait comme teneur de S la composition moyenne des fontes chargées. Le travail fini, on prélevait quelques bouts de barres de fer brut pour lesquelles on dosait le S, comme on l'avait fait pour la fonte ; voici les résultats de 5 analyses :

	Soufre dans		Elimination % du S	Observations
	la fonte fondue avant le commen- cement du travail	le puddlé brut provenant du puddlage de la fonte		
1 ^{re} expérience .	0.305	0.146	52	
2 ^e " . .	0.210	0.080	62	
3 ^e " . .	0.105	0.046	56	
4 ^e " . .	0.180	0.075	60	
5 ^e " . .	0.087	0.035	60	
Elimination moyenne %			58	

En moyenne il a été éliminé par le puddlage 58 % du soufre. Il convient de faire observer que ce chiffre est plutôt faible et ne représente pas exactement la totalité de la désulfuration, car l'échantillon de fonte a été pris lorsque celle-ci était fondue.

A ce moment déjà, une partie du S était certainement éliminée. D'un autre côté, il importe de remarquer que le travail de puddlage était lent, que l'opération durait près de 2 heures, que le déchet du fer était élevé et qu'enfin, le travail s'effectuait dans un four double.

Pratique de l'opération. — L'opération du puddlage, en elle-même est trop connue pour qu'il soit utile de la décrire. Il est intéressant, néanmoins, de signaler la tendance qui se manifeste dans la plupart des usines de remplacer par des matériaux basiques, dolomie ou laitiers basiques, les minerais que

l'on emploie ordinairement pour former les cordons du revêtement intérieur du four à puddler au niveau du bain.

Dans quelques forges d'Angleterre et de France, l'on tire un excellent parti des laitiers du puddlage provenant de l'élaboration des fers de qualité. Ces laitiers sont grillés et employés avec avantage sous le nom de *Bull-Dog* pour faire les garnissages intérieures des fours.

Au sortir du chio des fours, ces laitiers sont coulés dans des poches roulantes en fonte, affectant la forme d'un tronc de prisme très aplati. Le laitier refroidi et démoulé forme un bloc qui pèse environ 50 kilogrammes, que l'on casse en morceaux de 1 à 5 kilogrammes.

Pour le grillage, les blocs sont empilés dans un grand four de section rectangulaire. On a soin de disposer des blocs entiers à la partie inférieure du four de façon à former une charpente solide et pour ménager des carreaux qui correspondent avec de petits foyers placés sur les côtés du four et alimentés avec de la houille.

L'empilage se fait exactement comme pour la cuisson du gypse. A la moitié et aux trois quarts de la hauteur de la charge qui atteint environ 2 mètres, on place un lit de 10 à 20 centimètres de bonne gaillette.

On chauffe par les petites grilles latérales. Après 8 à 10 jours, la charge commence à s'affaisser, c'est l'indice attendu pour l'arrêt de l'opération. On laisse refroidir la fournée et on sort ensuite le laitier.

Les morceaux qui sont tout à fait à la partie supérieure, n'ont subi que très peu l'action de la chaleur, car ils se trouvaient refroidis par l'air extérieur, aussi les élimine-t-on sous le nom inattendu de *pierrots*. Dans la partie qui est le mieux exposé à la chaleur, les morceaux de laitier se sont agglomérés, ils sont devenus spongieux et semblent s'être vidés en produisant un laitier plus fluide qui a coulé en formant des *chandelles* attachées au congolomérat. Les blocs inférieurs sont pour ainsi dire *verniss* par ce laitier. D'ailleurs la chaleur n'a pas été assez forte pour agir sur les pains entiers formant l'ossature, ils seront mis de côté pour être cassés et grillés dans la cuisson prochaine.

En somme, on ne prend, dans chaque opération, comme produits bons, que les fragments, gros ou moyens, agglomérés et spongieux.

Les analyses suivantes montrent la composition des laitiers avant et après le traitement.

	1 ^o Laitier Cru	2 ^o Laitier Spongieux employé par le garnissage laitier très fluide	3 ^o Chandelles laitier très fluide
Fe	51.0	49.1	41.0
O	19.6	22.0	20.1
MnO	1.0	0.6	1.3
SiO ₂	14.2	12.9	26.9
PhO ₃	2.5	1.8	4.9

Le laitier spongieux forme la partie spécialement utilisée pour la préparation du garnissage du four.

Ces analyses, quoique incomplètes font ressortir l'effet du grillage, que l'on peut résumer ainsi :

Sous l'action de l'O à une température élevée, une partie du FeO des silicates se trouve peroxydée et devient libre. Du même coup les silicates restant deviennent plus acides et plus fusibles, ils peuvent alors fondre et s'écouler pour former les chandelles dont la présence a été signalée plus haut et que l'on rejette au crassier.

Le laitier grillé se trouve purifié par le départ d'une importante proportion d'acides silicique et phosphorique. De plus il est peroxydé et perd de sa fusibilité ; enfin il devient poreux.

Dans le travail de puddlage on distingue 2 variantes principales :

1^o Le puddlage *sec et froid* dont l'emploi est devenu très exceptionnel ; il est usité pour l'affinage, toujours imparfait, des fontes ordinaires, blanches et peu carburées.

Par ce procédé la fonte chargée n'est pas poussée jusqu'à la fusion, le puddleur la désagrége en *dansant la malheureuse* et la réduit en *sable*, comme on dit à l'usine, lorsqu'elle est arrivée à la température qui détermine sa friabilité.

Le travail est incertain et cette méthode ne peut être employée que pour la fabrication des fers de médiocre qualité.

2^o Le puddlage *gras, chaud ou bouillant* est le procédé mis en œuvre pour l'affinage des fontes de qualité supérieure ou moyenne pour obtenir des fers supérieurs et ordinaires.

Ici, le puddleur réalise la fusion complète de la fonte et la brasse soigneusement pour déterminer la formation des grains de fer qu'il agglomère de façon à produire les boules ou *balles* qui seront cinglées au pilon et pressées au laminoir pour produire les mill bars ou fers bruts ; le puddlage bouillant, produit à chaque opération une certaine quantité de laitier que le puddleur évacue, quand c'est nécessaire, avant de procéder à une nouvelle charge.

Les usines qui ont exposé des échantillons très nombreux et parfaitement réussis, de fers puddlés de toute qualité, n'ont pas fourni beaucoup de renseignements sur leur fabrication. Toutes les faveurs des fabricants étaient réservées aux aciers doux ou fers fondus.

La description des fours ordinaires de puddlage ne saurait trouver place ici ; du reste dans chaque usine et même pour chaque four on adopte des modèles divers en rapport avec le travail que l'on attend de ces appareils.

Il existe encore en France, bon nombre de fours à puddler simples, travaillant avec 2 hommes, un puddleur et un aide, et chargeant de 200 à 250 kilogrammes de fonte par opération.

Parmi les usines qui possèdent d'importants ateliers de puddlage avec des fours simples ordinaires il faut citer dans le Nord, les forges de Denain-Anzin avec 70 fours à puddler.

La société Vezin-Aulnoye avec 68 fours à puddler.

Aux fours simples on substitue dans bien des usines, les fours doubles chargeant à la fois environ 500 kilogrammes de fonte qui est travaillée par 4 hommes 2 de chaque côté du four. Habituellement les fontes sont préalablement chauffées dans un *cassin* par les flammes perdues des fours à puddler. Ces mêmes flammes servent en outre au chauffage des chaudières verticales ou horizontales placées à la suite ou au-dessus des fours de puddlage.

Dans les usines de M. Gustave Dumont à Louvroil on trouve 18 fours doubles. Les forges de Maubenge en ont installé récemment 24, à la place de 48 fours simples.

Le puddlage à bras, tel qu'il est pratiqué habituellement est l'un des travaux les plus pénibles. Depuis longtemps, avons nous dit, on essaye de le remplacer par le puddlage mécanique. Parmi les nombreuses inventions ayant pour but le puddlage mécanique, il n'en est aucune qui ait pris franchement le pas sur les autres.

Le procédé fondé sur l'emploi d'outils mécaniques fut appliqué vers 1862, par M. Lemut, aux forges de Clos-Mortier, dans la Haute-Marne. Il a été employé depuis sur une grande échelle en 1869 par MM. de Wendel, dans leurs usines d'Hayange.

Le procédé peut s'appliquer aux fours simples ordinaires mais il convient surtout aux fours doubles pourvus de deux portes de travail opposées. Le mécanisme destiné à mouvoir les crochets est établi au-dessus de chaque porte et se compose d'un axe horizontal mis en mouvement par une poulie. Au bout de cet axe se trouve un plateau manivelle, auquel sont attachées deux bielles qui impriment un mouvement horizontal de va-et-vient aux crochets brasseurs. De plus, pour permettre à ces crochets d'atteindre successivement tous les points de la sole, l'axe porte un système d'engrenages et de leviers articulés, donnant à tout l'appareil un mouvement alternatif de rotation extrêmement lent. Le bain se trouve ainsi brassé dans tous les sens sans autre travail de la part de l'ouvrier que celui qui consiste à remplacer de temps en temps les crochets trop chauds par des crochets nouveaux. La fin du brassage s'opère à la main comme pour le puddlage ordinaire.

Le brassage mécanique a été réalisé également par l'ingénieur Dormoy : son procédé consiste à suspendre le bout extérieur du crochet au moyen d'une courroie sans fin à un petit tambour auquel on imprime un rapide mouvement de rotation, tandis que le crochet tourne autour de l'axe à la vitesse de 300 à 400 tours par minute, l'ouvrier le promène dans la fonte à la manière ordinaire. Malgré ce double mouvement qui brasse la fonte d'une façon très vive, le puddleur Dormoy ne s'est que peu répandu.

Comme dernier type d'outils mécaniques de puddlage, nous citerons celui que nous (1) avons vu fonctionner en 1876, aux usines de Firminy, dans la Loire, d'après les données de M. Lespinasse.

Ici, la sole du four étant circulaire, le brassage est obtenu par un arbre vertical en fer, pourvu à son extrémité inférieure de deux palettes horizontales, légèrement déversées en forme de bras d'hélice. L'arbre pénètre dans le four par le sommet de la voûte ; lorsque la fonte est fondue, on l'abaisse et on lui imprime une vitesse de 12 à 15 tours par minute ; le brassage mécanique dure 10 minutes environ.

On relève l'arbre à palettes lorsque le métal commence à s'épaissir, et dès lors le travail s'achève à la façon ordinaire.

Le second mode de puddlage mécanique consiste à mettre en mouvement le four lui-même ou tout au moins la sole ; dans le premier cas les fours sont *rotatifs* ou *oscillants* ; dans le second, ils sont à *sole tournante*. Le principe de tous ces systèmes (Ménélaus, Danks, Crampton, Sellers, etc.), consiste à intercaler entre une chaufte et une cheminée fixes, un laboratoire qui a le plus souvent la forme d'un ellipsoïde mobile autour de son axe horizontal. La difficulté principale consiste à trouver pour ce laboratoire tournant, un garnissage capable de résister au roulement des masses à demi-affinées. Dans le four Crampton, on a employé deux enveloppes concentriques entre lesquelles on a fait circuler l'eau. Ce système qui refroidit énergiquement, maintient mieux la garniture.

Dans les fours à sole tournante, au lieu de donner le mouvement à la masse entière du four, on se borne à monvoir la sole autour de son axe, les parois latérales et la voûte restant immobiles. Si, de plus, on incline de 6 à 7 degrés l'arbre vertical qui porte la sole, on comprend que ce mouvement combiné puisse opérer le brassage de la matière qui repose sur elle. Le type le plus satisfaisant des appareils de ce genre est le four Pernot. Le four se compose de 3 parties : la chaufte, le laboratoire et la cheminée. La chaufte et la cheminée ne présentent rien d'extraordinaire ; quant au laboratoire, la voûte et les parois sont également fixes, tandis que la sole circulaire est mobile, et de plus, installée sur un chariot ce qui facilite les réparations. Elle consiste en une sorte de cuvette en forte tôle qui roule sur des galets coniques.

Le mouvement de rotation est communiqué à la sole au moyen d'un pignon agissant sur une roue dentée qui est boulonnée sur la face inférieure de la cuvette. La force motrice nécessaire pour donner le mouvement à la sole est de 2 à 3 chevaux. La cuvette est garnie comme la sole du four de puddlage ordinaire de minéraux riches et purs, cimentés par la fusion au moyen de battitures et de scories de cinglage.

Une difficulté pratique du four à sole tournante est le joint entre la cuvette et la plaque fixe qui supporte les pieds droits et la voûte. Ce joint détermine sous

(1) Fonte et fer, par M. Bresson. — Encyclopédie chimique, V^e Dunod 1888.

l'action de la cheminée un énorme appel d'air qui tendrait à oxyder et refroidir outre mesure le bain métallique. Aussi est-on obligé de recourir à un foyer soufflé, tout en évitant un excès de pression qui gènerait le travail du puddleur et pourrait fondre le four. Cet inconvénient de la sole tournante fait que le four Pernot ne s'est pas plus répandu que les autres appareils du même genre.

Le chauffage des fours à puddler à l'aide des gazogènes Bicheroux est employé avec succès à Valenciennes.

L'usine d'Assailly possède également 6 fours de puddlage chauffés par le gaz provenant des gazogènes établis pour la fusion des aciers au creuset.

Qu'ils soient obtenus au four simple ou au four double, par le puddlage à bras ou par le puddlage mécanique, par le puddlage au combustible solide ou par le chauffage au gaz, les fers puddlés bruts sont classés en divers numéros, d'après la nature des fontes employées ainsi que d'après l'aspect de la cassure fraîche obtenue après entaille pour les fers de qualité et sans entaille pour les fers ordinaires.

Ces puddlés bruts proviennent habituellement du laminage des balles, ils ont une apparence écailleuse et présentent des dimensions diverses.

Les 3 principales sont les plats de 24, 36, 48 lignes de largeur avec des épaisseurs de 6, 8 et 10 lignes.

Coupés à longueur et disposés en paquets, ces fers bruts sont laminés à la demande en fers marchand, tôles et profilés divers.

Fers de ferraille

Importance de la production de ces fers. — Les fers de ferraille désignés aussi sous le nom de fers obtenus par le réchauffage de vieux fers et riblons, tiennent dans la production totale des fers en France, une place fort importante.

En 1889, pour une production totale de 793 358 tonnes de fer.

Le fer de ferraille entre pour	154 700	—
--------------------------------	---------	---

Soit 19 % de la production totale.

Il est bien probable que le tonnage de 154 700 tonnes est inférieur à la réalité.

Provenance des ferrailles. — Les pièces métalliques en fer ou en acier subissent une usure plus ou moins rapide qui les fait mettre au rebut pour les remplacer par des pièces nouvelles; les premières tombent en *ferraille*. C'est ainsi que dans les grandes Compagnies de Chemins de fer on remplace chaque jour sur la voie des rails et des accessoires. Les essieux de wagons s'usent aussi, de même que les bandages de roue.

Les fils des lignes télégraphiques sont aussi mis hors d'usage par l'oxydation et doivent être remplacés.

Les administrations de l'État passent avec leurs fournisseurs de matières métalliques des marchés *par transformation*; c'est-à-dire que le soumissionnaire doit accepter comme paiement partiel les vieilles matières qu'il remplace. C'est à lui de tirer ensuite parti de cette monnaie un peu lourde.

Les limailles, copeaux de tour et de machine à raboter qui produisent chaque jour les ateliers de construction fournissent aussi aux maîtres de forges, des ferrailles qui sont parfois bien précieuses à cause de leur ténacité.

Dans la plupart des manufactures d'objets métalliques, petite chaudronnerie, serrurerie, etc., on obtient des déchets qui sont écoulés avec soin.

Les vieux fers de cheval sont également réemployés.

Les usines achètent à des prix très variables, ces ferrailles de diverses qualités et les utilisent de façons différentes qui peuvent se résumer en trois méthodes principales.

1^o Les fers sont laminés tels;

2^o Les fers sont réchauffés et ballés;

3^o Les fers sont paquetés.

La première méthode s'applique aux grosses barres rondes ou carrées.

Par la deuxième, on utilise au contraire les fers menus, copeaux, limailles, feuillards, tôles minces etc.

La troisième enfin, utilise des fers de formes très diverses qui sont coupés quand il est nécessaire et paquetés.

Chacun de ces trois procédés sera examiné ci-dessous avec quelques développements.

1^o Fers platinés

Les bouts écrus des chutes des gros échantillons laminés sont souvent utilisés pour obtenir des échantillons de section analogue et plus faible. Il en est ainsi des arbres de transmission que l'on met au rebut pour une cause quelconque. Les gros ronds peuvent fournir par simple laminage des ronds d'un diamètre plus petit, sans autre déchet que celui que provient du réchauffage.

Les vieux rails à double champignon, sont aussi transformés quelquefois par un simple laminage en plats de dimensions diverses.

Les rails Vignole ne se prêtent pas aussi facilement à un laminage direct, souvent, pour en tirer parti, on sépare mécaniquement le patin et le boudin du rail. Les essieux de voitures, de charrettes, de wagois, fournissent aux forges une matière première très recherchée à cause de la bonne qualité des fers employés pour la fabrication de ces essieux. Un coup de scie suffit pour trancher la fusée de ces essieux et le corps qu'il soit de section ronde ou quadrangulaire peut être ensuite laminé directement.

2^o Fers ballés.

Lorsque les ferrailles sont menues ou d'épaisseur très faible, comme c'est le cas pour les limailles, copeaux de tour, débouchures de machines à poinçonner, feuillards, tôles minces provenant de découpures de petites industries; rebuts de tréfileries ou de pointeries, de câbleries, etc., on en tire parti d'une façon toute différente.

On les charge dans un four à réverbère de forme analogue à celle d'un four à puddler ordinaire, et même dans un véritable four de puddlage. On pousse le feu, la masse blanchit, se ramollit et s'agglomère en formant une grosse boule qu'un ouvrier tourne dans tous les sens pour régulariser l'action de la chaleur. Il se produit des scories qui imprègnent le métal et complètent son affinage. La boule est ensuite portée sous un marteau-pilon de cinglage où elle subit un martelage énergique qui a pour objet de souder les parcelles de métal et de chasser les scories interposées. Ce premier ébauchage donne un *massau* que l'on passe au laminoir pour le transformer en barres plates de fer brut ou *mill bars* qui, débitées en longueurs convenables, fourniront la matière première des diverses fabrications de fers marchands.

Un petit four à réverbère, desservi par deux ouvriers, peut faire en 12 heures 40 charges de fers ballés, ce qui représente près de 2 500 à 3 000 kilogrammes de barres brutes.

La qualité du fer de ferraille dépend évidemment de celle des matières traitées. Néanmoins, on peut dire que l'on obtient par ce travail un fer nerveux amélioré.

3^o Fers paquetés.

Les fers de dimensions moyennes, ou ceux qui peuvent être découpés, soit à la cisaille, soit autrement, sont utilisés d'une façon très rationnelle par le paquetage, qui a pour objet de réunir, en un seul paquet, solidement lié, des échantillons de fer convenables; les paquets sont ensuite réchauffés et laminés comme ceux que l'on forme avec les *mill bars*. Il importe d'établir quelques principes pour la confection des paquets ou *masses*.

Une masse comprend presque toujours deux parties principales : la couverte et le remplissage. La couverte est faite, autant que possible, avec des fers de dimensions régulières, plats larges, tôles découpées, etc., et de nature bien connue, surtout lorsqu'il s'agit de produire des fers de qualité déterminée.

Les barres, ou les menus fragments qui forment le remplissage, seront empilés de façon à laisser entre eux le moins de vide possible. Dans les paquets trop lâches, l'air et les gaz de la combustion produisent une oxydation plus forte, ce qui augmente le déchet.

Les diverses parties qui constituent le paquet doivent toutes être de section à peu près pareille ; dans ces conditions, le chauffage est régulier. On comprendra qu'en plaçant un gros rond de fer par exemple dans un paquet formé d'ailleurs avec des plats minces, au moment du chauffage, les plats minces seront brûlés avant que le rond ne soit chauffé à point.

Il est prudent de ne pas placer dans les extrémités du paquet des pièces courtes, de forme conique, même cylindrique, tels que mandrins, boulons, etc., car il arrive parfois, surtout lorsque ces paquets ne sont pas bien chauds, que ces objets sont projetés au loin par la compression du laminoir, ce qui peut être la cause de graves accidents.

Il se présente parfois, dans certains cas particuliers, que l'utilisation des ferrailles échappe aux règles ordinaires. C'est ainsi que l'on compose un paquet très simple avec des rails à double champignon et des gros fers plats de la qualité dite « *fer tendre* », que l'on dispose dans les évidements à l'axe du rail. Les fers à planchers sont utilisés d'une manière analogue. Le fer tendre phosphoreux se ramollit au feu et soude facilement.

D'autres fois, pour utiliser des riblons très minces sans les baller au four à réverbère, ce qui exige toujours un travail important et occasionne un déchet élevé, on peut former, avec des tôles de 2 à 4 millimètres d'épaisseur, des boîtes rectangulaires que l'on remplit avec des tournures ou autres débris.

Le cisaillage est une importante opération du paquetage ; il est fait à la demande, selon les besoins de la « *masserie* » (1).

D'ordinaire, les cisailles sont placées dans l'atelier même de paquetage ou à proximité.

Quel que soit le mode adopté pour le paquetage, les masses, classées par dimensions et par qualités, sont portées au four à réchauffer et laminées comme à l'ordinaire.

Les masses du petit mill, c'est-à-dire celles qui sont de faible poids, et doivent produire des échantillons de petites dimensions, sont habituellement laminées en une seule chaude, jusqu'à l'obtention du produit fini.

Les masses de moyen mill et de gros mill, d'un poids plus fort, et destinées à la fabrication des gros échantillons, sont d'ordinaire ébanchées en une chaude, puis coupées à la scie quand la masse doit produire plusieurs longueurs de barres, réchauffées et laminées aux dimensions demandées.

Qualité des fers paquetés. — Par un triage conscient des ferrailles, une surveillance active de la masserie, et un grand soin dans le travail du laminage, les forges peuvent produire des fers paquetés bien classés, et correspondant aux diverses qualités de fers marchands.

La forme et la provenance des ferrailles fournissent sur leur qualité de pré-

(1) Atelier de paquetage.

cieuses indications qu'il est encore possible de compléter par quelques essais de cassure ou autres, lorsque le lot est assez important.

Les ferrailles de l'artillerie, les essieux, les fers de boulonnerie, les fers de cheval, les chaînes, les pièces diverses des wagons, les bandages de roues, les feuilards, les tôles de chaudière, etc., correspondent à une quantité de métal bien déterminé.

Il existe du reste un moyen pratique d'améliorer les fers de ferraille en augmentant, il est vrai, leur prix de revient, c'est de les corroyer, comme on le fait pour les mill bars de fer puddé. Il suffit pour cela de transformer par un premier laminage le paquet en barres plates de 60 à 100 millimètres avec une épaisseur de 8 à 15 millimètres; ces barres, débitées en longueur, et paquetées avec toute l'habileté que comporte cet art spécial, fourniront des fers corroyés bien améliorés.

Les usines bien placées, pour se procurer économiquement des ferrailles, et qui, de plus, savent en tirer un parti judicieux, trouvent tout avantage à se passer de four à puddler, et peuvent même lutter contre les forges qui travaillent uniquement par puddlage. C'est ainsi que, *sans posséder un seul four à puddler* en activité, les usines du département de la Seine ont pu produire, en 1889 :

34 261 tonnes de fers marchands et spéciaux.

Mais il ne faut pas oublier que l'emploi des aciers extra-doux se généralise chaque jour, en sorte que le moment est proche où les ferrailles du commerce seront un mélange mal défini de fer et d'acier. Dans ces circonstances, le paquettage sera une opération difficile ou tout au moins incertaine, et le seul moyen vraiment rationnel, d'utiliser ces vieilles matières, sera de les passer au four Martin pour les transformer en lingots d'acier doux.

Une partie des lingots exposés, par les forges du Centre surtout, a été obtenue en utilisant une notable proportion de ferrailles de toute nature.

III. — L'Acier.

Production de l'acier.

Cémentation. — *Puddlage.*

Aciers au creuset. — Aciers spéciaux.

Convertisseurs Thomas Gilchrist.

Four Martin Siemens à sole basique et neutre.—Convertisseur Robert.

— Four Martin-Siemens à sole neutre

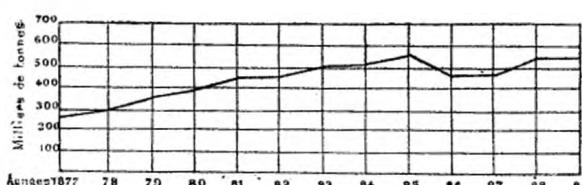
Production de l'acier. — La production de l'acier en France a suivi, depuis 1877, une progression ascendante très rapide. Elle est passée,

de 269 000 tonnes en 1877

à 529 000 tonnes en 1889.

Le tableau graphique ci-dessous, établi d'après les statistiques du *Comité des Forges de France*, montre les fluctuations qui se sont produites dans la production totale annuelle des aciers pendant la période considérée.

Années		Années			
1877	. . .	269 000	1883	. . .	521 000
1878	. . .	313 000	1884	. . .	502 000
1879	. . .	332 000	1885	. . .	553 000
1880	. . .	388 000	1886	. . .	437 000
1881	. . .	422 000	1887	. . .	433 000
1882	. . .	456 000	1888	. . .	517 000
			1889	. . .	529 000



Soit 23 % de la production totale des produits ferreux malléables.

Soit 40 % de la production totale des produits ferreux.

Le développement pris chaque jour par la fabrication des fers fondus permet d'affirmer qu'avant longtemps, c'est-à-dire lors de l'expiration d'un certain nombre de brevets, dont l'échéance est prochaine, les chiffres qui représentent les productions respectives des fers et des aciers seront intervertis, et que ces derniers produits auront définitivement acquis le premier rang qui leur est dû, si l'on considère leurs propriétés exceptionnelles.

Ainsi qu'il est établi par les statistiques les plus récentes (1), ce résultat est obtenu déjà dans divers pays métallurgiques, en Europe et en Amérique. Dans l'ensemble, le tonnage des métaux fondus, produits annuellement, dépasse de beaucoup la production des fers soudés.

Les aciers de cémentation, les aciers puddlés et ceux qui proviennent de la fusion au creuset, n'ont pas reçu, depuis 1878, dans leur mode de fabrication des perfectionnements bien sensibles.

La préparation des aciers fondus spéciaux, tel, que les aciers au chrome, au manganèse au tungstène, au titane, à l'aluminium, au nickel, au cuivre, a fait, au contraire des progrès importants, ainsi que celle des fers fondus par le procédé Thomas Gilchrist et sur la sole basique ou neutre des fours Martin Siemens.

On ne considère plus seulement, comme avant 1878, les aciers formés exclusivement de carburé de fer plus ou moins saturé de carbone.

Depuis les travaux remarquables des ingénieurs des usines de Terrenoire sur l'acier au phosphore, au silicium, etc., exposés en 1876 avec tant d'autorité par M. Euverte devant la *Société des Ingénieurs Civils*, on a poursuivi dans les grandes usines, avec persévérence et avec le plus réel succès, l'étude des modifications obtenues dans les propriétés et les qualités des aciers par l'introduction dans l'alliage fer et carbone, en diverses proportions, d'une quantité, variable également de l'une des matières utiles, manganèse, aluminium, nickel, etc., etc.

On a ainsi réalisé un grand nombre d'alliages doués des propriétés les plus variées et chacun d'eux a été l'objet d'une série d'essais physiques, chimiques, et d'un examen microscopique. Les usines d'Unieux, Saint-Chamond, Le Boucan, Firminy, Fourchambault, Montluçon, etc., ont fourni un grand nombre de tableaux et résumés fort importants.

Pour chaque échantillon, sont recherchées les variations de la dureté et de la résistance, les conditions de trempe.

De même, par les nombreuses recherches faites sur les conditions nouvelles de la fabrication par l'intervention des divers corps associés au métal, on est maintenant bien fixé dans les Usines sur l'action des matières additionnelles.

Ainsi par l'addition dans un bain de fonte partiellement affinée, d'une dose convenable de ferro-silicium, on constate l'absorption par le métal d'une notable proportion de silicium dont l'action fait varier le degré de fusibilité, la souda-

(1) Voir : Annexes, II.

bilité, la nature du grain etc., etc. De même encore, pour le ferro-manganèse, le chrome, le tungstène, le cuivre, le zinc, le nickel, l'aluminium, le cobalt.

Enfin l'action des corps nuisibles, l'oxyde de fer, le soufre, le phosphore, l'arsenic a été étudiée également et l'on est maintenant bien fixé sur les altérations des propriétés du fer et de l'acier qui sont dues à la présence de ces matières, en ce qui concerne l'élasticité, la ductilité, la malléabilité, la texture.

A un autre point de vue, en ce qui concerne les conditions de l'emploi des matières, il a été fait également dans toutes les usines, des séries très nombreuses d'expériences ayant pour objet de déterminer le mode de travail le meilleur pour la mise en œuvre des métaux nouveaux, c'est-à-dire des aciers doux et des fers fondu. On a recherché les qualités d'acier et de fer fondu les meilleures pour les diverses applications dans la construction métallique et dans la construction du matériel de guerre. Les conditions de trempe, de recuit, de forage, de poinçonnage, de pliage ont été examinées de très près.

En résumé, il est maintenant bien établi que les acieries peuvent s'engager à livrer couramment soit des aciers, soit des fers fondu dont les prix se rapprochent sensiblement de ceux des fers usinés ordinaires de bonne qualité, selon les catégories.

La limite entre l'acier, métal devenant dur et fragile par *la trempe*, et le fer fondu, métal rendu malléable, au contraire, par *la trempe* paraît-être déterminée par les coefficients de résistance et d'allongement à la rupture.

Les deux catégories peuvent s'établir :

1^o En classant comme aciers ceux qui donnent une résistance de 40 à 42 kilogrammes par millimètre, et au-delà, à la rupture en prenant 25 % d'allongement ou moins.

2^o En classant comme fers fondu ceux qui donnent une résistance de 40 à 42 kilogrammes ou moins en prenant un allongement de 25 % ou davantage.

Cette action si différente de la trempe n'est d'ailleurs sensible que sur des échantillons ayant au minimum une épaisseur de 10 millimètres.

Les emplois des deux métaux ainsi caractérisés, sont entièrement différents, et il importe que les acieries adoptent cette répartition de manière à garantir le consommateur contre toute surprise en ce qui concerne l'action de la trempe.

Il ne serait pas possible d'établir une formule chimique pour spécifier la nature du métal.

On trouve d'une usine à l'autre les plus grandes différences, car il est possible de réaliser par divers procédés le même degré de résistance et de douceur. Inversement, il suffit de faire varier les dosages de carbone, de manganèse, de soufre, de silicium, de phosphore et même dans des proportions minimes, pour obtenir des produits tout différents.

De même, des formules chimiques différentes peuvent donner des métaux ayant les mêmes propriétés physiques.

Cémentation, Puddlage

Aciers cémentés. — La cémentation est une opération préliminaire qui se pratique encore en France pour la fabrication des aciers fins, qui sont des aciers purs.

Les fours à cémenter conservent leur forme classique et le travail est resté conforme à ce qu'il était depuis l'origine de cette fabrication (1).

Les barres de fer à cémenter proviennent de l'affinage des fontes au bois, et présentent une extrême pureté ainsi qu'il est possible d'en juger par l'analyse suivante du métal employé par l'usine d'Assailly, appartenant à la Société des forges et aciéries de la Marine et des Chemins de fer.

C	0.180
Si	tr ?
Mn	tr
S	0.008
Ph	0.010

La même usine avait exposé quelques cassures de fer cémenté à différents degrés de carburation, de 0,7 à 1,5 % de carbone. Elles présentaient comme d'usage un aspect à facettes blanches plus ou moins larges, avec cavités à l'intérieur et *ampoules* à l'extérieur.

L'un de ces échantillons soumis à une deuxième cémentation présentait un grain et une couleur très différents; la teneur en carbone est passée de 1,5 à 2 % et, en même temps, il s'est produit des noyaux de graphite; c'est une sorte de fonte truitée obtenue par absorption de carbone.

Il est à peine besoin de dire que ces fers cémentés conservent leur pureté primitive; seule, la teneur de carbone augmente dans des limites qui sont sensiblement proportionnelles à la durée de l'opération.

Les trois analyses ci-dessous fournissent un aperçu de la pureté des aciers cémentés (2).

	N° 1	N° 2	N° 3
C	1.750	1.200	0.960
Si	0.063	0.055	0.060
S	0.004	0.004	0.007
Ph.	0.007	0.013	0.013
Mn	0.030	0.050	0.070

1. Firminy possède deux fours à cémenter. Assailly possède cinq grands fours à cémenter de 20 à 24 tonnes.

2. *L'acier.* — Historique, Fabrication, Usages, par L. Campredon, 1890, Bernard-Tignol, éditeur.

Les aciers cémentés (blister-steel des anglais), sont ordinairement refondus au creuset pour obtenir des aciers fondus fins à outils.

Les aciers extra-doux ou fers fondus obtenus par les procédés les plus récents, convertisseurs et fours à sole, peuvent-ils être cémentés ?

L'expérience ci-dessous (¹) répond à cette question.

Dans une caisse à cémenter garnie de charbon de bois en petits fragments, on a placé simultanément :

1^o Une barrette de fer misé plat, de bonne qualité, longue d'environ 500 millimètres, ayant 30 millimètres de largeur et 7 millimètres d'épaisseur. Une partie de cette barre s'était pliée sur elle-même jusqu'à bloc, sans rupture ni crique, avant et après trempe.

Sa résistance à la traction était de 38 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement de 20 %. Il dosait 0,060 % de carbone.

2^o Une barrette d'acier extra-doux (fer fondu) de mêmes dimensions, pliable également à bloc avant et après trempe. Sa résistance était de 39 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement de 33 %.

Il tenait 0,120 % de carbone.

Après 24 heures de chauffe, les deux barrettes ont été retirées et essayées séparément.

Barrette de fer. — Un bout de l'éprouvette chauffé au rouge et trempé à l'eau, a cassé net sous le marteau. Teneur de carbone, 0,400.

Barrette d'acier extra doux. — Un bout du plat chauffé au rouge et trempé a cassé net sous le marteau. Teneur de carbone, 0,400.

Conclusion. — L'acier extra doux se comporte à la cémentation exactement comme le fer.

Les aciers extra doux cémentés ne présentent ni cavités ni ampoules intérieures. Cependant, il est certain que la compacité des fers fondus, ainsi que l'absence de laitier interposé doivent mettre un obstacle appréciable à la pénétration du carbone.

En France, la production des aciers cémentés est faible.

Elle a été limitée en 1889 à 1 581 tonnes.

Aciers puddlés. — L'usine d'Assailly exposait une série complète de barres d'acier puddlé à carburation graduée.

La maison Jacob Holtzer exposait également de beaux échantillons d'acières puddlés très carburés et soudants.

Les aciers puddlés dits « naturels » sont classés à Unieux en sept catégories comprenant deux qualités, soit 14 numéros, suivant l'emploi : Coutellerie, tailanderie, ressorts de voitures et wagons, outils de percussion, limes et râpes, outils d'agriculture.

1. Voir Campredon. loc. cit.

Les usines d'Allevard et de Saint-Jacques fournissent également des aciers puddrés.

Unieux possède 10 fours produisant 3000 tonnes par an.

L'usine de Firminy fabrique aussi des aciers puddrés qui sont recherchés pour taillanderie, la fabrication des limes et râpes, des outils aratoires, barres à mines, fleurets de mine, bandages de roues de carrosserie, pour ressorts, pelles, bêches, etc., etc.

Les aciers puddrés doux sont quelquefois soumis à la cémentation et fondus ensuite au creuset.

La maison Alex. Gouvy et C^{ie} de Dieulouard (Meurthe-et-Moselle) exposait des aciers puddrés bruts et corroyés et divers produits (bêches, pelles, louchets, socs, versoirs). Elle emploie quatre fours à puddler qui donnent par année environ 4000 tonnes.

M. Alph. Gourju, de Bonpertuis (Isère) livre également des aciers puddrés obtenus avec des fontes au bois qu'il fabrique lui-même.

La production totale des aciers puddrés en France s'est élevée à 16759 tonnes en 1889.

Fabrication des aciers fondus au creuset

Historique. — L'histoire de la fabrication des aciers au creuset remonte au siècle dernier et se rattache étroitement au nom de l'horloger Benjamin Huntsman, l'inventeur de ce procédé. Les visiteurs ont trouvé dans l'exposition anglaise de ses successeurs le premier lingot d'acier fondu produit par B. Huntsman vers le milieu du siècle dernier, soigneusement conservé par ses descendants et successeurs qui l'on fait entrer comme lentille dans la confection du balancier d'une horloge. Pensée ingénieuse qui rappelle la première profession de l'artisan de génie auquel la cité de Sheffield doit toute sa prospérité.

Les procédés opératoires de Benjamin Huntsman ont été conservés dans leur simplicité primitive, pendant plus de cent ans.

Depuis 1856, on substitue au chauffage direct des creusets par le coke, le chauffage par le gaz avec récupération de chaleur, imaginé et propagé par les frères Siemens. Cette modification a été appliquée très largement depuis ainsi qu'il est possible d'en juger par les chiffres qu'a donnés M. S. Jordan, professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures, dans un communication faite à l'« Iron and Steel Institute », lors du meeting tenu à Paris en septembre 1889.

En 1877 on produisait 7 252 tonnes d'acier avec 101 fours.

En 1887 on a produit 7 532 — — — 39 fours.

Cette transformation a eu pour objet de remplacer les anciens fours chauffés au coke, à 2 ou 4 creusets, par des fours à gaz du système Siemens comprenant de 20 à 40 creusets chacun.

Aciers fins. — Le creuset est certainement l'appareil métallurgique le plus simple et le plus sûr pour la fabrication des aciers fins. Il permet de travailler en vase clos, à l'abri du contact direct du combustible et de l'air, seules, les parois du creuset peuvent exercer, sur la qualité du métal, une influence qu'il est toujours possible de prévoir.

Le creuset, pour ces divers motifs, est et restera l'appareil de prédilection des fabricants d'aciers fins; pour de pareils produits, le prix de revient peut être élevé.

Dans la fabrication de l'acier à outils, le fondeur se préoccupe surtout du choix des matières; les barres d'acier cémenté proviennent elles-mêmes de fers très épurés; ces barres sont cassées en petits fragments que l'on dispose dans le creuset puis, après avoir fermé celui-ci, on le place dans un foyer à coke à fort tirage, ou de préférence dans un four à gaz. La fusion est complète après 1 heure 1/2 ou 2 heures. Le carbone combiné se répartit dans toute la masse, de telle sorte que le bain d'acier après la fusion représente la moyenne entre les duretés extrêmes des barrettes chargées.

Il se produit, d'ailleurs, une sorte d'ébullition qui détermine un véritable brassage du métal, toutes les scories se réunissent à la surface du bain; lorsque celui-ci est devenu calme, que sa surface est bien nette, ce dont on s'assure en enlevant le couvercle, il est *bon à couler*. Le métal fondu est versé dans une lingotière l'on obtient un petit lingot qui est ensuite transformé en produit fini, par laminage ou par étirage au marteau.

La fabrication des aciers au creuset est très simple. Quelques fabricants ont attribué à l'addition de certains produits de nature plus ou moins secrète à doses homéopathiques la qualité exceptionnelle de leurs aciers. On est aujourd'hui fixé sur la sincérité de ces tentatives de charlatanisme industriel, et plus que jamais il est permis de dire qu'au creuset, plus encore que tout autre procédé métallurgique, pour obtenir des produits extra supérieurs, il faut tout simplement employer des matières premières d'une irréprochable pureté et les chauffer à la température voulue. C'est là le seul secret.

Il serait puéril de chercher à réaliser dans le creuset une purification des matières; celles-ci pourront réagir l'une sur l'autre, mais le produit final n'en contiendra pas moins toutes les impuretés, car il ne se forme qu'une faible proportion de scories.

Le creuset convient surtout pour la fabrication des aciers extra durs. Les aciers doux pourraient difficilement être obtenus par ce procédé, eu égard à l'excessive température qu'il faut réaliser pour les fondre; les creusets les plus réfractaires ne sauraient résister.

Les aciéries d'Assailli et d'Unieux ont surmonté cependant cette difficulté; la première de ces usines exposait un échantillon de fer doux fondu au creuset présentant la composition suivante:

C.	0.150
Si.	0.120
Ph.	0.022

L'usine d'Unieux présentait aussi du métal analogue, sans indiquer toutefois sa composition. C'est un produit réellement nouveau en métallurgie.

Aciers de moulage au creuset. — Les fabricants de moulages d'acier ont repris avec succès les idées de Réaumur.

Dès 1722, ce savant s'était proposé l'adoucissement de la fonte en fondant au creuset un mélange de fonte et de fer doux. Il indiquait déjà les divers procédés réalisés depuis dans la pratique: 1^o sous le nom de fabrication de fonte malléable, 2^o sous le nom de procédé Martin-Siemens, 3^o sous le nom de procédé Bessemer-Robert.

Pour obtenir des aciers de moulage, on charge dans le creuset un mélange de fontes et de riblons (débris de fer ou d'acier). Les proportions relatives de fonte et de riblons sont déterminées d'après la dureté de l'acier que l'on se propose de couler.

Exemple: On veut produire 40 kilogrammes d'acier à 1 % de carbone, on prendra: 10 kilogrammes de fonte à 3,00 de carbone
30 — de riblons à 0,44 de carbone

On obtiendra ainsi un bain métallique contenant 0 k., 400 de carbone, soit 1 %.

Mais de la théorie à la pratique il y a parfois bien loin; les riblons chargés sont le plus souvent recouverts d'oxyde de fer qui agissent sur le carbone de la fonte et en brûlent une partie, de sorte que dans le calcul de la charge, il faut prévoir de ce fait une certaine perte de carbone.

Pour les moulages ordinaires on peut prendre :

Avec une telle charge, l'opération marche bien; elle est tumultueuse au début, mais bientôt le bain se calme; quand il est *mort*, le creuset est retiré du four et son contenu est versé directement dans les moules.

On tend à abandonner le creuset pour la fabrication des moules d'acier ; il est remplacé avantageusement par les fours à sole qui permettent une production beaucoup plus forte tout en réalisant une économie notable.

Le troisième procédé indiqué par Réaumur a été réalisé tout récemment par M. Gustave Robert, ingénieur des Arts et Manufactures. Le convertisseur Ro-

bert permet également d'obtenir des aciers de moulage dans d'excellentes conditions et comme qualité et comme prix de revient.

Néanmoins, le creuset sera toujours employé pour la fabrication des pièces d'un faible poids, et pour celle des produits fins ainsi que pour la préparation des *aciers spéciaux*.

Aciers spéciaux obtenus au creuset

Les recherches de MM. Chevreul et Frémy ont déjà fourni la preuve, avant 1860, que le carbone n'est pas le seul élément qui, ajouté au fer, modifie les propriétés de ce métal et le transforme en acier. Les études de ces savants chimistes ont reçu de nombreuses applications depuis 1867.

A vrai dire, même dans les aciers spéciaux, doués de propriétés spéciales du fait de l'addition de divers métalloïdes ou de divers métaux, le carbone préexiste toujours ; mais l'action de ce métalloïde se trouve modifiée d'une manière plus ou moins profonde par la présence des nouveaux corps.

En général, on désigne ces aciers spéciaux du nom de l'élément additionnel. C'est ainsi que l'on distingue :

- (1) Les aciers au Manganèse.
- (2) Les aciers au Chrome.
- (2) Les aciers au Tungstène.
- (4) Les aciers au Nickel.
- (5) Les aciers au Cuivre.
- (6) Les aciers au Titane.
- (7) Les aciers à l'Aluminium.
- (8) Les aciers au Silicium.

Quelquefois on produit des aciers de composition multiple qui renferment en même temps plusieurs des éléments ci-dessus.

Tels sont :

- (9) Les aciers au Chrome et au Tungstène.
- (10) Les aciers au Manganèse et au Silicium.

Ce groupement a été du reste étendu sous diverses formes qu'il n'est pas utile, quant à présent, d'examiner ici.

Aciers au manganèse

Les expériences faites à l'usine de Terrenoire au sujet de l'influence du manganèse sur les propriétés des aciers sont aujourd'hui classiques. Les résultats obtenus ont été publiés à l'occasion de l'exposition de 1878 et depuis lors repro-

duits par la plupart des ouvrages métallurgiques. Une série d'essais exécutés par l'Allemagne donne des résultats analogues à ceux de Terrenoire (1). De ces expériences on pouvait conclure qu'il n'était pas à propos d'accroître la teneur en manganèse au-dessus de 2 % ; au delà de cette proportion les produits devenaient très fragiles surtout sous l'action de la trempe.

Les choses en étaient, là lorsque au commencement de 1889, un fabricant d'acier fondu de Sheffield, M. Robert Hadfield a fait connaître au monde métallurgique la production d'acières manganésés, ayant des propriétés très supérieures malgré de fortes teneurs en manganèse variant de 7 à 21 %.

M. Hadfield a observé, comme on l'avait déjà fait en France et en Allemagne, qu'au-dessus de 2 à 2,5 % de manganèse, on n'obtenait que des produits sans valeur, mais il a observé en outre qu'en ajoutant plus de 7,5 % de Mn, le métal jouit de propriétés toutes spéciales.

Cet acier-manganèse diffère à tous les points de vue de l'acier proprement dit (2). Sous une charge de rupture de 100 kilogrammes par millimètre carré, l'allongement après la trempe peut s'élever à 50 % ; la trempe a un effet tout spécial, elle augmente tout à la fois la résistance et l'allongement d'une façon d'autant plus marquée que le refroidissement a été plus intense.

Cela résulte nettement des essais suivants de M. Hadfield :

Nature des Éprouvettes	Charge de rupture	
	en kil. par millim.	Allong. %
Forgée, non réchauffée	57	1.6
Forgée, réchauffée au jaune et refroidie à l'air	75	14.1
Forgée, réchauffée au jaune et trempée à l'huile. . . .	86	26.6
Forgée, réchauffée au jaune et trempée à l'eau	105	44.5

L'allongement se produit uniformément sur toute la longueur des éprouvettes sans striction.

La trempe restituant au métal des qualités de résistance et d'allongement, il en résulte qu'une éprouvette ayant subi déjà un allongement de 30 % par exemple pourra être de nouveau étirée après avoir été réchauffée et trempée. On est arrivé ainsi à obtenir, en 7 reprises, un allongement de 190 %.

Cet effet de la trempe qui, simultanément, fait monter la charge de rupture de 57 à 105 kilogrammes par millimètre carré et croître l'allongement de 1,6 à

1. Voir les mémoires de M. Ferd. Gautier.

1^o Les alliages métalliques. — Rapport au Congrès international des mines et de la métallurgie.

2^o *Dictionnaire des Arts Industriels* (supplément), article : *Acier*.

2. Voir le rapport de M. Lechatelier, ingénieur en chef des mines à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

44,5 est la propriété la plus curieuse de ce métal et jusqu'ici un exemple unique en métallurgie.

Cet acier manganèse s'obtient par la fusion au creuset de mélanges en proportion convenable de fer doux et de ferromanganèse : il est très fluide et donne de beaux moulages sans soufflures. Mais la résistance du métal simplement moulé est peu élevée, elle est seulement le double de celle de la fonte grise et la moitié seulement de celle des aciers moulés proprement dits.

L'acier manganèse se forge avec la plus grande facilité en donnant un métal dont la cassure à grains fins se rapproche de celle de l'acier trempé ordinaire. C'est seulement après cette opération du forgeage qu'il prend les résistances élevées rapportées plus haut.

Il ne peut pas être travaillé à froid autrement qu'à la meule, à cause de sa trop grande dureté. C'est là un très grave inconvénient qui limitera les applications du nouveau métal et qui a empêché jusqu'ici d'en répandre l'emploi aussi rapidement qu'on aurait pu l'espérer, d'après ses qualités remarquables et sa résistance.

Sa composition chimique, d'après une analyse très soignée de M. Stead, serait de :

Fe	86.00
Mn	12.15
C	1.11
Si	0.52
S	0.07
Ph	0.08
Cu	0.04
	<hr/>
	99.97

Il faut remarquer la forte proportion de silicium ; elle suffirait pour altérer complètement les qualités d'un acier ordinaire (1).

Le rôle du carbone n'a pas encore été complètement défini ; mais il semble plutôt nuisible, c'est-à-dire que les efforts et les allongements de rupture seraient d'autant plus élevés que la teneur en serait plus faible ; son influence est, en tous cas, tout à fait secondaire au lieu d'être prépondérante comme elle l'est dans les aciers ordinaires.

Les propriétés physiques de ce nouvel alliage ne sont pas moins remarquables que ses propriétés mécaniques. Malgré sa forte teneur en fer, il n'est pas magnétique, ou du moins il l'est si peu que son magnétisme ne peut être mis en évidence que par des expériences de grande précision. L'attraction qu'il éprouve de

1. L'opinion des métallurgistes, sur le rôle pernicieux du silicium dans les aciers, semble devoir se modifier à la suite de la fabrication et de l'emploi, à Sheffield, comme aciers à outils, de véritables aciers au silicium.

la part d'un aimant serait environ 8 000 fois moindre que celle qui serait supportée par un morceau de fer doux placé dans les mêmes conditions.

La résistance électrique est considérable, elle est supérieure à celle de tous les métaux et alliages usuels. D'après les expériences de M. Borett, un fil à 13,5 % de Mn présente une résistance de 0 ohm 75 par mètre de longueur et par millimètre de diamètre, soit environ 30 fois celle du cuivre pur recuit. L'accroissement de résistance avec la température est par degré centigrade 0,14 %, soit environ le tiers de celui du cuivre et 3 fois celui du maillechort.

La densité de cet alliage est de 7,81 ; son coefficient moyen de dilatation entre 0 et 1 000° est de 0.0000 245, c'est-à-dire bien supérieur à celui de l'acier à même teneur en carbone qui est de 0.0 000 150.

Une partie des résultats indiqués dans le mémoire de M. Hadfield ont été vérifiés à Saint-Chamond, par les soins de M. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines et de M. Le Chatelier, ingénieur des constructions navales, avec le concours de M. Dupuis, sous-directeur des forges et aciéries de Saint-Chamond.

Composition du métal.	Mn.	13.90
	C.	1.36
<i>Epreuves à la traction</i>		
Dimension de l'éprouvette	Longueur utile	88 mm/m
	Diamètre	8
	Effort de rupture en kg par mm ²	Allong. %
Eprouvette brute de forge	81.3	1.25
— trempée à l'huile au rouge	80.9	18. 9
— » à l'eau au jaune.	91.2	35. 0
— » au mélange réfrigérant au jaune	106.9	51. 8

Epreuves de pliage par choc

Dimensions de la barrette.	70 × 24 × 9 millim.	Angle intérieur de rupture
Eprouvette brute de forge		172°
» trempée à l'huile au rouge. . . .		150°
» » à l'eau au rouge	pliage complet	
» » » au jaune		id.

Cette expérience confirme ce fait que la trempe donne de la douceur à l'acier-manganèse, augmente l'allongement de rupture comme le fait le recuit pour les autres aciers, tout en augmentant aussi sa résistance.

L'emploi du nouveau métal ne semble pas s'être répandu jusqu'ici comme son inventeur était en droit de l'espérer. Sa résistance considérable à la rupture par choc et à l'usure par frottement le rendrait précieux pour un grand nombre d'usages. La difficulté que présente le travail à froid est le principal obstacle.

Si l'usage a prévalu dans le commerce des objets en fer de ne mettre en circulation que des produits finis au tour ou à la lime, il n'en a pas toujours été ainsi ; pendant longtemps les objets bruts de forge ont été acceptés sans difficulté du consommateur. Il n'y aurait aucun inconvénient à revenir à cet ancien usage pour les métaux de qualités exceptionnelles.

L'emploi de ce métal serait tout indiqué pour la construction des machines agricoles, des roues de wagonnets, des fers à chevaux, des axes de rotation, etc., et en général pour toutes les pièces exposées à l'usure par frottement ou à la rupture par choc.

Aciers chromés

Les premiers essais de fabrication des aciers chromés ont été faits à Brooklyn (Etats-Unis), il y a plus de 15 ans. Quelques échantillons figuraient à l'Exposition de Philadelphie, en 1876.

En France, c'est à l'usine de M. Jacob Holtzer, à Unieux, et sous la direction de M. Brustlein, que les aciers chromés ont été produits d'une façon pratique et étudiés méthodiquement.

M. Brustlein a indiqué en peu de mots au Congrès des mines et de la métallurgie, en septembre 1889, les faits principaux de l'histoire des aciers chromés.

Le chrome est de tous les métaux celui qui présente le plus d'affinité pour le carbone. On peut arriver à préparer un carbure de chrome qui renferme jusqu'à 10 % de C., son aspect varie bien plus avec sa teneur en carbone et en silicium qu'avec sa teneur en Cr ; lors du passage par refroidissement du carbone de l'état combiné à l'état dissous, l'aspect de la cassure change beaucoup aussi. Lorsque la teneur atteint 30 % environ de Cr., une séparation en deux parties semble se produire, ce qui tend à faire croire qu'il y a un carbure de chrome.

Par le refroidissement lent de l'alliage à 25 % environ, il se forme dans la masse des aiguilles blanches.

Le chrome peut être introduit dans l'acier en toutes proportions. Les aciéries d'Unieux exposaient un échantillon de fonte qui représente la limite entre la fonte et l'acier ; il renferme 12 % de Cr, à peu près 2 % de C et peut se forger.

La propriété principale qui caractérise l'addition de Cr dans les aciers, c'est d'augmenter la tenacité et la résistance à la rupture, sans modifier les autres propriétés de l'acier, c'est-à-dire que l'acier chromé une fois obtenu peut être forgé et travaillé comme un acier ordinaire.

L'acier chromé, à l'état de fusion a une grande tendance à s'oxyder à la surface ; mais le Cr ne forme pas comme le Mn un silicate fusible et liquide. Sous l'action de l'oxydation il se forme à la surface une pellicule épaisse ; peut-être y

a-t-il une tendance à produire un chromite de fer ? C'est un inconvénient à éviter dans la fabrication des aciers chromés.

M. Brustlein a fait des tentatives pour souder les aciers chromés à la façon ordinaire avec ou sans borax, mais dès que la proportion de Cr est un peu sensible, ils se soudent mal ou ne se soudent pas du tout ; c'est un des inconvénients que peuvent présenter ces aciers.

Ils prennent une trempe plus vive que les aciers au carbone et en même temps les parties non trempées gardent une grande tenacité, ce qui donne une solidité plus considérable à l'ensemble.

Les aciers chromés sont obtenus par l'addition, en proportions convenables, de fontes chromées à un bain d'acier doux fondu.

En général, les aciers chromés renferment de 1 % de carbone et de 1 à 4 % de Cr suivant l'usage auquel on les destine.

Les exposants se sont abstenus d'indiquer la composition des aciers chromés qui présentaient, avant et après trempe, des propriétés exceptionnelles.

Le tableau ci-dessous représente quelques résultats de traction sur acier chromé Holtzer.

Nature	Limite d'élasticité	Charge de rupture	Allongement % sur 100 mm.	Contraction de section %
{ Forgé	44 ⁸ .7	77.5	19.5	63
{ Trempé	—	110.3	9.5	55
{ Autre trempe	107.0	183.6	8.0	43
{ Forgé	45.4	76.8	18.3	59
{ Trempé	—	95.7	13.0	59
{ Autre trempe	—	187.0	6.0	31
{ Forgé	39.2	65.7	22.5	59
{ Trempé	76.8	87.6	6.0	18
{ Autre trempe	—	149.6	0.5	0
{ Forgé	89.6	66.4	26.5	53
{ Trempé	74.8	86.2	12.2	30
{ Autre trempe	112.2	121.6	6.5	26

La Société J. Holtzer a 3 marques principales d'acières à outils. Elle a fourni, à l'occasion de l'exposition, les renseignements ci-dessous relatifs à la trempe et à l'usage de ces aciers qui sont désignés ainsi :

Chromé B¹, très dur.

Chromé B³. dur.

Chromé B⁴.

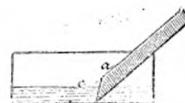
Chromé B¹, très dur. — Cet acier est, après trempe, le plus dur que l'on connaisse. Avec une mèche faite avec cet acier on peut, en allant doucement, percer un trou de 12 milimètres par exemple dans une barre d'acier « Volfram » (Mushet) sans diminution bien appréciable du diamètre du trou.

Il ne convient, en raison de son excessive dureté, que pour des outils à tranchant travaillant sans choc et dont l'extrémité seule a besoin d'être trempée : outils de tours, de raboteuses, de mortaiseuses, lames d'alésage, couteaux de rayage, rasoirs, mèches à percer des matières dures, limes, tiers-points pour affutage de scies et de fraises, etc., etc.

Pour forger et tremper l'acier B¹, il est recommandé de procéder comme suit, en prenant pour exemple un outil de tour :

Chauder l'acier au rouge cerise et le forger comme les autres aciers à outils durs. Le laisser refroidir après forgeage et tremper l'outil de la façon suivante :

On commence à le chauffer vers *a* (voir la figure ci-dessus), un peu en arrière du tranchant, pour ne pas exposer ce dernier directement à la flamme. La chaleur se communique peu à peu au tranchant. Quand toute l'extrémité de l'outil est à la température voulue bien uniforme (rouge cerise), plonger le bec de l'outil dans de l'eau froide propre, comme l'indique le croquis *b* en montant et descendant l'outil parallèlement à lui-même de quelques millimètres, afin que le passage de la partie trempée à celle non trempée se fasse par une petite transition.



Au bout d'un moment, et avant refroidissement complet, poser l'outil dans un vase contenant de quelques millimètres à 1 centimètre de hauteur d'eau (*c*) suivant la grosseur de cet outil et le laisser refroidir.

Ne pas faire revenir.

Chromé B³, dur. — Les aciers marqués B³ sont moins durs que les précédents. Ils peuvent être employés pour outils devant être trempés en entier, tels que : tarauds, fraises, bouterolles, alésoirs, forets, poinçons et matrices de petites et de moyennes dimensions, burins, bédanes, etc.

On peut forger cet acier un peu plus chaud que celui marqué B¹, au rouge cerise clair, et le tremper à la même température.

Faire revenir jaune orangé.

Chromé B⁴. — Encore moins dur que les deux précédents. Convient comme le B³ pour outils devant être trempés en entier : tarauds, fraises, etc., mais de grosses dimensions. Très résistant au choc, il fait d'excellents outils de pointerie, clouterie et boulonnnerie, lames de cisailles, etc.

Forger et tremper au jaune orangé sans dépasser le point où les pellicules d'oxyde commencent à se former.

Faire revenir jaune.

D'une façon générale, l'acier chromé exige pour la trempe une température un peu plus élevée que l'acier à outil ordinaire.

On peut du reste, juger par la cassure si cette température était bien exactement au point voulu.

Ainsi, si la trempe est faite à la chaleur convenable, la cassure a un grain très fin, mais perceptible. C'est la texture qui correspond au maximum de dureté compatible avec un bon usage de l'outil.

Trempé moins chaud, le grain est plus fin encore, la cassure est presque vitreuse, mais l'outil est moins dur alors.

Trempé au contraire trop chaud, le grain est plus accentué et brillant, l'outil devient plus dur, mais il s'égrène facilement et fournit peu de travail.

C'est surtout dans les applications militaires que les aciers chromés se sont montrés remarquables. Tant qu'on n'a eu à percer que des cuirassements en fer, les projectiles en fonte dure ou *fonte trempée* ont été à peu près suffisants, quoique dans le tir oblique, la fragilité du métal se montrât d'une manière marquée.

On fit un pas en avant avec les obus en *acier coulé* et trempés à l'huile sans aucun forgeage, fabrication inaugurée par la Compagnie de Terrenoire ; leur qualité supérieure et leur bon marché relatif leur firent remplacer complètement la fonte trempée, car ils résistaient parfaitement au tir oblique.

Par l'introduction des cuirassements en fer, recouverts d'acier (type *compound*) ou par l'emploi des plaques homogènes en acier, on arriva à l'emploi des projectiles en acier forgé et trempé.

Les premiers projectiles en acier chromé forgé et trempé furent fabriqués par Jacob Holtzer et C^{ie} et les essais eurent lieu en France en juillet 1882. Trois obus de 34 centimètres, du poids de 420 kilogrammes, furent tirés sur une plaque en fer de 40 centimètres d'épaisseur et sous une incidence de 18°. Les résultats dépassèrent ce qui avait été obtenu jusqu'à présent et, dès 1884, la marine française adopta pour son approvisionnement de projectiles, le métal chromé.

Tous les projectiles, jusqu'au calibre de 34 centimètres inclusivement, sont essayés actuellement sur plaque en acier ; un lot n'est admis en recette que si deux projectiles traversent entièrement et si l'un d'eux reste entier ; toutefois, si le premier traverse entier et sans fente, le second n'est pas tiré.

Un autre emploi intéressant de l'acier chromé, ce sont les *tôles pour plastrons de cuirasses*. Ces cuirasses ont une épaisseur de 4 millimètres sur le busc et 2 millimètres seulement, sur les côtés, elles ne sont pas pénétrées à courtes distances par le fusil Gras, modèle 1874, avec balle en plomb durci ; mais elles ne résisteraient pas à une distance de 10 mètres, à la balle du fusil Lebel tirant avec une vitesse de 600 mètres. Il faudrait, pour plus de sécurité, porter leur épaisseur à près de 6 millimètres.

Voici les conditions de recettes pour les tôles d'acier chromé, de 4 millimètres

d'épaisseur, destinées à servir d'abris aux servants des pièces Hotchkiss de la marine.

Limite d'élasticité.	70 kil.
Charge de rupture.	100
Allongement % (mesuré sur 200 millimètres) . . .	10
Contraction % de la section	55

Ces tôles, malgré leur raideur apparente, se laissent percer, cintrer, plier *à froid*. Le pliage peut même être poussé jusqu'à ce que le rayon de courbure soit égal à leur épaisseur.

Ces boucliers ne peuvent abriter que contre le tir de la mousqueterie ordinaire. Lorsqu'on vise la protection contre les canons revolvers, il y a lieu d'employer une qualité spéciale d'acier chromé, qui répond aux conditions suivantes, pour épaisseur de 15 millimètres :

Limite d'élasticité.	80 à 90 kil.
Charge de rupture	100 à 110
Allongement % (mesuré sur 100 mm) . . .	10 à 12
Contraction % de la section	55 à 58

On s'en sert pour abris de tourelles de cuirassés. On peut les travailler à froid ; mais elles supportent le cintrage au rouge sombre. A cause de la trempe et du recuit qu'elles doivent subir, on ne les fait qu'à la dimension de 1 mètre sur 2.

En résumé, les aciers chromés sont admis dans la pratique et rendent les plus grands services pour la confection des aciers à outils et surtout pour la fabrication des projectiles qui traversent les blindages les plus épais.

Avec quels aciers forgera-t-on les obus le jour où les blindages seront en aciers chromés ?

Aciers au Tungstène ou Wolfram

L'usine de Bochum en Allemagne et presque en même temps la Société de Saint-Chamond, en France, fabriquèrent industriellement des aciers au tungstène, en ajoutant une proportion déterminée d'alliage tungstique selon la dose de tungstène à incorporer, dans un bain d'acier doux.

Depuis on est arrivé à produire l'acier au tungstène en employant la cornue Bessemer ; en remplaçant par de la fonte tungstique le spiegeleisen ajouté à la fin de l'opération.

A la dose de 3 % environ, le tungstène donne aux aciers une telle dureté qu'ils peuvent être employés tels, sans être trempés, pour la fabrication des

outils. Ces aciers présentent une résistance à la rupture supérieure à 100 kilogrammes par millimètre carré, avec une cassure soyeuse caractéristique : ils ont ceci de remarquable qu'ils présentent la propriété de s'affûter par l'action du travail lui-même quand on les emploie comme outils de tour à grande vitesse.

Dans le travail de ces aciers à chaud il importe d'observer quelques précautions. Ils doivent être chauffés graduellement à cœur, au rouge cerise clair. On les forge alors à petits coups en ayant soin de les réchauffer quand la température s'abaisse sensiblement. On réchauffe au rouge cerise les outils terminés. On les laisse refroidir, on leur donne à la meule la forme voulue et on les emploie sans autre ajustage ni affûtage.

Les aciers au tungstène se sont peu répandus à cause de la rareté du métal d'alliage. Du reste, ces aciers sont bientôt altérés, à chaud et même à froid.

Les aciers à faible dose de tungstène sont sensibles à la trempe et peuvent même donner dans cet état des résultats tout particuliers ainsi que le prouvent les chiffres des tableaux ci-dessous établis par M. Holtzer d'Unieux.

Aciers au tungstène.

NATURE	LIMITE D'ÉLASTICITÉ	CHARGE DE RUPTURE	ALLONGEMENT % SUR 100 MILL.	CONTRAC-TION DE SECTION %
Forgé	29 ^k ,3	54.8	23.5	46
Trempé	63 .4	82.1	10.2	40
Autre trempe	95 .0	126.0	2.5	3
Forgé	33 .4	64.4	17.0	33
Trempé	73 .5	94.5	8.5	24
Autre trempe	—	152.0	4.5	4
Forgé	44 .0	74.8	9.0	—
Trempé	71 .8	99.0	8.3	27
Autre trempe	—	150.0	2.8	1
Forgé	44 .0	72.8	3.5	—
Trempé	76 .0	96.4	2.5	—

Acier au chrome et au tungstène

En associant, dans un même acier du chrome et du tungstène, M. Holtzer a obtenu aussi des résultats très importants : ils sont résumés dans le tableau ci-après :

Aciers au chrome et au tungstène.

NATURE	LIMITE D'ÉLASTICITÉ	CHARGE DE RUPTURE	ALLONGEMENT % SUR 100 MILL.	CONTRAC-TION DE SECTION %
Forgé	89.9	67.0	20.8	30
Trempé	73.5	82.1	7.0	33
Autre trempe	133.6	143.5	2.5	6
Forgé	46.0	72.5	17.5	33
Trempé	86.9	96.4	6.2	15
Autre trempe	136.0	149.6	1.8	7
Forgé	50.8	80.6	14.5	24
Trempé	93.8	104.2	5.0	13
Autre trempe	139.0	148.0	—	—

Aciers au Nickel

Les aciers au nickel prendront une place importante parmi les alliages ferrométalliques.

La Société le « Ferronickel » a présenté à l'exposition une série de produits dans la constitution desquels on avait fait entrer le nickel ; cette même Société n'avait du reste fourni que peu de renseignements précis sur les aciers au nickel.

M. F. Gautier a donné dans le tableau ci-dessous divers résultats d'épreuve d'après une communication de la Steel C^{ie} of Scotland.

Ces aciers au nickel sont susceptibles de prendre la trempe ; ils peuvent alors atteindre 125, 145 et même 160 kilogrammes par millimètre carré, avec 7 % d'allongement.

Avec moins de 4 % de nickel, il n'est pas difficile d'obtenir un acier ayant avant trempe :

Limite d'élasticité	45 kil.
Charge de rupture	80
Allongement p. 100.	20

Les aciers au nickel prennent un beau poli, avec surface brillante, dont la couleur est d'autant plus claire que la proportion de Ni est plus forte.

A l'air humide l'acier à 25 % de Ni s'altère et se corrode 87 fois moins facilement que l'acier doux ordinaire.

Cette résistance à la corrosion décroît sensiblement avec la teneur de nickel. Pour le travail à froid, il n'y a pas de difficulté jusqu'à 5 % de Ni; plus riches, les aciers au nickel sont moins dociles. Le perçage au poinçon se fait sans criques, même si les trous sont rapprochés.

Le métal à 1 % de nickel se soude bien; au-delà cela devient plus délicat.

Nature	Composition			Limite de densité	Charge de rupture	Allongement %	Contraction de section %
	Nickel	Carbone	Manganèse				
Forgé	1.0	0.42	0.58	50 ⁴ 5	90.0	11.0	24.0
Recuit	—	—	—	47.0	87.0	18.7	45.0
Forgé	3.0	0.35	0.57	49.4	80.2	20.3	37.0
Recuit	—	—	—	44.0	76.0	20.3	42.0
Forgé	5.0	0.30	0.30	47.0	73.0	10.0	22.5
Recuit	—	—	—	44.0	67.0	17.5	18.5
Forgé	25.0	0.82	0.52	34.5	74.5	43.5	60.0
Recuit	—	—	—	28.7	66.0	40.0	43.6
Forgé	49.4	0.35	0.57	32.3	59.0	12.0	24.0
Recuit	—	—	—	33.0	58.0	20.0	29.0

Aciers au Cuivre

Si le monde métallurgique n'avait pas été habitué depuis ces derniers temps à bien des surprises, il aurait sans doute accueilli avec un certain scepticisme l'apparition des aciers au cuivre.

Il convient de rappeler que jusqu'ici le cuivre était assez peu recherché dans la métallurgie du fer; on l'accusait de rendre ce métal rouverin, non soudable, etc.

Le Creusot, Chatillon, Commentry, la maison Holtzer ont étudié l'action du cuivre considéré comme élément d'aciération ou de durcissement. Les résultats ci-dessous ont été publiés par l'usine d'Unieux.

En résumé, le cuivre exalte l'aptitude des aciers pour la trempe.

L'éprouvette qui a donné après trempe une résistance de 115 kil. 2 avec un allongement de 11 % est vraiment remarquable.

Nature	Limite d'élasticité	Charge de rupture	Allongement % sur 100 m/m	Contraction de section %
Forgé	3047	548	22.5	51
Trempé	70.1	77.5	17.5	59
Forgé	46.0	59.0	18.6	50
Trempé	100.0	122.3	6.2	24
Autre trempe . . .	85.5	115.2	11.0	37
Forgé	30.7	54.8	22.5	59
Trempé	66.8	85.5	14.50	50
Autre trempe . . .	—	110.0	2.0	3
Forgé	33.4	48.2	23.7	76
Trempé	36.7	53.5	19.0	73
Forgé	35.4	50.0	23.5	60
Trempé	34.1	50.0	8.2	6
Autre trempe . . .	—	65.4	15.0	59

Aciers au Titane

L'usine d'Assailly poursuit la fabrication au creuset des aciers au titane. Elle a fait figurer à l'Exposition un échantillon de ferro-titanium en grenailles, contenant 22 % de titane et destiné sans doute à être employé sous forme additionnelle dans les creusets pour la fabrication d'aciers à faible dose de titane.

L'échantillon exposé contenait :

C — 1.30 %.
Ti — 0.45 %.

Les exposants n'ont fourni aucune indication sur les propriétés physiques et mécaniques de ces aciers spéciaux :

Aciers à l'Aluminium

L'aluminium est employé dans la métallurgie du fer, aussi bien pour l'amélioration des fontes que pour celle des aciers et des fers. On a publié sur les résultats obtenus par la présence de ce métal des faits qui mériteraient un examen approfondi.

Dans l'une des séances du Congrès des mines et de la métallurgie, M. Gautier a fourni quelques explications sur *l'introduction de l'aluminium dans la métallurgie du fer et de l'acier*.

Dès 1859, M. Sainte-Claire-Deville avait remarqué que l'aluminium agissait sur les propriétés du fer; il existe même des travaux plus anciens; mais l'aluminium n'a fait son apparition dans la métallurgie qui récemment, à l'occasion de la fabrication des aciers sans soufflures.

La première fois qu'on a présenté à l'examen des métallurgistes un acier obtenu par une addition d'aluminium, on a tenu le procédé secret, de sorte qu'on a pu admirer à Londres dans l'une des séances à laquelle assistait M. Gautier, des échantillons fort remarquables d'acières *mitis* (1) obtenus par l'emploi de l'aluminium mais sans savoir comment ce produit avait été obtenu; ce n'est que plus tard que les inventeurs se sont décidés à faire breveter cette addition d'aluminium pour la fabrication des aciers sans soufflures. »

De nouveaux résultats ont été obtenus en Amérique; d'après les travaux récents de M. Gyps et de M. F. Gautier (2), l'aluminium, comme le silicium possède la propriété de transformer le carbone combiné en carbone insoluble, ce qui explique la transformation de fontes blanches en fontes grises par l'addition d'une faible dose de l'un de ces métaux.

Cette propriété se manifeste à un degré encore plus élevé pour l'aluminium.

Lorsque l'aluminium sera livré à un prix réduit, même sous forme d'alliage avec le fer, il sera employé de préférence au Si, son action sur la fonte blanche étant plus énergique, on pourra n'employer qu'une dose moindre.

A l'Exposition de 1889 figuraient divers procédés de fabrication du ferro-aluminium. L'un d'eux désigné sous le nom de procédé de M. Brin, consiste à retirer directement de l'argile une partie de l'aluminium qu'elle renferme.

Les produits exposés ne *paraissaient* pas d'une qualité très régulière.

1. M. Campredon a examiné en 1886, au point de vue chimique et mécanique, quelques pièces accessoires de carrosserie tels que timons, porte-lanternes, clefs diverses, etc., obtenus en métal *mitis* par les procédés Nordenfield; ils étaient bruts de fonderie et très bien venus, ils présentaient toutes les qualités des aciers entra-doux; la composition était la suivante:

C.	0.140
S.	0.010
Ph	0.030
Mn	0.180
Al	moins de 0.050

2. Voir les mémoires de MM. Gautier et Brustlein au Congrès des mines et de la métallurgie, sur les alliages ferro-métalliques. — Septembre 1889.

Aciers au Silicium

L'action de ce métalloïde a été considéré pendant longtemps comme nuisible, il n'en est plus de même aujourd'hui.

Il y a peu de temps, la présence simultanée du carbone et du silicium était jugée *incompatible*; et l'on pensait que ce dernier élément donnait beaucoup d'aigreur et de fragilité aux aciers carburés.

Il est prouvé maintenant que des aciers à 0,6 % de carbone, qui ne prennent pas une trempe suffisante pour constituer de bons aciers à outils, peuvent être trempés dans de bonnes conditions, quand la teneur en Si varie de 1 à 1,5 %.

Il existe à Sheffield une usine dans laquelle on n'emploie pas d'autres aciers à outils pour alimenter un grand atelier de rabotage et de nombreux tours.

Le martelage de ces aciers demande quelques précautions, mais la trempe n'exige aucune précaution spéciale, il faut seulement faire *revenir* légèrement la pièce trempée par un recuit peu prolongé.

Aciers au Silicium et au Manganèse

M. Holtzer a exposé une série d'échantillons d'aciers au silicium et au manganèse qui ont donné les essais mécaniques relatés dans le tableau ci-dessous.

Aciers au silicium et au manganèse.

Nature	Limite d'élasticité	Charge de rupture	Allongement % sur 100 mm/m	Contraction de section %.
Forgé	13 ⁴ 3	97 ⁴ 8	10.5	43
Trempé	33.2	67.9	14.0	23
Forgé	31.3	64.0	21.5	43
Trempé	83.5	112.2	13.0	39
Forgé	33.4	64.7	23.0	51
Trempé	97.8	118.6	10.0	39
Forgé	46.9	70.7	22.5	55
Trempé	53.4	80.2	18.5.	55
Autre trempe	118.8	126.0	10.7	47
Forgé	54.2	100.0	10.8	19
Trempé	103.4	112.3	7.8	31
Autre trempe	125.5	139.9	2.3	11
Forgé	46.1	68.7	22.0	59
Trempé	107.0	120.0	10.5	39

Production des aciers fondus au creuset. — En France, pendant l'année 1889, la production totale des aciers fondus au creuset s'est élevée à 11 781 tonnes.

Les Usines de M. J. Holtzer et C^{ie}, à Unieux, d'Assailly, de Firminy, de M. Marrel dans la Loire, et celles de Menthon appartenant à Châtillon-Commentry et Imphy dépendant de Commentry-Fourchambault sont les centres principaux de cette fabrication.

L'Usine d'Unieux avait plus spécialement exposé et sous une forme très complète, la série des échantillons et des essais correspondants destinés à faire connaître la qualité et la composition des diverses catégories ci-dessus indiquées.

Les Usines d'Assailly, créées vers 1825, par MM. Jackson frères, sont au nombre des établissements qui appartiennent actuellement à la Société des hauts fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer ; elles ont toujours porté leurs efforts sur la fabrication des aciers à outils.

Cette usine dispose de 4 fours de 24 creusets, chauffés au gaz, pouvant produire, par 24 heures, 12 tonnes de lingots.

Les aciers fondus d'Assailly sont classés, suivant leur composition chimique, en *acières au carbone*, *acières au chrome* et *acières au tungstène* : chacun de ces types comporte six catégories suivant le degré de dureté et suivant l'emploi.

Cette même usine avait exposé une série d'échantillons qui attiraient l'attention des visiteurs ; tels que :

Un essai de soudure d'acier fondu sur fer.

Un spécimen de ployage de tôles de 1/10 de millimètre en acier dur au creuset.

Une cassure de lingot d'acier au nickel (Ni 30 %, C. 1 %).

Une barre provenant du forgeage du dit lingot.

Une cassure d'un lingot d'acier au Cr. (2 % de Cr. environ).

Une — — — W. (2 % de W. environ).

Une cassure d'un lingot d'acier au *Chrome et au Manganèse*.

Une barre provenant du forgeage du dit lingot présentant les teneurs suivantes :

C.	1.3
Mn	12.8
Cr	2.5

Depuis sa création, l'*Usine de Firminy* s'occupe aussi de la production des aciers fondus au creuset.

Dès le début, cette fusion s'opérait dans des fours à coke ; maintenant elle se fait dans des creusets chauffés dans 3 grands fours à gaz, système Siemens, de 40 creusets chacun.

Chez MM. Marrel frères, à l'usine des Etaings à 2 kilomètres de Rive-de-Gier, on trouve 2 batteries de 40 creusets pour la fusion des aciers ordinaires ou chromés.

La Compagnie de Châtillon et Commentry a installé depuis quelques années dans son usine de Montluçon la fabrication des aciers au creuset pour outils et projectiles.

L'usine d'Imphy possède 2 fours de fusion système Siemens qui peuvent chauffer chacun 12 creusets.

Cette usine est la première qui ait entrepris en France et développé la production des moulages d'acier ; elle s'est fait une spécialité de la fabrication des roues de wagonnets montées sur essieux en acier forgé. Tous les charbonnages de la Belgique, du Nord, du Pas-de-Calais, une partie de ceux de la Loire et du Gard, les établissements Decauville ont employé en quantité considérable les roues provenant de Imphy.

Il importe d'observer en effet; qu'à Imphy, comme dans les autres usines, le creuset est souvent employé pour la fusion des aciers de moulage, surtout lorsque les pièces à obtenir sont de petites dimensions et doivent répondre à des propriétés bien déterminées.

Avenir des aciers fondus au creuset.— Les découvertes de MM. Bessemer, Martin et Siemens ont profondément modifié la situation de l'industrie métallurgique depuis vingt-cinq; aussi quelques esprits soucieux de l'avenir des aciers au creuset, se rappelant la fable, ont redouté un instant pour l'humble creuset de terre réfractaire, le voisinage de la cornue métallique.

Ces craintes étaient chimériques. Le creuset restera l'appareil simple et classique pour la fabrication des aciers fins, des aciers à outils, des aciers spéciaux, des moulages soignés, etc.

La statistique montre que l'emploi de ces diverses variétés d'acières, loin de diminuer, prend au contraire une certaine extension :

En 1887, on a coulé 7 532 tonnes d'acier au creuset.

En 1889, on en a produit 11 781 tonnes.

Affinage des fontes par les Convertisseurs Bessemer et Thomas-Gilchrist.

Depuis l'année 1862, le convertisseur Bessemer à garniture argileuse (acide), est entré dans la pratique journalière des aciéries qui possèdent ainsi le moyen de transformer très rapidement, par opération, 10 à 12 tonnes de fonte pure et renfermant une notable proportion de silicium et de manganèse.

Le procédé Bessemer est maintenant bien connu ; il n'a reçu, depuis 1878, aucune modification importante. La garniture seule a été changée dans certains cas.

Convertisseur Thomas-Gilchrist. — L'heureuse modification de la cornue Bessemer par MM. Thomas et Gilchrist, en 1878, a été le point de départ d'une nouvelle évolution de l'industrie métallurgique.

Le procédé donne des produits extra-doux et même soudables. Ils ont été mis en œuvre en France par les aciéries de Longwy, par la Société du Nord et de l'Est, par le Creusot et par les aciéries de Jœuf. Les expositions de Longwy et de Valenciennes étaient très remarquables.

Le premier brevet relatif à l'emploi des garnissages en briques magnésiennes a été pris par feu Emile Muller, professeur à l'Ecole des Arts et Manufactures en 1869. D'autre part, dans les travaux scientifiques publiés en 1889, il a été rendu justice à l'impulsion donnée par feu Grûner, inspecteur général des mines, professeur à l'Ecole des mines de Paris, pour l'utilisation des fontes phosphoreuses dans la fabrication de l'acier, par l'emploi de garnitures dolomitiques (basiques). Le métal obtenu est de bonne qualité, le prix de revient s'est abaissé dans des proportions considérables.

Cette nouvelle fabrication s'est localisée spécialement dans la région de Meurthe-et-Moselle (¹).

Les minéraux oolithiques phosphoreux de l'Est donnent de l'acier commun, malléable, présentant toutes les conditions d'allongement et de striction nécessaires pour en démontrer la bonne qualité pour les usages courants.

La Société des aciéries de Longwy a commencé sa fabrication en 1883, et l'on peut évaluer à 50 000 tonnes environ sa puissance de production annuelle. Cette fabrication de Longwy doit être étudiée d'une manière spéciale :

Déphosphoration.

Pour enlever le phosphore par oxydation, il faut former un phosphate stable ; à haute température tous les phosphates sont décomposés par la silice qui donne des silicates ; l'acide phosphorique restant est de nouveau réduit par le métal.

Si on traitait des fontes phosphoreuses dans la cornue Bessemer avec garniture acide, la silice des parois s'emparerait des oxydes de fer et de manganèse et empêcherait la formation d'un phosphate permanent.

Dans la cornue à garnitures basiques dans laquelle il a été fait une addition de chaux avant l'introduction de la fonte, la silice produite dès le début du

1. Voir la note de M. Mussy, Ingénieur en chef des mines, dans le *Bulletin de l'Industrie Minérale* de Saint-Etienne (1887).

soufflage donne au contraire une scorie basique et une partie du phosphore reste à l'état d'acide phosphorique.

Au bout d'un certain temps, l'oxyde de carbone réduit l'acide phosphorique au fur et à mesure qu'il se produit; l'élimination du phosphore est donc arrêtée pendant toute la période de décarburation, on y remédie en soufflant de nouveau après que les raies du spectroscope ont disparu.

On a donné le nom de sursofflage à cette période dernière de l'opération.

Le phosphore et le manganèse passent alors tous deux dans la scorie à l'état de phosphates de chaux et de protoxydes de manganèse et de fer.

En résumé, par le procédé Thomas l'affinage se fait dans les conditions suivantes :

1^o Combustion du silicium et du manganèse avec commencement d'élimination du phosphore, période relativement paisible pendant laquelle l'oxygène de l'air forme principalement des oxydes fixes. La flamme sortant du bec contient surtout de l'azote, elle renferme aussi des étincelles rouges et blanches dues aux globules de chaux et d'oxydes entraînés par le vent.

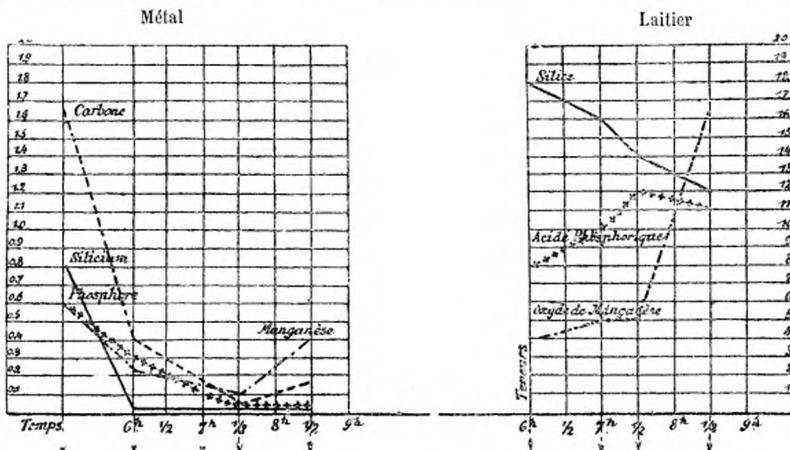
2^o Décarburation et réphosphoration du métal sous l'action réductrice de l'oxyde de carbone. Il se produit dans cette période des dégagements gazeux d'acide carbonique et d'oxyde de carbone qui soulèvent toute la masse métallique.

3^o Elimination complète du phosphore et combustion des dernières traces de manganèse. Les tableaux d'analyses et les graphiques ci-contre montrent l'étendue de l'épuration que l'on peut obtenir au convertisseur Thomas.

Marche d'une opération au convertisseur basique.

	Corps dosés	Fonte traitée	après 2'	après 4'30"	après 6'30"	après 9'	après 10'40"	après 11'30"	Produit fini
Analyse du métal	Si	0.82	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
	C	3.05	2.86	2.21	1.30	0.14	0.12	0.12	0.24
	Mn	0.41	0.29	0.25	0.23	0.11	0.09	0.07	0.36
	Ph	1.37	1.48	1.17	1.10	0.93	0.20	0.04	0.03
	S	0.33	0.27	0.34	0.35	0.37	0.31	0.18	0.12
Analyse du laitier	SiO ²	»	26.83	22.69	23.25	16.03	12.80	10.87	12.25
	MnO	»	3.61	3.93	5.50	3.12	2.68	2.54	5.32
	Oxyde de fer	»	4.35	5.34	8.39	6.13	8.54	13.04	11.03
	CaO	»	52.33	57.07	46.00	61.74	53.77	49.35	48.36
	PhO ³	»	2.61	2.22	7.74	5.88	14.34	13.69	12.68
	CaS	»	1.71	1.00	0.78	1.35	1.35	2.27	2.34

Graphiques figurant la marche d'une opération au convertisseur basique



Garnissage basique.

Dans la méthode Thomas Gilchrist, les convertisseurs sont revêtus intérieurement d'un pisé de goudron et de dolomie.

Voici la composition de la dolomie employée dans les usines de l'Est.

	Dolomie brute	Dolomie calcinée
Silice.	1 à 2	2 à 3
Allumine et oxyde de fer	2 à 4	3 à 6
Chaux.	29	56 à 57
Magnésie.	20	37
Matières volatiles	47	»

La calcination se fait dans un cubilot spécial garni intérieurement de dolomie.

La dolomie éprouve un retrait qui se rapproche de 60 %. Il est à remarquer que le retrait ne s'accentue véritablement qu'au rouge blanc. Quand elle est calcinée, sa dureté et sa densité sont devenues très grandes et sa surface est noire et brillante.

Cette matière est soigneusement triée après refroidissement. Elle passe alors dans un concasseur qui la réduit en morceaux de 2 à 3 centimètres, puis dans des broyeurs qui la pulvérissent. Une chaîne à godets reprend cette poussière pour la remonter à un plancher supérieur. Là se trouve un vaste bassin de goudron maintenu constamment liquide à 150° par un courant de vapeur qui volatilise toute l'eau ainsi que les huiles légères. Le goudron liquide est mélangé très intimement à la dolomie; dans une proportion de 12 % environ et le mélange est rendu encore plus intime par son passage dans un malaxeur.

Le pisé ainsi fabriqué sert au garnissage des parois latérales des convertisseurs, ainsi qu'à la confection des fonds.

Le revêtement latéral s'obtient en foulant le mélange à l'aide de dames chauffées au rouge, autour de moules en bois démontables. On soumet ensuite la cornue à un chauffage qui dure 2 jours, en soufflant de temps en temps quand la température baisse. Les fonds sont préparés dans un atelier spécial. Dans un moule en fonte dont la plaque du fond porte des broches, l'on bat fortement le pisé en serrant surtout autour des broches, puisque ce seront les points les plus sujets à l'usure ; l'épaisseur du garnissage est de 60 centimètres environ. Quand le damage est terminé, on ferme la partie supérieure du moule par une plaque en fonte percée de trous d'évent et le tout est porté à la température du rouge sombre. Deux étuvés à double foyer pouvant contenir 14 fonds montés sur leur chariot servent à cette cuisson qui dure environ 12 jours. Une fois terminés, les fonds sont mis en place à l'aide de vérins hydrauliques mobiles.

On fait 150 à 160 opérations avec le même garnissage latéral. Quant à un fond, il sert à quinze opérations environ. Il entre dans un convertisseur 45 tonnes environ de pisé dolomitique, dont 6 à 7 % de goudron.

La consommation de dolomie brute est de 50 kilogrammes et celle de goudron brut de 5 kilogrammes par tonne d'acier produite.

Fontes employées.

Les minerais phosphoreux de Meurthe-et-Moselle contiennent 38 à 40 % de fer, 9 à 13 de silice et 0,5 à 0,8 de phosphore.

On les mélange dans les hauts-fourneaux avec divers minerais étrangers savoir :

Les minerais de Nassau à 22 % de manganèse et 15 % de silice.

Les minerais de Grèce à 18 % de manganèse et 5 de silice, et enfin les silico-carbonates de fer et de manganèse de la vallée de l'Amblève entre Liège et Spa, dont la teneur en manganèse est de 20 %, mais dont la gangue est plus quartzée, 28 à 30 % de silice.

La castine renferme 52 % de chaux environ.

Les cokes contiennent de 9 à 15 % de cendres.

La production des fontes Thomas par fourneau est d'environ 65 tonnes par jour. L'analyse moyenne de ces fontes donne :

Silicium	0,35 à 0,40
Manganèse	1,80
Phosphore	2,00 à 2,25
Soufre	0,03

La teneur en silicium est très faible. Ce métalloïde, en effet, est nuisible à tous les points de vue.

Comme dans le convertisseur acide, le manganèse joue un rôle très utile, étant plus fusible que le silicate de fer, le silicate de protoxyde de manganèse, se forme de préférence en enlevant toute trace d'oxygène dans le bain ; l'acier est ainsi épuré et devient très malléable.

Quant au phosphore, sa présence est utile dans les fontes qu'il s'agit d'affiner par le procédé basique ; il dégage en brûlant une température d'autant plus élevée que la combustion se fait dans un temps plus court.

Les fontes Thomas qui conviennent le mieux pour la fabrication des aciers très doux sont les fontes blanches à 2 % de manganèse et avec traces de silicium.

Les fontes étrangères nécessaires aux additions finales sont les Spiegel dont la teneur en manganèse est de 13 à 15 %, les ferro-manganèses à 65 % de manganèse et les ferro-siliciums à 12 % de silicium et de 2,5 % de manganèse.

En outre de la réduction par le manganèse des oxydes de fer formés dans la masse métallique pendant le brassage, les fontes additionnelles assurent la teneur en carbone. Pour l'acier extra-doux, il convient d'employer des fontes blanches peu chargées de manganèse et de silicium ; l'acier lui-même ne renfermera que la quantité de manganèse additionnelle nécessaire à la réduction des oxydes de fer.

S'il y a excès de manganèse, cela nuira au degré de douceur de l'acier.

Opération.

Avant d'introduire la fonte dans le convertisseur, on fait à la pelle une addition préliminaire de chaux. La quantité varie de 15 à 22 % du poids de fonte, d'après la nature de la fonte.

A Longwy, la fonte employée vient de Belgique, elle ne contient que des traces de silice et d'alumine.

La pression du vent varie de 1 atmosphère à 1,20.

Au commencement du soufflage, la flamme est courte, d'une coloration pâle et bleuâtre. Les projections, constituées surtout par des poussières de chaux incandescentes, sont peu abondantes. Au bout de 2 à 3 minutes, la flamme s'allonge en devenant plus vive et plus chaude, à mesure que le carbone se brûle ; cette période de décarburation dure de 13 à 17 minutes, suivant la quantité plus ou moins grande de silicium. Quand les fumées de manganèse commencent à se montrer, et qu'en même temps tombe la flamme qui est d'un blanc intense, il n'y a plus trace de carbone dans le bain, et le sursoufflage commence. Pendant sa durée, qui est de 3 à 4 minutes, la température est très élevée et l'opération tout à fait calme ; le bruit du vent, fort marqué au début, devient de plus en plus sourd. Lorsque les fumées rouges commencent à blanchir, on renverse la cornue en arrêtant le vent et on fait la prise d'éprouvette. Le lingot est transformé sous le pilon en galette, laquelle, trempée très chaude dans l'eau froide, est cassée sur une enclume en V. Si la cassure présente un aspect lamelleux et

une teinte générale claire sans qu'il y ait formation de grains, et si, de plus, l'éprouvette casse au premier coup de pilon, il reste encore du phosphore dans le bain et il faut souffler encore quelquefois jusqu'à 1 minute, lorsque les caractères précédents sont très marqués.

Si, au contraire, le grain est bien formé et s'il y a des traces visibles de nerf, la cassure présentant une teinte mate, si en même temps le forgeron peut plier à bloc l'éprouvette sans qu'il y ait rupture, toute trace de phosphore a disparu, l'opération est terminée et il n'y a plus lieu de continuer le soufflage.

Les fontes froides sont plus disposées à donner des éprouvettes à nerf ; au contraire, la présence du silicium amène le grain.

A chaque opération, on est absolument sûr du métal, d'après le travail que supporte l'éprouvette.

On incline ensuite la cornue pour opérer le décrassage dans des moules en fonte placés sur chariot : les scories, en se refroidissant, ont un retrait considérable. Dès que l'on voit apparaître des étincelles d'acier, on relève le bec de la cornue et on procède aux additions de fontes spéciales : ferro-manganèses pour les aciers doux, spiegels et ferro-siliciums pour les aciers durs. Les morceaux de ferro-manganèse, chauffés au rouge dans un four, sont jetés directement dans le convertisseur, tandis que le spiegel et le ferro-silicium sont fondus aux cubilots et versés dans la poche de coulée en deux fois, de façon à rendre le mélange plus intime.

Les scories contiennent 11 à 13 % d'acide phosphorique, 35 à 38 % de chaux, et 7 à 8 % de magnésie, elles sont livrées à l'agriculture qui les emploie comme engrains. Leur production est de 40 tonnes pour 24 heures. Lorsqu'elles restent quelque temps en dépôt, ces matières absorbent l'humidité et l'acide carbonique de l'air et se dilatent ; leur teneur en acide phosphorique paraît alors diminuer, et au contraire leur richesse en chaux augmente.

La production d'acier par 24 heures est de 250 tonnes environ.

Qualités d'acier.

A la fin de chaque opération, on prend une éprouvette d'acier qui est coulée dans une lingotière de 10×10 centimètres et forgée directement sans réchauffage. On en forme : 1^o, 2 boulons de 16 millimètres de diamètre sur 100 de longueur utile ; l'un deux est essayé à la traction après recuit, l'autre après trempe dans l'eau froide ; 2^o, 2 barreaux, l'un de 30×30 , l'autre de 10×30 , qui sont pliés à bloc après trempe.

Avec les aciers doux, la trempe donne du nerf, rend la cassure fibreuse et augmente la résistance. Dans les aciers durs elle fait disparaître complètement le grain.

Les essais de traction se font à l'aide d'une machine à levier à double ro-

maine, avec transmission par engrenages (système *Trayvou*), et d'une machine hydraulique Marie type P.-L.-M. (Grafenstaden) ; un laboratoire est chargé d'analyser le métal donné par chaque opération.

Les dosages du carbone et du phosphore se font par le procédé colorimétrique d'Eggertz. La teneur en manganèse est appréciée par la méthode d'Osmond. On ne trouve que des traces de silicium.

Voici quels sont les différents numéros d'acier, classés par degré de dureté, avec les analyses moyennes qui s'y rapportent.

	Résistance par m/m carré	Allongement % minimum	Carbone	Phosphore	Manganèse
N°1. Dur . . .	75 à 70	12 à 14	0.30 à 0.35	0.08 à 0.10	1.00 à 1.20
2. Dur . . .	70 à 65	14 à 16	0.26 à 0.30	0.08 à 0.10	0.85 à 1.00
3. Demi-dur . .	65 à 60	16 à 18	0.22 à 0.26	0.08 à 0.10	0.70 à 0.85
4. Demi-dur . .	60 à 55	18 à 20	0.18 à 0.22	0.08 à 0.10	0.60 à 0.70
5. Doux. . .	55 à 50	20 à 22	0.15 à 0.18	0.08 à 0.10	0.50 à 0.60
6. Doux. . .	50 à 46	22 à 24	0.10 à 0.12	0.08 à 0.10	0.60 à 0.80
7. Très doux . .	46 à 42	24 à 26	0.09 à 0.10	0.08 à 0.10	0.40 à 0.60
8. Extra doux . .	42 à 38	26 à 28	0.08 à 0.09	0.05 à 0.08	0.25 à 0.40
9. Spécial Longwy	»	»	0.08	0.03 à 0.05	0.20 à 0.25

Résumé.

En résumé, dans ces dernières années, la production du métal Thomas s'est rapidement développée en Westphalie ; le fer fondu (flusseisen) s'est progressivement substitué au fer ordinaire et au fer fin. Le métal Bessemer est aussi fabriqué sur une échelle plus restreinte.

Les aciers au creuset et au four à sole Siemens-Martin sont fabriqués également, ce dernier surtout, pour utiliser les chutes des fers et des aciers Thomas.

En France également, cette production a pris un notable développement, à Jœuf, à Valenciennes et au Creusot.

Le produit obtenu est homogène, soudable, ayant à froid toutes les propriétés des fers les plus fins. Le prix de revient en est très réduit.

Devant ce métal, le fer puddlé, le métal Bessemer vont disparaître à bref délai. Seul le fer de ferraille pourra lutter.

Les produits de ces usines sont les lingots, blooms billettes, largets, élaborés en produits finis dans des usines de transformation, des tôles, plats, profilés et rails.

Le métal déphosphoré Thomas ou autre a rencontré et rencontre encore en France quelques préventions, le fer phosphoreux obtenu autrefois dans le travail au puddlage des fontes phosphoreuses de Meurthe-et-Moselle, donnait en fers marchands des produits dont les qualités à froid laissaient à désirer et peu malléables. Tout au contraire, le métal déphosphoré Thomas, quand il est convenablement traité, contient moins de phosphore que les aciers obtenus par les méthodes courantes Bessemer et Martin et au point de vue des qualités physiques, il possède des propriétés équivalentes.

Le métal Thomas se forge, se lame et sous l'action de la trempe à l'eau la plus vive, il prend du nerf et du corps ; comme l'ancien fer au bois provenant de fonte au bois et affiné au bois il devient plus malléable qu'à l'état naturel, c'est du fer au bois homogène à bon marché.

Cette propriété de subir la trempe en prenant du corps est à peine connue. Quand elle sera bien étudiée dans ses diverses applications elle aidera puissamment au développement du métal Thomas.

L'appellation de métal déphosphoré donnée au métal Thomas est sans doute une des causes qui ont le plus entravé en France le développement de son emploi ; à l'étranger il est dénommé fer fondu, appellation qui précise sa nature et non son origine.

On a été conduit à traiter au convertisseur Thomas des fontes exemptes de silicium, riches en phosphore et manganèse.

On a obtenu de cette façon des produits purs, un bain plus chaud, plus fluide plus homogène, donnant un métal plus soudant.

Production de l'Acier au Convertisseur

Dans une étude sur les ressources de la sidérurgie en France, M. Jordan, professeur de métallurgie à l'Ecole Centrale, constate que de 24 en 1877, le nombre des convertisseurs en activité s'est élevé à 28 en 1887. Dans cette dernière année, la production totale a été de 324 900 tonnes, se répartissant comme suit :

Rails.	189.200	} Dans ce total, l'acier basique entre Barres 107.300 Tôles et blindages. 28.400 pour 143.000 tonnes.

En 1889, la production des aciers par les convertisseurs acide ou basique s'est élevée à 304 786 tonnes, représentant 57 % de la production totale des aciers.

La capacité de production de la France est cependant beaucoup plus grande car le nombre des convertisseurs existant s'élève à 42 ou 44 ; les aciéries de

Terre-Noire, Givors, Saint-Nazaire, Pagny-sur-Meuse, sont complètement inactives, tandis que beaucoup d'autres n'utilisent qu'une faible partie de leur installation.

Depuis 10 ans, les conditions générales de l'industrie de l'acier se sont profondément modifiées ; les aciéries acides dépendant des minerais d'importation se sont rapprochées des ports de mer ; Denain, Isbergues, Saint-Nazaire, le Boucau, Beaucaire. Les aciéries d'Isbergues, avec leurs deux convertisseurs de 7 1/2 tonnes, ont une capacité de production de 100 000 tonnes par an ; elles produisent des rails, des éclisses, des poutrelles, des blooms et des billettes.

Le Boucau, appartenant à la Société de la marine et des chemins de fer, possède deux convertisseurs et des fours Martin ; établie en 1883 pour faire des rails, cette usine a dû se lancer dans d'autres fabrications. Il en est de même de Denain.

L'acier basique se fabrique à Joeuf avec 6 convertisseurs de 64 tonnes de capacité totale, à Longwy avec 3 convertisseurs de 45 tonnes, à Valenciennes et au Creusot avec 2 convertisseurs de 10 tonnes chacun pour chaque usine.

On arriverait ainsi à une production possible de 500 000 tonnes d'acier basique pour toute la France.

En général, on emploie le convertisseur Bessemer pour la fabrication des aciers demi-durs dont le type classique est l'acier pour rails, tandis que la cornue Thomas est, de préférence, réservée à la production des lingots d'acières doux et extra doux (fers fondus), qui sont ensuite transformés en tôles, fils aciers marchands et profilés divers.

Convertisseur Bessemer acide.

La production des aciers acides nécessite l'emploi d'une fonte pure et de composition bien déterminée.

Les usines qui travaillent avec la cornue Bessemer, en vue surtout de la production des rails, se sont établies sur le littoral de l'Océan Atlantique et de la Manche.

Elles emploient les minerais de Bilbao et les combustibles étrangers, arrivant les uns et les autres par mer, pour la production de leur fonte.

Usines du Boucau. — Les usines du Boucau possèdent 3 hauts fourneaux, plusieurs batteries de fours à coke produisant avec des houilles anglaises, la totalité du coke consommé à l'usine ; deux appareils Bessemer « acides ».

Les minerais employés sont ceux de Bilbao ; les fontes Bessemer qu'ils produisent présentent la composition moyenne suivante :

C	3.70
Si	2.00
Mi	2.00
S. . . .	0.01
Ph	0.05

Isbergues. — A l'usine d'Isbergues, la fabrication des aciers Bessemer a pris une grande activité. On y traite comme au Boucau des minerais de Bilbao. Les fontes obtenues, liquides encore, sont portées à l'aciérie et converties aussitôt.

Avec 2 convertisseurs de 7 à 8 tonnes, on est parvenu à produire 340 tonnes de lingots avec 72 coulées en 24 heures.

Le déchet moyen dans ces opérations était compris entre 9 et 10 % du métal chargé.

La consommation des tuyères s'élève à une par coulée, la durée des fonds atteint 15 coulées et celle des revêtements 200 coulées.

Denain. — L'aciérie de Denain comprend 4 convertisseurs de 10 tonnes, alimentés par des fontes pures provenant elles-mêmes des minerais de Bilbao (Somorostro).

Co-propriétaire des mines de Somorostro, la Société de Denain, possède 2 navires à vapeur spécialement aménagés pour cet usage, qui assurent le transport du minerai jusqu'au port de Dunkerque. Une installation particulière permet le déchargement rapide des navires et la mise du minerai en wagons ou en bétandres.

Bessèges. — L'usine possède 4 convertisseurs pouvant affiner chacun 5 000 kilogrammes de fonte par opération.

La fonte est traitée en première fusion, elle contient :

C	3.00 à 3.50
Si	2.00 à 2.50
Mn.	env. 2.00
S	0.03 à 0.04
Ph.	0.06 à 0.08

Convertisseur Bessemer basique.

La région de l'Est, où l'on produit abondamment les fontes phosphoreuses était le pays tout indiqué pour la fabrication des aciers basiques par le convertisseur Thomas-Gilchrist.

La notice de M. Mussy, reproduite plus haut, fournit d'intéressants renseignements sur l'importance de cette production à l'usine de Longwy.

Jœuf. — L'usine de Jœuf, située en Meurthe-et-Moselle, près de la frontière, fabrique des fontes qui sont transformées par le procédé Thomas, en acier sous forme de lingots, billettes et rails.

La fonte, obtenue dans 4 hauts-fourneaux, coulant chacun 100 tonnes par jour, provient des minerais des exploitations de Jœuf et de Moyeuvre, mines situées à cheval sur la frontière.

Elle renferme en moyenne :

Si.	0.7 à 0.8
Mn	1.5
Ph	2.0

Elle est de couleur gris-truité.

La fonte est traitée en première fusion par 6 convertisseurs de 8 à 11 tonnes. En 1886, les convertisseurs ont produit en lingots, destinés au laminage et à la vente, 74 000 tonnes.

Valenciennes. — L'aciérie de Valenciennes, qui fait partie de la Société anonyme des forges et aciers du Nord et de l'Est, est d'installation récente, elle date de 1881-1882.

Dans une notice à l'occasion de l'Exposition, la Société des aciers du Nord et de l'Est fournit sur son aciérie les indications qui sont reproduites ci-dessous :

La fonderie Thomas a été construite au flanc d'un coteau ; ce qui a permis d'établir, à 9^m,50 au-dessus du niveau général de l'usine, un plateau supérieur de manœuvre et de manutention au niveau des voies du chemin de fer du Nord, ligne de Valenciennes à Aulnoye. Ce plateau est sillonné de voies ferrées et sert de parc aux fontes, cokes, castine, chaux, dolomie, en un mot à toutes les matières premières entrant dans la composition de l'acier.

La fonderie d'acier est divisée en deux ateliers distincts :

L'atelier de fusion,

L'atelier de transformation.

Le premier est disposé près le parc aux fontes.

Il comprend 3 grands cubilots pouvant fondre chacun 20 000 kilogrammes de fonte à l'heure. A côté, 3 cubilots plus petits servent à la fusion des fontes d'addition. Le niveau de chargement de ces cubilots est le même que celui du parc aux fontes.

Les matières sont donc chargées dans les cubilots facilement et avec économie. Les cubilots sont établis sur un plancher intermédiaire solide, en poutrelles de 40 mètres de long sur 18 mètres de large, à 6 mètres au-dessous du niveau du chargement et à 3^m,50 au-dessus du sol général de l'usine, de manière que tout le dessous de ce plancher d'assise des cubilots est entièrement libre.

La fonte liquide coule dans une poche sur chariot, roulant sur des voies de 90 centimètres de largeur, établies au niveau du sol de l'usine, au-dessous du plancher servant d'assise aux cubilots, et une locomotive la conduit à l'atelier de transformation, après avoir été pesée sur une bascule intercalée sur la voie. Un autre appareil sert à peser le spiegel fondu, qui est transporté de la même manière que la fonte.

Le vent est fourni aux divers cubilots, à une pression de 0^m,80 à 1 mètre d'eau, par deux ventilateurs Roots, activés par une machine à vapeur spéciale à 2 cylindres et à condensation.

L'atelier de transformation qui a 40 mètres de longueur sur 30 mètres de largeur, se trouve à proximité de l'atelier de fusion.

Il comprend 2 convertisseurs Bessemer produisant 10 à 11 tonnes d'acier par opération.

Le plancher de travail des convertisseurs est à 4^m,50 au-dessus du niveau du sol.

La poche, contenant la fonte liquide, est montée à ce niveau par un élévateur hydraulique placé entre les deux convertisseurs. La fonte est versée à droite et à gauche, suivant le convertisseur qui est en service.

La chaux, qui est ajoutée dans le convertisseur à chaque opération du procédé, est chargée au niveau supérieur de travail, par un wagonnet dont le fond peut s'ouvrir. Il est amené sur un espèce de pont tournant muni d'un entonnoir suspendu, qui vient se placer exactement où l'on veut, au-dessus du bec des convertisseurs. La glissière fermant le fond du wagonnet étant retirée, la chaux tombe directement dans le convertisseur.

C'est une opération simple et rapide.

L'acier est reçu, du convertisseur, dans une poche placée à l'extrémité de la volée d'une forte grue centrale hydraulique. Cette grue de coulée est munie d'un mouvement spécial et facile, permettant de rapprocher ou d'éloigner la poche à acier de son axe de rotation et de régler la position du jet de coulée de la poche à acier, au-dessus de la série des lingotières disposées en cercle et sur plusieurs rangées, dans une fosse de 1 mètre de profondeur à peine.

Trois autres grues hydrauliques, d'une portée de 7 mètres chacune d'une puissance de 7 000 kilogrammes, sont disposées autour de la fosse de coulée, pour le démoulage et le chargement des lingots chauds.

Les dispositions de cette fonderie Bessemer ressemblent, en plusieurs points, aux installations américaines du même genre, caractérisées par la position parallèle des 2 convertisseurs et surtout, par la construction des diverses grues hydrauliques, dont la partie supérieure est guidée dans la charpente, à une hauteur de 14 mètres au-dessus du sol.

Ce guidage supérieur a pour but de faciliter la rotation de la volée de ces appareils, ainsi que toutes les manœuvres, de réduire l'usure et l'entretien ; ce qui est confirmé par leur bon fonctionnement et leur travail pendant 7 années consécutives.

Les appareils de distribution d'eau sous pression pour la manœuvre des convertisseurs, des élévateurs, des grues, etc., sont groupés dans un angle de la fonderie et le personnel, préposé à la manœuvre de ces appareils, placé sur une plate-forme assez élevée pour voir facilement tous les mouvements.

Les convertisseurs sont démontables en 3 parties.

La partie centrale, avec tourillons, reste seule en place.

On se sert pour enlever, soit le fond, soit le bec de l'appareil, d'un fort élé-

vateur hydraulique roulant, servant en même temps au transport de la partie démontée, dans un atelier annexe, où on répare les garnitures réfractaires de ces parties d'appareils.

Un pont roulant à moteur teléodynamique, d'une force de 80 tonnes, est monté dans cet atelier, pour manœuvrer les parties de convertisseurs en garnissage.

Au moyen de l'élévateur et de ce pont roulant, en quelques heures on peut démonter le fond et le bec d'un convertisseur et remonter ces parties d'appareil avec un nouveau garnissage.

Le vent est fourni aux convertisseurs par une machine horizontale à vapeur, à deux cylindres conjugués de 1^m,300 de diamètre avec 1^m,500 de course. Les deux cylindres à vent ont un diamètre de 1^m,400 et la même course. Cette machine, avec une vitesse de 30 à 35 tours, développe un travail de 8 à 900 chevaux indiqués.

La pression de l'air à insuffler dans les convertisseurs varie de 1 k.20 à 1 k.80 par centimètre carré, selon la nature des fontes traitées et la marche de l'opération.

L'eau activant les grues et appareils divers, est refoulée à une pression de 25 kilogrammes par centimètre carré, par deux pompes jumelles à vapeur.

Un accumulateur d'eau qui est plutôt un régulateur de pression, est en communication constante avec la conduite de refoulement des pompes.

Modifications du Convertisseur Bessemer

Petits Convertisseurs.

Pour marcher économiquement, les convertisseurs Bessemer et Thomas doivent forcer leur production. On arrive à ce but par 2 moyens différents :

1^o En augmentant la capacité des cornues.

2^o En augmentant le nombre de ces appareils.

Les conditions mêmes du travail au convertisseur et le développement considérable qu'exige leur installation ont concentré la fabrication des aciers dans un petit nombre de grandes usines bien situées pour l'approvisionnement des matières premières.

Les usines qui n'ont besoin que de petites quantités font usage d'appareils plus simples.

Les petits convertisseurs qui permettent de traiter par opération des charges de fonte se rapprochant du poids de 1000 kilogrammes rendront aux petits établissements actuellement tributaires des grandes usines pour l'approvisionnement des lingots, leur propre vitalité.

Les petits convertisseurs les plus connus sont :

1^o Les appareils de MM. Clapp et Griffiths, qui arrêtent le soufflage par le tamponnement des tuyères. Cette disposition a été employée pendant quelques années pour la fabrication de produits doux de qualité supérieure, mais comme elle entraînait un déchet considérable, elle est abandonnée.

2^o Les appareils de MM. Wittnofft, Haton et Witherow qui diminuent le soufflage pendant la coulée, soit en fermant partiellement l'orifice du vent, soit en fermant complètement la vanne et en ouvrant un orifice de petit diamètre soit simplement enfin, en ralentissant la vitesse de la machine.

Ces deux variétés d'appareils sont fixes, ceux qui sont désignés ci-après sont mobiles.

3^o Les appareils Durfee, Laureau, Walrand, Robert, dont les tuyères sont placées de telle façon qu'elles ne sont plus en contact avec le bain lorsque le convertisseur est renversé.

L'appareil Robert est le seul qui soit maintenant adopté d'une manière générale ; il figurait seul à l'Exposition de 1889.

Il est employé à Paris, à Stenay, à Saint-Nazaire, à Fraisans, et aussi à l'étranger, en Angleterre, en Belgique, en Espagne, en Italie et jusqu'aux Etats-Unis.

Convertisseur G. Robert. — Le procédé est simple et l'appareil est d'une conduite facile. L'opération réussit à coup sûr à la condition d'employer des fontes pures ne renfermant ni soufre ni phosphore, telles que celles qui sont épurées par le procédé Rollet.

A la suite de tentatives infructueuses, faites à l'usine de Stenay, pour tirer parti dans de bonnes conditions du convertisseur fixe Clapp et Griffiths, avec tuyères concentriques à tampon mobile, M. Gustave Robert a repris le convertisseur oscillant de faible capacité, en le modifiant de telle manière qu'il en a fait un appareil entièrement nouveau.

Dans le convertisseur Robert, le vent est introduit latéralement d'un seul côté presqu'au niveau du bain par une série de tuyères horizontales, mais inclinées sur la paroi du fond. Par suite il n'est plus besoin de fortes pressions; au lieu des 150 c. de pression exigés pour le convertisseur Bessemer, il suffit de 25 à 35 c. de mercure.

En vingt minutes, une tonne de fonte donne environ 900 kilogrammes d'acier ou de fer fondu. L'axe des tuyères est incliné suivant un certain angle, dans le plan horizontal.

Par suite de cette inclinaison le courant d'air détermine dans l'ensemble du bain métallique un mouvement gyration.

Les molécules sont ainsi amenées à subir successivement, et à diverses reprises, l'action de l'air; la scorie se forme rapidement et protège bientôt la couche supérieure du métal qui s'affine ensuite peu à peu par une sorte de cémentation

inverse, l'action oxydante s'étendant de molécule à molécule, jusque dans les parties les plus profondes du bain.

La masse n'est pas traversée par le courant d'air. Le brassage s'opère uniquement sous l'impulsion du mouvement de gyration.

Le métal n'est donc pas mélangé avec la scorie et lorsqu'on recueille dans la poche de coulée principale, il coule tranquillement et sans projections, ce qui dénote un métal très sain.

Pendant l'opération, on fait varier l'inclinaison de l'axe vertical de la cornue, afin de conserver sur l'orifice de chaque tuyère la même charge de métal, tout en faisant varier la pression et la quantité de vent nécessaires pour les dernières phases de l'opération.

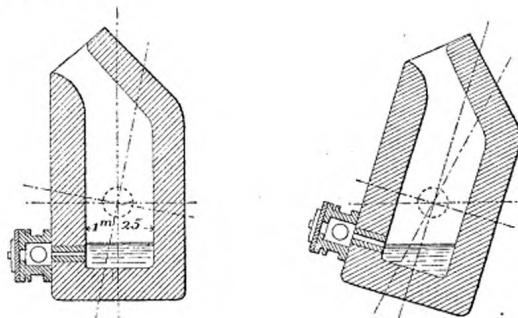


Fig. A

Fig. B.

Les fig. A et B montrent le convertisseur Robert dans deux positions différentes : vertical et incliné.

De plus au moment où l'on renverse la cornue, l'arrêt du vent est instantané; cela est essentiel tant pour éviter le déchet que pour assurer la parfaite régularité des produits. Il est à remarquer que ces dispositions peuvent être appliquées indifféremment à des cornues de toutes dimensions.

A Stenay et à Paris, dans l'usine de la rue Oberkampf, les cornues employées sont de la capacité d'une tonne. Elles mesurent 1^m,15 de diamètre à l'intérieur.

L'installation du convertisseur Robert présente l'avantage d'être très simple, et par suite peu coûteuse.

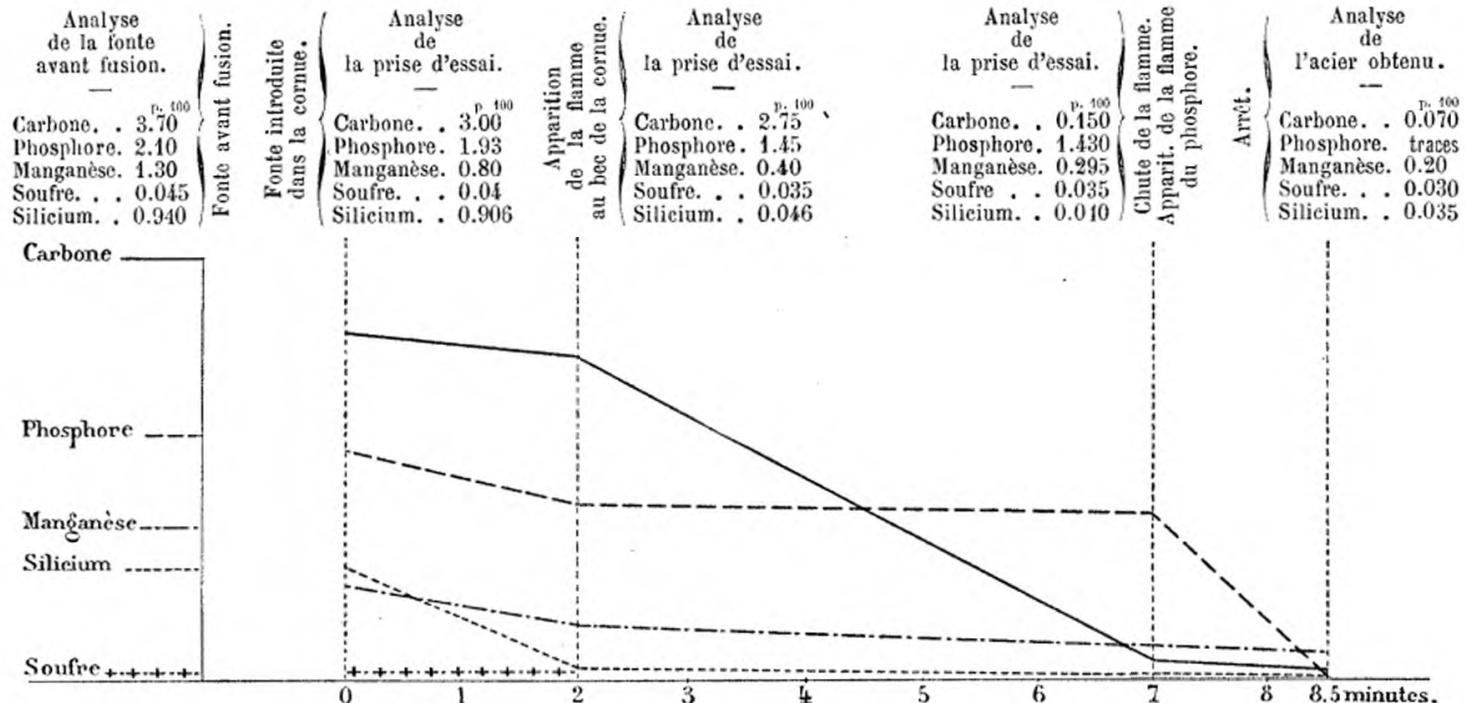
Elle peut être adoptée par toutes les usines même de faible importance. Enfin en faisant varier la nature du garnissage intérieur de la cornue on peut obtenir indifféremment des aciers durs, demi-durs ou doux pour le moulage, ou bien des lingots de métal déphosphoré.

Les graphiques 1 et 2 permettent de suivre la marche du travail dans le convertisseur.

CONVERTISSEUR ROBERT

CORNUE A GARNITURE BASIQUE. — CHARGE TRAITÉE : 812 KILOGRAMMES

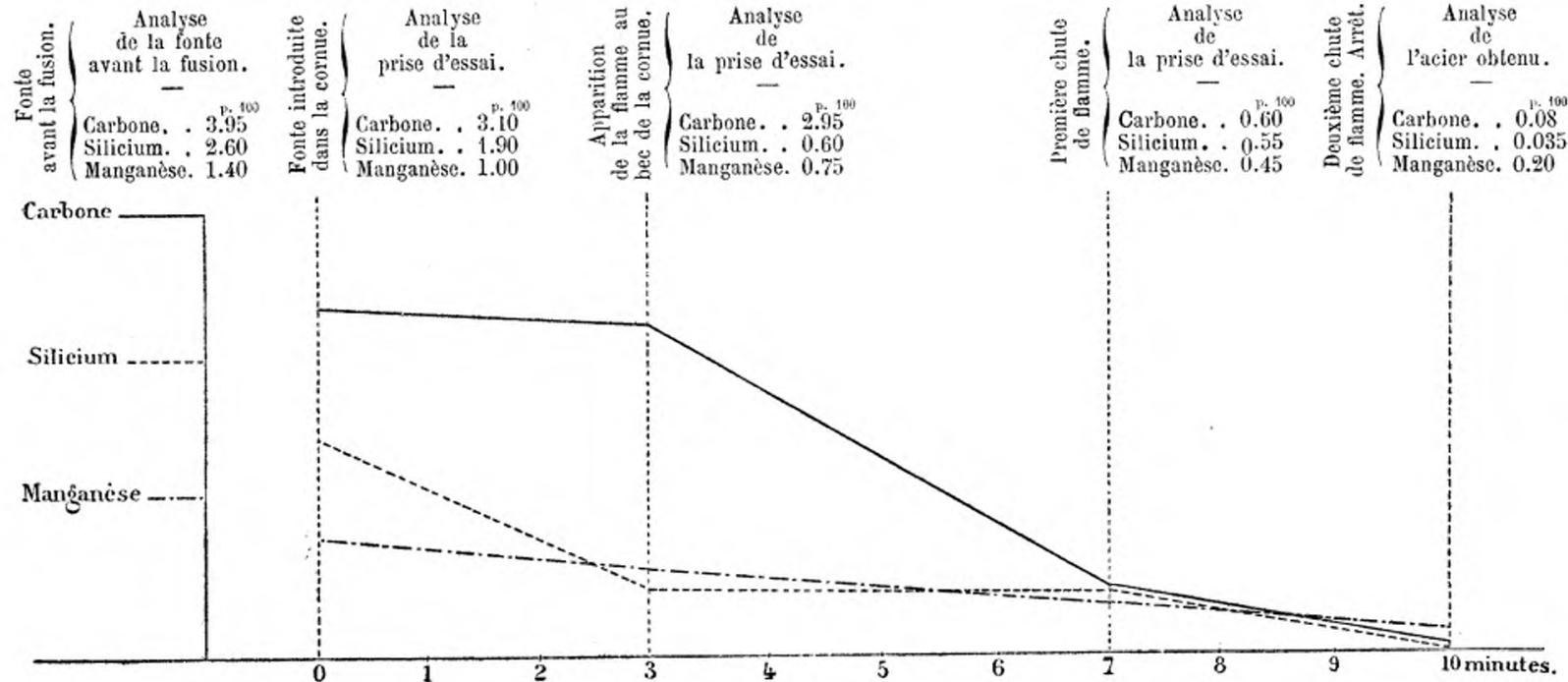
Diagramme n° 1.



CONVERTISSEUR ROBERT

CORNUE A GARNITURE ACIDE. — CHARGE TRAITÉE : 840 KILOGRAMMES

Diagramme n° 2.



Fabrication de l'Acier sur la sole des Fours à réverbère

La production des aciers sur la sole du four à réverbère chauffé par le gaz remonte aux années 1863-1864.

Les noms de MM. Martin et Siemens sont attachés d'une manière inséparable à la découverte de ce mode de fabrication qui a été depuis lors étudié et modifié en vue de produire des aciers de toutes nuances.

Depuis 1878, la marche du four Martin à sole de sable (garniture acide) n'a subi aucune transformation.

Un perfectionnement considérable et de la plus haute importance s'est produit récemment, vers 1880, à la suite de l'emploi par MM. Thomas Gilchrist dans le convertisseur Bessemer, de la garniture *dolomitiique* (basique).

A cette époque, toutes les usines qui avaient déjà monté les fours Martin-Siemens avec garniture acide, en transformèrent une partie au moins en fours avec garniture *dolomitiques* ou *magnésienne* pour la fabrication des aciers extra doux déphosphorés.

D'autres, en assez grand nombre, se montèrent spécialement pour cette fabrication. Telles sont les usines de Fraisans, la Providence, Pompey, Montluçon, Commentry, Pamiers, Valenciennes.

D'autres usines, Fourchambault, Alais, ont adopté dans le même but pour les fours Martin-Siemens, la garniture *neutre* de MM. Valton et Rémaury qui ont vulgarisé l'emploi des produits réfractaires en fer chromé déjà signalé dès 1876 par M. Audoin.

MM. Valton-Rémaury avaient exposé quelques échantillons de briques en fer chromé, ainsi que des éprouvettes d'aciers doux soudants, obtenus sur garniture neutre.

Les parois du four Martin-Siemens avec revêtement en fer chromé, résistent aussi bien à l'action de la silice qu'à celle de l'oxyde de fer et de la chaux, et l'on obtient ainsi des produits d'une extrême douceur.

Cependant, avec le four avec sole à garniture acide, on obtient toujours un métal de qualité supérieure. On réserve cette garniture pour la fabrication des aciers à canon, les blindages, les grosses tôles; et même pour les aciers soudants que l'on obtient d'une qualité parfaite, comparable et souvent supérieure à celle des meilleurs fers au bois des anciennes fabrications.

Eu égard au développement considérable que doit prendre très promptement l'emploi du four Martin-Siemens à garniture basique, il nous paraît utile de donner avec quelques détails, un aperçu de cette fabrication.

Four Martin basique (1)

Historique. — Le four basique est un four Martin dont la sole et les garnitures sont faits avec des matières basiques, chaux, magnésie, etc.

Grüner, dans ses hautes conceptions métallurgiques, avait entrevu le four à revêtements basiques, il consacre à ce sujet, dans son *Traité de métallurgie*, quelques lignes magistrales qui ont reçu leur entière confirmation dix à douze ans plus tard.

Vers 1880, lorsque le succès du convertisseur Thomas fut bien assuré, quelques métallurgistes pensèrent qu'il serait sans doute possible de faire pour le four Martin ce qui avait si bien réussi pour le convertisseur Bessemer. Les usines du Creusot, de Saint-Jacques, de Montataire, de Fourchambault furent les premières en France à se lancer dans cette voie, aujourd'hui complètement tracée. Dans un grand nombre d'usines françaises et étrangères fonctionnent beaucoup de fours basiques produisant d'une manière régulière avec des matières premières fort impures, des aciers extra-doux et doux remarquables par leur pureté. L'accueil favorable, on peut même dire empressé, que les usines métallurgiques ont fait au four basique est basé, il faut le reconnaître, sur des résultats certains. Tandis que le four acide ne peut traiter que des fontes, et des riblons purs, le four basique consomme les fontes et les riblons les plus phosphoreux et les transforme en acier déphosphoré de qualité convenable.

Le soufre lui-même est éliminé en grande partie dans le travail. Il n'est pas nécessaire d'opérer sur des fontes Thomas, c'est-à-dire des fontes de composition déterminée présentant entre leurs divers éléments des relations peu variables.

Toutes les fontes, pourvu qu'elles ne contiennent pas plus de 0.500 % de soufre, peuvent être affinées et épurées au four basique. L'allure n'est pas plus rapide que celle du four acide: et avec un four de capacité moyenne il est possible d'assurer la marche d'une petite aciéries. C'est là un avantage que ne présente pas le convertisseur basique; pour travailler économiquement, ce dernier doit produire de 6 à 12 coulées par 12 heures, soit une énorme production de plus de 100 tonnes tandis que le four basique n'en fait qu'une ou une et demie, soit une production de 15 à 20 tonnes.

Ces considérations sont du plus haut intérêt pour la majeure partie des usines; elles n'ont pas un débouché suffisant pour écouler au fur et à mesure de leur production les montagnes de lingots qui s'accumulent chaque jour dans le parc de l'aciérie Thomas. Aussi voit-on se multiplier les fours basiques dans les usines

1. *L'Acier*, historique, fabrication, emploi par L. Campredon.— 1890 — Tignol éditeur.

de faible et de moyenne importance, les cornues Thomas restant l'apanage, peu envié d'ailleurs, des grandes aciéries.

Le retard apporté à l'extension du four basique ne provient pas de la méthode, maintenant classique, mais plutôt de la difficulté que les fabricants ont rencontrée dès l'abord pour s'approvisionner de matériaux basiques de qualité convenable.

Principe de l'opération. — Matières employées. — Les conditions du travail du four basique peuvent se résumer comme suit :

1^o Fondre dans un four à parois basiques la fonte à traiter ; 2^o affiner cette fonte par une ou plusieurs additions de riblons en présence d'un laitier basique qui retiendra les impuretés fixes du métal chargé; 3^o faire passer la totalité des impuretés dans le laitier.

Il est bien entendu qu'il s'agit seulement des matières fixes par elles-mêmes ou par leurs composés : le silicium en s'oxydant, produit de la silice; le phosphore se transforme en acide phosphorique; le manganèse, se change en oxyde de manganèse. — Le carbone et le soufre donnent des composés oxygénés volatils ou décomposables par la chaleur.

Le laitier, qui joue dans le travail du four basique un rôle prépondérant, se forme par l'addition dans la charge métallique d'une quantité de chaux sensiblement proportionnelle à la dose des impuretés qu'il s'agit d'éliminer.

La fonte Thomas, conviendrait très bien pour le travail au four basique : on fait emploi de préférence de fonte ordinaire. Il y a lieu cependant de faire un certain choix.

Le carbone importe peu; graphitique ou combiné il disparaît avec facilité.

Le silicium est éliminé facilement; mais, par suite même de son oxydation, la scorie se trouve chargée de silice qui joue un rôle fâcheux dans la suite de l'opération; la fonte traitée ne contient donc toujours trop de silicium; en tous cas, la proportion ne doit pas dépasser 2 %.

Le manganèse peut varier dans des limites très étendues, d'après la nature des riblons traités et la qualité du métal qu'on se propose d'obtenir.

Le phosphore peut atteindre 3 %.

Le soufre ne doit pas dépasser 0 300 à 0 400. Cet élément se montre d'une élimination capricieuse au four basique.

Composition des fontes à traiter au four basique

Carbone	de 3.0 à 5.0 %
Silicium	de 0.3 à 2.0
Manganèse	de 0.5 à 3.0
Phosphore	de 0.5 à 3.0
Soufre.	moins de 0.400

La nature et la composition des riblons importent moins au four basique qu'au four acide. D'ailleurs, par cela même qu'un riblon porte ce nom, c'est qu'il a déjà été affiné d'une façon tout au moins partielle; une impureté excessive des riblons n'est donc pas à redouter.

Le four basique consomme à la rigueur les résidus métallurgiques les plus variés: scraps ou écailles de lingots, mauvais bouts de fer ou aciers laminés, tournures plus ou moins oxydées, platinages ou déchets de tôles minces découpées par les petits fabricants, boules manquées du puddlage, vieux rails de fer ou d'acier, rebuts de tréfilerie ou de pointerie, tout lui est bon, tout lui convient, il doit tout absorber, tout transformer. Mais il est évident que pour obtenir des produits de bonne qualité, le choix des matières pures s'impose comme dans toute fabrication soignée.

Les proportions relatives de fontes et de riblons que l'on charge au four basique sont éminemment variables. Elles dépendent surtout des conditions économiques du travail dans chaque région industrielle et même dans chaque usine. Bien mieux, dans une même usine, la composition de la charge est souvent modifiée d'après l'importance des approvisionnements des diverses matières. Il est possible de distinguer dans la marche du four basique trois cas bien distincts :

- 1^o Excès de fonte par rapport aux riblons.
- 2^o Égalité des fontes et des riblons.
- 3^o Excès des riblons par rapport aux fontes.

La méthode du four Martin dite par réaction a été modifiée dès 1876 par la substitution de minerai au riblon.

La marche avec minerai ou « ore process », est réalisée à Allevard dans des fours à *garniture acide*. Au four basique, la violence des réactions que déterminent les additions de minerai, détruirait rapidement les garnissages, et c'est seulement dans les fours à sole neutre (Valton-Rémaury) qu'il est possible de produire des aciers déphosphorés par « ore process » (¹).

Appareils employés. — Matières réfractaires basiques. — La disposition d'une aciéries basique est semblable à celle d'une aciéries Martin acide. La différence se trouve dans la nature de la sole et des parois.

De plus, comme la fusion du laitier basique exige une chaleur plus intense, le four doit être disposé pour produire les températures les plus élevées. Dans ce but l'on creuse plus profondément les chambres de récupération; le nombre des briques qui assure le chauffage de l'air et du gaz est augmenté. Après le convertisseur Bessemer, le four basique est certainement l'appareil métallurgique dans lequel on développe la chaleur la plus vive. Les aciers les plus doux, véritables fers fondus, sortent du four avec une fluidité parfaite et se maintien-

1. Voir compte-rendu du Congrès des mines et de la métallurgie (sept. 1889).

uent à l'état liquide pendant assez longtemps encore, surtout lorsqu'ils sont en masse un peu forte, ce qui prouve bien que leur point de fusion a été dépassé de beaucoup.

Les substances basiques sont employées sous diverses formes: en morceaux, en briques, en poudre, en pâte, etc.

Dans un four basique, les carneaux d'arrivée d'air et du gaz, ainsi que la voûte, sont en briques de silice. La sole est en chaux, en dolomie ou en magnésie; les pieds droits qui supportent la voûte sont quelquefois construits avec de la brique de magnésie.

D'ailleurs la construction des fours et la nature de leur revêtement varient d'une usine à une autre.

L'entretien et les réparations du four sont plus délicats qu'au Martin acide. Après chaque opération, le chef de four doit réparer la sole et les garnissages.

Malgré tout les soins apportés à leur construction et à leur entretien, les fours basiques fournissent des campagnes beaucoup moins longues que les fours acides.

Un four basique dépasse rarement sans arrêt le chiffre de 100 coulées, tandis que le Martin acide arrive parfois à 250 ou 300 opérations. La durée des fours influe sensiblement sur le prix de revient du métal; la différence constatée est due à une usure plus rapide des matériaux basiques, de ce fait que la chaleur développée dans le four est beaucoup plus forte.

L'origine, la fabrication et les propriétés des diverses matières réfractaires employées pour la construction des fours basiques sont indiquées ci-après:

Castine. — C'est le carbonate de chaux, calcaire ou pierre à chaux. Elle est abondamment répandue dans la nature, où elle forme des bancs importants dans les terrains secondaires et tertiaires. La castine la plus pure est toujours la meilleure pour l'usage du four basique :

La castine de pureté théorique renferme :

Chaux	56.00
Acide carbonique.	44.00
Carbonate de chaux	100.00

Ce qui correspond à la formule chimique CaO.CO^2 .

Les usines de la Champagne emploient couramment des castines qui ne renferment pas plus de 1 % d'impuretés, silice, oxyde de fer et alumine; c'est pour ces établissements un avantage indiscutable.

La composition suivante représente à peu près une moyenne.

Silice	1.50	
Oxyde de fer.	1.00	}
Alumine	1.00	
Chaux.	54.00	}
Acide carbonique	42.50	
	100.00	100.00

Toute castine renfermant plus de 5 % d'impuretés doit être rejetée.

Chaux. — Telle castine, telle chaux; en effet, par la cuisson de la castine pour la transformer en chaux, l'acide carbonique se dégage: Après la cuisson, la proportion des impuretés est augmentée. Ainsi, la castine citée plus haut fournira de la chaux présentant la composition suivante :

Silice	2.60	
Oxyde de fer.	1.75	}
Alumine	1.75	
Chaux.	93.90	
	100.00	100.00

La castine et la chaux servent plutôt de réactifs que de matériaux de construction dans les fours basiques. Ces substances sont parfois répandues sur la sole du four pour former une fausse sole et empêcher les affouillements trop profonds du métal ou du laitier; elles entrent dans la composition de la charge dont elles constituent la partie épurante. Au cours de l'opération, on jette souvent à la surface du bain quelques pellettées de chaux pour revivifier le laitier et le rendre plus épurant en augmentant sa basicité.

Dolomie. — La dolomie est une castine à trois éléments; c'est un carbonate double de chaux et de magnésie.

On trouve assez fréquemment cette matière minérale dans les terrains de transition en Saône-et-Loire, dans le Gard, etc.

Chimiquement pure, elle est constituée comme suit :

Chaux	30.4	
Magnésie	20.6	
Acide carbonique	49.0	
	100.0	

Comme la castine, elle renferme habituellement de la silice, des oxydes de fer et de l'alumine. Les tableaux ci-dessous donnent la composition des dolomies d'Alais (Gard) et de Diou (Saône-et-Loire) avant et après cuisson.

Composition de la dolomie.

	ALAIS		DIOU	
	crue	cuite	crue	cuite
Silice.	2.00	3.70	2.60	4.70
Oxyde de fer et alumine.	4.50	8.40	3.60	6.50
Chaux.	28.60	52.30	29.60	53.40
Magnésie.	19.50	35.60	19.60	45.40
Acide carbonique	45.40	—	44.60	—
	100.00	100.00	100.00	100.00

Avant d'être employée, la dolomie doit subir une cuisson analogue à celle que reçoit la castine pour être transformée en chaux. La dolomie cuite, grillée ou frittée est consommée soit en morceaux menus comme des noix, soit en poudre demi-fine que l'on obtient sous une meule.

La dolomie est moins sensible que la chaux aux actions altérantes des agents atmosphériques, vapeur d'eau acide carbonique, etc.

Il est prudent, néanmoins de la préparer au fur et à mesure des besoins et de conserver dans un endroit bien sec la petite provision que l'on peut avoir. La dolomie crue est vendue à très bas prix, et quoique ce prix augmente notablement par le grillage, c'est encore, après la chaux, la matière basique la moins coûteuse.

Mélangée à une faible quantité de goudron anhydre, la dolomie s'emploie pour les réparations de la sole et des murs. Son usage est économique et sûr.

Magnésie. — Dès 1869, comme il est dit plus haut, M. Muller proposait de faire avec des matières basiques les garnissages des divers appareils métallurgiques, fours à sole et convertisseurs employés pour la fabrication des aciers. A cet effet, il confectionnait des briques de magnésie compactes et résistantes à chaud et à froid. Par suite des événements de 1870 cette tentative hardie et si importante fut oubliée. A cette époque, il était fort difficile de se procurer de la magnésie. Actuellement, on trouve dans les Alpes styriennes des gisements abondants de carbonate de magnésie, substance minérale appelée *Globertite*, qui se présente sous une forme cristalline bien comparable au carbonate de fer. Cette précieuse roche renferme toujours quelques impuretés qui, toutefois ne nuisent pas à son emploi. Les analyses ci-dessous représentent assez bien la composition avant et après la cuisson de la magnésie ordinairement employée.

Il y a peu de temps encore, la magnésie était très en faveur; on la remplace aujourd'hui par la dolomie et bien mieux encore par le fer chromé.

Quoiqu'il en soit, le carbonate de magnésie chauffé énergiquement dans un four à réverbère, se fritte, tombe en morceaux un peu plus gros que des noix et brunit fortement par suite de la peroxydation du protoxyde de fer que contient toujours la giobertite des Alpes.

Composition de la magnésie de Styrie (1).

	Crue	Cuite
Silice	3.00	5.60
Oxyde de fer alumine.	4.00	7.60
Chaux	3.50	6.50
Magnésie	43.00	80.30
Acide carbonique	46.50	—
	100.00	100.00
Densité	3.05	3.43

Les morceaux sont réduits en poudre fine qui est agglomérée par le goudron anhydre ou par toute autre substance; les briques obtenues sont remarquables par leur forte densité et la vivacité de leurs arêtes.

Briques et pisé de magnésie sont employés pour la construction du four. On peut même faire appuyer la voûte directement sur le rang supérieur de briques de magnésie des murs du four, sans craindre de voir la silice se combiner à la magnésie et fondre dans les points de contact. C'est là un avantage des plus précieux qui évite l'emploi des cordons isolateurs de graphite, d'alumine ou de fer chromé que l'on est obligé de mettre lorsque les murs sont montés avec de la dolomie.

Le prix de la magnésie, très élevé il y a quelques années, s'est beaucoup abaissé durant ces derniers temps, en sorte que la magnésie reste encore l'une

1. M. Gouvy a donné au Congrès métallurgique de Paris, l'analyse suivante du carbonate de magnésie de Nyustya (Hongrie septentrionale).

Sio ²	2.75
Fe ² O ³	4.30
Cao	2.50
Mgo	42.58
Co ²	47.87
	100.00

des matières les plus économiques. Par elle-même, la magnésie ne joue pas dans le four un rôle épurant analogue à celui de la chaux.

Alumine. — La *bauxite*, substance minérale assez abondante en Provence, n'est autre chose que du silicate d'alumine riche en alumine plus ou moins ferrugineux. On a proposé et essayé l'emploi de cette matière basique pour la construction et le garnissage des fours, mais cette tentative n'a pas eu, semble-t-il beaucoup de succès.

Fer chromé. — Le minerai de chrome, fer chromé ou chromite, est plutôt neutre que basique. Infusible, on le recherche pour sa résistance aux actions corrosives du métal et du laitier fondus. Ce minerai, rare en France est assez coûteux du fait du transport; on le trouve en Sibérie, dans l'Asie Mineure, etc.

C'est un composé d'oxyde de chrome et d'oxyde de fer chargé d'impuretés diverses en proportion très variables.

Un fer chromé, pour convenir à la construction des fours, doit renfermer de 40 à 50 % d'oxyde de chrome.

Marche d'une opération.

Si l'on examine un four à sole magnésienne en bonne marche; le gaz arrive abondant et bien chaud, il en est de même de l'air dont l'introduction dans le four est réglée de manière à obtenir une bonne combustion.

La sole a été recouverte de 800 kilogrammes de castine en petits morceaux; on chauffe pendant 10 à 15 minutes pour cuire le calcaire et le transformer en chaux; il se forme ainsi une fausse sole qui, dans le cours de l'opération, fondera et passera dans le laitier.

On procède à la charge composée de :

Fontes diverses	5.500
Ferrailles diverses	5.500
	<u>11.000 kil.</u>

Voici la marche d'une opération commencée à midi :

12 heures, commencement de la charge. — Les fontes sont chargées les premières par les portes de côté et placées de préférence sur les autels. Les ferrailles, au contraire, sont introduites dans le four par la porte du milieu. La disposition dans le four des matières à fondre a son importance; en principe pour faciliter le travail, on met en contact autant que possible les divers éléments qui doivent se combiner.

Avec 3 hommes, l'enfournement dure 3 heures environ.

3 heures, fin de la charge. — Le feu est alors activé; les fontes entrent en fusion et coulent jusque dans le milieu de la sole qui est au niveau le plus

bas. Là, elles rencontrent la chaux et les ferrailles plus ou moins oxydées, soit de leur nature propre, soit par le courant d'air oxydant dans le four. Chaux, ferrailles, fontes portées à une très haute température sont ramollies et forment une masse pâteuse au sein de laquelle commencent à se produire l'affinage et l'épuration des matières.

L'élimination des éléments constitutifs de la fonte, c'est-à-dire le carbone, le manganèse et le silicium, représente plus spécialement la partie de l'opération désignée sous le nom d'*affinage*, tandis que l'*épuration* de la fonte a pour objet plus spécialement l'expulsion des impuretés accidentnelles, phosphore et soufre.

Les oxydes des ferrailles brûlent les impuretés de la fonte ; les composés qui résultent de cette combustion se combinent à l'oxyde de fer en excès et à la chaux et forment le laitier.

Il se produit à la surface de la charge qui peu à peu s'affaisse, une multitude de petites cavités où le laitier et le métal fondus viennent se rassembler pour réagir l'un sur l'autre suivant leur nature respective. Dans chacune de ces cavités, il se produit un travail particulier. Ici le phosphore domine, là c'est le silicium ; à côté, quelques riblons manganésés déterminent un travail tout différent. C'est la résultante de ces actions diverses qui, avec la combustion à peu près générale du carbone, forment ce qu'on appelle le *travail*.

De proche en proche cependant, les petits bassins s'agrandissent, se confondent pour n'en former plus qu'un seul ; la masse entière est fondue, on peut brasser le bain avec un ringard.

6 heures, fusion complète. — Le bain est à présent formé, il comprend d'une part près de 10 000 kilogrammes de métal recouvrant la sole et d'autre part 1 200 à 1 300 kilogrammes de laitier recouvrant le métal d'une couche uniforme de 2 à 4 centimètres d'épaisseur.

Il n'y a plus maintenant d'actions locales et isolées.

Le laitier réagit sur le métal qu'il épure en oxydant ses impuretés.

De grosses bulles d'oxyde de carbone viennent crever et brûler à la surface du bain qu'elles brassent en le traversant.

Après une heure de travail pendant laquelle le fonduer est intervenu pour faire, suivant le cas, quelques additions de matières affinantes ou épurantes, riblons, chaux, fontes manganésées, le travail d'affinage et d'épuration doit être terminé.

Ici, comme au four acide, le fonduer préleve fréquemment des éprouvettes qu'il fait forger et casser pour juger de l'état du métal, car l'examen du laitier ne peut lui fournir aucune indication importante. Les figures ci-contre montrent l'amélioration progressive des éprouvettes.

Le phosphore est l'élément dont l'élimination est la plus longue. Il rend les

éprouvettes cassantes à froid ou *aigres*, comme on dit à l'aciérie ; de plus, on reconnaît dans leur cassure les paillettes brillantes du phosphure de fer.

Lorsque l'éprouvette est satisfaisante et que tout dégagement gazeux a cessé dans la masse fondue, on dit que le bain est *rendu* ; le métal, suffisamment purifié, est prêt à recevoir les additions finales qui doivent le transformer en acier.

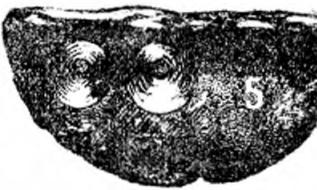
7 h. 30 minutes, *arrêt du bain*. — L'éprouvette d'arrêt fournit au fondeur, par la manière dont elle s'est forgée ainsi que par sa cassure, les indications nécessaires pour déterminer à peu près la nature et la quantité des matières recarburantes qu'il convient d'ajouter au bain pour obtenir le métal voulu ; c'est affaire de jugement et de coup d'œil. Cependant, pour obtenir au four basique un métal de dureté voulue, il convient d'ajouter plus de recarburants qu'au four acide. Ceci tient d'abord à la plus grande quantité du laitier qui retient une partie des recarburants, et ensuite à l'oxydation toujours plus grande du bain. Quoi qu'il en soit, à 8 heures, les fontes d'additions finales sont ajoutées. Pour obtenir un métal doux donnant 40 kilogrammes par millimètre carré, à la rupture, on ajoute environ 150 kilogrammes de ferromanganèse à 70 % de manganèse. Ce réactif, chauffé dans un petit four, est jeté rouge dans le bain, il se produit un bouillonnement très vif que les ouvriers favorisent encore en ringardant la masse métallique avec des barres de fer qu'il faut renouveler souvent, car elles fondent vite.

Dès que le bain est devenu tranquille et qu'il a pris une bonne chaleur, ce qui demande de 5 à 10 minutes que l'on emploie à préparer les divers accessoires, on procède à la coulée en lingotières. L'opération est terminée à 9 heures.

Des éprouvettes de métal et des échantillons de laitier ont été pris à divers moments de l'opération, comme l'indiquent les tableaux et les graphiques ci-joints. Leur composition, ainsi que celle des fontes et des ferrailles, permettra d'entrer plus avant dans l'étude du travail au four basique et d'établir la balance du bain. Les tableaux et les courbes montrent l'importance du travail d'affinage et d'épuoration accomplis au four basique.

En prenant la moyenne des impuretés totales des fontes et des ferrailles chargées, on aura la composition théorique de la charge, soit :

Marche progressive de l'épuration du bain

<p>1^{re} ÉPROUVENTE</p> <p>Prise à 1^h45</p> <p>Cassure à nerf court. — Aspect oxydé</p>	<p>2^{me} ÉPROUVENTE</p> <p>Prise à 2^h15</p> <p>Cassure à nerf court. — Quelques arrachements</p>	<p>3^{me} ÉPROUVENTE</p> <p>Prise à 2^h40</p> <p>Cassure à nerf cotonneux. — Le métal se tire.</p>
		
<p>4^{me} ÉPROUVENTE</p> <p>Prise à 3 heures</p> <p>Cassure irrégulière. — Arrachements à gauche. — Nerf à droite.</p>	<p>5^{me} ÉPROUVENTE</p> <p>Prise à 3^h15</p> <p>Cassure régulière, toute en arrachements. Le métal a beaucoup de corps.</p>	<p>6^{me} ÉPROUVENTE</p> <p>Prise pendant la coulée à 3^h50</p> <p>Arrachements nerveux très blancs. Métal extra-doux</p>
		

Les éprouvettes figurées dans le tableau ci-contre proviennent du forgeage au pilon d'un petit lingot de métal. — La 1^{re} éprouvette est prise à la fusion complète de la charge métallique. Les 2^{me}, 3^{me}, 4^{me} et 5^{me}, prélevées dans le cours du travail, montrent, par leur tenue au martelage et par leur cassure, l'amélioration progressive du métal. Enfin la 6^{me}, prise pendant la coulée de l'acier, représente le produit final.

$$\begin{aligned}
 \text{Carbone} & \frac{3.300 + 0.100}{2} = 1.700 \\
 \text{Silicium} & \frac{1.600 + 0.100}{2} = 0.850 \\
 \text{Manganèse} & \frac{1.000 + 0.200}{2} = 0.600 \\
 \text{Phosphore} & \frac{1.000 + 0.002}{2} = 0.600 \\
 \text{Soufre} & \frac{0.200 + 0.050}{2} = 0.125 \\
 \hline
 \text{C} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Ph} + \text{S} & = \quad \quad \quad 0.875 \%
 \end{aligned}$$

On relèvera aussi la nature et l'importance des impuretés restant dans le métal au moment de la fusion complète et à l'arrêt du bain.

A LA FUSION COMPLÈTE	A L'ARRÊT DU BAIN
C. 0.400	C. 0.060
Si. 0.030	Si 0.030
Mn 0.250	Mn 0.100
Ph. 0.300	Ph. 0.030
S. 0.120	S. 0.060
Impuretés . 1.100	Impuretés . 0.280

On ne fait pas entrer en ligne de compte, pour le moment, le métal recarburé ; car, s'il contient des matières étrangères, c'est que le fondeur l'a bien voulu et que d'ailleurs on n'a pas le droit de qualifier ces matières d'impuretés, puisqu'elles entrent dans la constitution même des aciers et que leur teneur est variable avec la dureté des produits obtenus.

Le métal chargé contient.	3.875 % d'impuretés.
L'éprouvette d'arrêt.	<u>0.230</u> id.

C'est donc une élimination de 3.595, ce qui fait 92.7 % des impuretés totales éliminées pendant toute la durée de l'opération. L'examen des tableaux fait ressortir en outre que cette élimination a porté sur tous les éléments.

Le C passe de 1.700 à 0.060 soit un départ de 96.4 % du C chargé.
Le Si » 0.850 0.030 » 96.4 » Si »
Le Mn » 0.600 0.100 » 83.3 » Mn »
Le Ph » 0.600 0.030 » 95.0 » Ph »
Le S » 0.125 0.060 » 52.0 » S »

En résumé, il est possible de diviser l'opération en deux périodes distinctes :

Marche d'une opération au four basique.

		C	Si	Mn	Ph	S
Matières chargées	5.500 k Fontes	3.300	1.600	1.000	1.000	0.200
	5 500 k Ferrailles	0.100	0.100	0.200	0.200	0.050
	Moyenne	1.700	0.850	0.600	0.600	0.125

	ÉPROUVETTES DE MÉTAL					ÉCHANTILLONS DE LAITIER								
	C	Si	Mn	Ph	S	Désignation	Oxydes de fer	MnO	Ca O	Mg O etc.	Si O ₂	Ph O ₃	CaS	Densité
1 ^e épre.	0.400	0.030	0.250	0.300	0.120	6 h. fas.	18.0	4.0	42.0	9.4	18.0	8.0	0.6	3.25
2 ^e —	0.200	0.030	0.150	0.100	0.080	7 h.	21.0	5.0	40.0	7.2	16.0	10.0	0.8	3.30
3 ^e —	0.060	0.030	0.100	0.030	0.060	7 h. 30' arrêt	23.0	5.0	38.0	7.0	14.0	12.0	1.0	3.40
4 ^e —	0.150	0.030	0.400	0.030	0.050	8 h. 30' coulée	18.0	7.0	35.0	5.8	12.0	11.0	1.2	3.40

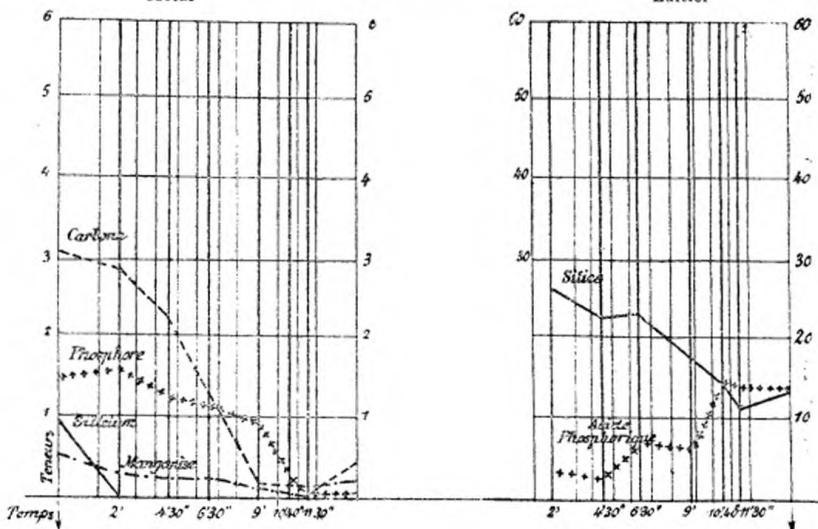
Propriétés physiques et mécaniques du métal obtenu

Trempe	Nulle (le métal devient nerveux)
Soudure	Bonne
Résistance à la rupture (par m/m ²)	40 ⁴⁰
Allongement %	32

Graphiques montrant l'affinage et l'épuration du métal au four basique.

Métal

Laitier



1^{re} période : Les matières chargées sont pâteuses ou demi-fluïdes. — Dans le four se produisent une infinité d'actions locales qu'il est très difficile, pour ne pas dire impossible d'étudier dans leur ensemble, car la prise des éprouvettes, peu pratique d'ailleurs par elle-même, vu l'état pâteux des matières, ne donnerait que des renseignements isolés peu importants. Mais dès que la fusion est achevée, on peut prélever une éprouvette de métal et un échantillon de laitier. Leur analyse donnera la mesure de la purification réalisée durant la première période.

Dans la coulée étudiée ci-dessus, l'éprouvette de métal prise à la fusion complète renferme 1.100 % d'impuretés totales. Comme la charge elle-même en contenait 3.875, on compte un départ de $3.875 - 1.100 = 2.775$ soit 72.3 % des impuretés totales.

Chacun des éléments a varié dans les proportions ci-dessous indiquées :

Le C	passe de 1.700 à 0.400	soit un départ de 76.5 % de C chargé.
Le Si	» 0.850	0.030 » 96.4 » Si »
Le Mn	» 0.600	0.250 » 58.3 » Mn »
Le Ph	» 0.600	0.300 » 50.0 » Ph »
Le S	» 0.125	0.120 » 4.0 » S »

C'est dans cette période que les 3/4 des impuretés sont éliminées en suivant à peu près le même ordre qu'au convertisseur basique, silicium, carbone, magnésie, phosphore, soufre.

2^e période : Les matières chargées sont bien fondues. — Il s'est formé dans le four deux couches nettement séparées : le métal est par dessous, le laitier par dessus. Les analyses de métal et de laitier faites sur les échantillons prélevés simultanément montrent que le métal s'améliore peu à peu. En effet, durant cette deuxième période, les impuretés totales passent de 1.100 à 0.280 ce qui fait une expulsion de 0.820 ou 21.4 % des impuretés totales.

Le C	passe de 0.400 à 0.060,	soit une élimination de 85.0 %.
Le Si	» 0.030	0.030 » 0 »
Le Mn	» 0.250	0.100 » 60.0 »
Le Ph	» 0.300	0.030 » 90.0 »
Se S	» 0.120	0.060 » 50.0 »

On peut comparer cette période à celle du sursoufflage au Bessemer basique ; dans les deux cas, le phosphore et le soufre sont éliminés en forte proportion.

En résumé, on peut établir de la façon suivante le tableau des éliminations pendant toute la durée de l'opération.

1 ^{re} période :	Impuretés éliminées 2.775	soit 71.3 %
2 ^e »	» 0.320 »	21.4 »
Pendant toute l'opération.	» <u>3.595</u> »	92.7 »

Balance du bain. — Il a été établi ci-dessus que 92.7 % des matières étrangères ont été expulsées. Que sont devenues ces matières ?

Le *carbone* oxydé par les oxydes de fer des ferrailles s'est transformé en oxyde de carbone dont les bulles sont venues crever et brûler à la surface du bain en produisant de l'acide carbonique qui a été entraîné par le courant de gaz dans la chaudière.

Le *silicium*, le *manganèse*, le *phosphore* oxydés également ont produit de la silice, de l'oxyde de manganèse et de l'acide phosphorique, composés solides et indécomposables même à très haute température.

Rencontrant à leur portée des oxydes de fer, de l'oxyde de manganèse, de la magnésie, de la chaux, matières basiques, la silice et l'acide phosphorique se sont combinés à ces diverses substances pour donner naissance au laitier qui, lors de la fusion complète, présentait la composition notée sur le tableau. Les impuretés fixes par elles-mêmes ou par leurs composés, quittent donc le métal et passent dans le laitier pour former des combinaisons très stables. Il est facile de vérifier ce fait par un exemple numérique pour le phosphore, notamment.

Les 11 000 kilogrammes de métal chargés dans le four contiennent 0.6 % de phosphore, soit 66 kilogrammes. Lorsque le bain est rendu et que le métal est déphosphoré, il ne renferme plus que 0.03 % de phosphore, soit, pour 11 000 kilogrammes, 3 kil. 3.

Le métal a donc perdu 66 kil. 0 — 3 kil. 3 = 62 kil. 7 de phosphore.

Combien s'en trouve-t-il dans le laitier ?

Il faut d'abord calculer le poids total du laitier produit dans le courant d'une opération en s'appuyant sur la teneur du laitier en *chaux* qui est le seul élément dont le poids absolu soit bien connu et à peu près invariable pendant toute la durée de l'opération.

On a chargé 800 kilogrammes de castine ($\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$) qui renferment 450 kilogrammes de chaux (CaO).

Or, le laitier pris au moment de l'arrêt du bain contient 38 % de chaux. Donc, les 450 kilogrammes de chaux chargés représentent les $\frac{38}{100}$ du poids total du laitier, ce qui revient à poser :

$$38 : 100 :: 450 : X$$

$$X \text{ ou poids du laitier} = \frac{450 \times 100}{38} = 1.180 \text{ kilogrammes}$$

Ou d'une façon plus générale, en appelant :

C , la chaux chargée,

c , la teneur du laitier en chaux,

X , le poids du laitier cherché.

$$c : 100 :: C : x \text{ ou } x = \frac{100 C}{c}$$

Revenant à l'opération, on voit que :

On a 1180 kilogrammes de laitier contenant 12 % d'acide phosphorique, soit 5.25 % de phosphore, ce qui, pour 1.180 kilogrammes de laitier, fait

$$\frac{1180 \times 5.2}{100} = 61 \text{ kil. 95 de phosphore.}$$

Il est donc bien certain que la totalité du phosphore qui a quitté le métal s'est incorporée au laitier sous forme d'acide phosphorique, ce dernier s'est combiné lui-même à la chaux.

La même démonstration ne serait pas aussi facile pour le silicium, car la silice peut être introduite accidentellement dans le bain, soit avec la terre qui accompagne souvent les ferrailles malpropres, soit par la fusion partielle des briques de silice qui forment la voûte du four, ainsi que les conduites de gaz et d'air. La balance établie pour le phosphore permet de concevoir aisément et d'expliquer les variations qui se produisent dans les courbes représentant la composition du métal et celle du laitier. A mesure que le phosphore diminue dans le métal, l'acide phosphorique augmente dans le laitier, il en est de même pour l'oxyde de manganèse.

On ne considère pas ici le laitier de fin de coulée qui a pris une partie des recarburants ajoutés.

Discussion

Composition de la charge. — La nature des matières susceptibles d'être traitées au four basique est très variable. Il est avantageux de connaître, tout au moins d'une façon approximative, la composition chimique de ces matières. Il est alors plus facile au fondeur de déterminer avec exactitude les proportions relatives de fontes et de riblons qu'il devra charger, ainsi que la quantité de chaux destinée à former la base du laitier. Un excès de chaux entraîne une dépense supplémentaire inutile et, de plus, la fusion de cette chaux absorbe d'énormes quantités de chaleur qui sont ainsi perdues pour la charge métallique.

La proportion de chaux est sensiblement proportionnelle à la teneur des impuretés à éliminer, silicium, phosphore, soufre : il faut donc pour éviter les erreurs trop grossières, avoir une idée assez précise de la composition des fontes et riblons traités.

Quand les fontes sont blanches et peu siliceuses, on peut en faire entrer jusqu'à 60 et 70 % dans la charge en la complétant avec des riblons divers ; si, au contraire, les fontes sont grises, siliceuses, on abaisse cette proportion au-dessous de 50 %. Après quelques opérations préliminaires, le fondeur a établi sa charge de façon à obtenir, après fusion complète, un bain légèrement carburé, peu

phosphoreux et contenant encore quelques millièmes de manganèse. Ce sont les conditions les plus convenables. Les éprouvettes tiennent bien au pilon, on peut les plier à bloc après trempe et elles ne présentent aucun mauvais grain ; lorsqu'il en est ainsi, le métal est prêt à recevoir les additions finales. C'est une marche à la fois économique et sûre.

Excès de fonte. — Lorsque la proportion de fonte chargée est trop forte par rapport à celle des riblons, les choses ne se passent pas aussi simplement ; à la fusion complète de la charge, le métal est encore *fonteux*, comme disent les ouvriers ; le bouillonnement très vif ; les éprouvettes n'ont pas de corps, elles tombent en morceaux quand on essaie de les marteler au pilon. Il faut alors jeter dans le four un supplément de riblons : généralement on prend pour ces additions de la tournure de fer qui se répartit bien dans la masse métallique ; d'autres fois on active l'affinage en ajoutant du bon minerai de fer ou des battitures de laminoir (appelées *amsa*). Ces réactifs agissent plus énergiquement, mais d'une façon moins régulière que les riblons. Quelques additions suffisent ordinairement pour décarburer le bain et l'opération reprend son cours normal. Il arrive fréquemment que les éprouvettes indiquent un grain phosphoreux et que, chose plus grave, ce grain tarde beaucoup à disparaître. Cela tient le plus souvent à ce que le laitier n'est pas assez épurant et ne contient plus assez de chaux libre pour saturer l'acide phosphorique au fur et à mesure qu'il se forme. Que faire dans ce cas ? On décrasse pour renouveler le laitier ; on fait couler dans une poche métallique *ad hoc* une bonne partie du laitier épuisé et on ajoute dans le four de la chaux qui s'incorpore au laitier restant. Comme par enchantement, on voit alors le phosphore diminuer dans les éprouvettes. Ces additions de chaux facilitent aussi l'élimination du soufre, dont le départ est activé par l'emploi de fontes manganées ; le manganèse est un précieux agent de désulfuration tant au four basique qu'au haut-fourneau.

Excès de riblons. — Si la proportion de riblons est beaucoup trop forte par rapport à celle des fontes, on tombe dans des difficultés différentes, mais non moins graves. Dans ce cas, en effet, on arrive à la fusion complète avec un bain trop décarburé, ne contenant plus de manganèse et complètement oxydé. Les éprouvettes creusent dans la petite lingotière, elles se forgent mal au pilon et produisent des galettes dont les bords sont déchiquetés. Il est vrai d'ajouter que le phosphore se trouve éliminé.

Pareille charge recarburée de la façon habituelle donnerait des lingots creux et un métal manquant de corps à chaud. Le fondeur doit essayer de désoxyder d'abord le bain ; il y parvient dans une certaine mesure en faisant des additions faibles, mais fréquentes, de fontes grises pures, ou mieux encore de spiegel ou de ferromanganèse.

Peu à peu, le métal prend du corps à chaud, les éprouvettes tiennent mieux au pilon et il est possible de procéder à la recarburation comme à l'ordinaire.

Recarburation (1). — La recarburation ou plutôt l'addition finale est la dernière phase de l'opération métallurgique avant la coulée. Elle consiste à introduire dans le bain arrêté, c'est-à-dire arrivé au degré voulu de douceur et de pureté, une certaine proportion de fontes spéciales manganésées : ferromanganèse, spiegeleisen et silico-spiegel. Pour le fondeur, il s'agit simplement de donner plus ou moins de corps à son métal pour qu'il se coule bien et réponde à la résistance demandée. En réalité, l'addition finale va transformer le bain de fer fondu en acier extra-doux ou doux, en lui incorporant la proportion centésimale voulue de carbone et de manganèse.

Le recarburation paraît être une opération supplémentaire et presque superflue. Pourquoi, se dira-t-on, ne conduit-on pas le travail de façon à obtenir directement le métal qu'on se propose de couler ?

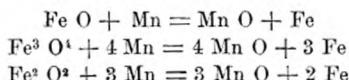
Cette manière d'opérer est possible à la rigueur dans le four acide, où l'on traite des fontes et des riblons purs ; mais elle ne saurait être tentée au four basique, surtout s'il est alimenté avec des matières impures. Pour être sûr de réaliser une épuration et un affinage suffisants, on est obligé de dépasser le but. Non seulement on oxyde les impuretés, mais encore on oxyde le fer lui-même. Une partie de ce fer oxydé reste associée au métal ; une autre, plus importante en poids, passe dans le laitier dont elle fait partie intégrante.

L'oxyde de fer dissous dans le bain rend difficile, parfois impossible, la coulée du métal en lingots sains ; l'oxyde détenu par le laitier a moins d'influence sur la coulée, mais l'un et l'autre augmentent la perte de fer c'est-à-dire le déchet métallique.

Aussi cherche-t-on à restreindre le plus possible la proportion de ces oxydes inutilisés, et cela en les décomposant par des réactifs réducteurs, le carbone, le silicium et surtout le manganèse que l'on emploie sous les formes bien connues de fontes spéculaires à teneurs bien déterminées.

Au four basique, le manganèse joue dans la recarburation ou addition finale un rôle prépondérant ; c'est le réducteur par excellence.

Rencontrant dans le bain métallique et dans le laitier à une température très élevée les oxydes de fer qui s'y sont formés, il s'empare de leur oxygène et les ramène à l'état de fer métallique suivant les formules ainsi exprimées :



En sorte que, du même coup, le bain se trouve désoxydé et enrichi en fer.

L'oxyde de manganèse qui prend naissance s'incorpore au laitier et l'excès de

1. Voir le *Génie civil*, n° du 24 mars 1888, *Etude sur la Recarburation*, par MM. E. de Gachter et Campredon.

manganèse métallique s'allie au fer pour lui communiquer de précieuses propriétés.

La proportion de fontes manganéesées qu'il convient d'ajouter dépend :

1^o De l'état d'oxydation du métal ;

2^o De la quantité de laitier ;

3^o De la composition du métal que l'on essaie de produire.

Le fondeur, après une longue pratique, peut seul déterminer à peu près l'importance des additions finales.

Tout le carbone introduit dans le bain métallique par les fontes d'additions finales, ne se retrouve pas dans le métal coulé, tant s'en faut. La moitié environ de ce carbone est brûlé par les oxydes de fer que contiennent le métal et le laitier ; cette combustion a lieu avec production de gaz oxyde de carbone que l'on voit se dégager abondamment. En traversant la masse de laitier, ce gaz peut, en présence du fer, décomposer les phosphates de fer et de chaux et remettre en liberté le phosphore qui se porte aussitôt sur le fer, en sorte que, jusqu'à un certain point, le mot recarburation est synonyme de rephosphoration.

Le dégagement gazeux est d'autant plus abondant que les additions finales sont plus importantes ; il s'ensuit que la rephosphoration doit être plus forte dans les aciers durs que dans les aciers doux : c'est en effet ce que l'on constate facilement dans la pratique. Pour éviter cette rephosphoration finale on peut évacuer le laitier avant de recarburer ou mieux avant d'effectuer la recarburation dans une poche spéciale, au lieu d'opérer dans le four même.

Il n'est pas possible de travailler au four basique sans oxyder une proportion notable de fer qui passe dans le laitier et constitue, par suite, une perte sèche de métal. De plus, les fontes traitées contiennent de 6 à 9 % d'impuretés, carbone, silicium, phosphore, manganèse, soufre, qui disparaissent à peu près complètement en occasionnant un déficit très appréciable.

Il en est de même de la charge de ferrailles, qui sont toujours un peu oxydées ou accompagnées de matières étrangères.

Ces pertes inévitables constituent le déchet. C'est un facteur important dont il faut tenir compte dans l'établissement du prix de revient.

Au four basique, lorsqu'on travaille avec des matières d'une pureté ordinaire, le déchet métallique varie de 10 à 15 % avec des écarts assez importants en plus ou en moins.

Le fondeur met tous ses soins à éviter les oxydations inutiles et, par suite, à diminuer le déchet.

Coulée du métal. — La coulée du métal s'effectue comme au four Martin acide ; mais la coulée de l'acier doux et extra-doux présente de grandes difficultés par suite de la désoxydation incomplète du bain.

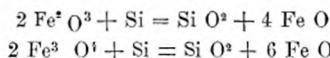
Élimination des matières étrangères.

Silicium. — Au four basique, l'oxydation du silicium est rapide et complète. Le tableau des analyses de la coulée type, montre en effet que de 0.850 % de silicium introduit dans le four avec la charge, il ne reste plus que 0.030 % à la fusion complète, ce qui représente une expulsion de 96.4 % du silicium total.

D'ailleurs, dans diverses opérations on a constaté que le départ du silicium est pour ainsi dire instantané. Si l'on prend des éprouvettes de métal avant la fusion complète, on est surpris de voir que le métal pâteux est déjà désilicifié.

Le silicium est oxydé par les oxydes de fer ajoutés avec la charge ou formés dans le four par l'oxydation du fer, sous l'action des gaz; car l'atmosphère du four basique est toujours oxydante.

Les oxydes sont ramenés à un degré inférieur d'oxydation et le silicium passe lui-même à l'état de silice. Les formules ci-dessous peuvent exprimer cette réaction :



La silice et le protoxyde de fer qui résultent de ces réactions, se combinent pour former un silicate de fer et participent pour leur part à la constitution du laitier dont ils sont les premiers éléments.

Peu après, la chaux entrant en fusion intervient dans la lutte, décompose le silicate de fer en produisant du silicate de chaux, tandis que le protoxyde de fer remis en liberté se charge d'oxygène pour oxyder une nouvelle dose d'impuretés.

En résumé, au four basique, le silicium est entièrement éliminé par oxydation avec formation de silice que l'on retrouve dans le laitier combinée en grande partie avec la chaux sous forme de silicate de chaux.

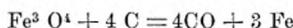
Carbone. — En poids, le carbone est toujours l'impureté la plus importante de la charge; on traite en effet des fontes qui renferment jusqu'à 4 et 5 % de ce métalloïde; son élimination n'est pas aussi rapide que celle du silicium, mais elle n'en est pas moins sûre ni moins complète.

Le tableau de la coulée type, montre que si la charge contenait en moyenne 1.700 % de carbone, le bain arrêté n'en renferme que 0.060 ce qui fait une élimination de 96.4 % du carbone, comme pour le silicium.

D'ailleurs, avec des charges contenant une plus forte proportion de fontes, on peut arriver à un bain initial dosant 2.5 % de carbone, dont la décarburation peut être poussée fort loin, jusqu'à obtenir un véritable fer fondu; car au-dessous de 0,100 la détermination quantitative du carbone dans un métal est une opération des plus aléatoires.

Aussi bien au four basique qu'au four acide, après l'oxydation du silicium, commence celle du carbone.

L'oxyde de fer magnétique (Fe^3O^4) formé par la suroxydation du protoxyde de fer (FeO) sous l'action oxydante des produits gazeux, fournit au carbone l'oxygène qui lui est nécessaire pour se transformer en oxyde de carbone :



Le gaz oxyde de carbone, ainsi formé, traverse péniblement la masse métallique et vient crever à sa surface où il brûle avec une flamme bleue pâle :



avec formation d'acide carbonique qui se mélange aux autres produits de la combustion et s'échappe avec eux à travers les chambres de briques et la cheminée.

La charge type considérée renferme 1,7 % de carbone, ce qui, pour 11 000 kilogrammes de métal, fait 187 kilogrammes de carbone qui, en brûlant, donnent naissance à 685 kilogrammes de gaz acide carbonique.

Or 1 kilogramme d'acide carbonique gazeux occupe environ 500 litres ou un demi-mètre cube, en sorte que l'oxydation du carbone de la charge détermine la production et le dégagement de 340 mètres cubes environ de gaz carbonique.

L'oxydation du carbone n'a pas d'action directe sur la composition du laitier; cette oxydation remplit cependant un rôle très important, car elle diminue le déchet en ramenant à l'état de fer métallique une partie des oxydes de fer du laitier qui, sans le carbone, seraient perdus pour le fondeur.

Manganèse. — Le manganèse n'est pas une impureté de la charge, c'est plutôt un agent de l'affinage et de l'épuration. C'est de plus un préservatif. Pendant que le manganèse s'oxyde, le fer ne s'oxyde pas ou fort peu. L'oxydation du manganèse est lente et progressive, elle est rarement complète, et c'est même là une circonstance dont il faut se féliciter, car sans cela le fer brûlerait sans obstacle et la coulée du métal offrirait le spectacle très divertissant, mais peu rémunérateur, d'un véritable feu d'artifice.

Le fondeur doit faire son possible pour maintenir dans le bain une proportion raisonnable de manganèse, pas moins de 0,100.

Dans la coulée examinée, ce métal passe de 0,600 dans le bain initial à 0,100 dans l'éprouvette d'arrêt, ce qui fait une élimination de 83, 3 % du manganèse chargé.

Au contact des gaz oxydants et des oxydes de fer à une température très élevée, le manganèse s'empare de l'oxygène pour se transformer en protoxyde de manganèse :



Le fer ainsi mis en liberté s'incorpore à la masse métallique, tandis que le protoxyde de manganèse passe dans le laitier auquel il fournit un élément basique très précieux à cause de sa facile fusibilité.

Le manganèse d'addition finale est oxydé plus rapidement, car il tombe dans un bain métallique et dans un laitier déjà très oxydé. A propos de la recarburation, on a vu le rôle important du manganèse comme réducteur des oxydes de fer.

Phosphore. — Le phosphore est une impureté dont il est facile de se rendre maître dans l'opération basique ; c'est même là, on ne doit jamais se lasser de le répéter, le principal avantage du four basique.

Au Bessemer basique, les réactions s'accomplissent et se succèdent avec beaucoup de netteté ; aussi a-t-on pu diviser l'opération effectuée dans le convertisseur Thomas en trois périodes bien distinctes :

- 1^o La scorification (combustion du silicium) ;
- 2^o La décarburation (combustion du carbone) ;
- 3^o La déphosphoration (combustion du phosphore).

Au Bessemer basique, la déphosphoration s'effectue d'un seul coup et en quelques minutes ; au four basique, les phénomènes se produisent avec moins d'instantanéité et de précision.

Néanmoins, il peut être intéressant et même utile de montrer que la déphosphoration s'y réalise de deux façons distinctes :

- 1^o A l'état pâteux ;
- 2^o A l'état fondu fluide ;

1^o A l'état pâteux. — D'une façon générale, le phosphore est éliminé à l'état d'acide phosphorique, car c'est le seul composé oxygéné du phosphore qui puisse, aux températures élevées développées dans la métallurgie de l'acier, former des combinaisons fixes.

L'importance de la déphosphoration accomplie avant la fusion complète de la charge ne peut être mise en doute. C'est un fait sur lequel M. Walrand a fourni d'utiles indications.

Dans la charge type, on a chassé du métal, pendant cette période, 50 % du phosphore qu'il contenait. La fonte, les ferrailles plus ou moins oxydées, soit avant d'être chargées, soit par l'atmosphère du four, et la chaux se trouvent en présence à une température faible d'abord, mais qui peu à peu s'élève et détermine le ramollissement des matières métalliques.

Les oxydes de fer supérieurs (Fe^3O_4 , Fe^2O_3) fournissent au phosphore l'oxygène nécessaire pour le transformer en acide phosphorique :



L'acide phosphorique et le protoxyde de fer ainsi formés se combinent et resteraient certainement unis si la chaux ne venait pas briser cette combinaison

en s'emparant de l'acide phosphorique pour former du phosphate de chaux en remettant en liberté le protoxyde de fer qui se charge de nouveau d'oxygène, passe à l'état d'oxydes supérieurs ; ceux-ci, à leur tour, oxydent une nouvelle quantité de phosphore. Théoriquement, et même jusqu'à un certain point dans la pratique, une faible proportion d'oxyde de fer peut aussi réaliser une déphosphoration partielle importante.

2^o *A l'état fondu fluide.* — La première période de déphosphoration se passe au milieu de perturbations aussi violentes que variées et dans des conditions locales très différentes par suite de la nature des matières que le hasard seul met en contact. Il n'en est pas de même de la deuxième période, surtout si on la considère au moment le plus intéressant, c'est-à-dire après la décarburation presque complète du métal. La déphosphoration est alors le seul travail du bain et il est plus facile de l'étudier. Deux liquides, le métal et le laitier fondus, se trouvent en contact. Le métal contient du phosphore et le laitier des oxydes de fer et de la chaux.

Le phosphore se porte sur les oxydes de fer et les ramène à l'état métallique en passant lui-même à celui d'acide phosphorique :



Le fer s'incorpore au bain métallique, l'acide phosphorique ainsi formé rencontre dans le laitier une base forte et disponible, la chaux ; il s'unit aussitôt à celle-ci pour former un composé très fixe, le phosphate de chaux, en sorte que le phosphore se trouve définitivement isolé du métal.

On verra plus loin quelle est la constitution de ce phosphate. La réduction complète des oxydes de fer par le phosphore est la seule possible durant la deuxième période ; car on a constaté que la teneur du laitier en fer diminue, pendant que la déphosphoration se produit avec le plus d'activité.

Quo qu'il advienne de cette théorie, l'élimination complète du phosphore au four basique est une opération très simple et très régulière, qui est aujourd'hui devenue familière aux fondeurs d'acier sur sole.

Soufre. — Le soufre a été de tous temps et restera longtemps encore l'ennemi du fondeur d'acier ; c'est une matière nuisible pour la qualité du métal dont il rend très délicat l'emploi à chaud. Il suffit de 0.100 à 0.200 de soufre dans un acier pour le rendre inutilisable !

Cette teneur est bien faible, si l'on songe surtout que les fontes blanches communes renferment parfois jusqu'à 0.500 à 0.600 de ce métalloïde.

L'élimination du soufre est donc le problème le plus important.

Au moyen d'appareils spéciaux et par des opérations préliminaires, il est possible de désulfurer presque entièrement les fontes les plus sulfureuses. Nous avons déjà indiqué l'emploi du cubilot à garnissage basique de M. Rollet.

M. Riley réussit également par un mazéage sur sole basique, en présence d'une atmosphère neutre ou mieux réductrice.

Dans l'exemple choisi, on a chassé 56 % du soufre de la charge. C'est un beau résultat.

Comment s'est opéré le départ du soufre ? C'est une question délicate.

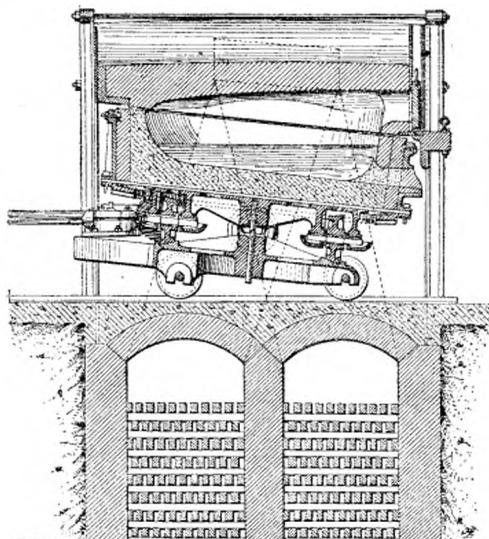
Pour une charge de 11.000 kilogrammes de métal avec 1.000 à 1,500 kilogrammes de laitier, on a expulsé en tout que 7 kilogrammes de soufre. De plus, cet élément est volatil, ses composés ne sont pas non plus très fixes, son dosage offre quelques difficultés. Aussi serait-ce faire preuve d'une certaine témérité que d'établir pour ce métalloïde une balance du bain, comme on fait pour le phosphore.

Néanmoins dans l'opération basique, une partie du soufre du métal passe dans le laitier, où il est possible de le retrouver sous forme de sulfure de calcium ou de sulfate de chaux.

Il est reconnu qu'un excès de chaux dans le laitier favorise le départ du soufre. Le manganèse métallique ajouté comme épurant dans le cours de l'opération, ou comme désoxydant au moment de l'addition finale, agit dans un sens aussi favorable que la chaux.

Four rotatif Pernot.

Le four Pernot employé avec succès aux aciéries de Denain est un four Martin



(1) L'aciérie de Denain possède trois fours Pernot de huit à dix tonnes chacun.

dont la sole acide, basique ou neutre, est rendu amovible et rotative, ce qui facilite le travail du four en favorisant le contact du métal qu'il s'agit d'épurer et du laitier épurant.

La figure ci-dessus montre les dispositions principales du four Pernot.

Four Martin à sole neutre.

Le minerai de chrome (1) dit fer chromé est une des substances les plus réfractaires que l'on rencontre dans la nature. Il est en outre insensible à chaud aussi bien qu'à froid à l'action dissolvante ou corrosive des divers agents métallurgiques. Ce sont là des propriétés très remarquables que MM. Valton et Rémaury ont mises en lumière (2) en les appuyant sur des expériences nombreuses et décisives.

Avant d'entrer pour une part importante dans les matériaux de construction des fours à fondre l'acier, le fer chromé a été employé pendant quelque temps pour former le cordon isolateur qui sépare les pieds-droits basiques des fours, de la voûte toujours faite de briques de silice. Dans ce début modeste, le fer chromé rend déjà de signalés services.

Dans les fours à sole et à parois basiques construits soit avec de la dolomie soit avec de la magnésie, ces substances interviennent dans les réactions comme éléments basiques pour saturer la silice et l'acide phosphorique et entrent en partie dans la constitution des laitiers. Le garnissage subit par cela même une corrosion plus ou moins profonde, mais toujours préjudiciable. Le minerai de chrome employé dans les mêmes conditions résiste à toutes les attaques. Les promoteurs de l'emploi du minerai de chrome dans la métallurgie de l'acier ont montré qu'un bloc de fer chromé peut séjourner longtemps sur un bain d'acier fondu sans que ses angles soient seulement émoussés. Les scories siliceuses aussi bien que les laitiers basiques sont sans action sur lui.

1. M. Gouvy a communiqué au Congrès métallurgique les analyses suivantes des minerais de chrome d'Orsova sur les bords du Danube.

	<i>a</i>	<i>b</i>
Cr ² O ₃	38.95	(Cr. 29.34) 33.34
FeO	16.13	(Fe 12.58) 16.25
SiO ₂	8.00	6.32
Al ² O ₃	17.50	27.75
CaO	2.20	1.00
MgO	<u>17.20</u>	<u>13.33</u>
	99.98	98.09

2. M. Audouin a le premier signalé en 1876 les propriétés réfractaires de ce produit; dès cette époque, il a fait pressentir les avantages que pourraient en retirer les métallurgistes.

Le mineraï de chrome est employé maintenant pour construire la sole et les pieds-droits des fours à fondre l'acier ; on peut l'appliquer aussi à tous les systèmes de fours qui deviennent ainsi des fours *à sole ou à parois neutres*, dénomination qui est parfaitement justifiée, car le chrome des garnissages n'intervient en aucune façon dans les réactions qui déterminent ou accompagnent l'affinage et l'épuration des fontes et des riblons.

Pour tous les usages d'une aciéries, il suffit d'avoir du mineraï en morceaux assez gros, semblables aux moellons à bâtir, obtenus par le simple cassage des gros blocs. On broye d'autre part environ 1/10 du poids du mineraï à employer dans la construction du four. Cette mouture fine mélangée avec environ la moitié de son volume de chaux, et mouillée, produit un bon ciment qui agglomère très bien les divers blocs de mineraï.

Possédant désormais les moellons et le mortier, on procède à la construction de la sole et des pieds-droits, comme à celle d'un mur ordinaire bâti à la chaux.

Le mineraï de chrome est très mauvais conducteur de la chaleur : c'est là une précieuse propriété qui permet de porter à son minimum l'épaisseur de la sole (environ 20 à 25 centimètres) sans s'exposer à brûler les taques inférieures ou latérales du four.

L'allumage et la mise en marche se font comme à l'ordinaire.

La sole de fer chromé est recouverte d'une couche de chaux ; sous l'action de la chaleur, elle adhère au mineraï de chrome et forme une fausse sole. Dans le courant de l'opération, cette fausse sole est en grande partie rongée et détruite, mais le chrome lui-même n'a le plus souvent aucun mal ; il en est de même des murs du fond et des pieds-droits.

Si parfois il vient à se produire dans la sole une excavation ou tout au moins une usure rapide et anormale, on bouche le trou avec quelques moellons liés par du mortier chromo-calcique et on récrépit la partie usée.

L'entretien de la sole d'un four neutre est d'ailleurs très facile et cette sole est pour ainsi dire inusable. Lorsque le four a terminé sa campagne par suite de l'usure de la voûte ou de l'obstruction des chambres de récupération, il est bon de *revoir* la sole, mais il n'est pas nécessaire de la refaire entièrement. A la longue cependant, la chaux et les oxydes de fer forment un ciment qui entoure et dénature le fer chromé, qui perd aussi beaucoup de ses qualités réfractaires.

Au point de vue de l'entretien du four, l'économie qui résulte de l'emploi du minéral de chrome est hors de doute. Le métal obtenu sur sole neutre ne le cède en rien, comme qualité ni homogénéité, au métal obtenu avec tout autre garnissage.

M. Deshayes a publié l'analyse et les essais d'une série de coulées faites aux usines de Tamaris, Longwy, Denain, Morvillars. On trouve là des métaux extra-doux et extra-purs donnant de 35 à 40 kilogrammes de résistance par millimètre carré, avec des allongements de 30 à 39 %.

Ils offrent une composition chimique comprise dans les limites ci-dessous :

Carbone	de 0.030 à 0.100
Phosphore	de 0.030 à 0.046
Manganèse	de 0.150 à 0.220

On a produit à Fourchambault, sur sole neutre un métal analogue :

Carbone	0.150
Soufre	0.062
Phosphore	0.013
Manganèse	0.085

Les métallurgistes se sont tout d'abord demandé s'il ne resterait pas dans le métal ainsi coulé quelques traces de chrome suffisantes pour jeter la perturbation dans les propriétés de ces aciers.

Il paraît certain au contraire qu'on peut obtenir sur sole neutre de l'acier plus doux et surtout plus homogène que par tout autre procédé, le garnissage ultra-réfractaire de chrome permettant de couler un métal plus chaud et, par suite, plus fluide et plus régulier.

Le four à sole neutre est entré définitivement dans la pratique. C'est le dernier et le plus important des perfectionnements apportés à la construction des fours Martin-Siemens ; et nous sommes heureux de rendre ce témoignage aux éminents promoteurs de l'emploi du fer chromé, à MM. Valton et Rémaury, et de constater les résultats considérables obtenus dans les usines métallurgiques sous l'impulsion de leurs travaux.

Considérations sur le laitier basique.

Dans le travail de la déphosphoration sur sole basique ou neutre, le laitier joue un rôle très important. Sa composition doit être déterminée à l'avance en vue de l'épuration que l'on se propose de réaliser. Cette composition ne peut varier que par la proportion de chaux ajoutée soit au commencement soit dans le cours de l'opération ; la chaux est le seul élément dont le fondeur soit entièrement maître, tous les autres étant des impuretés du métal apportées par ce dernier en proportions diverses et souvent peu ou mal connues.

La quantité absolue du laitier, et sa basicité, doivent être proportionnelles à l'impureté des matières chargées. Comme il est difficile d'évaluer la teneur exacte des fontes et surtout celle des ferrailles en éléments étrangers, il est prudent de charger un large excès de chaux.

L'opération décrite ci-dessus donne la formation du laitier et ses transformations successives. Les oxydes de fer et de manganèse ont oxydé le silicium et se

sont ensuite combinés à la silice pour former des silicates métalliques aisément fusibles ; la présence de la chaux a déterminé l'oxydation du phosphore. Enfin, jusqu'à la coulée le laitier a rempli son rôle d'affinant et d'épurant. Le laitier est en fait l'agent le plus important.

État physique des laitiers. — L'aspect des laitiers est variable pendant l'opération. Le premier laitier suinte péniblement à travers la charge métallique à demi-ramollie ; il est noir, à cassure brillante et quelquefois irisée : il est compact, lourd ; sa densité moyenne est de 4 environ, mais on en trouve fréquemment qui atteint 4.50.

Un tel laitier est évidemment très chargé d'oxydes métalliques.

Il contient parfois plus de 50 % de fer.

Le laitier lors de la fusion complète est pour ainsi dire un laitier normal ; il renferme à peu près tous ses éléments constitutifs, il est gris brun plus ou moins foncé ; sa cassure présente souvent des indices assez nets de cristallisation ; sa densité, variable avec sa compacité, oscille entre 3 et 3.50.

A la fin de la coulée le laitier est habituellement noir et sa poussière est jaune brun ; il est le plus souvent bulleux et caverneux : ces cavités sont occasionnées par le départ des gaz carbonés qui se dégagent abondamment pendant et après la période de recarburation. Sa densité, difficile à évaluer, est voisine de 3.5.

Cristallisation. — La plupart des pains de laitier coulés dans les poches de décrassage ou de fin de coulée, présentent dans leur cassure une structure cristalline plus ou moins accentuée.

Lorsque le laitier est très calcique et que, de plus, il s'est refroidi lentement, les cristallisations sont beaucoup plus nettes ; c'est dans ces conditions que l'on rencontre des gèodes tapissées de beaux cristaux jaunâtres de forme prismatique ou lamellaire. On verra plus loin la composition de ces cristaux.

Action de l'humidité. — Les blocs de laitier qui proviennent du démoulage des poches de décrassage et de fin de coulée, présentent aux agents atmosphériques, et en particulier à l'humidité, une résistance qui varie essentiellement avec leur composition.

Les laitiers peu calciques sont peu sensibles aux intempéries ; il n'en est pas de même de ceux qui sont à la fois très riches en chaux et très pauvres en silice. Ils s'effeuillent et se délitent très rapidement sous l'action prolongée de l'humidité ; c'est même là une propriété particulièrement intéressante dont on trouvera plus loin une application importante.

Constitution des laitiers basiques. — La composition des laitiers basiques est établie par l'analyse chimique ; c'est ainsi qu'a été trouvée celle des laitiers de l'opération type. Il n'en est pas de même de leur constitution, c'est-à-dire de la façon dont s'est effectué le groupement, la combinaison des divers éléments que l'analyse chimique a découverts.

Quelques considérations d'ordre physico-chimique fixeront les idées à ce sujet :

On trouve dans le laitier toute la gamme des oxydes de fer :

Protoxyde de fer	FeO
Oxyde de fer magnétique	Fe ³ O ⁴
Sesquioxide de fer	Fe ² O ³

Il convient cependant de dire que le protoxyde prédomine ; dans 60 laitiers analysés, l'un des auteurs a trouvé que 15 % seulement du fer total était peroxydé.

Les oxydes de fer existent dans le laitier dégagés de toute combinaison.

L'oxyde de manganèse et la magnésie se comportent de même, en sorte que ces trois bases, FeO, MnO, MgO, qui ont joué un rôle très actif dans le travail d'affinage et d'épuration, se trouvent supplantées par la chaux qui intervient avec une énergie brutale pour détruire toutes les combinaisons formées jusqu'alors.

La chaux est, en effet, l'élément capital des laitiers basiques ; c'est elle qui sature les acides silicique et phosphorique, les retient en combinaison, et forme avec eux des sels presque indécomposables, silicates et phosphates de chaux. Retenus par cette base énergique, le silicium et le phosphore sont séparés du métal ; c'est là d'ailleurs le but de l'opération.

Il serait peut-être hardi de généraliser ; on peut cependant avancer que dans la plupart des cas, l'acide phosphorique, la silice et le soufre existent combinés à la chaux dans le laitier.

Le laitier basique fondu fluide peut et doit être considéré comme formé de phosphates et silicates de chaux tenant en suspension des oxydes de fer, de manganèse et de la magnésie.

Cette opinion, très vraisemblable par son énoncé, a été vérifiée et reconnue exacte par l'étude chimique du laitier et par des essais de liquation que M. Hilgenstock a entrepris à Hoerde (Allemagne).

Sans entrer dans l'examen des essais chimiques, il est utile de citer les essais de Hoerde.

Les laitiers de décrassage ainsi que ceux de fin de coulée, liquides encore, sont recueillis à leur sortie du four dans des poches métalliques. En laissant refroidir celles-ci très lentement, il se produit dans la masse de laitier fondu de véritables phénomènes de liquation.

Les bases libres et pesantes se rassemblent à la partie inférieure de la poche tandis que les sels fondus plus légers se réunissent au centre de la poche et à sa partie supérieure. La séparation est très nette.

Les analyses citées plus loin montrent l'importance et la netteté de la liquation dans 6 poches de laitier.

On a désigné par S la composition du laitier pris à la partie supérieure de la poche et par I celle du laitier prélevé dans la partie inférieure.

Liquation du laitier dans les poches de coulée.

	Fer	Silice	Acide phosphorique	Chaux	Sulfure de calcium	Manganèse	Magnésie
1 { S I	11.81	»	23.18	51.82	0.79	2.61	»
	13.47	»	18.67	42.23	0.61	3.77	»
2 { S I	11.69	3.45	23.49	52.76	»	»	»
	13.77	2.38	22.05	51.78	»	»	»
3 { S I	10.58	5.97	21.85	52.70	»	4.37	»
	13.96	4.49	16.18	45.77	»	12.56	»
4 { S I	19.81	»	16.42	47.33	»	3.59	1.00
	28.81	»	6.85	28.82	»	4.87	19.02
5 { S I	11.65	»	24.24	51.19	»	3.77	2.48
	17.78	»	12.11	40.76	»	8.29	10.51
6 { S I	12.97	3.16	25.55	51.00	0.79	1.99	1.44
	21.80	3.03	13.50	32.17	0.46	5.30	21.46

Le tableau ci-dessus prouve que, pendant le refroidissement des blocs de laitier, les bases *libres* se sont rassemblées au fond de la poche, tandis que les sels fondus ont surnagé et, finalement, se sont solidifiés au centre et à la partie supérieure de ces blocs.

Dans quelques géodes, M. Hilgenstock a pu détacher des cristaux lamellaires très bien formés, qui présentaient tous les caractères cristallographiques d'une espèce minérale et une composition chimique correspondant au phosphate de chaux.

De plus, fait très remarquable, ce phosphate contient 4 de base pour 1 d'acide, et sa formule est Pho^5 , 4 CaO ou phosphate tétrabasique de chaux, découverte du plus grand intérêt, qui jette même quelque trouble dans les opinions jusqu'ici professées touchant la constitution des phosphates de chaux.

La nature ultra-basique des laitiers obtenus dans la marche en déphosphoration est mise en lumière d'une façon aussi simple que concluante par l'essai suivant :

Le laitier finement pulvérisé est imbibé d'une solution de sucre dans l'eau, à raison de 1 partie de sucre pour 10 parties d'eau. Le contact du laitier et de la dissolution est favorisé par le broyage. Après quelques minutes de macération, on filtre pour recueillir la liqueur sucrée claire et l'on constate qu'elle est *alca-*

line, c'est-à-dire qu'elle est chargée de base libre. Quelques essais complémentaires montrent en outre que cette base est de la chaux. Donc, le laitier contient un excès de chaux, et cet excès existe dans le laitier à l'état libre, dégagé de toute combinaison avec la silice et l'acide phosphorique : ce qui prouve que la chaux existant dans le laitier est plus que suffisante pour saturer ces acides.

C'est là une constatation très importante qui trouvera plus loin son application.

A propos de la constitution des laitiers basiques, il faut noter, c'est la très grande facilité avec laquelle ils sont attaqués et décomposés par les agents chimiques les plus faibles.

L'acide acétique très étendu dissout presque tous les éléments calcaires du laitier, y compris le silicate de chaux. Cette faible résistance paraît due à la récente formation des parties constituantes. Car, en effet, les acides qui se trouvent dans le laitier ont été formés de toutes pièces pendant l'opération :

La silice provient de l'oxydation du silicium ;

L'acide phosphorique provient de l'oxydation du phosphore :

Et les sels eux-mêmes, phosphates et silicates de chaux se sont formés aussitôt.

Au point de vue agricole, ceci est intéressant à considérer et montre bien que l'on peut mettre au même rang les laitiers phosphatiques et les phosphates précipités du commerce, quant à la facilité de dissolution des principes fertilisants.

Utilisation des laitiers basiques par l'agriculture.

Valeur agricole des laitiers basiques. — La richesse des laitiers basiques en acide phosphorique, aussi bien que leur teneur en chaux libre ou combinée, donna bientôt l'éveil aux industriels et aux agriculteurs.

Considéré comme un déchet de fabrication métallurgique, le laitier pouvait, malgré sa teneur élevée d'éléments fertilisants, être livré à l'agriculture à des prix jusqu'alors inconnus dans la vente de l'acide phosphorique. Les laitiers basiques renferment parfois jusqu'à 20 % d'acide phosphorique, dosage exceptionnel, il est vrai ; habituellement ils dosent de 10 à 15 % d'acide phosphorique. C'est là une teneur assez importante pour que les laitiers puissent être employés sans transformation chimique difficile ou onéreuse.

La forte proportion de chaux que contiennent les laitiers (30 à 50 %) doit être considérée aussi à sa juste valeur, si l'on veut bien se souvenir qu'une partie de cette chaux est libre dans le laitier et constitue un amendement très précieux dans les terres dépourvues de calcaire. D'ailleurs la chaux combinée peut aussi rendre des services, d'autant plus que sa combinaison avec les autres éléments acides, silice, acide phosphorique présente une grande instabilité que l'on met en lumière en attaquant les laitiers par des acides affaiblis qui le désagrègent et le dissolvent.

Le citrate d'ammoniaque est l'agent dissolvant faible et alcalin employé dans les laboratoires agronomiques pour déterminer, dans une certaine mesure, la facilité d'assimilation de l'acide phosphorique par les plantes. On peut admettre que l'acide phosphorique soluble dans le réactif précité sera celui que les plantes s'assimileront tout d'abord.

Il était intéressant de connaître l'action de citrate sur les laitiers basiques. L'un des auteurs a fait dans ce but, un grand nombre d'essais sur des laitiers contenant plus de 6 % d'acide phosphorique, et a trouvé qu'en moyenne les $\frac{3}{4}$ de l'acide total sont dissous ; dans quelques cas il a même pu faire dissoudre à ce véhicule alcalin la totalité de l'acide phosphorique.

Pour contrôler l'exactitude des résultats ainsi obtenus, il a envoyé un échantillon de laitier au Laboratoire de Melun, très expert en ces recherches, l'analyse est la suivante :

Acide phosphorique total.	10.55
Acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque.	8.70, soit 82.46 %
ou plus des $\frac{4}{5}$ de l'acide total.	

Une telle matière peut et doit rendre quelques services à l'agriculture. Pour faire ressortir la valeur agricole des laitiers et déterminer le rôle de chacun des éléments qu'il contient on peut établir la division suivante :

A. Amendement. — Partie soluble dans l'eau sucrée ; on sépare ainsi la chaux libre.

B. Matières fertilisantes. — Partie soluble dans l'acide acétique étendu de 3 fois son volume ; on sépare ainsi les phosphates et les silicates de chaux et la magnésie.

C. Matières inertes. — Résidu insoluble dans les réactifs précédents ; on sépare ainsi les oxydes de fer et de manganèse. Cette partie inerte n'est pas nuisible ; elle sert, au contraire, à diluer les matières fertilisantes et facilite ainsi leur épandage et leur dispersion dans le sol.

Quelques agronomes avaient avancé que les oxydes de fer et de manganèse contenus dans les laitiers pourraient nuire à la végétation ou tout au moins entraver l'assimilation de l'acide phosphorique par les plantes.

Ces craintes n'étaient pas fondées.

Il y a quelques années, l'un de nous écrivait au sujet de l'emploi des laitiers basiques : (1)

« Par sa composition ainsi que par le groupement de ses éléments, le laitier basique constitue un engrais qui peut en même temps servir d'amendement

1. Voir note de M. Campredon, lu par M. Lecacheux, à la Société d'agriculture du Cher, le 2 avril 1887.

» dans les terrains dépourvus de chaux et surtout dans les terres nouvellement défrichées où il y a beaucoup d'acides organiques à saturer.

» Plus facilement attaqué que les phosphates naturels, on pourrait rapprocher le laitier basique du phosphate précipité. La chaux libre qu'il contient (environ 10 %) le fait déliter à l'air et ses éléments se trouvent alors dans un état de division extrême qui facilite leur absorption par les plantes.

» Epandu sur les terres à l'automne sous forme de grains de la grosseur d'une noisette, le laitier s'altère, se désagrège, se répand de lui-même sur le sol pendant l'hiver et se trouve prêt à agir au moment où les plantes ont besoin de matières nutritives. »

Essais de culture.

L'acide phosphorique est un précieux agent de fertilisation ; on retrouve cet élément dans tous les végétaux, où il se concentre de préférence dans les fruits. Les cendres du blé renferment beaucoup d'acide phosphorique. Il est donc de toute nécessité de fournir à la terre cet engrais indispensable au développement des plantes et à leur fructification.

Le commerce fournit aux agriculteurs des superphosphates qui contiennent environ 15 % d'acide phosphorique soluble dans l'eau ou dans le citrate d'ammoniaque. Cet engrais, véritable produit chimique, est d'un prix très élevé. Son efficacité n'est pas douteuse. Est-elle proportionnelle à sa cherté ?

Nombre d'agronomes ne le pensent pas.

Il existe, abondamment répandus dans certaines régions, dans les Ardennes, la Somme, le Lot, le Cher, le Gard, etc., des phosphates de chaux naturels qui servent de base à la préparation des superphosphates et qui sont d'un prix dix fois moins élevé environ.

Des essais de culture ont été entrepris en vue d'établir la valeur fertilisante comparée des superphosphates et des phosphates naturels, dits minéraux ou fossiles.

Une terre fumée avec 1 de superphosphate et l'autre avec 10 de phosphate minéral ont fourni, l'année même de l'application des engrais, pour une même dépense, une récolte de même importance.

Or, comme pour le même prix on a pu mettre en terre dix fois plus de phosphate naturel que de superphosphate, le dernier de ces engrais se trouve épuisé par la première récolte, tandis que le premier n'a perdu qu'une faible partie de son pouvoir fertilisant ; le reste forme dans le sol une importante réserve pour les récoltes des années suivantes.

L'efficacité des phosphates naturels, appliqués à haute dose, une fois établie d'une façon peu discutable, il était facile d'étendre cette même vertu à d'autres matières minérales phosphatées et notamment aux scories de déphosphoration

qui contiennent l'acide phosphorique dans un état de combinaison très instable.

A l'action bienfaisante et générale de l'acide phosphorique vient s'ajouter aussi, dans certains cas et dans quelques terrains, celle de la chaux libre ou combinée qui contiennent en proportions très élevées les laitiers de déphosphoration.

Les essais de culture ont confirmé toutes les espérances qu'avait fait naître l'apparition de cette substance minérale riche en acide phosphorique et vendue à très bas prix comme déchet de fabrication.

Essai fait à Ortsburg (Prusse Orientale) (1). — Dans un terrain tourbeux il a été tracé quatre parcelles qui ont reçu le même travail, la même fumure préparatoire et ont été semées en avoine.

La première parcelle n'a pas reçu de phosphate.

La deuxième a reçu 200 kilogrammes de phosphate de chaux précipité, produit commercial contenant 60 kilogrammes d'acide phosphorique.

Le troisième a reçu 60 kilogrammes de phosphate précipité et 200 kilogrammes de scories, soit en tout 80 kilogrammes d'acide phosphorique.

Le quatrième a reçu 500 kilogrammes de scories, soit 100 kilogrammes d'acide phosphorique.

Les rendements à l'hectare ont été les suivants :

Récolte de l'avoine

	GRAIN à l'hectare	PAILLE à l'hectare
1 ^{re} parcelle sans phosphate	1.403k.	2.933
2 ^e — avec 60 kil. d'acide phosphorique .	1.455	4.335
3 ^e — 80 —	1.667	3.325
4 ^e — 100 —	2.125	4.903

L'efficacité des scories de déphosphoration ressort très nettement sans commentaires du simple examen du tableau ci-dessus.

Les scories employées dans cet essai contenaient 20 % d'acide phosphorique.

Essais de Downton et Ferryhill (Angleterre). — MM. Wrightson et Munro ont essayé l'action des scories sur la culture des turneps (sorte de navet) en sol calcaire et en terrain argileux. A côté de chaque parcelle fumée comme il

1. Voir note de M. Séjournet sur l'emploi des phosphates métallurgiques du Creusot.

va être dit, se trouvait une parcelle vierge de tout engrais. La nature et l'importance de la fumure, ainsi que le poids des navets récoltés, sont inscrits sur le tableau suivant qui fait ressortir avec une netteté brutale l'énergie fertilisante des scories de déphosphoration.

Récolte des turneps

Nº des parcelles	Poids des scories à l'hectare	Récolte à l'hectare avec fumure	Récolte à l'hectare sans fumure	Excédent de récolte dans les parcelles fumées	Lieu de l'expérience et nature du sol
1	502	13.974 k.	8.071	5.799	Downton
2	879	11.194	7.468	3.726	Sol calcaire
3	2.511	19.760	6.374	13.386	
1	502	16.802	2.968	13.384	Ferry hill
2	879	16.242	3.450	12.793	Sol argileux
3	2.511	18.743	4.625	14.118	

Comme il était naturel de le présumer, l'efficacité des scories s'est fait sentir d'une façon beaucoup plus sensible dans le sol argileux que dans le sol calcaire.

Les scories employées dosaient 14,32 % d'acide phosphorique.

Des essais précis, conduits par les mêmes expérimentateurs, ont également montré l'efficacité des laitiers phosphatiques employés comme fumure pour les prairies.

Les tiges des graminées, les racines des navets et les épis de blé se ressentent au même titre de l'action bienfaisante des laitiers de déphosphoration.

Les premiers essais d'utilisation des scories ont été tentés en Angleterre et en Allemagne ; ils ont été menés d'une façon scientifique très sûre, en sorte que les résultats enregistrés dans ces expériences sont absolument irréfutables.

« Les expériences culturales faites en Allemagne et en Angleterre, dit M. Grandjean, sont décisives en ce sens que l'efficacité de l'acide phosphorique contenu dans les scories est, par elles, mise hors de doute ; il s'agit maintenant de fixer, par des essais multipliés, la valeur relative de ces scories suivant la nature du sol et celle des récoltes qu'on lui demande....

» C'est principalement dans les sols dépourvus de chaux (argileux ou siliceux) que se recommande l'emploi des scories de déphosphoration. Les terres qui ont besoin d'être chaulées sont particulièrement indiquées comme devant être singulièrement améliorées par les scories. »

La publication des brillants résultats obtenus en pays étranger souleva l'attention des producteurs français de scories phosphatiques. L'usine du Creusot la première, fit suivre, jusque dans les champs des cultivateurs les laitiers qu'elle avait livrés.

Essais de Montvaltin, près le Creusot. — Dans un sol d'origine granitique, deux parcelles ont été préparées de la même fabon et fumées avec la même quantité d'acide phosphorique : 216 kilogrammes à l'hectare fournis dans la parcelle par 1 830 kilogrammes de scories phosphoriques et dans la deuxième, par 1 450 kilogrammes de phosphate naturel du Cher.

Elles ont été ensemencées d'avoine.

Récolte de l'avoine

FUMURES	A L'HECTARE	
	GRAIN	PAILLE
Phosphate métallurgique du Creusot	1.980 k.	3.300
Phosphate naturel du Cher	1.815	3.200

Les scories phosphatiques ont agi avec plus d'énergie que les phosphates naturels.

Essais de la vallée de Mesvrin. — Deux parcelles de terrain de 5 ares chacune ont été travaillées, fumées de la même façon à la manière habituelle et semées en avoine. Sur la première de ces parcelles il a été épandu 100 kilogrammes de scories finement pulvérisées.

A la récolte, le produit respectif de chacune de ces parcelles a été recueilli et pesé séparément. Le tableau suivant montre l'importance de la récolte à l'hectare.

Récolte de l'avoine

FUMURES	A L'HECTARE	
	GRAIN	PAILLE
Parcelle phosphatée à raison de 2000 kilogs à l'hectare.	1.660 k.	3.520
Parcelle non phosphatée	1.250	3.300

L'effet produit a été remarquable pour le grain et moins sensible pour la paille.

Mode d'emploi des scories phosphatiques.

Mode d'emploi des scories phosphatiques. — A l'usine, les scories sont habituellement coulées dans des poches de fonte; par refroidissement on obtient des pains cylindriques terminés à leur partie inférieure par une calotte sphérique. Sous forme de blocs entiers ou simplement brisés, les usines cèdent à l'agriculture les scories à des prix qui peuvent paraître dérisoires si l'on considère la valeur fertilisante de ces matières, mais qui s'expliquent en songeant que les laitiers sont, pour les aciéries, un embarras constant et que leur transport au crassier est onéreux.

Les cultivateurs qui suivraient le conseil suivant pourraient se procurer un bon engrais à très bon compte. Acheter à l'usine, en automne, les laitiers entiers, les transporter chez eux, et là, dans le champ même où ils comptent les employer, concasser les blocs de manière à les réduire à l'état de morceaux irréguliers gros comme les cailloux qui servent à empêtrer les routes; former avec ces cailloux plusieurs tas qui devront passer l'hiver dans le champ. Les pluies et les gelées de la mauvaise saison, agissant sur les laitiers, les déliteront et les réduiront en poussière fine qu'il suffira d'épandre au printemps sur les terres qui doivent les utiliser.

Tel est le parti le plus économique. Dans les cas pressants, ou à titre d'essai, les cultivateurs peuvent acheter aux usines des scories grossièrement moulues dont les grains les plus forts sont comme des petits pois, et mieux encore, surtout pour les essais, des laitiers moulus très finement, comme du sable fin. Cette dernière variété se prête beaucoup plus facilement à l'épandage au semoir ou à la volée. De plus, son état de division extrême permet de la répartir très régulièrement dans le sol, et de faciliter par cela même son utilisation ou, plus exactement, son assimilation par les plantes. Il y a, quant à l'état des matières à employer, des considérations économiques sur lesquelles nous ne pouvons pas nous étendre; l'agriculteur, guidé par ses intérêts agira, selon le cas, de telle ou telle façon. Quoiqu'il en soit, que la scorie soit achetée moulue ou qu'elle soit délitée chez le cultivateur, on l'emploie de la même façon pour chaque culture.

Dispositions générales. — Les scories sont lourdes, de sorte qu'un poids important de cet engrais n'occupe qu'un faible volume, ce qui est nuisible à la régularité de sa répartition dans le sol; il est bon, pour obvier à cet inconvénient d'ordre absolument physique, de mélanger les scories à une matière friable, pulvérulente et légère, telle que le sable, les cendres de bois ou de houille, etc.

Céréales. — Le mieux est de répandre les scories sur la terre avant la culture, et de les enfouir peu profondément par le labourage.

Plantes tuberculeuses et à racines pivotantes. — L'épandage se fera

comme pour les céréales, mais on enfouira plus profondément les laitiers phosphatiques afin de les rapprocher le plus possible des radicelles des végétaux.

Prairies. — Au printemps, avant que la pousse ait commencé, on répandra les scories à la volée sur les prairies. On se trouvera bien de les mélanger avec un égal volume de cendres de bois qui faciliteront la répartition de l'engrais phosphatique et apporteront en outre aux plantes fourragères la potasse dont elles ont grand besoin.

Vigne. — Les scories peuvent et doivent produire de très bons résultats quand on les applique à la culture de la vigne. Leur emploi pour être efficace, doit être judicieux. On doit déchausser avec précaution chaque pied de vigne et mettre dans le trou ainsi pratiqué quelques kilogrammes de scories fines mélangées avec de la terre ou du sable pour augmenter leur volume et la zone de leur action.

Dose à employer. — En principe, on ne saurait, en restant dans des limites raisonnables, employer trop de scories. Dans les expériences de Downton et Ferryhill, les agronomes anglais ont mis 2 511 kilogrammes de scories à 14 % d'acide phosphorique par hectare et ils ont obtenu de ce fait des résultats merveilleux dans la culture des turneps.

En employant par hectare 2 000 kilogrammes de scories à 15 % d'acide phosphorique, on réalisera dans tous les cas une fumure suffisante; on fera du même coup un acte de prévoyance très louable en fournissant aux récoltes futures les principes nutritifs qui les feront se développer.

La dose de 2 000 kilogrammes à l'hectare est, en effet, une première mise qu'il suffira d'entretenir les années suivantes en ajoutant de 300 à 500 kilogrammes de scories chaque année pour rembourser au sol l'acide phosphorique enlevé par les récoltes annuelles.

D'une façon générale, les scories de déphosphoration doivent produire un excellent effet dans toutes les cultures et dans tous les terrains. Il ne faut pas néanmoins agir aveuglément. On doit au contraire, étudier avec soin la nature du terrain avant d'appliquer les scories à son amélioration.

Les sols calcaires et phosphatiques ne demandent que peu de laitier; les sols argileux, sableux, granitiques, les terrains d'alluvion, exigent en revanche une dose plus forte.

Mais tout dépend d'ailleurs de la nature des récoltes que l'on demande à ces terrains.

Les céréales sont friandes, presque avides d'acide phosphorique.

Un fait d'un ordre tout particulier, mais qui ne manque pas d'intérêt, a été révélé par les expériences déjà faites : l'emploi des scories basiques semble faciliter la destruction des larves et des insectes qui vivent en parasites sur ou dans les plantes à tubercules et à racines pivotantes.

Il ne faudrait cependant pas faire du laitier de déphosphoration la panacée qui doit guérir de tous ses maux notre agriculture. Les laitiers ne doivent jamais, dans aucune culture, être employés seuls; car ils ne renferment pas d'azote ni de potasse, éléments nutritifs indispensables au développement des plantes.

Les scories ne sont pas un engrais complet, elles doivent être considérées comme un engrais complémentaire, phosphatique et calcique; à ce titre, elles peuvent rendre de très grands services.

Les expériences relatées plus haut montrent, l'indiscutable efficacité des scories basiques dans les diverses cultures. Les circonstances particulièrement difficiles dans lesquelles se débattent les agriculteurs français, leur font un devoir d'augmenter chaque jour le rendement de leurs terres. A cet effet, on ne saurait trop leur conseiller d'user largement des phosphates métallurgiques qui constituent un excellent engrais, efficace et bon marché.

Les laitiers basiques à l'Exposition.

Les laitiers basiques étaient représentés à l'Exposition par les échantillons envoyés par le Creusot ainsi que par les aciéries de Valenciennes.

Dénominations. — Sous les noms de phosphate Thomas, scories métallurgiques, scories Thomas, scories phosphatées pour engrais, phosphates basiques, scories de déphosphoration, engrais Thomas, phosphates métallurgiques, on offre aux cultivateurs un produit qui n'est autre que les scories phosphates pour engrais.

Provenance. — Ces scories sont obtenues en transformant les fontes phosphoreuses de Meurthe-et-Moselle, en acier, à l'aide de la chaux et de la magnésie.

Composition. — Elles contiennent: 16 à 20 % d'acide phosphorique, 45 % de chaux, 4 % de magnésie, 8 % de silice, 11 à 14 % d'oxyde de fer, 3 à 6 % d'oxyde de manganèse.

La forte teneur en acide phosphorique, la chaux et la magnésie en font un engrais très apprécié par tous ceux qui l'emploient depuis quelques années. La magnésie a une influence spécialement favorable sur les orges et autres céréales.

Préparation. — Telles qu'elles sont produites, ou simplement broyées en menus morceaux ou tamisées, ces scories ne peuvent être utilement employées par la culture (¹). C'est pourquoi elles sont moulues en farine dont 75 % passent à travers un tamis ayant des trous de $\frac{17}{100}$ de millimètres.

1. Cette opinion a été discutée, et il paraît maintenant certain que le broyage n'est pas indispensable. H. et C.

Emploi ('). — L'usage a démontré la supériorité des scories de déphosphoration sur les superphosphates dans tous les terrains et pour toutes les espèces de plantes cultivées y compris la betterave, et surtout dans les terrains tourbeux, sablonneux et marécageux, les pâtures et les plantes fourragères.

Cet engrais moulu en farine est sec. Il se sème donc beaucoup plus facilement que les superphosphates. On en met suivant la nature du sol et de la récolte.

Sur les blés et autres céréales, les prairies naturelles ou artificielles : trèfles, luzernes, etc., après les semaines ou au printemps.

Pour les vignes, les betteraves, les pommes de terre, etc., après les premières cultures.

La dose de cet engrais ne peut jamais nuire.

Voici les doses employées ordinairement :

Plantes oléagineuses, pavot, colza, navettes.	1.200 à 1.500	kil.	à l'hectare
Betteraves à sucre, carottes, etc.	900 à 1.000		—
Blés.	800 à 1.000		—
Légumineuses, pois, fèves, luzernes, trèfles.	700 à 900		—
Prairie.	600 à 800		—
Plantes textiles, lin, chanvre	400 à 700		—
Pommes de terre.	400 à 600		—
Vignes.	800 à 1.000		—

On l'emploie aussi avec avantage à la confection des terreaux ou composts de fumier; on en sème sur les litières dans les écuries, 1 kilogramme à 1 kil. 500 par tête de gros bétail et par jour.

Les expériences faites dans toutes les stations agronomiques en France et à l'étranger ont établi comme suit la valeur des scories phosphates.

2 kilogrammes d'acide phosphorique sous forme de poudre de scories phosphates coûtent meilleur marché et donnent de meilleurs résultats que :

1 kilogr. d'acide phosphorique de superphosphates.

3 — — — sous forme de guano du Pérou.

10 — — — sous forme de farine d'os cuits à la vapeur.

10 — — — sous forme de farine de coprolithes.

Les scories phosphates offrent un engrais au moyen duquel on peut augmenter, à peu de frais, les rendements dans une mesure tout à fait extraordinaire.

Les aciéries de Valenciennes produisent par jour 40 000 kilogrammes de scories phosphates moulues en farine.

Les scories phosphates doivent être conservées dans un lieu sec.

1. Indications fournies par les Aciéries de Valenciennes.

Production des Aciers sur sole

La production des aciers obtenus sur sole s'est élevée en France, pour l'année 1889, à 183 100 tonnes, représentant 34 % du tonnage total des aciers produits par les divers procédés.

Cette proportion est élevée, elle suit du reste depuis 10 ans une progression croissante et rapide.

En 1878, l'acier obtenu sur sole représentait une proportion moins élevée.

Le développement que prend la fabrication des aciers au four Martin acide ou basique est justifié par deux raisons principales :

1^o L'extension de la fabrication des moulages d'acier.

2^o La préférence que donnent au four basique, sur le convertisseur, les usines de moyenne et de faible importance pour la production des fers fondus.

De 51 en 1877, le nombre des fours à sole s'est élevé à 75 environ en 1889 (1).

Four Martin à sole acide.

Ils sont employés pour la production d'aciers moulés, ou en lingots élaborés ensuite au pilon ou au laminoir. Les fours Martin à sole acide sont disséminés dans la France entière. Le bassin métallurgique de la Loire est le principal centre de production de ces aciers.

On trouve à Saint-Chamond, à Firminy, à l'usine des Etaings chez MM. Marrel Frères, des installations grandioses, capables de fondre des lingots d'acier pesant jusqu'à 100 et 120 tonnes pour le forgeage des canons.

Firminy possède deux fonderies Siemens-Martin comprenant huit fours de fusion avec gazogènes et les fours à réchauffer correspondants.

Chez M. Marrel sont quatre fours Martin-Siemens, donnant 35 tonnes d'acier par opération.

Aux aciéries de Valenciennes (Nord et Est), dans un angle de l'atelier de transformation de la fonderie Bessemer est installé un four Martin-Siemens, de forme ordinaire produisant 10 tonnes d'acier par aspiration. Ce four à garniture siliceuse, est employé à la fabrication des aciers spéciaux, pour bandages, essieux, pièces mécaniques. Il est établi sur un plancher, à 3^m,50 de hauteur, de manière à permettre de couler la charge d'acier dans la poche de coulée des convertisseurs. Cette poche devient ainsi commune aux deux fabrications d'acières installées dans la même halle; ainsi que les grues de démontage et autres accessoires.

Le four de l'usine de Valenciennes se caractérise par ce point que les récupérateurs de chaleur à gaz et à air sont groupés, deux à deux, à chaque bout du

1. Voir la note de M. Jordan au Congrès de l'Iron and Steel Institute, sept. 1889.

four et que chacun est composé d'une enveloppe cylindrique en tôle, dans laquelle est établie une chambre en briques réfractaires dans le genre des appareils à air chaud, système Cowper ou Withwell, pour hauts-fourneaux.

Cette enveloppe et tôle, en outre de la solidité, empêche les pertes de gaz et les rentrées d'air nuisibles à la bonne marche d'un four Martin-Siemens.

Ces récupérateurs cylindriques sont fermés, dans leur partie supérieure, par des couvercles, qui s'enlèvent et permettent un refroidissement rapide des chambres à briques, on réduit aussi au minimum, la durée de l'arrêt du four, pour le nettoyage.

Le gaz, pour l'alimentation de ce four à acier, est produit par cinq gazogènes Siemens, à tirage naturel, de forme et de dimensions ordinaires. Sous le plancher supportant le four, à l'arrière, mais au niveau général du sol de l'usine, sont disposés les registres et soupapes réglant l'arrivée du gaz et l'entrée de l'air, ainsi que les valves de renversement des courants des produits gazeux de la combustion.

Les matières premières nécessaires au four Martin-Siemens sont montées, sur le plancher de travail du four, par un élévateur hydraulique de 9^m,50 de course, qui dessert, en même temps, le plancher de travail des convertisseurs et le plancher supérieur à 9^m,50 du sol, correspondant au plancher de chargement des cubilots et au plateau d'arrivée des fontes et autres matières.

On trouve aussi des fours à sole à : Saint-Nazaire, au Boucau, à Imphy, au Creusot, à Saint-Jacques, à Allevard, à Bessèges, à Pamiers, etc.

Le Boucau possède deux fours de 10 tonnes.

Imphy dispose de deux fours de 6 tonnes qui lui servent à produire des moulages et des lingots d'acier.

A l'usine d'Allevard on travaille d'une façon toute particulière et bien voisine de l'*ore process*. Le caractère du travail du four Siemens d'Allevard est l'emploi à peu près exclusif de la fonte sans autre addition métallique que les chutes ou tombées provenant de l'usine même. La décarburation est obtenue par le minerai d'Allevard qu'on charge dans le four jusqu'à concurrence de $\frac{1}{5}$ environ du poids de la fonte.

Il n'existe probablement en France aucune autre usine pratiquant à un degré aussi élevé cette méthode de décarburation sur sole par le minerai. On n'y est parvenu à Allevard qu'après des années de recherches et d'essais, et une transformation radicale du four Martin.

Fours Martin à sole basique.

Nombre d'usines parmi lesquelles celles de M. G. Dumont à Louvroil, Pompey Montataire, Fourchambault, Le Creusot, Saint-Jacques, Gueugnon, Alais, etc.,

possèdent des fours basiques de forme, de capacité et même de revêtements différents.

La capacité des fours basiques est le plus souvent de 10 tonnes environ. Les revêtements sont en magnésie ou en dolomie, et quelque fois en fer chromé; tel est le cas des aciéries d'Alais et de Fourchambault.

Cette dernière usine possède trois fours à sole neutre de 10 à 12 tonnes de capacité qui marchent d'une façon très satisfaisante.

DEUXIÈME PARTIE

Propriétés générales des aciers.

*Avant-Propos.**Caractères physiques**Propriétés physiques et mécaniques du métal dans ses emplois à froid et à chaud.**Propriétés électro-magnétiques.*

AVANT-PROPOS

Les nouvelles méthodes de fabrication examinées dans la première partie de la présente étude permettent d'obtenir des métaux ferreux doués de propriétés toutes nouvelles (1).

Parmi les matières étrangères associées au fer et susceptibles de modifier ses propriétés, le carbone est sans contredit l'élément le plus important.

Depuis un siècle environ, il est admis que les trois métaux, fonte, acier et fer ne diffèrent entre eux que par leur richesse en carbone; Monge, Berthollet, Vandermonde, ont les premiers émis cette opinion qui a été ensuite confirmée par les expériences de Karsten.

Une faible proportion de carbone, depuis quelques dix millièmes jusqu'à deux millièmes (0,200 %) environ sans autre matière, donne un métal doux, très difficilement fusible, insensible à l'action de la trempe, c'est le *fer*.

A la dose de 0,30 jusqu'à 1,500 de carbone environ, le produit est dur, tout en restant malléable à chaud et à froid, fond assez facilement, devient dur et fragile par la trempe, c'est l'*acier*.

Enfin, si la proportion de carbone dépasse deux pour cent (2 %), on obtient un métal facilement fusible, cassant à chaud et à froid, c'est la *fonte*.

Sans fixer exactement les teneurs de carbone qui justifient les dénominations ci-dessus, on ne peut s'empêcher de remarquer, l'importance des changements qu'une faible quantité de carbone apporte dans les propriétés physiques du même métal.

Des métaux virtuellement distincts, qui se trouvent désignés par le nom

1. Voir la note placée en tête de la traduction de l'ouvrage de Sir L. Bell. *Principes de la fabrication du fer et de l'acier*, par A. Hallopeau, chez Baudry (1888).

générique de fer, diffèrent plus l'un de l'autre, par leurs caractères externes, que beaucoup de métaux chimiquement différents⁽¹⁾.

Dans le tableau ci-dessous sont résumés les caractères distinctifs des fontes, des aciers et des fers ainsi que leurs propriétés les plus remarquables au point de vue de l'emploi ou de la mise en œuvre.

CARACTÈRES PHYSIQUES	Densité. Cassure. Cristallisation.	Ténacité	Limite d'élasticité Résistance à la rupture Allongement.
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES, LE MÉTAL ÉTANT EMPLOYÉ	à froid	Malléabilité	Etirage en feuilles. Pliages sans criques.
		Ductilité — Etirage en fil. Dureté. Résistance au choc. Ecrouissage — Fragilité. Trempe. Recuit. Action du froid.	
PROPRIÉTÉS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES	à chaud	Effet de la dilatation — Retrait. Conductibilité de la chaleur. Fusibilité, Malléabilité. Ductilité. Soudabilité.	Magnétisme. Conductibilité électrique.

Les propriétés des fontes, des fers et des aciers durs sont bien connues; les résultats d'épreuves fournis par les exposants ont fait ressortir de nouveau les conclusions déjà acquises.

L'étude des aciers extra-doux, doux et des *fers fondus* obtenus avec un garnissage basique soit au four à sole, soit au convertisseur, pendant ces dernières années⁽²⁾ dénote que ces métaux sont d'une qualité supérieure et possèdent des propriétés qui doivent les faire rechercher pour un grand nombre d'emplois.

Dans le four Martin à sole acide, on avait déjà obtenu bien avant l'apparition

1. Voir le *Traité de métallurgie*, du D^r Percy, traduit par MM. Petitgand et Ronna (1867).

2. Voir *L'Acier*, par L. Campredon, chez B.-Tignol (1890).

des fers fondus déphosphorés, des aciers extra-doux, dont les propriétés sont très remarquables, ainsi qu'il ressort d'une série d'expériences dont les résultats sont groupés dans le tableau ci-dessous :

Fers fondus obtenus sur sole acide

Coulée	ESSAIS DU MÉTAL		COMPOSITION CHIMIQUE DU MÉTAL					OBSERVATION
	Résistance à la rupture	Allongem. %	C	Si	S	Ph	Mm	
A	38 ⁴ 5	25.5	0.190	0.041	0.066	0.087	0.200	
B	40.5	24.5	0.140	0.041	0.066	0.085	0.200	
C	41.3	28.8	0.180	0.056	0.066	0.065	0.275	
D	43.8	27.5	0.200	0.052	0.066	0.085	0.275	

Les essais ont été exécutés sur des barrettes découpées dans des tôles recuites ayant 8 millimètres d'épaisseur (section de $30 \times 8 = 240 \text{ mm}^2$) et une longueur utile de 200 millimètres.

La production des fers fondus au four Martin acide présente de nombreuses difficultés, alors que la fabrication de ces mêmes produits dans les appareils avec garniture basique ou neutre, four Martin ou convertisseur Thomas Gilchrist, rentre maintenant dans le travail courant et journalier des aciéries bien outillées.

La caractéristique des fers fondus, obtenus dans les appareils avec garnissage basique ou neutre, se trouve dans leur composition. Ce sont en général des aciers très peu carburés, à dose notable de manganèse, contenant à peine des traces de silicium et des doses très minimales de phosphore et de soufre.

Caractères physiques.

Densité. — L'homogénéité des fers fondus, l'élévation de la température à laquelle ils ont été coulés et leur grande pureté, assurent à ces métaux une densité très forte et supérieure à celle des autres aciers.

Quelques mesures faites par M. Campredon sur du métal fondu, forgé et recuit ont donné une densité de 7,850. Ce chiffre est confirmé par les résultats obtenus par M. Mercier, chimiste de la Compagnie du chemin de fer de Lyon.

Cassure et cristallisation. — La structure des fers fondus obtenus sur sole basique, présente à peu de chose près les caractères généraux de celle des aciers de même dureté obtenus sur sole acide. Néanmoins, les grains d'acier sont peut-

être un peu plus blancs et souvent la cassure manifeste une tendance à devenir nerveuse.

Lorsque la fabrication a été conduite avec précaution, les cristaux sont petits et difficiles à observer. Si le métal est brûlé ou seulement surchauffé, les grains sont plus gros, brillants, jusqu'à figurer des *yeux de crapaud*.

Propriétés physiques et mécaniques des fers fondus dans leur emploi à froid

Ténacité. — C'est par un essai de traction que l'on mesure la ténacité des fontes, du fer, et des aciers.

Les fers fondus présentent à la rupture une résistance qui varie de 35 à 50 kilogrammes, en prenant de 35 à 25 % d'allongement⁽¹⁾.

La limite d'élasticité des fers fondus atteint fréquemment et dépasse quelquefois les $\frac{2}{3}$ de la charge totale de rupture. Cette augmentation de la limite élastique des fers fondus basiques, pour une même résistance, tient à la nature de ces métaux qui peuvent être considérés comme de véritables *acières manganiésés*.

Si l'on admet pour la composition moyenne des fers fondus donnant 42 kilogrammes de résistance à la rupture :

C	0.100
Si	0.020
S	0.040
Ph	0.040
Mn	0.400

On voit que la teneur en Mn est quatre fois plus forte que celle en carbone. Or, le Mn, le fait est depuis longtemps reconnu, augmente d'une manière sensible l'élasticité des aciers.

Dans les formules établies jusqu'à présent, on admet pour les aciers obtenus sur sole acide :

$$LE = \frac{R}{2}$$

LE, limite élastique;

R, résistance à la rupture.

1. Voir note sur l'emploi de l'acier doux (fer fondu), par M. A. Hallopeau. *Revue Générale des chemins de fer*. — Janvier et février 1889. — Vve Dunod.

Les résultats fournis par de nombreux essais exécutés dans les diverses usines montrent que pour les fers fondues basiques, la formule

$$LE = \frac{2R}{3} \text{ se rapproche davantage de la réalité.}$$

Malléabilité. — La malléabilité à froid des aciers doux est démontrée par le travail d'emboutissage, de pliage, etc., que l'on fait supporter à ces métaux.

Le degré de malléabilité est apprécié par une épreuve de pliage qui varie suivant la forme et la nature des échantillons.

Pour la tôle de fer fondu (R 42 kilogrammes — allongement 25 %), une lame méplate de 0^m,040 de largeur et 0,120 de longueur, ayant l'épaisseur de la tôle, est pliée en deux, et les deux moitiés sont rapprochées et appliquées l'une sur l'autre, sans qu'il se produise aucune fissure dans le pli extérieur du métal (fig. A).

Le métal supporte une épreuve analogue après trempe, mais en ramenant seulement les deux lames dans des plans parallèles à une distance égale à une fois et demie l'épaisseur de la bande. L'acier extra doux R 35 à 40 kilogrammes est plié à contact, même après trempe (fig. B).

Avec le fer misé ordinaire, la lame ne peut être pliée, elle ne peut supporter qu'un enroulement sur un fort diamètre; le cylindre produit a pour diamètre intérieur 25 fois l'épaisseur de la tôle (fig. B').

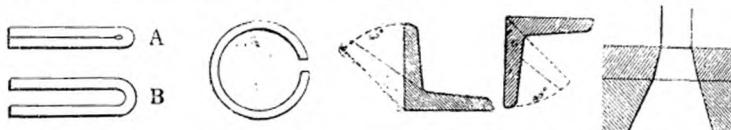


Fig. A, B.

Fig. B'

Fig. C.

Fig. D.

Sous forme de cornières, les échantillons sont essayés en ce qui concerne la malléabilité, en rapprochant ou en écartant les deux bords.

Avec le fer fondu, les deux ailes peuvent être appliquées intérieurement l'une sur l'autre, ou au contraire, être redressées en prolongement l'une de l'autre.

Avec le fer misé, le pliage ne dépasse pas généralement un angle de 45°, avec la position primitive, comme il est indiqué ci-contre (fig. C).

Pour les fils, la malléabilité est appréciée d'après le nombre de pliages à angle droit et à l'étau que ces fils peuvent supporter avant de crierquer.

Ce nombre varie de 12 à 25 selon le diamètre du fil.

Ductilité. — La ductilité du fer fondu est mise en évidence par le tréfilage, cette propriété est également mise en jeu lorsque le métal est soumis à un travail de poinçonnage.

Sous l'effort du poinçon (effort variable avec l'écart qui existe entre le diamètre extérieur du poinçon et le diamètre intérieur de la matrice correspondante) il se produit un écoulement de la matière, et le trou est débouché (fig. D)

en présentant une paroi conique dont l'inclinaison varie d'après les mêmes éléments.

Avec le fer fondu, à la condition toutefois que l'écart entre les deux diamètres soit faible, 1 ou 2 millimètres par exemple, et par suite que le trou n'ait qu'une dépouille très faible, 1 millimètre par exemple, la débouchure sort parfaitement nette et sans arrachement, même en poinçonnant le trou à très faible distance du bord, 1 millimètre par exemple.

La débouchure peut être aplatie sous forme mince, à froid, au marteau pilon, sans présenter aucune crique ni gerce sur le pourtour; les bords du trou sont nets et ne présentent de bavures que sur une hauteur à peine sensible; enfin, il ne se produit dans la barre aucune fente longitudinale, aucun décollement des fibres d'un trou au suivant.

La débouchure ne présente aucune gerce transversale.

Ainsi, un trou de 25 millimètres de diamètre peut-être poinçonné à 0^m,015 du bord d'une tôle ou d'une cornière sans qu'il y ait aucune trace de fente.

Que si on vient à poïçonner le trou en deux opérations successives, c'est-à-dire en poïçonnant d'abord un trou de 21 millimètres porté ensuite au diamètre de 25 millimètres par un second coup de poinçon, la virole de 2 millimètres d'épaisseur, ainsi détachée peut-être serrée dans un étau et fortement aplatie avant la rupture qui ne se produit en tous cas que progressivement.

Tout au contraire, avec le fer, en opérant de même, on constate que la débouchure est toujours fendue en dessous et présente sur les bords de nombreux arrachements; elle ne peut être aplatie sans criques sur les bords et enfin la virole de 2 millimètres serrée dans un étau se rompt brusquement sous un faible effort.

Pour certaines qualités de métal fondu, à tendance aciéreuse, il y a cependant un léger écrouissage sous l'action du poinçon, à la périphérie du trou, sur une largeur d'environ 1 millimètre. De ce fait il convient de poinçonner à un diamètre faible et d'agrandir le trou par un alésage (¹).

Résistance au choc. — Les fers fondu supportent, sans criques ni gerces même en plaçant une barre mince de champ, les chocs du mouton. D'après les cahiers des charges de l'artillerie de terre, les essais de choc sont faits sur les barrettes carrées ayant 30 millimètres de côté et 200 millimètres de longueur.

Ecrouissage, fragilité. — Quelle que soit la douceur des fers fondu, ils sont sensibles à l'écrouissage qui les durcit et les rend fragiles.

C'est surtout par le passage à la filière, dans l'opération du tréfilage, que se manifeste le durcissement du métal.

1. Voir le rapport de MM. Hallopeau et Lantrac sur *l'emploi de l'acier*, au Congrès des Procédés de Constructions. Septembre 1889. Imprimerie Nationale.

Pour un même nombre de *passes* à la filière exécutées dans les mêmes conditions, l'écrouissage est d'autant plus sensible que le métal est plus dur.

Les résultats du tableau ci-dessous montrent l'effet de l'écrouissage sur des fils *machine* présentant à l'état naturel des duretés respectives de 37 k., 4, 48 k., 9 et 52 k., 3 par millimètre carré.

Ecrouissage des fils par le tréfilage

RÉSISTANCE PAR m/m^2	RÉSISTANCE PAR m/m^2	RÉSISTANCE PAR m/m^2
Machine n° 22 37 ^{k4}	Machine n° 21 48.9	Machine n° 21 52 ^{k3}
Fil clair n° 21 45.3	Fil clair n° 20 74.3	Fil clair n° 20 74.3
— 20 53.0	— 19 71.6	— 19 82.5
— 19 58.8	— 18 78.0	— 18 89.4
— 18 64.8	— 17 80.0	— 17 90.1
— 17 66.2	— 16 85.2	— 16 96.4
— 16 68.2	— 15 90.5	— 15 97.7
— 15 76.7	— 14 92.1	— 14 98.6
— 14 76.3	— 13 97.6	— 13 112.0
— 13 80.6	— 12 101.0	— 12 112.0
— 12 92.0		

Pour chacun de ces essais, la machine a été prise au numéro indiqué et *descendue* sans recuit jusqu'au dernier numéro porté sur le tableau.

L'effet de l'écrouissage est détruit par le *recuit* qui rend au métal sa douceur primitive.

Trempe.

La trempe est une opération pratiquée sur les composés carburés du fer, principalement les aciers.

Elle consiste à éléver la température du métal jusqu'au rouge cerise, et à le refroidir ensuite brusquement en le *tremplant* dans l'eau pure ou dans un autre liquide convenablement choisi, l'eau salée, les acides, le mercure, etc.

En principe, la trempe augmente la dureté des aciers, et leur résistance à la rupture, tout en diminuant leur faculté d'allongement au-delà de la limite d'élasticité qui est elle-même plus élevée.

Le métal devient dur et en même temps *fragile*.

La composition chimique du métal exerce une action très marquée sur les

effets de la trempe. Ainsi pour les aciers à teneur élevée en manganèse, la trempe augmente non-seulement la résistance à la rupture, mais aussi l'allongement.

Le métal est rendu plus malléable par la trempe, la malléabilité étant caractérisée par la faculté d'allongement.

Exemple : Expérience faite dans l'usine de Saint-Chamond.

Ce métal renfermait : *Carbone* 1.36 %

Manganèse 13.90

<i>Fer</i>	84.74
	<hr style="width: 20px; margin-left: 0; margin-right: 0; border: 0; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; border-left: none; border-right: none;"/>
	100.00

Il a été soumis à un essai de traction.

	Effort de rupture	Allongement
Eprouvette sans recuit ni trempe	81 kil.	1 %
— trempée à l'huile au rouge	80.9	18.90 %
— — à l'eau au jaune	91.2	35 %
— — dans un mélange réfrigérant, au jaune	106	52 %

Pour le fer fondu, la trempe n'augmente pas la dureté, tout au contraire, elle augmente la malléabilité du métal et sa tenacité.

L'essai de traction donne alors :

Expérience faite à Fourchambault.

	Effort de rupture	Allongement	Résist. + Allong. (Somme constante)
Eprouvette recuite	40 ⁴ 5	31.5 %	72
Eprouvette trempée au rouge cerise	50	20	70
— — au jaune	61.5	11.5	72
— — au blanc	52.5	19	71.5

Le métal avait la composition suivante :

C	=	0,200
Si	=	0,020
S	=	0,050
Ph	=	0,050
Mn	=	0,400
Fer	=	99,380
		<hr style="width: 20px; margin-left: 0; margin-right: 0; border: 0; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; border-left: none; border-right: none;"/>
		100,000

Etude théorique de la trempe.

Les effets de la trempe sont connus et appliqués depuis la plus haute antiquité ; il n'en est de même de la théorie des phénomènes qui déterminent cette action.

Récemment il a été fait d'intéressantes communications à l'Académie des

Sciences sur ce sujet, par différents auteurs tels que : M. Henri Lechatelier, professeur à l'Ecole supérieure des Mines, d'une part, et MM. Osmond et Werth, ingénieurs des Arts et Manufactures, d'autre part.

Le principe établi par M. Osmond peut être défini comme suit :

Dans tout métal ferreux, et notamment dans l'acier, le fer et le carbone existent toujours à côté l'un de l'autre, mais dans un état atomique différent selon la manière dont le métal a été refroidi lors de sa fabrication.

Lorsque le métal a été refroidi lentement, une partie du fer resté à l'état *libre* est désigné comme étant à l'état *a*.

De plus, pendant le refroidissement opéré lentement, il se produit à une certaine température moyenne, variable avec le degré de carburation, un dégagement brusque de chaleur. Ce phénomène calorifique résulte de la combinaison d'une partie du carbone avec trois équivalents de fer pour la formation d'un carbure de la forme $Fe^3 C$.

La proportion de carbone qui passe alors à l'état de combinaison avec le fer est désignée sous le nom de *Carbone de recuit*.

Que si, au contraire, on considère l'état du métal à la température du rouge vif, le fer et le carbone existent encore à côté l'un de l'autre, mais à des états différents.

On désigne par le signe *b*, l'état du fer à cette température. Le carbone est dans un état particulier, et on le désigne sous le nom de *Carbone de trempe*.

Par la trempe, le refroidissement brusque empêche la formation de la combinaison $Fe^3 C$, le fer continue à rester à l'état *b*, et le carbone à l'état de carbone de trempe, tout comme cela existait à haute température. Le métal ainsi constitué est dans un état moléculaire instable, comme on peut le constater par la transformation qu'il subit lorsqu'on vient alors à le réchauffer légèrement en le laissant ensuite refroidir lentement à l'abri du contact de l'air, dans les conditions spéciales que l'on connaît sous le nom de *recuit*.

Une faible élévation de température suffit pour déterminer la formation de la combinaison $Fe^3 C$, le carbone passe à l'état de carbone de recuit, le fer prend la forme *a*, et le métal est ramené à son état naturel, à un état moléculaire stable.

La transformation moléculaire déterminée par l'action de la trempe est variable avec la composition des aciers.

Selon la proportion des corps, carbone, manganèse, chrome, tungstène, cuivre, nickel, associés au fer, la trempe durcit le métal, ou bien elle est sans action ou bien au contraire elle le ramollit.

Il est rare que la trempe soit sans action. Aussi M. Osmond a-t-il proposé de dénommer :

Trempe positive, celle qui est obtenue quand l'acier devient dur et plus fragile par la trempe.

Trempe négative, celle qui est obtenue quand le métal (que l'on doit alors

désigner sous le nom de fer fondu) devient plus mou, plus malléable par la trempe.

Le *recuit* régularise la structure cristalline des fers fondues ; il améliore par cela même leur homogénéité physique et augmente leur allongement sous un effort de traction.

Moins indispensable, sans doute, que pour les aciers durs, le recuit doit cependant être pratiqué, avant leur mise en service, sur toutes les pièces d'acier doux travaillées par forgeage.

Action du froid sur les principales propriétés mécaniques des aciers

— Il a été fait des essais de traction et de choc sur diverses éprouvettes prises dans une même barre de métal et essayées à diverses températures comme l'indique le tableau ci-dessous :

Essais à la traction

Numéros des barres	Dimensions et sections	Tempéra- ture	Limite élastique	Résistance par m/m	Allongem . p. 100	OBSERVATIONS
1		+	40°	24.80	40.3	29
2		++	20°	20.40	40.8	30
3		+	10°	24.80	42.5	29
4			0°	21.0	41.5	33
5	Ronds de 15 millim. Sections 277 m/m ²	-	12°	22.1	42.0	29
6		-	17°	20.0	42.5	29
7		-	28°	27.6	42.0	28
8		-	28°	24.8	42.5	28

Essais au choc

ESSAIS, CHOC ET PLIAGE	Numéros des barres	Dimensions et sections	Température	Hauteur de crainte	Pliée	OBSERVATIONS	
Le choc et le pliage n'ont pas produit de craques.	1	Plats de 42×10 Section $420 \text{ m}/\text{m}^2$	+ 40°	1.00	12.0	Pliée complètement sans craque.	
	2			1.50	29.0		
				2.00	47.0		
	3		+ 10	1.00	10.0	Légère craque intérieure au dernier coup de marteau.	Id.
	4			1.50	26.0		
				2.00	46.0		
	5		- 17	1.00	10	Pliée complètement craque.	
	6			1.50	25		
				2.00	38		
Les craques se sont manifestées au pliage.	6		- 17	1.00	—	Légères marques de craques.	
	7			1.50	—		
	8			2.00	—		
	7		- 28	1.00	8	Commencement de craques au dernier coup	
				1.50	23		
	8			2.00	35		
	8		- 28	1.00	10	Pliée complètement avec grosse craque.	
				1.50	25		
				2.00	40		

L'essai au choc a été fait au moyen d'un mouton de 12 kil., les couteaux étant espacés de 0^m.160 sur une enclume du poids de 800 kil.: le pliage a été continué avec un marteau à frapper devant.

Composition du métal essayé :

	C	Ph	Mn
Barrettes de traction (ronds de 15 m/m).	0.100	0.104	0.420
Barrettes pour le choc (plats de 42×10).	0.120	0.082	0.500

En fait, pour les essais à la traction, la résistance augmente avec l'abaissement de température et l'allongement diminue.

Pour les essais au choc, à mesure que la température diminue, le métal craque et les craques vont toujours en augmentant.

Propriétés physiques et mécaniques des Fers fondus dans leurs emplois à chaud

Conductibilité, Fusibilité, Dilatation, Retrait. — L'homogénéité des fers fondus permet de prévoir que ces métaux se *dilateront* très régulièrement et *conduiront* la chaleur avec une grande facilité ; si on continue à les chauffer, ils passeront par toutes les nuances des couleurs de feu jusqu'au moment où se produira la *fusion*.

De tous les métaux fondus, les aciers extra-doux sont les plus réfractaires.

D'après les nouvelles évaluations pyrométriques de M. Le Chatelier, en prenant comme terme de comparaison le point de fusion du palladium à 1 500°, l'acier extra-doux fondrait à 1 400° ; on avait coutume de penser jusqu'ici que la température de fusion des fers fondus était plus élevée.

Du reste, dans la fabrication des fers fondus, on dépasse de beaucoup la température qui détermine leur fusion ; on les surchauffe, ils emmagasinent du calorique, en sorte qu'ils peuvent rester fluides longtemps encore après que l'action de la chaleur a cessé.

Malléabilité, Ductibilité. — A froid, la malléabilité des fers est déjà grande ; cette propriété se développe à mesure qu'augmente la chaleur. C'est par le martelage que l'on met en évidence l'extrême malléabilité des fers fondus. La pureté de ces métaux permet de les travailler à une température très élevée, voisine du blanc, sans qu'ils soient dénaturés ; ils partagent ce privilège avec le fer misé ; mais la supériorité des fers fondus se manifeste nettement quand la chaleur tombe au rouge sombre. A cette température on doit cesser de marteler ou de laminer les fers misés sous peine de les voir se soulever en longues écailles et *pailleur*, tandis que les fers fondus peuvent être façonnés sans inconvénients à cette couleur critique.

Dans la fabrication des tôles très minces on emploie presque exclusivement aujourd'hui les fers fondus et l'on obtient avec ces matières des tôles noires ou étamées d'une régularité parfaite.

Les tôles de fer fondu ou acier blanc prennent moins d'étain quand on les plonge dans un bain de ce métal pour les étamer ; cette particularité tient sans doute à la plus grande compacité des fers fondus.

On peut varier à l'infini la nature des essais qui permettent d'apprécier la malléabilité à chaud des fers fondus.

On confectionne un cylindre ayant, par exemple, 20 millimètres de diamètre et 20 millimètres de hauteur, on le chauffe au rouge et on l'écrase au pilon jusqu'à obtenir un disque de 2 millimètres d'épaisseur sur les bords duquel ne doit apparaître aucune crique.

On perce à chaud dans une barre de métal avec un poinçon conique et non loin du bord, un trou que l'on agrandit ensuite au mandrin ; le métal s'étire, s'allonge, mais on ne voit aucune crique dans les parties les plus fatiguées par ce travail.

L'épreuve la plus sensible pour apprécier à chaud la malléabilité des fers foncés est le laminage.

Les aciers doux purs et bien *désoxydés* se laminant très bien sans criquer ; les mauvais aciers, au contraire, criquent, se fendillent et parfois même tombent en morceaux sous les cylindres du lamoir.

On mesure le degré de malléabilité et de ductibilité des aciers à chaud par un essai de pliage simple et concluant, comme suit :

Epreuve des crochets. — Une barrette forgée ou laminée en un rond de 16 millimètres de diamètre est chauffée au jaune oxydant à l'une de ses extrémités, pliée sur elle-même, redressée, repliée en sens inverse, dans la partie chauffée à angle droit, sur le bord vif d'un enclume, jusqu'à rupture.

Les bons fers fondus fournissent dans ces conditions de 20 à 25 pliages ; ceux qui sont impurs, mal désoxydés ou coulés trop froids, manquent de *corps* à chaud et ne donnent que 4 ou 5 pliages ou *crochets*.

Soudabilité (1).

La soudabilité est la propriété que possèdent certains corps de s'unir par la soudure, opération fréquemment appliquée dans le travail des métaux et qui consiste à rapprocher intimement deux corps de même nature ou de nature différente, de façon à n'en former qu'un seul.

La soudure est dite *autogène* lorsqu'un métal s'unit à lui-même sans le secours d'aucun autre corps intermédiaire. La soudure des fers et des aciers est autogène ; ces métaux se soudent sur eux-mêmes par pression à chaud. Il faut pour assurer la soudure du métal, le prendre dans la période de chaleur comprise entre le ramollissement et la fusion.

Cette seule observation permet de comprendre et d'expliquer pourquoi les fers se soudent très facilement, tandis que la soudure des aciers est délicate et celle de la fonte à peu près impossible. Le fer commence à se ramollir bien avant de fondre ; l'acier dur fond bientôt après son ramollissement, et la fonte entre en fusion au rouge orangé, avant même de s'être ramollie.

Il est possible de représenter les phénomènes que nous venons d'indiquer

1. Voir *Propriétés physiques et mécaniques des aciers*, par Louis Campredon. — Génie civil, tome XVII, n° 18, 30 août 1890.

par trois lignes sur lesquelles nous marquerons des longueurs proportionnelles à celles qui déterminent le ramollissement et la fusion du fer, de l'acier demi-dur et de la fonte.

Fer	— . — . — . — .	Ramollissement	Fusion
Acier demi-dur	— . — . — . — .	R.	F.
Fonte	— . — . — . — .	R. F.	

La soudure ne sera possible que dans les parties pleines de ces lignes.

Divers modes de soudure. — Une barre de fer présentant une section carrée de 20 millimètres de côté et une longueur suffisante nous permettra d'examiner les principales manières de souder ce métal.

Soudure par superposition à plat. — Deux barrettes sont placées l'une sur l'autre, de manière à se croiser plus ou moins, et soudées par leurs surfaces de contact, qui forment le rectangle ABCD (fig. 1) ;

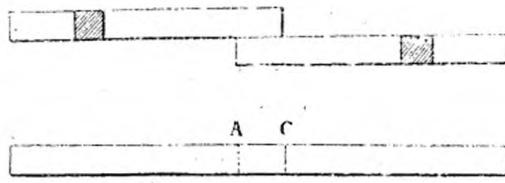


FIG. 1. — SOUDURE PAR CONTACT OU PAR APPROCHE.

Soudure par amorces croisées ou à chaude portée. — Les deux barrettes refoulées à leur extrémité et coupées en biseau, sont présentées l'une à l'autre (fig. 2) et soudées ;

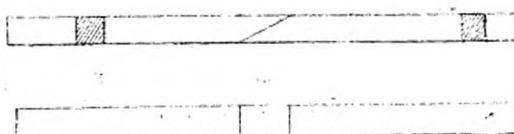


FIG. 2 — SOUDURE PAR AMORCES CROISÉES

Soudure en bout. — Les barrettes sont soudées bout à bout (fig. 3) ;



FIG. 3 — SOUDURE EN BOUT.

Soudure par encollage. — L'une des barrettes est placée debout par une de ses extrémités sur l'autre barrette et soudée dans cette position (fig. 4) ;

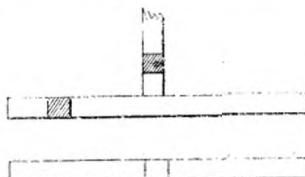


FIG. 4 — SOUDURE PAR ENCOLLAGE.

On pratique aussi la *Soudure à gueule de loup* ; on ouvre l'extrémité de l'une des barrettes et on engage la deuxième barrette dans la gueule ainsi produite.

Soudure des aciers.

La soudure des aciers durs ou aciers à outils est une opération difficile, qu'un forgeron expérimenté peut seul entreprendre et mener à bonne fin. Plusieurs ingrédients ont été proposés pour faciliter la soudure des aciers, mais à l'usage ils ont produit des effets très contestés.

Lorsque, pour la première fois, apparurent sur le marché métallurgique les aciers extra-doux déphosphorés, le problème de la soudure des aciers se posa de nouveau, mais, cette fois, sa solution devait être facilement trouvée. Les aciers extra-doux se rapprochent du fer par la faiblesse de leur teneur en carbone et par la plupart de leurs propriétés mécaniques.

Après quelques tâtonnements inséparables d'une mise en marche, les fondeurs d'acier sur sole ont obtenu des aciers extra-doux capables de se souder. Les bandages de roues ont été la première application des aciers doux soudables : l'usage a confirmé nettement les espérances qu'avait fait naître l'apparition de ces aciers. Nombre d'usines livrent aujourd'hui au commerce, pour bandages de roues et divers autres emplois, des fers fondus avec garantie de soudabilité. Les plaintes de la clientèle sont rares, et s'il s'en produit parfois, nous pensons qu'il faut les attribuer plutôt à l'inexpérience des forgerons qu'au défaut de qualité du métal.

Souvent les ouvriers qui doivent souder les aciers doux ignorent quelles sont les conditions les plus favorables à la réussite de l'opération. Le nom d'acier, appliqué à ces produits, effraie bien des forgerons, qui croient de bonne foi qu'un métal ainsi désigné est forcément dur à froid et doit par cela même craindre le feu ; aussi ne le chauffent-ils pas suffisamment pour le souder.

Les aciers extra-doux doivent être soudés au blanc, comme les fers forts. La soudure par amores croisées est celle qui présente le plus de garanties ; les soudures en bout et par encollage doivent être absolument réprouvées.

Plusieurs moyens, tous très simples, sont employés pour s'assurer qu'une soudure a été parfaitement réussie ; nous allons citer les principaux :

Essai des soudures. — 1^o *Par la cassure à froid.* — En cassant à froid, après entaille, l'échantillon dans la partie soudée, on ne doit apercevoir, lorsque la soudure est bonne, aucun indice d'amorce, et de plus le grain de l'acier doit présenter un aspect normal, c'est-à-dire semblable à celui des parties de la barrette qui n'ont pas été chauffées en soudant.

2^o *Par des essais de traction.* — Deux ronds d'acier de diamètre convenable sont soudés à amores croisées ; la barrette ainsi obtenue est essayée par traction de manière que la partie soudée soit aussi celle qui supporte l'effort de la traction.

Souvent on peut constater par cet essai que les éprouvettes soudées en leur milieu résistent et s'allongent aussi bien que celles non soudées, prises dans la même barre de métal et préalablement essayées.

Le tableau ci-joint reproduit les résultats fournis par 20 éprouvettes d'acier essayées avec ou sans soudure.

En regard des résultats de traction se trouve la composition chimique du métal. Les éprouvettes de traction, soudées ou non soudées, étaient recuites ; leur diamètre était de 16 millimètres.

Les allongements ont été mesurés sur une longueur primitive de 100 millimètres marquée entre repères.

Essais de traction sur des éprouvettes soudées

Numéros	Eprouvette forgée		Eprouv. soudée		COMPOSITION DU MÉTAL				OBSERVATIONS
	Résis-tance par m/m ²	Allon-ge-ment %	Résis-tance par m/m ²	Allon-ge-ment %	C	S	Ph	Mn	
1	3843	30.0	40.8	30.0	0.120	0.056	0.032	0.400	
2	38.7	30.0	38.7	28.0	0.130	0.060	0.030	0.410	
3	39.1	29.0	39.8	28.0	0.140	0.035	0.046	0.400	
4	40.2	32.0	41.1	30.0	0.135	0.066	0.035	0.400	
5	40.2	29.5	40.8	27.5	0.135	0.058	0.040	0.410	
6	40.2	32.0	41.4	31.0	0.140	0.056	0.048	0.430	
7	40.7	27.0	41.2	31.0	0.140	0.050	0.043	0.400	
8	43.6	26.0	44.2	24.0	0.155	0.066	0.060	0.420	
9	44.0	28.0	44.0	27.0	0.150	0.066	0.056	0.400	
10	45.0	26.0	45.2	26.5	0.175	0.040	0.070	0.475	

3^o *Par l'attaque aux acides.* — Les éprouvettes rondes, soudées, tournées et lavées à l'éther pour dissoudre les matières grasses, sont immergées dans un bain d'acide sulfurique étendu d'eau (1 d'acide pour 5 d'eau); on les maintient dans ce liquide pendant deux ou trois heures.

Lorsqu'on les retire, on aperçoit en relief la trace des amorces moins attaquées par l'acide que le reste de l'éprouvette. Cela tient sans doute à ce que, pendant la soudure, les amorces ont été fortement comprimées et se sont pénétrées, pour ainsi dire, en sorte que le métal est plus compact dans ces parties et résiste mieux à l'action dissolvante des acides. Quand les soudures sont imparfaites, l'acide pénètre entre les amorces.

4^o *Par pliage à chaud.* — Deux barrettes d'acier, de dimensions convenables, sont amorcées et soudées en une ou deux chaude, de manière à ne former qu'une seule éprouvette, que l'on replie au rouge sur elle-même dans la partie soudée. Si la soudure est bien faite et le métal de bonne qualité, le pliage à bloc est obtenu sans criques ni décollement des amorces qui sont invisibles. Avec des soudures assez bonnes ou passables, les amorces commencent à se séparer; enfin, si la soudure est tout à fait manquée, les amorces se séparent complètement. Il arrive parfois que, dans cet essai de pliage, la barette casse brusquement dans la soudure même ou dans les parties voisines; un tel métal, quoique soudable, craint le feu: la chaleur blanche la dénaturation, il ne doit pas être soudé.

5^o *Par le perçage d'un trou à chaud dans la soudure.* — On essaie ainsi les soudures par approche. On perce, à chaud, un trou dans la partie soudée et on agrandit ce trou à l'aide d'un mandrin. Si la soudure est bonne, cette opération ne détermine pas la séparation des surfaces soudées.

6^o *Par torsion à chaud.* — Deux barres, présentant une section carrée de 20 millimètres de côté, sont soudées par amorces; la partie soudée est chauffée au rouge et tordue en prenant l'une des extrémités de la barrette dans les mâchoires d'un étau et l'autre dans une clé *ad hoc*. Le nombre de circonférences que l'on peut décrire sans déterminer la dessoudure ou la rupture de l'éprouvette, est une excellente indication de la soudabilité et de la qualité de l'acier à chaud. Parfois on obtient, avec une barrette de 200 millimètres de longueur, jusqu'à cinq ou six révolutions.

Le tableau ci-dessous présente la composition chimique de 5 coulées de fer fondu. L'essai sur la soudure a consisté à soumettre à un effort de torsion une éprouvette formée de deux fragments de la même barre.

N°	C	S	Ph	Mn	Soudure
1	0.140	0.073	0.057	0.500	Passable
2	0.130	0.073	0.027	0.450	Assez bonne
3	0.125	0.056	0.030	0.450	Bonne
4	0.125	0.060	0.041	0.400	Très bonne
5	0.130	0.045	0.031	0.375	Très bonne

Lorsqu'un acier, soumis à l'épreuve de la soudure, s'est bien comporté dans les six essais que nous venons de signaler, on peut, sans témérité, le qualifier de *soudable* et même de *soudant*. Bien des fers obtenus par puddlage ne supporterait pas avec succès de tels essais.

Classification des aciers soudables. — L'Exposition universelle de 1889 a consacré officiellement la soudabilité des aciers extra-doux.

MM. Rémaury et Valton ont soumis à l'examen des métallurgistes, dans les classes 41 et 48, une série d'échantillons d'acier doux obtenus dans diverses usines françaises ou étrangères sur sole de fer chromé. De nombreux essais exécutés sur ces aciers montraient que leur soudabilité était parfaite.

De même que la plupart des autres propriétés physiques des aciers, la soudabilité dépend de leur composition chimique⁽¹⁾. On peut observer trois classes d'aciérs doux caractérisés comme suit par leurs propriétés physiques et par leur composition :

I	II	III
Fer fondu soudant ou acier extra-doux soudant	Fer fondu soudable ou acier très doux soudable	Acier doux soudable
Résistance à la rupture : 36 kil. par m/m ²	Résistance à la rupture : 39 kil.	Résistance à la rupture : 42 kil.
Allongement % > 30	Allongement % > 28	Allongement % > 26
Composition	Composition	Composition
Carbone . . . 0.080	Carbone . . . 0.100	Carbone . . . 0.120
Silicium . . . traces	Silicium . . . traces	Silicium . . . traces
Soufre . . . 0.040	Soufre . . . 0.050	Soufre . . . 0.050
Phosphore . . . 0.030	Phosphore . . . 0.040	Phosphore . . . 0.050
Manganèse . . . 0.300	Manganèse . . . 0.400	Manganèse . . . 0.500

Au delà de 42 kilogrammes de résistance et jusqu'à 45 kilogrammes avec une teneur de manganèse comprise entre 0,500 et 0,700, les aciers peuvent encore être soudés et soudent même habituellement, mais l'opération devient plus délicate; les forgerons disent que ces aciers sont *durs* à chaud.

Plusieurs usines emploient journalièrement les aciers doux pour confectionner les outils dont elles ont besoin; ces outils sont soudés, quand il y a lieu, sans que de ce fait, il soit résulté jusqu'à présent le moindre inconvénient.

Soudure des aciers extra-doux avec le fer. — Non seulement les aciers extra-doux se soudent facilement entre eux, mais ils peuvent être soudés avec les

1. Les aciers doux qui contiennent environ 0,050 % de *phosphore* paraissent plus tendres à chaud et plus facilement soudables que les aciers mieux déphosphorés.

Le travail à chaud des aciers contenant plus de 0,100 de *soufre* est très délicat et leur soudure est toujours incertaine, pour ne pas dire impossible.

fers de toute qualité, depuis les fers ordinaires phosphoreux et tendres à chaud, jusqu'aux fers forts légèrement aciéreux.

Des éprouvettes mixtes, formées de fer et d'acier essayés à chaud, ont présenté tous les caractères d'une excellente soudure.

Les aciers extra-doux se comportent au feu comme les fers forts; il y a cependant cette différence qui permet de distinguer les deux métaux:

Dans le cas d'un chauffage mal fait, le bout de barre soumis à l'action d'un jet d'air dans le feu est décomposé, dénaturé, détruit, transformée en une matière sans consistance, c'est-à-dire *brûlé*, s'il s'agit de fer misé, tandis qu'il est fondu et présente des gouttelettes de métal adhérent à la barre, s'il s'agit de fer fondu.

Propriétés electro-magnétiques

Magnétisme. — Soumis à l'action du magnétisme terrestre, le fer fondu se comporte de la même manière que le fer doux misé. Il s'aimante par le passage du courant électrique; mais cette aimantation cesse avec la cause qui l'avait fait naître.

Conductibilité électrique. — Les fers fondus conduisent l'électricité avec une facilité d'autant plus grande qu'ils sont plus purs.

Les fils d'acier extra-doux sont admis à participer à la fourniture des fils télégraphiques et téléphoniques; à la seule condition de satisfaire aux mêmes essais que les fers misés exclusivement employés jusqu'à présent pour cet usage. On agit par comparaison pour établir cette conductibilité électrique.

On sait qu'un fil de cuivre ayant 1 kilomètre de long et 1 millimètre de diamètre oppose au courant électrique une résistance voisine de 22 ohms; dans les mêmes conditions, un fil misé *doux et pur* donne 125 ohms de résistance. Pour un fil d'acier dur cette résistance dépasse souvent 200 ohms.

La résistance électrique des fers fondus varie avec leur composition. De toutes les matières étrangères que peuvent contenir les fers fondu, soit comme corps associés, soit comme éléments constitutifs, le manganèse est celle qui influe le plus sur la conductibilité.

L'acier à 14 % de Mn conduit l'électricité 8 fois moins bien que le fer et 30 fois moins bien que le cuivre.

Le tableau ci-dessous montre les relations qu'il est possible d'établir entre la composition chimique des fils de fer fondu et leur conductibilité électrique.

Mais il importe de remarquer que les relations indiquées par le tableau sont applicables seulement aux fers fondu coulés à très haute température, présentant par cela même une grande homogénéité, ce qui assure la parfaite répartition du manganèse additionnel dans toute la masse métallique.

Relations entre la composition chimique des fils de fer fondu et leur résistance électrique.

Résistance Électrique	C	Si	S	Ph	Mn	Total des impuretés
Ohms						
130	0.100	0.020	0.040	0.040	0.250	0.450
140	0.120	0.020	0.050	0.040	0.350	0.580
150	0.140	0.030	0.050	0.050	0.450	0.720
160	0.160	0.030	0.060	0.050	0.550	0.850

Avec un métal irrégulièrement manganisé, soit par ce qu'il a été coulé trop froid, soit parce que le brassage du bain ne s'est pas bien opéré lors des additions finales, on retrouve dans les bottes des longueurs de fil qui sont plus manganésées que l'ensemble du fil et par cela même opposent une plus forte résistance au passage du courant électrique. Avec un tel métal, il arrive parfois que les deux moitiés d'une même batte de fil ne donnent pas la même résistance.

Le cahier des charges de l'Administration des télégraphes fixe à 156 ohms la résistance maxima des fils métalliques de fer misé ou de fer fondu.

On effectue l'essai de résistance électrique par la méthode du pont de Wheatstone à l'aide d'un galvanomètre sensible, d'une caisse de résistance et d'une pile de 4 éléments Callaud au sulfate de cuivre, ou de 4 éléments Leclanché.

En principe, cet essai consiste à équilibrer la résistance du fil à mesurer après l'avoir intercalé dans une des branches du pont, par des résistances connues intercalées dans l'autre branche, résultat qui est obtenu lorsque l'aiguille du galvanomètre reste au zéro.

En résumé, les fers fondus présentent un ensemble de propriétés remarquables qui valent à ces produits nouveaux de nombreuses applications industrielles.

La supériorité des fers fondu sur les fers misés se manifeste nettement à tous égards ainsi qu'il résulte du résumé suivant :

Résistance à la traction égale ou plus forte, allongement toujours supérieur ;

Malléabilité à chaud et à froid plus considérable ;

Ductibilité plus grande ;

Soudure régulière pour les qualités supérieures.

Annexes

I

DÉTERMINATION DE LA LIMITÉ D'ÉLASTICITÉ

APPAREIL DE M. CORDIER

Pour l'essai des métaux sous un effort de traction, on découpe des barrettes de forme et de dimensions déterminées d'une manière constante, afin d'avoir toujours des résultats comparables. Elles sont généralement cylindriques, au diamètre de 0^m,138 et à la longueur utile soit de 100 millimètres soit de 200 millimètres.

D'autres fois elles sont rectangulaires, par exemple pour les essais de fers plats, larges plats, tôles, fers profilés etc. La section est choisie dans ce cas de manière à présenter une surface d'environ 150 millimètres superficiels.

Aux termes des cahiers des charges, il faut constater :

- 1^o la charge de rupture par millimètre carré ;
- 2^o l'allongement % sur une longueur déterminée ;
- 3^o la limite d'élasticité du métal, c'est-à-dire la charge au delà de laquelle commence la déformation permanente.

Dans les essais faits le plus ordinairement dans les usines, cette charge limite d'élasticité est déterminée d'une façon très approximative de la manière suivante :

On trace sur la barrette avec une pointe en acier dur deux traits distants de 100 ou 200 millimètres. On mesurera l'allongement après rupture, en rapprochant les 2 fragments de la barrette.

Lorsque l'effort de traction est en charge, on présente devant les repères une jauge terminée par deux pointes courbées à la distance voulue suivant le cas, et au fur et à mesure que l'effort augmente on surveille avec attention la barrette jusqu'au moment où l'allongement commence à se produire ; on note la charge correspondante et on en déduit approximativement la charge limite d'élasticité par millimètre carré.

Ce procédé employé usuellement n'est que très approximatif ; il ne tient pas compte de l'allongement élastique et l'observation directe ne permet pas de constater exactement l'instant précis où l'allongement permanent va se produire.

Pour obtenir une détermination rigoureuse de la limite d'élasticité, plusieurs appareils ont été construits ; tous jusqu'à présent exigeaient la fabrication de

barrettes spéciales d'un prix élevé et que leur forme ne permet pas toujours de découper dans les pièces à essayer et qui ne sont par conséquent utilisés que dans les laboratoires d'essais où sont faits des expériences de précision. Ces éprouvettes ne peuvent être employées d'une façon usuelle dans les usines, ou journalierlement, en très peu de temps, se font un grand nombre d'essais.

La Société des forges d'Alais (Gard) vient de mettre en service un appareil très simple qui a été étudié par elle sur les indications de M. Cordier, contrôleur de la Compagnie P.-L.-M., pour le service du matériel fixe. Cet appareil permet d'obtenir de meilleures résultats qui, sans être d'une rigueur absolument mathématique, peuvent donner une assez grande approximation.

En voici la disposition (voir la planche annexée).

Deux colliers A et B munis à l'intérieur de coussinets en caoutchoucs, sont serrés au moyen d'écrous à oreilles, sur la barrette rectangulaire ou cylindrique sur laquelle les deux lignes de repères ont été tracées au préalable comme à l'ordinaire, pour la mesure de l'allongement total. L'un des colliers porte une vis V et le second une pointe. Deux petits crochets sont placés en P et P' sur les colliers. En reliant ces crochets P et P' par des fils de cuivre aux pôles d'une pile munie d'une sonnerie trembleuse, si on met en contact la vis V avec la pointe, le courant s'établit et la sonnerie fonctionne. Les coussinets en caoutchouc forment l'isolement, et en même temps serrent la barrette, même quand l'allongement se produit.

Voici comment il est opéré :

Dès que par le jeu de la machine, l'effort de traction s'exerce sur la barrette, on met les deux pôles en contact au moyen de la vis V. Dans ces conditions, lorsque l'allongement élastique se produit, les pôles PP' s'écartent; il y a interruption du courant et arrêt de la sonnerie.

On relève la valeur de la charge et puis on réduit légèrement l'effort de traction; les pôles reviennent en contact, et la sonnerie marche.

On augmente ensuite l'effort lentement par quantités successives, aussi peu que l'on veut, suivant l'exactitude avec laquelle on veut avoir la limite d'élasticité, soit 1 kilogramme, — 500 grammes, — 250 grammes. Après chaque augmentation de la charge et en diminuant ensuite, très légèrement du reste, la pression, pour constater l'effet obtenu, on arrive à se rapprocher, aussi près que possible, de la charge pour laquelle le contact des deux pôles n'a plus lieu, ce contact étant indiqué par la sonnerie.

Cette charge correspond à la limite d'élasticité qui se trouve ainsi déterminée suivant les charges adoptées à 1/2 kilogramme — 1/4 de kilogramme près par millimètre carré de section

Dans les essais faits à l'usine de Tamaris sur des aciers variant de 45 à 50 kilo-

grammes par millimètre carré pour la rupture, l'allongement élastique commence à se produire entre 26 et 28 kilogrammes, l'allongement permanent c'est-à-dire le point cherché est entre 29 et 31 kilogrammes. Les barrettes cylindriques avaient 150 millimètres de section, il a suffi de trois charges additionnelles de 150 kilogrammes pour déterminer à moins de 1 kilogramme près cette limite d'élasticité; avec un peu d'expérience on réduit encore les dernières charges et on obtient facilement le résultat à moins de 1/2 et même 1/4 de kilogramme près.

En résumé on obtient la charge limite d'élasticité à moins de 1/2 kilogramme près, d'une façon très rapide, et cette approximation est suffisante pour tous les essais ordinaires. Comme l'appareil décrit s'adapte rapidement et indistinctement sur toutes les barrettes, il peut être adopté avec avantage et sans aucun frais.

L'appareil peut servir également à mesurer les allongements successifs sous des charges variées.

Dans le cas où après avoir déterminé la limite d'élasticité, on veut encore mesurer pour des expériences plus précises, l'allongement élastique et les allongements sous des charges successives, la disposition est un peu différente. Les colliers A et B portent un cadran accessoire, divisé en millimètres, et pour les cinq premiers millimètres en $\frac{1}{10}$ de millimètre, et l'aiguille allongée suivant la graduation de précision que l'on veut avoir.

Dans cet appareil, pour éviter que la bielle donnant le mouvement à l'aiguille, n'établisse un courant constant, la vis V est en pointe et l'autre pôle porte une capsule métallique garnie de bois à l'intérieur pour former isolant.

II

Production de la houille et des produits ferreux dans le monde entier pendant l'année 1889.

NOM DES PAYS	HOUILLE	FONTE	FER	ACIER
France	24.300	1.734	809	529
Angleterre.	179.747	8.546	2.290	3.576
Allemagne.	86.500	4.000	1.885	1.830
Belgique	19.870	832	577	215
Autriche-Hongrie. . .	25.479	799	480	305
Russie	4.584	612	369	225
Suède	296	457	313	115
États-Unis.	134.855	6.594	2.000	2.946
Australie	3.575	39	—	—
Indes	1.585	—	—	—
Japon	1.254	7	—	—
Divers	4.200	765	—	—
Luxembourg	—	562	6	109
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
~	486.195	24.947	8 729	9.850

Observation. -- Les productions sont exprimées en milliers de tonnes.

HALLOPEAU et CAMPREDON
INGÉNIEURS MÉTALLURGIESTES

SUR UN NOUVEAU PROCÉDÉ

DE

RÉGÉNÉRATION DES PRODUITS GAZEUX

DE LA

combustion et de réemploi du carbone brûlé
contenu dans ces derniers

PAR

J.-H. CONSTANT STEFFEN
INGENIEUR-CIVIL

EXTRACTION D'ACIDE CARBONIQUE PUR DES GAZ BRULÉS PAR L'ÉLIMINATION DE L'AZOTE; FABRICATION D'OXIDE DE CARBONE PUR, BASÉE SUR LA RÉCARBURATION DE L'ACIDE CARBONIQUE LORS DE SON PASSAGE A TRAVERS UNE COUCHE DE CHARBON INCANDESCENT, ET SUBSTITUTION DU GAZ OXYDE DE CARBONE PUR AU GAZ A AIR DES GAZOGÈNES ORDINAIRES.

Toutes les tentatives en vue d'arriver à une économie de combustible visent, soit l'obtention d'un effet pyrométrique supérieur à celui obtenu jusqu'alors avec un poids déterminé de combustible consommé, soit une meilleure utilisation du calorique développé par ce dernier.

Or, pour obtenir avec un combustible solide un maximum d'effet pyrométrique il faut avant tout chercher à en écarter les éléments étrangers qui en diminuent le pouvoir calorique, c'est-à-dire qui absorbent, sans effet utile, une partie du calorique développé par le carbone du combustible lors du phénomène de combustion. De même, lorsqu'il s'agit du chauffage au gaz, il faut tâcher d'obtenir un gaz, dans la composition duquel entrent le moins possible de gaz inertes et incombustibles.

Aussi le desideratum d'un bon fonctionnement de gazogène est-il la production d'un gaz contenant un maximum d'oxyde de carbone et par conséquent un

minimum d'azote et d'acide carbonique ; et il est un fait incontestable que, le jour où l'on parviendra à se procurer dans des conditions économiques un gaz oxyde de carbone pur, le procédé qui permettra l'obtention de ce dernier ne manquera pas de se substituer au chauffage au gaz actuellement employé. Le procédé de fabrication d'oxyde de carbone pur, dont il sera question dans cette notice, vise le but précité, c'est-à-dire le remplacement du chauffage au gaz à air des gazogènes ordinaires dans les opérations pyrotechniques ; ce procédé fournit un gaz ayant un maximum de capacité calorifique et dont le prix est inférieur à celui du gaz à air.

Dans ce qui suit nous examinerons successivement la valeur pyrométrique du gaz fabriqué par le nouveau procédé, utilisant le carbone, respectivement une partie du carbone déjà brûlé lors d'une opération pyrotechnique antérieure, jusqu'ici entièrement perdu pour l'industrie ; ensuite les principes de physique et de chimie sur lesquels cette fabrication est basée et finalement les conditions de rendement de cette dernière.

Nous allons maintenant indiquer par des chiffres la valeur pyrométrique du gaz oxyde de carbone pur et du gaz à air des gazogènes ordinaires.

100 kilogrammes CO exigent pour leur combustion $100 \times \frac{4}{7} = 57,14$ kilogrammes O et produisent $100 \times \frac{11}{7} = 157,16$ kilogrammes CO² ; 57,14 kilogrammes O correspondent à $57,14 \times \frac{77}{23} = 191,2$ kilogrammes Az, par conséquent, à $57,14 + 191,2 = 248,34$ kilogrammes d'air atmosphérique. La combustion de 100 kilogrammes CO développant 240 300 calories et les chaleurs spécifiques de CO² et d'Az étant respectivement égales à 0,216 et 0,244, la température théoriquement réalisable, autrement dit l'effet pyrométrique de ce gaz pur est représenté par :

$$T = \frac{240300}{(57,14 \times 0,216) + (191,2 \times 0,244)} = 4070^\circ. \quad [1]$$

Pour la détermination de l'effet pyrométrique d'un gaz de gazogène ordinaire nous choisirons un gaz de composition moyenne dont l'analyse est la suivante : Az = 64,10 ; CO² = 10,75 ; CO = 20,75 ; C²H⁴ = 1,18 ; H = 0,4 et H²O (vapeur) = 2,82 % (en poids).

La composition des produits de la combustion de ce gaz, ainsi que le nombre de calories développées durant cette dernière ressortent du tableau ci-contre que nous empruntons à une brochure de M. Fr. Lurmann, ingénieur-civil à Osnabrück (Hanovre), brochure qui traite des avantages des gazogènes du système Groebe-Lurmann.

GAZ	COMPOSITION	OXYGÈNE nécessaire pour la combustion	AZOTE contenu dans les gaz et dans les prod. de la comb.	OUTRE L'AZOTE ils se forment par la combustion et se trouvent dans les gaz brûlés		QUANTITÉS DE CHALEUR DÉVELOPPEES PAR LA COMBUSTION DES GAZ
				CO ₂	H ₂ O (vapeur)	
Az	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	calories
CO ²	64.10		64.10	10.75		
CO	10.75			32.60		20.75 × 2.403 = 49.862
C ² H ⁴	20.75	11.85	63.91	3.70	1.52	1.18 × 11.168 = 13.178
H	1.18	4.04			3.60	0.40 × 29.633 = 11.635
H ² O	0.40	3.20			2.82	
	2 82					
	100.00	19.09	128.01	47.05	7.94	74.893

Les produits de combustion de ce gaz se composent donc de :

$$Az = 128,01 \text{ ou } 69,95 \%$$

$$CO^2 = 47,05 \text{ } » 25,70 \text{ } »$$

$$H^2O = 7,94 \text{ } » 4,35 \text{ } »$$

La quantité de chaleur rendue sensible par la combustion étant de 74.893 calories l'effet pyrométrique de ce gaz est exprimé par :

$$\frac{74,893}{(47,05 \cdot 0,216) + (128,01 \cdot 0,244) + (7,94 \cdot 0,48)} = 1630^\circ \quad [2]$$

100 kilogrammes CO contiennent $100 \times \frac{3}{7} = 42,85$ kilogrammes C. [3]

Les gaz brûlés du gazogène contiennent $47,05 \times \frac{3}{14} = 12,85$ kilogrammes C, tandis que les 20,75 kilogrammes CO ne contiennent que $20,75 \times \frac{3}{7} = 8,90$ kilogrammes C ; différence 3,95 kilogrammes.

Il résulte de là que par 1 000 kilogrammes de carbone brûlés dans le gazogène ordinaire ; $\frac{3,95 \times 1000}{12,85} = 300$ kilogrammes sont brûlés en pure perte [4]. Puisque pour obtenir un gaz contenant 20,75 kilogrammes CO il faut brûler 12,85 kilogrammes C, pour arriver à 100 kilogrammes CO ou à l'effet pyrométrique correspondant il faudra $\frac{12,85}{20,75} \cdot 100 = 61,85$ kilogrammes C soit 74 kilogrammes de combustible à 80 % C contre 42,85 kilogrammes C gazeux brûlé dans le cas du gaz pur ; différence en faveur du dernier 31 kilogrammes. Ces 31 kilogrammes de combustible économisés par 74 kilogrammes de brûlés correspondent à une économie de 420 kilogrammes par tonne. [5].

Le rapport des capacités calorifiques des deux gaz $= \frac{4070}{1630} = 2,5$ et celui du carbone gazeux contenu dans le gaz pur au combustible solide $= \frac{74}{43} = 1,72$. [6]

Il convient de remarquer ici qu'en réalité l'effet pyrométrique obtenu dans la pratique est plus élevé que celui que nous venons de calculer, puisque dans la plupart des cas l'air de combustion et le gaz combustible sont surchauffés dans les chambres-collecteurs de chaleur (improprement désignées sous le nom de régénérateurs, aucun phénomène de régénération n'y ayant lieu) avant d'arriver dans le four où doit s'opérer la combustion. Seulement comme on pourra s'arranger de sorte que dans les deux cas la température des gaz et de l'air de combustion soit la même, nous n'aurons pas besoin de tenir compte de la quantité de chaleur apportée dans le four par ces derniers.

Nous pouvons donc poser en fait, que s'il existait un moyen qui permet d'obtenir de l'oxyde de carbone pur, dans lequel le prix d'unité du carbone y contenu fût égal au prix d'unité du carbone contenu dans le combustible solide, l'on ne consommerait donc plus, après la substitution du gaz pur au gaz ordinaire que $1000 - 420 = 580$ kilogrammes au lieu de 1000 kilogrammes consommés précédemment pour l'obtention du même effet calorique. En admettant un prix moyen de francs 18,50 p. % de charbon, cette différence en faveur du chauffage au gaz pur correspondrait à francs $0,42 \times 18,5 = 8,17$ francs par tonne de charbon consommée antérieurement. Pour une industrie, consommant par exemple 50 tonnes de combustible par jour, on arriverait ainsi par le fait de l'application de l'alimentation au gaz pur à un bénéfice journalier de francs $8,17 \times 50 = 408,5$, qui à 300 jours de travail représenterait une diminution de dépenses de francs 122 550. [7]

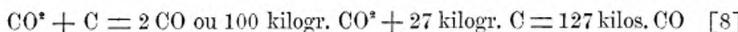
Etant donné l'importance du bénéfice qui résulterait du chauffage au gaz pur on ne saurait donc trouver étonnant que nous n'ayions négligé aucun effort d'intelligence, que nous ne nous soyions point laissés décourager par aucun des nombreux échecs essayés dans la poursuite de nos recherches et études, et que nous ne voulions profiter du repos qu'après être arrivés au but proposé, qui était celui de la découverte d'une source économique d'oxyde de carbone pur. Nous allons exposer maintenant le raisonnement qui, à notre avis, nous a enfin conduit sur le chemin de la réussite.

Si les essais entrepris en vue d'une élimination plus ou moins parfaite du gaz azote de l'air de combustion avaient réussi, ou si l'on avait pu se procurer par tout autre moyen la quantité d'oxygène pur nécessaire pour le phénomène de la combustion à un prix en rapport avec les avantages résultants d'une oxydation directe du carbone par ce dernier, le problème aurait depuis longtemps trouvé sa solution. Cela n'étant pas le cas, fallait-il renoncer à se servir du charbon pour arriver à une production industrielle et économique de gaz oxyde de carbone pur ? Nous n'avons pas été d'avis que cette question dut être résolue

affirmativement : nous nous sommes rendus compte de l'ordre naturel des choses dans la nature qui n'accorde qu'à de rares exceptions près la ligne droite pour arriver d'un point donné à tel autre.

Où en seraient aujourd'hui, pour n'en citer qu'un exemple frappant, les immenses progrès réalisés, depuis le dernier quart de siècle dans la métallurgie du fer, si l'on s'était obstiné à ne point sortir de la voie des procédés directs, et si l'on n'avait pas eu recours au travail du haut-fourneau, fournissant un produit intermédiaire entre le minerai et le fer ou l'acier fini ? Le détour par la voie du haut-fourneau n'était donc point onéreux, bien au contraire ! Eh bien ! ne pouvions-nous pas espérer rencontrer sur le chemin où nous nous trouvions engagés une issue aussi avantageuse en contournant l'écueil infranchissable ? Nous venons de montrer plus haut qu'il valait bien la peine d'en risquer au moins l'essai. Dans ce cas l'indication de la direction du détour à suivre ne pouvait se traduire que par la question suivante : « Etant donné qu'on ne dispose point d'un moyen économique et avantageux pour obtenir de l'oxygène pur pour brûler notre carbone, n'existe-t-il point un autre élément d'oxydation par lequel on puisse arriver à la suppression du rôle gênant que l'azote persiste à vouloir jouer ? » Poser une question et la résoudre ne sont point toujours des choses identiques, et les choses simples ne sont pas toujours celles qui se présentent le plus facilement à l'esprit ; l'exemple de l'œuf de Cristophe Colomb en restera toujours un témoignage parlant.

Nous avons cependant fini par trouver ; il existe en effet une formule de formation de CO, très connue par les métallurgistes ; elle s'écrit comme suit :



et désigne le phénomène de récarburation de l'acide carbonique, respectivement l'oxydation du carbone par ce dernier lors de son passage sur une couche de charbon incandescant. C'était donc cette dernière formule qu'il fallait choisir, jusqu'à meilleur avis, comme point de départ pour nos recherches ultérieures.

Lors de la dissociation de l'acide carbonique il se produit un phénomène contraire à celui qui a lieu lors d'une oxydation ou d'une combustion, c'est-à-dire au lieu d'un développement de calorique il se produit une absorption de chaleur, et il faut par conséquent brûler du combustible pour entretenir l'incandescence du charbon qui doit être absorbé lors du phénomène de la récarburation de l'acide carbonique. On regagne cependant d'un autre côté, dans le produit final une quantité de carbone égale à celle qui a été brûlée par CO^* et il devait donc exister soit compensation, soit avantage, ce dernier trouvant son expression dans la valeur pyrométrique du gaz produit. On verra plus loin, qu'en se plaçant dans de bonnes conditions en ce qui concerne le côté technique et constructif des appareils destinés à servir pour cette opération, il y a avantage et que cet avantage est assez important pour préconiser le main-

tien de la formule [8] citée plus haut comme base d'opération pour nos recherches en vue d'arriver à la fabrication d'un gaz d'oxyde de carbone pur.

Partant de là, c'est donc de l'acide carbonique pur et à bon marché qu'il s'agit de se procurer. Autre difficulté ! Moins grande cependant que la première, puisque les sources de CO^2 sont plus nombreuses et plus économiques que celles de l'oxygène pur.

La presque totalité du carbone brûlé dans les phénomènes de combustion étant emportée par les cheminées et se perdant, sous forme de CO^2 , dans l'atmosphère sans profit direct aucun pour l'industrie, ce fut cette source de CO^2 qui de préférence s'offrit à notre attention. Pour pouvoir la mettre à profit il fallait encore en écarter l'azote, qui, ici comme ailleurs, joue le rôle de modérateur gênant.

Mais ici les propriétés physiques spéciales et différentes de l'azote et de l'acide carbonique nous fournissent un moyen de séparation, mécanique pour ainsi dire, des deux gaz mélangés. En effet les coefficients de solubilité dans l'eau des deux gaz sont dans le rapport de 1 CO^2 pour 0,0138 Az. On sait que le coefficient de solubilité d'un gaz dans un liquide est le rapport du volume de gaz qui se dissout au volume de liquide dissolvant, le gaz et le liquide étant tous les deux à la température de zéro et le volume de gaz étant ramené à la pression qu'il exerce sur le liquide ; on sait encore que les coefficients de solubilité varient avec les gaz et les liquides, mais que pour un même gaz et un même liquide, si la température est constante, il est invariable quelle que soit la pression.

La physique expérimentale a démontré d'autre part que les mélanges des gaz et des liquides sont soumis aux lois suivantes :

1° La quantité de gaz qu'un liquide peut dissoudre est indépendante de la nature et de la quantité des autres gaz qu'il tient déjà en solution ; cela veut dire en d'autres termes que lorsqu'il s'agit de la dissolution d'un mélange de gaz, chacun des gaz contenus dans le mélange, quel qu'en soit le nombre, se dissout dans la même proportion que s'il était seul ; en tenant toutefois compte de la pression qui lui est propre.

2° Pour un même gaz, un même liquide et une même température le poids du gaz absorbé est proportionnel à la pression du gaz devant être dissout, ou à la pression à laquelle la dissolution doit s'opérer.

3° La quantité de gaz absorbée est d'autant plus grande que la température est plus basse, c'est-à-dire que la force élastique du gaz est moindre.

Il résulte de là que lorsqu'il se produit une diminution de pression, ou encore une élévation de température dans le vase contenant le liquide saturé de gaz, ces derniers obéissent de nouveau à leur force expansive et se dégagent du liquide qui les tenait en dissolution.

Nous avons mis à profit ces propriétés et ces lois et construit un appareil

dans lequel les gaz brûlés, préalablement refroidis et un volume d'eau froide correspondant au pour 100 de CO_2 contenu dans les premiers sont mélangés et peuvent à un moment donné être soumis à une certaine pression, correspondante au poids de CO_2 qu'on veut absorber dans l'unité de temps, et qui comporte une disposition spéciale permettant l'échappement des gaz non dissous.

L'eau saturée de gaz qui est constitué en majeure partie de CO_2 la proportion d'azote dissout étant dans le rapport $\frac{0,016}{1,185} = 0,0135$ et par conséquent négligeable en pratique, se rend ensuite dans un réservoir dans lequel, par le fait d'une augmentation de capacité ou d'une élévation de température, le gaz acide carbonique, industriellement pur peut librement s'échapper et être recueilli.

Nous avons donc opéré l'élimination quasi totale de l'azote contenue dans les gaz provenant de la combustion et extrait de ces derniers de l'acide carbonique que l'on peut considérer pur en pratique ; nous démontrerons plus loin que cette extraction peut se faire dans des conditions économiques et avantageuses. Il ne reste donc plus qu'à faire traverser à ces gaz, dans un four approprié à cet effet une couche de charbon incandescent ; il y absorbera un poids de carbone égal à celui qu'il contient, et se transforme en CO qui est le gaz pur ou condensé qu'il s'agit de substituer au gaz dilué des gazogènes ordinaires.

Voici maintenant la description sommaire des appareils destinés à réaliser les résultats que nous venons d'énumérer.

Les figures 1 et 2 de la planche ci-jointe représentent en plan et en coupe verticale une disposition de prise de gaz en communication avec le canal de fumée d'une usine. Le registre de la cheminée sert à régler le volume des produits gazeux qui s'échappe par la cheminée, la totalité de ces derniers ne pouvant, pour des motifs que nous exposerons plus loin, être soumise à la régénération.

A est le canal d'aspiration, B un canal d'eau froide et C un réservoir-collecteur des produits gazeux aspirés par un ou plusieurs exhausteurs D qui les envoient aux appareils à élimination d'azote. A et C communiquent par une série de tuyaux en fer ou en fonte faisant fonction d'appareil réfrigérant pour le refroidissement des produits gazeux qui doivent passer à la régénération. Ce dispositif a été établi en conformité de la 3^e loi physique, citée plus haut, relative à l'absorption des gaz dans l'eau.

Les figures des planches ci-jointes représentent deux solutions différentes permettant la dissolution de l'acide carbonique dans l'eau et l'élimination de l'azote. La première convient pour le cas où l'on dispose de quantités d'eau plus ou moins considérables, pouvant servir pour la dissolution de l'acide carbonique ; elle dispense de l'emploi d'une grande force motrice et convient donc pour la généralité des cas, tandis que la seconde solution comporte une machine motrice relativement considérable servant à obtenir la pression à laquelle l'absorption de l'acide carbonique contenu dans les gaz de combustion doit s'opérer.

La dernière disposition permet l'obtention d'un rendement plus élevé que le premier, mais ne saurait être établie dans des conditions de rentabilité réelles que là où l'on dispose de grandes forces naturelles, telles que les fortes chutes d'eau.

L'appareil de la première solution (pl. ci-jointe, fig. 1 et 2) se compose de trois barillets en fonte ou en tôle A, B, C, placés à la suite l'un de l'autre et à des niveaux différents.

Le premier barillet A se trouve en communication avec le réservoir-collecteur (fig. 1, pl. ci-jointe). Le courant des gaz arrivant sous pression dans le barillet, se rencontre avec une lame d'eau arrivant d'un réservoir d'eau fournissant la pression nécessaire. L'eau saturée de gaz et les gaz non dissous passent par les ouvertures des diaphragmes à chicane que comporte la partie inférieure du barillet A, chicane établies en vue de favoriser, autant que possible, la dissolution des gaz dans ce dernier même.

Le second cylindre ou barillet horizontal B, se trouve placé à un niveau aussi bas que les circonstances le permettent, et cela afin d'obtenir dans ce dernier une pression plus élevée ; il est en communication avec le premier, par une ou plusieurs tubulures pour l'écoulement de l'eau et par une ou deux tubulures pour l'échappement des gaz non dissous dans le barillet A. Le volume du cylindre B est plus grand que celui du cylindre A, afin qu'il reste toujours au dessus du volume d'eau se rendant dans le premier un espace libre à la partie supérieure pour y loger le gaz non dissout, constitué en grande partie d'azote. Dans l'axe horizontal du cylindre B vient se placer un arbre *a* portant sur sa longueur deux roues à palettes destinées à produire un mélange intime des gaz non dissous et de l'eau devant absorber les gaz solubles dans ce dernier. Cet arbre *a* reçoit son mouvement d'une transmission et fait 60 à 75 tours par minute. Sur son milieu, entre les deux supports *s* rapportés sur ou venus de fonte avec le cylindre, vient se fixer un excentrique *e* qui communique son mouvement à un piston *p* se mouvant dans le dôme cylindrique *c* placé dans l'axe vertical de symétrie. Ce cylindre *c* porte sur son contour supérieur une série d'ouvertures *o* par lesquelles s'échappe, alors que le piston *p* arrive au haut de sa course le gaz non dissout, constitué en majeure partie d'azote.

L'eau du barillet B tiendra donc en solution un poids d'acide carbonique industriellement pur, d'autant plus grand que la différence de pression obtenue dans l'intérieur, sera plus grande, et que la température de cette eau s'approchera de zéro. Cette eau se trouve amenée ensuite dans le troisième barillet C, qui est une chaudière à dégagement d'acide carbonique. Le gaz dissout dans l'eau y redevient libre, par le fait de la dépression qui y a lieu et qui est causée par l'augmentation du volume intérieur de ce dernier ; pour favoriser le dégagement du gaz dissout, on entretiendra un doux feu sous cette chaudière, qui portera l'eau à une température de 55 à 60°. L'élévation de température dans ce

barrillet peut encore s'obtenir par un tuyau de vapeur, si toutefois on a de la vapeur disponible. Nous avons cité plus haut la loi de physique concernant le degré de température de l'eau devant dissoudre notre gaz CO^2 qui se trouve ainsi appliquée.

Par le tuyau d'échappement adapté au dôme de cette chaudière C, il se dégage donc la quantité de gaz CO^2 extrait de la partie des produits gazeux de la combustion soumis à la régénération.

La figure 1 de la planche ci-jointe représente en coupe verticale l'appareil construit en vue de la seconde solution, c'est-à-dire pour le cas où l'on dispose de grandes forces naturelles, telles que les chutes d'eau de Terni en Italie, par exemple, et où l'on voudrait opérer sur des qualités de gaz plus considérables. Cet appareil, ainsi que le premier, est basé sur la deuxième loi de physique citée plus haut avec cette différence, que la dissolution doit s'y opérer à une pression de plusieurs atmosphères. Il consiste en un cylindre ou plutôt un couple de cylindres conjugués en fonte A, fixés sur un bâti G dans lequel se meut un piston B muni d'une disposition particulière permettant l'échappement des gaz non dissous.

Le côté gauche de la figure représente le piston B en haut, et le côté droit de la figure le même piston en bas de sa course. En montant, le piston B aspire le volume de gaz correspondant au diamètre du cylindre et à sa course. Sur le contour du piston sont pratiqués, deux, trois ou plusieurs ouvertures à soupapes d ; ces soupapes sont tenues en place par des ressorts en spirale v qui les tiennent fermées jusqu'au moment où le piston, en s'approchant du bas de sa course amène ces soupapes s sur les taquets t appliqués au fond C, fond qui se trouve fixé au bas du cylindre A, et qui est percé d'un grand nombre de petits trous. Les gaz non dissous, soumis à pression entre le niveau de l'eau saturée de gaz se trouvant dans le fond du cylindre et le bas du piston peuvent donc s'échapper. La force des ressorts r devra être choisie telle que les soupapes s restent fermées aussi longtemps que la pression voulue dans l'intérieur du cylindre n'est point atteinte.

Les produits gazeux aspirés passent par le tuyau g , le cylindre E, la tubulure g' dans le mélangeur H; l'eau pour l'absorption du gaz CO^2 arrive par le tuyau a et la partie inférieure du cylindre E, d'où elle est mise en communication avec le grand cylindre A par l'intermédiaire de la tubulure a' et le mélangeur H. Le double piston $p\ p'$ du cylindre E est relié lui-même à la machine motrice actionnant le piston B, et de façon que la communication du cylindre avec la conduite des gaz brûlés et de l'eau d'absorption se trouve interrompue au moment où le piston B descend.

Le piston p^2 du cylindre F est relié également à la même machine motrice, et son fonctionnement est combiné de façon à permettre l'échappement de l'eau saturée de gaz CO^2 au même moment où les soupapes s viennent toucher les taquets t . Le piston B ne doit reprendre son mouvement-ascendant, qu'après le

temps nécessaire pour l'écoulement de l'eau tenant en solution le gaz comprimé.

La roue à palette D qui se trouve placée dans la partie inférieure du grand cylindre et qui reçoit un mouvement de rotation d'un engrenage conique, actionné lui-même par une transmission dépendante de la machine motrice, a pour but de faciliter le mélange intime des gaz et de l'eau d'absorption.

En sortant du cylindre F, l'eau contenant en solution l'acide carbonique des produits de la combustion, se rend par la conduite I dans un gazomètre K. Dans ce dernier, le gaz dissout redevient libre par le fait de la différence de pression ; pour faciliter le dégagement du gaz, ou ce qui revient au même, pour recueillir la totalité du gaz CO_2 dissout, on placera dans le fond du gazomètre un serpentin à courant de vapeur.

On concevra facilement qu'il faudra deux de ces gazomètres, dont l'un se charge tandis que l'autre se vide alternativement. L'acide carbonique s'échappera donc à la pression voulue du gazomètre et passe ensuite au four à régénération.

Les figures 1 et 2 de la planche ci-jointe représentent en plan et en élévation un de ces fours à régénération à renversement de marche, dont chaque installation doit donc comprendre au moins deux.

Ce four est formé par une cuve cylindrique en maçonnerie réfractaire, enveloppée par un manteau en tôle. Les murs de refend M et M' divisent l'intérieur de la cuve en trois compartiments, dont le premier sert pour l'arrivée du gaz CO_2 .

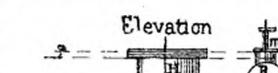
La paroi M' divise en deux parties le foyer proprement dit du four ; elle monte jusqu'au sommet de la voûte et a pour but de forcer le gaz soumis à la régénération à suivre la direction indiquée par les flèches, en d'autres termes à suivre le plus long parcours sur la couche de charbon incandescent. Les murs transversaux *u* consolident l'ensemble et divisent le foyer en quatre compartiments. On obtient ainsi une consommation plus rapide du combustible dans la période d'oxydation, par le fait d'une bonne distribution des bouches de vent soufflé.

Le chargement s'opère de la plate-forme supérieure P par les boîtes de chargement H dont le jeu se comprend aisément à l'inspection de la figure.

Au début de la marche, ce four fonctionnera comme un gazogène ordinaire à vent forcé. Le vent soufflé entre par la valve W et passe par les carneaux *w* aux tuyères *t*. Les clapets de communication C appliqués dans le haut du mur M' et la valve de cheminée sont alors ouverts, tandis que la valve d'entrée du gaz CO_2 est fermée. Lorsque le coke, dont on se servira de préférence comme combustible, est arrivé à la température voulue, ce dont on peut s'assurer par des regards pratiqués sur le contour de la cuve cylindrique, on ferme la valve de cheminée ainsi que la valve du vent de combustion puis on ouvre la valve à CO_2 . Ce dernier gaz suivra alors le chemin indiqué par les flèches et sera réduit en oxyde de

carbone par le fait de son passage sur la charge incandescente du four. La durée de la période de réduction du CO sera déterminée par la pratique.

Le croquis ci-contre représente une installation de 3 de ces fours-régénérateurs. Le gaz oxyde de carbone y produit se rend par le tuyau d'échappement dans le tuyau collecteur, d'où il se rend aux fours dans lesquels il doit être brûlé. Quand on ne veut pas mélanger les gaz de la marche à vent soufflé avec le gaz CO pur produit pendant la période de réduction de l'acide carbonique, on peut les amener dans un collecteur spécial R et les employer à tel usage que l'on veut.



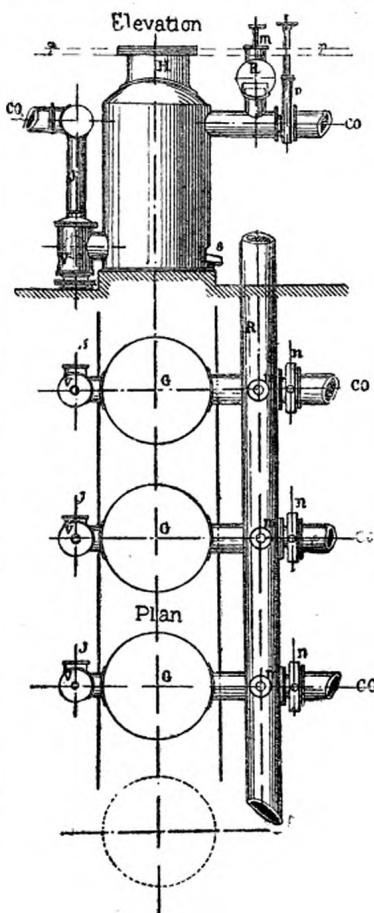
Le fonctionnement des appareils que nous avons construits en vue du but à atteindre, ayant pour base des lois de physique et de chimie établies par l'expérience, il ne s'agit donc plus que d'approprier ces derniers à une fabrication industrielle et rationnelle et nous avons donc, du moins en ce qui concerne le côté technique, résolu le problème que nous nous étions posé.

Il nous reste à prouver maintenant que le prix du gaz pur ainsi préparé reste dans les limites économiques et en rapport avec sa valeur comparative.

On comprendra aisément que ce prix de revient dépendra essentiellement de la puissance de production des appareils que comporte notre procédé de régénération, production qui elle-même dépendra et de la quantité des gaz dont on peut disposer et surtout du poids de gaz dont on trouve l'emploi dans un espace de temps déterminé.

Nous ferons observer de suite, que pour le moment nous n'avons en vue que la préparation de grandes masses de gaz, et que nous ne nous proposons point, du moins dès maintenant, à préconiser l'application du nouveau procédé de chauffage au gaz pur dans toutes les branches de l'industrie.

Nos calculs destinés à démontrer le rendement de notre procédé doivent donc



s'appliquer à un exemple exactement spécifié de l'industrie pyrotechnique. Des circonstances spéciales nous ont conduit à choisir à cet effet l'exemple d'une acierie Martin-Siemens ; notre nouveau mode de chauffage permettant d'arriver à une réduction notable de la consommation de combustible et mettant donc la fabrication du fer ou acier Martin dans des conditions de concurrence favorables vis-à-vis de celle de l'acier Bessemer ou Thomas-Gilchrist, l'examen de cette question n'est point sans présenter un certain caractère d'opportunité.

Nous supposerons que l'atelier dont il est question comporte 3 fours Siemens-Martin en exploitation, ces derniers ayant une capacité de 15 tonnes chaque, et produisant en moyenne, en 2 1/2 coulées par 24 heures, 37 1/2 tonnes chaque, avec une consommation moyenne de 300 kilogrammes de houille à 80 % de C par tonne de lingots produits. La production journalière totale est donc de 112,5 tonnes de lingots, et la consommation totale de combustible 33,75 tonnes.

Comme prix moyen du charbon pour gazogène, nous admettrons francs 18,5 les 1 000 kilogrammes, de sorte que la dépense journalière en combustible avec gazogènes ordinaires est de francs 625, » (en chiffres ronds).

L'effet pyrométrique du gaz pur, qu'il s'agit de substituer au gaz à air ordinaire comme combustible dans cette acierie, étant plus élevé que celui de ce dernier, l'application du procédé de régénération sera suivie, ou d'une augmentation de production des fours, si le volume de gaz combustible doit rester constant, ou d'une diminution du volume de gaz à brûler dans l'unité de temps, dans le cas où, pour des raisons de résistance du garnissage des fours, par exemple, on ne désire point en forcer la production.

Nous adopterons cette dernière solution, et il sera facile de s'assurer que, si dans ce cas notre nouveau procédé de chauffage trouve une application favorable, l'avantage sera également démontré pour la première solution, la production journalière du gaz pur étant plus grande dans ce cas que dans le premier, si l'on peut toutefois admettre en principe que la production croît en proportion directe avec l'effet pyrométrique du gaz qui alimente les fours.

Il faudra donc d'abord rechercher le poids du gaz qu'il faut brûler pour obtenir l'effet pyrométrique correspondant à la marche au gazogène ordinaire. La consommation de 33,75 tonnes par 24 heures correspond à un poids de $\frac{33750}{24 \times 60} = 23,44$ kilogrammes de combustible, ou $23,44 - 4,68 = 18,76$ kilogrammes de carbone par minute. 1 kilogramme de carbone donnant environ 13 kilogrammes de gaz brûlés, les 18,76 kilogrammes C produiront donc 244 kilogrammes de gaz par minute, dont il faudra recueillir la partie correspondant au gaz régénéré à produire pendant le même temps.

Comme nous l'avons dit plus haut [6], 1 kilogramme de carbone gazeux, contenu dans le gaz CO pur, correspond à 1,72 kilogramme de carbone solide du combustible ordinaire; au lieu de -- 18,76 kilogrammes, il ne faudra donc plus dans

notre gaz régénéré que $\frac{18,76}{1,72} = 10,85$ kilogrammes; ceux-ci correspondent à $10,85 \times \frac{7}{3} = 25,31$ kilogrammes CO. Notre formule de récarburation [8] devient donc dans ce cas : $19,92 \text{ kg. CO}^2 + 5,39 \text{ kg. C.} = 25,31 \text{ kg. CO}$ [9].

En admettant maintenant que le contenu moyen de CO² dans les gaz brûlés à la sortie du four alimenté au gaz pur, soit de 35 %, et que le rendement de notre appareil extracteur de CO² des gaz brûlés soit 0,75, il faudra faire arriver, pour être dissous dans l'appareil, un poids de $19,92 + (19,92 \times 0,25) = 24,9$ kgr. CO² par minute, qui correspondent à $\frac{24,9}{35} = 100 = 71,6$ kilogrammes, ou $\frac{71,6}{1,33} = 53,4$ mètres cubes de gaz brûlés par minute [10].

La chaleur absorbée par chaque kilogramme de carbone brûlé par CO² est de 3134 calories; les 5,39 kilogrammes absorberont donc $3134 \times 5,39 = 16\,892$ calories; pour produire la chaleur correspondante dans l'intérieur du four gazogène récarburateur, il faudra brûler par minute $\frac{16\,892}{8000} = 2,11$ kilogrammes de coke, donnant par sa combustion 8 000 calories par kilog. La totalité du coke à brûler par minute dans notre appareil de régénération sera donc $5,39 + 0,54 + 2,11 = 8,04$ kilogrammes, soit par 24 heures 11,6 tonnes, au lieu de 33,75 tonnes de houille à gazogène consommées primitivement [11].

Voici maintenant le devis estimatif d'un projet d'installation de notre procédé de régénération, remplissant les conditions de l'exemple précédent, et comportant un appareil extracteur de CO² pur, du premier système (pl. 2, fig. ci-jointe), pouvant fournir au minimum 20,6 kilogrammes CO² par minute, soit 28 800 kilogrammes CO² par 24 heures, et les fours gazogènes récarburateurs nécessaires pour produire un minimum de 25,31 kilogrammes CO par minute, soit 36 500 kilogrammes CO par 24 heures.

Ces devis, ainsi que l'établissement du prix de revient qui l'accompagne, donneront un aperçu sommaire de l'ensemble de l'installation, et constitueront une preuve parlante de l'importance économique du procédé de chauffage dont nous préconisons l'emploi.

I. — DEVIS ESTIMATIF DU PROJET D'INSTALLATION.

a) Extraction d'un minimum de 28 800 kilogrammes CO² pur des gaz brûlés par 24 heures.

1 ^o Raccordement au canal collecteur de fumée avec l'appareil réfrigérant	fr. 3 500	»
2 ^o Exhauteurs aspirant et refoulant 60 à 75 mètres cubes de gaz brûlés par minute [11]	fr. 15 625	»
3 ^o Appareil pour l'élimination de l'azote et l'extraction d'acide carbonique	» 12 500	»

4 ^e Réservoir d'acide carbonique	»	2 500	»
5 ^e Jeu de pompes fournissant l'eau froide pour la dissolution	»	3 000	»
6 ^e Machine motrice de 20 à 25 chevaux, chaudières et accessoires	»	5 625	»
7 ^e Conduites de gaz et d'eau, transmissions, etc.	»	3 750	»
8 ^e Imprévu	»	4 500	»
Total.	fr.	50 000	» fr. 50 000 »

B.) *Récarburation de CO₂ et production d'un minimum de 36 500 kilogrammes de CO par 24 heures.*

1 ^e 4 fours, gazogènes, récarburateurs à renversement de marche dont 1 de réserve ; à fr. 12 500 chaque, conduites de gaz et d'air, etc., compris	fr.	50 000	»
2 ^e Plateau de chargement de combustible et divers	»	10 000	»
3 ^e 1 ventilateur fournissant 40 à 50 mètres cubes d'air de combustion par minute	»	1 250	»
4 ^e Imprévu	»	7 500	»
Total.	fr.	68 750	» fr. 68 750 »

C) Etudes, projets et plans. Licence.	»	21 250	»
<i>Cout total de l'installation.</i>	fr.	130 000	»

II. — ETABLISSEMENT SOMMAIRE DU PRIX DE REVIENT.

A.) *Extraction de CO₂*

1 ^e Intérêt à 5 % de la somme de fr. 50 000 par jour	fr.	6,67
2 ^e Amortissement de ce capital à 10 %	»	13,33
3 ^e Main d'œuvre : 4 hommes au prix de fr. 3	»	12,00
4 ^e Frais généraux, entretien et surveillance	»	12,00
5 ^e Combustible : 980 kg. par heure et par cheval-vapeur $20 \times 2 \times 24 = 1200$ kg. à fr. 18,50 %	»	18,20
6 ^e Divers, graissage, etc., par jour	»	1,75
7 ^e Imprévu.	»	1,55
Les 28 800 kg. CO ₂ coûteront donc	fr.	65,50
1 kg. CO ₂ industriellement pur revient donc à centimes 0,22		

B.) *Production de CO.*

1 ^e Intérêts à 5 % de la somme de fr. 68 750.	fr.	11,46
2 ^e Amortissement du capital à 10 %	»	22,54
3 ^e Main d'œuvre : 2 chauffeurs-surveil. à fr. 5 p.jour 6 manœuvres	»	10,00
4 ^e Frais généraux.	»	14,00
5 ^e Entretien	»	6,00
6 ^e Divers : castine pour fusion des cendres du coke, etc.	»	2,50
7 ^e Combustible : 11,6 tonnes de coke [11] à fr. 25 %	»	290,00
8 ^e Imprévu.	»	7,50
Total.	fr.	382,00

Report. fr. 382 » fr. 65,50

De ce total il y a à déduire la somme correspondant à la chaleur utilisée des produits de la combustion pendant la période de soufflage des fours gazogènes récarburateurs, ces derniers gaz servant soit pour la production de la vapeur, soit pour le chauffage des riblons de fer entrant dans le bain métallique :

3 000 kg. de coke à fr. 25,» % fr. 75

Les frais de récarburation de l'acide carbonique

s'élèvent donc à fr. 307 » fr. 307 »

et les 36 500 kg. de CO pur préparés par notre procédé de régénération des gaz brûlés coûteront donc. . . . fr. 372,50

1 kg. CO contenant $\frac{3}{7}$ kg. de carbone gazeux revient donc à *centimes* 1,02

1 kg. » » » » 2,38

tandis que 1 kg. » solide du combustible coûte » 2,77

et 1 kg. » » du coke » » 3,50

La comparaison se trouve établie d'après l'effet pyrométrique à produire et en tenant compte du résultat [4] cité plus haut. Les prix respectifs de la houille (à 80 % de C) et du coke (à 90 % de C), comptés à raison de fr. 18,5 et fr. 25 la tonne, ces premiers chiffres se détaillent de la façon suivante :

$$0,0185 + (0,0185 + 0,2) + (0,0185 + 0,3) = \text{fr. } 0,0277.$$

$$0,024 + (0,025 + 0,1) + (0,025 + 0,3) = \text{fr. } 0,0350.$$

Le prix d'unité du carbone contenu dans notre gaz régénéré reste donc inférieur à celui du combustible solide, et le bénéfice réalisable par la substitution du gaz pur au gaz à air ordinaire dont il était question plus haut [7] se trouve donc pleinement confirmé.

L'application du nouveau mode de chauffage, à l'exemple des fours Siemens-Martin, donne lieu à un bénéfice de $18,5(33,75 \times 18,5) - (11,6 \times 25) = 334$ fr. par jour, soit 100 200 francs par an de 300 jours de travail. Le capital dépensé pour l'installation, étant de francs 180 000, cette dernière se payera donc intégralement par sa propre économie au bout de $\frac{300 \times 180000}{100.200} = 389$ jours de travail. Après ce temps, il y aura à ajouter au bénéfice de première année la somme des intérêts et amortissements portés en compte dans l'état estimatif du prix de revient, soit francs 74 par jour ou francs 22,200 par an, de sorte qu'après 390 jours de travail, le bénéfice journalier serait de francs 408, soit de 122 400 francs par an.

Par tonne de lingot d'acier produite, cela correspondra à un bénéfice de francs 3,62 en économie de combustible.

A côté de cela, il faudra remarquer que les chiffres cités plus haut se rapportent à une production minima de nos appareils, et que cette dernière pourrait, sans exiger d'autres frais que ceux qui correspondent à la consommation du

combustible brûlé en plus dans les fours gazogènes récarburateurs, facilement être augmentés de 1/5, pourvu qu'il n'y ait pas d'empêchement à augmenter dans une même proportion la production journalière des fours. Il serait facile de déterminer alors que le bénéfice réalisable augmente dans le même rapport que l'augmentation de production et d'emploi de gaz régénéré.

Bien que nos chiffres ne puissent pas être considérés comme rigoureusement exacts, et que leur valeur est de nature essentiellement comparative, ils témoignent néanmoins à l'évidence de la haute importance de notre procédé de régénération des gaz brûlés, de réemploi continu du combustible, et d'une partie du carbone y contenu, qui jusqu'ici se perdait entièrement sans aucun profit direct pour l'industrie.

On arrive donc, par la façon que nous venons d'exposer, au remplacement avantageux d'une partie importante de combustible solide par un gaz industriellement pur, et dans lequel la moitié seulement du contenu en carbone provient de la combustion directe, l'autre moitié étant fournie par la fumée perdue. Cette dernière partie peut être considérée comme circulant dans un circuit fermé, produit par des séries successives et alternatives de dilutions et de condensations ; cette partie restant d'autre part constante pour un même effet pyrométrique à produire et directement proportionnelle à ce dernier quand il doit varier. Le mouvement dans ce circuit est entretenu par le phénomène de combustion du carbone par l'acide carbonique. La dilution du gaz, lors de son parcours dans le circuit, est produite par la combustion du gaz oxyde de carbone par l'air atmosphérique, et se manifeste par l'effet calorifique produit, tandis que la condensation du gaz dans le circuit s'obtient par l'élimination de l'azote, suivi du phénomène de la récarburation de l'acide carbonique recueilli.

On concevra facilement que la possibilité d'étendre à l'infini ce circuit de carbone gazeux actif ne peut pas exister, et que l'on ne pourrait pas songer à réemployer pour un phénomène d'oxydation ou de réduction, suivant un précédent, la totalité du combustible consommé, c'est-à-dire à recueillir à la suite de chaque phénomène de dilution la totalité du gaz dilué pour soumettre cette dernière à la régénération, respectivement à la condensation. Il faudrait, en effet, toujours avoir l'emploi du gaz régénéré car, pour sa formation, notre gaz exige toujours un poids déterminé de combustible, qui serait brûlé en pure perte, à moins qu'on ne puisse intercaler à l'infini dans le circuit fermé, et au fur et à mesure de son élargissement, de nouveaux appareils pour l'utilisation du calorique produit. Les tentatives en vue de l'utilisation *ad infinitum* de la totalité du carbone consommé équivaudraient donc à celles en vue de la recherche du mouvement perpétuel.

Par le fait d'avoir rendu possible le réemploi pour une opération pyrotechnique suivante d'une partie du carbone déjà brûlé, en rapport avec l'effet calo-

rifique à développer dans cette dernière opération, nous avons battu en brèche le mur d'enceinte qui servait jusqu'aujourd'hui de limite à l'utilisation industrielle du combustible ; il ne faudrait pas trop se préoccuper pour le moment de l'étendue du nouveau champ ouvert par cette brèche à l'investigation. Il s'agit à cette heure d'aplanir, de niveler le terrain conquis, et de rendre ce dernier fertile et utile pour l'industrie. Les tentatives de propagation de nos idées concernant ce sujet, et nos efforts pour en trouver l'application rationnelle, sont autant de jalons posés sur le domaine du progrès.

Nous croyons pouvoir livrer les résultats de longues et persistantes études à la publicité, convaincus d'avoir par ces dernières, réussi à enrichir l'industrie d'un nouveau mode de chauffage des plus économiques, en même temps que des plus efficaces ; nous attendons avec une entière confiance que la mise en pratique prochaine vienne confirmer l'exactitude de nos calculs.

C'étaient, ainsi que nous l'avons dit, des circonstances spéciales qui nous avaient amenés à nous servir de l'exemple d'une aciérie Martin, pour y appliquer nos calculs de rentabilité ; on prouverait aussi facilement que, pour toute autre industrie pyrotechnique, et tout spécialement pour celles qui exigent une très haute température, l'application de notre nouveau système de chauffage serait accompagnée d'avantages au moins pareils à ceux que nous venons d'énumérer.

En ce qui concerne l'application de la régénération des gaz brûlés au cas spécial des hauts-fourneaux, nous nous hâterons de remarquer qu'il ne peut être question du remplacement du combustible solide, du moins du remplacement intégral de ce dernier par un gaz, quel que fût son pouvoir réducteur et son degré de capacité calorique ; nous ne pensons pas devoir entrer dans des détails motivés en ce qui concerne ce sujet, puisque cela nous amènerait trop loin. Nous ferons observer cependant, qu'à notre avis, un courant de gaz réducteur, venant de l'extérieur, insoufflé dans un haut-fourneau marchant au combustible solide, dans une région où ce gaz peut faciliter la réduction du minerai, et surtout amoindrir l'action oxydante de l'acide carbonique produit lors du phénomène de la réduction sur le carbone solide, n'est pas sans présenter des avantages sérieux, à condition toutefois de disposer à cet effet d'un gaz pur, et dont le bas prix de revient soit en rapport avec l'économie de combustible que devrait produire cette innovation. Le procédé de fabrication que nous venons de décrire, nous fournissant effectivement le gaz réducteur et à bas prix, la possibilité de l'application de ce dernier comme combustible supplémentaire dans l'exploitation du haut-fourneau, dépendra uniquement et de la plus ou moins grande facilité d'introduction de ce gaz dans le haut-fourneau, et de la quantité

de gaz qu'on pourra introduire utilement au-dessus de la zone de fusion dans un temps déterminé. Nous nous proposons d'examiner ultérieurement cette question, qui ne saurait trouver place dans le cadre du présent article.

Nous plaçant à un autre point de vue, il nous reste à remarquer que dans le cas d'une usine de hauts-fourneaux annexée à une aciérie ou un lamoir l'application de notre procédé fournit un moyen économique pour l'utilisation de la totalité des gaz de gueulard des hauts-fourneaux pour la production de la vapeur, tandis que le surchauffage de l'air dans les appareils Cowper ou Whitwell peut se faire en alimentant ces derniers exclusivement de gaz régénéré provenant d'un service central de gazogènes régénérateurs de notre système.

Nous ne terminerons pas nos observations relatives aux gaz de gueulard des hauts-fourneaux, sans faire mention d'un procédé de régénération de ces derniers gaz, proposé il y a de cela quelques années, par M. Joseph von Ehrenwerth Professeur de métallurgie à l'Ecole R. I. des mines de Léoben (Autriche), procédé dans lequel il met également à profit le pouvoir oxydant de l'acide carbonique pour transformer en oxyde de carbone le contenu en CO_2 du gaz de gueulard des hauts-fourneaux, et dans lequel ce gaz lors de son passage sur une couche de charbon incandescent se trouve enrichi par l'augmentation de son degré de combustibilité, afin de pouvoir s'en servir comme combustible pour alimentation d'un four Siemens-Martin.

Bien qu'essentiellement différent de notre procédé de régénération, dans lequel on opère sur des gaz complètement brûlés, par conséquent incombustibles pour en extraire de l'acide carbonique servant à la préparation d'un gaz pur sans azote, tandis que celui de M. von Ehrenwerth se borne à enrichir le degré de combustibilité du gaz de gueulard des hauts-fourneaux avant leur combustion, nous nous plaisons cependant à reconnaître l'importance de l'étude de l'éminent métallurgiste qui nous a servi comme source de précieux renseignements, comme stimulant et comme encouragement à poursuivre sans relâche le but que nous nous proposons d'atteindre.

Avant de terminer cet aperçu nous aurons à revenir un instant sur l'exemple de l'exploitation des fours Siemens-Martin, et ce sera pour faire remarquer expressément que l'application de notre nouveau mode de chauffage ne dispense point ainsi qu'on le pourrait croire à cause de leur désignation fausse et impropre, de l'emploi des soi-disant régénérateurs ; nous les avons appelés plus haut chambres collecteurs ou accumulateurs de chaleur.

Ces derniers doivent cependant, en ce qui concerne les dimensions des valves d'entrée et de sortie des gaz subir une légère modification lorsqu'il s'agit d'obtenir une température de gaz et d'air égale à celle obtenue précédemment. On pourra en effet facilement se convaincre par les calculs précédents, que 1 m³ cube de gaz CO pur exige pour sa combustion 2,5 mètres cubes d'air, tandis que

le gaz des gazogènes ordinaires n'exige en moyenne que 1 mètre cube d'air par 1 mètre cube de gaz à brûler.

Il y aura également à tenir compte de cette remarque lors de l'appropriation des fours Siemens-Martin à notre système de chauffage et à changer en conséquence les sections des canaux de gaz et d'air et des brûleurs.

Par le fait que ces dernières modifications ne sauraient pas convenir pour une marche rationnelle au gaz ordinaire, on sera obligé, lors de l'étude des projets d'installation de notre procédé, de ne point perdre de vue qu'on doit pouvoir disposer une première fois du poids de gaz correspondant à la température initiale à produire dans les fours Siemens, et que ce sont nos gazogènes-récarburateurs à renversement de marche qui doivent fournir le gaz nécessaire lors de la mise en marche de ces derniers; que par conséquent le carneau d'échappement des gaz produits pendant la période de soufflage doit pouvoir être mis en communication avec le collecteur de fumée commun à tous les fours, et dans lequel on puiserait le volume de gaz brûlé devant être soumis à la régénération.

Dans le cas où il s'agirait d'obtenir des fours à sole une marche indépendante des circonstances atmosphériques, c'est-à-dire si on voulait marcher au vent soufflé — système préconisé avec raison par bon nombre de métallurgistes — il y aurait à intercaler entre nos fours gazogènes-récarburateurs et les fours Siemens un jeu de réservoirs-gazomètres de CO composé de deux cloches se vidant et se chargeant alternativement la première donnant alors au gaz la pression correspondante à celle de l'air de combustion. Une pareille installation ne saurait guère influencer considérablement le prix de revient de notre gaz; en partie nous avons déjà tenu compte de cette éventualité en portant à l'imprévu de notre devis (voir I, B, 8°) la somme relativement importante de 7500 fr.

Comme les chances d'explosion croissent avec le degré de pureté et de condensation du gaz CO, il ne faudra point négliger de munir les réservoirs des tuyaux de conduite de ce gaz d'une quantité suffisante d'appareils et de dispositifs de sûreté.

Les fours gazogènes-récarburateurs à renversement de marche, dont nous préconisons l'emploi sont disposés de façon à permettre, si cela était reconnu utile, l'injection d'un courant de vapeur surchauffée, et peuvent servir dans le cas de gazogènes pour gaz à eau pur, lequel gaz contiendrait des quantités variables de CO et d'hydrogène.

Nous n'avons point eu l'occasion jusqu'à ce jour de mettre en pratique notre procédé de régénération, aussi ne nous cachons-nous pas que nos appareils devront, comme cela a d'ailleurs lieu pour toutes les nouvelles inventions, attendre les perfectionnements dont ils sont capables de la pratique même de leur fonctionnement industriel.

Cependant nous pouvons dès maintenant prétendre que les principes de fonc-

tionnement de nos appareils sont inattaquables et basés sur des lois du domaine de la science expérimentale, que ces appareils sont d'une simplicité élémentaire qu'ils ne comportent point d'organes délicats capables de s'opposer à une marche tout à fait régulière et continue, que l'usure est presque nulle et que d'un autre côté leur prix est dans une proportion très favorable avec les bénéfices qu'ils sont appelés à réaliser.

Ce sera surtout pour les régions et contrées industrielles, se trouvant éloignées des bassins houillers que notre procédé acquerrera sa plus haute importance, puisque l'économie en résultant est directement proportionnelle au prix du charbon, respectivement au prix de transport de ce dernier. C'est donc de préférence de ce côté que s'adresseront nos vues et nos tentatives pour arriver à la mise en pratique de notre nouveau mode de chauffage.

Trop modeste pour vouloir prendre rang parmi les grands innovateurs tels que les frères Siemens auxquels nous devons les fours à renversement de flamme utilisant dans la plus large mesure le calorique produit et économisé, l'auteur peut cependant affirmer que l'invention à laquelle il désire attacher son nom, sera dans un avenir peu éloigné un complément obligé de celle de Siemens et c'est pour le plus haut intérêt de l'industrie elle-même que nous formulons l'espoir que ce nouveau pas en avant dans la voie du progrès fasse époque dans la marche des perfectionnements industriels.

Pour terminer nous répétons que cet exposé est surtout destiné à attirer l'attention des intéressés sur ce nouveau procédé et l'auteur profite de cette occasion pour mettre obligemment à la disposition de ces derniers tous les renseignements nécessaires, autant cependant que ces renseignements s'harmoniseront avec ses intérêts personnels.

J.-H.-CONSTANT STEFFEN.

TABLE DES MATIÈRES

4^e Partie. — Tome II

LA MINÉRALOGIE, LA MINÉRALURGIE ET LA GÉOLOGIE

Matériel et procédés de l'exploitation des mines à l'Exposition universelle de 1889, par M. F. DUJARDIN-BEAUMETZ

Avant-propos	3
<i>Transport de la force.</i>	5
Air comprimé	5
Travail brut de la vapeur	5
Travail produit dans le cylindre compresseur.	6
Compresseur de MM. Mallet et C ^{ie}	7
Compresseur de MM. Ingersoll et Sergeant	8
Compresseur de MM. Burckhardt et Weiss	9
<i>Electricité.</i>	13
Eau.	16
Sondages	17
Fonçage.	19
Fonçage à niveau plat	19
Fonçage à niveau plein.	20
Fonçage par congélation, procédé Petsch	21
Essais de fonçage à l'air comprimé	22
<i>Extraction</i>	23
Moteurs d'extraction.	23
Contrôle des machines d'extraction	24
Régularisation de l'extraction par tambour spiraloïde	24
Treuils.	24
Signaux	25
Précautions à prendre pour éviter l'envoi de la cage aux molettes.	27
Etoile-molettes Reumaux	28
Modérateur de vitesse Wery.	29
Evite-molette Villiers	29
Chevalements	30
Câbles	30
Parachutes et guidages	34

Organisation des recettes	36
Recettes des plans inclinés	38
Translation des ouvriers	38
Extractions secondaires	39
<i>Exhaure</i>	40
Données générales	41
Pompes du burquin	44
Machines à vapeur	44
Condenseur	45
Pompes foulantes horizontales	45
Colonnes de refoulement	45
Résultats fournis par les machines en marche régulière à 30 tours.	45
Pompe à vapeur Worthington	48
<i>Soutènement</i>	49
Façonnage des bois de mines.	49
Cadres de mines en fer.	49
Déboisage.	51
<i>Méthodes d'exploitation</i>	51
Grand'Combe	51
Montrambert et la Béraudière	52
Roche-la Molière et Firminy.	57
La Loire	59
Saint-Etienne	59
Blanzy.	59
Carmaux	62
<i>Abatage mécanique</i>	63
Perforateurs mécaniques	63
Perforateurs à main.	65
Excavateurs.	65
Havage	66
Abatage sans explosifs.	68
<i>Explosifs</i>	69
Explosifs de sûreté	69
Poussières de charbons.	70
Arrosage des galeries	71
Bourres de sûreté.	71
Mode d'allumage	72
<i>Transports</i>	73
Trainage mécanique.	73
Plans aériens	75
Traction mécanique en rampe avec profil d'équilibre	76
Locomotives souterraines.	76
Chemin de fer électrique	76
Voies métalliques souterraines	77
Matériel roulant	78
Comparaison des diverses berlines.	80

<i>Aérage</i>	80
Ventilateurs	80
Régulateurs volumétriques	83
Surveillance de l'aéragé	83
Ventilateurs souterrains	84
<i>Grisou. — Lampes de sûreté</i>	85
Lampes	85
Fermetures de sûreté	86
Fermeture magnétique Villiers	86
Fermeture Cuvelier	86
Fermeture à rivet de plomb d'Anzin	86
» » » » Dinoire	87
Rallumage des lampes	87
Lampes électriques	87
Surveillance du grisou	88
<i>Rivages</i>	89
Préparation mécanique	92
Broyeurs	92
Séparation magnétique des minerais	93
Préparation mécanique de la houille	94
Lavage de la houille	97
<i>Agglomération</i>	99
Appendice	103

La Métallurgie par MM. HALLOPEAU et CAMPREDON

Avant-propos	105
------------------------	-----

PREMIÈRE PARTIE

<i>La Fonte</i>	110
Définitions. — Fonte d'affinage. — Fonte de moulage	110
Production totale en France	110
Fabrication de la fonte. — Matières premières	112
Minérais	112
Compositions des minéraux étrangers	112
Fondants	118
Combustibles	118
Haut-fourneau. — Dimensions et dispositions générales	120
Dimensions et production de quelques hauts-fourneaux français.	
Nature des produits obtenus	122
Usines du littoral	122
Isbergues	122
Usines du groupe de l'Est	122
Jœuf	122
Micheville-Villerupt	122
Combustible	124
Fontes et laitiers	124

Lits de fusion	124
Machines auxiliaires.	124
Longwy	126
Jarville	126
Pompey	127
Région du centre.	127
Firminy	127
Allevard.	127
Marche des hauts-fourneaux. Produits obtenus	127
Fontes de moulage	128
Fontes du Boucau.	128
Fontes diverses	129
Fontes d'affinage	129
Fontes d'affinage pour fers	129
Fontes Bessemer et Thomas.	130
Fontes spéciales	130
Spiegel et ferromanganèse	130
Ferrosilicium	132
Silico-Spiegel	133
Ferro-chrome	133
Produits intermédiaires	134
Fonte mazée et désulfurée obtenue par le cubilot Rollet	134
Utilisation des laitiers de haut-fourneau.	135
Ciment de laitier	135
 <i>Le Fer</i>	137
Définitions	137
Production du fer en France.	137
Fers au bois.	137
Fers au coke.	138
Puddlage, théorie de l'opération	138
Pratique de l'opération.	140
Fers de ferraille	145
Importance de la production de ces fers	145
Provenance des ferrailles	145
Fers platinés.	146
Fers ballés	147
Fers paquetés	147
Qualité des fers paquetés	148
 <i>L'Acier</i>	150
Production de l'acier.	150
Cémentation, puddlage.	153
Aciers cémentés	153
Conclusion	154
Aciers puddlés.	154
Fabrication des aciers fondus au creuset	155
Historique	155
Aciers fins	156

Aciers de moulage au creuset	157
Aciers spéciaux obtenus au creuset	158
Aciers au manganèse	158
Aciers chromés.	162
Aciers au tungstène ou Wolfram	166
Acier au chrome et au tungstène	167
Aciers au nickel	168
Aciers au cuivre	169
Aciers au titane	170
Aciers à l'aluminium	170
Aciers au silicium	172
Aciers au silicium et au manganèse	172
 <i>Affinage des fontes par les convertisseurs Bessemer et Thomas-Gilchrist.</i>	174
Déphosphoration	175
Marche d'une opération au convertisseur basique	176
Graphiques figurant la marche d'une opération au convertisseur basique.	177
Garnissage basique	177
Fontes employées.	178
Opérations	179
Qualités d'acier	180
Résumé	181
 <i>Production de l'acier au convertisseur</i>	182
Convertisseur Bessemer acide	183
Convertisseur Bessemer basique	184
Modifications du convertisseur Bessemer	187
Petits convertisseurs.	187
Convertisseur G. Robert	188
Diagrammes	190, 191
 <i>Fabrication de l'acier sur la tole des fours à réverbère</i>	192
Four Martin basique.	193
Historique	193
Principe de l'opération. Matières employées	194
Composition des fontes à traiter au four basique	194
Appareils employés. Matières réfractaires basiques	195
Castine	196
Chaux	197
Dolomie	197
Composition de la dolomie.	198
Magnésie.	198
Composition de la magnésie de Styrie	199
Marche d'une opération	200
Marche progressive de l'épuration du bain.	203
Marche d'une opération au four basique	205
Propriétés physiques et mécaniques du métal obtenu	205
Discussion	208
Elimination des matières étrangères	212

Four rotatif Pernot	216
Four Martin à sole neutre.	217
Considérations sur le laitier basique	219
Liquation du laitier dans les poches de coulée	222
Utilisation des laitiers basiques par l'agriculture	223
Essais de culture	225
Récolte de l'avoine	226
Récolte des turneps	227
Mode d'emploi des scories phosphatiques	229
Les laitiers basiques à l'Exposition.	231
<i>Production des aciers sur sole</i>	233
Four Martin à sole acide	233
» » basique	234

DEUXIÈME PARTIE

<i>Propriétés générales des aciers</i>	236
Avant-propos	236
Caractères physiques	238
<i>Propriétés physiques et mécaniques des fers fondus dans leur emploi à froid</i>	239
Écrouissage des fils par le tréfilage	242
Trempe	242
Étude théorique de la trempe	243
Essais à la traction	245
Essais au choc.	246
<i>Propriétés physiques et mécaniques des fers fondus dans leurs emplois à chaud</i>	247
Soudabilité	248
Soudure des aciers	250
Essais de traction sur des éprouvettes soudées	251
Propriétés électro-magnétiques	254
Relations entre la composition chimique des fils de fer fondu et leur résistance électrique	255
<i>Annexes</i>	256
Détermination de la limite d'élasticité. Appareil de M. Cordier	256
Production de la houille et des produits ferreux dans le monde entier pendant l'année 1889	259

Sur un nouveau procédé de régénération des produits gazeux de la combustion et de réemploi du carbone brûlé contenu dans ces derniers, par J.-H. CONSTANT STEFFEN.

Données générales	262
Devis estimatif du projet d'installation	273
Établissement sommaire du prix de revient	274
Conclusion	280

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

Allevard 127 |

B

La Béraudière	52	Boucau	128
Bessemer	130, 174	Burckhardt	9
Blenzy	59		

C

Carmaux	62	Cordier.	256
Compredon	105	Cuvelier	86

D

Dujardin-Beaumetz 3 |

E

Eschaure 40 |

F

Firminy. 57, 127 |

G

Gilchrist	174	Grand'Combe.	54
---------------------	-----	----------------------	----

H

Hallopeau. 105 |

I

Ingersall	8	Isbergues	122
---------------------	---	---------------------	-----

J

Jarville.	126	Jœuf.	122
-------------------	-----	---------------	-----

L

Longwy 126 |

M

Maillet	7	Micheville-Villerupt	122
Martin	193, 217, 233	Montrambert.	52

P

Pernot	216	Pompey	127
Pötsch	21		

R

Reumaux	28	Roche-la-Molière	57
Robert	188	Rollet	134

S

Sergeant	8	Constant Steffer	261
--------------------	---	----------------------------	-----

T

Thomas.	130		
-----------------	-----	--	--

V

Villiers	29,	86	
--------------------	-----	----	--

W

Weiss	9	Worthington.	48
Wery	29		

