ENCYCLOPÉDIE-RORET

MAITRE DE FORGES

NOUVELLE ÉDITION

PAR

N. CHRYSSOCHOÏDÈS
Ingénieur des Arts et Manufactures

TOME SECOND

(1910)

PARIS
ENCYCLOPÉDIE-RORET
L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR
12, RUE HAUTEFEUILLE, VIe

ENCYCLOPÉDIE-RORET

MAITRE DE FORGES

TOME SECOND

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

Manuel du Briquetier, Tuilier, Fabricant de Carreaux, de tuyaux de Drainage et de Creusets réfractaires, contenant la fabrication de ces matériaux à la main et à la mécanique, et la description des fours et appareils actuellement usités dans ces industries, par F. MALEPEYRE et A. ROMAIN. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée par G. PETIT, ingénieur civil. 2 vol. ornés de 351 figures dans le texte. 7 fr.

— **Chauffage et Ventilation** des Bâtiments publics et privés, au moyen de l'air chaud, de l'eau chaude et de la vapeur, Chauffage des Bains, des Serres, des Vins, et des Vagons de chemins de fer, par A. ROMAIN. 1 vol. accompagné de planches et orné de figures. 3 fr.

— **Chaufournier, Plâtrier, Carrier et Bitumier,** contenant l'exploitation des Carrières et la fabrication du Plâtre, des différentes Chaux, des Ciments, Bétons, Bitumes, Asphaltes, etc., par D. MAGNIER et A. ROMAIN. Nouvelle édition. 1 vol. accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Construction moderne** (La), ou Traité de l'Art de bâtir avec solidité, économie et durée, comprenant la Construction, l'histoire de l'Architecture et l'Ornementation des édifices, par BATAILLE, architecte, ancien professeur. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée par N. CHRYSSOCHOÏDÈS. 1 vol. orné de 224 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas gr. in-8° de 44 pl. 15 fr.

— **Constructions agricoles**, traitant des matériaux et de leur emploi dans les Constructions destinées au logement des Cultivateurs, des Animaux et des Produits agricoles dans les petites, les moyennes et les grandes exploitations, par M. G. HEUZÉ, inspecteur de l'agriculture. 1 vol. accomp. d'un Atlas de 16 pl. gr. in-8°. 7 fr.

— **Poêlier-Fumiste,** traitant de la construction des Cheminées de tous modèles, des Fourneaux et des Poêles en terre, de l'agencement et de la Tuyauterie des Fourneaux en maçonnerie et des Poêles en terre, en fonte et en tôle, et du Ramonage des divers appareils de Chauffage, par ARDENNI, J. DE FONTENELLE, F. MALEPEYRE et A. ROMAIN. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Serrurier**, ou Traité complet et simplifié de cet Art, traitant des Fers, des Combustibles, de l'Outillage, du Travail à l'atelier et sur place, de la Serrurerie du carrossage et des divers Travaux de Forge, par PAULIN-DÉSORMEAUX et H. LANDRIN. Nouvelle édition entièrement refondue par N. CHRYSSOCHOÏDÈS, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 106 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas de 16 pl. gravées sur acier. 5 fr.

MANUELS-RORET

NOUVEAU MANUEL COMPLET

DU

MAITRE DE FORGES

TRAITANT

Des Minerais de Fer; des Machines soufflantes et des Appareils à chauffer l'air; des Combustibles et Fondants; des Fours et Hauts Fourneaux; de l'Acier Bessemer et Martin; des Convertisseurs des Laminoirs et des différents Appareils employés pour le travail du Fer et de l'Acier.

NOUVELLE ÉDITION

PAR

N. CHRYSSOCHOÏDÈS

Ingénieur des Arts et Manufactures

Ouvrage orné de 312 figures dans le texte

TOME SECOND

PARIS

ENCYCLOPÉDIE-RORET

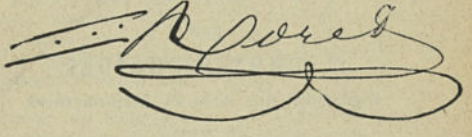
L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR

12, RUE HAUTEFEUILLE, VIe

1910

AVIS

Le mérite des ouvrages de l'**Encyclopédie-Roret** leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il porte la signature de l'Éditeur, qui se réserve le droit de le faire traduire dans toutes les langues, et de poursuivre, en vertu des lois, décrets et traités internationaux, toutes contrefaçons et toutes traductions faites au mépris de ses droits.



NOUVEAU MANUEL COMPLET

DU

MAITRE DE FORGES

TOME SECOND

DU TRAVAIL DU FER

CHAPITRE VIII

Réduction du minerai et production de la fonte

SOMMAIRE. — I. Description d'un haut fourneau. — II. Construction des hauts fourneaux.

La réduction du minerai de fer s'opère dans les fourneaux de fusion, appelés *flussofen* ou *blaseofen* par les Allemands, et *blast furnace* par les Anglais, à cause du vent qu'on est obligé d'y introduire, et *hauts fourneaux* par les Français, à cause de leur très grande hauteur.

Les premiers hauts fourneaux étaient alimentés avec du charbon de bois, il n'y a guère que dans

le courant du siècle dernier que les maîtres de forges anglais, vu la rareté croissante du bois, ont été forcés de multiplier les tentatives pour remplacer le combustible forestier par du combustible minéral.

Sur le continent, en 1767, dans la Saar, on a construit un haut fourneau marchant au coke, mais en réalité le premier haut fourneau marchant pratiquement et exclusivement au coke fut construit au Creusot en 1782.

I. DESCRIPTION D'UN HAUT FOURNEAU

Profils intérieurs de hauts fourneaux. Influence sur l'allure des appareils.

La forme intérieure d'un haut fourneau est analogue à celle d'un four à cuve dans lequel l'orifice supérieur ou *gueulard* sert à l'introduction des matières composant les lits de fusion et celles destinées à la production de la chaleur, charbon de bois, coke, etc. La combustion a lieu à la partie la plus basse de l'appareil au moyen du vent soufflé sur le combustible.

Comme on voit, il y a un mouvement en sens inverse des produits de la combustion d'une part, et des matières solides d'autre part, permettant un contact plus long entre les divers éléments. Les matières solides qui composent les lits de fusion absorbent aux gaz qui s'élèvent la plus grande partie de leur chaleur, les gaz ainsi refroidis sortent par le gueulard. Au contraire, les corps solides entraînent avec eux, vers le bas du four, la chaleur absorbée et la majeure partie de l'oxyde de

fer qu'ils renferment se réduit au contact de l'oxyde de carbone contenu dans les gaz, et le carbone solide complète, à haute température, la réduction et carbure le fer. On sait d'ailleurs que la réduction par le carbone solide absorbe plus de chaleur que celle due à l'oxyde de carbone ; il faut donc que cette dernière soit plus importante.

Le produit de la fusion s'accumule au-dessous des tuyères, et là il y a séparation naturelle en vertu de la différence de la densité de la fonte et du laitier. Le laitier ayant comme densité 2,8 surnage la fonte, dont la densité moyenne est 7,3.

Pour que l'opération de la réduction se fasse d'une façon régulière, il faut que les gaz soient plus uniformément répartis à travers la colonne des matières solides qui remplissent le haut fourneau ; il en résulte donc que le profil intérieur d'un haut fourneau doit être tel qu'il facilite, à la fois, la descente régulière du lit de fusion et la répartition uniforme des gaz ; il faut, par conséquent, que le vent envoyé par les tuyères pénètre jusqu'au centre de la section autour de laquelle sont placées les tuyères, et la vitesse de ce vent doit être en rapport avec le diamètre de cette section.

Le frottement des matières solides du lit de fusion contre les parois du haut fourneau a pour effet de retarder le mouvement de descente sur le pourtour, tandis que la partie centrale descend plus rapidement. Cette différence de vitesse produit un ameublissement à la circonférence et un tassement dans l'axe, et les gaz ont plus de tendance à passer vers la circonférence que vers le centre des sections horizontales.

De ce que nous venons de dire il faut conclure que la forme la plus simple d'un haut fourneau serait le cylindre, mais on s'écarte du but qu'on veut atteindre à mesure que les dimensions deviennent plus grandes ; il arrive alors que le vent rencontre beaucoup de difficulté pour atteindre le centre, et on est obligé d'augmenter sa vitesse, ce qui entraîne une dépense plus grande de force mécanique.

Les gaz ont plus de tendance à se rapprocher des parois dans une forme cylindrique que quand ils rencontrent, en montant, une section s'élargissant de plus en plus ; cette dernière forme, celle d'un cône reposant sur sa petite base, favorise donc l'égale répartition des gaz.

A partir d'un certain niveau, la colonne descendante diminue de volume par le ramollissement des matières du lit de fusion et par la transformation en gaz du combustible ; la descende sera donc, à partir de ce niveau, plus régulière, si la section se rétrécit de plus en plus. C'est à cause de cela que la plus petite section d'un haut fourneau est au niveau des tuyères.

La diminution de volume de la colonne descendante commence à une très grande profondeur au-dessous du gueulard, et il faudrait que l'élargissement de section à partir du niveau des tuyères ne se continue pas jusqu'au gueulard. Il faut donc limiter la forme d'entonnoir à la partie basse et l'arrêter au niveau où commence le ramollissement des matières du lit de fusion. A partir de cet endroit, l'expérience a démontré qu'il faut rétrécir les sections à mesure qu'on se rapproche du gueu-

lard, afin de diminuer les frottements et éviter les arrêts dans la descente des charges.

En tenant compte de toutes ces considérations, on est arrivé à la forme représentée figure 113, qu'on retrouve encore dans quelques contrées.

Elle se compose de deux troncs de cône A et B, ayant leur grande base commune qu'on appelle *le ventre*, le cône supérieur A porte le nom de *cuve*, celui B qui est au-dessous jusqu'au niveau des tuyères porte le nom d'*étalages*, enfin la partie au-dessous des tuyères constitue le *creuset*.

La descente des charges sera régulière, si la hauteur du ventre est telle que la diminution graduelle de section, du haut en bas, soit proportionnelle à la diminution progressive du volume des charges, due à la gazéification du combustible et à la fusion du minerai.

Souvent on donne au creuset une capacité plus grande que dans la disposition de la figure 113 ; tel est le cas de la figure 114. Si on veut avoir comme produit de la fonte grise, il faut provoquer une plus haute température dans la zone de fusion, immédiatement au-dessus des tuyères, afin d'assurer la réduction de la silice et la fluidité du métal. Aujourd'hui, on arrive à ces hautes températures en insufflant le vent chauffé préalablement. Autrefois, quand on ignorait les appareils de chauffage, on réalisait les mêmes hautes températures de fusion en conservant la section étroite sur une certaine hauteur au-dessus du niveau des tuyères, comme on le voit sur le schéma, figure 115. De cette façon, les gaz traversent cette partie avec une plus grande vitesse, y abandonnent par con-

séquent moins de chaleur et en apportent davantage dans la zone immédiatement supérieure. Cette partie rétrécie B au-dessus des tuyères porte le nom d'*ouvrage*. Plus cet ouvrage occupe de hau-

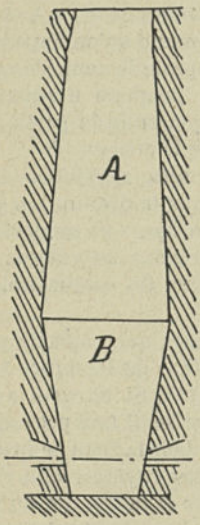


Fig. 113. Forme d'un haut fourneau.

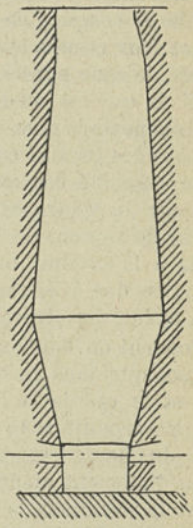


Fig. 114. Profil d'un haut fourneau avec creuset de plus grande capacité.

teur et est d'un faible diamètre, plus il est facile d'y maintenir une haute température ; mais en même temps la pression des gaz y est plus grande, et partant il faut dépenser plus de travail mécanique pour produire ce vent comprimé. En outre,

la pratique a démontré que la fusion des parois de l'ouvrage est d'autant plus rapide que cette partie du fourneau est plus étroite dans la partie pointillée (fig. 115) et s'élargit rapidement. Aussi on

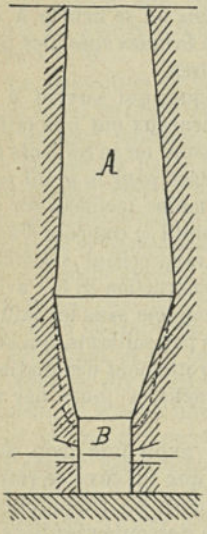


Fig. 115. Profil d'un haut fourneau avec ouvrage.

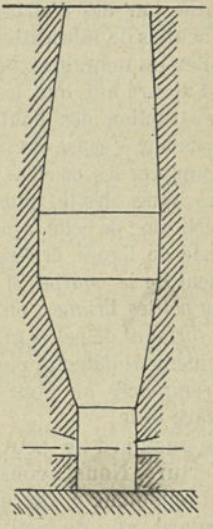


Fig. 116. Profil d'un haut fourneau avec ventre.

emploie aujourd'hui les mêmes profils pour la fonte blanche et la fonte grise, et avec des ouvrages bas ; le même appareil travaille indifféremment dans l'une ou l'autre allure. Souvent entre la cuve et les étalages, on intercale une petite partie cylin-

drique (fig. 116), qui a l'avantage d'empêcher toute variation brusque dans le profil, et partant une descente irrégulière des charges ; cette partie cylindrique porte également le nom de *ventre*.

On a été même plus loin en remplaçant les lignes droites par des courbes, mais on se heurte à des difficultés de fabrication des briques spéciales ou à tailler les matériaux ordinaires.

Aujourd'hui que les briques qui servent à la construction des hauts fourneaux ont une faible épaisseur à cause de la cuisson, on se contente de remplacer les courbes adoptées pour le profil par des lignes droites plus ou moins inclinées sur la verticale ; de cette façon le profil se compose d'une série de lignes brisées se rapprochant sensiblement de la courbe. Si la construction se fait avec des petites briques, on les emploie sans les tailler en formant de petits gradins peu saillants, qui sont rapidement détruits par le frottement des matières et remplacés au bout de quelques jours par une surface unie.

Le gueulard ne peut pas avoir une trop petite ouverture. Nous avons dit que la cuve se rétrécit graduellement à mesure qu'on se rapproche du gueulard, afin de faciliter la descente régulière des charges et rendre moins pénible le travail des chargeurs. Si ce rétrécissement devient trop grand, les gaz exigent une vitesse de sortie plus grande, et par conséquent il faut une dépense de force mécanique plus considérable. D'autre part, si les parois du fourneau sont trop inclinées, les charges s'étalent vite en laissant des vides le long des parois et par conséquent là où il faudrait plus de

compacité. Il a été également reconnu, en pratique, que les trop grands rétrécissements diminuaient la production du fourneau.

En Russie, on a construit certains hauts fourneaux ayant une section intérieure rectangulaire. Le ventre a $4,45 \times 2,77$, le fond de creuset $2,92 \times 0,70$.

La disposition du creuset divise encore les hauts fourneaux en deux classes bien distinctes. On dit qu'un haut fourneau est à *poitrine fermée* quand le creuset est fermé (fig. 117), en formant le prolongement vers le bas, de l'ouvrage ou des étalages. Dans ce cas, le creuset présente dans sa paroi latérale et immédiatement au-dessus de la sole un trou bouché avec du sable ou de la terre réfractaire qu'on ouvre de temps en temps, lorsque le moment est venu de couler la fonte ; c'est le *trou de coulée*.

Plus haut et un peu au-dessous du niveau des tuyères, et sur la paroi opposée à celle du trou de coulée, se trouve une autre ouverture plus petite, c'est le *trou de coulée du laitier*, par laquelle on fait couler celui-ci soit d'une façon continue, soit par intermittences. Cette disposition à poitrine fermée exige d'avoir des laitiers très fluides qui ne puissent pas adhérer aux parois et d'où il serait très difficile de les détacher, le seul moyen de visite étant les trous des tuyères.

Pour éviter donc toutes ces difficultés, on a imaginé le système à *poitrine ouverte*, dans lequel l'intérieur du creuset est facilement accessible. La figure 118 indique cette disposition. On établit en avant du creuset un barrage A, qu'on nomme *dame*, compris entre les parois latérales de celui-

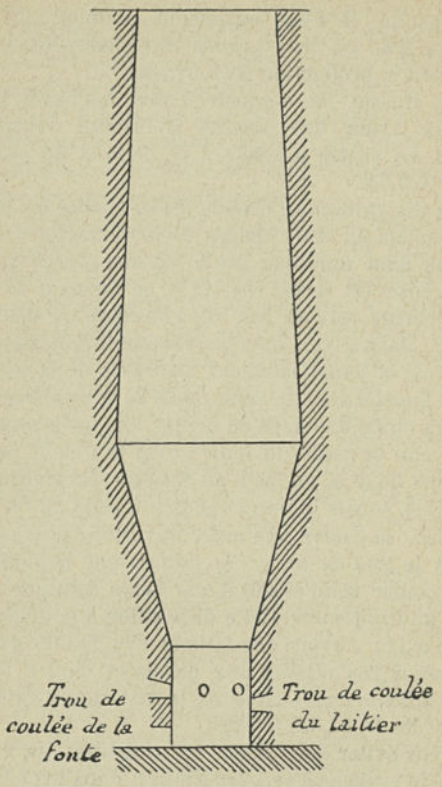


Fig. 117. Profil d'un haut fourneau à poitrine fermée.

ci prolongées en avant et appelées *costières*. La fonte est aussi bien retenue par cette disposi-

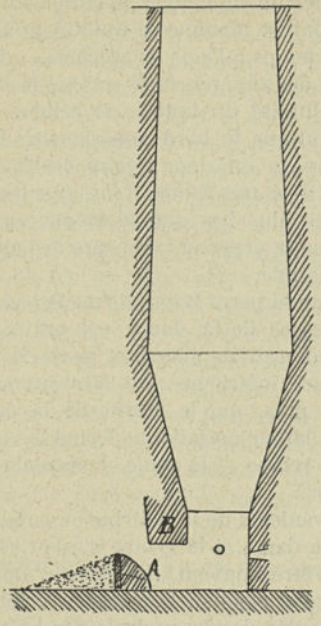


Fig. 118. Profil d'un haut fourneau à poitrine ouverte.

tion qu'avec la précédente, et l'intérieur est très accessible pour l'arrachement des matières solides à l'aide des outils qu'on peut introduire par-dessus la dame. Le trou de coulée est pratiqué dans la paroi de la dame et le laitier s'écoule librement par-dessus le bord de cette même dame. Si le laitier est très fluide, on fait un talus de sable dans

lequel on trace un sillon que le laitier suit ; si au contraire le laitier manque de fluidité, on l'arrache de temps en temps à l'aide de crochets.

Le niveau des tuyères au-dessus de la dame dépend de la fluidité du laitier ; si celui-ci est visqueux, il faut que le bord supérieur de la dame soit à un niveau inférieur à celui des tuyères ; si au contraire il est très fluide, il faut que les tuyères soient placées plus bas que le même bord de la dame afin que la pression intérieure de l'air chasse la matière liquide.

La partie de la paroi B qui forme le bas de l'ouvrage, au-dessus de la dame, est ordinairement d'un seul morceau de pierre et porte le nom de *tympe*. Sa face inférieure doit être au même niveau, à peu près, que le dessus de la dame, de façon que le laitier maintienne fermé le vide compris entre la tympe et la dame et empêche les gaz de s'échapper.

Les inconvénients de la poitrine ouverte sont les suivants : La dame et la tympe s'usent assez vite et exigent d'être souvent remplacées, opérations pénibles à faire pendant la marche du fourneau ; pendant la coulée, le niveau du laitier baisse naturellement, et la face inférieure de la tympe devient libre, il en résulte un inconvénient très grave et très fréquemment renouvelé, c'est que les gaz trouvent une issue vers le dehors en passant par-dessous la tympe, au risque de brûler les ouvriers ; il faut alors arrêter le vent. Quand la coulée est terminée, on remplit le creuset, bien nettoyé, de fraisil pour empêcher le vent de passer sous la tympe et on remet en marche.

Malgré ces précautions, la pression du vent peut déboucher cette fermeture du creuset, et il y a projection de combustible mélangé de laitier et de fonte dans l'intérieur de l'atelier. On dit alors que le fourneau se *débouche*. Il y a donc une perte de temps, une diminution de production et un refroidissement de l'ouvrage, qu'on ne peut éviter que par une augmentation du combustible consommé.

Dans certaines installations où l'arrêt du vent ne peut pas se faire, comme par exemple dans les installations où les gaz servent à chauffer des fours à puddler ou à souder, on obvie à cet inconvénient en couvrant la surface du laitier entre la dame et la tympe d'une couche épaisse de fraisil et de terre argileuse, sur laquelle on fait reposer une plaque de fonte ; le tout reste en place et ferme toute issue aux gaz non seulement pendant la coulée, mais encore jusqu'au moment où le nouveau laitier remplit l'avant-creuset et doit trouver un écoulement.

Détermination pratique du profil d'un haut fourneau

Il ne faut pas croire qu'il existe un type spécial de profil qu'on puisse adopter dans tous les cas ; il existe plusieurs hauts fourneaux placés dans des conditions identiques et ayant des profils différents les uns des autres, et qui donnent cependant d'excellents résultats. On a vu des hauts fourneaux dont le profil a été considérablement altéré par une longue campagne et qui ont continué à marcher à bonne allure. Malgré ce que nous venons de dire, il ressort des résultats de la pratique qu'il doit exister, entre les différentes parties d'un haut

fourneau, certaines proportions pour avoir un bon travail.

Volume du haut fourneau

La production d'un haut fourneau, c'est-à-dire la quantité de fonte qu'il peut donner dans l'unité de temps, dépend de son volume intérieur. Plus celui-ci est grand, plus grande aussi est la quantité de minerai qui peut se réduire et fondre. Les premiers hauts fourneaux marchant au charbon de bois n'avaient pas plus de 6 à 10 mètres cubes et ceux marchant au coke ne dépassaient pas 50 mètres cubes.

Plus tard, quand la demande de fonte est devenue plus pressante, on a construit des hauts fourneaux de volume plus considérable allant jusqu'à 1,165 mètres cubes. On n'a pas poussé plus loin, car on s'est aperçu que si la production augmente avec la capacité, cet accroissement n'est pas proportionnel à celui des volumes des appareils. Cela tient à ce que les gaz éprouvent plus de difficulté à traverser la colonne des charges, et le vent n'a pas toujours la pression voulue pour vaincre cette résistance.

Les grands hauts fourneaux produisent moins que les petits par mètre cube de capacité, parce qu'ils reçoivent moins de vent et, par conséquent, brûlent moins de combustible. Il existe, pour la quantité de charbon brûlé, un minimum correspondant à ce qui est strictement nécessaire pour la réduction de la fonte, et plus on s'approche de ce minimum, moins on gagne à chaque agrandissement de volume.

L'augmentation outre mesure du volume entraîne celle de la hauteur, et par conséquent occasionne une dépense plus grande. L'élévation des hauts fourneaux exige, en effet, un supplément de travail mécanique pour le montage des charges, pour la pression du vent qu'il faut insuffler. Il existe donc un maximum de volume qu'il ne faut pas dépasser. En Europe, et surtout en Allemagne, on se maintient entre 300 et 600 mètres cubes. En Amérique du Nord, les fourneaux marchant au coke ou à l'anthracite se trouvent dans les mêmes conditions. Dans le Cleveland, on atteint 750 mètres cubes.

Pour la détermination de la capacité d'un haut fourneau, on doit tenir compte de la nature du combustible ; plus il est friable et de combustion facile, plus le volume correspondant au meilleur rendement sera faible. Nous avons vu que pour un combustible de cette espèce, la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone dans les régions du fourneau est d'autant plus facile que le combustible est plus menu et plus inflammable et que son contact avec les gaz est plus prolongé, ce qui a lieu dans tous les hauts fourneaux de grande hauteur.

C'est pour cette raison que le volume des hauts fourneaux marchant au charbon de bois ne dépasse jamais 100 mètres cubes. Pour une raison de tassement, on doit tenir compte également de l'état physique des minerais à traiter. Ainsi les minerais menus exigent des hauts fourneaux de faible capacité à cause de la grande résistance que rencontrent les gaz à circuler.

Relation entre le diamètre et la hauteur d'un haut fourneau

Une grande hauteur H par rapport au diamètre D du ventre ou un trop grand diamètre par rapport à la hauteur provoque des graves inconvénients. Si le diamètre est trop petit, les gaz sont gênés dans leur mouvement ascensionnel, les charges descendent difficilement. Si le diamètre est au contraire trop grand, les charges descendent irrégulièrement en raison du frottement contre les parois, les matières qui se trouvent vers le milieu ne sont pas soumises au frottement et prennent par conséquent de l'avance sur les autres, les morceaux les plus lourds roulent vers le centre et s'y accumulent en s'opposant au passage des gaz et le combustible se réunit à la circonférence.

On a reconnu pratiquement que le rapport le plus favorable entre le diamètre au ventre et la hauteur doit être compris entre 1/3 et 1/4,5, ou encore :

$$3{,}2\,D < H < 3{,}6\,D$$

Nous avons dit que la forme élancée est favorable à l'économie du combustible, mais quand on fabrique de la fonte blanche, un grand diamètre présente moins d'inconvénients que si on fabriquait de la fonte grise.

Les hauts fourneaux actuels ne dépassent pas 32^{m} de hauteur avec 9,50 de diamètre au ventre ; la plupart de ceux qui marchent au coke ont 20 à 25^{m} de hauteur et de 5 à 6 de diamètre au ventre.

Diamètre du gueulard

Nous avons indiqué quels étaient les inconvénients d'un gueulard trop petit ou trop grand. La relation entre son diamètre et celui du ventre varie de 1 à 1/2 ; celle qui est la plus favorable est 3/4 ou 5/6, et le plus souvent on adopte 1/1,4.

Hauteur du ventre. Pente des étalages

La hauteur du ventre dépend de l'angle des étalages et de leur point de départ au-dessus des tuyères. Ordinairement, le ventre est situé à la moitié ou au tiers de la hauteur totale ; plus haut il serait nuisible à la régularité de l'allure. Les étalages ont pour but de raccorder la partie la plus large du fourneau avec la cuve pour régulariser la descente des charges. Dans les derniers modèles, on a adopté la pente de 70 à 75° et quelquefois même 80 degrés. Dans le Hartz on employait autrefois des étalages plats, mais il s'y produisait une sorte d'étalage artificiel avec du combustible sur lequel descendaient les matières solides, et les résultats obtenus étaient satisfaisants.

Ouvrage. Son diamètre et sa hauteur. Diamètre au niveau des tuyères

Plus la vitesse du vent est grande et plus on peut élargir l'ouvrage ; plus la température de ce vent est élevée et plus l'ouvrage peut être bas. Dans le plus grand nombre de hauts fourneaux le rapport entre le diamètre au niveau des tuyères

et celui du ventre est compris entre 1/1,5 et 1/2. C'est exceptionnel d'avoir un diamètre de creuset supérieur à 4^m. Quand le vent insufflé est chaud, l'ouvrage devient inutile et les étalages commencent immédiatement au-dessus des tuyères ; on le conserve cependant quand on veut fabriquer de la fonte grise au charbon de bois. La hauteur de l'ouvrage est inférieure au huitième de la hauteur totale, à partir du fond du creuset.

Tuyères. Disposition de leurs ouvertures.

La hauteur des tuyères au-dessus de la sole du creuset a une grande influence sur la production d'un haut fourneau ; c'est de cette hauteur que dépend la quantité de fonte qu'on peut laisser s'accumuler dans le creuset avant de couler. Dans cette capacité ne se produit plus aucune réaction de réduction du minerai, ni fusion de la fonte et des gangues. D'un autre côté, on ne peut pas augmenter cette hauteur outre mesure, car alors la fonte n'est plus assez chaude et risque de s'y solidifier ; on doit donc tenir compte de ces deux considérations pour la détermination de la position des tuyères.

Dans les premiers hauts fourneaux au bois on plaçait une seule tuyère ; plus tard on s'est imposé de distribuer le vent d'une façon plus rationnelle afin d'avoir une combustion plus régulière dans toute la section, et on a placé plusieurs tuyères. De cette façon, le contact de l'air et du combustible est plus intime et on évite de laisser de l'oxygène inutilisé ou de l'acide carbonique non réduit.

Dans les petits hauts fourneaux on place donc

deux ou trois tuyères, et dans les grands on va même jusqu'à douze. Il y a pourtant une limite à cela, car il faut laisser entre deux tuyères consécutives un massif plein suffisant pour porter le poids de la construction supérieure. En outre, il se produit un encombrement des abords du haut fourneau.

On prend l'habitude de placer, pour les hauts fourneaux à poitrine fermée, autant de tuyères qu'il y a de mètres dans la circonférence intérieure de l'ouvrage à ce niveau ; si par exemple on a un diamètre de 3 mètres, c'est-à-dire une circonférence de $9^{m}42$, on placera neuf ou dix tuyères dont l'une sera du système Lürmann dans les fourneaux à poitrine fermée, ou sera remplacée par l'avant-creuset dans ceux à poitrine ouverte.

La répartition des tuyères doit être uniforme sur la circonférence si l'on veut avoir une distribution régulière du vent ; malheureusement, dans la pratique on ne peut pas toujours faire ainsi, à cause des constructions extérieures du haut fourneau, de la présence d'un avant-creuset, etc. Certains ingénieurs redoutent cette disposition symétrique à cause du choc qui peut se produire entre les deux courants d'air opposés. On évite cela en plaçant un nombre impair de tuyères ou encore en ne dirigeant pas les tuyères vers le centre.

Afin que les lecteurs puissent se faire une idée exacte des variations de formes et de dimensions des hauts fourneaux, nous donnons ci-après les profils de quelques hauts fourneaux modernes avec leurs dimensions.

La figure 119 représente un haut fourneau au

charbon de bois de Rubeland (Hartz), sa capacité est de 35 mètres cubes.

La figure 120 est celle du haut fourneau n° 3, de Vordenberg (Styrie), marchant au charbon de bois et mis en feu en 1895. C'est le plus grand des hauts fourneaux au charbon de bois du continent euro-

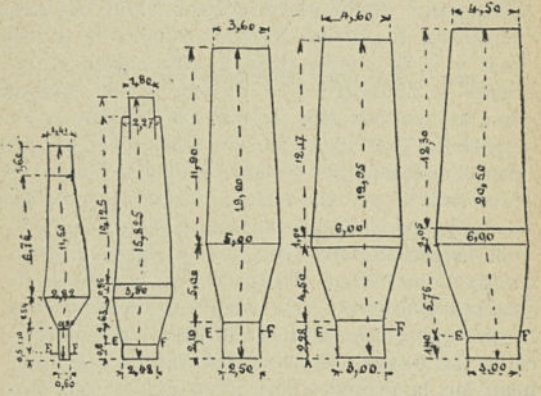


Fig. 119. Fig. 120. Fig. 121. Fig. 122. Fig. 123.

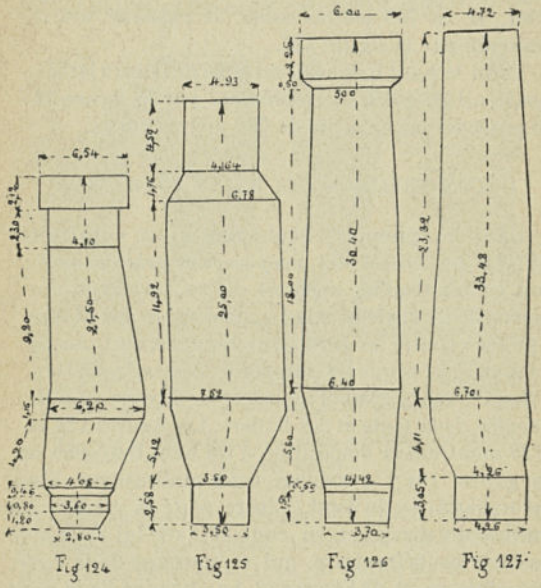
Profils de quelques hauts fourneaux modernes avec leurs dimensions.

péen, avec prise de gaz ; sa capacité est de 113 mètres cubes.

La figure 121 représente le haut fourneau au coke de Charlottenhutte (Siegen), d'une capacité de 250 mètres cubes.

La figure 122 est celle du haut fourneau au coke d'Ilsede ; sa capacité est de 400 mètres cubes.

La figure 123 indique le dispositif adopté pour le haut fourneau n° 2 au coke de Marienhutte, d'une capacité de 420 mètres cubes.



Profils de quelques hauts fourneaux modernes avec leurs dimensions.

La figure 124 est celle du haut fourneau au coke n° 2 de Donawitz (Styrie), de 440 mètres cubes de capacité.

La figure 125 représente le haut fourneau au

coke n° 6 de Newportronworks près Middlesborough, mis en feu en 1897, de 760 mètres cubes de capacité.

Le haut fourneau d'Eisenerz (Styrie), terminé en 1901, et de 730 mètres cubes de capacité, est représenté par la figure 126.

Enfin le haut fourneau au coke de Lorain (Ohio), construit en 1899, est représenté par la figure 127 et possède une capacité de 750 mètres cubes.

II. CONSTRUCTION DES HAUTS FOURNEAUX

Dans les premiers hauts fourneaux construits (1716), on faisait des maçonneries très épaisses ; on estimait qu'un appareil où se développe une quantité de chaleur aussi considérable devait être protégé contre les pertes par rayonnement, on ne laissait libres que les ouvertures nécessaires à l'entrée du vent, à la surveillance des tuyères et à la coulée de la fonte et des laitiers. Les figures 128 et 129 montrent la disposition d'un haut fourneau de ce genre. On y a ménagé deux embrasures, l'une pour l'arrivée du vent, l'autre pour la coulée. Au milieu du massif et en contact avec lui se trouve la chemise réfractaire, qui se compose de la cuve, des étalages et de l'ouvrage. La chemise de la cuve est donc supportée par le massif et ne charge pas de son poids les étalages et l'ouvrage. Ces deux dernières parties du haut fourneau se construisaient quand la cuve était terminée ; on faisait donc à cette époque comme l'on fait aujourd'hui.

Jusqu'en 1850, on construisit les hauts fourneaux d'après ces principes, mais depuis on y a

apporté des modifications. Les figures 130 et 131 représentent un haut fourneau à trois tuyères et à poitrine ouverte avec *massif* ou *masse*. Sur des fondations solides traversées par deux galeries A perpendiculaires entre elles, on établit quatre piliers

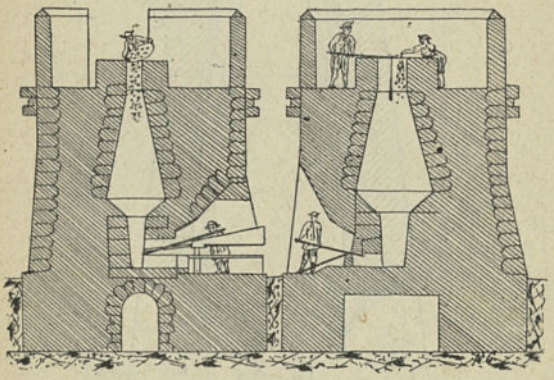


Fig. 128 et 129. Haut fourneau au commencement du XVIIe siècle.

d'angles en pierres de taille, dits *piliers de cœur*, les embrasures qui restent entre eux sont réservées pour les tuyères et le trou de coulée de la fonte et du laitier. Quand on ne place pas trois tuyères, on supprime l'embrasure opposée au travail en la condamnant par un mur. Si on veut augmenter le nombre des tuyères, on les dispose deux à deux dans chaque embrasure. Pour faciliter l'accès des tuyères sans faire le tour des massifs, on réserve dans les piliers de cœur des passages.

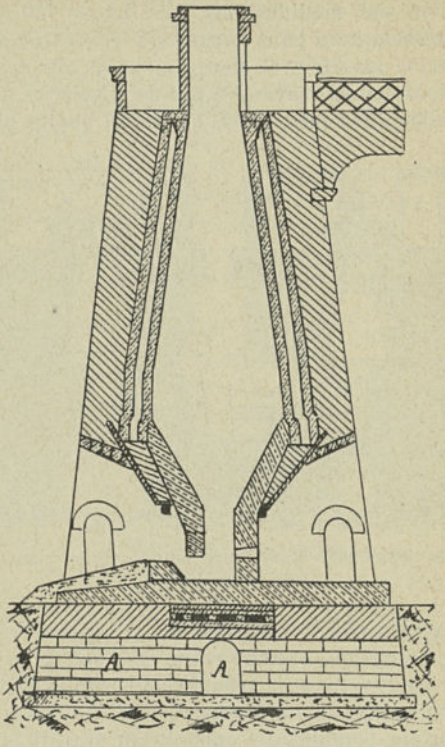


Fig. 130. Haut fourneau avec massif et à trois tuyères (1850) (coupe verticale).

A une certaine hauteur au-dessus du sol, on réunit entre eux les piliers par des voûtes ou des

poutres en fonte dites *marâtres*, disposées en gradins renversés. C'est sur ces voûtes ou marâtres que repose le massif qui enveloppe le haut fourneau ; ce massif se rétrécit à la partie supérieure sous la forme d'un tronc de pyramide carrée. Pour

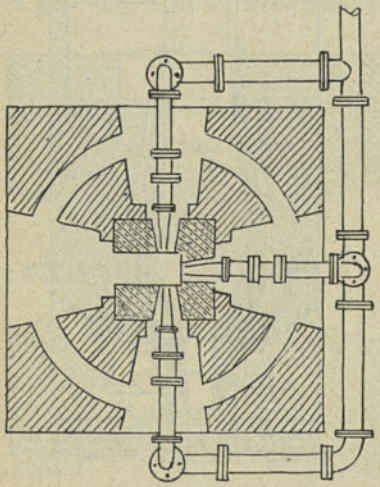


Fig. 131. Haut fourneau avec massif et à trois tuyères (1850) (vue de plan).

faciliter le séchage du massif, on y ménage de nombreux canaux verticaux et horizontaux aboutissant à l'extérieur ; souvent on faisait de même sous le creuset en le mettant en communication avec ceux des piliers. Des tirants en fer disposés

convenablement avaient pour mission de s'opposer à la production de fissures.

Les premiers hauts fourneaux avaient leur cuve en briques réfractaires en contact direct avec le massif ; plus tard, on a isolé complètement la che-

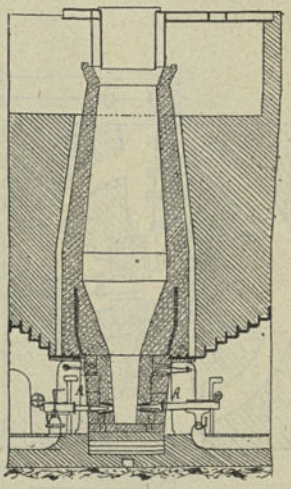


Fig. 132. Haut fourneau de Rothehutte (1867) (coupe verticale).

mise réfractaire du massif et l'espace annulaire vide qui existe entre eux deux est rempli de poussiers de charbon ou de terre réfractaire ; on obtenait ainsi la libre dilatation des matériaux et on évitait les pertes par rayonnement (fig. 130). Dans certains cas, on laisse un autre intervalle entre

la fausse chemise et le massif enveloppant ; les deux chemises reposent sur le massif et sont complètement indépendantes de l'ouvrage et des étalages.

Dans les hauts fourneaux au charbon de bois produisant de la fonte grise, l'ouvrage était construit avec des blocs de grès aussi gros que

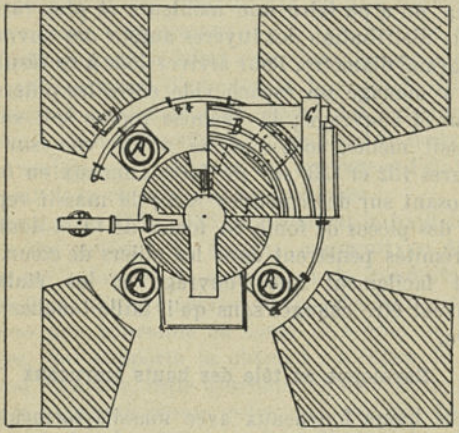


Fig. 133. Haut fourneau de Rothehutte (1867) (vue de plan).

possible et bien dressés. Dans les fourneaux au coke, où la chaleur est forte, on remplace les grès par des briques réfractaires, qui résistent mieux à la corrosion des laitiers plus basiques.

Dans les premiers hauts fourneaux au bois, l'ouvrage est enveloppé complètement par le massif et

n'est accessible qu'au droit de chaque tuyère et du côté de l'ouverture de travail ; il était donc impossible de refroidir les parois et faire les réparations en marche. Dès qu'on a commencé à se servir du vent chaud, la température s'est accrue considérablement et il a fallu supprimer le massif autour de l'ouvrâge de façon à le rafraîchir et pouvoir le réparer, au besoin, en cours de route. Du même coup, on a pu faire une meilleure et plus rationnelle distribution des tuyères autour des ouvrages de grand diamètre. Pour arriver donc à ce résultat, on a ménagé un espace vide entre les piliers de cœur et l'ouvrage ; la chemise repose soit sur le massif même, soit, comme on le voit sur les figures 132 et 133, sur de forts anneaux en fonte reposant sur des colonnes A A ; le massif repose sur des pièces de fonte en forme de ⊔ et dont les extrémités pénètrent dans les piliers de cœur. On voit facilement que l'ouvrage et les étalages peuvent être changés sans qu'il faille toucher à la cuve.

Enveloppe en tôle des hauts fourneaux

Les hauts fourneaux avec massifs forment un ensemble lourd et bien coûteux ; dès que la consommation de la fonte s'est accrue et qu'on a été obligé d'augmenter la capacité des hauts fourneaux, on a dû couper court avec le mode de construction des anciens maîtres de forges. C'est ainsi qu'en Ecosse on a réduit fortement l'épaisseur du massif enveloppant le fourneau et on a fini par le supprimer complètement en faisant reposer les deux chemises ou la chemise sur un anneau en

fonte porté par des colonnes et entourant la maçonnerie d'une enveloppe en tôle.

On désigna immédiatement sous le nom de *fourneaux écossais* ces sortes de hauts fourneaux et on a reconnu qu'ils étaient plus économiques de construction, plus durables et d'un accès plus facile pour les réparations en marche. Grand nombre de maîtres de forges craignaient une grande consommation de combustible et une mauvaise allure, mais leur crainte ne s'est pas réalisée. Sur le continent, on a laissé s'écouler une période de dix années avant d'adopter le type du fourneau écossais et on construisait encore des hauts fourneaux avec des massifs en empruntant au nouveau type seulement l'isolement de l'ouvrage et l'établissement de la chemise sur des colonnes.

Les figures 134 et 135 représentent le haut fourneau des aciéries de Denain, construit en 1884. Sur les colonnes A supportant la conduite du vent B par l'intermédiaire de consoles boulonnées, repose une couronne en fonte C, munie de nervures, qui supporte la chemise ; à cause de son grand diamètre, cette couronne est formée de plusieurs segments réunis entre eux par des frettes posées à chaud et fixées sur les colonnes. Avant de rien construire, on établit la chemise en tôle qu'on appuie sur la couronne ; on la fait avec des tôles d'épaisseur allant en décroissant de 20 à 10 millimètres, rivées les unes aux autres. Souvent on boulonne les tôles des rangs inférieurs afin de pouvoir défaire une feuille quelconque et faire une réparation urgente en cours de marche. Chaque feuille porte, rivées sur ses quatres côtés, des cor-

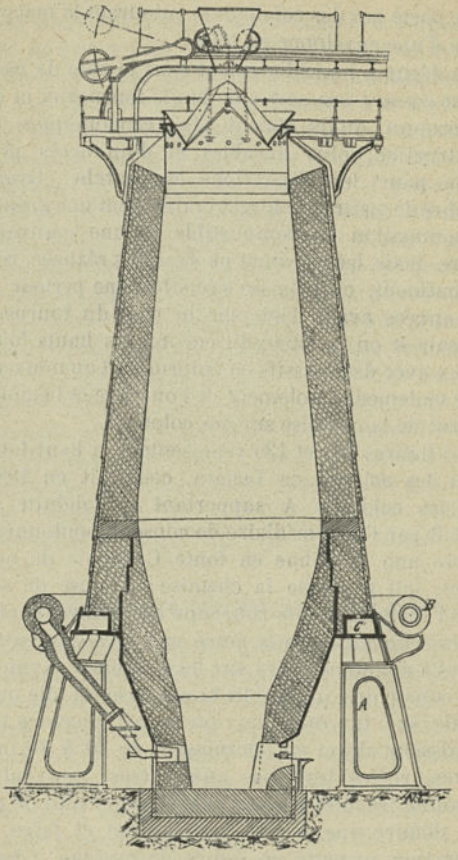


Fig. 134. Haut fourneau avec chemise en tôle, des aciéries de Denain (1884) (coupe verticale).

nières d'assemblage ; la partie supérieure de cette chemise porte de fortes et larges consoles en tôle pour supporter la plate-forme du gueulard.

On laisse un espace de 10 à 20 centimètres complètement vide ou rempli de matières compressibles, pour parer à la dilatation des maçonneries.

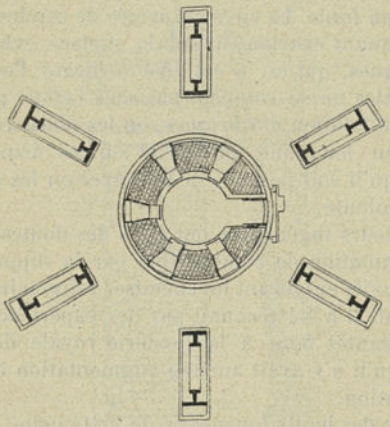


Fig 135. Haut fourneau avec chemise en tôle, des aciéries de Denain (1884) (vue en plan).

Ce vide doit être largement calculé car, s'il était insuffisant ou si les matières dont il est rempli résistent à l'écrasement, l'enveloppe même la plus forte peut être déchirée.

La disposition avec enveloppe en tôle rend l'accès de la maçonnerie très difficile et on a reconnu qu'une armature à claire-voie maintient

la maçonnerie aussi bien qu'une enveloppe continue, et c'est ainsi qu'on a été amené à adopter un mode de construction avec chemise entièrement nue, armée seulement au moyen de barres de fer.

La figure 136 représente un haut fourneau de ce type. La cuve repose sur huit colonnes en fonte disposées en cercle et supportant une couronne en fonte. La cuve est armée de cercles en fer s'appliquant exactement sur la surface extérieure de briques, qui est à cet effet verticale. Pour que les cercles ne se rompent pas sous l'effort produit par la dilatation des briques, on les place avant la mise en feu sans tension et on les dispose de façon qu'il soit possible de les serrer ou les desserrer à volonté.

Plusieurs ingénieurs ont émis des doutes sur la consommation de combustible par la suppression des massifs entourant les chemises réfractaires. Cependant, il a été reconnu par des expériences très intéressantes faites à la fonderie royale de Gleiwitz, qu'il n'y avait aucune augmentation de consommation.

Deux des hauts fourneaux de cette usine étaient enveloppés d'un massif qui entourait la cuve et l'ouvrage ; sur l'un d'eux on le supprima depuis le gueulard jusqu'à une très faible hauteur au-dessus du ventre ; l'ouvrage fut également dégagé. La partie du massif conservée pour servir de base à la construction formait aux étalages une ceinture de 3m50 de hauteur, séparée de la paroi du fourneau par un espace libre de 0m47 de largeur. Il s'établissait alors dans cet intervalle un vif courant d'air qui refroidissait la paroi du fourneau,

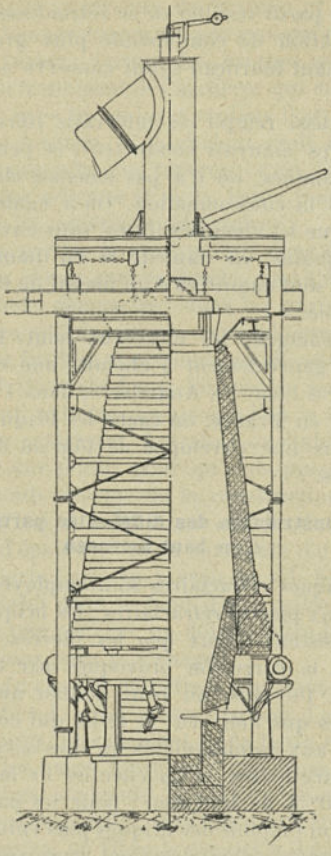


Fig. 136. Haut fourneau à chemise nue armée de cercles en fer.

sans qu'il parût résulter de ce refroidissement une consommation de combustible plus grande que celle du haut fourneau ayant conservé son massif intact.

On a aussi rempli cet intervalle libre avec du coke, corps mauvais conducteur, et pendant plusieurs semaines, on n'a pas constaté de diminution dans la consommation. On a également remarqué que les chemises libres, sans enveloppe, se dilatent moins, en hauteur et en diamètre, que celles qui sont entourées d'un massif ou d'une ceinture en tôle.

En Allemagne, les nouveaux hauts fourneaux sont très généralement à chemise nue et se comportent très bien. En Angleterre, dans l'Amérique du Nord, en France, on cache les briques réfractaires sous une enveloppe de tôle ou de briques ordinaires.

Construction des différentes parties d'un haut fourneau

Les briques réfractaires sont employées de préférence aux pierres réfractaires ; les briques réfractaires résistent mieux que les pierres, plus siliceuses, à la corrosion provoquée par les laitiers basiques. De plus, on peut donner aux briques les formes que l'on veut et celles qui conviennent le mieux aux emplacements qu'elles occupent. Les briques argileuses de la chemise de la cuve ont environ 0m 35 de longueur ; pour les parties inférieures, on emploie des briques plus volumineuses.

Les briques réfractaires sont soumises à des actions diverses suivant la région qu'elles occupent ;

dans la partie supérieure de la cuve et jusqu'au ventre, la température n'est pas excessive et il n'y a pas de fusion ; l'usure des briques se produit donc par le frottement des matières qui composent la charge ; dans les étalages et dans l'ouvrage, les silicates se forment et la chaleur croît à mesure qu'on se rapproche des tuyères ; c'est l'action simultanée des silicates et de la haute température qui détruit les matériaux réfractaires.

Dans les parties hautes on doit donc employer des briques d'une grande dureté, c'est-à-dire argileuses et bien compactes ; dans les parties où la température est plus élevée on emploiera des briques moins fusibles et prenant peu de retrait.

Les fondations des hauts fourneaux sont considérablement réduites depuis que l'on a supprimé les massifs extérieurs. Autrefois on établissait les fondations sur pilotis pour qu'elles puissent supporter le poids énorme de la construction, tandis qu'aujourd'hui il suffit d'une couche de béton de 0,75 à 1^{m} d'épaisseur qu'on surmonte d'un massif en maçonnerie jusqu'au niveau du sol. Si le fourneau est établi dans le fond d'une vallée, comme cela arrive très souvent, on doit prendre beaucoup de précautions pour le séchage.

Le fond du creuset doit être à une hauteur telle, au-dessus du sol, qu'on puisse disposer d'une pente suffisante pour l'écoulement de la fonte et du laitier. Dans les hauts fourneaux modernes, le fond est à 3 mètres au-dessus du sol pour la coulée en gueuses sous une halle ; si la fonte doit être coulée dans une poche, on élève le creuset à 5 mètres au-dessus du sol. Une plate-forme entourant le haut

fourneau jusqu'à la même hauteur rend facile la visite des tuyères, les manœuvres de la coulée et l'évacuation des laitiers. C'est cette disposition qu'on voit sur la figure 136. Un escalier permet d'accéder à cette plate-forme.

L'inconvénient de cette disposition, c'est que le fond du haut fourneau se détruit rapidement, n'étant pas refroidi ni par l'air ni par les arrosages. M. Lürmann a proposé de construire le fond du creuset de façon à être constamment rafraîchi. Les briques du fond du creuset sont maintenues par une armature de tôle ou par des barres de fer pour qu'elles puissent résister à la pression de la maçonnerie supérieure. Pour que le fond lui-même soit refroidi par-dessous, on l'établit sur une forte plaque de fer portée par des poutrelles métalliques. La figure 137 représente le haut fourneau de Donawitz, construit en 1890 sur le projet de M. Lürmann. Le fond est dans une cuve en tôle. Le massif de fondation n'étant pas assez large pour former plate-forme de service, on dispose un plancher métallique boulonné aux colonnes qui supportent la partie haute du fourneau.

Les pièces réfractaires qui forment le fond doivent être appareillées de façon qu'il ne se produise pas de fuites entre les joints et que ces pièces se maintiennent les unes les autres et résistent à la poussée d'en bas, qui les soulèverait, si la fonte, plus dense, venait à pénétrer par-dessous.

Pour toutes ces raisons, on prépare la brique du centre en forme de coin et toutes les autres en voussoirs, de manière à constituer la sole comme une voûte plate renversée (fig. 137). Les dernières

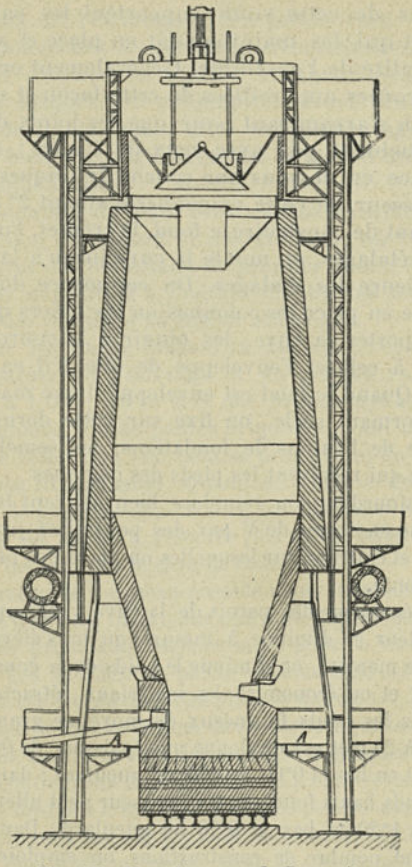


Fig. 137. Haut fourneau de Donawitz.

briques de cette voûte supportent les parois du creuset qui les maintiennent en place et assurent la stabilité de l'ensemble. Généralement on établit deux voûtes appareillées de cette façon et superposées, en s'arrangeant pour que les joints de l'une ne coïncident pas avec ceux de l'autre ; souvent on place en dessous une couche de briques à plat. L'épaisseur de cette maçonnerie atteint 2^m à 2^m50.

Avant de construire le fond, le creuset, l'ouvrage et les étalages, on monte la cuve jusqu'à la partie supérieure des étalages. On commence donc par mettre en place les colonnes ou les piliers qui doivent porter la cuve, les réunir à la couronne et fixer à celle-ci l'enveloppe de tôle, s'il en existe une. Quand le fond est enveloppé d'une maçonnerie formant socle, on fixe sur cette dernière, à l'aide de boulons de fondations, les semelles en fonte qui reçoivent les pieds des colonnes.

Aujourd'hui on remplace bien souvent la couronne en forme de V par des poutrelles juxtaposées et cintrées, sur lesquelles on place des plaques en fonte.

L'épaisseur des parois de la cuve varie avec la hauteur et diminue à mesure qu'on s'élève ; de cette manière, on diminue le poids de la construction et on économise les matériaux réfractaires. Dans les hauts fourneaux de moyenne grandeur (15 à 20 mètres) on donne une épaisseur de 0^m75 à 0^m90 en bas et 0^m60 à 0^m70 au gueulard ; dans les grands hauts fourneaux, l'épaisseur peut aller jusqu'à 1^m20 en bas et 0^m70 au gueulard. Dans un grand nombre de constructions, on emploie des briques de grandes dimensions, ayant toute l'é-

paisseur de l'enveloppe, les joints étant dirigés dans le sens des rayons de la circonférence.

Dans d'autres on établit la chemise avec des petites briques qui présentent, il est vrai, beaucoup de joints, mais elles ont l'avantage d'être cuites bien plus régulièrement et sont d'un maniement plus facile.

Le montage du haut fourneau se termine par la confection du creuset et des étalages, où l'on doit employer des matériaux de premier choix, à cause de leur exposition à l'action des hautes températures des matières en fusion et des gaz.

Pour les hauts fourneaux au coke, l'épaisseur des parois de l'ouvrage et du creuset varie de 0,900 à 1,000 ; on se sert des briques ayant toute la longueur, ou de petites briques, suivant la qualité de celles que l'on peut se procurer et de la nature du lit de fusion. Quand on emploie des briques de grandes dimensions, on doit calculer leur forme de façon à réserver les trous nécessaires pour les tuyères, le trou de coulée, etc.

Lorsque le fourneau possède un avant-creuset, la dame doit être maintenue entre les deux costières, qui se prolongent suffisamment pour la recevoir (fig. 138 et 139). La partie antérieure de ces costières est munie de fortes plaques de fonte A, auxquelles on donne le nom de *gendarmes*, qui les protègent contre le choc des outils. Ces plaques sont percées de trous dans lesquels on fixe de forts crochets destinés à soutenir les outils pesants dont on est exposé à se servir ; elles sont assujetties, soit par des boulons scellés dans la maçonnerie de l'ouvrage, soit par des bandes de fer qui entourent

celui-ci. Deux tirants relient entre elles ces deux plaques en haut et en bas. C'est sur ces gendarmes que l'on attache la plaque de dame B au moyen de crochets à clavette ou de toute autre façon ; cette plaque porte également le nom de *dame* ou de *robinet*.

Lorsque le laitier est assez fluide pour couler de

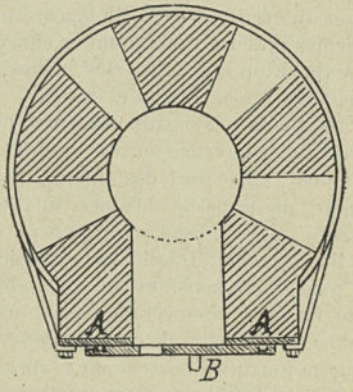


Fig. 138. Creuset d'un haut fourneau à poitrine ouverte (coupe horizontale).

lui-même, comme cela arrive dans les hauts fourneaux au coke et dans ceux marchant au charbon de bois pour fonte blanche, la plaque de dame porte une échancrure C, dite *le bec*, par laquelle passe ce laitier ; ce bec est ménagé du côté opposé à celui de la coulée D.

Dans les petits hauts fourneaux au bois, l'avant-creuset a la largeur du creuset lui-même, et dans

le cas où celui-ci est rectangulaire, il est très facile d'en atteindre toutes les parties et principalement les tuyères où les masses solidifiées peuvent s'accumuler. Dans les grands hauts fourneaux on donne rarement plus de un mètre d'écartement entre les costières; on dispose là de températures très élevées et se produisent rarement des masses solidifiées.

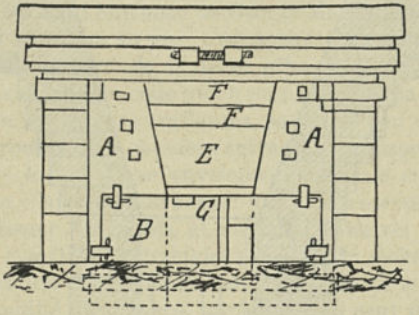


Fig. 139. Creuset, ouvrage, dame et tympe.

La tympe E est construite comme une voûte plate en briques ayant la forme de voussoirs ; elle bute de chaque côté sur les parois de l'ouvrage où l'on a ménagé des faces inclinées qui servent de naissance à cette voûte. L'ouverture destinée à recevoir la tympe a généralement plus de hauteur que la tympe elle-même, et l'intervalle se remplit avec des briques F.

Le *tymplon* ou fer de tympe G (fig. 140) a pour but de protéger le dessous et quelquefois le dedans de la tympe,

La disposition des étalages se voit sur la figure 140; ordinairement la dernière assise est taillée en biseau ; il est préférable cependant d'adopter l'arran-

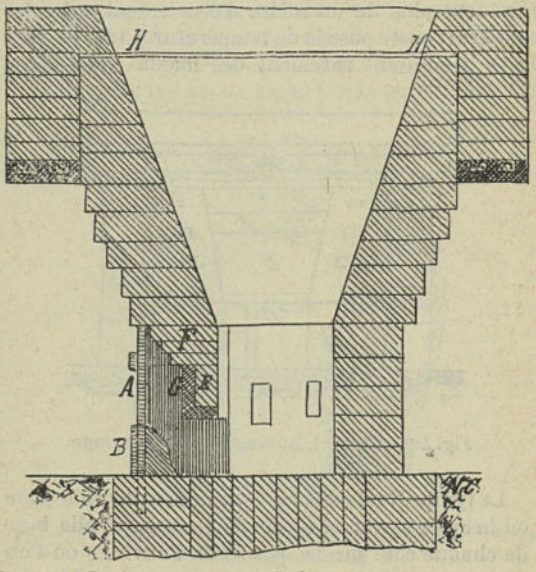


Fig. 140. Creuset, ouvrage et étalages d'un haut fourneau.

gement où cette dernière assise laisse un joint libre qui se ferme lui-même par suite de la dilatation de l'ouvrage. Dans certains cas, les étalages entièrement dégagés sont entourés de cercles de fer qui ont pour but d'empêcher les briques de s'écarter sous la poussée des charges; dans ce cas le poids

des étalages est supporté par l'ouvrage et le creuset ; mais l'ouvrage est affaibli par les nombreuses ouvertures qu'on y ménage, et le creuset se détruit lentement par la chaleur et il peut arriver qu'il succombe sous le poids qu'il doit supporter. On évite ce danger et on soulage l'ouvrage et le creuset en entourant les étalages d'une chemise en tôle. Ce système a été appliqué pour la première fois dans un haut fourneau de George-Marienhutte.

Les ouvrages en *pisé*, c'est-à-dire ceux qu'on obtient en damant de la terre réfractaire de même composition que celle qu'on emploie pour la fabrication des briques argileuses, sont très peu usités. On procède de la manière suivante : on dispose un moule formé d'une enveloppe extérieure et d'un noyau, laissant entre eux un vide représentant l'épaisseur des parois, et on dame dans cet intervalle le mélange réfractaire préparé ; on sèche avec précaution et on chauffe jusqu'à ce que toute trace d'humidité ait disparu, après quoi on peut mettre le fourneau en feu.

Ces ouvrages en pisé étaient très employés avant qu'on sache fabriquer de bonnes briques ; ils présentent l'avantage de donner des parois de fourneau sans aucun joint, mais il faut une très grande habileté et avoir de la bonne terre réfractaire. De plus, comme la cuisson ne s'effectuait à fond que pendant la pleine marche du fourneau, elle donnait lieu à des fissures pouvant être dangereusement placées.

Pour la préparation du pisé on utilise les débris de celui qui a déjà servi et qu'on retire de la démolition d'un ouvrage mis hors de service ; on

broie cette matière, on la crible et on y mélange la quantité de terre réfractaire neuve et de matières amaigrissantes convenable pour obtenir une cohésion suffisante et remplacer les parties de pisé fondues ou altérées ; on humecte le tout avec de l'eau et on opère le mélange, soit avec les pieds sur une aire en planches préparée, soit au moyen de machines. La proportion d'eau doit être telle que la pâte prenne corps lorsqu'on la presse entre les doigts, sans y adhérer.

On commence d'abord par préparer la sole ; pour cela on élève tout autour un mur en briques qui forme l'enceinte dans laquelle elle sera battue ; on jette, dans le bassin ainsi formé, une couche de plusieurs centimètres de pisé que l'on étend sur toute la surface et on foule la matière avec des battes en fer munies de manches en bois et qu'on a préalablement chauffées légèrement ; on arrête le battage lorsque les clous des souliers ne laissent plus d'empreinte sur la surface ; on pique alors celle-ci de nombreux petits trous pour que la nouvelle couche y adhère, et on continue ainsi jusqu'à ce que la sole ait atteint la hauteur voulue.

Pour le creuset et l'ouvrage, on commence également par élever un mur en briques qui forme l'enceinte extérieure, puis on dispose au milieu le noyau représentant le vide du fourneau ; le pisé est ensuite bourré dans l'intervalle compris entre le mur en briques et le noyau, de la même façon que pour la sole ; pour plus de facilité, on construit le noyau en plusieurs pièces qui se superposent et qu'on peut facilement enlever une fois le travail terminé.

Quand tout est prêt, on place la dame qui peut être aussi en pisé, puis on procède au séchage graduel ; à cet effet, on entretient un feu devant le creuset pendant plusieurs semaines ; un séchage précipité produirait des crevasses ou des écailles de matière soulevées par le dégagement de la vapeur d'eau ; une fois l'eau complètement vaporisée on peut élever la température en plaçant le foyer dans le fourneau lui-même et procéder au chauffage qui constitue la première partie de l'opération que nous décrivons plus loin sous le nom de *mise en feu*.

Appareils réfrigérants

La température des parois des hauts fourneaux, surtout dans la zone de combustion, est très élevée, et l'introduction du vent chauffé augmente les effets de fusion et de corrosion qui résultent de leur situation. On a donc été conduit à les refroidir extérieurement et à adopter, pour atteindre ce but, différentes dispositions basées toutes sur l'emploi de l'eau, car la circulation de l'air serait insuffisante.

Pour arriver à un bon résultat, on doit disposer, à un niveau supérieur à tous les points qu'il s'agit de rafraîchir, un bassin de capacité suffisante que l'on maintient constamment plein d'eau et d'où partent toutes les conduites de distribution qui aboutissent aux points voulus. Une autre conduite d'évacuation emmène les eaux chaudes.

Il n'y a pas de règle générale pour l'application des appareils réfrigérants, car la température des parois de hauts fourneaux varie naturellement

d'un appareil à l'autre, suivant que le vent y est plus ou moins chauffé, qu'on y fabrique telle ou telle fonte ; qu'on y emploie tel ou tel combustible ; il faut donc étudier chaque cas en particulier

Les parties d'un haut fourneau qui ont besoin d'être rafraîchies sont : les tuyères, le trou de laitier, le trou de coulée, la tympe, l'ouvrage et le creuset.

Tuyères. — C'est aux tuyères d'abord qu'on a été amené à disposer des appareils réfrigérants ; tant qu'on employait le vent froid pour le soufflage des hauts fourneaux, les tuyères étaient formées de simples ajutages coniques dont l'extrémité la plus étroite était dirigée vers l'intérieur de l'ouvrage ; on les logeait dans les ouvertures ménagées dans les parois de l'ouvrage et on les calait au moyen d'un bourrage en terre réfractaire ; avec le soufflage à vent chaud, la combustion est plus énergique et plus voisine de l'extrémité des tuyères, celles-ci fondaient au bout de quelques heures et il a fallu adopter une autre disposition.

C'est ainsi qu'on est arrivé aujourd'hui à établir des tuyères à circulation d'eau (fig. 141). C'est la disposition la plus fréquemment employée ; la tuyère est faiblement conique et à double paroi, munie à l'arrière de deux tuyaux, dont l'un A amène l'eau fraîche, et l'autre B évacue celle qui a été chauffée. On fait ces tuyères en bronze et le plus souvent en bronze phosphoreux ; on en a construit également en tôle de cuivre sur laquelle on soude l'anneau terminal qu'on appelle *le nez*.

Les boues ou incrustations que l'eau accumule dans l'espace annulaire des tuyères et surtout à

l'extrémité la plus exposée à la chaleur doivent être facilement enlevables; on a imaginé plusieurs dispositions : dans l'une d'elles on se contente de

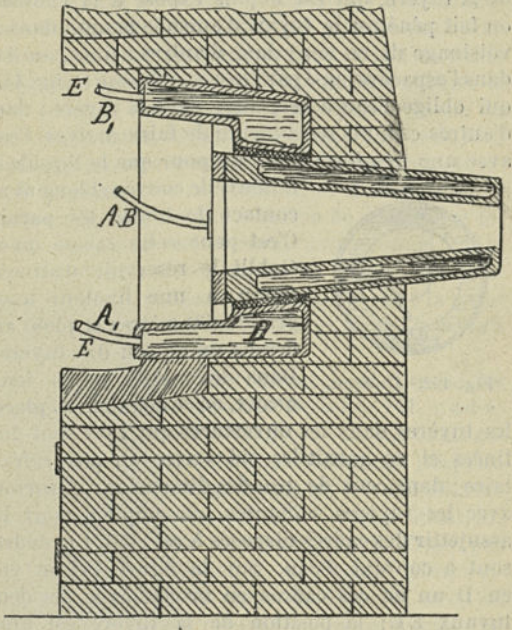


Fig. 141. Tuyère à circulation d'eau.

fermer la partie arrière de la capacité annulaire avec un anneau facile à enlever; dans une autre, on laisse complètement ouverte cette partie de la tuyère et on refroidit celle-ci simplement par des

jets d'eau lancés dans le vide qui existe entre les deux parois.

Pour amener l'eau de circulation jusqu'au nez de la tuyère, qui est le plus exposé à la chaleur, on fait pénétrer le tuyau d'amenée jusque dans le voisinage de ce nez ; dans d'autres usines, on fixe dans l'espace occupé par l'eau une cloison C (fig. 142) qui oblige l'eau à serpenter dans la tuyère ; dans d'autres cas, on se contente de faire arriver l'eau avec une très forte pression pour que le liquide se renouvelle convenablement au contact de toutes les parois. C'est pour cette raison qu'on établit le réservoir d'alimentation à une hauteur assez grande (30 mètres et plus) au-dessus du niveau des tuyères. Dans les petits hauts fourneaux, on se contente de placer les tuyères dans les ouvertures qui leur sont destinées et on garnit les vides avec un pisé réfractaire ; dans ceux de grandes dimensions et surtout avec les tuyères saillantes, on emploie pour les assujettir des cadres disposés à cet effet. Ces cadres sont à courant d'eau. Sur la figure 141 on voit en D un de ces cadres en bronze avec ses deux tuyaux E E; la position de la tuyère est ainsi mieux assurée et il est plus facile de procéder à son remplacement quand cela devient nécessaire.

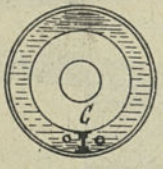


Fig. 142. Cloison.

Dans les premières installations, on plaçait les tuyères de façon que leur extrémité, pénétrant dans le fourneau, affleurât la paroi de l'ouvrage ; il en est encore ainsi dans les petits hauts four-

neaux dont les laitiers sont peu fluides ; si le nez de la tuyère dépassait la paroi intérieure, il s'y formerait des dépôts de masses demi-fondues (accrochages) qui produiraient des arrêts dans la descente des charges ; en outre, ces masses emprisonneraient la tuyère et s'opposeraient à ce qu'on pût la remplacer. Lorsque le nez de la tuyère affleure la paroi interne, on ne peut éviter qu'une partie du vent vienne lécher la paroi, un peu au-dessus du nez, ce qui a le double inconvénient de brûler prématurément l'ouvrage, en cet endroit, et d'augmenter la tendance qu'ont les gaz à suivre de préférence les parois dans leur mouvement ascensionnel. A la mise hors d'un fourneau de ce genre, on peut constater que, au-dessus de chaque tuyère, la paroi réfractaire est fortement rongée et qu'il s'y est fait une profonde excavation.

Pour éviter ces inconvénients, on dispose les tuyères comme on l'a vu sur la figure 141, c'est-à-dire en saillie dans l'ouvrage. Avec cet arrangement, le vent pénètre aussi facilement jusqu'au centre, dans un ouvrage large, qu'il le faisait avec les tuyères affleurantes dans un ouvrage étroit, et, comme les matières moins tassées n'offrent pas une aussi grande résistance, se répartit plus uniformément. On obtient donc de la sorte, avec du vent chaud, le même résultat qu'on recherchait en rétrécissant l'ouvrage, à l'époque où on chauffait moins le vent, et on évite les inconvénients d'un ouvrage étroit.

Cependant on ne doit pas augmenter outre mesure la saillie des tuyères, car on arriverait à diminuer la production, à augmenter la consommation de

combustible et à avoir une marche de l'appareil très irrégulière. Il y a donc une limite et cette limite dépend de la forme et de la grandeur du haut fourneau, de la pression et de la température du vent et de la nature du lit de fusion. C'est ainsi qu'on a trouvé dans un fourneau ayant 2m 44 à l'ouvrage et dont les tuyères étaient en saillie de 0,305 une production par semaine de 483 tonnes ; avec une saillie des tuyères de 0,150 seulement, la production fut portée à 599 tonnes. Dans le premier cas, la consommation de combustible par semaine était de 603 tonnes, tandis que dans le second elle s'éleva seulement à 630 tonnes.

Il faut donc bien régler la saillie des tuyères et tenir compte de la pression en évitant l'entrechoquement de jets de vent d'une trop grande vitesse.

La longueur des tuyères varie entre 0m 30 et 0m 80 ; le diamètre de *l'œil*, c'est-à-dire de la section par laquelle le vent sort et pénètre dans l'ouvrage, est ordinairement égal à celui de la buse ou un peu plus grand ; il dépend de la quantité de vent lancé dans l'unité de temps, de sa pression, de sa température et du nombre des tuyères ; on ne lui donne guère plus de 0m 08 dans les petits hauts fourneaux et il dépasse 0m 20 dans les plus grands. Leur axe doit être horizontal.

On a également construit des tuyères où l'on fait arriver l'eau par aspiration, afin d'éviter qu'elle puisse pénétrer dans le creuset lorsqu'une fissure se produit à la tuyère. Ce système mérite d'être signalé.

Trou de laitier. — Pour refroidir l'orifice d'écoulement du laitier, M. Lürmann a adopté le même

système que pour les tuyères, d'où le nom de *tuyère à laitier* donné à cet orifice. Les hauts fourneaux à poitrine fermée ne sont devenus pratiques qu'après l'adoption de la tuyère Lürmann, dont la coupe verticale est représentée figure 143. A est la

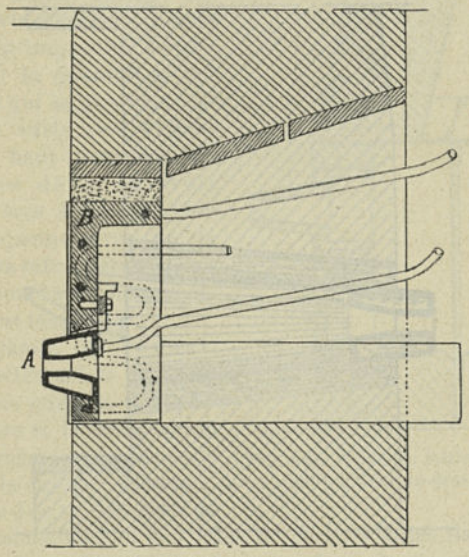


Fig. 143. Tuyère à laitier Lürmann.

tuyère proprement dite en bronze phosphoreux, à double enveloppe et à courant d'eau. Elle se place dans un cadre en fonte B dans l'épaisseur duquel serpentent des tuyaux en fer parcourus par un courant d'eau. Aujourd'hui, on fait ce cadre en

bronze. Dans certaines installations, ce cadre est remplacé par une sorte de tuyère (fig. 144). Parfois, et afin de pouvoir plus facilement changer la tuyère à laitier, on l'emboîte dans une sorte de

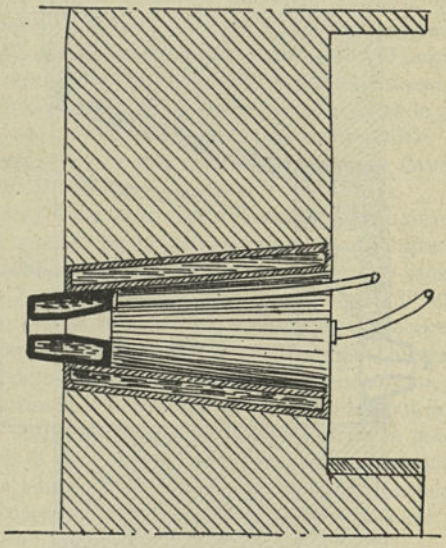


Fig. 144. Tuyère.

tuyère courte, logée elle-même dans une troisième plus grande.

Le diamètre de l'œil dépend de la quantité de laitier à évacuer ; on lui donne de 0m25 à 0m50 et plus ; on place son centre plus bas que les axes

des tuyères à vent pour éviter que le laitier monte jusqu'à ces dernières. La différence de niveau est de 0m35 au moins et dépasse rarement 0m90 ; elle dépend naturellement de la grandeur du haut fourneau et de la quantité de laitier qu'elle doit servir à débiter ; comme il est impossible de prévoir la quantité de laitier qui se produira, car elle varie avec l'allure du haut fourneau, on place deux ou trois tuyères à laitier qu'on tamponne avec de la terre réfractaire et qu'on débouche quand cela devient nécessaire.

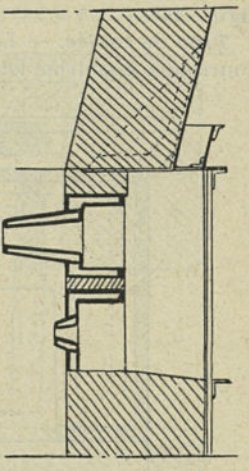


Fig. 145. Trou de laitier avec tuyère à vent au-dessus.

Quand on connaît exactement le genre de fonte que l'on veut produire et la composition élémentaire des éléments de la charge : minerais, fondants, cendres de combustibles, et le nombre de charges faites dans un temps déterminé, on peut prévoir la quantité de laitier qui s'écoulera dans ce même temps ; le seul élément inconnu est celui qui provient de l'usure du haut fourneau qui, en bonne allure, n'intervient que pour une quantité peu importante.

D'une façon générale, on ne place pas de tuyère à vent dans l'embrasure occupée par la tuyère à

laitier; il en résulte une certaine irrégularité dans la répartition du vent, mais, lorsque la différence de niveau de ces deux sortes de tuyères est assez grande, on place quelquefois une tuyère à vent au-dessus de la tuyère à laitier, comme on le voit figure 145.

Trou de coulée. — Le trou de coulée des hauts fourneaux à poitrine fermée est muni de plaques

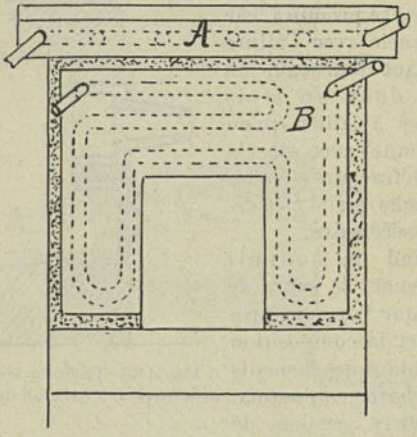


Fig. 146. Trou de coulée.

réfrigérantes, comme on le voit sur les figures 146 et 147. Des tuyaux en fer, dans lesquels circulait un courant d'eau, étaient noyés dans leur épaisseur. On les a remplacés pareillement par des boîtes en bronze ayant la même forme extérieure et rafraîchies de la même façon que les tuyères à

eau. Au début de la campagne, on n'utilise que la plaque horizontale A ; la plaque échancrée B n'est mise en place que si l'on doit craindre que la fonte vienne à s'échapper par suite de la détérioration des parois.

Lorsque le fourneau marche à poitrine ouverte,

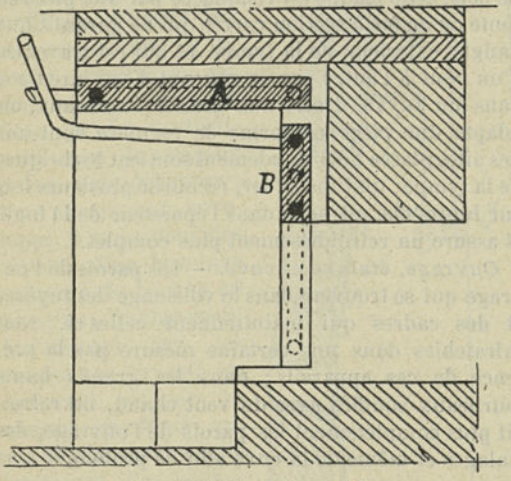


Fig. 147. Trou de coulée.

le trou de coulée est pratiqué à travers la dame et on ne prend aucune disposition pour refroidir celle-ci, puisqu'il est toujours facile de la remplacer quand elle est usée ; cependant, on emploie quelquefois comme plaque de dame, une plaque en fonte enveloppant un tube en fer dans lequel passe un courant d'eau.

Tympe. — Pour assurer à la plaque de tympe des hauts fourneaux à poitrine fermée, toujours en contact avec le laitier liquide, une longue durée, on la refroidit en l'établissant comme les plaques du trou de coulée munies d'un courant d'eau intérieur. Pour les petits hauts fourneaux au charbon de bois, cette plaque est remplacée par une pièce en fonte ou en fer à section carrée qui ne garantit que l'angle extérieur de la tympe, et qui est traversée d'un bout à l'autre par un courant d'eau circulant dans un tuyau droit; aux grands fourneaux, on adapte une pièce en forme de cornière dont une des ailes placée horizontalement soutient les briques de la tympe; un tube en fer, recourbé plusieurs fois sur lui-même, est noyé dans l'épaisseur de la fonte et assure un refroidissement plus complet.

Ouvrage, étalage et cuve. — Les parois de l'ouvrage qui se trouvent dans le voisinage des tuyères et des cadres qui maintiennent celles-ci, sont rafraîchies dans une certaine mesure par la présence de ces appareils; dans les grands hauts fourneaux soufflés avec du vent chaud, on refroidit plus complètement les parois de l'ouvrage, des étalages et même de la cuve afin de prolonger leur durée.

On obtient ce résultat de différentes façons; on emploie, par exemple, une série de bâches à eau A (fig. 148) logées dans l'épaisseur de la paroi et constamment parcourues par un courant d'eau comme les cadres des tuyères. Pour économiser l'eau, on utilise celle qui sort de la tuyère et qui s'élève au-dessus de la bâche supérieure dans un tuyau horizontal B de 0m05 de diamètre; de là,

elle descend dans la bâche à son point le plus bas, en ressort par le haut, redescend dans la deuxième bâche et ainsi de suite; une conduite spéciale C peut au besoin fournir de l'eau froide, si celle venant de la tuyère ne suffit pas. Chaque bâche est ouverte à sa partie supérieure au-dessus du niveau de l'eau qu'elle contient, pour que la vapeur puisse s'en échapper ; l'ouvrage est enveloppé, à la hauteur des tuyères, d'un blindage composé de bâches en bronze juxtaposées, maintenues par des cercles en fer qui les enserrent, ou par un anneau en fonte qui maintient leur partie inférieure. Ces bâches sont toutes du même modèle ; les unes reçoivent des tuyères, les autres ont l'ouverture correspondante bouchée avec des briques.

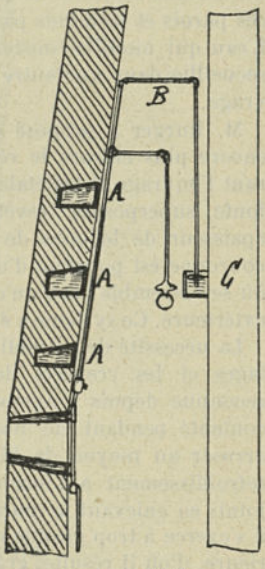


Fig. 148. Bâche de refroidissement pour les étalages.

Ces artifices ne suffisent pas pour empêcher la destruction rapide de l'ouvrage dans les hauts fourneaux dont l'allure est très chaude, et on est obligé d'en arroser extérieurement les parois pour

compléter l'effet des bâches réfrigérantes. Dans ce but, on établit autour de l'ouvrage, à hauteur convenable, un tuyau ou une rigole d'où partent un certain nombre de petits tuyaux dirigés vers ces parois et terminés par des pommes d'arrosoir. L'eau qui mouille constamment la maçonnerie est recueillie dans une autre rigole, au bas de l'ouvrage.

M. Burger a proposé un système pour rendre encore plus efficace le refroidissement, en entourant l'ouvrage et les étalages par des couronnes en fonte superposées, revêtues à l'intérieur d'une épaisseur de briques de 60 millimètres ; chaque couronne est pourvue d'une rigole venue de fonte où se rassemble l'eau qu'on projette contre la paroi extérieure. Ce système a été peu employé jusqu'ici.

La nécessité de refroidir extérieurement les étalages et les creusets des hauts fourneaux est reconnue depuis longtemps ; cependant, on s'est contenté pendant de nombreuses années de les arroser au moyen de filets d'eau ; ce genre de refroidissement a l'inconvénient de détruire les joints en enlevant le mortier de proche en proche ; il s'exerce à trop grande distance de la paroi intérieure, d'où il résulte, grâce à la faible conductibilité des briques, que celles-ci s'usent sur une grande partie de leur épaisseur.

Au haut fourneau d'Allevard, on a enveloppé complètement les étalages et l'ouvrage, dont l'épaisseur a été réduite à $0^{m}38$, de bâches en tôle qui maintiennent une épaisseur d'eau continue de 8 centimètres contre la paroi extérieure. M. Duthu, à Ria, a renfermé les étalages dans une série de

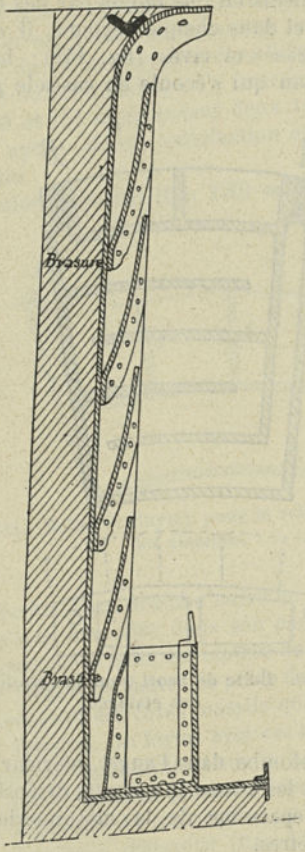


Fig. 149. Augets.

huit segments en tôle réunis par des boulons. Sur ces tôles et dans chaque segment il a établi cinq augets brasés et rivés (fig. 149) ; le plus élevé reçoit l'eau qui s'écoule en cascade par-dessus le

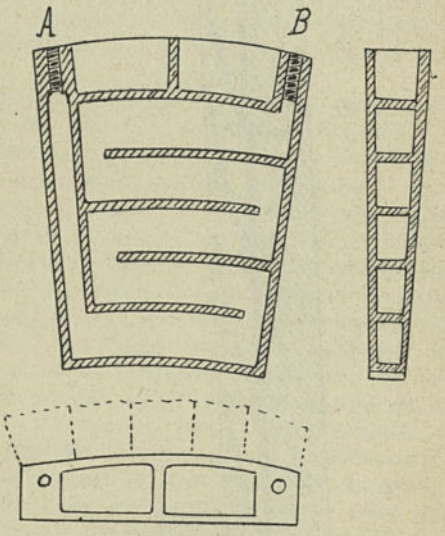


Fig. 150. Boîte de Scott pour le refroidissement des étalages.

bord et retombe dans l'auget inférieur et ainsi de suite dans les autres. Avec cette disposition il a pu réduire l'épaisseur de la maçonnerie à 10 ou 15 centimètres.

Aux Etats-Unis, où la rapidité d'allure des hauts

fourneaux et la haute température qui règne dans la zone de fusion amènent une usure rapide des étalages, on est arrivé à augmenter considérablement leur durée en noyant, dans l'épaisseur des parois, des boîtes métalliques à courant d'eau. Les figures 150 et 151 représentent deux types de ces appareils ayant donné satisfaction et fort usités aujourd'hui.

Le premier dispositif (fig. 150) est dû à l'ingé-

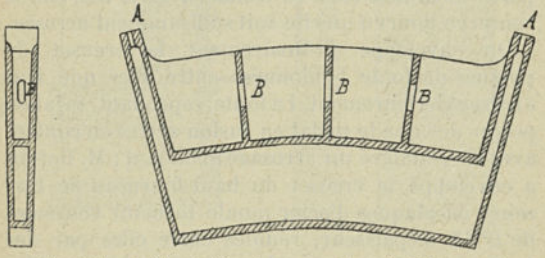


Fig. 151. Boîte de Gayley pour le refroidissement des étalages.

nieur Scott; l'eau fraîche entre en A et sort en B après s'être échauffée dans son parcours. La face supérieure de la boîte est cintrée de façon à reporter, au moyen de voûtes, le poids de la maçonnerie supérieure sur des coins massifs qui séparent deux boîtes voisines. On forme avec ces boîtes quatre ou cinq couronnes complètes sur la hauteur des étalages en les faisant pénétrer jusqu'à 0m15 de la paroi intérieure du fourneau.

Le deuxième dispositif (fig. 151) est celui de

M. Gayley, qui a reconnu qu'il suffisait d'amener l'eau vers le fond sans augmenter son parcours par des cloisons multiples. Avec ce type, on forme également des couronnes complètes au nombre de cinq à six sur la hauteur des étalages. L'eau entre par un des deux trous A A ; B B sont des vides par lesquels on peut arracher la boîte lorsqu'elle doit être changée. Ces boîtes sont en bronze, qui est préférable à la fonte malgré son prix beaucoup plus élevé. L'expérience a démontré que lorsqu'une partie de bronze vient en contact avec le feu, elle se conserve pourvu qu'elle soit suffisamment arrosée.

On enveloppe ordinairement le creuset de plaques de fonte boulonnées entre elles que l'on arrose extérieurement. La fonte, cependant, se laisse percer dès que le métal en fusion arrive en contact avec elle, malgré un arrosage abondant ; M. Boivin a enveloppé le creuset du haut fourneau de Firminy de plaques d'acier moulé formant voussoirs de 0m 15 d'épaisseur, réunies entre elles par des frettes en acier noyées dans leur épaisseur. Une fois ces pièces assemblées, les joints bourrés avec soin, le tout forme une enceinte invariable capable de résister à toutes les poussées, et ne laissant aucun passage au métal. La surface extérieure de ces plaques est arrosée par un courant d'eau continu (fig. 152).

Sole. — Lorsque la sole ou le fond du haut fourneau est enveloppé d'une épaisse maçonnerie, l'application de la réfrigération est très difficile. Quelquefois on laisse, entre cette maçonnerie et la sole, un vide que l'on remplit de sable maintenu constamment humide. Un trop-plein est ménagé à

travers le mur pour que l'eau puisse s'écouler. Si la sole est dégagée, l'arrosage direct est facile à installer.

Quantité d'eau à employer. — La quantité d'eau nécessaire pour alimenter les appareils de réfrigération d'un haut fourneau est considérable,

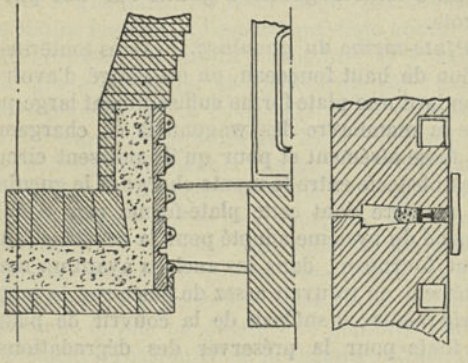


Fig. 152. Blindage Boivin.

surtout lorsqu'on marche à haute température et qu'on souffle avec du vent fortement chauffé.

Autant que possible, on utilise pour l'alimentation des bâches l'eau qui sort des tuyères et de leurs cadres ; chaque tuyère doit en recevoir 60 à 75 litres par minute et le cadre correspondant en exige 75 à 100 ; un haut fourneau doit donc avoir à sa disposition, la plupart du temps, 2,000 litres par minute et quelquefois le double de cette quantité. Pour les hauts fourneaux marchant en fonte blanche, à basse température, 600 à 1,000 litres

suffisent ; ceux au bois en demandent encore moins. Le point essentiel est que l'eau sorte des appareils à une température inférieure à 60° C.

Si l'eau disponible ne suffit pas, on peut faire servir la même eau après l'avoir convenablement refroidie par un moyen quelconque, par exemple la faire tomber goutte à goutte sur une pile de fagots.

Plate-forme du gueulard. — Dans toute installation de haut fourneau, on est obligé d'avoir au gueulard une plate-forme suffisamment large pour que la manœuvre des wagonnets de chargement s'y fasse aisément et pour qu'ils puissent circuler sans obstacle entre le monte-charge et le gueulard. La manière dont cette plate-forme peut s'établir dépend du système adopté pour la construction du haut fourneau ; dans les anciens ayant un massif extérieur on trouvait assez de place sur la maçonnerie même ; il suffisait de la couvrir de plaques de fonte pour la préserver des dégradations et d'élever tout autour un mur d'environ 3 mètres de hauteur pour garantir les ouvriers.

Lorsque les cuves sont enveloppées de tôles, on fixe à ces dernières, à l'aide de boulons, des consoles que l'on relie entre elles par des poutrelles et un système de traverses en fer et, sur le tout, on pose des tôles striées. Des garde-fous en tôle protègent les ouvriers.

Pour les fourneaux isolés, sans enveloppe de tôle, la plate-forme doit être supportée par des colonnes partant du sol, reliées entre elles par un système de poutrelles sur lesquelles on dispose également un plancher en tôles striées ; les pieds de ces

colonnes peuvent reposer sur des socles en pierre, au niveau du sol ou sur la maçonnerie qui entoure le fond du creuset.

Dans les installations modernes, on donne aux supports de la cuve une forme qui leur permet de servir de points d'appui aux colonnes qui supportent le gueulard. De cette façon, ces colonnes sont moins longues et l'espace qui reste autour du haut fourneau est moins encombré. Il y aurait faute grave d'appuyer la plate-forme sur l'extrémité supérieure de la cuve, qui serait exposée à être constamment ébranlée par les manœuvres des wagonnets qui amènent la charge ; cette maçonnerie se dilate en hauteur de 0,5 à 1 0/0 par le fait de la chaleur dès que le haut fourneau est en feu ; cette dilatation est plus forte dans les fourneaux enveloppés de massifs que dans les autres, on doit donc établir la plate-forme d'une façon indépendante pour qu'elle ne puisse être soulevée par le mouvement ascensionnel de la chemise réfractaire ; il est facile d'ailleurs, lorsque ce mouvement s'est effectué totalement, de garnir l'intervalle qui reste entre les briques et le dessous de la plate-forme.

M. Lürmann a imaginé une disposition permettant de protéger les ouvriers contre les gaz qui peuvent passer par l'intervalle qui existe entre la plate-forme et la cuve. Il a adapté à la plate-forme du gueulard une sorte de boîte à étoupe pour que la cuve puisse monter sans qu'il se produise une fuite. Un anneau en briques est suspendu à la plate-forme par une enveloppe de tôle et peut glisser dans un cylindre en fonte ou en briques qui fait corps avec la cuve. Les figures 153 et 154 re-

présentent deux dispositions différentes de ces presse-étoupes de Lürmann ; A est le bord de l'anneau porté par la plate-forme, et B le cylindre qui fait corps avec la cuve. Dans le même but, on emploie souvent une rigole en tôle pleine d'eau qui couvre la partie supérieure de la chemise réfrac-

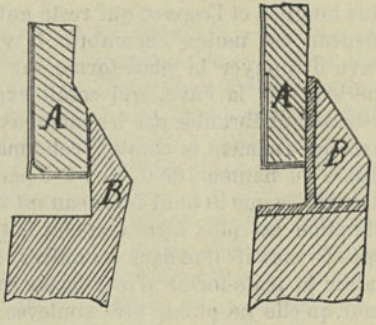


Fig. 153 et 154. Presse-étoupes Lürmann.

taire ; dans cette eau plongent les bords d'un petit cylindre en tôle fixé sous la plate-forme du gueulard.

Les différentes plates-formes de fourneaux voisins les uns des autres et de même hauteur sont reliées entre elles par des ponts métalliques, de la même façon que les monte-charges le sont à ces mêmes plates-formes ; on installe dans l'endroit le plus convenable un escalier en fer qui permet l'accès des gueulards.

CHAPITRE IX

Appareils pour la prise et la conduite des gaz ; leur épuration et leur combustion

---

SOMMAIRE. — I. Considérations générales. — II. Exemples de prises de gaz. — III. Appareils de chargement. — IV. Tuyaux d'amenée des gaz. — V. Appareils d'épuration des gaz. — VI. Combustion des gaz.

Chaque kilogramme de combustible introduit dans le haut fourneau produit en moyenne 4 mètres cubes et demi de gaz contenant 1 m. c. 10 d'oxyde de carbone, qui est, comme on le sait, un combustible de grande valeur ; la proportion de ce gaz peut varier avec la nature du lit de fusion, l'allure du haut fourneau, du mode de réduction par l'oxyde de carbone ou le carbone solide. Le gaz oxyde de carbone qui sort du gueulard d'un haut fourneau représente généralement en volume 24 0/0 de la quantité totale des gaz supposés secs. C'est environ la richesse des produits d'un gazogène alimenté avec la houille ; il y a également une petite quantité d'hydrogène et de carbures d'hydrogène.

Il est facile de se rendre compte de la grande quantité de combustible utilisable qui s'échappe ainsi par le gueulard en considérant la quantité de carbone chargé chaque jour dans le haut fourneau.

Les grands hauts fourneaux consomment par

jour 100, 150 tonnes et plus de combustible. Si la consommation est de 100 tonnes, le haut fourneau produit par jour 110,000 mètres cubes d'oxyde de carbone qui, par sa combustion, peut fournir 3,750 calories, et cela sans tenir compte de l'hydrogène et des carbures d'hydrogène qui, eux aussi, développent de la chaleur.

En calculant d'après l'équivalent mécanique de la chaleur, ce nombre 3,750 de calories correspondrait à une force de plus de 20,000 chevaux, suffisante pour tous les services accessoires de l'installation (souffleries, monte-charges, etc.). De plus on peut s'en servir au chauffage du vent à haute température.

Pour un grand haut fourneau, on admet qu'un quart ou tout au plus un tiers de ses gaz est absorbé par le chauffage de l'air, un tiers ou une moitié par les machines employées au service du haut fourneau ; le surplus peut être utilisé pour d'autres services, comme par exemple l'éclairage électrique, etc.

Dans les petits hauts fourneaux, on est souvent obligé de brûler du charbon pour fournir de la vapeur aux machines.

Dans ces dernières années, on a utilisé les gaz de hauts fourneaux dans des moteurs à gaz. D'après Lürmann, les gaz employés dans des machines à gaz ont un effet utile beaucoup plus grand que quand on les utilise pour faire de la vapeur. Le rapport du rendement est de 3,6 à 1. Un assez grand nombre de ces machines, alimentées directement par les gaz de hauts fourneaux, sont déjà en marche et mettent en mouvement des souffle-

ries, des dynamos, etc. Pendant plus d'un siècle, cependant, on a laissé s'échapper librement inutilisés dans l'atmosphère, ou bien en n'employant qu'à sécher des moules de fonderie, les gaz sortant du gueulard.

C'est en 1837 que Faber du Faur essaya, avec succès, à Wasseralfingen, de recueillir les gaz avant leur inflammation, entrant ainsi dans la voie des améliorations obtenues par la suite.

Au début, on a eu beaucoup de difficultés pour capter les gaz sans modifier l'allure du fourneau, et cela parce qu'on a commis la faute de prendre ces gaz à une trop grande profondeur au-dessous des gueulards, avant qu'ils eussent accompli leur rôle d'agents de réduction ; cette faute était d'autant plus grande que les hauts fourneaux de cette époque avaient une faible hauteur ; il fallait par conséquent, pour maintenir l'allure, compenser le manque de réduction par le gaz en consommant du carbone supplémentaire pour la réduction directe, d'où dépense en combustible plus considérable. On perdait ainsi l'avantage qui pouvait résulter de l'emploi du gaz, aussi on se contentait de placer sur la plate-forme du gueulard les chaudières et les appareils à air chaud. En 1860, on voyait beaucoup de hauts fourneaux au bois installés dans ces conditions.

L'encombrement du gueulard devenait bien gênant, à mesure que les fourneaux croissaient en hauteur. L'inconvénient des prises profondes était moins sensible et disparaissait même complètement grâce au perfectionnement des appareils de captation des gaz ; si bien qu'aujourd'hui, on n'hé-

site plus à recueillir les gaz au gueulard avant leur inflammation et à les amener jusqu'au niveau du sol de l'usine, où sont établis les appareils dans lesquels ils doivent être brûlés.

I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

On donne le nom de *prise de gaz* à l'appareil employé pour capter le gaz avant tout contact avec l'air et le faire pénétrer dans les conduits qui l'amènent aux points où il sera utilisé.

La première prise de gaz de Faber du Faur servit de type à de nombreuses installations dont quelques-unes subsistent encore aujourd'hui. Elle consistait dans un grand nombre de trous ménagés dans l'épaisseur de la cuve, en dessous du gueulard, et aboutissant à un conduit circulaire qui recueillait le gaz ; les charges qui se trouvaient au-dessus de ces ouvertures servaient de fermeture, par conséquent le captage était d'autant plus complet que les prises étaient à une plus grande profondeur. Nous avons déjà indiqué l'influence de cette disposition sur l'allure du haut fourneau.

Dans les grands hauts fourneaux, ce système n'altère pas sensiblement l'allure lorsque les prises ne sont pas placées à une trop grande distance au-dessous du gueulard, mais laisse échapper une grande quantité de gaz variable à chaque instant ; c'est ainsi qu'elle est plus grande quand on vient de charger, elle diminue graduellement à mesure que le niveau des charges descend, et il arrive même quelquefois, par négligence ou par accident, que les ouvertures de prise de gaz soient momen-

tanément à découvert. Dans ce système, le gueulard était ouvert ; on a donc été amené à le fermer complètement pour obliger la totalité du gaz à passer dans les conduites, quel que fût le niveau des charges ; avec ce moyen, la profondeur de la position des prises, au-dessous du gueulard, n'avait aucune importance. Pour charger le fourneau, il faut lever le couvercle, il y a alors échappement de gaz, qui est d'autant plus abondant que la durée du chargement est plus grande.

On a cherché à atténuer cet inconvénient en préparant la charge, le fourneau étant fermé, autour du joint de la fermeture, de façon qu'elle glisse à l'intérieur de la cuve dès qu'on ouvre ce joint. De cette façon le temps pendant lequel le gueulard est ouvert est beaucoup plus court. Il faut donc que l'appareil de fermeture soit disposé de façon à pouvoir préparer la charge autour du joint de fermeture, et de manière à la répartir dans le fourneau comme il est le plus avantageux pour sa bonne marche ; or le minerai, qui est la partie la plus lourde du lit de fusion, a toujours tendance à se rassembler vers le centre et à gêner le passage des gaz dans cette région ; il faut, par conséquent, répartir le minerai à la circonférence et accumuler le combustible vers le centre. De plus, il faut donner de la perméabilité à la colonne centrale ; nous allons donner quelques exemples de prises de gaz avec fermeture du gueulard.

—

II. EXEMPLES DE PRISES DE GAZ

Trémie. — Cette prise de gaz, imaginée par les ingénieurs français Thomas et Laurens vers 1840, a été installée par eux dans une fonderie du pays; puis, en 1842, elle fut appliquée à *Veckerhagen* par l'ingénieur Pfort, et c'est sous le nom de prise Pfort; on la désigne également sous le nom de

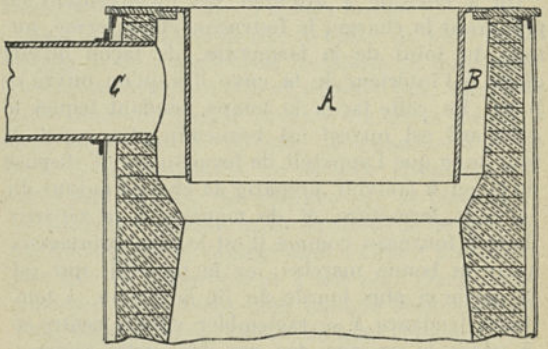


Fig. 155. Prise de gaz Thomas et Laurens.

prise de gaz belge, parce qu'elle a été très employée dans cette contrée. La figure 155 représente cette prise de gaz; une cuve en fonte ou en tôle A, ouverte à ses deux extrémités, est suspendue dans le haut fourneau, laissant un espace libre B, entre la surface de ce cylindre et les parois du fourneau, de 0m25 à 0m50 de largeur, rassemblant les gaz

qui sont ensuite dirigés vers les points où ils doivent être employés par le tuyau C.

Souvent on dispose plusieurs tuyaux semblables C sur la circonférence du fourneau pour que les gaz ne soient pas attirés dans une direction unique. Le diamètre de la cuve A doit être égal à celui de la cuve, l'espace libre B étant formé par l'élargissement de la cuve, comme on le voit sur la figure.

La trémie, à sa partie supérieure, affleure le niveau du gueulard et se termine par un rebord à angle droit au moyen duquel elle repose sur une couronne annulaire en fonte recouvrant la dernière assise de la maçonnerie de la cuve.

Dans certaines installations on établit toute la partie supérieure de la cuve avec des plaques en fonte assemblées au-dessus de la maçonnerie, ce qui facilite la suspension de la trémie et la fixation des tuyaux de prise de gaz.

Cet appareil est encore aujourd'hui beaucoup employé à cause de sa simplicité, et surtout dans les hauts fourneaux au bois qui traitent des minerais de réduction facile.

Prise de gaz centrale. — La prise de gaz par les côtés ou par la circonférence favorise la tendance qu'ils ont à cheminer le long des parois de la cuve, ce qui présente des inconvénients au point de vue de la marche du haut fourneau. Pour combattre cette tendance fâcheuse, M. Darby a réalisé en 1855 *la prise centrale* représentée par la figure 156. Un tuyau central A de captage des gaz, en tôle, plonge au centre de la cuve et communique, à sa partie supérieure, avec une conduite horizontale

ou inclinée B, par laquelle les gaz sont dirigés vers le point où ils seront employés ; dans le prolongement de cette conduite B se trouve une tubulure T

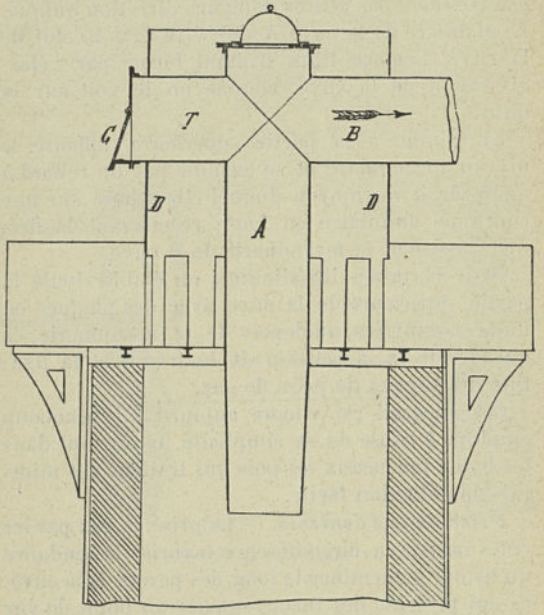


Fig. 156. Appareil Darby ou prise centrale.

fermée par un couvercle à clapet C, qui sert de soupape de sûreté et permet le nettoyage de la conduite dans laquelle se dépose une certaine quantité de poussières entraînées par le courant gazeux.

L'appareil est solidement établi, supporté qu'il est par des colonnettes en fonte reposant sur la plate-forme. Sur la figure on voit un mode d'attache plus répandu et qui est constitué par une cheminée D cylindrique, également en tôle, placée au-dessus du gueulard.

Le tuyau A est cylindrique ou légèrement rétréci à sa partie inférieure pour diminuer le frottement des matériaux de la charge dans cette partie. Plus son diamètre est grand et plus facilement les gaz y affluent, mais il reste d'autant moins d'espace annulaire pour le chargement ; les minerais, leur fondant et le combustible chargés à la circonférence forment aussi de leur côté un entonnoir d'éboulement d'un plus grand volume ; il faut donc observer une certaine relation entre le diamètre du gueulard et celui de la prise centrale ; on donne généralement à cette dernière un diamètre égal au tiers de celui du gueulard.

D'après ce que nous venons de dire, il faudra donner au gueulard un diamètre assez grand pour laisser autour du tuyau central l'espace nécessaire au chargement.

La zone qui entoure l'axe du fourneau est rendue, par cette disposition, plus perméable aux gaz et l'allure du fourneau est meilleure.

Il arrive souvent que l'appel des gaz vers le centre soit tel qu'il n'en passe plus suffisamment dans le voisinage des parois, c'est là le même défaut signalé pour la trémie ou prise latérale, mais en sens inverse. On a pensé remédier à ce défaut en réunissant les deux systèmes dans le même fourneau. Le gueulard est complètement fermé par

un couvercle suspendu à des chaînes ; on le soulève ou on le rabaisse en manœuvrant un levier pourvu de contrepoids, le couvercle porte un rebord qui plonge dans une rigole pleine d'eau formant joint hydraulique. On réunit ainsi les avantages des deux systèmes de prises de gaz.

Cup and cone. — La prise de gaz latérale ou trémie laisse échapper une grande partie de gaz par le gueulard, qui est le plus souvent ouvert. M. Parry, en 1850, a imaginé une prise latérale permettant d'obtenir à la fois la fermeture du gueulard et le chargement automatique et rapide. Ce système fut appliqué d'abord au fourneau d'*Eblen-Vale* et ensuite dans les différentes usines anglaises.

L'appareil Parry se compose de deux pièces principales, un entonnoir fixe en fonte A (fig. 157) (*cup*) et un cône mobile B en fonte ou en tôle ; ce dernier est suspendu à une chaîne au moyen de laquelle on le fait monter ou descendre. L'entonnoir est formé de deux pièces portant toutes les deux des rebords qui s'ajustent les uns sur les autres, de manière que la partie inférieure A soit supportée par la pièce supérieure C, qui est elle-même solidement fixée à la maçonnerie de la cuve, tandis que la pièce A peut être changée quand cela devient nécessaire. Le diamètre du cône à sa base est de dimension telle qu'il puisse passer par la plus petite ouverture de la pièce C, afin qu'il soit possible d'en faire le remplacement sans difficulté en enlevant d'abord l'entonnoir A. Quand le cône est dans la position indiquée en plein par le croquis, le gueulard est fermé et les gaz sont obligés

de s'échapper par l'ouverture ou les ouvertures latérales ; on accumule alors les matières composant la charge, minerai, coke et castine, dans l'intervalle compris entre les parois de l'entonnoir et celles du cône ; quand on abaisse le cône dans la position indiquée par le tracé pointillé, les ma-

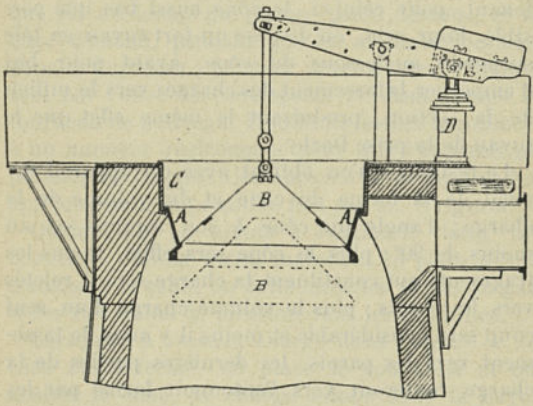


Fig. 157. Appareil Parry (Cup and cone).

tières tombent en glissant sur la surface extérieure du cône qui les dirige vers les parois de la cuve ; si la surface supérieure des charges, à ce moment, est loin du cône, ces matières frappent sur la cuve, puis sont renvoyées vers le milieu du haut fourneau ; si au contraire il y a peu de distance entre le cône et la dernière charge, la nouvelle reste disposée en anneau contre les parois. On cherche généralement à accumuler les éléments du lit de

fusion à la circonférence et le coke au centre pour combattre la tendance naturelle qu'ont ces matières à prendre spontanément une situation inverse ; on y arrive assez facilement en chargeant d'abord le combustible, lorsque la surface des charges est descendue assez bas au-dessous du cône et immédiatement après le lit de fusion, et en tenant, pour celui-ci, le cône aussi bas que possible. Pour cela, on dispose un fort tuyau en tôle suspendu au-dessous du cône, ayant pour but d'empêcher le tassement des charges vers le milieu de la section, produisant le même effet que le tuyau de la prise Darby.

Le résultat qu'on obtient avec cet appareil dépend de la forme du cône et du volume de la charge ; l'angle du cône à son sommet est au moins de 90° ; plus le cône sera effilé, moins les fragments qui constituent la charge seront rejetés vers les parois ; plus le volume chargé d'un seul coup sera considérable et moins il y aura de tassement vers les parois, les dernières parties de la charge rouleront vers l'entonnoir formé par les premières et tendront à le combler.

La manœuvre du cône est facilitée par l'équilibrage à l'aide de contrepoids et on règle le mouvement par un frein hydraulique. Dans la figure 157 le poids est fixé à l'extrémité du levier, de façon que le cône ferme de lui-même le gueulard tant qu'il n'est pas chargé, et qu'il s'abaisse sous le poids des matières. On remplit le cylindre D du frein hydraulique avec de l'eau ou de la glycérine ; un tuyau met en communication les deux extrémités du cylindre en dessus et en dessous du piston

et porte un robinet. Lorsque le cône ferme le gueulard, le piston est au bas de sa course, le robinet étant fermé, tout mouvement est impossible. Dès que la charge est répartie convenablement dans l'entonnoir et sur le cône A et que le moment de charger est venu, on ouvre le robinet, le poids des matières entraîne le piston, le liquide du cylindre, qui est au-dessus du piston, passe dessous, et le cône descend, pendant que les matières tombent dans le fourneau ; le cône, devenu libre, remonte seul par l'effet du contrepoids et vient fermer le fourneau de nouveau. Il suffit de fermer le robinet, à un moment quelconque, pour que l'appareil ne puisse plus bouger. Cet appareil hydraulique fut appliqué pour la première fois par M. Wrigston.

Quelquefois on ajoute à l'appareil Parry un couvercle mobile qu'on maintient en place avant d'abaisser le cône; on évite ainsi les pertes de gaz et les variations de pression dans les conduites.

Lorsqu'on a versé la charge dans l'espace A, le cône étant fermé, on place le couvercle et on abaisse le cône, la charge tombe dans la cuve. Cela fait, on relève le cône, et le couvercle peut dès lors être ouvert. Il est utile de munir le couvercle de valves de sûreté, parce qu'un mélange détonant peut facilement se former entre l'entonnoir et le couvercle. Les charges sont placées d'abord dans l'entonnoir supérieur; lorsqu'on abaisse le cône qui forme le fond de cet entonnoir, la charge tombe dans l'espace qui se trouve au-dessus du cône inférieur; on relève alors le cône supérieur qui opère la fermeture et on abaisse le cône inférieur, ce qui permet à la charge d'arriver dans

la cuve. La tige du cône supérieur est un tube dans lequel passe la tige pleine du cône inférieur. Le mouvement est donné par des cylindres à vapeur oscillants.

Le système Parry a l'avantage d'être simple et d'une manœuvre facile ; par contre, il a le même inconvénient que celui de Thomas et Laurens, de recueillir les gaz contre les parois du fourneau, c'est-à-dire dans une région où ils ont déjà une tendance à se frayer un passage. Si les gaz sortent du fourneau par un orifice unique situé latéralement, il peut se faire qu'il s'établisse, vers ce point, un courant prépondérant à partir d'une région située beaucoup plus bas ; si on multiplie les orifices, on atténue ce défaut sans le supprimer ; lorsque les minerais sont d'une réduction facile, il n'en résulte pas cependant des conséquences fâcheuses, aussi emploie-t-on de préférence le système Parry dans le Cleveland, en Styrie, etc., là où les minerais sont aisés à réduire, tandis qu'ailleurs il est moins usité.

Prise de gaz Vonhoff. — La figure 158 représente la prise Vonhoff, semblable à celle de M. Parry, mais où la prise des gaz se fait dans l'axe du fourneau ; elle a été appliquée, pour la première fois, en 1860, à Hœrde, et a été adoptée, depuis, dans un assez grand nombre d'usines allemandes.

L'entonnoir est disposé comme celui de la prise Parry, mais le cône qui sert d'obturateur, au lieu de se terminer en pointe, est surmonté d'un large tuyau qui s'élève au-dessus du gueulard ; à sa partie supérieure, ce tuyau porte en dehors une rigole profonde dans laquelle plonge l'extrémité

inférieure du tuyau de prise de gaz A ; on peut, dès lors, cette rigole étant maintenue pleine d'eau, abaisser le cône sans que les gaz s'échappent entre la pièce mobile et la partie fixe. Primitivement, le

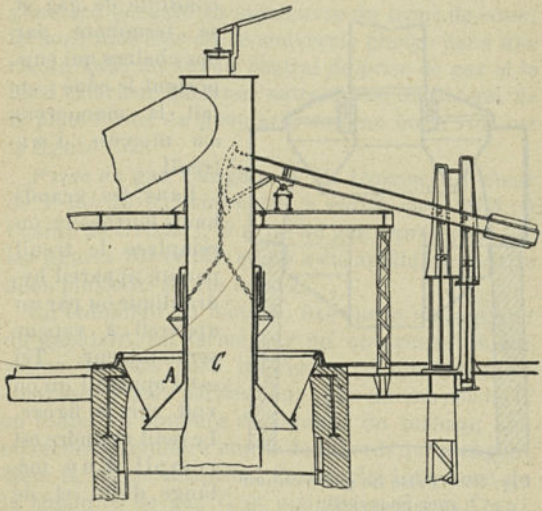


Fig. 158. Prise de gaz Vonhoff.

tuyau C ne pénétrait pas dans la cuve jusqu'au niveau des charges, de sorte que les gaz, avant d'entrer dans ce tuyau, avaient dépassé le niveau supérieur des charges. Actuellement, on trouve préférable et beaucoup plus avantageux de faire descendre ce tuyau de quelques mètres au milieu des charges ; on réussit ainsi à rendre la zone cen-

trale plus perméable et à y attirer davantage les gaz. C'est ainsi qu'est construit l'appareil représenté figure 158 ; deux leviers parallèles en fer, réunis par des étrésillons, servent à la manœuvre du cône ; ils passent à droite et à gauche de la conduite de gaz et se terminent par des chaînes qui supportent le cône ; on fait la manœuvre au moyen d'un treuil.

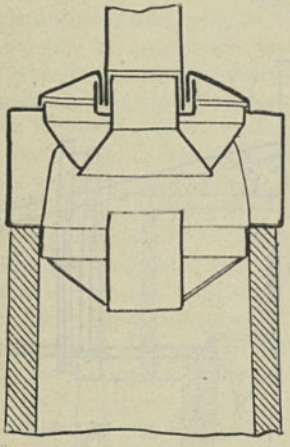


Fig. 159. Prise de gaz Vonhoff avec couvercle.

Dans les grands hauts fourneaux, on remplace le treuil par un appareil hydraulique ou par un appareil à vapeur servo-moteur. Tel est l'appareil qu'on voit sur la figure. Le petit cylindre est rempli d'un mélange d'eau et de glycérine et sert de frein pour la manœuvre ; son piston est percé de deux trous de 25 millimètres, par lesquels ce mélange liquide, emprisonné dans le cylindre, est obligé de passer quand le piston se déplace. Le poids du tronc de cône suffit pour le faire s'abaisser dès que la vapeur n'agit plus sur le piston.

A l'intérieur de la cuve, on fixe une couronne

en fonte afin de protéger les briques du choc des fragments des minerais durs qui, glissant le long du cône, vont frapper les parois.

Souvent on adapte à cet appareil de prise de gaz un couvercle annulaire qui ferme le dessus du gueulard pendant la manœuvre du tronc de cône; le bord intérieur de ce couvercle plonge dans une rigole fixée au tuyau central de prise de gaz et le bord extérieur dans une autre rigole au niveau de la plate-forme du gueulard, comme on le voit sur la figure 159.

Prise de gaz Langen. — M. Langen, directeur de *Friedrich-Withelmshutte*, a établi vers 1865, à l'usine de *Troisdorf*, la prise de gaz représentée par les figures 160 et 161, et qui a été appliquée ensuite dans plusieurs autres usines.

Un entonnoir en fonte A, fixé sur la maçonnerie du gueulard, est fermé par un obturateur B qui repose sur son bord inférieur ; cet obturateur se compose de deux parties dont l'une est une cloche D en fonte, au sommet de laquelle on ménage une ouverture circulaire munie de rebords qui plongent dans la rigole adaptée à l'extrémité inférieure de la conduite de gaz C et maintenue pleine d'eau; l'autre est un cylindre en tôle E ouvert aux deux bouts, légèrement évasé vers le haut et fixé au bord inférieur de la cloche ; c'est entre la surface extérieure de cet anneau et l'entonnoir que se dispose la charge. Lorsqu'on soulève la cloche et le cylindre qui y est attaché, les matières accumulées dans l'espace annulaire glissent sur les parois du cône et tombent dans le fourneau.

Le tuyau C de prise de gaz pénètre de 2 à

4 mètres dans les charges, pour donner plus de perméabilité à la colonne centrale. Dans les premières installations, cette conduite s'arrêtait à la partie inférieure, au-dessus des charges.

Le bord supérieur de la cloche plonge, avons-nous dit, dans une rigole fixée au tuyau C de prise de gaz et remplie d'eau. La manœuvre de cette cloche se fait comme dans celle de Vonhoff,

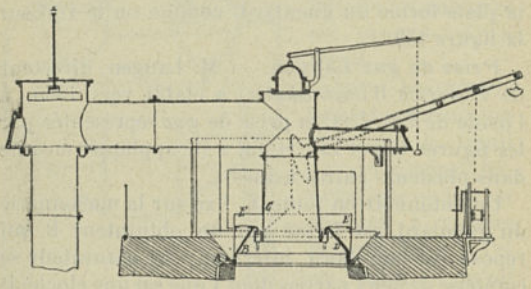


Fig. 160. Appareil Langen (coupe verticale).

c'est-à-dire au moyen d'appareils à leviers mus par la vapeur, l'eau sous pression, l'air comprimé ou l'électricité. On prépare la charge pendant que le gueulard est fermé par la cloche, puis on soulève celle-ci et la charge tombe dans le fourneau.

De la façon dont les charges tombent dans la cuve du fourneau, on voit qu'elles se disposent tout autrement qu'avec les appareils précédents; elles se dirigent vers l'axe au lieu d'aller frapper les parois de la cuve et forment ainsi un cône par l'éboulement d'une partie des matériaux vers la

circonférence. Ici encore, le coke doit être introduit le premier dans le fourneau.

Cet appareil permet, à cause du mouvement de bas en haut de la cloche, de tenir la cuve plus pleine qu'avec les autres systèmes dans lesquels on doit laisser l'espace nécessaire pour la descente du cône libre. Il permet en outre, quand la cloche est soulevée, de voir les matières accumulées dans le fourneau et de s'assurer qu'elles descendent régu-

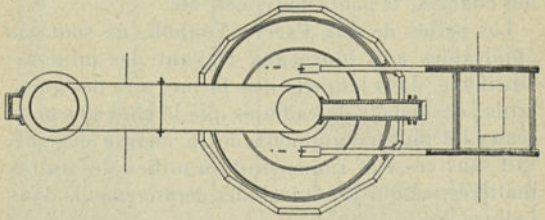


Fig. 161. Appareil Langen (vue en plan).

lièrement, ce qui est presque impossible avec les appareils précédents.

Dans certaines usines, on a modifié cet appareil Langen, en raison de la nature des matières constituant le lit de fusion ; quelquefois, le tuyau de prise de gaz est descendu jusque dans les charges ; dans d'autres cas, on a ajouté une trémie pour ne pas attirer le courant gazeux uniquement vers le centre (usine Aplerbecker).

En Allemagne, on emploie surtout les systèmes Langen et Vonhoff, tandis qu'en Angleterre, dans l'Amérique du Nord, en Autriche, etc., on se sert de

l'appareil Darby, dont nous avons fait remarquer les inconvénients.

Pour choisir entre le système Langen et celui de Vonhoff, qui distribuent les matières d'une manière absolument différente, il faut se guider sur la nature du lit de fusion. En réalité, on ne peut décider quel est celui qui est susceptible de donner les meilleurs résultats qu'après les avoir essayés tous deux dans chaque cas particulier. En outre, l'efficacité de chacun des appareils varie avec le volume des charges, la pente des cônes, etc.

Les prises de gaz Parry, Vonhoff, ne sont pas applicables aux fourneaux traitant des minerais zincifères, dans lesquels il se forme, près des gueulards, des dépôts de cadmies que le choc des morceaux les plus volumineux de la charge détacherait sans cesse et ramènerait au milieu des autres matières, ce qui produirait des dérangements dans l'allure.

Tout dernièrement, on a ajouté à l'appareil Langen une deuxième cloche afin de maintenir le gueulard toujours fermé. Le bord replié de la partie supérieure de cette deuxième cloche plonge dans l'eau de la rigole fixée à la première, ou est suspendue à des tringles afin de ne pas charger la cloche. Chaque cloche est manœuvrée indépendamment ; le tracé pointillé indique la position de la seconde cloche quand on prépare la charge de la première ; on munit la deuxième cloche de clapets de sûreté pour les cas d'explosions de gaz.

Prise de gaz centrale et latérale. — On a également combiné les deux systèmes précédents pour

créer une prise mixte, comme on le voit sur la figure 162.

Nous n'allons pas décrire ici tous les systèmes de prises de gaz inventés et plus ou moins compliqués les uns que les autres, car aujourd'hui, dans

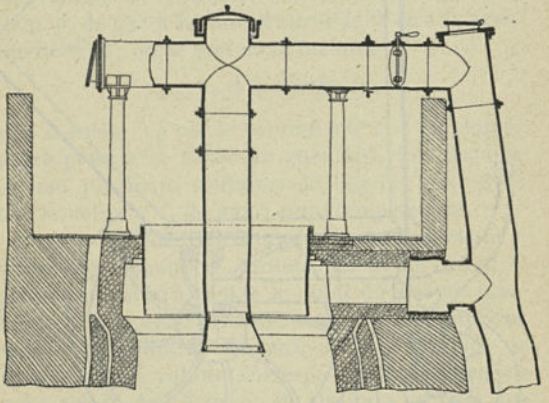


Fig. 162. Prise des gaz par le centre et par la circonférence.

un grand nombre de fourneaux donnant les résultats les plus satisfaisants, on adopte l'appareil simple *cup and cone* avec deux ou trois prises latérales.

III. APPAREILS DE CHARGEMENT

Pour amener les charges sur le cône du *cup and cone* on se sert de wagonnets de chargement dits brouettes de chargement, basculant sur l'avant, ou mieux de wagons circulaires chargeant sur

toute la surface. L'usine du Creusot a créé un wagon circulaire à distributeur ayant le fond en forme de cône (fig. 163).

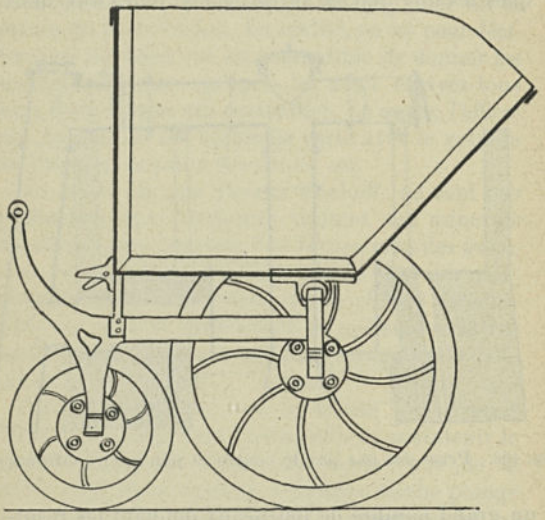


Fig. 163. Wagonnet de chargement.

IV. TUYAUX D'AMENÉE DES GAZ

Appareils d'épuration

Les tuyaux de conduite de gaz des hauts fourneaux sont généralement en tôle ; leur diamètre varie suivant l'importance des fourneaux ; dans les petits fourneaux au bois on adopte un diamètre

variant de 0^m30 à 0^m50 ; on arrive à 1^m50, 2^m50 et même plus dans les grandes installations, en tenant compte de la condition essentielle que la vitesse des gaz ne soit pas exagérée. Cette vitesse est calculée ordinairement en se basant sur ce que un kilogramme de combustible donne naissance à 4,5 m. c. de gaz à la température de 0° et à la pression de 0,76 ; on se sert de la formule :

$$V_1 = V_0 (1 + 0{,}00366\, t)$$

dans laquelle V_0 est le volume à 0° et t la température prise à la sortie du gueulard, qui dépasse souvent plusieurs centaines de degrés, pour évaluer le volume V_1 de gaz à cette température.

D'après Steffen, dans un fourneau marchant à allure très chaude et traitant un lit de fusion à rendement de 40 à 45 0/0, le poids du gaz est égal à cinq fois et demi celui du coke, et si on suppose que 1 kilogramme de gaz ait un volume de 0 m. c. 750, le volume correspondant à 1 kilog. de coke serait de 4,3 m. c. M. Osann a calculé que 127 kilogrammes de coke devaient donner 553 mètres cubes de gaz de haut fourneau, ce qui correspond à 5,4 m. c. par kilogramme de coke (*Stahl und Eisen*, 1890).

Il est convenable de limiter la vitesse des gaz à 3 mètres par seconde ; on voit cependant des exemples où la vitesse dépasse 3 mètres et atteint souvent 6 mètres.

On munit les conduites de gaz, dans le voisinage du gueulard, d'un appareil qui permet de les fermer ; cette précaution est indispensable quand les ouvertures de prise de gaz ne sont pas masquées

par les charges, car on doit interrompre la communication entre le fourneau et les conduites, chaque fois que le gueulard est ouvert, pour éviter les rentrées d'air qui provoqueraient des explosions. On emploie pour cela des registres à papillon, des clapets ou des soupapes, figure **164**. Le mieux est d'employer des soupapes comme celle qu'on voit sur les figures précédentes des appa-

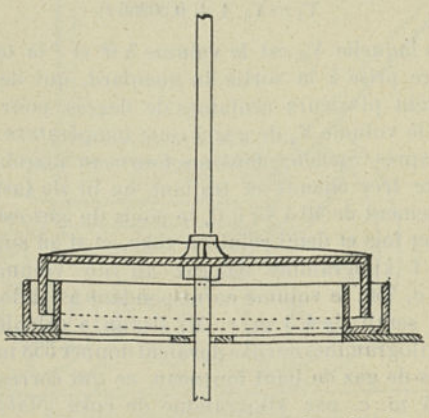


Fig. 164. Soupape pour fermeture de prise de gaz.

reils de prise de gaz. Souvent, on relie la tige de la soupape avec le cône de chargement, au moyen d'une chaînette, de façon que la soupape se ferme automatiquement lorsqu'on ouvre le fourneau, et inversement.

Le même système d'obturation doit être disposé sur tous les tuyaux de distribution du gaz, mais

il faut prendre la précaution de placer des trous de nettoyage à proximité de ces valves de fermeture, pour enlever les dépôts de poussières qui s'y forment et gênent leur manœuvre.

Lorsqu'une usine comprend plusieurs hauts fourneaux voisins les uns des autres, on réunit leurs gaz dans une conduite générale. Quand on marche à gueulard fermé, on doit se réserver le moyen de laisser échapper les gaz qu'on ne peut pas utiliser; ce moyen consiste à placer au point culminant du tuyau de prise de gaz, un clapet qu'on manœuvre à l'aide d'un balancier; cette disposition est visible sur les exemples précédents de prise de gaz.

V. APPAREILS D'ÉPURATION DES GAZ

Les gaz qui sortent des gueulards entraînent, indépendamment de la vapeur d'eau, une certaine quantité de poussières, dont nous verrons plus loin la composition. La quantité de poussières que contiennent les gaz varie avec la composition de la charge et la température qui règne dans le haut fourneau ; elle est plus grande quand les laitiers sont très calcaires et en allure chaude, que lorsqu'on marche en laitiers siliceux et avec température moins élevée.

Les minerais renfermant du zinc et ceux qui se brisent facilement quand ils descendent dans la cuve, produisent beaucoup de poussières ; de même pour les lits de fusion très calcaires dont la chaux se pulvérise plus ou moins au moment de la cuisson, c'est ce qui arrive pour beaucoup de minettes de Lorraine et du Luxembourg.

La haute température du fourneau favorise souvent la formation de certains composés volatils qui se mêlent au gaz, puis se décomposent en produisant de la poussière.

Les gaz peu chargés de poussières n'en contiennent guère que 1 gramme par mètre cube, mais cette proportion peut monter jusqu'à 40 grammes. Lürmann cite un exemple (*Stahl und Eisen*, 1898), dans lequel le gaz, après avoir été purifié, contenait encore 10 gr. 27 de poussière par mètre cube, et il estime qu'un grand haut fourneau expulse chaque jour de 20 à 30,000 kilogrammes de poussières.

La présence de la vapeur d'eau et des poussières dans les gaz abaisse naturellement leur température de combustion ; elle empêche donc de tirer de ces gaz tout le profit qu'on en pourrait attendre et peut même, si elles sont en forte proportion, empêcher leur inflammation ; un autre inconvénient de leur présence, plus grave encore, c'est qu'elles obstruent les carneaux, quand on utilise les gaz dans les appareils à air chaud ou sous les chaudières, et créent un obstacle à la transmission de la chaleur, et peuvent même rendre impossible l'emploi direct du gaz dans les machines motrices si la proportion de ces poussières est trop considérable.

Il faut donc débarrasser les gaz des poussières et de la vapeur d'eau avant de les utiliser. On commence donc par donner aux conduites de gaz qui partent du gueulard, une inclinaison aussi forte que possible, pour éviter les dépôts de poussière dans ces parties difficiles à atteindre pour les nettoyer ; dans les premières installations on plaçait

ces conduites horizontales, et il fallait des nettoyages très fréquents. Pour la vapeur d'eau, on s'en débarrasse par condensation, si le refroidissement est suffisant, ce qu'on réalise facilement en établissant des conduites assez larges et présentant une surface assez grande.

M. Maccosh a imaginé un appareil représenté figure 165 et qui réalise à la fois la condensation de la vapeur et la précipitation des poussières. En multipliant le nombre de ces appareils, on arrive à produire un effet plus complet. Les poussières se déposent dans les différentes conduites, et d'autant plus facilement et complètement que la vitesse des gaz est moindre ; il y a donc avantage marqué à disposer de tuyaux de grandes dimensions et à se ménager les moyens de localiser les accumulations des pous-

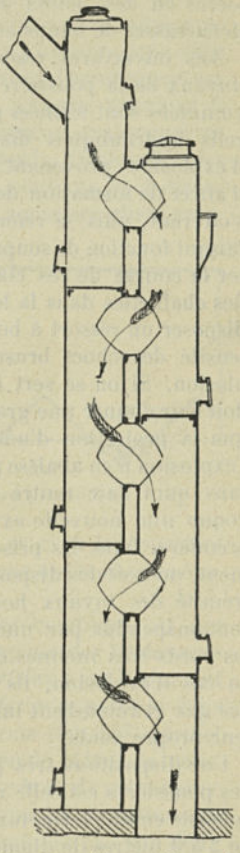


Fig. 165. Tuyau Maccosh.

sières en des points déterminés que l'on puisse débarrasser de temps en temps.

Les ouvertures réservées pour débarrasser les tuyaux de la poussière et de l'eau qui s'y sont accumulées sont fermées par des clapets ou des appareils hydrauliques disposés de façon qu'en cas d'explosion provenant de rentrées accidentelles d'air et de formation de mélanges détonants, elles s'ouvrent, puis se referment automatiquement en faisant fonction de soupapes de sûreté. On doit limiter la course de ces clapets de sûreté en y fixant des chaînettes dans la longueur desquelles on peut disposer un ressort à boudin destiné à réduire l'intensité des chocs brusques occasionnés par l'explosion. Si on se sert de clapets hydrauliques on doit leur donner une grande surface d'eau, de façon que la projection d'une partie de cette eau par l'explosion n'en abaisse pas sensiblement le niveau, sans quoi l'air rentre dans les conduites et provoque une nouvelle explosion plus grave que la première. Dans les prises de gaz citées précédemment, on voit des dispositions de ces clapets à l'extrémité des tuyaux horizontaux ou inclinés ; ils sont suspendus par une charnière et reposent sur les bords très inclinés de l'orifice qu'ils ferment ; en cas d'explosion, ils s'ouvrent sous la poussée des gaz et retombent immédiatement en place par leur propre poids.

Une disposition très pratique pour l'évacuation des poussières est celle représentée figure 166. Elle consiste en une fermeture par soupape ; le tuyau A, de 2 à 3 mètres de diamètre, est placé à 2 ou 3 mètres, horizontalement, au-dessus du sol, afin qu'on

puisse avoir au-dessous une voie de petit chemin de fer pour recueillir les produits du nettoyage. La partie inférieure du tuyau est formée d'une série de réservoirs à poussière B dont l'espacement est égal au diamètre du tuyau. Chaque réservoir B est fermé en bas par une soupape maintenue en place par un levier à contrepoids. Quelquefois les parois entre deux réservoirs contigus sont disposées en dos d'âne, afin que la poussière glisse natu-

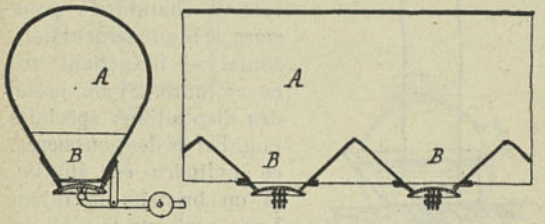


Fig. 166. Evacuation des poussières.

rellement sur les soupapes, et c'est la poussière elle-même qui prend cette forme après chaque évacuation.

A l'extrémité inférieure des conduites ou des appareils d'évacuation, on emploie des fermetures hydrauliques. Les tuyaux verticaux ou fortement inclinés ont leur extrémité inférieure plongée dans une caisse à eau dont la forme (fig. 167) permet d'enlever en marche, au moyen de râbles, la poussière qui s'y accumule. La surface de cette caisse doit être assez grande pour que les variations de pression à l'intérieur ne déterminent pas une dénivellation sérieuse de l'eau qu'elle contient. On dis-

pose par précaution une alimentation continue d'eau afin d'éviter que le niveau vienne à baisser, ce qui amènerait une perte de gaz ou une rentrée d'air dans la conduite. Grâce à cette disposition, l'eau de condensation s'écoule d'elle-même.

Souvent aussi, on dispose à la partie inférieure du tuyau d'amenée, un cylindre de diamètre plus grand, reposant sur la cuve à eau (fig. 168), et qui sert de chambre à poussière, le branchement horizontal se branchant sur ce cylindre. Si on prend des dispositions spéciales pour l'arrêt des poussières, ce cylindre est inutile, et on branche le tuyau horizontal sur le côté du tuyau vertical, dont l'extrémité plonge dans la cuve à eau.

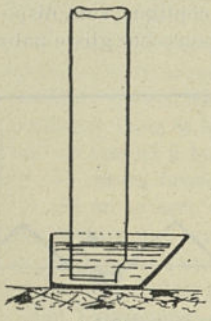


Fig. 167. Fermeture hydraulique des tuyaux verticaux.

Autrefois, on employait un appareil à fermeture hydraulique, représenté figure 169. Le tuyau a la forme spéciale qu'on voit sur le croquis ; on lui reproche de maintenir trop longtemps le gaz en contact avec l'eau, et de tendre à le saturer ainsi de vapeur d'eau.

Plus souvent, on fait usage de grandes caisses prismatiques formées, soit de plaques de fonte boulonnées les unes aux autres, soit de tôles rivées ; la figure 170 représente un appareil de ce genre, installé dans une usine du Luxembourg. Souvent,

on divise ces caisses en plusieurs compartiments, au moyen de cloisons qui obligent les gaz à serpenter et à prolonger la durée de leur parcours; dans ce dernier cas, leur vitesse est plus grande que dans le premier; sur les faces verticales et

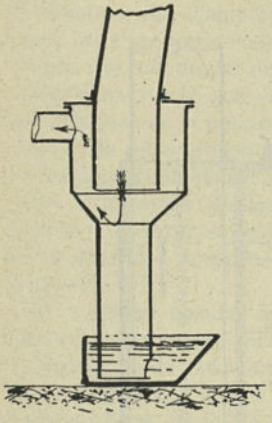


Fig. 168. Fermeture hydraulique des tuyaux verticaux avec branchements horizontaux.

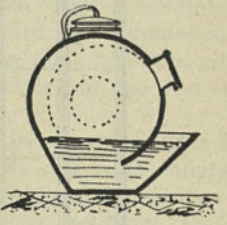


Fig. 169. Enlèvement des poussières (tuyaux horizontaux).

horizontales de ces caisses, on dispose des clapets de sûreté C, qui servent, en même temps, de trous d'homme T pour entrer dans la chambre.

Dans les usines où la poussière entraînée contient des particules très fines d'oxyde de zinc et qui se déposent très difficilement, on emploie des appareils dans lesquels l'eau intervient comme arrosage.

Généralement, les appareils à sec suffisent, pourvu que leurs dimensions soient assez grandes ; plus le chemin parcouru par les gaz est long, mieux ils se débarrassent de la poussière et de la vapeur d'eau qu'ils entraînent ; aussi, dans certaines usines, le gaz parcourt plus de 200 mètres

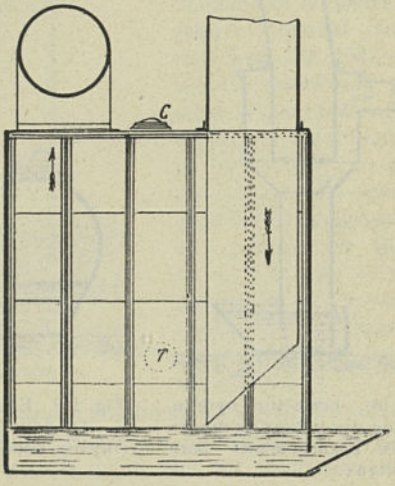


Fig. 170. Caisse à poussière.

avant de brûler sous les générateurs de vapeur ou dans les appareils à air chaud. Cette circulation peut se faire dans des galeries en maçonnerie ou des tuyaux métalliques ; on arrive ainsi à transformer en un excellent combustible un gaz très chargé de poussières.

Le nettoyage du gaz obtenu par ces différents procédés ne réussit pas à enlever au gaz les particules les plus fines, qui n'ont que de faibles inconvénients pour le chauffage des chaudières ou pour celui des appareils à air chaud, mais qui mettraient rapidement hors d'usage des machines à gaz. Pour les éliminer afin d'employer les gaz pour les moteurs, on a proposé plusieurs procédés.

Ceux qui ont donné de meilleurs résultats consistent à mettre le gaz en contact avec de l'eau, qui s'empare de la poussière et condense la vapeur d'eau en la refroidissant. On a tenté de laver les gaz en les aspergeant d'eau froide dans les conduites après leur sortie du gueulard ; on augmentait ainsi leur pouvoir calorifique, mais on n'arrivait pas à atteindre complètement le but que l'on se proposait.

On a essayé ensuite de faire passer ces gaz à travers des *scrubbers*, sortes de réservoirs remplis de fragments de coke arrosés d'eau froide, identiques à ceux des usines à gaz d'éclairage. Dans d'autres usines, on leur a fait traverser des couches de sciure de bois sèche, étendues sur des claies et contenues dans des caisses.

Le procédé le plus simple et qui a donné des résultats satisfaisants, consiste à intercaler, sur le parcours du gaz, un grand ventilateur centrifuge, dans lequel arrive constamment de l'eau, qui, projetée par la force centrifuge, ramasse les poussières et s'écoule ensuite par la partie inférieure du ventilateur. On arrive ainsi à réduire la quantité de poussières contenues dans un mètre cube de gaz à 0,3 gr. et même à 0,1 gr., à abaisser la

température à celle de l'air ambiant et à ne laisser, comme vapeur d'eau, que celle qui peut saturer l'air à cette température.

Dans les usines à moteurs hydrauliques, une partie des gaz des hauts fourneaux est disponible

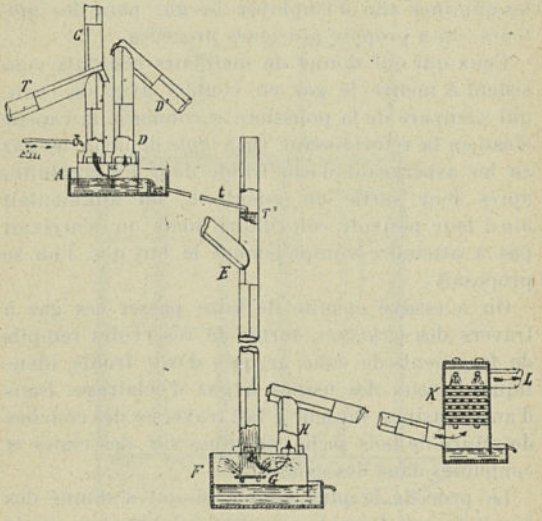


Fig. 171. Epuration des gaz de hauts fourneaux, système de Langlade.

et on l'utilise à des opérations diverses, au puddlage ou au chauffage du fer. Le puddlage au gaz de haut fourneau, essayé de 1835, a reçu en 1860 une application couronnée de succès, grâce aux dispositions adoptées par M. de Langlade pour purifier

les gaz, régulariser leur pression et éviter les explosions.

Le système de Langlade est représenté figure 171 tel qu'il est appliqué à plusieurs usines de France, d'Italie et d'Espagne. Le gaz arrive du haut fourneau par le tuyau oblique T, il pénètre dans une cloche suspendue dans la caisse A, dans laquelle la pression d'eau est réglée par la hauteur du déversoir; une cloison *a b*, faisant partie de la cloche, est disposée de telle sorte que, si la pression s'élève, le gaz passe dans le tuyau vertical C, faisant fonction de cheminée d'échappement. En marche normale, le gaz chemine par le tuyau D D' et descend en E en dessous d'une tôle perforée T', qui reçoit l'eau d'évacuation de la caisse B par un petit tuyau *t*; la pluie d'eau traverse le gaz, condense la vapeur d'eau et produit un refroidissement énergique qui se transforme en pression dans la caisse F. La pluie se brise sur une plaque G qui la pulvérise et facilite le refroidissement et la précipitation des poussières de la caisse F. Le gaz passe par le tuyau H et arrive dans la caisse de sûreté K garnie de barreaux de fonte, disposés en chicane, constamment arrosés par la partie supérieure, et, par la conduite L, gagne le four où il sera utilisé. Les barreaux de fer font le même office que le tamis métallique des lampes de sûreté, ils empêchent la propagation de la flamme dans les conduites.

VI. COMBUSTION DES GAZ

Les gaz provenant des hauts fourneaux sont très difficiles à enflammer et à brûler, parce qu'ils con-

tiennent, en plus forte proportion, des gaz inertes tels que : acide carbonique, azote, etc. ; il faut donc tenir compte des règles suivantes pour assurer une combustion complète :

1° Employer un excès d'air pour les gaz qui contiennent des hydrocarbures et qui brûlent avec flamme.

2° Avoir une haute température dans la chambre de combustion, pour favoriser la combinaison de l'oxygène avec les éléments combustibles. L'excès de l'oxygène peut être moindre si la température est intense.

D'après cela, on commettrait une faute grave en mélangeant l'air et le gaz dans une chambre où il y aurait des corps à température relativement basse, comme des chaudières à vapeur, ou les tuyaux en fonte d'un appareil de chauffage, dans lesquels passe de l'air froid. Pour des applications de ce genre, il est préférable d'opérer la combustion dans une chambre en briques dont les parois s'échauffent fortement ; les produits de la combustion, en sortant de cette chambre, se trouvent en contact avec les appareils qui utilisent la chaleur dégagée. Le résultat désiré s'obtient d'autant plus facilement que les chambres de combustion sont plus grandes.

Ces chambres de combustion présentent un autre avantage ; ce sont de véritables réservoirs de chaleur qui régularisent le chauffage, car s'il y a interruption momentanée dans l'arrivée du gaz (au moment du chargement), les parois de la chambre, qui sont encore rouges, provoquent l'inflammation du gaz dès qu'il arrive au contact de l'air, et em-

pêchent ainsi la production des mélanges détonants.

Il faut également chauffer préalablement l'air nécessaire à la combustion, pour faciliter cette dernière et en augmenter l'effet utile en diminuant l'excès d'eau ; on atteint ce résultat en faisant circuler l'air dans l'épaisseur des parois de la chambre.

Les figures 172 et 173 représentent une disposition de ce genre, adoptée par Lürmann. Le gaz arrive du tuyau A dans l'espace B, et de là par plusieurs ouvertures, dans la chambre de combustion C. L'air extérieur passe sous la sole de la chambre de combustion, se répartit dans un certain nombre de carneaux montants D, arrive ainsi dans l'espace D' au-dessous de la voûte qui couvre la chambre, d'où il pénètre dans la chambre de combustion par des ouvertures qui alternent avec celles du gaz. Lorsque la chambre de combustion est froide, on y installe une grille sur laquelle on entretient du feu ; cela permet de maintenir la combustion du gaz. Cette grille doit être établie, une fois pour toutes, dans les chambres qui n'assurent pas la combustion instantanée du gaz après une interruption momentanée.

L'air nécessaire à la combustion est attiré dans le foyer par l'aspiration d'une cheminée qui facilite également la circulation du gaz combustible dans les conduites. La pression des gaz à l'intérieur du fourneau force ceux-ci à cheminer dans les conduites, mais par contre, il en résulte un accroissement de résistance qu'on ne peut vaincre qu'en augmentant la puissance de la soufflerie.

L'addition d'une cheminée à l'appareil utilisant les gaz diminue cette résistance et il peut même arriver, si cette aspiration est trop forte, que la pression dans les conduites soit négative, c'est-à-dire au-dessous de la pression atmosphérique, ce qui est une faute et constitue un danger. Il est évident

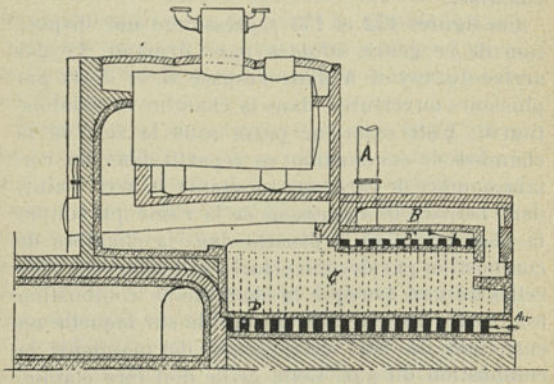


Fig. 172. Chauffage des chaudières à l'aide du gaz des hauts fourneaux, système Lürmann (coupe en long).

que si la pression diminue dans un haut fourneau, le feu monte, c'est-à-dire que la température de fusion atteint les zones où ne doit se produire que la réduction. Si la pression dans les conduites est inférieure à celle de l'air, celui-ci tend à y pénétrer par toutes les voies qui s'y présentent, clapet fermant mal, joint mal ajusté, etc., et il peut se former un mélange détonant suivi d'explosion. Il

est bon, en avant de chaque orifice de sortie de gaz, de disposer un appareil, soupape, valve ou clapet, qui permet de régler l'écoulement du gaz de telle façon qu'il y ait toujours une légère pression dans les conduites.

Dans les nouvelles installations où l'on applique des procédés d'épuration des gaz particuliers, le tirage de la cheminée n'abaisse pas d'une façon dangereuse la pression dans le voisinage du gueulard ; cette aspiration diminue même la pression nécessaire pour faire circuler les gaz dans les conduites assez longues qu'on établit aujourd'hui. Dans certaines usines, on obtient le même résultat en intercalant un ventilateur sur la conduite, et à l'aide d'une circulation convenable d'un courant d'eau, on arrive à diminuer, dans une grande mesure, la faible proportion de poussière qui reste dans le gaz.

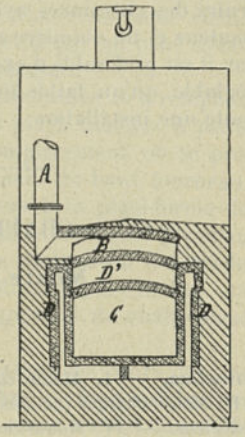


Fig. 173. Chauffage des chaudières à l'aide du gaz des hauts fourneaux, système Lürmann (coupe en travers).

Pour calculer les dimensions des cheminées, il faut tenir compte de leur débit et des résistances qu'ont à surmonter les gaz et les produits de la combustion. Avec des conduites courtes, avec des

appareils en fonte ayant la forme de tours verticales et avec des sinuosités des carneaux faibles, les cheminées deviennent inutiles. Avec des conduites longues et sinueuses, on est obligé de construire des cheminées ayant souvent 80 mètres de hauteur et un diamètre au sommet de 3 à 4 mètres, car il est préférable d'avoir un fort tirage toujours réglable, qu'un faible tirage qui pourra paralyser toute une installation.

CHAPITRE X

Monte-charges

SOMMAIRE. — I. Monte-charges mus par câbles. — II. Monte-charges inclinés. — III. Transport par câbles aériens. — IV. Monte-charges par balances d'eau. — V. Monte-charges hydrauliques. — VI. Monte-charges pneumatiques.

Les installations dans lesquelles on peut amener directement au gueulard, au moyen d'un pont ou un plan horizontal, le minerai et le combustible, sont très rares. La plupart du temps, on est obligé d'installer les hauts fourneaux dans des plaines et d'élever les différentes matières à l'aide d'appareils dits *monte-charges* ; les brouettes ou wagonnets sont placés sur un plateau qui monte ou descend alternativement et à volonté. Certains appareils sont à *simple effet*, c'est-à-dire ne possèdent qu'un

simple plateau ; d'autres sont à *double effet*, c'est-à-dire ils ont deux plateaux dont l'un monte pendant que l'autre descend.

D'une façon générale, ces plateaux se meuvent verticalement à l'intérieur d'une charpente métallique servant de guide et reliée par un pont métallique à la plate-forme du gueulard.

Dans certaines usines américaines on a remplacé les monte-charges par des plans inclinés à pente d'environ 60 degrés. Si l'emplacement où se prépare le lit de fusion est voisin du haut fourneau, on peut le relier directement à la plate-forme du gueulard, ce qui économise le transport jusqu'au pied du monte-charges et le roulage sur le pont du gueulard. Dans les installations à plan incliné, on adopte généralement un appareil de chargement automatique.

Dans les premières installations, alors que les hauts fourneaux étaient bas et leur production plus faible qu'aujourd'hui, on se servait de treuils manœuvrés à bras d'homme pour monter les charges ; aujourd'hui ce travail se fait par des machines à vapeur, moteurs hydrauliques, etc. Si les chaudières sont trop éloignées du monte-charges, on se sert avantageusement de moteurs électriques ; il existe plusieurs types de monte-charges ; nous en décrirons les plus fréquemment employés.

I. MONTE-CHARGES MUS PAR CABLES

Tous ces appareils sont presque toujours à double effet ; les cages ou plateaux sont suspendus à des câbles en fil de fer passant sur deux poulies pla-

cées à la partie la plus élevée du monte-charges ; l'une des cages monte pendant que l'autre descend ; le mouvement est donné par une machine à vapeur.

Dans les installations peu importantes où les fourneaux sont petits et où les charges se font à de longs intervalles, on établit habituellement la machine au gueulard, et l'un des chargeurs la surveille ; la machine est à changement de marche et commande directement la bobine sur laquelle s'enroule le câble porteur des cages.

Dans les grands hauts fourneaux, le travail exigé est trop considérable et les machines nécessaires deviennent encombrantes ; on les installe alors au pied du monte-charges ; la transmission du mouvement se fait de diverses façons ; dans certaines installations, on emploie la machine horizontale à deux cylindres, sans volant, commandant un tambour sur lequel s'enroule le câble dont les extrémités, après avoir passé sur les molettes placées au sommet du monte-charges, supportent les cages.

Cet appareil encombrant a été remplacé par celui représenté figures 174 et 175, dans lequel le mouvement du piston agit sur une série de moufles de telle sorte qu'une seule course de piston suffit pour élever la charge à la hauteur du gueulard. Cet appareil a été construit par la maison Ehrard et Sehmer, de Sarrebruck. A est le cylindre à vapeur à tige guidée, agissant directement sur les deux chapes mobiles B du moufle ; les poulies C, D, E ont leurs axes fixes ; il y a deux câbles en fil de fer ; l'extrémité de l'un d'eux est fixée sur le cylindre à vapeur, puis il passe sur une des poulies

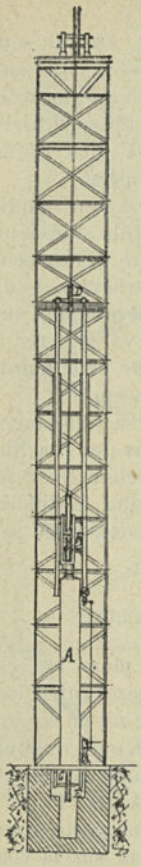


Fig. 174.
Monte-charge à vapeur.

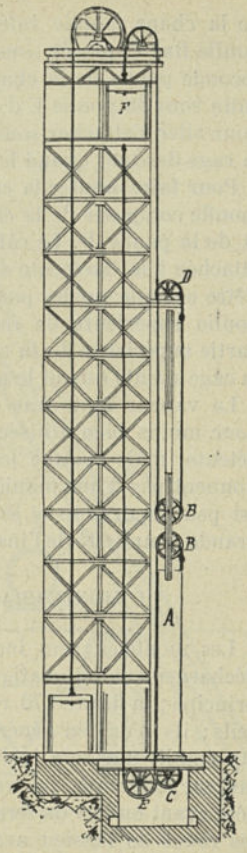


Fig. 175. Monte-charge à vapeur (vue latérale).

de la chape mobile inférieure B, ensuite sous la poulie fixe C placée sous le cylindre, puis sur la seconde poulie de la chape mobile inférieure B, et enfin sous la poulie E d'où il monte verticalement pour aller s'attacher sous la cage F ; de cette façon la cage descend quand le piston monte.

Pour faire monter la cage, il y a une deuxième moufle composée de la chape mobile supérieure B et de la poulie D. Le câble a l'une des extrémités attachée à la charpente du monte-charges, et après s'être enroulé sur les poulies de la moufle et sur la poulie supérieure de renvoi, il va se fixer à la partie supérieure de la cage F ; de cette manière, la cage monte quand le piston descend.

La vapeur agit sans détente, sa puissance est donc moins bien utilisée que dans une machine à détente, mais comme les monte-charges ne fonctionnent pas d'une manière continue, la différence est peu importante et se trouve compensée par la grande simplicité de l'installation.

II. MONTE-CHARGES INCLINÉS

Les monte-charges inclinés ou plans inclinés à déchargement automatique sont basés sur le même principe ; la figure 176 représente un de ces appareils ; ils n'ont en général qu'un seul wagonnet. On établit une voie inclinée B, mais double et de largeur différente. Le wagonnet A (fig. 176) a son côté avant ouvert ou fermé par une porte mobile ; les roues de l'essieu avant roulent sur la voie la plus étroite et les deux autres sur la plus large. Un tirant en forme de fourche relie l'arrière du

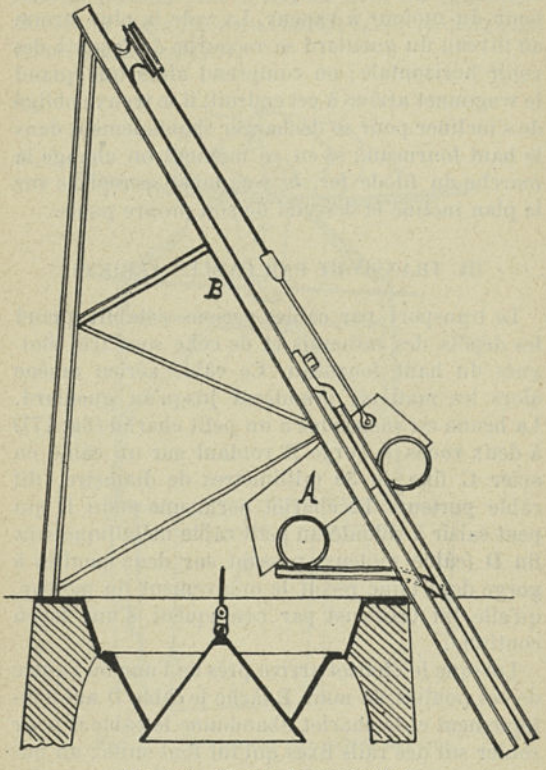


Fig. 176. Monte-charge incliné.

wagonnet au câble en fil de fer qui passe sur une poulie placée à la partie supérieure du monte-

charges et qui descend pour s'enrouler sur le tambour du moteur à vapeur. La voie la plus étroite au niveau du gueulard se recourbe de façon à devenir horizontale ; on comprend alors que quand le wagonnet arrive à cet endroit, il se trouve obligé de s'incliner pour se décharger spontanément dans le haut fourneau ; si en ce moment on change la marche du fil de fer, le wagonnet se replace sur le plan incliné et descend de son propre poids.

III. TRANSPORT PAR CABLES AÉRIENS

Le transport par câbles aériens s'établit quand les dépôts des minerais et de coke sont très éloignés du haut fourneau. Ce câble aérien amène alors les matières premières jusqu'au gueulard. La benne est suspendue à un petit chariot (fig. 177) à deux roues à gorge B roulant sur un câble en acier C fixe de 30 millimètres de diamètre, dit câble porteur. Le chariot porte une main E qui peut saisir à volonté un petit câble métallique sans fin D (câble moteur) passant sur deux poulies à gorge dont l'une reçoit le mouvement du moteur, qu'elle lui transmet par conséquent d'une façon continue.

Lorsque le chariot arrive près de l'une ou l'autre de ces poulies, la main E lâche le câble D automatiquement et le chariot abandonne le câble C pour rouler sur des rails fixes qui lui font suite ; un ouvrier pousse alors la benne suspendue au chariot jusqu'à l'endroit du chargement ou du déchargement. Quand l'une de ces opérations est faite, on fait repartir benne et chariot en sens contraire, le

chariot passant sur le second brin du câble porteur et la main fixée au chariot saisit le deuxième brin du câble moteur.

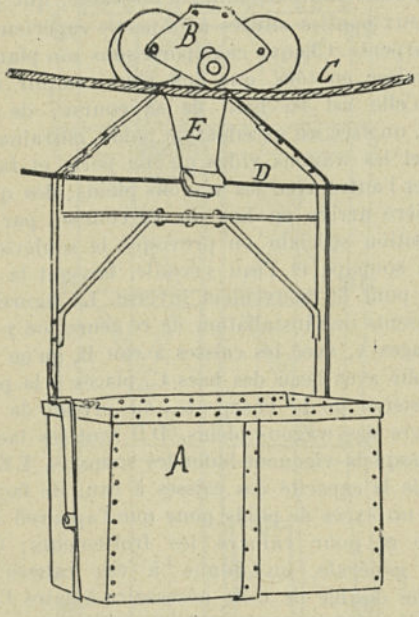


Fig. 177. Transport par câbles aériens.

Ces sortes d'appareils peuvent fournir au gueulard cent tonnes de minerai par heure.

—

IV. MONTE-CHARGES PAR BALANCES D'EAU

Dans ces monte-charges, les deux cages sont suspendues aux extrémités d'un câble, qui passe sur deux poulies situées à la partie supérieure de la charpente. Chaque cage porte sous son plancher une caisse en tôle, que l'on peut remplir d'eau lorsqu'elle est en haut de sa course; de cette façon, on crée un excédent de poids, entraînant la cage et les wagons vides qu'elle porte et faisant monter l'autre avec les wagons pleins; dès que la première arrive en bas de sa course, par une disposition spéciale on provoque le soulèvement d'une soupape et l'eau s'écoule, laissant la cage prête pour le mouvement inverse. La figure 178 représente une installation de ce genre; on y voit les cages A, avec les caisses à eau B, qu'on peut remplir avec l'eau des bacs C, placés à la partie supérieure de la charpente, au niveau de manœuvre des wagons pleins. D D sont les taquets sur lesquels viennent buter les soupapes E E. On calcule la capacité des caisses à eau, de façon à avoir un excès de poids pour que l'appareil fonctionne et pour vaincre les frottements; d'une façon générale, on donne à ces caisses une capacité double de celle nécessaire à faire l'équilibre à la charge.

Ces sortes d'installations exigent la présence d'un frein, car la vitesse de descente va en augmentant et, sans cette précaution, la cage descendante arriverait en bas avec une vitesse vertigineuse. On dispose également des arrêts

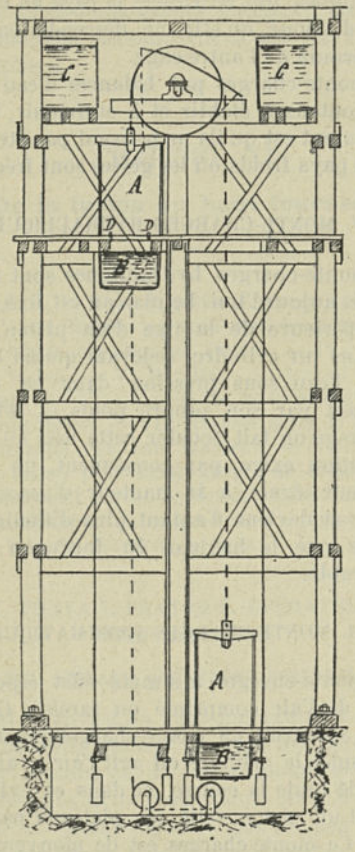


Fig. 178. Monte-charges par balances d'eau.

automatiques, qui retiennent la cage au niveau du gueulard, pour qu'elle ne descende pas quand l'eau s'écoule de l'autre cage.

Les monte-charges par balances d'eau sont les moins coûteux à établir et à entretenir, leur seul inconvénient est qu'ils ne peuvent pas être utilisés dans les pays froids où les gelées sont fréquentes.

V. MONTE-CHARGES HYDRAULIQUES

Les monte-charges hydrauliques sont rarement employés aujourd'hui. Le plateau est fixé à l'extrémité supérieure de la tige d'un piston, qui se meut dans un cylindre, s'élevant quand on introduit de l'eau sous pression dans ce cylindre, descendant par son propre poids et celui de la cage lorsqu'on fait écouler cette eau au dehors; l'installation exige, par conséquent, un puits de profondeur égale à la hauteur d'ascension du plateau, et devient d'autant plus difficile et plus coûteuse que la hauteur du fourneau est plus considérable.

VI. MONTE-CHARGES PNEUMATIQUES

Ces monte-charges à simple effet reposent sur l'action de l'air comprimé ou raréfié. Gjers, en 1860, a construit un monte-charges pneumatique dans lequel le cylindre où agit l'air avait la longueur de toute la course, et dans ce cylindre se mouvait un piston, relié aux plateaux par quatre câbles. Ce monte-charges est de mouvement très doux, mais il est très coûteux en raison de ce

cylindre alésé d'une grande longueur. La pression qu'on emploie ordinairement est de 1/3 à 1/2 d'atmosphère.

CHAPITRE XI

De la fusion au haut fourneau

SOMMAIRE. — I. Travail pratique. Opérations préparatoires. — II. Marche normale d'un haut fourneau. — III. Produits obtenus par fusion. — IV. Calcul du lit de fusion. — V. Résultats du travail des hauts fourneaux. — VI. Quantité de fonte produite pendant un temps donné. — VII. Rapport entre la production et la capacité d'un haut fourneau. — VIII. Poids du lit de fusion pour 1,000 kilogr. de combustible. — IX. Rendement du lit de fusion et des minerais. — X. Consommation de combustible par tonne de fonte. — XI. Prix de revient de la fonte.

I. TRAVAIL PRATIQUE. OPÉRATIONS PRÉPARATOIRES

Mise en feu, séchage, chauffage, charges de minerai

Quand la cuve d'un haut fourneau est nouvellement construite, on doit la sécher avec précaution, *la fumer*, comme on dit, en allumant d'abord un feu léger dans le fourneau, dont on a bouché les tuyères, et jetant ensuite peu à peu dans le creuset quelques charbons sur le feu, qu'on y entretient ainsi pendant trois ou quatre jours,

Après ce séchage préliminaire, on verse du charbon dans l'ouvrage, et on continue ces charges de combustible jusqu'à ce que le charbon paraisse au gueulard.

Alors, on verse peu à peu une petite dose de minerai, qu'on augmente graduellement. Ce n'est que lorsque le fourneau est en pleine activité qu'il est possible de connaître et d'employer toute la charge de mine que le charbon peut porter.

Dans les installations nouvelles, pour procéder au chauffage préliminaire on installe, en avant du creuset, une grille que l'on alimente avec un combustible, et on dirige les produits de la combustion vers l'ouvrage et la cuve, qui font office de cheminée; cette grille, de $0^{m2}50$ à 1 mètre carré, est simplement supportée par des briques; on la surmonte d'une chambre de combustion, qui débouche dans le haut fourneau; si celui-ci est à poitrine ouverte, la dame et la tympe sont mises en place après cette opération, ce qui facilite la communication; dans les fourneaux à poitrine fermée, on ménage un trou qu'on bouche ensuite avec des briques.

Les fourneaux construits en pisé réclament plus de précautions; la grille est placée à une petite distance en avant du creuset, et les produits de la combustion s'y dirigent spontanément sans aucun carneau; ils y arrivent par conséquent mélangés avec une certaine quantité d'air, et viennent avec une température modérée en contact avec les matériaux de la cuve.

A mesure que le séchage s'avance on rapproche la grille, afin d'éviter des refroidissements. Si on

veut activer le séchage, on peut suspendre dans le creuset, à 0m50 du fond, une grille en corbeille remplie de coke incandescent; mais il faut protéger les parois voisines par des plaques de fer et le fond du creuset par un rang de briques, afin d'éviter un échauffement trop brusque. Peu à peu, on enlève ces plaques et les briques à mesure que l'humidité disparaît, et on rend le séchage uniforme en déplaçant la corbeille de feu.

Si le fourneau est à gueulard ouvert, on le couvre partiellement pour diminuer le tirage et obliger le gaz à séjourner plus longtemps en contact avec les parois du fourneau. Dans les fourneaux ayant un appareil de fermeture, on l'installe avant le séchage ou au début de cette opération, et on laisse échapper les gaz par le tuyau qui surmonte la prise de gaz.

La durée de ce chauffage préalable est réglée suivant les nécessités commerciales. Si on est pressé, on la limite à cinq jours, mais quand on n'est pas tenu de se hâter, il est préférable, pour la conservation des matériaux, de maintenir quelques jours de plus ce chauffage, qui n'exige que très peu de combustible; il est donc prudent de consacrer deux semaines à ces opérations préliminaires. Pour les maçonneries en pisé, on fait durer le chauffage de quatre à six semaines. Dans tous les cas, il faut que la chaleur soit sensible sur les parois extérieures des étalages et de l'ouvrage.

Quand l'opération du chauffage est terminée, on enlève la grille, on nettoie le creuset, on met les tuyères en place, on établit la circulation de l'eau dans les appareils réfrigérants, on ferme les buses,

l'œil des tuyères et on donne le vent. Les souffleries marchent au début lentement, on augmente progressivement leur vitesse, et au bout de deux ou trois jours, on leur donne l'intensité qui convient à la densité du combustible.

Quand le fourneau est rempli de combustible, on commence à faire les charges avec un peu de minerai. Dans les anciennes installations, les maîtres fondeurs laissaient la combustion se poursuivre par tirage naturel, jusqu'à ce qu'il se produise un peu de scorie; on débouchait les tuyères dès qu'on avait fait quelques charges de minerai, et on donnait le vent avec faible pression; on continuait à faire les grilles jusqu'à ce que le laitier fondu commence à paraître aux tuyères; dès qu'on l'apercevait, on mettait en place la dame et on fermait la poitrine; on augmentait la proportion de minerai dans les charges, et, au bout de quatre à huit semaines, depuis le moment où on avait commencé à charger du combustible, le fourneau arrivait à sa marche normale.

Cette méthode de mise au feu a l'avantage d'offrir une très grande sécurité, et convient d'ailleurs bien lorsque le volume du fourneau est petit, car, dans ce cas, la consommation du combustible et le temps perdu n'ont qu'une faible importance.

Dans les grands hauts fourneaux de nos jours, ce procédé d'allumage entraînerait une dépense et une perte de temps considérables. En dehors de cela, aujourd'hui on emploie des briques argileuses, qui présentent l'avantage de résister mieux aux variations brusques de température que les pierres de grès; il est donc permis de les chauffer plus vite,

Lorsque le combustible employé pour la mise en feu est du coke, on doit l'additionner d'un peu de castine pour produire un laitier fusible, s'écoulant facilement hors du creuset. Le bois qui sert à enflammer le coke doit être bien sec ; on choisit pour cela des grosses bûches qu'on place debout, on les recouvre d'une couche de débris de bois, qui doit s'élever jusqu'à la hauteur de la moitié des étalages.

Actuellement qu'on se sert de l'air chaud, des appareils en briques, dont la température est bien supérieure à celle de l'inflammation du coke, on se passe du bois pour l'allumage, à condition d'avoir à sa portée le vent chaud d'un autre fourneau en marche ; on remplit alors de coke le bas du fourneau et on l'allume avec le vent chaud.

On remplit aujourd'hui les fourneaux de coke jusqu'au quart ou au tiers de la hauteur en y additionnant 1,5 de castine pour 1 de cendres dans le coke ; on fait ensuite quelques charges de coke et de castine avec un peu de laitier ; la somme du poids de chaux et de laitier égale celui du coke. La castine est supprimée toutes les fois que le laitier est très calcaire ; ce laitier absorbe une grande quantité de chaleur, qu'il entraîne avec lui et communique aux parois du creuset où il s'accumule ; le bas du fourneau se trouve ainsi dans d'excellentes conditions pour recevoir la fonte et l'empêcher de s'y figer.

Après ces charges avec du laitier, on en fait cinq ou six avec une proportion du lit de fusion égale au tiers de ce qu'elle est en marche normale, à laquelle on ajoute encore du laitier ; les cinq ou

six charges suivantes contiennent moitié de la charge normale ; on continue ainsi jusqu'à ce que le fourneau soit bien rempli.

Souvent pour bien répartir les charges dans les parties inférieures du fourneau, on les fait descendre avec des paniers et on les étale avec soin sur toute la surface. Dans ces conditions, on ne met en place les appareils de fermeture que quand le fourneau est plein. C'est alors qu'on bouche les trous ménagés dans l'ouvrage, et, lorsqu'on est assuré que tout est en état, on établit la circulation de l'eau et on allume le combustible par le trou de coulée ou par l'introduction de l'air chaud d'un fourneau en marche.

Quand on se sert du bois pour allumer le coke, on ne donne le vent que quand le laitier fondu se présente aux tuyères ; pour chauffer le creuset des fourneaux à poitrine fermée, on laisse les gaz sortir en partie par le trou de coulée, et on ne bouche complètement celui-ci que lorsque le laitier paraît bien liquide. Quand on voit que les gaz sortant du gueulard sont bien combustibles, on les dirige sur les appareils d'utilisation, générateurs de vapeur et appareils à air chaud ; il faut avant d'allumer ces gaz attendre qu'ils aient balayé tout l'air renfermé dans les conduites pour éviter les explosions.

Travaux de réparation à exécuter à l'intérieur des hauts fourneaux

Bien souvent on doit exécuter certains travaux dans l'intérieur des fourneaux, surtout quand la chemise est enveloppée d'un massif ou d'une en-

veloppe en tôle et nécessite une réparation qui ne peut être faite qu'en pénétrant dans la cuve. Il en est de même quand il se forme au-dessous du gueulard des cadmies qu'on ne peut laisser en place sans s'exposer à des dérangements d'allures.

Pour entreprendre un travail de ce genre, on commence par préparer le fourneau en faisant quelques charges à proportion réduite de lit de fusion, puis quelques autres dans lesquelles on remplace celui-ci par du laitier de bonne allure, puis on laisse baisser le niveau des charges de manière à découvrir le point à réparer ; on arrête le vent, on bouche les tuyères et toutes les ouvertures avec de la terre argileuse, on débarrasse le creuset et on garnit de fraisil ce dernier et le trou de coulée ; on étale ensuite sur la surface supérieure des charges une couche de laitier pulvérisé pour s'opposer au passage du gaz oxyde de carbone. Si la réparation doit durer longtemps, on établit des aspirateurs des gaz immédiatement au-dessus du niveau supérieur des charges. Dans tous les cas, on ne doit pas laisser les mêmes ouvriers dans l'intérieur de la cuve pendant un temps très long ; on est arrivé ainsi à réparer une grande partie de la chemise sans mettre hors.

Il arrive également que les lits de fusion très réfractaires, et surtout ceux qui renferment un excès de chaux, amènent des *accrochages*, pour des causes diverses, comme quand la température baisse dans la zone de fusion, quand le chargement est fait d'une façon irrégulière ou quand les charges sont bouleversées de sorte que les éléments du lit de fusion ne se présentent pas en proportion

convenable dans la partie où s'opère la fusion ; l'anthracite également peut occasionner des accidents de ce genre.

Tant que ces accrochages n'obstruent pas le passage du vent, on doit faire tout son possible pour les faire fondre en augmentant la température dans la partie supérieure des tuyères et diminuer le poids de la charge, et même faire quelques charges *blanches*, c'est-à-dire de combustible seul. Toutes ces précautions ne sont pas malheureusement toujours suffisantes, et le mal devient tel que le fourneau se trouve entièrement bouché ou étouffé ; il faut dans ce cas arriver à introduire du combustible par le bas, dans l'ouvrage, et lui donner du vent très chaud, ce qu'on ne peut pas faire dans les installations où il n'y a qu'un seul fourneau. Dans ces sortes d'installations, on y supplée en brûlant du pétrole ou d'autres combustibles développant beaucoup de chaleur. Il faut donc percer un trou dans la paroi du fourneau à un endroit convenable, opération très difficile et à laquelle on ne doit procéder qu'avec grandes précautions. Si l'accrochage est très loin des tuyères, on dispose plusieurs tuyères s'approchant de l'accrochage afin d'y développer une forte chaleur.

On a également obtenu de très bons résultats en introduisant du pétrole par les buses, en plaçant un réservoir de pétrole assez haut au-dessus des tuyères pour que la pression soit supérieure à celle du vent ; un tuyau amène le pétrole à la base, il s'y évapore et se trouve entraîné par le vent.

Tant que les gaz circulent, les charges réduites descendent peu à peu, mais si le fourneau est

obstrué complètement, il faut l'attaquer résolument en perçant un trou assez grand pour l'introduction du combustible et pour pouvoir attaquer l'accrochage directement avec des pinces ou des ringards.

Arrêts momentanés et mise hors

Quand les matières premières viennent à manquer pour une cause quelconque, mauvaise saison, guerre, etc., ou pour une réparation de la cuve exigeant la pénétration à l'intérieur, on se trouve dans l'obligation de suspendre la marche du haut fourneau pendant quelques jours et même quelques semaines sans qu'il soit nécessaire de procéder à une mise hors qui entraîne la reconstruction de l'ouvrage et un rallumage coûteux.

On obtient cet arrêt momentané en bouchant le haut fourneau. Pour cela, on fait quelques charges blanches, c'est-à-dire composées de combustible et de castine, et dans les charges suivantes on met très peu de minerai. Quand les charges blanches arrivent au niveau des tuyères, on fait couler la fonte et le laitier, on nettoie le creuset, puis on le remplit de fraisil ainsi que le trou de coulée, on enlève les buses, on bouche l'œil des tuyères et toutes les fissures visibles, on arrête la circulation de l'eau dans les appareils réfrigérants, et si le niveau supérieur baisse, on ajoute du combustible jusqu'à la hauteur normale ; on couvre la surface supérieure avec du gazon ou de l'argile bien tassée. Ainsi arrangé, un haut fourneau peut rester plusieurs semaines sans activité et reprendre ensuite, en très peu de temps, son allure normale. Pour le

remettre en marche, on donne du vent en commençant lentement, pour éviter que le minerai n'arrive trop vite dans la zone de fusion incomplètement réduit ; on maintient cette allure modérée jusqu'au moment où le fourneau ait obtenu sa température normale. C'est ainsi qu'en 1889, pendant la grève des mineurs, on a pu maintenir en arrêt plusieurs hauts fourneaux de Westphalie pendant plus de trois semaines sans qu'il en résulte de préjudice à leur marche ultérieure.

M. Ledebur, professeur de métallurgie à l'école des mines de Freiberg (Saxe), a constaté qu'en 1895 un haut fourneau de Siegen, après être resté bouché pendant plusieurs mois, a donné au bout de vingt heures de la fonte de bonne qualité.

Quand les réparations à faire dans un haut fourneau sont trop sérieuses pour influer sur son allure, on doit prendre la décision radicale de le reconstruire entièrement et procéder à la *mise hors*. C'est une opération assez simple et qui consiste à cesser de charger tout en continuant à souffler jusqu'à ce qu'on ne voie plus, par les tuyères, descendre les matières en fusion. On enlève alors la dame ou on perce la paroi du creuset, suivant que le fourneau est à poitrine ouverte ou fermée, et avec des râbles en fer on achève de vider le creuset en enlevant toutes les matières incandescentes ou demi-fondues et on laisse refroidir.

Les charges continuent à descendre et la flamme du gueulard devient plus longue et plus chaude ; on doit donc enlever les appareils de fermeture, qui seraient vite mis hors d'usage. Si on est obligé

de les laisser en place, on doit les arroser constamment.

Pour éviter la grande flamme qui rejaillit du gueulard, on remplit la cuve de calcaire et on la maintient pleine jusqu'au moment où l'on cesse d'insuffler du vent ; la partie inférieure du fourneau reste pleine de chaux infusible qu'on emploie pour la confection du mortier. Ce procédé a été employé d'une façon générale en 1870 ; il présente cependant l'inconvénient de retarder le refroidissement du haut fourneau.

Service d'un haut fourneau en marche

Un fourneau en marche normale exige un service pour transporter les matières premières, combustible et lit de fusion, peser ou mesurer et mélanger ces matières dans les proportions convenables ; pour faire monter les charges et les introduire dans le haut fourneau quand le niveau y descend suffisamment. On doit en outre surveiller les tuyères, l'écoulement des laitiers, préparer les moules à fonte et faire les coulées à des espaces déterminés.

On appelle *lit de fusion* le mélange de minerais qu'on charge dans le haut fourneau pour produire telle ou telle espèce de fonte. On dispose à proximité de chaque fourneau une *halle dite de mélanges*, où l'on prépare le lit de fusion, et pendant le jour on y accumule la quantité nécessaire pour vingt-quatre heures ; de cette halle, on transporte au fourneau chaque charge séparément.

Le sol de la halle est formé de plaques de fonte sur lesquelles on étend en couches superposées

bien régulières les diverses variétés de minerais. On obtient ainsi des tas ayant la forme de pyramides à base rectangulaire de 0m75 à 1m de hauteur ; chaque couche est formée d'une seule espèce de minerai, et avant de la recouvrir par une autre, on a le soin de régulariser la surface au moyen de râbles en bois. Les fondants sont introduits entre les couches de minerais ; pour faire une charge, on attaque le tas par tranches verticales, on mélange à la pelle et on obtient ainsi une homogénéité aussi complète que possible. C'est ainsi qu'on prépare encore les charges pour l'alimentation des fourneaux au charbon de bois.

Pour les grands hauts fourneaux au coke, la préparation du lit de fusion est plus simple ; on met dans la halle des tas des divers minerais bien séparés par des planches ; pour composer la charge on va prendre dans chacun de ces tas les quantités voulues et on charge sans faire de mélange, qui s'opère dans le fourneau ; lorsque les dépôts des minerais ne sont pas très éloignés des fourneaux, on se dispense même de la halle et on transporte directement les matières aux monte-charges.

Le service de la halle varie avec la dimension des hauts fourneaux et le nombre des minerais différents qui entrent dans la composition du lit de fusion.

Pour transporter les matières premières, on se sert de wagonnets à deux ou à quatre roues, roulant sur des rails et disposés de façon à basculer autour d'un axe horizontal pour se vider complètement. Les wagonnets, qui doivent être manœuvrés à bras, ont une capacité de 3 à 5 hectolitres

pour le lit de fusion, et le double pour le combustible. Pour le chargement automatique, les premiers ont 20 hectolitres et les seconds 35. Les combustibles, les minerais et les fondants sont mesurés tantôt au poids, tantôt au volume. L'évaluation au volume est plus pratique, car il suffit de temps en temps de vérifier le poids de matières contenues dans les wagonnets pour rectifier le rapport entre les divers éléments de la charge ; de plus, on n'a pas besoin de tenir compte de l'eau absorbée pendant les intempéries. D'un autre côté, le poids spécifique des combustibles varie beaucoup, lors même qu'ils proviennent de même source ; on est donc exposé à en mettre plus ou moins pour une même quantité de lit de fusion. Si on évalue les charges de combustible au volume, on évite de mettre moins de combustible et plus d'eau à vaporiser.

Malgré toutes les précautions qu'on peut prendre, il est impossible d'éviter les variations d'allure, et on doit par conséquent modifier la proportion entre le combustible et le lit de fusion, suivant les observations de chaque instant. Ces corrections se font en changeant la proportion d'un seul élément de la charge : combustible ou lit de fusion. L'habitude est qu'on ne retouche pas la charge du combustible et qu'on modifie la composition du lit de fusion, ce qui est préférable, à cause de la densité plus forte de ce dernier, qui occupe un volume moindre et que toute modification du volume du combustible apporterait une perturbation plus grande dans la descente des charges.

La charge du combustible ne peut pas varier beaucoup, car si on en fait des charges volumi-

neuses, il faudra que le niveau s'abaisse considérablement avant qu'on puisse en faire une nouvelle, et cette dernière occasionnerait un refroidissement dans la région où la réduction doit commencer à se faire. Si au contraire la charge de combustible est trop petite, il faudra accroître leur nombre et par conséquent la main-d'œuvre, multiplier les ouvertures du gueulard et les pertes de gaz.

Dans les fourneaux munis d'appareils de chargement automatiques, comme ceux de Langen par exemple, la bonne distribution des matières chargées dépend du volume qu'elles occupent, et pour chaque appareil existe un volume plus convenable que tout autre, que la pratique indique et auquel on doit s'attacher, sous peine de changer l'allure.

Pour les fourneaux au charbon de bois de faible capacité consommant un combustible léger, les charges doivent être très réduites ; elles varient de 50 à 150 kilogrammes suivant la capacité ; on a atteint quelquefois 200 kilogrammes. Avec le coke on varie entre 2,000 et 4,000 kilogrammes. Quelquefois on est allé jusqu'à 9,000 kilogrammes, et on a remarqué souvent que l'allure s'améliorait avec ces charges considérables. Le chargement s'effectue par les ouvriers en suivant le tableau disposé en lieu convenable, sur lequel sont inscrites les instructions ; un autre tableau placé à côté sert à marquer les charges faites et sert pour tenir le livre de roulement.

Coulée et enlèvement des laitiers

Lorsque le haut fourneau est en marche régulière, il s'accumule dans le creuset une assez grande

quantité de fonte surmontée d'une couche de laitier qu'il faudra enlever avant de couler. Cette opération est très simple quand le laitier est suffisamment fluide et s'écoule facilement, c'est ce qui arrive dans tous les hauts fourneaux au coke soufflés avec de l'air chaud et dans tous ceux au bois donnant de la fonte blanche ; on ouvre la tuyère spéciale dite à laitiers, et le laitier s'écoule dans un chenal garni qui le conduit à l'endroit où il doit être recueilli pour l'enlever ; le fondeur surveille l'ouverture de la tuyère pour qu'elle ne s'obstrue pas. Le laitier écoulé est recueilli et traité ensuite suivant l'emploi auquel on le destine. Quand on le jette au crassier, on le reçoit dans des chariots où il se fige ; ces chariots sont à deux essieux et la caisse est formée de tôles très épaisses réunies entre elles par des boulons ; au lieu du déchargement on installe une grue qui sert à enlever la caisse et à la culbuter pour sortir le bloc de laitier. Ces chariots peuvent contenir de 1 à 5 mètres cubes de laitier ; le laitier, pour s'y figer, exige un certain temps, et il arrive souvent qu'au moment du déchargement la croûte superficielle se casse et le laitier fluide s'écoule, pouvant causer des accidents. On a construit par suite des chariots dont la forme est telle que le laitier s'y conserve liquide jusqu'au moment du déchargement.

Le chariot de Koppel a la caisse en forme d'un tronc de cône renversé de $2^{m}50$ de diamètre à la base supérieure et $2^{m}30$ à celle inférieure ; la hauteur de la caisse, $1^{m}10$. Le fond est revêtu d'un pisé réfractaire ; la caisse porte deux tourillons reposant sur des paliers fixés sur la plate-forme du

wagon. Un petit treuil à manivelle et engrenages sert à faire basculer la caisse.

Dans les hauts fourneaux fabriquant de la fonte de moulage au bois, le laitier n'est pas assez fluide pour couler naturellement, on fait alors ces fourneaux à poitrine ouverte en ayant soin de recouvrir avec du fraisil la partie liquide qui se trouve dans l'avant-creuset entre la tympe et la dame afin d'empêcher le refroidissement. Quand le niveau du laitier monte, on retire avec le ringard la croûte solidifiée qu'on fait passer par-dessus la dame. De temps en temps, on enfonce les ringards jusque dans l'ouvrage pour retirer les parties de laitier non fluides et permettre à celles qui sont liquides d'en sortir, puis on regarnit de fraisil.

Quand donc le laitier est écoulé et qu'il n'en reste qu'une mince couche sur le métal fondu, on fait la coulée du métal. On fait de deux à six coulées par vingt-quatre heures, suivant la capacité et la production du fourneau.

On reçoit la fonte dans des *poches de coulée* garnies de terre réfractaire, quand on doit la transporter à une certaine distance du haut fourneau. On y amène la fonte par un chenal en tôle ou en fonte garni de pisé réfractaire, et la fonte tombe du bec du chenal dans la poche ; il faut donc que le niveau du trou de coulée soit assez élevé pour qu'on puisse donner au chenal une pente suffisante.

La capacité des poches de coulée correspond au volume d'une coulée ; il en existe pouvant contenir jusqu'à 20 tonnes de fonte et même davantage ; on les manœuvre à l'aide de locomotives. Pour les basculer, il existe plusieurs manières ; ordinaire-

ment on se sert d'une grue hydraulique qui saisit une anse fixée à l'arrière.

La stabilité des poches doit être grande ; pour cette raison on éloigne considérablement l'axe des tourillons de la verticale passant par le centre de gravité ; cette disposition présente en outre l'avantage de réduire au minimum le rayon de la circonférence décrite par le bec de la poche pendant qu'on la vide, de sorte que le jet de fonte liquide se déplace très peu pendant cette opération.

Quand on veut couler de la fonte en gueusets, on dispose près du fourneau les moules de ces gueusets dans lesquels la fonte coule directement. On fait ces moules dans le sable de la halle de fonderie, placée à un niveau inférieur à celui du trou de coulée ; on les établit à l'aide d'un modèle en bois et le sable doit être à grains moyennement fins, laissant passer les gaz ; ils sont découverts et ont une section trapézoïdale ou circulaire, suivant le type adopté par l'usine.

On dispose ces moules à côté les uns des autres d'une manière rationnelle ; on établit d'abord la *mère gueuse*, qui reçoit la fonte du haut fourneau, en lui faisant occuper tout un côté de la surface du chantier. De cette mère-gueuse, partent les moules des gueuses intermédiaires perpendiculaires à la mère et séparées les unes des autres par des intervalles de 2 mètres ; de ces gueuses partent les moules de gueusets, qui sont alors parallèles à la mère gueuse ; on les fait très rapprochés les uns des autres et on leur donne un mètre de longueur en général. Pour diriger le courant de fonte à volonté, on fait des pelles métalliques recouvertes de

terre argileuse. On laisse d'abord la fonte couler dans la première dérivation partant de la mère et remplir le premier rang de gueusets qui y correspond, puis on enlève la pelle formant barrage et on remplit le deuxième rang, et ainsi de suite.

Si la production du haut fourneau est grande, il devient difficile de préparer les moules des gueusets ; on a imaginé alors des machines pour supprimer le travail manuel. Le plus souvent, on adopte des moules à gueusets passant successivement sous le jet de fonte qui tombe du bec d'une poche de coulée ; le métal qui les remplit se fige rapidement, les moules se vident automatiquement et les gueusets tombent à un endroit convenable. Ces moules sont en fonte, qu'on enduit de lait de chaux pour éviter l'adhérence des gueusets. Dans certaines usines, ces moules sont placés en couronne sur une grande circonférence et suivant des rayons. Dans d'autres usines, on les fixe sur deux chaînes sans fin égales, passant sur des tambours égaux pourvus de dents, s'engageant dans les maillons des chaînes.

La figure 179 représente la machine Vehling. Au-dessous de la chaîne à moules, il y a une caisse contenant du lait de chaux, ayant pour fonction d'asperger les moules encore chauds et les préparer à recevoir à nouveau la fonte liquide. Les moules, quand ils passent sur le tambour supérieur, laissent tomber les gueusets sur une sorte de plateau incliné au-dessous duquel se trouve une toile sans fin faisant passer ces gueusets à travers une caisse pleine d'eau où ils se refroidissent, puis ils sont versés dans des wagons.

Quand on coule de la fonte blanche, on coule dans des coquilles en fonte au lieu de moules en sable qui ont besoin d'être refaits après chaque coulée. Les gueusets ainsi obtenus sont plus propres, mais les coquilles, sous l'action alternative du chaud et du froid, se détériorent rapidement et doivent être fréquemment remplacées ; ainsi elles ne sont pas plus économiques que les moules en sable. D'un autre côté, par le refroidissement brusque que subit la fonte dans la coquille, elle

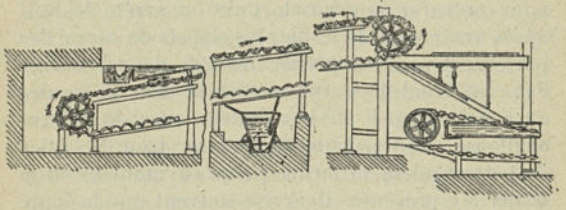


Fig. 179. Machine à gueuses de Vehling.

subit une modification d'aspect de la cassure, et tant qu'on classera dans le commerce les fontes d'après l'aspect de leurs cassures, on devra, pour éviter des erreurs d'appréciation, couler en sable.

Dans les fourneaux à poitrine ouverte, il faut, au moment de la coulée, arrêter le vent, car la surface des matières fondues venant à baisser dans le creuset, les gaz s'échapperaient par la tympe en produisant une flamme longue et forte, obligeant les ouvriers à fuir. On perce le trou de coulée avec une pique en fer à pointe aciérée, et on laisse le creuset se vider entièrement. On donne un instant

le vent pour balayer le creuset ; on l'arrête à nouveau pour nettoyer l'intérieur du creuset au moyen de longs ringards et de crochets ; on remplit l'avant-creuset de menus combustibles, on bouche ensuite l'avant-creuset en le recouvrant d'une plaque de fonte recouverte de terre réfractaire pour empêcher la sortie du vent, on bouche le trou de coulée et on donne le vent de nouveau.

Si le haut fourneau est à poitrine fermée, on continue à souffler pendant toute la durée de la coulée, et même un peu après qu'elle est terminée, pour nettoyer le creuset, puis on arrête le vent après avoir soin de fermer les clapets de sûreté des porte-vent pour empêcher les gaz de rebrousser dans les conduites. On nettoie le trou de coulée avec un ringard, on le rebouche avec de la terre argileuse et on redonne le vent. Le trou de laitier doit être également fermé jusqu'au moment où le laitier s'y présente. Il arrive souvent que la fonte mélangée de laitier se solidifie en dedans du trou de coulée parce que la température dans cet endroit n'est pas trop élevée ; il faut dans ce cas des piques aciérées qu'on y enfonce à coups de masse ; c'est un travail pénible et qui dure quelquefois plusieurs heures. On a cherché à fondre ces matières qui encombrent le trou de coulée à l'aide d'une flamme oxhydrique.

Phénomènes physiques et chimiques qui se produisent dans les hauts fourneaux

Au commencement de ce volume, nous avons donné une description des phénomènes qui se succèdent dans un fourneau en marche. De tout cela,

on conclut que la transformation des minerais en fonte passe par trois phases bien distinctes, qui sont : la réduction, la carburation et la fusion.

Pour que la réduction s'opère, il faut que les minerais, qui sont jetés dans le gueulard froids, arrivent à une température convenable ; il existe donc dans la cuve une région où les minerais absorbent de la chaleur avant que la réduction commence. Il ne faut pas cependant croire que la réduction s'opère à fond avant que la carburation commence. Ces deux opérations se produisent simultanément ; on trouve dans un même morceau une partie superficielle réduite, et au centre de l'humidité ; de même des morceaux ayant commencé à absorber du carbone avant d'être parvenus, dans toute leur masse, à l'état de fer.

Si on trace un croquis schématique d'un haut fourneau, on peut y faire figurer plusieurs zones, qu'on désignera sous les noms de : zones de *chauffage préalable*, de *réduction* et de *fusion* ; la première commence au gueulard même, la deuxième descend jusqu'au bas des étalages, et la troisième domine tout l'ouvrage.

Ces dénominations ont été données pour la première fois par Schærer, mais elles peuvent donner des idées fausses, car les charges, dans leur descente, ne se maintiennent pas en couches horizontales ; le frottement contre les parois retarde la marche des matières qui se trouvent à la circonférence, et la charge qui était horizontale au début, prend la forme d'un entonnoir ; les minerais et la castine, étant plus denses que le combustible, arrivent au bas du haut fourneau avant le combustible,

Dans la pratique, on constate que les corps les plus lourds descendent plus rapidement à travers les charges ; car, d'après la capacité du fourneau et le volume des charges, on peut calculer combien de charges il contient, et d'après le nombre de charges qu'il reçoit en vingt-quatre heures, on peut déterminer le temps qu'une charge séjourne dans le haut fourneau. Des morceaux lourds comme des gueusets, additionnés à des charges, arrivent aux tuyères en moins de temps que ne l'indique le calcul. Si, au contraire, on additionne des corps légers, ceux-ci arrivent aux tuyères avec plusieurs jours de retard, retenus par le frottement contre les parois.

Pour vérifier la forme d'entonnoir que prennent les charges dans leur descente à l'intérieur du haut fourneau, on s'est servi de tiges en fer très longues, à l'extrémité inférieure desquelles on a fixé des plaques en tôle ; on a placé ces tiges à différents endroits de la section horizontale et sur la surface d'une même charge. La position relative des extrémités supérieures indique la forme qu'a prise la surface de la charge.

Nous avons déjà parlé des inconvénients occasionnés à l'écoulement des gaz, par cette tendance des matières minérales à renvoyer le combustible vers la circonférence ; nous avons également indiqué les artifices employés pour remédier, dans la mesure du possible, à cet état de choses, mais malgré tout cela, l'entonnoir se forme.

Le combustible chargé dans le haut fourneau doit, par sa combustion, dégager la quantité nécessaire de chaleur et atteindre le degré de tempéra-

ture qu'exige la fusion ; il faut, en outre, que le carbone se transforme d'abord en oxyde de carbone, qui est le réducteur, car on sait que la réduction du minerai s'opère en partie par l'oxyde de carbone, et en partie par le carbone solide, et la dépense de chaleur est moindre dans le premier cas que dans le deuxième ; on diminuera par conséquent la dépense de combustible par tonne de fonte, si on fait en sorte que la proportion de minerai réduit par l'oxyde de carbone soit la plus grande possible. Cette réduction par l'oxyde de carbone cesse dès que le minerai entre en fusion. Il faut donc, au niveau des tuyères, avoir une température inférieure à celle qui produit la scorification, car si cette scorification se produit, le minerai scorifié ne se réduit plus que par le carbone solide.

Il faut également éviter que l'acide carbonique, résultant de la réduction du minerai, se transforme de nouveau en oxyde de carbone, parce que cette transformation se fait avec absorption d'une partie de carbone des régions supérieures du haut fourneau.

Pour avoir donc une marche de haut fourneau avantageuse, il faut que le carbone à l'état solide du combustible soit employé surtout à développer de la chaleur et non pas à réduire du minerai et à carburer l'acide carbonique.

Dès qu'une charge est introduite dans le fourneau, la température des matières s'élève, l'eau non combinée et même celle de l'hydratation est éliminée rapidement en état de vapeur ; les différents minerais se comportent de différentes ma-

nières ; quelques-uns perdent leur eau à une température inférieure à 120°, d'autres au contraire vers 400 à 500° ; d'autres minerais en grains arrivent à 2m 50 au-dessous du gueulard, où la température est voisine du rouge et ne perdent qu'un tiers de leur eau d'hydratation ; à 4m 30 de profondeur, à la température du rouge sombre, et où ils arrivent après quatre heures et demie, ils ne sont pas complètement déshydratés. Ces écarts entre les temps de déshydratation qui exige de la chaleur, expliquent les variations de chaleur des gaz entre deux charges successives. Bien entendu, la température au gueulard est plus basse quand on traite des minerais hydratés que quand ils sont secs.

En dehors de cela, cette température au gueulard dépend des opérations qui se passent dans la partie inférieure d'un haut fourneau.

Les charges renferment souvent des carbonates, fers spathiques, sphérosidérites ou calcaires décomposables à des niveaux plus ou moins bas, suivant que la température nécessaire à cette transformation est plus ou moins élevée. Le carbonate de fer se décompose, d'après Akermann, vers 300 à 400°. Suivant Schinz, il se réduit dans un courant de gaz renfermant 34 0/0 d'oxyde de carbone et de l'azote à une température inférieure à 800°.

La réduction du fer spathique est rendue plus facile par une calcination préalable, ce qui amène à croire que la température de décomposition est supérieure à celle donnée par Akermann ; de toutes les expériences faites jusqu'à ces jours-ci, on peut dire que le calcaire ne commence à se décomposer qu'à 900°,

D'après Jordan, la décomposition de 1 kilogr. de carbonate de chaux absorbe 477 calories, celle de 1 kilogramme de carbonate de fer, 130 calories ; M. Jordan conseille de ne pas calciner la castine avant de l'introduire dans le fourneau. Si on n'emploie pas la chaux immédiatement à sa sortie du four, elle absorbe à nouveau de l'eau et de l'acide carbonique ; l'absorption de chaleur résultant de la séparation de l'acide carbonique et entraînée par ce gaz contribue à maintenir, dans la région où se trouve encore une quantité considérable de minerai non réduit, la température au-dessous du point de fusion ; on évite ainsi la scorification du minerai, on empêche *le feu de monter*, comme on dit en termes de métier. On sait d'ailleurs qu'une scorification prématurée oblige la réduction à s'opérer par le carbone solide et amène une dépense plus grande de combustible. Pour cette raison on charge une partie des minerais spathiques ou sphérosidérites en état cru.

Pendant que les corps solides se transforment en descendant à travers le fourneau, les gaz qui s'élèvent depuis les tuyères jusqu'au gueulard subissent également des changements dans leur composition. L'air injecté par les tuyères rencontre le combustible à très haute température et sa combustion se produit ; elle est d'autant plus rapide que la zone où il arrive est à une plus haute température et que le contact avec le combustible est plus intime ; elle est donc favorisée par le chauffage du vent, par sa division en un grand nombre de jets, par une forte pression. Le produit de la combustion est de l'oxyde de carbone, car le courant de gaz

rencontre constamment de nouveau combustible à une température élevée ; il se forme évidemment une certaine quantité d'acide carbonique, mais cet acide carbonique est immédiatement transformé en oxyde de carbone. C'est pour cela qu'on trouve au-dessus des tuyères de l'oxygène libre qui disparaît d'autant plus vite que la chaleur est plus intense.

La combustion qui se produit au niveau des tuyères a pour but de donner la température nécessaire à la fusion des matières ; cette température dépend de la quantité de chaleur que peut produire le combustible, de la température à laquelle ont été portées les matières qui constituent la charge dans leur descente, de la température à laquelle a été porté le vent et de la proportion entre le combustible et les matières composant le lit de fusion.

La quantité d'acide carbonique contenue dans l'air est tellement faible qu'elle ne peut pas exercer une influence quelconque sur la marche du fourneau et, par conséquent, on peut n'en pas tenir compte.

Il faut cependant tenir compte de la vapeur d'eau ; car l'air en renferme une proportion d'autant plus grande que sa température est plus élevée. A 0°, l'air saturé renferme 0,35 0/0 de son poids de vapeur d'eau ; à 10°, la proportion s'élève à 0,70 0/0. Pour brûler 1 kilogr. de carbone dans le haut fourneau, il faut 5,65 kilogr. d'air qui, avec 0,70 0/0 de vapeur d'eau, apporte dans le fourneau 0,04 kilogr. d'eau en état de vapeur ; cette vapeur, au contact du charbon incandescent,

est décomposée en hydrogène et oxyde de carbone avec absorption de chaleur qui, calculée, se trouve être de 62 calories.

La pratique a démontré qu'il existe, pour le courant gazeux ascendant, une certaine vitesse plus convenable que toute autre et qu'on ne peut diminuer sans qu'il en résulte une plus grande consommation de carbone, car à cette vitesse réduite correspond une action plus prolongée du carbone sur l'acide carbonique. Si la vitesse est exagérée, il peut arriver que le contact des minerais avec les gaz réducteurs ne soit pas assez prolongé et qu'il faille consommer du carbone directement dans la zone de fusion pour achever la réduction.

En somme, pour mieux utiliser le combustible, il faut lancer dans le haut fourneau un volume de vent ni trop faible, ni trop considérable. Plus le fourneau est élevé, plus il faut imprimer de vitesse aux gaz pour éviter le contact trop prolongé entre le carbone et l'acide carbonique.

Si le combustible qu'on emploie n'est pas carbonisé, les matières volatiles qu'il dégage renferment de l'oxyde de carbone et des carbures d'hydrogène qui se mélangent au courant gazeux ; les hydrocarbures les plus carburés se décomposent et leur carbone participe à la réduction, tandis qu'on retrouve les moins carburés dans les gaz.

Quand les gaz arrivent aux parties les plus élevées de la cuve, ils contiennent davantage d'oxygène ; en s'approchant du gueulard, ils entraînent de la vapeur d'eau et, par conséquent, quand ils quittent le fourneau, ils renferment de l'azote, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique, des

hydrogènes carbonés, de l'hydrogène libre, des vapeurs d'eau et des poussières.

Les gaz recueillis à différentes hauteurs dans le haut fourneau permettent de suivre les phénomènes qui s'accomplissent et d'acquérir les notions premières sur les réactions successives dans cet appareil.

La première étude des gaz fut faite par Bunsen en 1839, sur le fourneau de Veckerhagen, près Cassel; il faut avoir une bonne prise d'essai et c'est là la chose très difficile, surtout dans la région située au-dessous du gueulard; l'échantillon pris dans le voisinage de l'axe diffère beaucoup de celui qu'on recueille près de la circonférence, car on a vu que le minerai avec les fondants, se rassemblent vers le milieu de chaque section et le combustible s'accumule près de la circonférence. Lorsque le gueulard est fermé, le mélange des gaz pris sur un point de la conduite est à peu près homogène et on se borne actuellement à analyser ces gaz du gueulard, parce qu'il suffit de connaître leur composition pour en tirer des conclusions très importantes au sujet de l'allure du haut fourneau.

Température des diverses régions d'un haut fourneau

On a cherché à mesurer la température dans les différentes parties d'un haut fourneau afin de se rendre compte des régions dans lesquelles se produisent les phénomènes que nous avons cités et de comparer entre eux, au point de vue de leur marche, les différents hauts fourneaux. C'est ainsi qu'on a constaté 1600 à 2000° immédiatement au-

dessus des tuyères; la température est plus élevée quand on marche en fonte grise que lorsqu'on produit de la fonte blanche; au ventre, elle varie de 700 à 1500°, et au gueulard, entre 200°-400°. Pour mesurer ces températures, on se servait au début d'alliages que l'on fixait à l'extrémité de tiges de fer et qu'on introduisait dans le fourneau. Aujourd'hui, on possède des pyromètres plus exacts, comme celui de Le Chatelier. La température n'est pas la même dans tous les points d'une même section horizontale, elle varie du centre à la circonférence.

M. Wielener a relevé les températures du haut fourneau de Gleiwitz, ayant 13m60 de hauteur entre le niveau des tuyères et celui du gueulard. Les caractéristiques principales étaient les suivantes :

Diamètre au niveau des tuyères. . . .		2m560
— au ventre.		5m340
— au gueulard		3m920
Capacité.		215m3
Température du vent.		350°
Volume de vent par minute.		150m3
Lit de fusion	Scories d'affinage . . .	180 kg.
	Hématite brune. . . .	135 kg.
	Fer spathique grillé. .	67 kg. 5
	— cru. . .	67 kg. 5
	Castine.	165 kg.
Production par 24 heures.		36 tonnes
Consommation en coke par tonne de fonte		1.500 kg.

Chaque charge parcourait le fourneau en vingt-quatre heures.

Tableau des températures relevées

	Au niveau des tuyères	à						Au gueulard
		0.44	1.47	5.54	7.64	9.83	12.03	
		au-dessus des tuyères						
Au milieu du fourneau . .	1300°	1400°	1400°	1200°	955°	850°	680°	140°
A mi-distance entre l'axe et les parois. .	1500	1500	1300	1000	700	525	432	140
Contre les parois.	1600	1300	1400	1200	900	815	575	290

Pression et volume d'air injecté dans le haut fourneau

La pression et le volume d'air injecté dans un fourneau doivent être en rapport avec les dimensions de ce dernier si l'on veut que le fourneau ait une marche régulière et économique ; la nature du combustible intervient également.

Si on augmente la pression de l'air, on fait croître en même temps la vitesse d'écoulement et la force vive ; le vent peut vaincre plus facilement les obstacles que lui opposent les morceaux de combustible et pénétrer plus avant dans l'ouvrage. Plus le combustible est compact et difficile à brûler, plus il faut employer une forte pression, puisque l'air produira une chaleur plus également répartie dans toute la section horizontale et s'opposera à ce qu'elle se localise dans le voisinage des parois ; d'un autre côté, les minerais qui des-

cendent vers le milieu du fourneau recevront plus de chaleur et se trouveront mieux exposés aux phénomènes de réduction par le gaz. L'anthracite exigera donc plus de pression que le coke, tandis que le charbon de bois en demande moins.

La pression doit être d'autant plus forte que le diamètre de l'ouvrage au niveau des tuyères est plus grand ; en faisant saillir l'extrémité des tuyères hors de la paroi intérieure de l'ouvrage, on permet au vent de pénétrer plus avant, et c'est là une disposition qu'il ne faudra pas négliger.

La pression augmente naturellement avec la hauteur du fourneau, puisqu'elle est due à la résistance que le courant gazeux éprouve de la part des matières accumulées sur toute la hauteur ; elle dépend également de la grosseur des morceaux de minerai et de fondants.

Une pression exagérée peut produire des refoulements qui troublent la répartition du vent et diminuent le rendement de la soufflerie ; plus l'ouvrage est étroit ou plus le nez des tuyères fait saillie à l'intérieur, et plus cet inconvénient se fait sentir. Quand on augmente la pression du vent, il faut diminuer le diamètre des buses, car autrement on lance dans l'ouvrage une quantité de vent plus considérable et on brûle dans le même temps une plus grande quantité de combustible, la chaleur développée est plus considérable, les charges descendent plus vite et la production de fonte augmente ; en même temps, les gaz arrivent au gueulard plus chauds.

Toute augmentation de pression ou tout accroissement dans le volume d'air insufflé, dans un four-

neau marchant à une bonne allure, provoque un accroissement de consommation de combustible par tonne de fonte produite et de qualité donnée. Cela se comprend facilement, car les minerais arrivent à la zone de fusion plus rapidement et moins bien préparés ; le laitier renferme une plus grande quantité de fer sous forme d'oxyde, qui sera réduit par le carbone solide au lieu de l'être par l'oxyde de carbone.

Si au contraire il y a une trop faible quantité d'air insufflé dans l'unité de temps, l'utilisation du combustible est moins bonne, la quantité de chaleur dégagée dans un temps donné est moindre, tandis que les pertes de chaleur par rayonnement sont les mêmes. Les gaz restent en contact prolongé avec le carbone, et ce contact a pour effet de ramener l'acide carbonique à l'état d'oxyde de carbone et de diminuer la proportion du combustible réellement utilisé.

Avec les minerais difficiles à réduire, on doit donc leur imprimer moins de vitesse qu'à ceux qui sont faciles à réduire, afin qu'ils séjournent plus longtemps dans la cuve.

Les minerais doivent séjourner dans le fourneau un temps qui varie avec la capacité de celui-ci et avec la quantité de vent soufflé. Dans les petits hauts fourneaux au charbon de bois traitant des minerais faciles à réduire, comme ceux des Alpes autrichiennes, il suffit d'un séjour de six heures, en allure de fonte blanche ; dans les grands fourneaux à coke, en allure de fonte grise, les minerais mettent plus de soixante heures pour traverser toute la hauteur, et on est renseigné, par expé-

rience, que toute diminution de ce temps amène une augmentation de consommation de combustible pour la même quantité de minerai.

De l'emploi de l'air chaud

Nous avons déjà dit que M. Neilson a eu le premier l'idée d'employer l'air chauffé pour le soufflage des hauts fourneaux et l'expérience a démontré que l'air chauffé même à une température modérée donnait une diminution sensible de consommation de combustible et en même temps une augmentation de production. Ces résultats sont devenus plus évidents avec les appareils perfectionnés imaginés dans la suite et permettant le chauffage à très haute température. Il y avait cependant une modification dans la nature de la fonte produite par l'air chaud. On est arrivé à éviter cette modification et à combattre l'influence de l'air chaud par la modification dans les lits de fusion.

On a étudié sérieusement l'action de l'air chaud et on a trouvé que la quantité de combustible économisé représentait un nombre de calories supérieur à celui fourni par l'apport du vent chauffé. De plus, on a remarqué que, à mesure que la température du vent était élevée, celle du gueulard baissait. Ces deux faits dépendent l'un de l'autre. Pour chaque kilogramme de fonte obtenu, il faut dans le fourneau une certaine quantité de chaleur résultant de la combustion par le vent d'une certaine quantité de combustible ; chaque kilogramme de combustible brûlé donne naissance à un volume de gaz qui s'élève dans le fourneau ; si une partie

de cette chaleur utile, au lieu de provenir de la combustion du carbone, est apportée par le vent chaud, il y aura moins de carbone brûlé et par conséquent moins de gaz produits, et cela d'autant plus qu'il y aura plus de chaleur introduite par le vent chaud ; comme la quantité de gaz sera plus faible, ceux-ci seront plus vite et mieux dépouillés au profit des matières solides qu'ils traversent, et la chaleur qu'ils emportaient sera mieux utilisée et la température au gueulard sera moindre.

La même quantité de combustible suffit à traiter un poids plus considérable de minerai avec le vent chauffé, il en résulte donc une augmentation de production, si le poids de l'air insufflé est le même qu'auparavant.

Avec l'air chauffé, la température accroît devant les tuyères, la combustion est plus rapide, l'oxygène et l'acide carbonique libres disparaissent plus rapidement. Cette haute température s'abaisse plus vite qu'en employant l'air froid, car pour une même quantité de gaz se trouve dans le fourneau une plus grande masse de matières qui absorbent de la chaleur.

Le gueulard, avons-nous dit, est à une température moins élevée, et par conséquent les minerais, et surtout les hydrates, se préparent moins vite dans les parties hautes de la cuve, la réduction commence plus tard et est moins complète.

En résumé, on admet que la limite au delà de laquelle il est inutile et même nuisible d'élever la température du vent est d'autant plus basse :

1° Que le fourneau a une moindre hauteur ;

2° Que le minerai est plus facile à réduire ;

3° Que la fonte produite renferme moins de silicium, de manganèse et de phosphore ;

4° Que le combustible brûle avec plus de facilité.

II. MARCHE NORMALE D'UN HAUT FOURNEAU

Allure chaude, allure froide

Quand le travail d'un haut fourneau se fait d'une facon normale dans les conditions plus haut énumérées, on dit qu'il marche en *allure chaude* ; si sa marche est anormale, l'allure devient *froide*.

Les différentes causes qui peuvent amener l'allure froide sont nombreuses ; les plus fréquentes sont les suivantes : augmentation accidentelle de l'humidité ; irrégularité dans le chargement ; qualité défectueuse du combustible ; mauvaise composition du lit de fusion, qui fait que la fusion commence avant que la réduction soit assez avancée ; refroidissement du vent ; introduction accidentelle d'eau dans l'ouvrage ; irrégularité de descente des charges ; insuffisance de vent insufflé et, par conséquent, marche trop lente, etc., etc.

Le principal, pour un fondeur, est de saisir assez tôt les signes précurseurs de l'allure froide pour pouvoir appliquer à temps les remèdes pour la combattre. Dans certains cas, on ne peut pas déterminer la cause des accidents qui se produisent ; on en voit les effets seulement. La réduction s'opère dans des conditions moins bonnes, le minerai non réduit arrive dans la zone de fusion en quantité plus grande et s'y désoxyde par le carbone solide, ce qui absorbe une plus grande quantité de cha-

leur ; le fourneau se refroidit de plus en plus ; l'allure devient de plus en plus froide ; la zone de fusion est obstruée par des matières solidifiées ; le vent ne peut passer et le feu s'éteint.

Les laitiers, généralement, fournissent des indications nettes quand l'allure froide commence à se manifester ; ceux qui, en marche normale, sont clairs, deviennent d'abord plus sombres, puis verts et enfin noirs ; l'oxyde de fer continue à se réduire dans la zone de fusion, et l'oxyde de carbone qui en résulte reste emprisonné dans le laitier, d'où sa forme pleine de soufflures. Nous donnons dans le tableau ci-dessous l'analyse des laitiers d'un haut fourneau au charbon de bois marchant en fonte grise et situé à Zorge, dans le Hartz, les uns correspondent à une allure chaude, les autres à une allure froide :

	Laitiers gris bleu d'allure chaude	Laitiers noir verdâtre d'allure froide
Silice	49.30	48.62
Alumine	12.17	10.75
Chaux	31.23	26.02
Magnésie	2.28	1.15
Protoxyde de fer	0.79	8.59
Manganèse (protoxyde de)	0.95	1.47
Soufre	0.19	0.06
Calcium	0.24	0.08
Potasse	2.61	non dosée

On voit que les laitiers d'allure froide renferment plus de protoxyde de fer et de protoxyde de manganèse et une moindre quantité de soufre.

La proportion de laitier est plus grande en

allure froide, et cela se comprend facilement, puisque de plus fortes doses de fer, manganèse et silicium se trouvent scorifiées au lieu de passer dans la fonte après réduction; ce laitier est plus fluide parce qu'il renferme plus de matières métalliques, mais il se solidifie plus rapidement.

En observant attentivement la manière d'être d'un laitier d'allure chaude, c'est-à-dire sa couleur et sa fluidité, on saisit facilement le début d'une allure froide.

La fonte éprouve également des modifications plus ou moins profondes, mais elles ne se manifestent que plus tard. Un œil bien exercé reconnaît le changement d'allure à la manière dont la fonte se présente à la coulée; lorsque l'allure devient froide, la couleur du métal est moins vive et sa fluidité diminue parce qu'il contient moins de silicium et de manganèse, il coule difficilement, lance de nombreuses étincelles, se solidifie brusquement et présente souvent à la surface des cavités profondes.

Lorsqu'on regarde par la tuyère du fourneau, si l'allure est chaude et que l'œil s'est habitué à la vive lumière, on distingue le combustible qui brûle et les matières liquéfiées qui tombent en gouttes; l'éclat est vif et blanc; il y a peu de matières attachées au nez des tuyères, et celles qui s'y arrêtent se détachent facilement; si l'allure est froide, au contraire, l'éclat des tuyères est moindre, le laitier flotte et bouillonne sous le dégagement de l'oxyde de carbone qui résulte de la réduction de l'oxyde de fer qu'il contient; le fer réduit peu carburé qui se présente au-dessus des tuyères,

c'est-à-dire à un endroit refroidi, s'y fixe et forme des accrochages, qui grossissent par l'apport d'autres particules ferreuses ; or ce fer est tenace et très difficile à arracher.

Dans les hauts fourneaux au coke et marchant avec du vent chauffé à haute température, de pareils accidents sont rares ; il n'en est pas de même avec les fourneaux au bois marchant en fonte grise et avec du vent moins chauffé.

Le changement d'aspect de la flamme qui sort au gueulard indique aussi très nettement le changement d'allure ; quand l'allure devient froide, la flamme devient moins vive, la couleur de bleu qu'elle était devient jaune ; le dépôt pulvérulent qui se dépose tout autour du gueulard et qui est blanc devient jaune et moins abondant. Ces observations ne sont guère possibles aujourd'hui avec les gueulards fermés, mais on peut avoir des indications par l'apparence des produits de la combustion de ces gaz à l'extrémité des cheminées des appareils à air chaud ou des générateurs ; ces fumées, en allure chaude, sont chargées d'une abondante poussière blanche, en allure froide cette fumée devient jaunâtre et moins abondante.

Lorsque l'allure froide provient d'une forte proportion de minerais et des fondants par rapport au poids du combustible, on dit qu'il y a *surcharge de minerais*. Si le lit de fusion est trop faible, on a une allure à chaleur exagérée, la réduction est active et la fonte devient graphiteuse quand on marche en fonte grise et plus ou moins grise quand elle devrait être blanche ou spéculaire. Il faut donc agir rapidement après l'apparition des pre-

miers signes d'allure froide et en chercher l'origine; si la proportion de lit de fusion est trop forte, il faut la diminuer sans retard; il est toujours bon de diminuer la charge, quand même on ne serait pas fixé sur la véritable cause du changement d'allure, car on augmente la température; le résultat de cette mesure se fait attendre d'autant plus longtemps que les charges descendent plus doucement et séjournent plus longtemps. On arrive à une amélioration plus rapide de l'allure en relevant la température du vent. Si l'allure se modifie par une descente trop rapide des charges, il faut réduire la quantité de vent injecté. Dans certains cas, on peut corriger l'allure en augmentant la pression du vent.

C'est surtout les petits hauts fourneaux qui sont les plus sensibles à toutes les influences de dérangement d'allure; il faut donc veiller avec soin au chargement, à la température du vent, à la pression, etc.

Quelquefois il se produit un autre genre d'accident à conséquences assez graves. C'est un arrêt dans la descente des charges, suivi d'une chute brusque de toutes les matières contenues dans le fourneau; cet arrêt peut durer plusieurs heures et la hauteur de chute peut atteindre 5 mètres et plus dans les grands fourneaux; on se rend compte de cette hauteur par la chute brusque des matières des charges supérieures. Cet accident se produit au moment d'un changement d'allure et souvent il le précède en devenant lui-même la principale cause, car il arrive dans la zone de combustion une grande quantité de minerai sans être suffisamment

préparé et le grand nombre des charges qu'on est obligé de faire rapidement pour remplir le fourneau produit un refroidissement considérable.

Une chute peut se produire également en allure chaude, mais la nature de la fonte et des laitiers ne se modifie pas ; l'arrêt dans la descente des charges n'est pas de longue durée et se produit très rarement, il peut cependant être accompagné d'une sorte d'explosion projetant hors du gueulard des morceaux de minerais et de combustible et avec une telle force que l'appareil de chargement peut être mis hors service. Pour éviter les effets d'une telle explosion quand le gueulard est fermé, on multiplie le nombre des clapets de sûreté sur les tuyaux de prise de gaz et sur la conduite du gaz.

L'arrêt dans la descente des charges d'un haut fourneau est provoqué par des masses s'arc-boutant dans les étalages, formant ainsi une sorte de voûte sur laquelle reposent les charges supérieures ; le combustible qui se trouve en dessous de cette voûte se consume en fondant le minerai avec lequel il est mélangé. Le vide qui se forme ainsi devient de plus en plus grand, et il arrive un moment où la voûte s'écroule sous le poids des charges supérieures.

On peut provoquer cet écroulement en arrêtant le vent brusquement, afin de supprimer la pression inférieure qui aide à soutenir la voûte.

Ces masses arc-boutées prennent naissance pour deux causes, soit que la pente des étalages ne soit pas assez forte, soit que l'espace entre les tuyères est plus considérable et les tuyères plus saillantes.

De même, les prises de gaz peuvent aider à la

formation des voûtes. Dans les appareils à prise latérale unique, il arrive que le côté du fourneau opposé à la prise est moins chaud et facilite la production d'accrochages de matières à demi fondues mêlées avec du combustible.

Nous avons dit qu'un arrêt brusque du vent peut amener la chute des accrochages; on peut également reculer les tuyères, la combustion s'approche des parois, le combustible y accumulé brûle en faisant fondre les matières qui s'y sont arrêtées, les naissances des voûtes disparaissent ainsi et la voûte s'écroule. Ce travail de recul des tuyères au moment de l'arrêt du vent, expose les ouvriers à être atteints par quelque jet de flamme qui peut sortir par les embrasures au moment où se produit la chute de l'accrochage. On peut également provoquer la chute en arrêtant l'insufflation de vent chaud et en envoyant momentanément de l'air froid, la combustion est ainsi moins précipitée et l'espace dans lequel elle se produit s'étend, l'oxygène et l'acide carbonique viennent en contact avec les parois de l'ouvrage, et tout le combustible qui se trouve dans cette région est consumé et la voûte tombe.

Les chutes de minerais produisent momentanément de la fonte blanche. Si elles ne se continuent pas, le mal s'étend rarement à plusieurs coulées, même lorsque les éboulements ont lieu pendant une douzaine de charges. Dans ce dernier cas, il est prudent de mettre deux ou trois charges en blanc, afin de ne pas augmenter la compression et pour ramener dans la cuve la chaleur que les chutes subites ont pu lui enlever.

III. PRODUITS OBTENUS PAR FUSION

La nature de la fonte qu'on obtient d'un haut fourneau dépend des circonstances suivantes :

1° *De la composition chimique des différents minerais employés* ; ainsi, un minerai pauvre en manganèse ne peut pas donner une fonte très manganésée ; un minerai renfermant beaucoup de phosphore ne peut donner qu'une fonte très phosphoreuse.

2° *De la température qui règne dans la zone de fusion ;* par exemple, pour avoir des fontes manganésées ou siliceuses, il faudra des fourneaux marchant à haute température, car la réduction des oxydes de manganèse et de la silice exige une température élevée.

3° *De la quantité d'air qui pénètre dans le haut fourneau*, ou, ce qui est mieux, du rapport entre cette quantité d'air et la capacité de l'appareil ; nous avons vu que la production d'un fourneau dépend du volume de vent introduit dans un temps donné ; mais il arrive que, la vitesse augmentant, le minerai se scorifie parce qu'il est incomplètement réduit et produit un métal pauvre en silicium ou en manganèse. Cette fusion, en allure précipitée, convient donc très bien pour les fourneaux produisant de la fonte blanche.

4° *De la composition chimique du lit de fusion* et par conséquent de celle du laitier. La fonte obtenue avec faible consommation de combustible et à basse température ne pourrait pas se produire si le laitier était réfractaire, car celui-ci ne trouve-

rait pas la chaleur nécessaire à sa fusion ; tel est le cas de la fonte blanche et de la fonte phosphoreuse. Au contraire, avec les fontes grises, le ferro-silicium, le ferro-manganèse, le spiegeleisen, le laitier doit avoir une composition telle qu'il n'entre pas trop tôt en fusion pour ne pas entraîner une grande quantité de protoxyde de fer qui s'opposerait à la réduction des autres éléments.

Si le laitier est basique, on obtient une fonte contenant plus de manganèse ; tandis qu'un excès de base n'est pas favorable pour une fonte siliceuse.

Le soufre n'est absorbé par le laitier que s'il renferme un excès de chaux ; il faut donc avoir un laitier peu siliceux (ne pas dépasser le protosilicate) quand on emploie des combustibles minéraux contenant du soufre en grande quantité.

Pour obtenir diverses qualités de fonte, on emploie simultanément plusieurs minerais de nature différente, ou l'on ajoute des fondants convenables. Chaque sorte de minerai convient mieux à la fabrication d'une fonte déterminée ; c'est ainsi que les hématites rouges siliceuses conviennent bien pour les fontes grises ; les carbonates spathiques, riches en manganèse, donnent de la fonte blanche et du spiegeleisen ; les minerais alumineux donnent de la fonte grise, car l'alumine a la propriété d'élever la température de formation et de fusion des laitiers.

D'une manière générale, on ne doit pas employer, pour la fabrication d'une fonte, des minerais dont certains éléments seraient nuisibles à son emploi ultérieur. C'est ainsi que la fonte qui doit

être affinée par le procédé Bessemer acide ne doit pas être phosphoreuse ; le procédé Bessemer basique exige au contraire une fonte très phosphoreuse. Le manganèse est nuisible aux fontes de moulage, car il a tendance à les faire blanchir, etc.

Conditions dans lesquelles on obtient les principales sortes de fonte

1° *Fonte grise.* — Pour obtenir la fonte grise, il faut que la température soit très élevée dans la zone de fusion ; il faut aussi que la proportion du combustible soit très forte par rapport au lit de fusion ; le vent doit être très chaud ; le laitier ne doit pas être très réfractaire.

Lorsqu'on traite des minerais siliceux au charbon de bois, on marche avec des laitiers dont la composition est favorable à la production du silicium, parce qu'on ajoute aussi peu de castine que possible, pour ne pas diminuer la richesse du lit de fusion, de telle sorte que ce sont des bisilicates et même des silicates plus acides encore ; leur point de fusion est bas lorsqu'ils ne contiennent pas trop d'alumine ; si au contraire la gangue des minerais est calcaire (minerais spathiques), il faudra ajouter des matières siliceuses en quantités importantes, ce qui diminue d'autant le rendement du lit de fusion. Si la gangue contient beaucoup de magnésie, on doit ajouter de la castine, parce qu'un laitier contenant trop de magnésie par rapport à la chaux est difficilement fusible. C'est ce qui arrive dans les fourneaux de Hongrie au charbon de bois. La composition des laitiers dans ces fourneaux à fonte grise varie entre les limites suivantes :

Silice.	de 45 à 65 0/0
Alumine.	de 10 à 5 0/0
Bases	de 45 à 30 0/0

On peut obtenir de la fonte grise avec des laitiers de natures très différentes, mais on a remarqué que des fourneaux situés dans des contrées différentes et fonctionnant à des époques éloignées ont cependant donné des laitiers se ressemblant beaucoup. Dans les hauts fourneaux marchant au coke, il ne faut pas des laitiers plus acides que les protosilicates ; il faut qu'ils contiennent assez d'alumine pour faciliter la production du silicium.

Pour élever la température de fusion de laitiers peu alumineux, on force la proportion de chaux et on produit des laitiers calcaires qui tombent en poussière au moment de leur solidification ; la production du silicium est combattue par des laitiers très basiques. Si la température est très élevée, les laitiers surchargés de chaux absorbent complètement le soufre, et c'est ce qui explique que les fontes grises au coke sont moins sulfureuses que celles au charbon de bois. La composition des laitiers de fonte grise au coke est comprise entre les limites suivantes :

Silice	de 30 à 35 0/0
Alumine.	de 15 à 10 0/0
Bases	de 50 à 55 0/0

2° *Ferro-silicium.* — La température doit être très élevée dans la zone de fusion ; pour assurer la chaleur nécessaire et pour fournir la quantité de carbone indispensable à la réduction de la silice, il faudra une forte proportion de combustible par rapport au lit de fusion, et cela d'autant plus qu'on

voudra incorporer dans la fonte une quantité de silicium plus grande. Le vent doit être très chaud. Le laitier, à son arrivée dans la zone de fusion, doit contenir très peu d'oxyde de fer, qui retarderait la production du silicium. Les minerais d'une réduction facile, comme les hématites rouges et brunes, conviennent mieux que tous les autres, et surtout que les fers magnétiques et les scories.

La présence du phosphore dans le ferro-silicium nuit à son emploi ; le laitier sera assez réfractaire pour ne pas entrer prématurément en fusion, auquel cas il absorberait du protoxyde de fer. La réduction de la silice est plus facile avec des laitiers très siliceux, mais des laitiers de cette composition ne peuvent être employés à cause de la présence du soufre dans le coke. Si les laitiers sont très basiques, on obtient difficilement du silicium. On évite ces deux obstacles en formant des laitiers alumineux qui ne s'opposent pas, comme ceux qui sont calcaires, à la production du silicium, et qui sont assez réfractaires pour ne pas entrer trop tôt en fusion. Voici deux laitiers provenant de la fabrication du ferro-silicium à 14 0/0 de silicium :

Silice	33.10	27.70
Alumine	24.56	26.70
Chaux	25.92	34.69
Magnésie	6.97	3.45
Protoxyde de fer	0.31	traces
— de manganèse	0.37	traces
Soufre	3.45	2.45
Calcium	4.31	3.08
Alcalis et pertes	1.01	1.93
	100.00	100.00

3° *Fonte blanche ordinaire et fonte rayonnée.* — Pour obtenir de la fonte blanche ordinaire, il faut éviter la production de silicium, qui fait cristalliser le carbone sous forme de graphite. Pour arriver à ce résultat, on développera, dans la zone de fusion, une température peu élevée ; on diminue donc la quantité de combustible par rapport au lit de fusion, et on donne au vent moins de chaleur. Pour ne pas changer cependant l'allure du fourneau, on combine les laitiers de manière que leur température de formation et de fusion soit plus basse ; il faut donc disposer les mélanges de matières de façon à obtenir un protosilicate pour les fourneaux au coke et un sesquisilicate pour ceux au bois, et on y ajoute une faible quantité d'alumine.

Si la quantité de vent lancée dans le fourneau est la même que pour la fonte grise, on fond plus de minerai et on produit plus de fonte. La présence du phosphore en quantité suffisante aide à la rapidité d'allure, puisqu'elle abaisse le point de fusion de la fonte, de sorte qu'une fonte phosphoreuse, d'allure accélérée, est encore suffisamment fluide ; c'est la fonte dite fonte *Thomas*.

Dans cette marche rapide du fourneau, si les minerais sont difficiles à réduire, l'oxyde de fer passe dans le laitier et diminue par conséquent le rendement des minerais. Si la quantité d'oxyde de fer passé dans le laitier augmente au delà d'une certaine limite, le métal qu'on obtient est pâteux, froid et rempli de soufflures, sans aucune valeur ; le fourneau dans ce cas se refroidit et se trouve en danger.

Pour obtenir de la fonte plus carburée que la

fonte blanche ordinaire c'est-à-dire de la *fonte rayonnée* ou *très rayonnée* et renfermant quelques centièmes de manganèse, il faut employer des minerais manganésés, diminuer la charge et marcher lentement; la température sera plus élevée dans le haut fourneau, mais un tiers seulement du manganèse passe dans la fonte et le reste dans le laitier, où il est nécessaire pour empêcher le formation de silicium qui amènerait le dépôt de graphite, c'est-à-dire une fonte grise. C'est même très difficile à éviter; si la température est trop basse ou la marche trop rapide, ce qui permet la réduction d'une partie de l'oxyde de manganèse, on passe à la fonte blanche ordinaire.

Si les minerais sont chargés en manganèse et le combustible en forte proportion, on obtient un métal semblable au spiegeleisen.

On règle donc la température du vent d'après la nature du combustible et la composition du lit de fusion. Pour les fourneaux au charbon de bois, on ne chauffe pas le vent à plus de 400°; pour les hauts fourneaux au coke devant produire de la fonte blanche pour affinage par le traitement des lits de fusion peu manganésés et peu phosphoreux, on évite de trop chauffer le vent, pour ne pas produire de la fonte grise siliceuse. Avec les appareils à air chaud on pousse la température à 600°.

Avec les minerais manganésés et phosphoreux la silice ne se réduit pas facilement, parce que ces deux éléments, phosphore et manganèse, passent les premiers dans la fonte au contact du carbone solide, et on pousse la température jusqu'à 750°.

Le phosphore passe dans le laitier en quantité

d'autant plus grande que celui-ci est plus riche en oxyde de fer. Pour les minerais phosphoreux traités pour fontes Thomas, les laitiers renferment 3 à 4 0/0 de protoxyde de fer et absorbent 0,8 0/0 d'acide phosphorique.

Voici deux laitiers de fontes rayonnées et de fontes blanches ordinaires :

	Fonte rayonnée	Fonte blanche
	—	—
SiO^2	47.28	34.00
Al^2O^3	6.36	7.00
MgO	8.72	6.00
CaO	21.77	40.00
MnO	11.30	4.00
FeO	1.12	1.00
CaS	1.17	3.00
Alcalis	1.54	n. d.
Degré d'acidité	1.50	1.00

En résumé, on a pour le laitier de ces sortes de fontes les limites suivantes :

	Fourneau au charbon de bois	Fourneau au coke
	—	—
Silice	de 45 à 50 0/0	30 à 40 0/0
Alumine	10 à 5 —	10 à 5 —
Bases	45 à 55 —	60 à 55 —

4° ***Fonte spéculaire ou spiegeleisen.*** — Ces fontes renferment une forte proportion de manganèse, beaucoup de carbone et peu de silicium.

Nous avons déjà dit que le manganèse métallique ne se produit qu'au contact du carbone solide et quand il n'y a pas d'oxyde de fer qui joue le rôle d'oxydant ; il faut donc employer les minerais dont la réduction est la plus facile. Les minerais spathiques grillés additionnés d'hématites brunes

et rouges manganésifères très facilement réductibles sont l'élément principal de cette fabrication. Les matières phosphoreuses ne peuvent servir en aucun cas pour donner du spiegeleisen. Les fers spathiques donnent d'excellent spiegeleisen quand ils sont mélangés avec des minerais de manganèse.

La température à la zone de fusion doit être très haute et le laitier basique ; il vaut donc mieux employer un haut fourneau au coke avec du vent très chaud ; la chaleur absorbée par la réduction de l'oxyde de manganèse est considérable et par conséquent la consommation de combustible sera élevée et d'autant plus que la fonte contiendra plus de manganèse ; le laitier aura la composition d'un protosilicate ou d'un silicate plus basique encore.

Les conditions à remplir pour fabriquer du spiegeleisen sont celles de la fonte très grise, mais il existe une certaine quantité de manganèse dans les laitiers, même dans les plus basiques, sans quoi la fonte serait grise ou truitée. Dans les hauts fourneaux soufflés avec du vent à très haute température, on retrouve dans les laitiers de 20 à 30 0/0 du manganèse contenu dans le lit de fusion. L'effet qui résulte de la présence de cet oxyde de manganèse dans le laitier est facile à comprendre ; le laitier étant très basique, la silice ne peut être réduite tant qu'il renferme des oxydes métalliques plus facilement réductibles par le carbone que la silice ; si la teneur en oxyde de manganèse vient à diminuer, alors la silice se réduira pour donner du silicium.

Les minerais alumineux ne sont pas propres à donner du spiegeleisen, car l'alumine est une base

faible qui prend la place d'autres plus énergiques et ne s'oppose pas à la réduction de la silice et par conséquent à la production de fonte graphiteuse.

Dans les hauts fourneaux au coke, on a la composition suivante :

Silice	30 0/0
Alumine	10 0/0
Protoxyde de manganèse .	5 à 15 0/0
Chaux et magnésie. . . .	55 à 45 0/0

la teneur en oxyde de manganèse augmentant avec la richesse du produit qu'on veut obtenir.

Avec les fourneaux au charbon de bois, on compose le laitier un peu plus siliceux pour que le point de fusion soit moins élevé ; on perd un peu plus de manganèse et on produit une fonte à moindre teneur.

Nous avons dit qu'il faut une très haute température pour produire des fontes spéculaires, et il arrive qu'à cette température une partie du manganèse se volatilise et accompagne les gaz hors de l'appareil. Whiting a trouvé que dans une fabrication de spiegeleisen à 30 0/0 de manganèse, 1,7 0/0 du manganèse contenu dans le minerai disparaît ainsi.

5° *Ferro-manganèse.* — C'est une fonte à plus grande teneur de manganèse que la précédente ; il faut donc remplir toutes les conditions qui assurent la production de ce métal et la réduction des oxydes ; c'est-à-dire haute température, laitier basique chargé en manganèse, consommation de combustible considérable. Plus on voudra une fonte riche, plus on se rapprochera des minerais de

manganèse purs, auxquels on ajoutera les fondants nécessaires pour la constitution d'un bon laitier, Comme la température est très haute, une partie du manganèse se volatilise et ses vapeurs s'oxydent en traversant la partie supérieure de la cuve aux dépens de l'eau et de l'acide carbonique ou de l'oxygène même des minerais ; il est entraîné avec les gaz sous forme du fumée rousse.

Schilling a trouvé que pour un ferro-manganèse à 60 ou 70 0/0 correspond une perte par volatilisation de 17 0/0.

La décomposition des oxydes de manganèse très oxygénés par l'oxyde de carbone commence à 300° et les gaz possèdent jusqu'au gueulard une température élevée en raison même de l'allure, et c'est là que la chaleur sera excessive ; les briques de la cuve se dégradent et il arrive même que la chemise se perce de part en part ; d'un autre côté, les gaz ont une température très élevée et les prises de gaz sont mises hors de service très promptement ou sont encombrées de poussières. Au commencement de cette sorte de fabrication (1875-1885), on laissait les gaz s'échapper à l'air libre ; aujourd'hui on ferme les fourneaux comme les autres et on prend le soin d'arroser les prises de gaz pour les préserver de la chaleur qui les détruirait rapidement. Pendant la coulée on arrête le vent pour ne pas brûler le manganèse.

Quand le laitier contient peu de manganèse ou si sa basicité diminue, le silicium à son tour passe en plus grande quantité dans le métal et l'on obtient un alliage de fer, silicium et manganèse, qu'on désigne sous le nom de silico-spiegel.

IV. CALCUL DU LIT DE FUSION

Il faut donc, d'après tout ce que nous venons de dire, pouvoir assurer à un haut fourneau une marche satisfaisante, c'est-à-dire combiner le mélange des minerais et des fondants, de façon à constituer un laitier dont le degré de fusibilité convienne à la nature de la fonte que l'on veut obtenir ; il faut en outre que le rapport entre les poids de ce laitier et de la fonte produite se maintienne entre certaines limites. On peut arriver à ce résultat par des moyens empiriques, et c'est ainsi qu'on pratiquait autrefois, en essayant dans des creusets différents lits de fusion et en s'arrêtant à celui qui répondait le mieux au but qu'on se proposait ; mais aujourd'hui on arrive plus promptement par le calcul que nous avons donné dans le premier volume, page 273.

V. RÉSULTATS DU TRAVAIL DES HAUTS FOURNEAUX

La marche d'un haut fourneau est résumée sur un livre de roulement sur lequel on porte tous les jours les quantités de minerais, de fondants et de combustibles consommés et le poids de la fonte produite, de façon que d'un seul coup d'œil on puisse faire la comparaison des matières employées et des résultats obtenus d'un jour à l'autre ; on réunit généralement les données ainsi recueillies, par semaine, par mois et par année. On doit porter sur ce livre journalier les indications relatives à la pression du vent, à sa température, au nombre des charges et des coulées, à la nature de la

fonte. A des intervalles réguliers, tous les mois par exemple ou à la fin de l'année, on établit le résultat moyen en totalisant les sommes partielles du mouvement journalier et on le compare avec ceux obtenus l'année précédente ou ceux d'un autre établissement du même genre, et on en conclut de la bonne ou de la mauvaise marche de l'appareil.

Les tableaux ci-contre reproduisent des feuilles-types des livres de roulement journalier et mensuel.

De ces livres on étudie principalement les résultats suivants :

VI. QUANTITÉ DE FONTE PRODUITE PENDANT UN TEMPS DONNÉ

La puissance de production d'un haut fourneau dépend tout d'abord de ses dimensions ; il est évident qu'avec les mêmes minerais et pour la même quantité de fonte, un grand haut fourneau produit plus qu'un petit, mais l'accroissement de la production n'est pas proportionnel à celui du volume.

La nature des minerais influe également sur la production ; les difficilement réductibles exigent un séjour dans la cuve plus prolongé et on obtiendra par conséquent moins de fonte dans l'unité de temps.

Si les minerais sont riches, ils contiennent moins de gangue et exigent moins de fondants, le même fourneau en contiendra davantage et si on conserve la même vitesse de descente, le fourneau produira davantage ; la proportion de laitier sera moindre et la chaleur consommée également.

La nature de la fonte produite influe également sur la production ; avec la fonte blanche ordinaire

Tableau de l'année 19..

EXEMPLE DE ROULEMENT MENSUEL D'UN HAUT FOURNEAU

Haut Fourneau N° ..... **Roulement pendant le mois d** ..... **19**.....

DATES	NOMBRE		CONSOMMATIONS											PRODUCTION									OBSERVATIONS	MISE AU MILLE									
			COKES			MINERAIS								FONTES										COKES			MINERAIS						
	de charges	de coulées			Total						Total	Castine		N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	blanches	moulées	bocages	Total				Total						Total	Castine

EXEMPLE DE JOURNAL DE ROULEMENT JOURNALIER D'UN HAUT FOURNEAU

Haut Fourneau N° ..... **Mois de** .....

JOURS du mois		COULÉES				LAITIERS	BUSES		AIR lancé		CHÔMAGES		COMPOSITION DES CHARGES								RÉSULTATS			
			Heures										COKES			MINERAIS								
Dates	Temps	Numéros d'ordre	matin	soir	Nombre de charges		Droite	Gauche	Pression	Température	Durée	MOTIFS ET OBSERVATIONS			Total				Total	Castine	Rendement du Minerai	Minerai °/o fonte	Coke °/o fonte	Charges en une heure

CONSOMMATIONS														PRODUCTION								
COKES			MINERAIS									CHARBON			FONTES							
		Total									Total	Castine	pour chaudière	pour appareils à air chaud	Total	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4					Total

on obtient le maximum de production ; le tableau suivant donne la variation de la puissance de fabrication d'un même haut fourneau d'après la nature des fontes produites :

S'il fait de la fonte blanche ordinaire, par 24 heures.	100	tonnes
S'il fait de la fonte grise ordinaire, par 24 heures	70	—
S'il fait du spiegeleisen à 10 0/0 de manganèse, par 24 heures.	65	—
S'il fait du spiegeleisen à 40 0/0 de manganèse, par 24 heures.	50	—
S'il fait du ferro-silicium à 12-15 0/0 de silicium, par 24 heures	35	—
S'il fait du ferro-manganèse à 70-80 0/0 de manganèse, par 24 heures.	25	—

La comparaison de la production journalière de plusieurs hauts fourneaux doit se faire en tenant compte de la consommation du combustible par tonne de fonte, car on pourra la rendre plus considérable, si on introduit plus de vent, mais alors la consommation de combustible augmente. Dans chaque fourneau le minimum de consommation correspond à une vitesse déterminée, au delà de laquelle l'allure est moins favorable et l'utilisation du combustible moins complète ; on adoptera cette allure forcée si le prix de vente de la fonte est élevé et celui du combustible assez bas.

Les grands hauts fourneaux à poitrine ouverte et à avant-creuset ne fonctionnent pas avec la quantité et la pression de vent qui correspond à leur capacité, car il est alors difficile de maintenir l'avant-creuset bouché pour empêcher les fragments de combustible et les matières en fusion d'être projetés dans la halle de coulée.

Dans les hauts fourneaux à poitrine fermée la tuyère à laitier étant bouchée jusqu'à ce que celui-ci arrive à son niveau, ces projections ne peuvent pas avoir lieu et dès que le laitier commence à couler, la pression intérieure facilite l'écoulement et on peut donner le vent avec toute sa pression.

Depuis le commencement du XIXe siècle la production des hauts fourneaux a été en croissant en même temps que leurs dimensions et que les appareils à air chaud se perfectionnaient. Au début on produisait à peine une tonne par 24 heures, tandis qu'aujourd'hui les installations qui ne produisent pas plus de 5,000 kilogrammes sont rares et n'existent que là où l'on fabrique de la fonte pour moulages en première fusion.

Les hauts fourneaux au charbon de bois de nos jours produisent en moyenne de 15 à 20 tonnes par jour. On cite même un haut fourneau au bois de 113 mètres cubes de capacité ayant produit en 1897, 63 tonnes par jour, et celui de Hirskle, à Ashland, alimenté avec du charbon de bois dur, de 130 mètres cubes de capacité, ayant produit 120 tonnes par jour.

Les hauts fourneaux au coke moyens produisent de 100 à 120 tonnes par jour de fonte blanche ordinaire ou 80 à 100 tonnes de fonte grise ou spiegeleisen ; les nouveaux fourneaux de Westphalie Rhénane, ayant 400 mètres cubes de capacité, fondant des minerais étrangers, produisent 200 à 250 tonnes par jour. Les fourneaux américains alimentés avec des minerais riches du Lac Supérieur ont une grande production. Par exemple, les hauts fourneaux de Lorain Steel (Ohio), d'une capacité de

750 mètres cubes, donnent en moyenne 600 tonnes de fonte par vingt-quatre heures.

VII. RAPPORT ENTRE LA PRODUCTION ET LA CAPACITÉ D'UN HAUT FOURNEAU

Il dépend de la difficulté plus ou moins grande avec laquelle le minerai se réduit, de la richesse du lit de fusion, de la nature du combustible et de la fonte produite, de la température du vent et enfin des dimensions du haut fourneau. Or nous avons dit que ce rapport était plus grand pour les petits hauts fourneaux.

Dans le haut fourneau de Hirskle, à Ashland, un mètre cube de capacité correspond à une production de 900 kilogrammes par vingt-quatre heures ; ce chiffre n'a pas été dépassé jusqu'à ces jours ; cela se comprend parce que leur capacité étant moindre, leur combustion n'exige pas l'introduction dans le lit de fusion d'un poids de castine aussi considérable.

Certains hauts fourneaux au coke d'Allemagne et d'Amérique ont produit 600 kilogr. par mètre cube ; mais la plupart des fourneaux au coke donnent moins de 400 kilogr. et si le lit de fusion est pauvre, ce chiffre se réduit à la moitié.

VIII. POIDS DU LIT DE FUSION POUR 1,000 KILOGRAMMES DE COMBUSTIBLE

Ce poids dépend de la richesse des minerais et de leur facilité de réduction ; il dépend également

de la capacité du haut fourneau, de la température du vent et de la nature du combustible. Ce poids est naturellement plus élevé pour la fonte blanche ordinaire que pour les fontes grises ou spéculaires ; il est d'autant plus grand que le lit de fusion est plus pauvre, parce qu'à poids égal la transformation des oxydes de fer en fonte exige plus de combustible que la fusion des laitiers, que la décomposition des carbonates et que la vaporisation de l'eau.

Pour le charbon de bois, on fait porter à 1,000 kilogr. de combustible de 2,000 à 3,500 kilogr. de lit de fusion ; pour le coke, on varie de 2,000 à 3.000 kilogr., la plus faible charge de lit de fusion correspondant à la plus grande teneur en fer ; dans une marche au bois pour fonte grise avec un lit de fusion à 33 0/0 de rendement, la charge en lit de fusion peut s'élever à 2,600 pour 1,000.

En Suède, avec des minerais riches mais difficiles à réduire, on charge 2,400 kilogr. de lit de fusion pour 1,000 de charbon de bois pour fonte blanche et 2,100 pour la fonte grise.

IX. RENDEMENT DU LIT DE FUSION ET DES MINERAIS

La connaissance du rendement des matières fournit des indications précieuses sur la marche d'un haut fourneau. Avec les minerais riches la production journalière augmente et la consommation de combustible diminue. Le rendement réel ne concorde pas avec celui fourni par l'analyse, car une partie du fer se scorifie, le fer lui-même absorbe d'autres matières comme silicium, phosphore, car-

bone, manganèse ; il est en général inférieur au rendement des analyses quand l'allure est très froide, parce qu'il y a alors une grande partie du fer qui se scorifie. Il y a égalité entre les deux rendements quand on produit de la fonte blanche, et quand on marche pour fontes grises ou spéculaires le rendement du haut fourneau est supérieur à celui du creuset d'analyse.

D'une façon générale, le rendement est compris entre 30 et 40 0/0 ; des lits de fusion rendant moins de 25 0/0 ne sont traitables que si le prix des matières et des combustibles est très bas. Les lits de fusion d'Amérique et ceux de Bilbao ont un rendement qui atteint 50 à 55 0/0.

Les lits de fusion pour fonte grise ou spéculaire sont plus pauvres, soit parce qu'on a besoin de laitiers plus basiques, soit parce que la fabrication de ce genre de métal est plus facile en présence d'un bain de laitier plus abondant.

X. CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE PAR TONNE DE FONTE

Il est très important de connaître la consommation de combustible par tonne de fonte, car elle indique comment la chaleur a été utilisée et en plus elle a une influence considérable sur le prix de revient.

La fonte blanche ordinaire, peu phosphoreuse et peu manganésée, exige moins de combustible ; la consommation de combustible augmente à mesure qu'on veut un métal plus riche en silicium ou en manganèse.

La quantité de combustible brûlée sera également plus élevée quand on traite un minerai difficile à réduire, dans un fourneau de petites dimensions, avec un lit de fusion pauvre et du vent peu chauffé. Il est d'ailleurs démontré pratiquement que la marche au charbon de bois emploie moins de combustible que la marche au coke ; la présence des cendres et du soufre nécessite plus de castine ; le poids du lit de fusion correspondant à une tonne de fonte est plus fort et exige plus de chaleur. Les hauts fourneaux de Vordenberg consomment en moyenne 750 kilogrammes de charbon de bois par tonne de fonte blanche ; celui de Hinkle 780 par tonne de fonte grise à 2 0/0 de silicium. Les hauts fourneaux au bois employant des lits de fusion moins riches brûlent de 800 à 950 kilogr. par tonne de fonte blanche, et de 900 à 1,100 kilogrammes si la fonte est grise.

Les grands hauts fourneaux américains traitant des minerais du Lac Supérieur consomment très peu de combustible.

XI. PRIX DE REVIENT DE LA FONTE

Le prix de revient de la fonte est un élément essentiel qu'on doit connaître, parce que c'est de la différence entre ce prix et celui de la vente, que dépend la bonne ou la mauvaise marche de l'entreprise. Le tableau suivant nous donne un exemple d'état de prix de revient qui se compose des éléments suivants :

1° Dépenses en matières premières, c'est-à-dire en minerais, fondants, castines ;

EXEMPLE D'ÉTAT DU PRIX DE REVIENT POUR LA FABRICATION DE LA FONTE

Tableau de la page 177

EXERCICE 19 .....

USINE DE .....

Fabrication du haut fourneau N° .....

MOIS D .....

Prix de revient des Fontes brutes

DÉSIGNATION DES DÉPENSES			Poids total par espèces de matières employées	Prix moyen par tonne	Unité de compte	Quantités	Prix de l'unité	MONTANT partiel	MONTANT par sections	MONTANT par chapitres	DÉPENSES par tonne de fonte produite par sections	DÉPENSES par tonne de fonte produite par chapitres
Matières premières	Minerais	.....										
		.....										
		.....										
	Coke	.....										
	Charbon de bois, ou	.....										
	Fondants	.....										
		.....										
Soufflerie	Houille	pour chaudières à vapeur										
		pour appareils à air chaud										
	Matières diverses	Graisse étoupes										
Fournitures diverses		Sable, poussier										
		Fer ou barres pour outils										
Main-d'œuvre	de la fabrication	Entasseurs, casseurs, rouleurs de minerais, castine, combustibles										
		Chargeurs et aides chargeurs										
		Fondeurs, aides et sous-aides fondeurs										
		Poseurs, enleveurs, entasseurs de fontes										
		Traîneurs de crasses et manœuvres										
		Charpentiers, charrons, maçons, ouvriers divers										
		Contremaîtres et surveillants										
	de la soufflerie	Machinistes et chauffeurs aux chaudières										
		Chauffeurs au vent chaud										
Entretien	des immeubles											
	du matériel											
Frais généraux												
Frais divers		.....										
		.....										
		TOTAUX										

OBSERVATIONS ET NOTES SPÉCIALES

FONTES PRODUITES	
Espèces	Quantités en kilogrammes
TOTAL	

Certifié le présent prix de revient conforme aux écritures de l'Usine.

Le 19

2° Dépense en combustible ;

3° Dépense pour la soufflerie ;

4° Dépenses pour fournitures diverses, sable, fer ou barres pour outils ;

5° Dépenses en main-d'œuvre de fabrication et de la soufflerie. Ces dépenses varient suivant les localités, les taux des salaires en usage, la production plus ou moins grande du haut fourneau et la perfection des installations faites pour restreindre l'emploi de la main-d'œuvre.

En Europe, la main-d'œuvre aux hauts fourneaux varie de 2 fr. 50 à 4 fr. 40 par tonne de fonte au coke, tandis qu'elle monte à 12 fr. 50 et plus par tonne de fonte au bois.

En Amérique, les salaires sont bien plus élevés qu'en Europe, et malgré la forte production des hauts fourneaux, la main-d'œuvre atteint des chiffres considérables. Pour cette raison, les maîtres de forges là-bas augmentent la puissance des appareils et la vitesse d'allure, au risque de raccourcir les campagnes et de consommer plus de combustible.

6° Entretien des immeubles et du matériel ;

7° Frais généraux. On comprend dans les frais généraux un grand nombre de menues dépenses qui, comptées à part, seraient trop insignifiantes ou trop variables pour faire l'objet de chapitres spéciaux. Ainsi on comprend, sous ce titre, les dépenses en outillage et en matériel, outils divers, wagonnets pour le transport des laitiers, appointements des employés et surveillants, frais de bureau, amortissement, éclairage et impôts.

Si l'usine comprend d'autres fabrications que celle de la fonte, les frais généraux doivent se répartir entre elles.

En France, on comprend sous le nom de frais généraux les frais de direction, d'administration, les impôts, etc., c'est-à-dire les dépenses qui n'ont pas trait à la fabrication proprement dite.

Nous donnons ci-dessous quelques exemples de prix de revient afin de bien montrer que la principale cause de la variation du prix de revient est la variation du prix des matières premières, minerais et combustibles. Il en résulte donc qu'on ne peut installer avec avantage des hauts fourneaux que dans les endroits où il est possible de se procurer, dans de bonnes conditions, ces matières, sans quoi la fabrication de la fonte ne saurait être rémunératrice.

1° Exemple de fonte grise du Cleveland à 1,4 0/0 de phosphore en traitant la sphérosidérite grillée:

Minerai	15.725 fr.
Coke	16.662 —
Castine	3.125 —
Main-d'œuvre	5.100 —
Frais généraux	4.887 —
Total	45.499 fr.

2° Prix de revient de la fonte Bessemer faite avec des minerais étrangers, peu phosphoreux :

Minerai	37 fr 80
Coke	16 — 70
Castine	2 — 53
Main-d'œuvre	3 — 46
Frais généraux	1 — 89
Total	62 fr 38

3° Prix de revient de la fonte à l'usine d'Alabama (1896) :

2.470 kilogr. de minerai. .	9.010 fr.
— castine . .	675 —
1.200 kilogr. de coke . . .	14.390 —
Main-d'œuvre.	5.075 —
Frais généraux	4.830 —
Total.	33.980 fr.

CHAPITRE XII

Produits accessoires des hauts fourneaux et leurs emplois

SOMMAIRE. — I. Du laitier. — II. Des gaz. — III. Des cadmies. — IV. Du plomb. — V. Des poussières. — VI. Produits accidentels.

I. DU LAITIER

Le laitier est le résultat de la vitrification des terres et oxydes qui accompagnent le minerai. Il se forme ordinairement dans l'ouvrage, descend dans le creuset et demeure au-dessus du bain de fonte. Le laitier est un silicate double de fer et de chaux ; il est composé de :

Silice.	57
Chaux.	27
Alumine	16
	100

lorsqu'il est bien fait ; mais rarement il atteint ces proportions exactes, parce que le dosage des fondants a été mal fait, ou parce que des substances réfractaires, telles que la magnésie, en ont modifié la formation.

Un laitier parfait est un verre transparent, léger, fragile, de couleur verdâtre, ne contenant point de fer, et si fluide qu'on peut en étirer des fils d'une grande finesse. Cette qualité ne s'est encore rencontrée que dans le laitier des fourneaux qui marchent au bois. Le bon laitier d'allure normale des fourneaux au coke est également clair et transparent lorsqu'il est refroidi subitement. Si on le laisse au contraire à lui-même perdant sa chaleur d'une manière lente et graduée, il devient blanc et opaque. Les laitiers qui sont jetés sur une terre humide, prennent souvent les deux apparences : la partie qui touche le sol est vitreuse et blanchâtre ; celle qui est plus particulièrement exposée à l'atmosphère est mate. S'il y a eu excès de chaux dans les fondants, cette terre se manifeste entre les deux parties sous forme de petits cristaux de toutes dimensions.

Lorsque le laitier est bien fait et fluide, on peut le mouler en briques, qui ont l'avantage d'être parfaitement à l'abri de l'humidité ; les laitiers vitreux et transparents, qui proviennent d'un bon dosage des fondants, ne sont pas propres à cette industrie.

Les hauts fourneaux produisent une quantité considérable de laitiers, et si on remarque que la densité du silicate est le tiers de celle de la fonte, on doit conclure qu'ils doivent occuper une très

grande surface. Pour s'en débarrasser, on a cherché à les utiliser à différents usages.

a) ***Construction de routes et de chaussées.*** — Pour l'entretien des routes, on utilise surtout le laitier d'aspect pierreux, ne contenant pas un excès de chaux, car il résiste très bien aux influences atmosphériques ; il est même bon qu'il contienne un peu d'alumine. On le concasse à la main ou à la machine en fragments de la grosseur du poing, et quelquefois on l'emploie pour la construction des chemins en blocs tels qu'ils sortent des wagonnets dans lesquels ils ont été coulés ; il faut en tout cas que le laitier soit coulé en masses volumineuses pour que le refroidissement se fasse lentement pour acquérir de la résistance ; il devient ainsi aussi dur que du basalte et le dépasse même fréquemment.

Dans beaucoup de cas, on réduit le laitier en poudre en le soumettant à un bocardage énergique. Là où on ne trouve pas de sable naturel de bonne qualité, on l'utilise pour sabler les allées et les routes ; mélangé à la chaux, il constitue un excellent mortier.

Le laitier de fonte grise au charbon de bois contient du fer métallique ou de la fonte en grenailles qu'il y a intérêt à ne pas laisser perdre. Dans quelques usines de la Nièvre, on passe les laitiers spongieux au bocard, et le produit de cette opération lavé permet de séparer les parties métalliques, qui sont en quantité suffisante pour couvrir la main-d'œuvre.

On peut éviter la plus grande partie de la dépense de bocardage en granulant le laitier, en le

faisant couler, à sa sortie du fourneau, dans une eau courante ; il se divise en petites plaquettes ou en grains de quelques millimètres de grosseur.

b) ***Briques de laitier.*** — Nous avons déjà dit que le laitier fluide peut être moulé en briques qui peuvent remplacer avantageusement les briques ordinaires et ne craignent pas l'humidité. Pour fabriquer ces briques, existent plusieurs méthodes ; celle qui est la plus simple consiste à couler directement le laitier liquide tel qu'il sort du haut fourneau. Cettte matière est très fragile, surtout si le refroidissement est brusque. Pour éviter la rupture de ces briques, on a essayé de les recuire dans un four où le refroidissement s'effectue en plusieurs jours.

Dans certaines usines, on mélange le laitier liquide avec des corps inertes, tels que le fraisil de charbon de bois ou de coke, le sable quartzeux à gros grains, qui diminuent la quantité de laitier liquide et la contraction totale. Le mélange se fait à la pelle dans la rigole même qui conduit le laitier aux moules formés de plaques de fonte assemblées sur un fond de même métal, de manière à pouvoir se séparer facilement ; on recouvre le tout d'un couvercle qui peut être chargé de poids.

Les laitiers des hauts fourneaux au bois sont des silicates visqueux coulant difficilement, qui ne peuvent être moulés qu'en employant la méthode suivante : on prend une cuiller et on puise le laitier pâteux pour le verser sur une plaque en fonte où sa surface se refroidit en donnant un gâteau plastique, à demi solidifié extérieurement ; on le pétrit avec une pelle et une barre de bois, et on le

force d'entrer dans un moule en fonte en refoulant à l'intérieur les parties les moins chaudes. On donne à ces briques des dimensions plus grandes que celles des briques ordinaires pour diminuer la vitesse de refroidissement et économiser la main-d'œuvre et le mortier employé.

Les laitiers chargés de chaux qu'on obtient aujourd'hui dans la plupart des hauts fourneaux au coke sont moulés comme suit : On transforme d'abord le laitier en sable par contact avec de l'eau courante et on s'en sert tel quel pour les briques ordinaires ; si on veut des produits plus fins et de plus belle apparence, en broyant finement le sable.

Le sable humide est mélangé avec de la chaux vive en quantité variable suivant qu'on veut obtenir une plus ou moins grande résistance à l'écrasement.

D'après Lürmann, il faut, pour fabriquer 1,000 briques de 0,25 × 0,15 × 0,065, de 3,000 à 3,500 kilogrammes de laitier granulé à 25 à 30 0/0 d'eau et y ajouter 250 à 350 kilogrammes de chaux vive.

Une machine opère le mélange de chaux et de laitier, puis le déverse dans des moules en fonte garnis de plaques d'acier ; puis on le soumet à une forte pression fournie par la vapeur ou un appareil hydraulique. Après avoir été comprimée, la brique est exposée sous un hangar, à l'action de l'air ; elle y reste de six à huit jours, après quoi on la transporte à l'air libre ; quelques semaines plus tard, les briques sont dures comme la pierre et prêtes à être employées. Ces briques offrent sur les briques ordinaires plusieurs avantages ; si le laitier a été granulé, les briques sont plus légères ;

s'il a été bocardé, elles sont aussi lourdes que les briques ordinaires, mais plus résistantes ; elles supportent des températures pouvant aller jusqu'au rouge sombre.

On peut faire également des briques profilées ou colorées en y incorporant des matières colorantes. On peut polir les briques après leur durcissement complet et les employer comme revêtements, monuments funèbres, dessus de table, etc.

c) ***Ciments, mortiers hydrauliques.*** — Le sable de laitier mélangé avec de la chaux donne un mortier hydraulique excellent ; il suffit de mélanger 1 partie de chaux avec 3 ou 5 parties de sable de laitier.

Des essais faits avec ce mortier ont prouvé qu'il est deux à trois fois plus résistant que celui fait avec du sable ordinaire et de la pouzzolane et chaux. Après ces essais, on a été amené à fabriquer un ciment équivalent à celui de pouzzolane. Tous les laitiers ne sont pas propres à cette fabrication ; les silicates très calcaires et peu alumineux ne donnent pas de bons résultats, les meilleurs sont ceux qui présentent entre la chaux, la silice et l'alumine le même rapport que les nombres 46, 30 et 16.

On commence par granuler le laitier afin de lui faire subir certaines transformations physiques et chimiques ; la masse granulée est séchée complètement et réduite en poussière fine, puis est mélangée avec de la chaux qu'on éteint de façon à rester pulvérulente en l'arrosant doucement avec l'eau strictement nécessaire. Pour 100 parties de laitier. on ajoute 15 à 30 parties de chaux et on broye le tout dans un moulin à boulets.

M. Prost indique l'analyse suivante d'un bon ciment de laitier :

Sable	0.25
Silice	23.85
Alumine	13.95
Oxyde de fer	1.10
Chaux	51.40
Magnésie	1.95
Acide sulfurique	0.45
Perte au feu	7.05

On peut faire également du ciment Portland avec le laitier du haut fourneau. On mélange le laitier granulé encore humide avec une proportion convenable de calcaire grossièrement concassé ; on chauffe ce mélange dans un four rotatif recevant les flammes du four de calcination ; le calcaire devient friable et se transforme en chaux ; on passe au moulin pour faire une poudre fine, puis on le charge dans le four rotatif de cuisson où la température atteint son maximum (blanc). La fusion s'opère, on laisse refroidir, on pulvérise et le produit est identique au ciment de Portland.

d) ***Laine de laitier.*** — En soumettant le laitier à l'action d'un jet de vapeur ou d'air, on obtient de petits grains terminés par une sorte de queue formée de filaments plus ou moins longs qu'on appelle *laine de laitier*. Cette laine de laitier a la propriété de très mal conduire la chaleur, et on l'a employée en guise de calorifuge.

Pour la fabriquer, on fait couler le laitier en filet mince de 10 à 15 millimètres de grosseur et sous le canal par lequel le laitier se rend dans le wagonnet, on dispose un tuyau à vapeur de 6 à 8 mil-

limètres ; la laine produite est recueillie dans une chambre en tôle ayant 2 mètres de longueur, ouverte du côté par où arrive le laitier, et munie, au plafond, d'ouvertures pour l'échappement de la vapeur. On divise la chambre en deux parties par une cloison horizontale ; le produit le plus fin se réunit dans la partie supérieure. Il est plus pratique de former les parois de toile métallique à laquelle la laine adhère et qui laisse les vapeurs s'échapper.

Nous avons dit qu'elle est mauvaise conductrice de la chaleur et qu'on s'en est servi pour entourer des tuyaux de vapeur ; à la longue, cependant, elle se décompose sous l'action de l'humidité et de l'air, car le laitier renferme de la chaux et du soufre et il se forme des carbonates et des sulfates de chaux qui, avec le temps, se durcissent.

On a tenté de l'employer pour le remplissage des faux planchers, mais on y a vite renoncé à cause des dégagements d'hydrogène sulfuré qui rendaient les logements inhabitables.

e) ***Fabrication du verre.*** — On a cherché à utiliser les laitiers à la fabrication du verre, car leur composition s'en rapproche beaucoup et surtout de celui qu'on emploie à la fabrication des bouteilles.

La composition du verre à bouteilles est à peu près la suivante :

Silice.	45 à 60 0/0
Chaux.	18 à 28 —
Magnésie	0 à 7 —
Alumine	6 à 12 —
Alcalis	2 à 7 —
Oxyde de fer.	2 à 6 —

Le laitier n'a donc besoin que de très peu de choses pour posséder une composition convenable ; il manque en général la silice et les alcalis ; il existe cependant des laitiers de fourneaux au bois qui ont exactement la composition du verre. Certains laitiers de hauts fourneaux anglais renferment jusqu'à 38 0/0 de silice ; on n'a plus qu'à ajouter, dans le four de verrerie, des alcalis, du sable et les matières destinées à colorer ou à décolorer.

II. DES GAZ

Les gaz qui s'échappent du gueulard d'un haut fourneau possèdent une grande puissance calorifique ; leur composition varie avec la marche du fourneau, la facilité plus ou moins grande avec laquelle les minerais se laissent réduire et les conditions de roulement. Abstraction faite de la vapeur d'eau, on y rencontre cinq éléments divers. La quantité d'eau que les gaz renferment varie dans des limites assez étendues ; les gaz de l'usine Phœnix renferment 8 0/0 en volume et 5 0/0 en poids ; ceux d'Esch, 15,4 0/0 en volume et 10,3 0/0 en poids.

Le tableau de la page suivante donne l'analyse des gaz de certains hauts fourneaux.

Echantillons de gaz provenant de :	En volume						En poids					
	Az	CO	CO^2	O	H	CH^4	Az	CO	CO^2	O	H	CH^4
Haut fourneau au charbon de bois en fonte blanche	56.7	25.5	15.3	»	1.7	0.8	53.3	23.8	22.4	»	0.1	0.4
Haut fourneau de bois de Suède	57.3	23.1	14.8	»	4.3	0.5	55.0	22.1	22.3	»	0.3	0.3
Haut fourneau du Cleveland . .	59.8	26.4	11.7	»	2.1	»	57.4	25.2	17.3	»	0.1	»
Haut fourneau au ferro-manganèse riche.	71.0	23.0	1.0	4.0	»	»	71.0	22.8	1.56	4.35	»	»
Haut fourneau au ferro-manganèse riche.	65.0	25.0	4.0	5.0	»	»	64.0	24.45	6.20	5.30	»	»

III. DES CADMIES

Les cadmies proviennent de la réduction de l'oxyde de zinc contenu dans certains minerais et de la volatilisation du métal fondu et parvenu dans les régions inférieures ; à mesure que la vapeur de zinc s'élève dans le haut fourneau, elle se trouve en contact avec de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique qui l'oxydent peu à peu ; l'oxyde ainsi produit se fixe aux parois de la cuve au-dessous du gueulard et forme un anneau dont l'épaisseur augmente de plus en plus. La cassure d'un morceau de cadmie est jaune verdâtre et la structure feuilletée, les feuillets disposés parallèlement aux parois de la cuve.

La zone où se forme ce dépôt de cadmie dépend de la hauteur du fourneau et de la température du gueulard. Si le minerai renferme du zinc, il faut de temps en temps détacher les dépôts des cadmies pour empêcher l'obstruction outre mesure du gueulard et leur chute dans la cuve, ce qui peut occasionner un changement d'allure ou une altération de la qualité de la fonte. Les cadmies se vendent aux usines à zinc, qui en extraient le métal; elles sont en général composées d'oxyde de zinc, d'oxyde de fer, de plomb métallique et de sable.

IV. DU PLOMB

Le plomb contenu dans les minerais se rassemble dans les parties basses des hauts fourneaux traitant des minerais plombifères ; il renferme en géné-

ral un peu d'argent. Certains hauts fourneaux en recueillent une cinquantaine de tonnes par an. En Haute-Silésie, en 1897, on a vendu aux ateliers spéciaux 506,000 kilogrammes de plomb argentifère.

V. DES POUSSIÈRES

Dans tous les conduits, à partir du gueulard jusqu'aux carneaux des chaudières, il se forme un dépôt de poussières blanches ou jaunes. Nous avons indiqué les moyens employés pour faire déposer ces poussières ; la composition chimique de ces poussières varie avec les différents hauts fourneaux ; on y trouve de la silice, des alcalis à l'état de cyanures, des chlorures, des sulfates et des carbonates. Lorsqu'on laisse la poussière se déposer dans de longues conduites, à mesure qu'on s'éloigne du gueulard sa composition varie et cela tient probablement à la différence de la densité des divers éléments constitutifs.

Certaines poussières renferment des quantités suffisantes de zinc ou de plomb et on les vend aux fonderies de ces métaux ; certaines autres renferment des sels solubles en quantité assez notable pour les traiter afin de les recueillir.

VI. PRODUITS ACCIDENTELS

Les produits accidentels n'ont aucune valeur industrielle, mais permettent de connaître les phénomènes qui se produisent dans le travail du haut fourneau. C'est ainsi qu'on trouve dans les loups qui restent au fond des creusets des cristaux

cubiques de cyanure d'azote et de titane qu'on a pris pendant longtemps pour du cuivre ou du titane métallique; on peut isoler ces cristaux du fer qui les enveloppe et en recueillir de grandes quantités en dissolvant la partie ferreuse dans l'acide chlorhydrique. On trouve également sur les parois d'un haut fourneau éteint de la silice cristallisée en aiguilles extrêmement fines; des aiguilles cristallines de zinc et de silice; ces aiguilles se logent dans les fentes de l'ouvrage et à la surface ou à l'intérieur de loups; il s'y rencontre aussi des cristaux d'oxyde de zinc.

On peut également recueillir de grandes quantités de cyanure de potassium, qu'on peut utiliser pour les procédés de galvanisation.

CHAPITRE XIII

De la fonte et de ses propriétés

SOMMAIRE. — I. Propriétés des fontes. — II. Fontes grises. — III. Fontes noires. — IV. Fontes blanches et ferro-manganésées. — V. Fontes spéculaires ou spiegeleisen. — VI. Ferro-manganèse.

Nous avons déjà dit que, dans les changements qu'éprouve l'oxyde de fer dans les hauts fourneaux, il passe successivement de l'état de protoxyde à celui de fer pur; puis, environné de carbone, il s'en sature dans une proportion définie, forme un

alliage liquide et descend dans les parties inférieures de la cuve, en entraînant avec lui une autre partie de carbone, à l'état de dissolution, dont le dosage dépend de la richesse de l'atmosphère qu'il traverse.

La limite inférieure de la teneur en carbone est de 2,6 0/0. Certains autres métalloïdes, tels que le silicium, le phosphore, le soufre, etc., diminuent la malléabilité du fer dans une mesure plus ou moins grande. Le manganèse aussi entre souvent dans la fonte et si sa teneur est faible, ces alliages conservent le nom de fontes; mais, si elle dépasse certaines limites, on les désigne sous le nom de ferro-manganésées. Il en est de même du silicium et du chrome.

Les fontes, à leur sortie du haut fourneau, se classent de diverses manières. Si on prend en considération leur cassure et leur couleur, on les classe : en *fontes grises*, en *fontes blanches* et en *ferro-manganésées*. D'après la nature du combustible qui a servi à leur fabrication, on distingue les fontes au *charbon de bois* et les fontes au *combustible minéral*. Enfin, d'après l'usage auquel on les destine, on les classe en fontes de *moulage*, destinées à la fabrication des pièces et objets moulés, et en fontes d'*affinage*.

Nous allons classer, dans ce qui va suivre, les fontes par la couleur de leur cassure.

I. PROPRIÉTÉS DES FONTES

Nous avons vu que la fonte est un alliage du fer avec le carbone et autres métalloïdes ; comme tous

les alliages, elle a une tendance à se liquater, lorsqu'elle passe de l'état liquide à l'état solide ; il en résulte une différence d'homogénéité ; on y rencontre certains produits de liquation dont les propriétés sont très différentes. Ces divers éléments s'allient ou se dissolvent de nouveau lorsqu'on remet la fonte en fusion, pour se séparer au moment de la solidification.

Les propriétés d'une fonte donnée sont différentes suivant la plus ou moins grande rapidité du refroidissement ; la fonte grise est particulièrement sensible ; le graphite qui caractérise cette fonte se forme par la présence du silicium lequel, au moment de la solidification, provoque l'expulsion du carbone ; dès que le métal se solidifie il se forme un carbure. Si on la refroidit subitement avant que le graphite se soit développé, la fonte devient d'un blanc argentin ; la dissolution du carbone est uniforme. Lorsqu'il y a formation de graphite, le volume de la fonte augmente, aussi la fonte grise est moins dense que la fonte blanche ; la fonte grise a une densité variant de 7 à 7,2 ; la fonte blanche atteint 7,6. La température de fusion de la fonte s'abaisse à mesure qu'elle contient une plus grande proportion d'éléments autres que le fer ; le carbone de trempe et celui de carbure sont les seuls qui puissent influer sur la température de fusion ; le premier est dissous même à froid, le second entre en dissolution vers 700°, c'est-à-dire à une température inférieure à celle de la fusion. Le graphite se dissout un peu après que le fer au milieu duquel il s'est formé, entre en fusion.

Une certaine quantité de silicium abaisse le point

de fusion ; le manganèse, pourvu que sa teneur ne dépasse pas 10 0/0, l'abaisse également.

Si la fonte est destinée au moulage, la fluidité a une grande importance, le phosphore, le silicium et le manganèse augmentent sensiblement la fluidité, tandis qu'au contraire le soufre, même en très petite quantité, paraît la diminuer.

La fonte grise est assez tendre, elle se laisse entamer par les outils tranchants, sa dureté augmente à mesure que la proportion de graphite diminue. Un refroidissement brusque de la fonte grise la durcit, et c'est cette propriété qu'on utilise pour faire des fontes trempées. Un recuit prolongé adoucit la fonte. Le manganèse et le chrome augmentent la dureté de la fonte soit par leur présence, soit parce qu'ils empêchent le carbone de se séparer sous forme de graphite. Le silicium produit le même effet, quand il est en forte proportion ; mais, à la teneur ordinaire de la fonte grise, il produit le résultat contraire, car il provoque le départ du carbone sous forme de graphite et laisse un métal plus carburé.

La fonte résiste mal aux chocs et aux vibrations ; sa résistance à la rupture dépend de la texture et de la composition chimique ; plus la fonte est à gros grains, plus sa ténacité est moindre. La fonte blanche résiste moins bien que la fonte grise.

On divise les fontes en fontes grises et fontes blanches.

II. FONTES GRISES

Nous avons déjà vu que les éléments qui constituent la fonte grise, telle qu'on l'obtient par le

traitement des minerais, sont le fer, le carbone et le silicium. Le silicium est nécessaire pour provoquer la séparation du graphite ; en privant une fonte de son silicium, on la rend blanche, c'est ce qu'on appelle de la *fonte finée*. La fonte grise contient de 0,5 à 5 0/0 de silicium ; au delà de cette quantité on obtient du ferro-silicium qui peut en contenir jusqu'à 16 0/0.

Si la teneur en carbone est plus élevée et celle en manganèse très faible, il se forme du graphite même avec une moins forte proportion de silicium.

Le manganèse s'oppose à la séparation du carbone sous forme de graphite, aussi la fonte grise ne peut-elle en contenir beaucoup ; pour produire des fontes de moulage il faut donc rechercher les minerais pauvres en manganèse, qui a en plus la propriété d'augmenter la fragilité, le retrait et le dégagement des gaz ; la bonne fonte de moulage ne doit donc contenir que 1,5 0/0 de manganèse au maximum,

Dans les fontes d'affinage et surtout dans celles destinées au traitement Bessemer on trouve 5 0/0 de manganèse avec 2,5 0/0 de silicium ; d'une manière générale les minerais qui fournissent cette proportion de manganèse sont réservés pour la fabrication de la fonte blanche.

Le phosphore doit être en très petite quantité dans la fonte grise ; la fonte de moulage contient jusqu'à 1,8 0/0 de phosphore ; la fonte d'Ecosse 0,7 0/0 et il faut, pour avoir des bonnes pièces moulées, que la teneur en manganèse soit d'autant plus faible que celle en phosphore est plus élevée.

La fonte grise pour Bessemer ne doit pas avoir plus de 0,1 0/0 de phosphore.

Le prix de la fonte augmente avec sa teneur en silicium, le ferro-silicium serait par conséquent la fonte grise par excellence ; l'aspect du ferro-silicium riche diffère cependant de celui de la fonte grise, car le métal absorbe moins de carbone et la proportion de graphite est moins abondante dès qu'on arrive à 3 0/0 de silicium ; la cassure du métal est plus claire.

Avant de produire du ferro-silicium on classait les fontes, surtout celles fabriquées au coke, d'après l'aspect de leur cassure : ainsi on estimait que la fonte graphiteuse était la meilleure, et d'après la grosseur du grain on comptait la quantité de graphite qu'elle renfermait. Le prix allait en augmentant avec la grosseur du grain ; d'après l'aspect de la cassure on désignait les différentes nuances en classant sous le n° 1 celle qui avait le grain le plus gros et sous le numéro 5 celle qui avait le grain le plus fin. Mais si la fonte était phosphoreuse on appliquait le n° 3 à celle à gros grain et le n° 7 à la fonte à grain fin.

Aujourd'hui, dans le commerce, la fonte de moulage pas très phosphoreuse à gros grain porte le n° 1 et celle qui a le grain le plus fin porte le n° 3. A celles qui ont le grain plus fin que le n° 3 et une apparence plus claire on donne le nom de fonte *truitée*. De tout ce qui précèce on conclut que l'aspect seul de la fonte ne suffit pas pour donner sa valeur exacte, qui dépend surtout de sa richesse en silicium ; on ne peut donc connaître positivement la valeur d'une fonte que par analyse.

Les principaux types de fontes grises et de ferro-silicium sont les suivants :

Fontes grises ordinaires. — Elles renferment moins de 2 0/0 de silicium et de 3,5 0/0 de carbone, dont 3 0/0 sous forme de graphite. Le grain n'est pas trop gros et la couleur pas trop foncée ; elles portent le n° 2, mais peuvent passer pour du n° 1 ou du n° 3 ; elles rejettent moins de paillettes de graphite au refroidissement et souvent on n'en voit pas du tout ; elles sont fluides, on peut couler des pièces assez minces ; on utilise également ces fontes pour l'affinage Bessemer et pour fontes de moulage de deuxième fusion.

III. FONTES NOIRES

Elles renferment 2 à 3,5 0/0 de silicium et 3,5 à 4 0/0 de carbone total ; elles sont les plus graphiteuses de toutes (3,2 à 3,6 0/0 de graphite), les lamelles du graphite couvrent toute la surface de cassure, ce qui donne la nuance foncée. Leur texture est grenue ; quand elles sont fabriquées au coke, elles présentent un gros grain, tandis qu'au charbon de bois et par suite à une température plus basse et coulées dans des gueusets de moindre capacité, elles présentent un grain plus fin.

Dans les cavités et à la surface, on rencontre des nids de graphite pur, ce qu'on appelle *bourre* ou *limaille*. Ces fontes sont classées sous le n° 1 et sous le n° 3 quand elles sont très phosphoreuses ; en France, on les désigne sous le nom de *fontes bourrues* ou *limailleuses* quand elles sortent des fourneaux au bois.

Leur couleur est blanc éclatant au moment de la coulée et la rigole se couvre d'une couche de graphite dont une partie flotte dans l'atmosphère ; elles sont pâteuses et la solidification se fait avec calme. On les emploie en mélange avec des fontes moins siliceuses.

Fontes grises siliceuses. — Elles renferment de 3,5 à 5 0/0 de silicium et de 2,5 à 3,5 de carbone, dont la plus grande partie en état de graphite. Ce sont des ferro-siliciums pauvres ; leur grain est d'autant plus gros et leur couleur d'autant plus sombre qu'elles sont plus graphiteuses. Leur aspect les classerait sous le n° 3 ou 4 par manque de silicium, tandis que l'analyse seule peut donner leur valeur réelle.

Fontes siliceuses ou ferro-siliciums proprement dits. — Ils contiennent de 5 à 16 0/0 de silicium avec d'autant moins de carbone qu'ils sont plus riches en silicium ; les plus pauvres en contiennent 3 0/0 et ceux à forte teneur n'en contiennent pas plus de 1 0/0. Ce carbone est tout entier en état de graphite. Le ferro-silicium proprement dit ne contient pas de manganèse ; les ferro-siliciums riches en manganèse, fabriqués spécialement, sont classés dans les fontes blanches. Le phosphore ne doit pas s'y rencontrer sous peine de diminution de leur valeur.

Entre 5 et 10 0/0 de silicium, les ferro-siliciums ont une couleur gris clair, d'autant plus vive et tirant d'autant plus sur le jaune, que la richesse en silicium est plus grande ; dans les plus riches, le graphite ne se voit qu'en petits groupes de lamelles isolées ; leur texture est à grains d'au-

tant plus fins que la teneur en silicium est plus grande.

Le ferro-silicium exige, pour se produire, une température très élevée ; lorsqu'on le coule, il a une couleur blanche éclatante ; il se solidifie sans agitation et sans étincellement ; on le fabrique toujours en employant du coke.

On s'en sert pour désoxyder le fer ou l'acier fondu, pour fournir du silicium aux fontes qui n'en contiennent que trop peu, pour donner de bonnes fontes de moulage,

Fontes gris clair. — Ces fontes renferment moins de silicium que les fontes grises ordinaires ; 1 à 1,5 0/0 de silicium et de 3 à 3,5 0/0 de carbone dont 2 0/0 au moins en état de graphite. Le grain est plus fin et la couleur moins foncée que dans les fontes grises ordinaires. Les fontes les moins graphiteuses ont une couleur blanche entre les lamelles de graphite et on les désigne sous le nom de *fontes piquées*. Si le graphite n'est pas uniformément réparti et forme des taches noires sur un fond blanc dans la cassure, on les appelle *truitées*.

On les classe sous le n° 3 quand elles ont une cassure grise sans taches blanches ; elles passent au n° 4 quand on voit l'éclat blanc du métal ; si elles sont phosphoreuses, elles passent aux n°s 5 et 6.

Ces fontes, à la coulée, ont un éclat plus faible que les fontes grises ordinaires, lancent des étincelles brûlant à l'air ; à mesure que la teneur en silicium diminue, la quantité d'étincelles augmente ; à la surface des moulages coulés à découvert, on voit le métal former des dessins changeant à chaque instant ; après solidification, la surface est

criblée de trous d'autant plus larges et plus profonds que la fonte contient moins de silicium.

On emploie ces fontes pour le moulage et pour l'affinage, soit seules, soit en mélanges avec d'autres plus siliceuses.

Fontes truitées. — Elles renferment très peu de silicium, 1 0/0, et 2 à 3 0/0 de carbone ; la proportion de graphite est très faible, quelques lamelles parsemées sur un fond blanc, ce qui fait ressembler le métal au ferro-silicium ; la teinte en diffère un peu (moins jaune) et la texture également ; on les distingue par leur cassure. Elles sont intermédiaires entre les fontes grises et les fontes blanches et se rapprochent souvent plus des secondes que des premières par leur aspect ; elles sont peu fluides ; à la coulée, elles lancent une énorme quantité d'étincelles et leur surface est criblée plus encore que celle des fontes gris clair ; ces fontes dégagent beaucoup de gaz, et il s'y forme des ampoules volumineuses ; elles sont fréquemment un produit accidentel, résultant d'une altération d'allure.

IV. FONTES BLANCHES ET FERRO-MANGANÉSÉES

La fonte blanche est composée de fer et de carbone ; le silicium s'y rencontre quelquefois, et en proportion d'autant plus grande que la teneur en carbone est plus faible et celle en manganèse plus élevée ; si la quantité de silicium dépasse une certaine limite, la fonte devient grise. Il est rare que, dans la fonte blanche proprement dite, il y ait plus de 0,8 0/0 de silicium.

Le manganèse favorise la production de la fonte blanche, parce qu'il s'oppose à la formation du graphite ; aussi, on préfère les minerais manganésifères pour les traiter pour fontes blanches. La teneur en carbone augmente en même temps que celle en manganèse ; c'est donc le ferromanganèse qui renferme la plus forte quantité de ces deux éléments. Les fontes blanches renferment de 1 à 3 0/0 de phosphore ; la fonte Thomas, qui est blanche, renferme 2 0/0 de phosphore ; elles sont plus sulfureuses que les fontes grises (0,05 à 0,20 0/0), et les fontes fabriquées avec du coke sont les plus sulfureuses.

Si le lit de fusion contient du manganèse, le soufre passe dans le laitier et le métal est peu sulfureux.

On distingue les types suivants :

Fontes blanches ordinaires. — On les désigne sous le nom de *Malleisen*, à cause de leur peu de fluidité, ou sous celui de *Treibeisen*, parce qu'elles s'affinent rapidement. La cassure est à grains fins, sans apparence graphiteuse, la structure est rayonnée, la couleur d'un blanc gris ; elles contiennent moins de 3 0/0 de carbone, 0,1 à 1 0/0 de manganèse, 0,8 0/0 de silicium et 0,10 à 0,25 0/0 de soufre. Pendant la coulée, on observe les mêmes phénomènes que ceux signalés pour la fonte truitée ; les étincelles sont très nombreuses et très brillantes, le métal devient pâteux avant de se solidifier.

On emploie ces fontes à l'affinage et à la fabrication des objets en fonte malléable, et dans ce cas le métal doit contenir peu de carbone, de

manganèse et de phosphore, et renfermer de 0,4 à 0,7 0/0 de silicium.

Fontes blanches rayonnées. — Leur cassure présente des rayons dirigés normalement aux surfaces de refroidissement ; on y trouve 3 à 4,5 0/0 de carbone et de 1 à 4 0/0 de manganèse et moins de soufre que dans les précédentes. Suivant l'intensité du tracé des rayons, on les appelle fontes rayonnées ou très rayonnées ; cette dernière est la plus riche en carbone et en manganèse ; la fonte prend l'apparence et le nom de fonte truitée, quand la teneur en silicium s'élève au point de provoquer la formation de graphite.

Ces fontes sont plus fluides que les précédentes, elles lancent peu d'étincelles à la coulée ; les plus manganésées sont couvertes, en sortant du fourneau, d'une couche de gaz enflammés formant une fumée blanche très légère composée de silice.

Elles sont employées à l'affinage ou en mélange avec des fontes grises, pour améliorer leur qualité.

V. FONTES SPÉCULAIRES OU SPIEGELEISEN

Les rayons des fontes précédentes deviennent plus nombreux et forment des facettes planes de couleur blanche, dirigées normalement aux surfaces de refroidissement. Ces facettes se croisent en tous sens, leur éclat est vif et peut être comparé à des miroirs, d'où le nom de fontes *miroitantes*.

Elles renferment 4 à 5 0/0 de carbone et 5 à 20 0/0 de manganèse ; la présence du phosphore enlève à la fonte sa valeur ; le soufre est en très

petite quantité, à cause de la présence du manganèse, qui facilite son passage dans le laitier.

Dans les cavités de ces fontes, on trouve des cristaux ayant la forme de feuillets minces, composés de prismes à quatre faces juxtaposées.

Une fonte intermédiaire entre la rayonnée et le spiegeleisen a de petites facettes, et on l'appelle fonte demi-spéculaire; si la dose de manganèse atteint 6 0/0 et si les petites facettes sont nettes, on l'appelle du *petit spiegel*. Lorsque la teneur en manganèse est comprise entre 6 et 16 0/0, les facettes sont très développées, et on a alors le véritable spiegeleisen; au delà de 16 0/0, on le dit très manganésé; si pendant le travail le métal a pu absorber du silicium en grande quantité, on y aperçoit des lamelles cristallines et un peu de graphite, et on dit alors que le spiegeleisen est gris. Cette fonte est très fluide, à la coulée elle se couvre d'une flamme fumeuse, mais ne dégage pas d'étincelles. On la laisse se refroidir lentement, en faisant couler au-dessus de la fonte une couche de laitier, afin de favoriser la cristallisation.

Cette fonte n'est employée que pour l'affinage; elle est très dure et très fragile.

VI. FERRO-MANGANÈSE

Au delà de 25 0/0 de teneur en manganèse, la fonte perd sa texture lamelleuse caractéristique des spiegeleisen, elle devient compacte à grains fins; la teinte blanche est remplacée par une nuance d'un blanc jaunâtre, et dans les fissures

où l'air arrive en quantité limitée, on trouve de belles couleurs irisées.

Les ferro-manganèses du commerce sont à des teneurs variant entre 30 et 85 0/0 de manganèse ; le carbone atteint 7,5 0/0 lorsqu'il n'y a pas une trop grande quantité de silicium.

Quand la quantité de ce dernier atteint 12 0/0, on obtient un alliage qui prend le nom de *silico-spiegel* ; sa teneur en carbone s'abaisse à mesure que celle en silicium augmente ; le manganèse retient le carbone en combinaison et empêche la formation du graphite.

Ces sortes de fontes ne sont utilisées que pour l'affinage.

CHAPITRE XIV

Deuxième fusion et épuration de la fonte

SOMMAIRE. — I. Epuration de la fonte. — II. Elimination du silicium et du manganèse. — III. Déphosphoration de la fonte. — II. Désulfuration des fontes.

La fonte, à sa sortie du haut fourneau, doit subir de nouvelles opérations métallurgiques, soit pour la transformer en pièces moulées, soit pour fabriquer un métal malléable.

Ces nouvelles opérations exigent que la fonte revienne à l'état liquide ; si on pouvait utiliser la fonte à sa sortie du haut fourneau, on économise-

rait les frais de la deuxième fusion, mais généralement, la fonte du haut fourneau ne répond pas toujours comme qualité à l'application qu'on a en vue ; on est donc obligé d'opérer une nouvelle fusion, afin de lui faire subir les transformations voulues.

Pour l'affinage, la fusion se fait, dans certains cas, dans le four lui-même réservé à cette opération ; dans tous les autres cas, la fusion s'effectue dans des fours spéciaux, et le métal qui en sort est tantôt distribué dans des moules, tantôt transvasé dans d'autres appareils, pour être converti en fer ou en acier.

Dans l'opération de deuxième fusion, on doit tenir compte du système employé, pour opérer la fusion, pour le choix de la fonte à refondre, afin que le métal définitif réponde bien au but qu'on se propose.

Pour les appareils de deuxième fusion, nous renvoyons nos lecteurs au *Manuel du Fondeur*, de l'Encyclopédie-Roret, dans lequel ils sont exposés en détail.

I. ÉPURATION DE LA FONTE

La fonte contient certains éléments qui en rendent l'emploi difficile ou en diminuent la valeur ; on les élimine en tout ou en partie par un traitement spécial, qu'on désigne sous le nom de *finage* ; on l'applique surtout à la fonte qui doit être convertie en fer ou en acier par le procédé de soudage. On peut ainsi éliminer le silicium, le manganèse, le phosphore et le soufre.

II. ÉLIMINATION DU SILICIUM ET DU MANGANÈSE

Cette élimination s'opère en partie dans la fusion au cubilot et au four à réverbère ; on l'élimine complètement en augmentant l'action oxydante, soit par une insufflation d'air, soit par l'addition de corps susceptibles de fournir de l'oxygène comme les oxydes de fer.

Généralement, on cherche à se débarrasser du silicium, mais en même temps on oxyde une grande partie du manganèse, et une certaine quantité de fer passe dans la scorie en se brûlant. Cette opération d'élimination du silicium s'appelle *mazéage*. Autrefois, les ateliers d'affinage ne recevaient que des fontes grises, qu'en soumettant à cette opération de mazéage, on débarrassait du silicium et du manganèse ; elles devenaient blanches et s'affinaient dès lors très rapidement.

Aujourd'hui, le mazéage a perdu de son importance, car on fabrique dans les hauts fourneaux des fontes blanches et de qualités de fonte déterminées.

Quelquefois on maze la fonte dans le fourneau lui-même, à l'aide d'une tuyère plongeante, soufflant à la surface du bain métallique ; l'opération est terminée quand la fonte commence à lancer des étincelles, ce qui indique que l'oxydation se porte sur le carbone.

On peut également mazer en introduisant par les tuyères des minerais ou des scories ferrugineuses, finement pulvérisés, qui sont entraînés par le vent. En employant ce procédé, on dit qu'on

nourrit le haut fourneau ; il a l'inconvénient d'amener une allure froide.

Dans certaines usines de la Haute-Silésie, on employait un four chauffé au gaz, sur la sole duquel on refondait la fonte, on produisait ensuite le mazéage en soufflant sur le bain.

Dans d'autres usines on emploie, pour le mazéage, des bas foyers dits *mazeries* ou *fineries* anglaises, entourés de plaques de fonte refroidies, dans lesquels la fonte est fondue entre deux rangées de tuyères plongeantes, placées vis-à-vis l'une de l'autre ; afin de faciliter le départ du silicium, on y ajoute généralement une forte proportion de scories ferrugineuses ; on consommait environ 300 kilogrammes de coke par tonne de fonte, et le déchet était de 10 0/0. La fonte mazée est blanche, à grains fins, elle contient ordinairement 3 à 3,5 0/0 de carbone, et au plus 0,2 0/0 de manganèse et de silicium ; la scorie est riche en oxyde de fer.

III. DÉPHOSPHORATION DE LA FONTE

M. Lowthian Bell a fait connaître, vers 1875, un procédé de déphosphoration de la fonte ; il consiste à mélanger la fonte liquide sortant d'un haut fourneau, aussi intimement que possible, avec des matières très riches en oxydes de fer maintenues liquides, ou tout au moins chauffées à haute température ; on emploie généralement, à cet effet, des battitures, des scories d'affinage ou des minerais. Lorsque la réaction entre la fonte et les scories s'est produite, le métal se sépare des scories qui contiennent le phosphore et qui sont plus légères.

L'opération se fait dans un appareil revêtu d'oxyde de fer, ayant la forme d'une auge recouverte d'une voûte d'environ 4 mètres de longueur, et pouvant osciller sur deux tourillons horizontaux ; le mouvement d'oscillation est produit par une machine à vapeur et dure dix minutes environ, la fonte et les scories parcourent soixante à quatre-vingts fois la longueur de l'appareil.

La fonte Cleveland, qui contient 1,5 0/0 de phosphore, se transforme ainsi en fonte blanche, n'en renfermant pas plus de 0,22 0/0 et quelquefois même moins ; quant au silicium, il disparaît presque entièrement, de 1,8 0/0 il tombe à 0,03.

Deux ans plus tard, en 1877, Krupp, d'Essen, appliquait une méthode de déphosphoration basée sur le même principe. L'opération se faisait dans un four Pernot, et Krupp conseillait d'employer des fontes un peu manganésées, cet élément ayant la propriété de préserver le carbone de l'oxydation et de fournir à la scorie une base énergique.

M. Holley a étudié la marche de l'opération et donne les résultats des analyses dans le tableau suivant :

	C	Si	Ph	S	Mn	Cu
Fonte employée de l'usine Phœnix.	3.30	0.39	0.74	0.09	2.32	0.14
Quatre minutes après chargement.	3.27	0.02	0.16	0.02	0.04	0.15
Cinq minutes et demi après chargement.	3.27	0.01	0.14	0.02	0.12	0.14
Sept minutes après chargement.	3.32	0.02	0.10	0.03	0.06	0.14

La scorie contenait à la fin de l'opération :

SiO^2	13.0
FeO	51.0
MnO	16.6
Al^2O^3	11.6
CaO	0.7
Ph^2O^5	6.0

Les frais de l'épuration varient de 5 à 7 fr. 50 par tonne de fonte, quand celle-ci est prise directement au fourneau.

Ces deux procédés de déphosphoration sont tombés dans l'oubli depuis qu'on est parvenu à obtenir du fer et de l'acier complètement exempts de phosphore avec des fontes très phosphoreuses.

IV. DÉSULFURATION DES FONTES

Elle peut s'effectuer en mettant la fonte en présence d'une scorie très basique et très chargée en chaux, ce qui permet au carbone d'agir ; on peut également l'obtenir en ajoutant à la fonte liquide un métal ayant, pour le soufre, plus d'affinité que le fer, et qui formera un sulfure insoluble dans le bain métallique ; c'est le manganèse qu'on emploie généralement pour cette opération.

On peut produire la désulfuration dans un cubilot ordinaire, avec addition de castine, à condition que ce cubilot soit garni de briques basiques, par exemple de briques de magnésie. De plus, aux scories calcaires très difficiles à fondre, on ajoute une certaine quantité de spath-fluor. C'est M. Rollet qui a indiqué ce procédé, qui est em-

ployé dans un grand nombre d'usines françaises, pour fabriquer des fers et des aciers de qualité supérieure. En dernier lieu, M. Rollet employait le minerai de fer pur comme oxydant du phosphore et séparait la scorie du métal dès sa formation ; il employait le vent chauffé.

Depuis un certain nombre d'années, on emploie le manganèse à l'état métallique pour désulfurer la fonte que l'on prend directement du haut fourneau pour la conduire aux appareils Bessemer à garniture basique ou acide, dits *mélangeurs*.

Pour que la transformation de la fonte en acier se fasse dans de bonnes conditions, il faut qu'elle soit d'une composition déterminée, ce qu'il est rare d'obtenir dans les hauts fourneaux où les variations d'allure sont fréquentes. Ces différents inconvénients d'allure s'annulent mutuellement quand on mélange ensemble un grand nombre de coulées d'un ou plusieurs fourneaux. Le sulfure qui se forme dans le mélangeur s'unit à la scorie et flotte sur le bain.

Les mélangeurs sont des réservoirs mobiles pouvant contenir 80 à 150 tonnes de fonte, portés sur tourillons ; ils sont garnis intérieurement de briques réfractaires ou de briques de magnésie ; on y amène la fonte à l'aide d'une poche de coulée pouvant contenir la fonte de plusieurs hauts fourneaux. La fonte désulfurée est versée dans une deuxième poche semblable qui l'amène dans l'atelier Bessemer. Le mélangeur, avant de recevoir la première fonte, doit être chauffé et chaque fois on n'enlève qu'une faible partie du contenu du mélangeur qu'on remplace immédiatement par de la fonte

nouvelle venant du haut fourneau, de façon à avoir toujours une même composition moyenne.

De cette façon, la désulfuration est complète à condition toutefois que la teneur en manganèse ne descende pas au-dessous de 1,5 0/0. Quand elle descend au-dessous de cette limite, la fonte est plus sulfureuse ; ainsi, pour une teneur de 1 0/0, la fonte conserve 0,09 de soufre. La scorie renferme de 3 à 17 0/0 de soufre, selon le temps de contact de cette scorie liquide avec l'air qui brûle le soufre avec dégagement d'acide sulfureux. L'adoption de ce procédé permet d'éviter la deuxième fusion au cubilot ou ailleurs, mais ne convient qu'à des très grandes productions.

CHAPITRE XV

Fabrication du fer

SOMMAIRE. — I. Influence du mode de fabrication. — II. Fabrication du fer par soudage. — III. Méthode Chenot pour fabrication de l'éponge de fer par réduction du minerai sans fusion de scorie. — IV. Fabrication directe du fer et de l'acier par soudage dans les fours à réverbère système Siemens.

Le fer est fabriqué presque exclusivement par deux procédés, le soudage et la fusion ; dans le premier, le métal est amené, au moyen de la chaleur, à un degré de plasticité suffisant pour subir

les transformations voulues, mais conserve entre ses particules métalliques une partie de la scorie au milieu de laquelle il a pris naissance ; cette scorie produit le même effet qu'un corps étranger empêchant le rapprochement des molécules et diminuant, par conséquent, la résistance du métal et sa ductilité ; on ne peut l'en débarrasser que partiellement en le soumettant à un travail mécanique prolongé, sans réussir à l'éliminer d'une manière complète.

Le métal obtenu par fusion ne contient pas de scorie ; les petites particules de scories, qu'on observe parfois au microscope dans le fer fondu, proviennent des silicates entraînés dans les lingotières par le métal, au moment de la coulée, et qui n'ont pas eu le temps de s'en séparer et de monter à la surface avant la solidification.

Les divers procédés de fabrication du fer et de l'acier, par fusion ou par soudage, sont nombreux et souvent on ajoute leur désignation à celle du produit qui les concerne. Ainsi, on dit *fer affiné au bois* (affinage au bas foyer) *fer puddlé*, *acier Bessemer*, *acier Martin*, *acier au creuset*, *métal malléable*, *acier de cémentation*, etc.

I. INFLUENCE DU MODE DE FABRICATION

D'après le mode de fabrication des fers par soudage ou par fusion, résultent des différences dans leurs propriétés mécaniques. Il a été reconnu que pour une même résistance, les produits obtenus par fusion ont une ténacité plus grande et, pour la même ténacité, ils présentent une résistance supé-

rieure à la rupture. Ainsi, le syndicat des maîtres de forges allemands a rédigé (Dusseldorf, 1901) des propositions pour les livraisons de ces deux classes de produits et s'est arrêté aux chiffres suivants :

Le fer pour constructions, obtenu par soudage, doit donner 34 kilogr. de résistance à la rupture par millimètre carré, et s'allonger de 12 0/0.

Le fer fondu, pour même usage, offrira comme résistance un minimum de 37 kilogr. et un allongement de 20 0/0.

Pour les tôles en fer soudé, il faudra 30 kilogr. de résistance avec 5 0/0 d'allongement ; les tôles en métal fondu donneront 36 kilogr. de résistance et 20 0/0 d'allongement.

Nous nous arrêtons là de ces propositions et dans la suite on retrouve des différences du même ordre entre les deux classes de métaux.

Malgré tous ces avantages du fer fondu, le fer soudé produit égale les quatre cinquièmes de la production totale, et cela tient à plusieurs raisons de natures diverses. Ainsi, le fer et l'acier soudés se forgent et se soudent plus facilement, ne se détériorent pas autant quand ils sont portés à une très haute température, ils sont moins fragiles ; ils supportent mieux les tensions résultant d'un travail inégal dans ses différentes parties, tensions pouvant provoquer des ruptures brusques des tôles en métal fondu.

La distinction entre le fer et l'acier n'est pas nettement établie ; le mot *acier* devrait s'appliquer uniquement au métal carburé plus dur et plus résistant que le fer et prenant la trempe ; on a cependant pris l'habitude de dénommer ainsi tous

les produits malléables, obtenus par fusion, quel que soit leur degré de carburation.

II. FABRICATION DU FER PAR SOUDAGE

Nous avons déjà dit que le fer fabriqué par soudage correspond aux quatre cinquièmes de la production totale, et ce qui caractérise ce fer, c'est la présence de scories disséminées dans sa masse ; on ne peut l'en débarrasser que partiellement en le soumettant à un travail mécanique prolongé, sans réussir à les éliminer d'une manière complète.

Plus il est nécessaire que le fer possède les qualités de résistance, de ductilité, etc., et plus il faut que le travail mécanique qu'on lui fait subir soit considérable et le corroyage prolongé.

La scorie contenue dans le fer soudé ordinaire contient en grande partie des oxydes de fer ; si, pendant la fabrication, le métal a pu être protégé du contact de l'air, la scorie qu'il renferme peut avoir la même composition que celle qui reste dans le four après l'opération ; si, au contraire, le fer en fabrication a été exposé pendant quelque temps à l'action de l'air ou des gaz oxydants, la scorie qui reste dans le fer est plus ferrugineuse et plus riche en phosphore que celle du four. On peut dire en tous les cas que le fer contiendra une proportion de scories d'autant moindre que la quantité de métal produite dans chaque opération sera plus faible, que la température aura été plus élevée, la scorie plus fluide et le métal mieux garanti avant cinglage du contact des gaz oxydants.

Le premier produit de l'opération du soudage est

une loupe composée de grains de métal soudés entre eux par quelques points et formant une masse spongieuse imprégnée de scories liquides. On soumet cette loupe à l'action d'un marteau ou d'une presse pour compléter le soudage des grains métalliques et expulser la scorie ; cette opération porte le nom de cinglage.

Au début, on a fabriqué le fer exclusivement en traitant les minerais par procédé direct, c'est-à-dire en lui enlevant l'oxygène et les terres qui l'accompagnent : il n'y a que vers la fin du XVIe siècle qu'on a connu la fonte; depuis lors, on s'attacha à transformer ce produit par un procédé de décarburation dit d'*affinage*, et ce mode de production s'est substitué au premier.

Traitement direct des minerais

Le but de ce traitement direct des minerais est d'obtenir, par une seule fusion et dans le même fourneau, du fer propre à être puddlé suivant la méthode anglaise, ou du fer assez épuré pour être immédiatement étiré sous les machines de percussion ou de compression. Ce traitement direct a lieu presque toujours dans des bas foyers ou dans des fours à cuve; les premiers portent le nom de *foyers catalans*, les seconds sont désignés sous le nom de *fours à loupes* ou *fourneaux à masse* ou *stückofen*. On donne la préférence à l'un ou à l'autre de ces appareils, suivant le mode de soufflage employé. Avec les stückofen, on peut obtenir la haute température et l'action réductrice nécessaires au traitement des minerais réfractaires, difficiles à réduire et dont la gangue est peu fusible ;

les bas foyers conviennent, au contraire, aux minerais riches et purs.

Dans les deux cas, le combustible est le charbon de bois.

Fabrication directe au bas foyer ou foyer catalan

Le bas foyer dont on se sert pour obtenir du fer, est composé d'une enceinte en maçonnerie rectangulaire peu élevée au-dessus du sol et garnie intérieurement de matériaux réfractaires. En Amérique, on garnit l'intérieur de cette enceinte de plaques en fonte qui protègent le minerai en fusion de l'action des parois siliceuses. Des quatre côtés, celui dans lequel est ménagé le trou pour l'écoulement de la scorie et celui qui lui fait face sont inclinés en dehors, les deux autres sont verticaux ; la plaque du fond est creuse et refroidie par un courant d'eau ; la tuyère est inclinée et plonge dans le foyer. L'espace libre entre les plaques a les dimensions suivantes :

Longueur du foyer	0m 60
Largeur	0m 70
Profondeur.	0m 30

Le foyer est entouré de murs qui soutiennent une hotte terminée par une cheminée et il n'y a d'accès que d'un seul côté. Une des considérations les plus importantes dans un feu catalan est celle qui a rapport à la position de la tuyère ; elle doit porter directement le vent dans le feu et doit le distribuer avec égalité. Il faut donc avoir égard tout à la fois à sa direction, à son inclinaison, à sa saillie, à son élévation et à sa déclinaison.

La meilleure direction à donner à la tuyère est la ligne droite ; tous les coudes ou angles qu'on fait faire à cette tuyère tendent à diminuer l'effet du vent et à le refouler dans la caisse des soufflets ou à le disperser par les jointures du porte-vent. La tuyère n'est jamais placée horizontalement ; elle fait, avec l'horizon, une inclinaison qui doit toujours être telle que l'angle interne qu'elle forme avec le côté du foyer soit aigu, afin que le vent se répartisse uniformément à travers le combustible.

La saillie ou entrée de la tuyère dans le creuset dépend des dimensions de celui-ci : plus grand, la saillie doit être plus considérable ; plus petit, elle doit être moindre. La qualité du combustible doit faire, d'ailleurs, varier cette entrée, qui diminue lorsque le charbon de bois est plus léger et qui augmente avec le charbon dur.

La hauteur à laquelle on place la tuyère doit dépendre de la profondeur du feu en même temps que de sa largeur.

Avant de charger le minerai, on le grille et on le réduit en fragments de la grosseur d'un pois ; au moment de la mise en feu, on garnit le fond de fraisil, par-dessus on charge du charbon de bois qu'on allume et on donne le vent, puis on jette sur le charbon une certaine quantité de scories provenant d'une opération précédente. Dès que le charbon est incandescent, on répand uniformément sur la surface, avec une pelle, 10 à 15 kilogr. de minerai qui descend bientôt, en partie fondu, à travers le charbon, se réduit partiellement et tombe au fond du foyer où il s'agglomère ; lorsque, par suite de la combustion, le niveau du charbon s'est suffi-

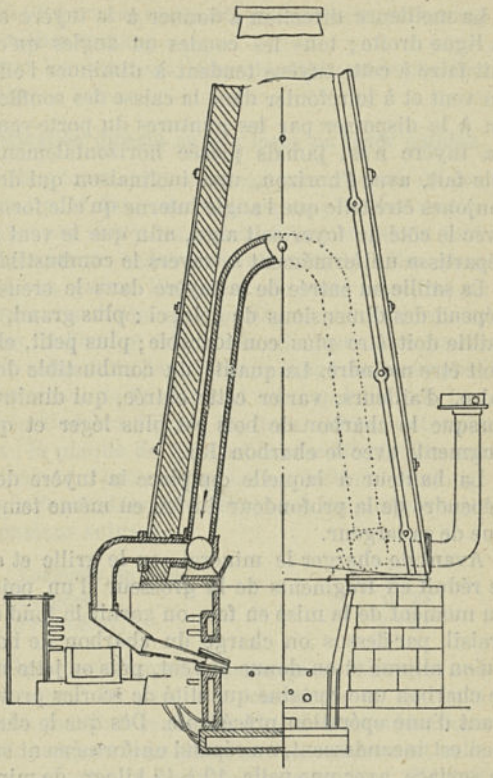


Fig. 180. Bas foyer américain (demi-coupe et élévation).

samment abaissé, on en ajoute une nouvelle couche sur laquelle on répand du minerai et on recom-

mence ainsi dès qu'il y a place pour une nouvelle charge de charbon et de minerai. De temps en temps, l'ouvrier pique avec le ringard le fond du foyer; il reconnaît l'allure à la nature des scories et du métal qui s'attache au ringard, à la couleur de la flamme qui doit être rouge ou bleuâtre en allure normale; une allure trop chaude donne une flamme blanche et, dans ce cas, on obtient du fer aciéreux. On abaisse la température en arrosant avec de l'eau la surface du foyer et, de temps en temps, on fait écouler la scorie. Sous la hotte, au-dessus du feu, on dispose un appareil en fonte qui sert à chauffer l'air au moyen des flammes perdues (fig. 180 et 181).

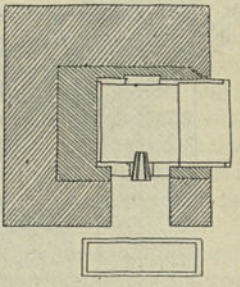


Fig. 181. Bas foyer américain (vue en plan).

Dans une opération, on traite 250 kilogr. environ de minerai et on obtient une loupe de 150 kilogr. en consommant 250 kilogr. de charbon de bois par 100 de fer produit; une opération dure trois heures. La loupe obtenue est cinglée sous un marteau pour la transformer en un gâteau qui, plus tard, sera ressué et étiré.

Le feu catalan ordinaire diffère de cette description du feu catalan américain en ce qu'on charge d'une seule fois le minerai sur du combustible ardent et en face la tuyère. Entre le minerai et la tuyère reste un espace libre plus grand que la

moitié du volume total du foyer (fig. 182). On le remplit de charbon jusqu'au niveau de la partie supérieure du tas de minerai ; le travail est conduit de façon que les gaz de combustion, très riches en carbone, cheminent à travers le minerai et réduisent partiellement. Lorsqu'il est suffisamment préparé, le minerai descend peu à peu, il s'agglomère et

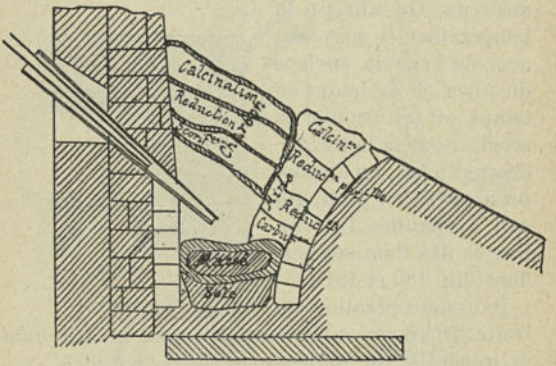


Fig. 182. Feu catalan.

arrive au fond en traversant la masse de charbons incandescents. Là, la réduction est complète et un commencement de carburation prend naissance. Dès qu'on s'aperçoit que tout le minerai est transformé, on enlève la loupe formée pour la soumettre au cinglage et à l'étirage. La consommation de charbon, dans ce cas, est égale à trois fois et demi le poids du fer obtenu ; une opération dure six heures.

Les scories de ces procédés sont très ferrugineuses ; c'est ainsi qu'on traite aujourd'hui les scories laissées en tas çà et là par les anciens et considérées par eux sans aucune valeur. Des analyses faites sur des scories anciennes ont donné jusqu'à 58 0/0 d'oxyde de fer.

Traitement dans les fours à loupes ou stückofen

Les fours à loupes étaient, autrefois, très répandus dans toute l'Europe septentrionale pour la fabrication directe du fer et de l'acier ; leurs dimensions variaient d'une contrée à l'autre. Actuellement, on les emploie encore en Finlande à cause de la faculté qu'il y a de prendre gratuitement, dans les forêts de l'Etat, le bois nécessaire à leur consommation. Certains de ces fours ont à peine 1 mètre de hauteur ; il y en a cependant qui atteignent 6 mètres.

Leur forme est celle d'un cubilot dont l'intérieur est tantôt cylindrique, tantôt de forme tronconique, dont la grande base est à la partie supérieure et quelquefois en bas. Les fours à loupes, actuellement construits en Finlande, sont composés de deux troncs de cône accolés par leur plus grande base.

Pour faire une opération, on remplit la cuve de charbon de bois jusqu'à une certaine hauteur, on y met le feu et on remplit le reste avec des charges successives de minerai et de charbon et on continue ainsi, à mesure que le niveau s'abaisse, jusqu'à ce qu'on ait introduit la quantité de minerai nécessaire pour obtenir une loupe de poids voulu. Cette loupe est enlevée à la fin de l'opération soit

par le gueulard, si le four n'est pas très profond, soit par une ouverture spéciale ménagée à cet effet à la partie inférieure et fermée pendant le travail par une pierre.

Pour procéder à une nouvelle opération, il faut remplir à nouveau la cuve de charbon, etc. On a cherché à éviter ce nouveau remplissage de charbon et pour cela on a établi la partie inférieure, où se rassemble la loupe, indépendante de la cuve et portée sur un chariot ; dès qu'une loupe de poids suffisant est formée, on retire le chariot et on le remplace par un autre tout prêt.

Depuis un certain nombre d'années, l'ancien four en maçonnerie est remplacé par un autre à double enveloppe métallique (fig. 183) ayant la forme d'un haut fourneau ; l'écartement, entre les deux enveloppes est maintenu par une bande de fer disposée en hélice et le vent du soufflage pénètre dans cet intervalle en différents points et circule, en suivant l'hélice, pour arriver bien chauffé à la conduite circulaire qui le distribue aux tuyères. Le creuset est également mobile et porté sur un chariot, reposant sur une plate-forme, pouvant se baisser ou se lever à volonté à l'aide d'un dispositif de leviers. Le creuset est en fonte très épaisse à circulation d'eau et peut être saisi par les tourillons et renversé.

Le refroidissement de la cuve a pour but de retarder la réduction et la carburation ; la réduction s'y opère en effet, dans la partie inférieure, par le carbone solide. Il s'y produit également une carburation intempestive et production partielle de fonte ; les loupes ont une composition irrégulière ;

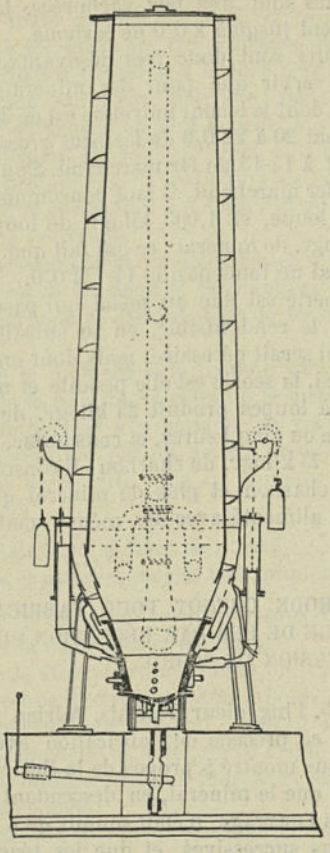


Fig. 183. Four à loupes ou stückofen, système Husgafvel.

tantôt elles sont très peu carburées, tantôt elles contiennent jusqu'à 2 0/0 de carbone.

Ces fours sont donc très désavantageux et ne peuvent servir que pour des minerais des lacs argileux, dont la teneur moyenne est de 30 à 35 0/0 ; ils donnent 20 à 22 0/0 de fer brut grossier, qui se réduisent à 14-15 de fer marchand. Pour 1,000 kilogr. de fer marchand, il faut consommer 1,400 kilogr. de loupe, et 1,000 kilogr. de loupe exigent 1,540 kilogr. de minerai ; ce qui fait que 100 kilogr. de minerai ne rendent que 14 1/2 0/0.

Cette perte est due au métal qui passe dans le laitier et le rend fusible, en se substituant à la chaux qui serait nécesaire, mais dont on ne se sert pas. Aussi, la scorie est-elle pesante et métallique. Le four à loupes produit 25 kilogr. de fer toutes les quatre ou cinq heures, et consomme, pour cette quantité, 75 kilogr. de charbon ; il consomme donc plus de charbon et plus de minerai qu'un haut fourneau alimenté avec les mêmes matières premières.

III. MÉTHODE CHENOT POUR FABRICATION DE L'ÉPONGE DE FER PAR RÉDUCTION DU MINERAI SANS FUSION DE SCORIE.

En 1855, l'ingénieur français, Adrien Chenot, a appliqué ce procédé de fabrication avec succès. Nous avons montré à propos de la théorie du haut fourneau que le minerai, en descendant du gueulard dans l'ouvrage, n'était soumis qu'à des transformations successives, et que les réactions qui s'opèrent dans ses parties n'avaient pas lieu simul-

tanément, mais se faisaient à diverses hauteurs. Ainsi, dans les premiers trois mètres de sa descente, le minerai de fer n'a encore perdu qu'une partie de son eau hygrométrique; dans les deux mètres qui suivent, il en perd le reste, ainsi qu'une partie seulement de son oxygène; à cinq ou six mètres de profondeur, la réduction de l'oxyde en fer métallique commence à s'opérer et se continue jusque dans l'ouvrage.

C'est alors seulement que les silicates se forment; que les terres se vitrifient et se changent en laitier et que le carbone se dissout dans le fer et produit la fonte.

Si, entre le moment et la hauteur où l'oxyde de fer vient de se réduire, et ceux où le métal devenu pur va commencer à s'emparer de carbone, on arrêtait l'opération par un moyen quelconque, on obtiendrait dans cette zone un minerai composé de :

Fer métallique à l'état de pureté,
Terres et gangues mêlées mécaniquement,

c'est-à-dire le minerai primitif moins l'oxygène. Voilà pour la composition chimique.

Quant à la structure mécanique, en s'échappant par mille pores, l'oxygène n'aurait point changé la forme extérieure du minerai, mais il lui aurait enlevé sa compacité et le laisserait criblé de petites cavités qui donneraient aux morceaux entiers l'aspect d'une éponge.

Ces morceaux spongieux seraient tendres, faciles à écraser et même à couper au couteau; et l'état du fer y serait tel, qu'une fois enflammés ils conti-

nueraient à brûler en s'oxydant et gagnant du poids.

Pour extraire le fer pur des éponges terrométalliques, il suffirait de pulvériser le nouveau minerai désoxydé et de promener un barreau aimanté dans cette poussière ; les particules de fer s'attacheraient au barreau et, au bout d'un certain temps, la poussière ne serait plus composée que des terres qui accompagnaient l'oxyde de fer dans le minerai primitif.

M. Chenot se servait de deux cornues verticales de $8^m 50$ de hauteur, ayant comme section horizontale $2^m \times 0^m 50$; elles étaient groupées en batteries comme celles d'un four Appolt et chauffées au moyen de carneaux qui les enveloppaient ; on les déchargeait par-dessous ; le minerai s'échauffait et, transformé en éponge, tombait dans un refroidissoir où il restait à l'abri de l'air jusqu'à ce qu'il eût perdu toute sa chaleur sensible. Les minerais, réduits en morceaux de 0,03, étaient mélangés à la quantité de charbon théoriquement suffisante et nécessaire pour opérer la réduction, en supposant qu'il ne se produisît que du fer et de l'oxyde de carbone. Il fallait 200 kilogr. de charbon de bois pour 1,000 kilogr. de minerai rendant 55 0/0 ; la réduction était complète après deux ou trois jours.

Ce procédé a été abandonné, car l'éponge avait une densité ne dépassant pas 1,25 et, malgré une forte pression hydraulique qu'on lui appliquait, il arrivait que, pendant le réchauffage, une grande partie du fer brûlait.

IV. FABRICATION DIRECTE DU FER ET DE L'ACIER PAR SOUDAGE DANS LES FOURS A RÉVERBÈRE SYSTÈME SIEMENS.

En 1870, M. Siemens mit en pratique, dans l'usine de Towcester, un procédé de fabrication où l'on opérait de la manière suivante :

On préparait un mélange de minerai menu, de fondants convenables pour former avec la gangue un laitier fluide, et du charbon en poudre ; on portait ce mélange dans un four à réverbère à la température soudante ; le carbone réduisait l'oxyde de fer et il se formait une loupe qu'on soumettait ensuite aux opérations de cinglage et d'étirage de la façon ordinaire.

Le four employé était un four rotatif revêtu intérieurement de scories ferrugineuses. L'agent de réduction était la houille grasse et riche en matières volatiles, possédant une action réductrice très énergique. La quantité ajoutée dans le mélange représentait le 1/5 ou 1/6 des poids du minerai et des fondants réunis. La grosseur du minerai était comprise entre celle d'un pois et celle d'une fève ; la houille était réduite en petits grains.

On chauffe préalablement le four et on y introduit 2,500 kilogr. de mélange ; après cela, on donne le gaz et l'air, puis on fait tourner l'appareil très lentement (quinze tours à l'heure). Vers la fin de l'opération, on pousse la température au blanc soudant et avec des crochets on cherche à former un certain nombre de loupes en soudant ensemble des masses ferreuses et, enfin, on retire les loupes formées qu'on envoie au marteau.

Le traitement d'une charge exige quatre à six heures et on retire 75 0/0 du fer contenu dans le minerai traité. Il en passe donc dans la scorie 25 0/0.

La consommation de houille par tonne de fer produite est de 2,000 à 2,150 kilogr.

Les scories de ce procédé renferment autant de fer que celles qui résultent du traitement au bas foyer ou au foyer à loupes.

CHAPITRE XVI

Affinage de la fonte

SOMMAIRE. — I. Généralités. — II. Affinage dans les bas fourneaux ou bas foyers. — III. Affinage à l'anglaise. — IV. Du puddlage ou affinage dans les fours à réverbère. — V. Du travail du puddlage. — VI. Puddlage mécanique.

I. GÉNÉRALITÉS

On peut considérer toutes les fontes comme contenant, sur 100 parties :

Fer	96.40
Silicium	1.20
Carbone	2.40
	100.00

Pour les ramener en état de fer pur, il faut donc les débarrasser du silicium et du carbone. Tel est

le but de toutes les méthodes d'affinage. Le silicium passe à l'état de silice aussitôt qu'il se trouve en contact avec l'oxygène. Au moment même de ce passage, il a la propriété de se dissoudre dans l'eau ; mais, lorsqu'il est arrivé à l'état d'oxyde, il ne reste plus qu'un moyen de l'expulser, c'est de le mettre en présence de fondants convenables et d'appliquer la théorie de la vitrification à l'aide de terres. Le carbone se sépare avec facilité lorsque la fonte est convenablement présentée à l'oxygène. Dans l'état actuel de la métallurgie, on se sert du vent de soufflerie pour l'oxyder et chasser le carbone sous forme d'acide carbonique.

Ainsi, le double but de l'affinage ne peut être bien rempli dans une seule opération, car le silicium doit être tenu à l'abri de l'air de la tuyère, et cependant c'est l'air qu'il faut employer pour décarburer le métal.

On décarbure la fonte, soit en la fondant dans des bas foyers, pêle-mêle avec le charbon, soit en pratiquant cette opération dans des fours à réverbère, où le métal est tenu loin du combustible. Au premier aspect, la décarburation au milieu des charbons ne semble guère possible et l'on est tenté de donner la préférence au four à réverbère. En effet, quelle que soit la puissance réductrice de l'oxygène, il est bien difficile qu'il ne reste pas du carbone dans la masse affinée, lorsqu'elle est mise en contact immédiat avec des substances charbonneuses, dont l'affinité pour le métal est bien connue. Cependant la fonte a besoin, pour être affinée, d'être tenue quelque temps à l'état liquide, et c'est ce qu'on obtient dans les feux ; tandis que, dans un

four à réverbère, l'oxydation rapide du métal ne permet pas, dans le cas ordinaire, d'obtenir un bain complet, et ne donne pas aux autres substances nuisibles le temps de se dégager.

Si la fonte ne contenait que du carbone et du fer, l'affinage consisterait en une simple décarburation : l'action de l'oxygène suffirait pour l'opérer. Mais la fonte est bien rarement pure, et la séparation des matières étrangères exige presque toujours le jeu des affinités chimiques binaires et même ternaires. Or, l'affinité s'exerce plus facilement sur les corps à l'état liquide, et l'action moléculaire éprouve d'autant plus de modification que la fusion est plus prolongée.

La fonte blanche se convertit en très peu de temps en fer ductile ; elle arrive plus vite au point de fusion que la fonte grise ; mais elle coule plus difficilement, s'oxyde presque aussitôt et ne peut jouir plus longtemps de l'état de liquidité. Si elle est pure, l'affinage peut en être complet ; mais si elle contient des substances étrangères, la réduction du carbone est trop prompte pour qu'elles puissent être séparées. A proprement parler, la fonte blanche tombe par écailles dans le foyer d'affinerie ; elle n'est point liquide, s'épaissit et passe presque aussitôt à l'état de fer.

La fonte grise, au contraire, fond moins facilement, tombe par gouttes, s'oxyde difficilement et peut rester à l'état de bain liquide beaucoup plus longtemps que la fonte blanche. Cette prolongation d'une parfaite liquidité n'est pas, au surplus, sans inconvénient : si elle facilite l'action du réactif et la séparation des corps hétérogènes, elle demande

aussi plus de temps pour se réduire et exige un plus fort courant d'air. Cet inconvénient qui retarde l'affinage est d'autant plus grand que la fonte contient plus de carbone en dissolution.

La fonte d'une teinte légèrement grise est donc plus convenable à l'affinage. La formation du graphite ne s'y est pas opérée, mais elle peut être tenue en bain assez longtemps, sans qu'elle offre le désagrément de prolonger le travail au delà des limites raisonnables. Lorsque la fonte blanche provient d'un refroidissement subit, la composition est assez uniforme et présente des proportions constantes d'éléments. Cette sorte de fonte est donc très avantageuse pour l'affinage, et le travail en est plus facile et plus prompt.

Tous les modes d'affinage de la fonte peuvent se réduire à trois : l'affinage dans *les feux* ou *bas fourneaux*, l'affinage dans les *fours à réverbère français* et l'affinage *à l'anglaise*.

II. AFFINAGE DANS LES BAS FOURNEAUX OU BAS FOYERS

C'est dans les bas foyers ou feux de forges, ou *renardières*, qu'on a commencé à convertir, par affinage, la fonte en fer ; le bas foyer ou feu d'affinerie est une caisse parallélogrammique découverte, de faible hauteur, dans laquelle on place, au milieu de charbon de bois, la fonte à décarburer ; le vent y est introduit par une tuyère inclinée placée sur un des côtés.

Dans l'affinage au bas foyer, l'oxydation des éléments tels que le carbone, le silicium, le manga-

nèse, etc., est obtenue en partie par l'action directe de l'air insufflé, en partie par celle des scories riches en oxyde magnétique qui se forment ou qu'on ajoute exprès. Il se produit une scorie ferrugineuse agissant comme oxydant sur les éléments cités plus haut ; l'oxydation se porte d'abord sur le corps qui se présente en grand excès, c'est-à-dire sur le fer, parce que le fer est l'élément qui offre le plus de prise à l'air agissant sur chaque gouttelette de fonte en fusion ; il se produit du protoxyde et du peroxyde de fer ; s'il y a contact prolongé de la scorie avec la fonte, le peroxyde se transforme en protoxyde et l'oxygène, qui devient libre, agit sur les éléments étrangers de la fonte.

En prenant la précaution d'ajouter, dès la première fusion, des battitures ou des scories riches en oxyde de fer, on évite de brûler de la fonte pour produire une scorie affinante, et on gagne du temps. Le manganèse et le silicium sont des agents plus oxydables que le carbone, par conséquent ce dernier ne s'élimine pas tant qu'il reste une proportion importante de ces deux éléments dans le métal ; la décarburation n'est donc complète qu'après le départ de ces éléments et, quand l'opération de l'affinage se fait rapidement, il peut rester une petite quantité. Les analyses de fer et d'acier affiné indiquent souvent des teneurs, mais elles proviennent surtout des scories emprisonnées dans le métal.

Plus la fonte contiendra de manganèse et de silicium, plus il faudra de temps pour opérer l'affinage. Le phosphore ne peut être enlevé au fer que par une scorie très chargée en oxyde de fer.

La plus ou moins grande facilité d'affinage dépend également d'autres causes ; ainsi une température très élevée retarde l'affinage, car l'oxyde de carbone qui se produit est en plus grande quantité, le carbone s'unit à l'oxygène, et le charbon de bois brûle plus vite ; la scorie devient moins ferrugineuse, et comme elle se trouve enveloppée d'une atmosphère riche en oxyde de carbone, elle n'est pas dans des conditions convenables pour se saturer à nouveau d'oxyde de fer.

Si les tuyères sont plongeantes et rapprochées du fond, l'affinage est activé, et cela se comprend très bien, car l'air n'a qu'une mince couche de combustible à traverser et arrive facilement au contact de la scorie et du métal avec de l'oxygène libre.

En activant l'affinage, on gagne du temps et du combustible, mais le produit obtenu n'est pas bien homogène et le déchet est plus grand ; on doit donc régler l'opération d'après la nature de la fonte et du produit qu'on veut obtenir.

Si l'on veut avoir de l'acier, on doit affiner très doucement ; si le métal doit conserver un peu de carbone, il faut mener l'opération avec précaution pour ne pas dépasser le point convenable.

Le tableau de la page suivante donne les différentes phases du métal pendant l'affinage.

De ce tableau, on voit que c'est le fer qui s'oxyde le premier en proportion plus forte que les autres corps ; l'augmentation du silicium prouve que l'opération se faisait dans une atmosphère très chargée d'oxyde de carbone, avec vent chaud et scories peu basiques ; le manganèse disparaît le premier au bout d'une heure.

	Graphite	Carbone combiné	Carbone total	Silicium	Manganèse
Fonte chargée.	3.30	0.40	3.70	0.94	0.17
Métal au bout de 30 min.	2.56	1.25	3.81	1.10	0.09
— — 1 heure.	1.45	1.02	2.46	0.47	0.04
— — 1 h. 30.	»	0.54	0.54	0.26	»
— — 2 h. 30.	»	0.58	0.58	0.20	»
— — 2 h. 35.	»	0.20	0.20	0.16	»
Loupe avant cinglage, 2 h. 40.	»	0.17	0.17	0.06	»
Loupe cinglée.	»	0.16	0.16	0.04	»
Fer fini.	»	0.11	0.14	0.03	»

Toutes les méthodes d'affinage dans les bas foyers au charbon de bois peuvent se réduire à deux : la méthode *comtoise* et la méthode *wallonne*.

La première, après avoir mis la fonte à l'état de fusion, la soulève devant la tuyère pour l'exposer au vent des soufflets et la décarburer ; puis, on rassemble les parties affinées pour les réunir en une seule masse, ce qui s'appelle *avaler la loupe*.

Dans la méthode wallonne, la fonte se décarbure d'elle-même en fondant et tombant en gouttelettes devant la tuyère, sans avoir besoin de soulèvement. et l'avalage s'opère immédiatement après la fusion.

Nous venons de dire que la transformation de la fonte en fer s'effectue tandis qu'elle tombe goutte à goutte à travers le jet de vent lancé par la tuyère ; on soumet par conséquent le métal à cette action, jusqu'à ce que tous les éléments étrangers aient été suffisamment éliminés ; le nombre de fusions successives qu'il faut lui faire subir, dépend de sa nature initiale et du degré de pureté

qu'on veut obtenir pour le produit ; quelquefois, une seule fusion suffit ; le plus souvent, deux sont nécessaires, et il arrive qu'on soit obligé de faire passer une troisième et une quatrième fois, sous le vent des tuyères, les parties qui n'ont pas subi suffisamment son action oxydante. Pour toutes ces causes, la production d'un bas fourneau est très faible.

Comme on est obligé d'employer du charbon de bois comme combustible, ce mode d'affinage ne peut convenir qu'aux contrées où les forêts sont très abondantes.

Cependant, ce procédé d'affinage donne un fer d'une ductilité particulière et d'une tenacité plus grande que le fer obtenu par soudage, et surtout le fer puddlé ; il est surtout apprécié pour la fabrication des tôles fines, des fers destinés aux clous à cheval.

Le seul inconvénient de ce procédé, est que le phosphore ne s'en va pas aussi facilement qu'au four à puddler ; il faut donc, pour les bas foyers, rechercher des fontes très peu phosphoreuses.

Méthode comtoise. — Les dimensions d'un feu comtois (fig. 184 et 185), sont les suivantes :

	A une tuyère	A deux tuyères
Longueur intérieure. . .	0.730	0.700
Largeur intérieure . . .	0.510	0.510
Profondeur.	0.210	0.200
Avancement des tuyères.	0.067	0.080
Inclinaison.	7° 1/4	9°
OEil.	0.04 × 0.027	0.027 × 0.025

Lorsqu'on veut commencer l'affinage, on répand

sur le fond du creuset une couche de poussier de charbon que l'on tasse fortement ; on remplit le creuset de charbon en gros morceaux, et l'on fait

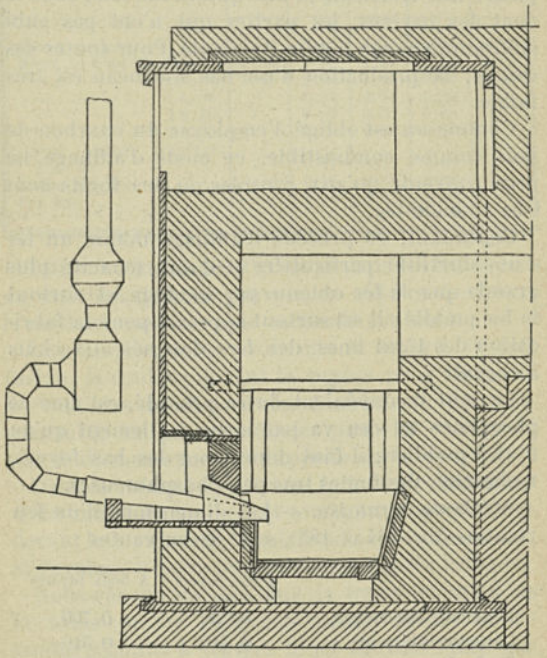


Fig. 184. Feu comtois (coupe verticale).

aller les machines soufflantes. Une fois le feu allumé, on place 60 à 80 kilogrammes de fonte, en ayant soin de ne pas écraser le combustible, et on

couvre de nouveaux charbons. On donne plus de force au vent si la fonte est blanche. Le fondeur arrose de temps en temps la partie supérieure du combustible, afin de concentrer la chaleur dans le creuset et de diminuer la consommation du charbon ; il veille à ce que la fonte ne devienne pas trop liquide, à ce que les scories qui se forment

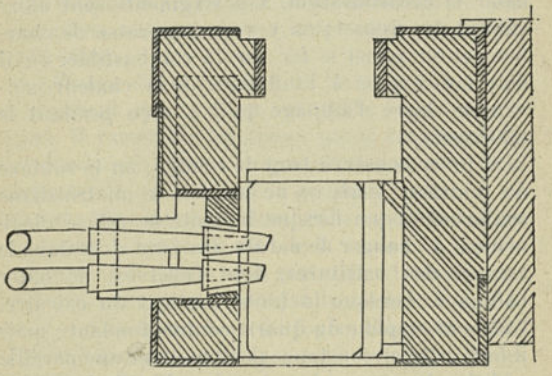


Fig. 185. Feu comtois (vue en plan).

ne s'accumulent pas, et il fait écouler ces dernières. Si la masse, avant de fondre, devient trop vite pâteuse, il augmente le vent ; si elle devient trop liquide ou reste trop longtemps dans cet état, il l'approche du contrevent. Il amène, par ce travail, la gueuse à l'état visqueux et la dispose à se louper. C'est le moment de la *fusion*.

On cherche les scories qui s'endurcissent (*sornes*),

et on les porte sur le bain, pour les faire ensuite écouler ; cette opération porte le nom de *désornage*.

Ces travaux préliminaires ayant eu lieu, on procède au *soulèvement* ; on porte la masse en diverses portions devant la tuyère ; on met le fer à nu, on détache les scories attachées au chio et au contrevent. En exposant au vent le métal coagulé et divisé en gros morceaux, l'affineur a pour but de hâter la décarburation. Les fragments sont alors enlevés du creuset ; on y verse une rasse de charbons et on remet le fer sur le combustible, où il doit être exposé à l'influence de la chaleur, suivant le degré d'affinage qu'il a reçu pendant le *soulèvement*.

Si le fer conserve trop de crudité, on le soulève de nouveau ; mais on ne procède à un troisième soulèvement que lorsque la fonte se refuse obstinément à changer de nature. On jette alors dans le creuset des battitures, dont l'effet est de hâter l'affinage. Lorsque la fonte contient du calcaire, l'affineur emploie du quartz comme fondant ; mais il faut cette circonstance pour motiver une pareille addition, sans quoi le quartz rendrait le fer aigre, augmenterait la masse des scories et entraînerait beaucoup de fer dans la vitrification.

Enfin, on procède à la dernière opération, qui s'appelle *avaler* la loupe ; elle consiste dans la réunion des divers morceaux, demi-affinés, de métal qu'on fait fondre de nouveau, et qu'on soulève encore une dernière fois au-dessus de la tuyère. Le charbon descend alors au-dessous et forme un lit sur lequel on assied la masse. On augmente alors, par tous les moyens possibles, la

température de la loupe, on la porte à un état voisin de la liquidité et on achève l'affinage.

La couleur de la flamme, avant le soulèvement, indique l'allure du fourneau. Lorsqu'elle est blanche, c'est signe que le travail va bien et que l'affinage est suffisamment avancé. Une flamme bleuâtre indique la nécessité du soulèvement et l'état de crudité du métal. Des scories très liquides qui s'attachent au ringard et se détachent au premier choc, annoncent que le fer n'est pas encore assez affiné.

L'affinage étant terminé, le fondeur ralentit le mouvement des soufflets et achève de faire la loupe. Il rassemble les divers petits fragments de fer disséminés dans le creuset, les réunit à la masse totale qu'il frappe à coups de pelle ou de crochet, jette des battitures, débarrasse la tuyère et détache la loupe du côté de la varme.

Il soulève la loupe avec son ringard, tandis que le second affineur et le goujat la saisissent avec le crochet et la tirent hors du foyer. Elle est ensuite frappée à grands coups de masse et entraînée vers le marteau. Le travail que nous venons de décrire est celui le plus généralement adopté en France, dans les grosses forges au charbon de bois, c'est-à-dire dans celles où la fonte est affinée en une seule opération. Dans la Franche-Comté, on fait la loupe et on la chauffe pour l'étirage dans le même foyer.

Dans quelques usines, cependant, on a modifié cette méthode : la fonte est d'abord affinée au charbon de bois, et les massiaux, qui proviennent de ce premier travail, sont réchauffés ensuite à la houille, dans des fourneaux de différentes formes ;

puis soumis à l'étirage, et, enfin, passés sous les laminoirs, d'où ils sortent fer marchand.

Dans la Haute-Marne, les feux ont peu de profondeur, attendu que la fonte y est d'un affinage facile ; tandis que dans la Franche-Comté, où les fontes résistent davantage à la décarburation, il faut donner au creuset une plus grande hauteur. Dans la Haute-Marne, on obtient en une heure, par un travail facile, une loupe de 50 kilogr. ; dans la Franche-Comté, ce n'est qu'après deux heures de travail pénible, qu'on peut obtenir une loupe de 60 kilogrammes.

Dans la méthode comtoise ordinaire, on dépense pour obtenir 100 kilogrammes de fer :

Fonte.	135 kilogr.
Charbon de bois	148 —
Bois.	1 stère 84.

Dans ce procédé modifié la consommation s'élève, pour la même quantité affinée, à :

Fonte.	131 kilogr.
Charbon.	130 —
Bois.	1 stère 26.
Houille	40 kilogr.

Dans les usines où l'on échauffe les fontes par la flamme perdue des affineries, dans un four spécial, on dépense seulement, pour 100 kilogr. de fer forgé :

Fonte.	130 kilogr.
Charbon.	116 —

Une opération d'affinage dans les feux comtois dure 130 à 135 minutes ; on y affine à la fois

88 kilogr. de fonte, et on retire 65 kilogr. de fer, ce qui donne une dépense de 1,350 kilogr. de fonte pour 1,000 kilogrammes de fer marchand.

Méthode wallonne. — Le feu qui sert à l'affinage wallon, dit aussi affinage bourguignon, a les dimensions suivantes :

	à une tuyère	à deux tuyères
Longueur intérieure	0,700	0,660
Largeur intérieure	0,460	0,450
Profondeur.	0,165	0,160
Avancement des tuyères. . .	0,067	0,067
Inclinaison.	2° 1/2	2° 1/2
Œil	0,033×0,030	0,025×0,022

L'affinage à la wallonne a été ainsi nommé, parce qu'il est originaire du pays des Wallons, de la Flandre française. Il a presque entièrement disparu du continent, où il ne donnait que des produits inférieurs; mais il est cependant encore en vigueur dans la Bourgogne, ainsi que dans une partie de la Suède, où le fer obtenu par ce moyen a conservé une grande réputation. Le caractère principal du procédé wallon consiste en ce que l'affinage de la fonte et le réchauffage du fer s'opèrent dans des foyers différents, et que ces foyers, revêtus intérieurement de plaques de fonte, reçoivent le vent d'une même soufflerie. En outre, l'affinage proprement dit s'opère sur des masses de fonte plus petites, à mesure qu'elles fondent et descendent devant la tuyère et sans avoir besoin de soulèvement.

Dans ces renardières, profondes de 0,37 à 0,38, la distance du chio à la rustine est 0,77 à 0,78 ; la face du chio a 0,60 de largeur et la rustine 0,64 ;

le fond est moins large à cause de l'inclinaison de la face du contrevent; la tuyère est à 0,27 à 0,28 de la rustine et à 0,36 du chio ; elle est inclinée de 10 à 12 degrés et fait saillie dans le foyer de 0,11 à 0,12, de manière que l'œil est à 0,25 au-dessus du four ; cet œil a 0,06 à 0,07 sur 0,035. La chaleur est conséquemment concentrée dans le voisinage de la rustine. Après avoir rempli le foyer de menu charbon du côté du chio, on introduit la gueuse de manière qu'une de ses extrémités seulement repose sur ce combustible, et avance de 0,10 à 0,12 dans le foyer. On recouvre le tout de charbon, on jette par dessus des scories riches et on donne le vent. La fonte ne tarde pas à fondre et à tomber en gouttelettes qui coulent à travers le combustible et se décarburent au vent de la tuyère. On avance la gueuse à mesure qu'elle fond et on se sert du ringard, soit pour écarter les charbons et donner plus de passage à l'air, soit pour soulever la fonte et aider à l'affinage.

Lorsqu'il y a une masse d'une trentaine de kilogrammes, on la soulève et on la remue dans tous les sens ; on l'approche de la tuyère, on achève de l'affiner et on l'enlève au-dessus des charbons, en détachant les morceaux de sorne qui y adhèrent ; puis, on la saisit avec des tenailles, on la porte sur une grosse plaque de fonte ou une vieille enclume, et là, on la cingle comme on fait ordinairement, pour la porter ensuite sous le marteau, afin de lui donner de la consistance et une forme prismatique. Cette loupe est reportée ensuite dans le feu d'affinerie où on la fait réchauffer au rouge blanc, pendant que le reste de la gueuse

primitive continue à s'affiner. On la retire ensuite pour la réduire en lopins sous le marteau.

Ces lopins sont, à leur tour, réchauffés dans un foyer de chaufferie de 21 à 22 centimètres de profondeur, dans lequel on brûle du menu charbon, et étirés ensuite en barres de fer. Un foyer wallon emploie quatre ouvriers dont la moitié seulement est occupée à la fois et fait des postes de trois heures. On fait six loupes par poste ; la chaufferie enploie six ouvriers dont les postes sont de huit heures. Une forge, composée de deux feux et d'un marteau, est desservie par dix ou douze ouvriers et produit de 6,000 à 7,000 kilogr. de fer en barres par semaine.

1,000 kilogr. de fer marchand consomment 1,380 kilogr. de fonte, savoir :

Pour l'affinage.	830	kilogr.
Pour le réchauffage.	550	—
Total.	1.380	—
Charbon	2.750	—

Dans l'Ille-et-Vilaine, la méthode wallonne a été modifiée par l'adoption d'un four à réverbère adopté pour le réchauffage à la houille, en remplacement du bas foyer au charbon de bois, consacré, suivant l'ancienne coutume, au chauffage au charbon de bois. Au Tronçais, l'affinage wallon est doublement perfectionné : on y fabrique les massiaux au charbon de bois par la méthode comtoise, et on les réchauffe à la houille dans un four à réverbère ; puis on les étire au laminoir.

Il y a ici, comme on le voit, tendance à abandonner le procédé wallon, et à le remplacer soit par

un procédé mixte, qui offre plus qu'une modification, soit par une méthode déterminée et connue.

Le procédé bourguignon ne diffère de celui dit wallon qu'en ce que, dans le premier, le réchauffage du fer affiné par les opérations précédentes s'opère dans le foyer même, au lieu d'être porté à une chaufferie spéciale au charbon de bois. Ce foyer reçoit le bout de barre de la maquette précédente, la tête de maquette de l'avant-dernière pièce et le massiau donné par la loupe de la dernière opération. On projette 3,16 à 3,95 mètres cubes d'air par minute, à la pression de 0,027 de mercure.

La durée de l'opération est de 40 minutes, savoir :

Chauffage de la gueuse.	5		
Réchauffage du fer de l'avant-dernière opération	7	32	
Réchauffage de la dernière opération . .	12		40'
Réchauffage des bouts de barres	8		
Avalage et formation de la loupe	5	8	
Jets des battitures.	3		

On dépense 32 kilogr. de fonte, et on obtient 23 kilogr. de fer forgé ; ce qui donne un produit de 840 kilogr. par vingt-quatre heures. Cela revient à une consommation, pour 1,000 kilogr. de fer, de :

Charbon	6^{m3} 34.
Fonte.	1.400 kgr.

Méthode mixte ou affinage champenois. — Ce procédé, employé surtout dans les forges de la Champagne, est originaire de la Côte-d'Or, et paraît aujourd'hui presque uniquement concentré dans la Haute-Marne.

Il consiste en deux opérations : l'affinage préalable au charbon de bois, dans des bas fourneaux semblables au feu de la Comté ; et l'achèvement de l'affinage dans des fours à réverbère à la houille. Il est fondé sur ce principe que, dans la décarburation de la fonte, il faut qu'au moins une fois le métal soit en contact avec le charbon de bois, si l'on veut avoir du fer de bonne qualité.

Dans l'affinage en bas foyer, la gueuse n'est pas exposée à fondre goutte à goutte, mais bien par écailles, et, pour cela, son extrémité est beaucoup plus rapprochée du chio, afin de retarder la décarburation ; c'est dans un but analogue que le fondeur détache de temps en temps, pendant la fusion, l'extrémité de la fonte à mesure qu'elle s'amincit, et qu'il expose longuement la matière ferreuse à l'action du soufflet ; il n'ajoute point de sorne, mais seulement 3 à 4 kilogrammes de battitures, au lieu de 8 à 10 qu'on emploie dans la méthode comtoise. La partie mécanique de l'opération diffère également, en ce qu'au cinglage la loupe ne forme qu'une seule pièce au *renard*, forgée en bout de barre et en tête de maquette. La première partie est étirée après avoir été réchauffée à la houille, puis la maquette.

L'adoption du procédé champenois dans les Vosges a produit une économie notable. Avant de l'adopter, on affinait la fonte uniquement au charbon de bois, par la méthode comtoise, et on dépensait :

Fonte.	150 kilogr.
Charbon	213 —

pour 100 kilogrammes de fer forgé. Aujourd'hui,

on ne dépense plus que 192 kilogrammes de charbon pour la même quantité, outre la houille.

Lorsqu'on emploie des fontes très grises, on augmente l'inclinaison du vent, qu'on porte jusqu'à 6 ou 7°; on augmente également la profondeur du feu de 0,02 à 0,03; on incline le fond du foyer vers le contrevent; on rapproche la tuyère de la haire et on la fait varmer davantage; on donne plus de vent à toutes les époques de l'affinage, et on projette, après la fusion, plus de scories riches dans le foyer. Pour les fontes blanches, on rend le vent horizontal, on diminue la profondeur du feu, l'inclinaison vers le contrevent, et l'on fait, en général, précisément le contraire de ce que nous venons de recommander pour l'affinage des fontes grises. L'affinage champenois se termine par un puddlage à la houille, d'après une méthode analogue à celle que nous décrirons en parlant de l'affinage anglais.

Affinage pour acier au bas foyer. — L'affinage pour acier au bas foyer est une opération plus délicate que celle qui a pour but de produire du fer; dans ce dernier cas, en effet, il suffit, pour réussir, de faire un nombre de soulèvements suffisant pour exposer successivement à l'oxydation toutes les parties non décarburées de la charge, jusqu'à ce que la teneur en carbone de la masse devienne très faible (0,1 0/0); pour obtenir de l'acier, au contraire, on doit arrêter l'affinage avant qu'il soit complet, de manière à laisser dans le métal la proportion de carbone correspondante à la qualité que l'on veut produire; il faut encore que cet acier soit homogène, et qu'aucune partie

de la charge ne soit, plus qu'une autre, exposée à l'action décarburante.

Pour fabriquer de l'acier au bas foyer, il faut choisir une fonte qui s'affine lentement, procéder par petites charges de 75 à 90 kilogrammes ; disposer d'un bain de scories capable de recouvrir le métal qui se réunit sur le fond ; le poids de la charge étant réduit, le foyer n'a que 0,60 × 0,55 et 0,30 de profondeur ; de cette façon, l'affinage est plus lent ; on chauffe le vent pour retarder la décarburation. La fonte qui convient le mieux à ce genre de fabrication, est la fonte blanche peu phosphoreuse, et d'une teneur moyenne en manganèse ; aussi, c'est surtout dans les contrées où se fabriquait cette sorte de fonte, que la production de l'acier par ce procédé s'est le plus développée.

Le manganèse de cette fonte a l'avantage de retarder la décarburation, de rendre la scorie plus fluide et de lui faciliter, par conséquent, la séparation d'avec le métal et de recouvrir la masse métallique en la préservant d'une oxydation trop rapide. On n'obtient pas le même résultat avec des fontes grises, parce que le silicium joue un rôle différent de celui du manganèse, dans une opération où il est indispensable que la scorie soit fortement basique pour conserver son caractère oxydant.

100 kilogr. de fonte rendent 90 kilogr. d'acier.

III. AFFINAGE A L'ANGLAISE

L'affinage à la houille est le complément nécessaire du fondage des hauts fourneaux au coke. Il

est aujourd'hui presque le seul employé en Angleterre; l'affinage à la houille, dit affinage à l'anglaise, est un procédé à double fusion, dans lequel il est avantageux de traiter la fonte grise ou truitée, parce que, dès le premier feu, on refroidit subitement le métal, en le coulant en plaques minces. L'opération s'achève dans un four à réverbère, où l'emploi du combustible brut présente plus de facilité et d'économie. Le feu où s'opère la première fusion, porte le nom de mazerie ou finerie. Là, comme dans la plupart des affineries, le métal et le combustible se trouvent en contact et pêle-mêle dans le creuset. Le fourneau où la seconde fusion a lieu, est un four à réverbère que les Anglais appellent puddling furnace, fourneau à puddler, du mot puddle, qui signifie brasser, remuer, patrouiller, par allusion au travail du puddleur.

Nous diviserons l'affinage anglais en deux parties distinctes, la *finerie* et la *puddlerie*.

De la finerie

Le feu ou creuset de finerie ressemble assez aux feux d'affinage déjà décrits; c'est une renardière peu élevée au-dessus du sol, composée comme eux, de quatre plaques de fonte formant un rectangle, et recouverte d'une cheminée en hotte qui reçoit la fumée.

Voici les détails de la construction d'un feu anglais (fig. 186, 187, 188 et 189). Après avoir assis solidement les fondations A en maçonnerie, on forme, avec quatre pilastres de fonte B de $2^{m}50$ de hauteur, un rectangle de $1^{m}30$ sur $1^{m}60$ à peu

près ; on assujettit fortement la base de ces pilastres. A quelques centimètres au-dessus du fond, on commence le creuset C. Le laiterol D est une plaque de fonte de 0,080 à 0,100 d'épaisseur en haut, et du double en bas. On forme les

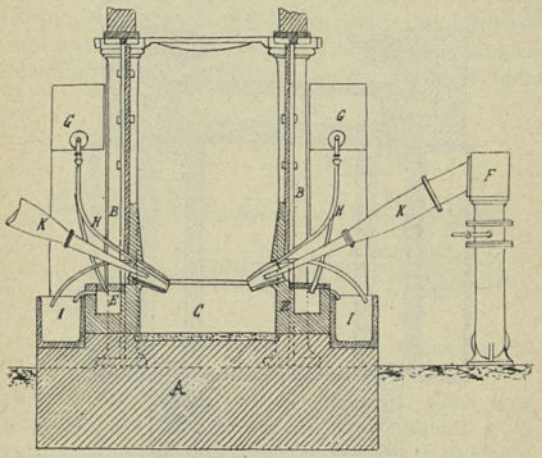


Fig. 186. Feu d'affinerie anglais (coupe verticale).

deux varmes E E, chacune avec une auge en fonte, ayant 0,10 à 0,15 d'épaisseur du côté du foyer ; elles sont destinées à recevoir l'eau froide qui est fournie par les réservoirs G aux tuyaux H, lesquels alimentent les tuyères à doubles parois ; après quoi cette eau est rejetée par les tuyaux H dans les tangues I, qui reçoivent également l'eau des varmes, au moyen de tuyaux recourbés en

siphons. Les porte-vent sont munis de soupapes à écrous, au moyen desquelles on régularise facilement le vent qui est porté aux tuyères par les tuyaux K. La combustion est alimentée par une machine soufflante quelconque qui, à l'aide d'un

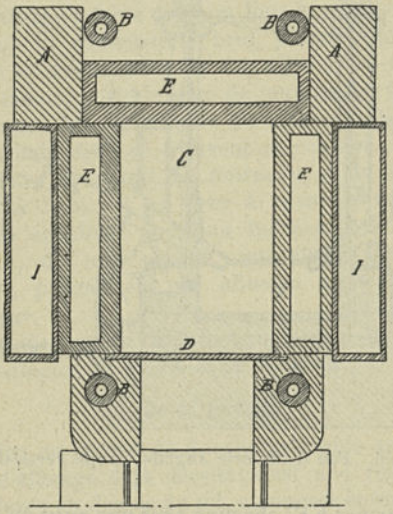


Fig. 187. Feu d'affinerie anglais (coupe horizontale).

certain nombre de tuyères, six ordinairement, produit un vent continu. La machine qui fait mouvoir les soufflets sert également à faire circuler l'eau dans les tuyères et dans les auges. Les porte-vent F sont construits de manière à ce qu'avec

une clef, on puisse arrêter instantanément le fluide élastique. L'air s'échappe alors par une soupape, ménagée sur les tuyaux de conduite, et, pour en favoriser la sortie, le fineur a soin de l'ouvrir de toute sa grandeur et de l'assujettir dans cette position. Le vent de ces soufflets doit être animé d'une plus grande vitesse que dans les affineries ordinaires ; la buse ressemble aux buses ordinaires d'affinerie ; les tuyères sont en fer battu, et leurs

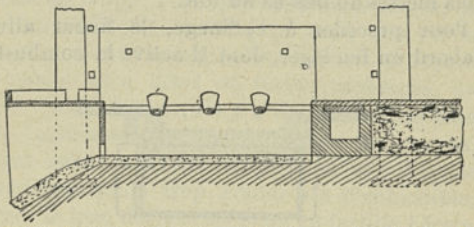


Fig. 188. Feu d'affinerie anglais (coupe longitudinale).

parois sont doubles, afin de recevoir, dans leur intérieur, de l'eau froide qu'elles rendent à la varme ; elles sont inclinées de 25 à 30° et plongent de 0m 05 dans le creuset.

Il est avantageux de se servir de plusieurs tuyères, en ce que la répartition du vent a lieu plus uniformément, et frappe le bain de fonte sur une plus grande surface. Une cheminée de 5 mètres environ surmonte le tout. Le trou de coulée est placé au laiterol D. Le lit dans lequel on coule le fine métal a 3m 60 de long, 0m 90 de large et 0m 05 à 0m 06 de haut ; il est formé de cinq à six pièces de fonte, réunies par des boulons et auxquelles on

donne une position bien horizontale. L'extrémité supérieure est à la hauteur du sol, qui, dans certaines usines, est un parquet de fonte. De légers tuyaux, partant du trop-plein de la rustine et de la varme, conduisent l'eau sous le lit de fonte et aident ainsi au refroidissement du métal.

La cheminée est élevée au-dessus des plaques de fonte supportées par les pilastres ; on lui donne la forme d'une hotte, et on la fait sortir de deux ou trois mètres au-dessus du toit.

Pour procéder à l'affinage, le fineur allume d'abord un feu léger, dont il active la combustion

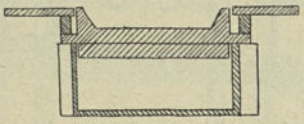


Fig. 189. Feu d'affinerie anglais (coupe transversale de la table de coulée).

en ouvrant le chio ; il ajoute un peu de coke, et place les morceaux de fonte en travers, de manière à ne pas écraser le combustible ; il remplit le reste de coke et donne peu à peu le vent. Il ne lui reste plus qu'à surveiller l'opération et à remplir le creuset de coke ou de charbon de bois, à mesure que la charge s'affaisse. Il recouvre le tout de scories pauvres, qui s'échappent par l'ouverture du contrevent, et jette de temps en temps quelques seaux d'eau sur le feu, afin de provoquer la séparation de la silice et se défendre, en même temps, de la chaleur.

L'orifice de la buse et le bord de la tuyère doivent être sans cesse libres et dégagés de la fonte qui s'y attache. L'affineur est averti de l'obstruction par la diminution de bruit du vent et par celle de la chaleur. Il est important qu'avant de commencer l'affinage, la plus grande partie de la fonte soit réduite à l'état de fusion et conservée ainsi à l'aide de scories dont on recouvre le bain. Ce n'est même qu'après l'entière fusion qu'on doit procurer la sortie du laitier. Tant que ce laitier reste sur la fonte liquide, l'affinage ne peut avoir lieu ; d'un autre côté, comme la séparation de la silice ne peut être opérée qu'à l'état de fusion prolongée, on conçoit l'importance qu'il y a de protéger le bain contre l'action de l'air, par le moyen des scories. Dès que cette fusion est complète, et afin d'éviter une consommation trop grande de combustible, on perce le trou des scories et on en facilite l'écoulement, soit en remuant la matière, soit en la réchauffant en remplissant le creuset de coke.

Le fineur a l'habitude de jeter sur le combustible enflammé quelques scories de l'affinage précédent; cependant, il est évident qu'un excès de scories ne peut que retarder le mazéage, en augmentant la consommation du combustible. On doit donc y apporter toute la discrétion possible, et n'employer ce moyen que dans le cas où il faut retarder la décarburation ; tant que le métal n'est pas suffisamment décarburé, le ringard du mazeur sort du feu quelquefois entouré de fonte, quelquefois enveloppé de scories fondues ; le bout de la barre pétille à peine, et l'on n'aperçoit qu'à de rares intervalles des étincelles qui annoncent la présence

du fer. Le travail du mazeur devient alors plus assidu. Il doit sonder de temps en temps son creuset, soulever la masse pâteuse et agiter celle liquide, de manière à exposer au vent le plus de surface possible ; on reconnaît alors le mazeur habile et actif. L'ouvrier qui laisse dormir le métal au fond du creuset et qui ne se sert que rarement du ringard, dans le but de s'assurer de la marche de l'opération, dépense beaucoup plus de combustible et met beaucoup plus de temps que celui qui brasse souvent la fonte et l'expose au vent des tuyères. Ce vent facilite la décarburation qui, au contraire, n'a lieu que très difficilement quand la surface seule est exposée à l'air. Il n'est pas rare de voir gagner une demi-heure par fournée à un bon ouvrier, sur un ouvrier médiocre ; l'économie du coke ou du charbon de bois est proportionnelle.

Pendant toute l'opération du mazéage, il est essentiel que les tuyères soient bien nettoyées et bien claires ; il n'y faut point laisser former de nez, dans la crainte que le vent ne soit projeté d'une manière irrégulière sur la surface, et, par un affinage d'une certaine partie seulement, de préférence aux autres, n'expose à former des *demi-loups*, qui s'attachent dans les angles du creuset, ou quelquefois sous les saillies des tuyères. A mesure que l'opération avance, les étincelles se multiplient au bout du ringard, chaque fois qu'on le retire du feu. Lorsque l'affinage est assez avancé, le bout de la barre, au moment où on la retire du creuset et pendant quelques secondes, est couronné d'un bouquet d'étincelles très brillantes et en très grand nombre.

La première fois que ce bouquet se manifeste, on doit tout préparer pour la coulée; faire nettoyer le lit d'abord avec la pelle, puis avec le balai. Si quelques parties se trouvaient humides, on y étendrait quelques morceaux de coke enflammé, ou mieux un peu de scories fraîchement sorties et encore incandescentes; cinq minutes ensuite, on sonde le métal, et, si les étincelles ont augmenté, on procède au percement du chio. Ce percement s'opère avec un ringard que l'on fait rougir la nuit, pour éclairer et faciliter la recherche du bouchage. Aussitôt qu'à travers la terre qui le recouvre, on est parvenu à découvrir le chio, on enfonce violemment et avec rapidité le ringard dans le bouchage et on l'agite en même temps pour rendre l'ouverture aussi grande que possible; le métal se précipite dans le lit et entraîne avec lui les scories qui l'accompagnaient.

Pour que l'opération soit complète, il faut que le *fine métal* soit extrêmement liquide; qu'il jette, en coulant, des milliers d'étincelles très brillantes, formant, pendant quelques instants, des gerbes de pluie d'artifice. Les scories qui sortent du creuset pendant la coulée surnagent la surface du métal liquide, et forment une croûte plus ou moins épaisse, dont on facilite la séparation d'avec le fer décarburé, par un refroidissement subit, à l'aide d'eau fraîche et de scories froides. Pour empêcher que le métal ne s'attache au lit de fonte dans lequel on le coule, on a soin d'en arroser le fond et les parois avec de la terre de mouleur, délayée fortement dans de l'eau, de manière à y former une croûte de 0m 001 à 0m 002. Il faut avoir soin de

remplir bien exactement les joints, afin que le métal ne s'y introduise point et n'oblige à l'en retirer avec force, au risque quelquefois de briser une partie du moule.

La fonte la meilleure pour le mazéage est celle dite truitée, en ce qu'elle contient assez de carbone pour entrer en complète fusion et pour que le bain soit ainsi maintenu pendant quelque temps, et parce qu'elle n'en contient pas assez pour que l'affinage soit long et dispendieux. La fonte blanche ne donnerait pas le temps d'opérer les réactions, et la fonte grise en demanderait trop. Dans le Nivernais, où l'on maze quelquefois des fontes noires très carburées, on est souvent obligé de couler deux fois la même gueuse, c'est-à-dire de la soumettre à deux mazéages successifs. A défaut de fonte truitée, un mélange bien entendu de fonte blanche et de fonte grise convient assez bien à l'affinage.

L'inclinaison des tuyères doit varier avec la qualité de la fonte employée : une fonte très carburée demande un vent plus ou moins horizontal; la fonte blanche, au contraire, un vent plus plongeant. La forme de la gueuse n'est pas non plus indifférente : lorsqu'elle présente des angles très aigus et saillants, la portion triangulaire se fond plus vite que le centre et se décarbure plus promptement : l'opération chimique n'est donc point uniforme, et le mélange du métal décarburé avec celui qui ne fait qu'entrer en fusion, ne produit qu'un affinage imparfait. Le puddleur, obligé d'achever l'affinage dans le four à réverbère, trouve ce métal trop liquide et met plus de temps à obte-

nir la loupe, parce qu'il est susceptible d'une fusion prolongée sur la sole. Cette semi-opération d'affinage a toujours lieu dans le commencement de la fusion, parce qu'il est presque impossible de se procurer des gueuses qui n'aient pas d'angles saillants : si, vers le milieu du finage, on arrêtait les soufflets et qu'on coulât par le chio, le métal obtenu présenterait une pâte irrégulièrement colorée, où il serait facile de distinguer le mélange de la fonte encore carburée et du métal affiné. Ce produit a, quelquefois, l'apparence de la fonte truitée.

Le feu de mazerie fond de 900 à 1,000 kilogrammes de fonte par opération ; le métal reste deux heures vingt minutes dans le creuset ; la coulée exige quarante-cinq à cinquante secondes ; la charge, huit à dix minutes ; l'opération totale dure deux heures trente minutes.

On dépense, pour 1,000 kilogr. de *fine métal* obtenu :

Coke.	8 hectolitres
Air atmosphérique . . .	3.160 mèt. cubes
Fonte	1.065 kilogr.

La journée de douze heures complètes donne cinq coulées ou 4,750 kilogr., soit 9,500 kilogr. par vingt-quatre heures.

Le fine métal est presque entièrement décarburé ; il est remarquable par son brillant moiré d'une blancheur métallique éclatante, à cristallisation en branches dont l'apparence a quelque analogie avec l'antimoine fondu et brisé. Celui qui est à grains n'est pas suffisamment affiné. La fragilité la plus grande caractérise le vrai fine métal.

La fonte au coke destinée au mazéage renferme, avant l'opération :

Carbone	3.00
Silicium	4.50

Pendant le mazéage, une partie du carbone est brûlé par le vent des tuyères et s'évapore à l'état de gaz ; une partie de silicium passe à l'état de silice et forme un silicate de protoxyde de fer, représenté par $Fe\,Si\,O^4$. Le fine métal ne contient plus, en moyenne, que 0,30 0/0 de silicium ; il s'est donc perdu dans l'opération 4,20 qui se sont emparés de 2,55 de fer. Il contient alors, avant d'être soumis au puddlage :

Carbone	1.27	pour cent
Silicium	0.30	de fonte mazée.

La fonte au charbon de bois renferme, en moyenne :

Carbone	2.80
Silicium	0.40

Quant au carbone, c'est à peu près ce que contient la fonte au coke ; quant au silicium, c'est dix fois moins.

Dans les usines où le mazéage se fait au charbon de bois, la fonte portée à la finerie y arrivant avec 0,40 de silicium, les cendres de charbon, chargées de 1 0/0 d'alcali, s'en emparent, font un verre transparent, analogue au verre à bouteilles, et rendent un fine métal qui ne renferme plus que 1 à 1,5 0/0 de carbone, dont on se défait facilement dans le four à puddler.

En France, on a supprimé l'opération du mazéage anglais, qui fait, comme nous venons de le voir, double emploi d'affinage avec le procédé du puddlage. Mais alors, comme le travail dans les fours à puddler, suivant la méthode anglaise, ne pourrait donner de fer pur, c'est vers ce dernier travail que se portent les modifications. A Pontcallec, dans le Morbihan, où le mazéage avait donné au fer la finesse du fer de la Comté, la suppression de cet affinage a fait retomber le produit de cette usine dans la classe des fers ordinaires de Bretagne. Ce n'est qu'à l'aide des fours bouillants qu'il a été possible de supprimer la mazerie dans le département de Saône-et-Loire, sans que la qualité du fer en fût altérée.

IV. DU PUDDLAGE OU AFFINAGE DANS LES FOURS A RÉVERBÈRE

Dans le courant du XVIIIe siècle, la consommation du fer prenait une grande extension et il fallait se préoccuper du manque possible de combustible végétal, à cause du déboisement continuel des contrées.

En 1873, Onions a cherché le moyen d'employer, pour l'affinage, comme on l'avait fait pour la production de la fonte, le combustible minéral au lieu du charbon de bois. Les feux d'affinerie ne se prêtaient guère à cette substitution, car on mettait ainsi le fer en contact avec une matière plus ou moins sulfureuse. Il a donc construit un four où le métal fondu ne pouvait se trouver en contact immédiat avec le combustible et, de cette façon, il a

pu employer la houille à l'état cru, et affiner une grande quantité de métal en peu de temps. Cette méthode d'affinage a pris le nom de *puddlage*, du mot anglais « *to puddle* » qui signifie *brasser*.

Le four à puddler ressemble assez aux fours à réverbère pour la refonte du fer cru. Le premier four à puddler avait sa sole faite avec des matières quartzeuses et il était impossible d'obtenir, en présence de cet excès de silice, une scorie chargée d'oxyde de fer ; celle qui se produisait était sans effet sur le carbone de la fonte qui ne pouvait être oxydé que par l'action du courant gazeux, la surface du métal offerte aux gaz était trop restreinte et plus petite que dans le feu d'affinerie où il passait goutte à goutte devant le jet du vent insufflé. Il fallait donc un temps trop long pour transformer ainsi la fonte en fer et on avait un déchet considérable.

Pour remédier à ces inconvénients et rendre le procédé pratique, Baldmin Rogers imagina, en 1818, un four à réverbère dont la sole était faite en plaques de fonte disposées de façon que celle qui avoisine la cheminée soit plus élevée de trois centimètres que les autres, et légèrement inclinée vers l'extrémité sud du fourneau, appelée rampant ; cette attention est nécessaire pour l'écoulement du laitier.

En 1840, Joseph Hall revêtit la sole de matières riches en oxydes de fer et on pouvait alors travailler avec une scorie oxydante et activer l'opération.

Pour remplacer le travail manuel de brassage du métal fondu avec la scorie qui doit produire l'affinage, on a imaginé des fours à sole rotative.

Les premiers qui eurent du succès sont le four Danks et le four Pernot. Leur emploi cependant ne s'est jamais répandu à cause de leur prix très élevé et des réparations plus fréquentes. Le garnissage doit résister non seulement à l'action chimique de la charge, mais aussi aux ébranlements inséparables d'un mouvement de rotation, il est donc plus difficile à le maintenir. Pour diminuer les frais, on a cherché à faire des fours à fortes charges, mais, tandis que la charge d'un four fixe se divise en plusieurs petites loupes passant au cinglage, les loupes des fours rotatifs sont uniques par charge sans que les ouvriers puissent intervenir dans leur préparation ; il fallait par conséquent installer des appareils spéciaux de cinglage et de laminage de ces grosses loupes. De plus, le fer ainsi obtenu contenait une plus forte proportion de scories que celui des petites loupes.

Fours à puddler. — On connaît deux sortes de fours à puddler, les fours *simples* et les fours *doubles* ; les premiers n'ont qu'une seule porte de travail placée sur un côté, les seconds ont deux portes en face l'une de l'autre, ce qui permet de travailler des charges plus fortes. Les fours simples consomment plus de combustible par tonne de fer brut et produisent moins que les doubles, mais ils se prêtent mieux au travail des petites charges et à la fabrication d'un produit plus homogène et exempt de scories.

Les fours à puddler simples ou doubles sont chauffés soit par un combustible brûlé sur une grille, soit par du gaz. Dans les fours simples on emploie généralement la grille, le chauffage au gaz

étant réservé pour les cas de très hautes températures à obtenir. En outre, on sait qu'il faut, pour puddler, avoir la possibilité de faire varier brusquement le degré de chaleur du four, chose plus facile avec le chauffage direct qu'avec le chauffage au gaz ; enfin, quand on emploie le chauffage direct, on utilise la chaleur perdue des fours au chauffage des générateurs de la vapeur nécessaire aux moteurs des appareils de cinglage et d'étirage.

Pour les fours doubles on emploie généralement le chauffage au gaz, mais il faut prendre la précaution de laver les gaz si on veut que les régénérateurs puissent travailler longtemps sans avoir besoin d'être nettoyés.

Description des fours à puddler. — Les figures 190, 191, 192 représentent un four à puddler simple très semblable à tous les fours à réverbère. Le chauffage est direct et les charges varient de 220 à 275 kilogrammes.

Plusieurs ouvertures sont laissées sur les côtés d'un four : un *stockhole* ou porte de foyer pour le combustible placé à une extrémité, un *charging door* ou porte de charge pour le métal. Cette dernière est mobile et se soulève à l'aide d'un levier suspendu. On donne à l'ouverture de charge 0m40 sur chaque côté, tandis que le stockhole ne doit avoir que 0m20 à 0m21 sur chaque face. On ménage dans la porte de charge une ouverture de 0m14 à 0m16 de côté, pour introduire les ringards, etc., sans être obligé d'ouvrir et conséquemment d'abaisser la température intérieure. Lorsque le travail cesse, cette ouverture est fermée par une plaque de fonte

qui ne laisse qu'un trou de 0m25 de diamètre pour observer la marche du fourneau.

La grille est à gradins ou à barreaux suivant la nature du combustible dont on dispose ; la largeur des barreaux est de 0m04 et ils sont disposés de telle façon qu'il ne reste de passage entre eux que le 1/6 de la surface de la grille ; ce qui se réduit encore de près de moitié lorsque la houille est sur le foyer.

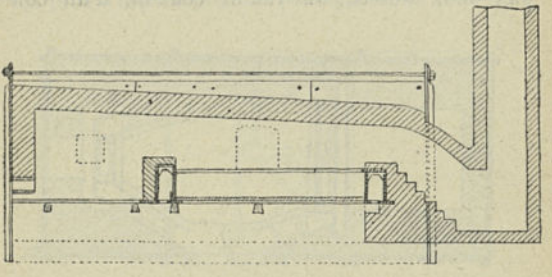


Fig. 190. Four à puddler à simple sole et à circulation d'air (coupe longitudinale).

Il est très important de répartir uniformément le charbon sur la grille afin de perdre le moins d'effet possible. C'est ce dont les ouvriers ne s'occupent guère ordinairement, et c'est cependant ce qui doit exciter l'attention du chef ; le combustible mal disposé ne brûle qu'en partie, produit de l'oxyde de carbone en masse et laisse sur les autres parties de la grille un passage à l'air froid, qui s'y précipite en abondance.

La flamme arrive dans le four en passant par dessus le grand autel, elle en sort en passant au-

dessus du petit autel et se rend à la cheminée, soit immédiatement, soit après avoir servi au chauffage des chaudières à vapeur.

Le laboratoire a une forme spéciale appropriée à son travail pour une bonne utilisation de la chaleur et pour pouvoir atteindre facilement toutes les parties du bassin avec un ringard. La longueur d'un four étant déterminée, ainsi que sa largeur aux deux autels, on réunit ceux-ci, d'un côté

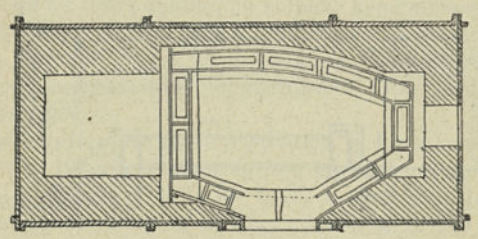


Fig. 191. Four à puddler à simple sole et à circulation d'air (coupe horizontale).

par une ligne courbe, et de l'autre par deux lignes droites partant de la porte de travail et aboutissant à ces mêmes autels. La porte est placée plus près du grand autel que du petit; de cette façon, l'angle formé par l'axe du four et la ligne qui va de la porte au petit autel est plus ouvert et la flamme trouve moins de résistance pour suivre la direction que lui imprime cette paroi.

Les Anglais se servent d'une trémie placée à la partie supérieure du foyer, et projettent, à l'aide de deux cylindres cannelés, la houille sur la grille,

qui reçoit un mouvement circulaire ; cet appareil donne une économie de combustible assez importante.

La sole du four est formée de plaques en fonte reposent sur des supports en fonte ou des piliers en maçonnerie les laissant suffisamment dégagées pour qu'elles puissent être rafraîchies par l'air.

La voûte est surélevée du côté de la porte pour qu'il y ait plus d'espace pour le passage de la flamme.

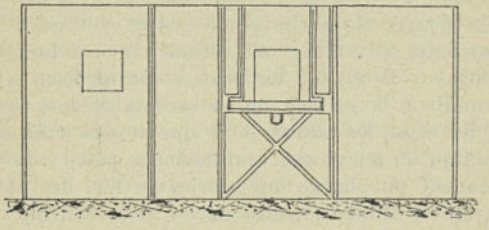


Fig. 192. Four à puddler à simple sole et à circulation d'air (élévation de la face de travail).

Les parois latérales sont souvent refroidies par une circulation d'eau ; dans ces conditions elles sont formées d'une ou de deux caisses en fonte. L'eau arrive d'un réservoir supérieur, pénètre dans les caisses par un tuyau de 25^{mm} de diamètre à une extrémité de cette enveloppe, près la porte, parcourt toute la ceinture et ressort par l'autre extrémité où on la reçoit dans une bâche, et il faut que le puddleur puisse, à chaque instant, s'assurer que l'alimentation se fait normalement ; un four consomme de 10 à 15 litres par minute ; l'eau arrive

généralement du côté du grand autel, qui a plus besoin d'être refroidi. L'emploi de ce refroidissement augmente la consommation du combustible, mais cette dépense est toujours inférieure à celle que nécessiteraient les réparations fréquentes d'un four non rafraîchi.

La garniture de la sole et des parois est faite avec des scories très riches provenant des fours à puddler ou à rechauffer auxquelles on peut substituer des minerais purs ; pour faire ce garnissage on enduit les parois du four et la sole avec de l'argile délayée et on charge de scories concassées de grosseurs diverses ; on allume le combustible placé sur la grille ; les scories commencent à se ramollir à la surface, on les casse avec une barre de fer et on les remue pour que toutes subissent l'action du feu et que tout devienne pâteux. En ce moment on charge des scories de fer, des battitures ou de la tournure de fer pour fournir, en somme, de l'oxyde de fer qui rendra la scorie plus pâteuse encore ; on les étend uniformément sur la sole, on ferme la porte et on chauffe fortement pendant plusieurs heures. Quand on voit que la scorie est assez fondue on ouvre la porte, l'air froid qui rentre glace la surface de la scorie ; il s'y forme une croûte qu'on brise et dont on relève les morceaux contre le courant d'eau afin de donner au bassin la forme d'une cuvette, et on laisse le four se refroidir. Si la garniture est bien réussie, le four ne doit présenter ni fissures ni saillies sur lesquelles le fer pourrait s'accrocher et la surface de la sole doit être très lisse. L'épaisseur de la garniture va jusqu'à 120^{mm} au milieu et 150^{mm} sur les bords.

Après chaque opération, on passe l'inspection du four et on répare ce qui est dégradé ; après quelques mois de marche, on laisse refroidir le four et on le reconstruit.

La face intérieure de la porte en fonte est garnie de briques réfractaires ; dans quelques fours anglais, on établit la porte de travail à circulation d'eau, elle dure davantage et préserve mieux les ouvriers contre le rayonnement. La porte repose sur une pièce en fonte, dite banc, sur laquelle s'appuient également tous les outils, *ringards*, *palettes*, *crochets* et *râbles* ; comme cette pièce est sujette à usure rapide, on la recouvre, dans sa partie correspondant au trou de travail, d'une plaque en acier qui résiste mieux.

Le carneau qui conduit hors du laboratoire les produits de la combustion, commence au petit autel et est tantôt ascendant, tantôt incliné vers le bas ; l'une et l'autre de ces dispositions sont bonnes ; dans la première, les scories reviennent toujours d'elles-mêmes dans le bassin ; dans la seconde, elles se rassemblent au point le plus bas du carneau, d'où on les sort par une ouverture spéciale.

Les fours à simple grille ne sont pas sans inconvénients : le tirage des cheminées est irrégulier et incertain. L'ouverture périodique et indispensable des portes de travail, jette continuellement de l'air froid dans le laboratoire et sur la grille de charge. D'ailleurs, toute la houille jetée sur la grille du four à puddler n'est pas consumée par le feu et ne donne pas une combustion complète : sur 100 kilogrammes de combustible, de qualité moyenne, livrés au puddleur,

67 kilogr. sont consommés utilement;
16 — de coke et de houille tombent dans le cendrier;
17 — forment du mâchefer et des cendres.

Ces inconvénients et quelques autres ont fait chercher un moyen de mieux employer le combustible, et pour cela on a eu recours à bien des expédients; dans les usines où l'on emploie de la houille maigre à longue flamme, on laisse s'accumuler les 17 0/0 de mâchefer sur la grille, de manière à former en quelque sorte une seconde grille sur la première, laquelle, tout en laissant passer l'air pour la combustion, empêche la houille même de descendre aussi abondamment dans le cendrier et de s'y perdre. Dans d'autres établissements, on ferme le cendrier par une porte en tôle, et on lance dans cette espèce de caisse, au moyen d'un ventilateur, un courant d'air forcé à la pression de 0,01 à 0,015 de mercure. L'emploi de ce vent forcé s'oppose également à l'entrée de l'air par la porte et rend plus aisé le réglage de la température.

Le combustible doit avoir 0,05 d'épaisseur sur la grille; dans un four à puddler où le feu est bien dirigé, on brûle 320 kilogrammes de houille par heure. Si nous supposons que la houille employée contienne 80 0/0 de carbone pur, il sera facile de reconnaître la quantité d'air nécessaire pour convertir ces 80 en acide carbonique; mais il faudra prendre garde qu'une certaine portion de l'air passe sur le combustible sans se brûler, et que, dans certaines circonstances, il se forme de l'oxyde de carbone, ainsi que nous l'avons déjà dit : il sera, en conséquence, convenable d'em-

ployer le double de l'air nécessaire pour la combustion théorique. C'est ce que l'expérience enseigne et ce qui résulte des analyses que l'on a faites de l'air brûlé dans les fourneaux ordinaires. Dans les fours à réverbère, il ne faut guère tenir compte que d'un tiers d'air non brûlé sur la grille ; mais la stockhole et la porte de charge en introduisent abondamment, et le résultat est le même dans la plupart des fourneaux.

La température du laboratoire d'un four à puddler peut être considérée comme celle nécessaire à la fusion de la fonte ; or, la fonte, en se liquéfiant, fond 2 kilogr. de glace dans le calorimètre, et pour fondre 1 kilogr. de glace, il faut que 75 kilogr. d'eau s'abaissent d'un degré. Si donc nous prenons cette donnée pour unité de mesure, nous aurons pour le nombre de calories de la fonte $2 \times 75 = 150$. La chaleur spécifique du fer cru comparée à celle de l'eau $= 0,150$, donc la température développée pour la fusion de la fonte est $\frac{150}{0,13} = 1153^{\circ}$ C.

L'air entré dans le four à puddler recevra donc une dilatation due à la température qu'il acquiert dans le foyer, et la capacité du laboratoire devra être telle qu'il puisse recevoir le volume dilaté et le garder pendant le temps nécessaire pour que la chaleur produise son maximum d'effet. L'élévation de la voûte, la longueur et la largeur de la sole doivent être calculées d'après ce principe ; une voûte trop élevée concentrerait mal le calorique ; un laboratoire trop court serait trop rapidement traversé par l'air brûlé et la flamme. Il faut que

la section du rampant soit calculée d'après la dilatation de l'air et sa vitesse : étroite, elle nuit au tirage et empêche les gaz produits par la combustion de s'échapper avec la vitesse nécessaire ; large, elle rend la dilatation imparfaite et met obstacle à la production d'une haute température.

Entre ces deux extrêmes, il existe un terme moyen qui dépend de la nature du combustible employé, de l'air nécessaire pour la combustion, de la température intérieure, et enfin de la surface libre de la grille du foyer.

Le bois, par exemple, demande une moindre masse d'air, une grille moins large et un rampant plus étroit. Les dimensions de la grille suivent la même règle, car là où il s'introduit moins d'air en un temps donné, la dilatation est moins forte, l'espace occupé plus étroit. La chaleur n'a pas une égale intensité dans toutes les parties du fourneau ; elle est d'autant plus grande qu'elle est plus voisine du foyer. A partir du pont, la température va en diminuant jusqu'à la cheminée, où se trouve le minimum d'effet. Si donc on veut mettre à profit tout le calorique développé dans la combustion, il convient de rapprocher le métal de la chauffe ; si, au contraire, on veut maintenir à un degré voisin de la fusion avant de donner un coup de feu, il convient de l'éloigner plus ou moins du pont.

Des perfectionnements importants ont été, à différentes fois, apportés dans la construction des fours à puddler et dans l'emploi de la flamme perdue par la cheminée. M. Duffaud a le premier construit un fourneau double ou *puddling furnaces*, dans lequel la flamme, après avoir chauffé le fer

sur la sole du premier four, passe dans une seconde enceinte placée au delà du laboratoire, dans laquelle, pendant qu'on puddle une charge, la suivante se chauffe, c'est ce qu'on appelle un *four préparatoire*. La flamme, de là, se rend à la chaudière à vapeur. Tel est le four représenté par les figures 193 et 194. Lorsqu'une charge est sortie du four, l'ouvrier fait passer, par dessus le petit autel,

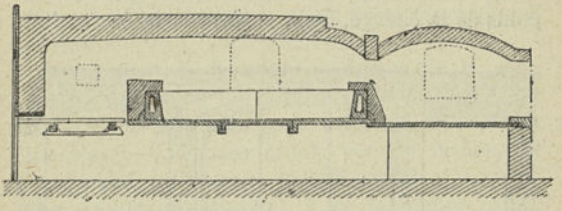


Fig. 193. Four à puddler avec sole préparatoire (coupe en long).

la fonte ainsi préparée et la fait tomber dans le bassin de puddlage.

Avec ce four double, on réduit de 15 0/0 la consommation de combustible et augmente, dans la même proportion, la production du four ; malgré cette économie, on ne l'a pas adopté partout, car il donne un déchet plus considérable. Pendant le séjour de la fonte sur la sole du four préparatoire, elle s'oxyde fortement, puis au commencement du puddlage, ce fer oxydé passe dans la scorie ; cette oxydation est plus grande pour les fontes grises que pour les fontes blanches.

Dimensions des fours simples. — La grille a

une surface variable suivant la nature du combustible et le poids de la charge ; elle est comprise entre 0,28 et 0,32^{m2} par 100 kilogr. de charge. La largeur varie entre 0,90 et 0,95.

Le plan supérieur de l'autel est de 0,35 à 0,50 au-dessus de la grille, la grande hauteur étant employée quand on a des fontes d'un affinage facile.

Les dimensions du laboratoire dépendent du poids de la charge, de la nature de la fonte et du

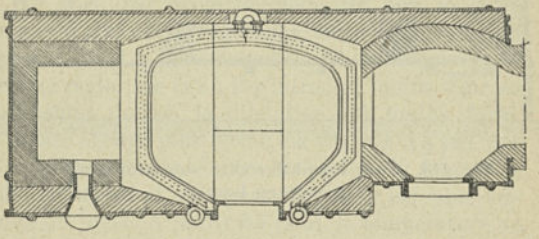


Fig. 194. Four à puddler avec sole préparatoire (coupe horizontale).

combustible ; sur une grande surface, le bain est mieux exposé pour absorber la chaleur, mais une longueur très grande rend le travail très difficile. Pour une charge de 200 à 250 kilogrammes, la longueur entre les deux autels ne dépasse pas 1^{m} 80 avec les combustibles à longue flamme et descend avec les autres à 1^{m} 50. La largeur entre le banc de la porte et le courant d'eau opposé est de 1^{m} 30 à 1^{m} 40 ; ce qui donne comme rapport entre la largeur et la longueur, 0,80 environ.

On donne au grand autel une longueur égale à la largeur de la grille, soit 0,90 à 0,95 ; le petit autel n'a que 0,40 à 0,60. La profondeur du bassin, c'est-à-dire la hauteur du tour de feu au-dessus de la sole, est de 0,20 à 0,35. La porte de travail a son banc à la même hauteur que le tour de feu, le petit autel aussi.

On surélève le grand autel de 0,15 au-dessus du courant d'eau, pour empêcher, pendant le bouillonnement, la scorie et le métal de se déverser sur la grille.

La hauteur de la voûte au-dessus de la sole, vers le milieu du four, varie entre 0,60 et 0,70. Les fours de puddlage pour acier ont une voûte plus élevée, 0,75 pour avoir, vers le milieu du grand autel, un passage de 0,25 à 0,35.

La section du rampant, à sa naissance, est le huitième de la surface totale de la grille, sa largeur étant égale à la longneur du petit autel, c'est-à-dire 0,40 à 0,60.

Fours doubles. — Quand la production doit être plus grande, 400 à 600 kilogrammes, on ne peut pas employer les fours de puddlage que nous venons de décrire, car nous avons dit qu'une longueur exagérée rendait le travail pénible, sinon impossible ; de plus, à l'extrémité opposée à la grille, la température est insuffisante ; il faut par conséquent arriver à donner au four une plus grande largeur, mais alors on ne peut pas brasser comme il faut le métal qu'on travaille d'une seule porte. On est donc arrivé à donner aux fours deux portes placées l'une en face de l'autre. Le petit autel est, dans ce cas, placé dans l'axe du four.

Les figures 195 et 196 représentent un four double construit dans ces conditions.

Les fours doubles sont chauffés au gaz, et on emploie généralement la disposition Bicheroux, ayant un gazogène très large, et le four Boétius.

Les fours doubles sont généralement accompagnés d'un four préparatoire, et dans ceux du dernier modèle, on ne se borne pas à y chauffer la

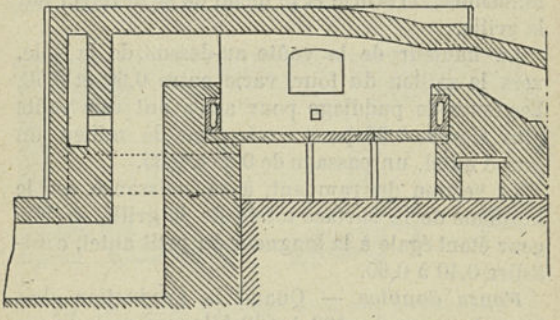


Fig. 195. Four à puddler double (coupe verticale).

fonte, mais on la fond complètement ; la fusion présente l'avantage d'éviter l'oxydation à laquelle est exposée la fonte en morceaux lorsqu'elle reste trop longtemps exposée à la température incandescente. Le four préparatoire est, dans ce cas, semblable au four de puddlage, et le travail s'opère alternativement sur les deux soles ; on évite ainsi la perte de temps pour le transport de la fonte de l'une à l'autre. Pour arriver à ce résultat, il faut que le puddlage se fasse dans le four qui reçoit le

premier l'action de la flamme et qui est le plus fortement chauffé. Pour arriver donc à alterner le chauffage, on emploie le dispositif Siemens.

M. Springer a construit, dans plusieurs usines de Styrie, des fours fonctionnant d'après ces données, et les figures 197, 198 et 199 représentent un de ces fours. On y voit les deux bassins de

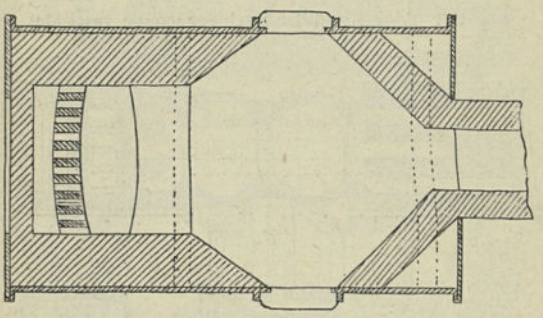


Fig. 196. Four à puddler double (coupe horizontale).

puddlage séparés l'un de l'autre par un autel à courant d'eau, qui divise le four en deux ; les générateurs sont placés au-dessus du sol, afin d'être plus abordables et plus faciles à nettoyer ; la valve à gaz est à côté du four, celle de l'air est placée sous la sole, de façon à déterminer un appel d'air qui rafraîchira celle-ci, en même temps qu'un réchauffage de l'air avant son entrée dans les générateurs. Les chambres à air ont des dimensions moindres que les autres, car le chauffage préalable sous la sole n'a pas une importance aussi

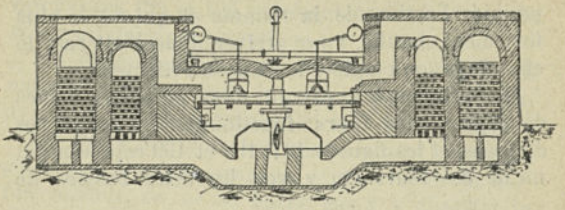


Fig. 197. Four à puddler Springer (coupe verticale).

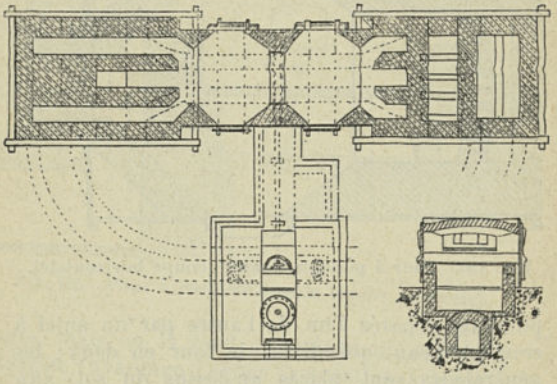


Fig. 198 et 199. Four à puddler Springer.

Fig. 198. Coupe horizontale.
Fig. 199. Coupe en travers.

considérable qu'on le croyait. Dans les derniers fours construits sur ce modèle, on fait toutes les chambres de mêmes dimensions.

Four à puddler, système Pietzka. — Dans le

four Pietzka, les deux soles ont les mêmes dimensions et forme que dans celui de Springer, avec la

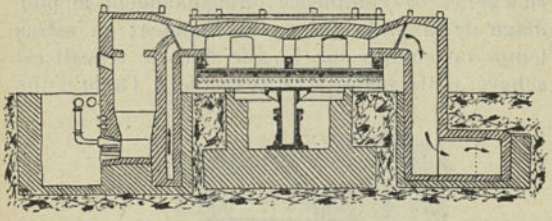


Fig. 200. Four Pietzka (coupe verticale).

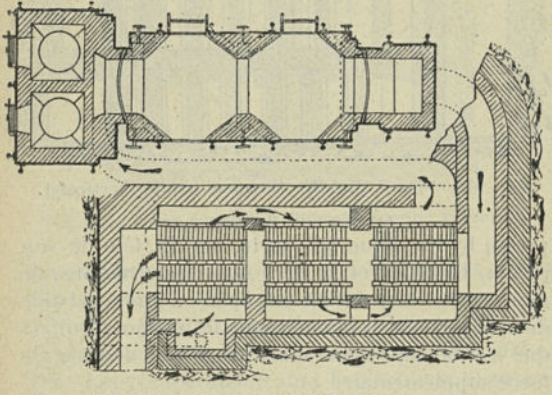


Fig. 201. Four Pietzka (plan et coupe).

différence qu'au lieu de renverser la direction du courant des flammes, c'est la position des bassins

de puddlage, par rapport au foyer, qu'on change alternativement en même temps que les voûtes. Ce changement, on l'effectue dès qu'on a fini une charge, et on commence immédiatement le puddlage de la fonte qui a été chauffée; en même temps on charge sur la sole dont le travail est achevé. Cette manœuvre s'effectue à l'aide d'une

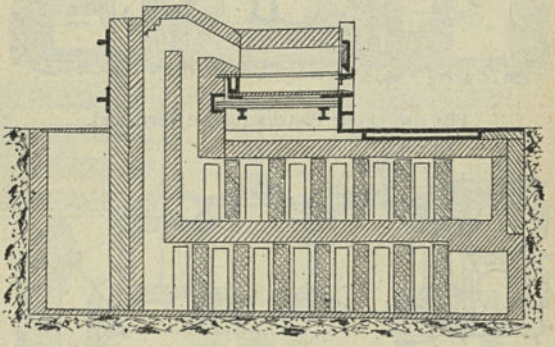


Fig. 202. Four à puddler Siemens (coupe verticale).

presse hydraulique qui porte, sur la tête de son piston, les soles et tout ce qui les surmonte; le mouvement de rotation est opéré à bras à l'aide de crochets. Ce système donne les mêmes résultats que le four Springer, mais exige une dépense de force supplémentaire.

Le chauffage est obtenu par deux gazogènes de petites dimensions accolés, alimentés par de l'air soufflé. Le gaz débouche dans le laboratoire en un point où il rencontre l'air qui a été chauffé par son

passage dans un récupérateur de forme particulière. Les produits de la combustion passent ensuite dans une galerie où se trouvent trois groupes de tuyaux cylindriques traversés par l'air destiné à la combustion. Les figures 200 et 201

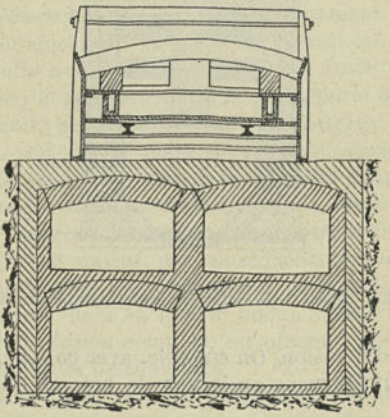


Fig. 204. Four à puddler Siemens (coupe verticale).

représentent ce four, qui est très intéressant par sa disposition.

Four à puddler Siemens. — Depuis 1870, on emploie beaucoup le four Siemens (fig. 202, 203 et 204). Les récupérateurs sont horizontaux et superposés, les empilages sont remplacés par des piles de briques disposées en quinconce. Les entrées de gaz et d'air sont situées toutes à une même extrémité du four et la flamme, quittant les carneaux de

droite, sort par la gauche et inversement, la porte fait face à ces carneaux ; on obtient ainsi une bonne utilisation de la flamme avec une sole de

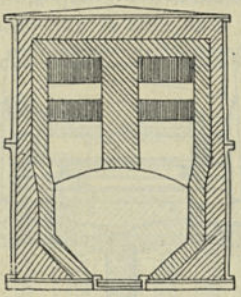


Fig. 204. Four à puddler Siemens (coupe en travers).

faible dimension. On emploie, avec ce four, le gaz de haut fourneau ou le gaz de bois ou de houille lavé.

V. DU TRAVAIL DE PUDDLAGE

On allume d'abord le foyer et, quand le laboratoire est à la chaleur convenable, le puddleur s'occupe de mettre une charge de fonte ; il se sert pour cela d'une longue pelle en fer à manche de bois, sur laquelle il place les morceaux de fonte cassée ; pendant qu'il en dispose trois ou quatre sur sa pelle, il a soin de tenir la porte de charge fermée pour éviter des pertes de chaleur ; lorsqu'il veut les introduire dans le four, son aide ouvre la

porte et la referme aussitôt que les morceaux sont placés. Quand toute la charge est introduite, le puddleur, à l'aide d'un ringard, dispose les pièces de métal en créneaux, de manière à présenter le plus de surface possible à la chaleur ; l'aide jette de la houille dans le foyer, et, avec quelques pelletées de houille, il bouche entièrement l'ouverture du stockhole. La porte de travail est aussitôt assujettie avec des coins de fer et lutée avec de l'argile ; le puddleur place la petite porte de fonte, et attend, pour commencer son ouvrage, que la fusion soit sur le point de s'opérer. Après vingt-cinq ou trente minutes dans les fours simples, on retourne la fonte avec une palette en faisant passer par-dessus ceux des morceaux qui se trouvaient sous les autres et étaient, par conséquent, moins chauffés, on détache ceux qui adhèrent à la sole et on prend soin de n'en laisser aucun couvert par la scorie ; la fusion complète est obtenue après quarante minutes de chauffage.

La fonte grise exige une température plus élevée que la fonte blanche pour entrer en fusion, et la fusion en serait retardée si on faisait les additions de scories au moment de charger. Dans ce cas, il vaut mieux attendre que la fonte soit en fusion pour introduire la scorie, parce que la combustion du silicium contenu dans cette sorte de fonte tend à élever la température du bain au delà de ce qu'il est nécessaire pour le puddlage et il faudrait abaisser la température pour que le travail se fasse dans de bonnes conditions.

Si la fonte est blanche, elle fond vite et on charge la scorie en même temps que la fonte, ou

même un peu avant. Le poids des scories à ajouter varie avec la nature du produit qu'on veut obtenir. Quand on puddle de la fonte blanche peu phosphoreuse, la scorie qui reste dans le four, à la fin de chaque charge, suffit à la charge suivante ; on la renouvelle seulement après un certain nombre de charges en faisant écouler celle qui a servi et la remplaçant par une nouvelle, peu phosphoreuse, venant des fours à souder ou des laminoirs.

Avec des fontes phosphoreuses, il faut, après chaque charge, faire couler la scorie et la remplacer par des battitures, des crasses de four à souder, car la scorie absorbe le phosphore. L'addition de scorie, à chaque charge, atteint 25 et même 50 0/0 du poids de la fonte chargée.

Après la période de fusion commence celle du *brassage*. L'ouvrier, à l'aide du *crochet* ou *rabot*, barre de fer de 2m 50 à 3 mètres recourbée à angle droit à une de ses extrémités, qu'il introduit par le trou de travail, donne un mouvement de va-et-vient, c'est-à-dire il brasse le métal ; il continue ce travail jusqu'à ce que le crochet devienne trop chaud et ploie. Pendant qu'il le retire, un autre ouvrier introduit un crochet froid et continue pour que le brassage ne soit pas interrompu. Cette opération a pour but de mettre en contact intime le métal avec la scorie riche en oxyde de fer ; le bain monte peu à peu et commence à bouillonner. Pendant cette phase de l'opération, la température ne doit pas être trop élevée pour que la décarburation se fasse régulièrement ; aussi doit-on employer un moyen quelconque pour abaisser la température.

Au fur et à mesure que le métal se décarbure, sa

température monte et bientôt on aperçoit des grains de fer sur la surface du bain ; le dégagement de gaz devient de plus en plus fort, le métal plus pâteux et le bain monte jusqu'au seuil de la porte. C'est le moment du maximum de bouillonnement et pour l'atteindre il faut brasser pendant quinze minutes pour les fontes blanches faciles à puddler, et vingt à trente minutes pour les fontes d'affinage difficile.

Après quelques instants, l'aspect du métal et de la scorie change. La surface du bain présente des grains métalliques en grande quantité ; le crochet éprouve une résistance plus grande qui résulte de la présence du fer à une température relativement inférieure à celle nécessaire pour que le métal reste liquide ; il faut alors augmenter la température pour empêcher le bain de se prendre en masse, le dégagement des gaz diminue d'intensité, le niveau du bain de scories baisse, laissant à découvert des masses de grains de fer.

Quand la période du bouillonnement est terminée, si on veut produire de l'acier, on noie dans la masse liquide tous les grains de fer qui sortent du bain de scories, afin de les préserver de l'oxydation par les gaz ; si on veut du fer, on retourne toute la masse ferreuse pour en compléter l'affinage et on fait agir les gaz et les scories sur toutes les parties également, afin de décarburer le métal partout au même degré, cette opération s'appelle *les tours de fer*. Pour cette opération, on emploie un ringard assez large terminé en biseau et un crochet de brassage ; on déplace les amas de fer, on les agglomère, on les retourne, on divise ceux

qui sont trop gros et dont l'intérieur pourrait échapper à un affinage complet, on détache les parties qui adhèrent aux parois ou restent dans les angles du four et on les ramène au milieu du bassin. On partage ensuite la masse en un certain nombre de parties qu'on pousse du côté du petit autel. On en prépare ainsi un certain nombre dont le poids ne dépasse pas 40 kilogr. chaque. On reprend ensuite chacune de ces boules, on les presse avec la palette et le crochet pour en extraire la scorie et souder les particules métalliques, et on leur donne une forme sphérique en les roulant sur la sole où elles ramassent tous les petits grains de fer qui s'y trouvent. La loupe, ainsi formée, est ensuite rapprochée du grand autel où elle s'échauffe et acquiert une température élevée qui facilite l'expulsion des scories. Quand toutes les loupes sont ainsi préparées, on ferme le portillon et on chauffe dur pendant un instant, après quoi on procède au cinglage. On amène alors devant la porte un chariot à deux roues, on saisit la loupe avec des tenailles (*écrevisses*), on la place sur le chariot et on l'amène rapidement à l'appareil de cinglage, marteau, presse, moulin, etc., dont nous donnons plus loin un spécimen. L'ouvrier cingleur la travaille et lui donne la forme d'un prisme rectangulaire à angles abattus. Les premiers coups du marteau doivent être donnés avec précaution pour éviter que la loupe se brise ; la scorie coule abondamment, les parties métalliques se soudent et on augmente graduellement la force des coups ou la pression.

L'ouvrier cingleur se rend nettement compte de

la qualité du fer obtenu par la manière dont la loupe supporte le cinglage ; ainsi, un fer doux se soude sans difficulté ; si on voit des jets de flamme bleue, on peut dire qu'il y existe encore des parties de métal carburé ; il faut alors cingler avec précaution et, s'il y a beaucoup de parties pareilles,

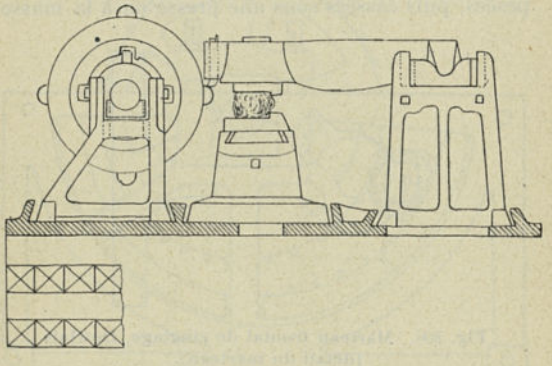


Fig. 205. Marteau frontal de cinglage, Dowlais (élévation).

la loupe se réduit en morceaux et il ne reste plus qu'à ramener les morceaux au four.

Les loupes d'une même charge sont cinglées sans interruption ; près de l'appareil de cinglage, se trouve le train de fer brut ou laminoir destiné à transformer les *lopins* ou *massiaux* en barres de fer brut ; chaque lopin sortant du cingleur est présenté immédiatement au laminoir.

Les barres sortant du laminoir ont une section rectangulaire, on les traîne immédiatement sur

une plaque à dresser, on les frappe à coups de maillet, puis on les laisse refroidir. Avant d'être livrées au commerce, elles doivent subir une ou plusieurs opérations nouvelles, car leur surface est rugueuse et couverte de gerçures et d'écailles, elles contiennent en outre beaucoup de scories.

Les barres sorties du laminoir et refroidies sont pesées, puis cassées sous une presse ou à la masse

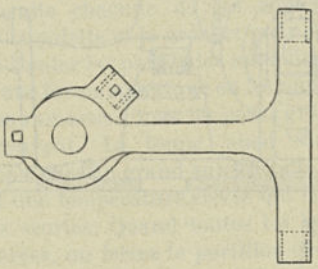


Fig. 206. Marteau frontal de cinglage, Dowlais (détail du marteau).

pour que, suivant l'aspect de la cassure, on puisse les classer par qualité.

Lorsque le four est vide, on l'examine ; on répare la garniture, on nettoie la grille, puis on procède à une nouvelle charge.

On a essayé d'introduire dans les fours la fonte à l'état liquide, soit en la prenant directement au haut fourneau, soit en la faisant refondre dans des appareils spéciaux ; mais il a été reconnu qu'il n'y avait pas de bénéfice à opérer ainsi, parce que, pendant la fusion dans le bassin même du four, il

se produit des réactions chimiques qui préparent et avancent l'affinage de la fonte.

Autrefois, l'opération du puddlage durait deux heures et demie, on traitait pendant ce temps 200 kilogr. de fonte et on obtenait 175 kilogr. de

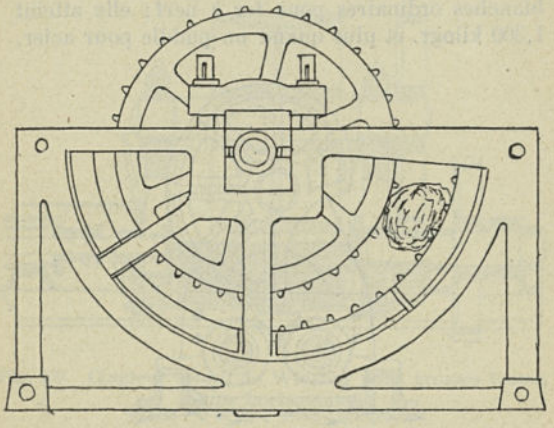


Fig. 207. Cingleur rotatif à axe horizontal.

fer puddlé. Aujourd'hui, avec de la fonte ordinaire, sans chauffage préalable, le puddlage dure de une heure et demie à deux heures, et l'on obtient de 12 à 16 charges par vingt-quatre heures. Si la fonte est chauffée préalablement on gagne du temps, et avec les fours Siemens ou Pietzka, on obtient 22 à 24 charges dans le même temps. On fabriquera donc 3,000 kilogr. de fer brut environ, dans un four simple, 5,000 kilogr. dans un four double

sans chauffage préparatoire, et 10,000 kilogr. avec un four double à deux soles.

Le déchet est d'environ 12 0/0 du poids de la fonte ; la consommation de houille, par tonne de fer brut, dans les fours simples à chauffage direct est de 800 à 900 kilogr., quand on traite des fontes blanches ordinaires pour fer à nerf ; elle atteint 1,300 kilogr. et plus quand on puddle pour acier.

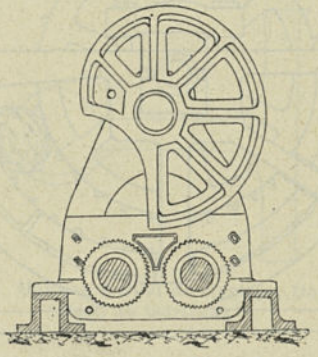


Fig. 208. Cingleur rotatif de Winslow pour grosses loupes (coupe verticale).

Dans les fours doubles ordinaires chauffés au gaz de houille, la consommation descend à 650 ou 700 kilogr. et même à 500 dans les fours doubles à deux soles.

Nous avons dit que les barres de fer obtenues sont imprégnées d'une grande quantité de scories ; on les soumet à un ou plusieurs réchauffages suivis de un ou plusieurs étirages.

Les scories des fours de puddlage, très chargées en phosphore, sont recherchées par les hauts fourneaux qui fabriquent des fontes Thomas ; celles qui le sont moins restent dans le four et aident à l'affinage jusqu'à ce qu'elles aient absorbé assez de

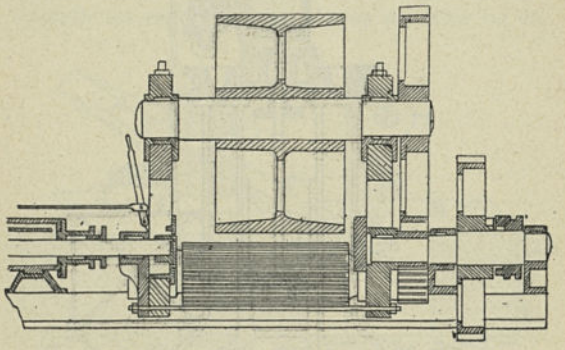


Fig. 209. Cingleur rotatif de Winslow pour grosses loupes (coupe horizontale).

phosphore pour être employées dans les hauts fourneaux.

Les figures 205, 206, 207, 208, 209, 210 donnent un exemple de marteau cingleur frontal système Dowlais, d'un cingleur rotatif à axe horizontal, d'un cingleur de Winslow pour grosses loupes, et enfin d'un marteau-pilon de puddlage. Ces figures sont assez explicites pour ne pas insister davantage.

Un appareil bien usité aujourd'hui est celui représenté par la figure 211 et qu'on connaît sous

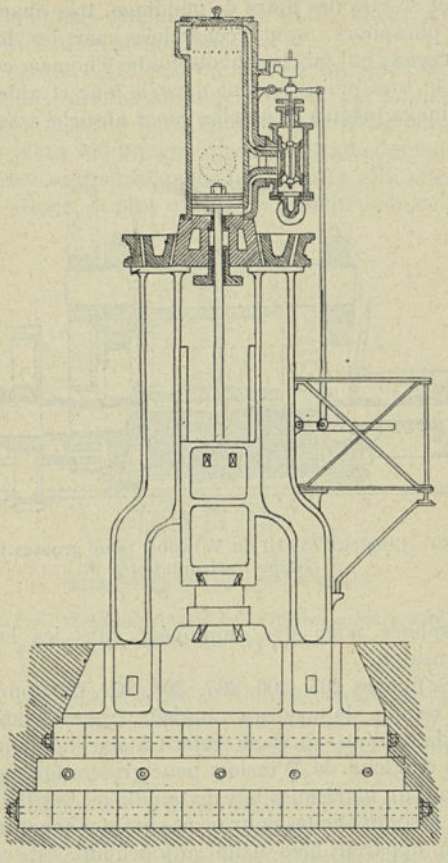


Fig. 210. Marteau-pilon de puddlage.

le nom de *crocodile* ou d'*alligator*, à cause de son aspect. C'est un large levier en fonte A B, oscillant sur un axe horizontal ; le bras le plus long est relié à son extrémité à une bielle C ou à une excentrique qui lui transmet un mouvement alternatif ; l'autre bras A forme une sorte de mâchoire sur laquelle est rapportée une plaque en acier ou en

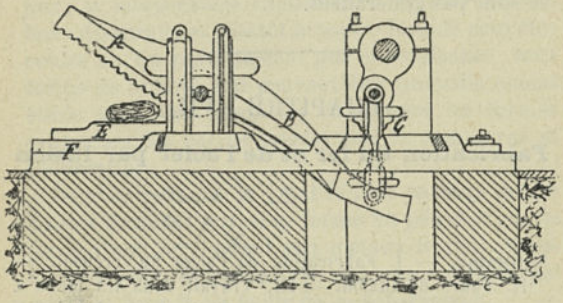


Fig. 211. Presse à cingler, dite crocodile ou alligator

fonte trempée garnie de dents inclinées vers l'arrière pour mieux maintenir la loupe. La mâchoire inférieure E est une pièce fixe facile à remplacer et joue le rôle d'enclume ; elle présente à son extrémité une table plus basse F, ce qui permet de donner un coup de presse par bout sur le massiau et de le refouler. Un appareil de ce genre donne de 50 à 100 coups par minute et exige une force de 10 à 12 chevaux, il suffit à cingler les loupes d'un atelier de 12 à 16 fours à puddler.

—

VI. PUDDLAGE MÉCANIQUE

On a essayé de remplacer le travail manuel de brassage par celui d'appareils mécaniques. Un grand nombre de dispositions ont été imaginées pour cette opération, mais l'installation devient alors coûteuse. Pour cette raison ces appareils ne se sont pas généralisés.

CHAPITRE XVII

Fabrication du fer et de l'acier par fusion

SOMMAIRE. — I. Fabrication de l'acier au creuset. — II. Fours de fusion. — III. Travail dans les fours à creusets. — IV. Creusets. — V. Fusion à air chaud et à haute pression.

Si l'on fait un mélange de fonte et de minerai de fer ou de scorie riche et si l'on fond ce mélange en élevant assez la température pour que le carbone, le silicium et le manganèse de la fonte réduisent l'oxyde à l'état métallique, on peut obtenir du fer ou de l'acier à l'état de fusion. C'est là un procédé qui sera décrit plus loin comme une variante du procédé de fabrication au creuset et au four Martin.

De même l'air atmosphérique à haute pression, projeté directement sur la fonte liquide, à la tem-

pérature qu'elle possède dans le creuset d'un haut fourneau, élève la chaleur du métal carburé à des limites qu'il est impossible d'atteindre par un autre moyen. Le carbone, qui n'est que dissous ou mélangé, se brûle d'abord, et la fonte passe à l'état d'acier naturel, où elle ne reste que quelques minutes ; puis le carbone allié est attaqué à son tour par l'oxygène, et alors le métal devient de l'acier pur ; la température continuant à s'élever, le carbone disparaît, et bientôt la masse liquide peut être coulée en fer parfaitement pur et malléable, sous forme de lingots, qui peuvent être immédiatement étirés sous des laminoirs et prendre les formes ordinaires des barres exigées par le commerce et l'industrie.

Dans ce passage de l'état le plus carburé du fer à celui de métal pur, il se forme un peu d'oxyde de fer qui sert de fondant aux métaux terreux également oxydés, et forme avec eux une scorie surnageant et dont il est facile de se débarrasser.

I. FABRICATION DE L'ACIER AU CREUSET

Les premiers aciers fondus étaient obtenus au creuset. En 1740, Benjamin Huntsman, de Sheffield, imagina de fabriquer l'acier fondu ; il fit ses premiers essais, mais il rencontra de telles difficultés qu'il renonça à poursuivre ses travaux ; après sa mort, on trouva dans le sol de son usine une énorme quantité d'acier rebuté. Aujourd'hui encore on trouve à Sheffield plusieurs usines fabriquant de l'acier au creuset et dont la qualité est très appréciée, même en Allemagne, pour la fabrication

des outils de travail ; mais on ne coulait au commencement que de petits lingots du poids de la charge contenue dans le creuset. L'usine Krupp, d'Essen, a commencée la première à fabriquer des gros lingots, en réunissant dans le même moule le contenu de plusieurs creusets. Jusqu'au milieu du XIXe siècle, ce fut la seule méthode pour obtenir de l'acier à l'état de fusion, mais depuis on a découvert, comme nous le verrons plus loin, des procédés économiques qui fournissent des produits faisant une concurrence redoutable à l'acier au creuset. Ce dernier conserve pourtant sa place dans la sidérurgie et ne disparaîtra probablement jamais. On place dans le creuset de la fonte et du fer en proportions telles que le produit contienne la dose de carbone voulue, ou encore de la fonte et du minerai combinés de façon que le carbone, le silicium et le manganèse contenus dans la fonte assurent la réduction de l'oxyde de fer ; le produit qu'on obtient est de l'acier fondu et ce procédé est connu sous le nom de *procédé Uchatius*.

On peut également obtenir de l'acier fondu en plaçant dans le creuset de l'acier brut quelconque ; on détermine la fusion du métal et on laisse au repos la matière fondue, puis on coule. Le métal enfermé dans un creuset ne peut pas être porté à une très haute température ; de plus, si la température est très élevée, les creusets se détériorent plus vite ; on fabrique donc de l'acier au creuset quand on veut une qualité de métal ne renfermant pas plus de 0,4 0/0 de carbone.

La fusion du fer proprement dit, c'est-à-dire sans carbone, n'a été pratiquée dans le creuset que tout

récemment pour la production du fer *Milis*, qui est un métal très rapprochant de l'acier fondu au creuset.

L'acier qu'on charge dans les creusets y apporte toujours un peu d'oxyde magnétique, de la rouille. Lorsque la fusion se produit, les oxydes préexistants et ceux qui proviennent de l'action de l'air forment une scorie très ferrugineuse réagissant sur le carbone du métal avec production d'oxyde de carbone ; cette scorie est peu fluide, à cause de l'excès d'oxyde de fer et, quand elle est refroidie, elle est toute boursouflée par le dégagement de l'oxyde de carbone. Si le creuset est fait avec de l'argile pure, sans graphite, la teneur en carbone du métal diminue dans une forte proportion pendant la fusion. Si, au contraire, le creuset est fait avec une pâte graphiteuse, il n'y a presque pas de diminution dans la teneur en carbone du métal.

Si le métal fondu reste longtemps dans le creuset, la scorie devient moins ferrugineuse, car le carbone réduit l'oxyde de fer et l'usure des parois du creuset fournit de la silice, qui augmente la proportion de scorie. Si la pâte du creuset contient du *soufre*, le métal peut en absorber.

Les différents aciers obtenus par les divers procédés, et notamment ceux qui proviennent d'un procédé de fusion, ne peuvent pas être comparés, au point de vue de la qualité, avec ceux fondus au creuset. C'est justement cette supériorité de qualité qui fait que cette industrie existe encore et existera toujours. Cette supériorité tient à plusieurs causes :

En faisant une fusion sur la sole d'un four à

réverbère, par le procédé Martin, ou dans une cornue Bessemer à garniture acide ou basique, le métal reste, pendant toute la durée de l'opération, exposé au contact de l'air ou des gaz oxydants ; il se produit donc sans cesse du protoxyde de fer qui se dissout dans le bain métallique, même lorsque celui-ci est fortement carburé ; cet oxyde ne disparaîtrait entièrement, par l'action du carbone en présence, que si l'on pouvait maintenir longtemps le métal liquide sans qu'il absorbât de nouvel oxygène.

Pour activer la décomposition de cet oxyde de fer, on ajoute du silicium, du manganèse ou de l'aluminium ; mais ces métaux forment d'autres oxydes qui ne s'éliminent pas de suite, et comme il faut couler le métal presque aussitôt après ces additions, pour éviter une nouvelle absorption d'oxygène, on obtient alors un métal exempt d'oxyde de fer, mais renfermant d'autres oxydes qui altèrent par conséquent sa qualité.

Dans les creusets, au contraire, le métal reste peu de temps en contact avec les gaz oxydants et quand même l'acier dissoudrait au début de l'opération un peu d'oxyde de fer, celui-ci se décomposerait presque aussitôt dans la suite de l'opération sans nouvelle addition ; le métal ne subit donc pas de variation dans la qualité.

Quand le métal a séjourné un certain temps dans le creuset, il ne se forme plus de l'oxyde de carbone et, comme le contact entre le métal et les gaz est limité, il y a moins d'hydrogène absorbé ; or, le travail d'étirage ultérieur ne remédie qu'incomplètement aux défauts résultant du dégagement

des gaz pendant la coulée ; la qualité du métal gagne, par conséquent, en rendant ce dégagement moins abondant.

Pour cette raison, on a recours à l'artifice suivant qui consiste à couler dans des creusets le produit d'une opération Martin ou Bessemer aussitôt que les additions de ferro-manganèse ont été faites, et à laisser le métal en repos dans un four pendant un temps assez long. Les oxydes qui résultent des additions ont le temps de s'éliminer, le gaz a le temps de se dégager et l'acier gagne en qualité.

La composition chimique de l'acier au creuset varie suivant les usages auxquels on le destine. Pour les pièces qui doivent être soumises à un étirage et être transformées en outils, en pièces de canon, etc., on cherche à avoir un acier aussi pur que possible, et exempt des éléments nuisibles, soufre, cuivre, phosphore, etc.

Les aciers de toute première qualité renferment :

Phosphore.	0.01 à 0.03 0/0
Soufre.	0.03 0/0
Cuivre.	0.20 0/0
Manganèse.	0.2 à 0.3 0/0

La présence de ce dernier augmente la malléabilité à chaud ; si le métal fondu n'en contient pas suffisamment, on ajoute du minerai de manganèse pour y suppléer, mais s'il y en a en excès, on obtient un métal fragile.

La teneur en silicium ne doit pas dépasser 0.2 0/0 ; sa présence a pour effet de donner des lingots très sains ; au delà de cette teneur, le silicium est nuisible.

Quand on veut des aciers très durs, on ajoute du chrome ou du tungstène, ou même ces deux métaux ensemble.

La teneur en carbone des aciers au creuset peut varier de 1,46 à 2,29 0/0, suivant la dureté qu'on veut obtenir.

L'acier destiné aux moulages est moins carburé et contient plus de matières étrangères. Pour éviter les soufflures, on force la dose du manganèse et du silicium ; on arrive ainsi à avoir jusqu'à 1 0/0 de manganèse et 0,7 0/0 de silicium.

Voici la composition chimique de quelques aciers fondus au creuset, et coulés sous forme de pièces moulées, et ayant donné de bons résultats :

Désignation des moulages	C	Si	Mn
Cloches.	1.30	0.35	0.80
Anneaux de broyeurs à cylindre.	1.10	0.30	0.70
Cylindres de presses hydrauliques, pointes de cœur, roues pleines	0.80	0.25	0.60
Petites pièces de machines. . .	0.50	0.20	0.50

II. FOURS DE FUSION

Nous allons maintenant passer en revue les différents fours servant à la fusion de l'acier. Le premier four employé jusqu'en 1870 pour fondre l'acier au creuset, est ce qu'on appelle un four à vent, on y brûle du coke. Les figures 212 et 213 représentent un de ces fours ; c'est une cuve peu

profonde A, munie à la partie inférieure d'une grille B, sur laquelle reposent les creusets, au milieu du combustible, et recouverte par un couvercle en fonte. Un rampant C, branché à la partie supérieure du four, conduit les gaz de la combus-

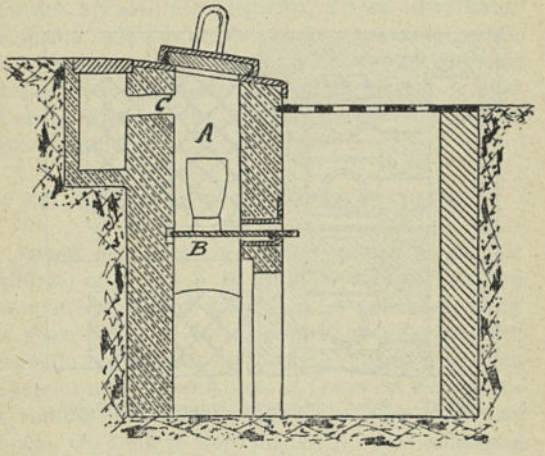


Fig. 212. Four à creusets (coupe verticale).

tion dans une cheminée d'évacuation ou dans un carneau collecteur. On pose le creuset sur la grille par l'intermédiaire d'un support en terre réfractaire, dit *fromage*. On établit la grille au niveau du sol, pour faciliter la manœuvre du four, ce qui force de faire le cendrier en contre-bas, et d'établir ce cendrier assez spacieux pour ne pas gêner l'introduction de l'air sous la grille.

Les fours peuvent contenir, suivant leurs dimensions, un ou plusieurs creusets, mais on ne dépasse jamais le nombre de quatre à cinq, à cause de la difficulté qu'on éprouve pour avoir un chauffage uniforme. La profondeur de la cuve est, en général, double de la hauteur du creuset, et on laisse entre

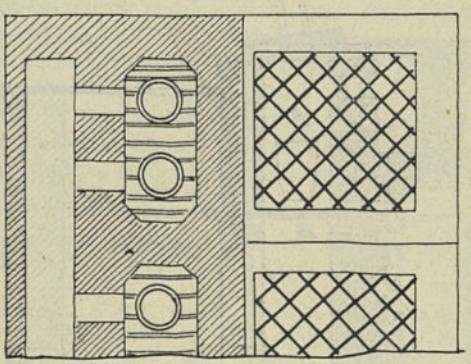


Fig. 213. Four à creusets (coupe horizontale).

celui-ci et la paroi du four un vide de 0,06. La figure représente un four à deux creusets. Pour que le tirage se fasse convenablement sous la grille, on doit ménager, à côté du four, une fosse assez large, par laquelle arrive l'air destiné à la combustion, et qui sert également pour le nettoyage de la grille. Cette fosse est recouverte d'une grille en fonte pour éviter les accidents.

Si on dispose plusieurs creusets dans une même cuve, on fait également plusieurs rampants, afin

de rendre la combustion plus homogène ; la section de ces rampants est comprise entre 1/4 et 1/8 de la section de la grille.

La cheminée doit avoir assez de hauteur, et sa section être comprise entre 1/3 et 1/6 de celle du four, pour que le tirage soit suffisant ; on règle ce dernier à l'aide d'un registre ; s'il est insuffisant, la fusion se fait lentement et la consommation du combustible est plus élevée ; on a recours alors au tirage forcé, c'est-à-dire qu'on fait arriver le vent d'un ventilateur sous la grille, après avoir pris la précaution de fermer le cendrier.

III. TRAVAIL DANS LES FOURS A CREUSETS

Avant de mettre le vent et quand le feu est allumé, on prend à la main le creuset dont on veut se servir pour voir s'il n'est pas cassé, et on le place au-dessus du feu pour le chauffer graduellement, afin d'éviter qu'il éclate ; quand il est bien chaud, on le descend dans le feu et on commence à souffler doucement jusqu'à l'amener au rouge blanc. On l'enlève alors du feu et on le redescend en le plaçant sur le fromage en terre réfractaire ; on le remplit de matières à fondre, on l'entoure de combustible en petits morceaux jusqu'au gueulard et on le recouvre d'un couvercle en fonte ou en terre cuite. De temps en temps, on dégage le passage du vent à l'aide d'un tisonnier ; il faut surveiller le creuset et voir s'il ne se fendille pas. Si une fente se produit vers le bord, on peut le réparer en soudant les deux lèvres de la fente avec du verre pilé. Si la cassure se produit vers le fond,

ce dont on s'aperçoit par la fumée et par le métal qui coule dans la fosse à cendres, on enlève rapidement, et avec précaution, le creuset pour voir s'il y a moyen de le réparer ou, dans le cas contraire, s'il faut le vider et le remplacer. Certains fondeurs procèdent d'une autre façon pour la mise en feu d'un four à creusets, mais ce procédé ne convient qu'aux fours à air. Il consiste à mettre sur la grille le fromage en terre réfractaire et quelques charbons ardents tout autour; on descend ensuite le creuset sur son support et on l'entoure de combustible concassé jusqu'au gueulard. Le feu monte ainsi tout doucement et permet au creuset de s'échauffer graduellement sans crainte de cassure.

Quand la fusion commence à se produire, on ne met plus de combustible, et quand celui qui se consume est descendu assez bas pour ne pas gêner l'enlèvement du creuset, le fondeur saisit ce dernier à l'aide de la happe. Si le creuset est trop plein ou trop lourd, on passe un tisonnier dans l'anneau fixé à l'articulation des branches de la happe, et deux ouvriers aident le fondeur à l'enlever et le porter près des moules. Cette manœuvre est très délicate; elle a, en outre, pour effet de mettre les creusets rapidement hors service, soit par la pression qu'exercent les branches de la happe, soit par le refroidissement trop rapide auquel ils sont exposés après avoir été vidés.

Tous ces inconvénients ont disparu depuis qu'on se sert du four perfectionné inventé par M. Piat, et dont l'usage s'est rapidement répandu. Ce système de four permet d'amener, comme on le ferait

d'une poche ordinaire de fonderie, le four près des moules, pour les couler directement sans avoir besoin de sortir le creuset.

Les creusets peuvent être en terre réfractaire,

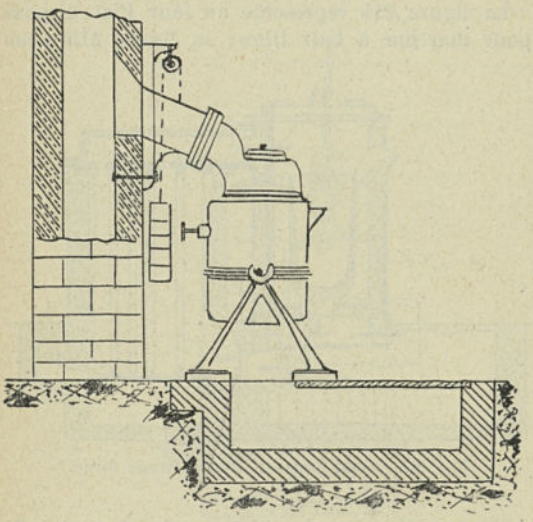


Fig. 214. Four portatif Piat à tirage naturel.

plus économiques par conséquent que les creusets en graphite ; ils ne craignent plus les refroidissements et la casse. Le feu n'a pas besoin d'être suspendu, et le décrassage immédiat est toujours possible et facile.

Le creuset se trouve placé dans une enveloppe métallique et porte une ceinture en fer, pourvue

de deux tourillons solides placés sur deux faces opposées ; pendant la fusion, il est supporté par ses deux tourillons sur deux flasques en fonte fixes, ou bien il repose sur un soubassement en maçonnerie.

La figure 214 représente un four Piat disposé pour marcher à l'air libre ; la figure 215 nous

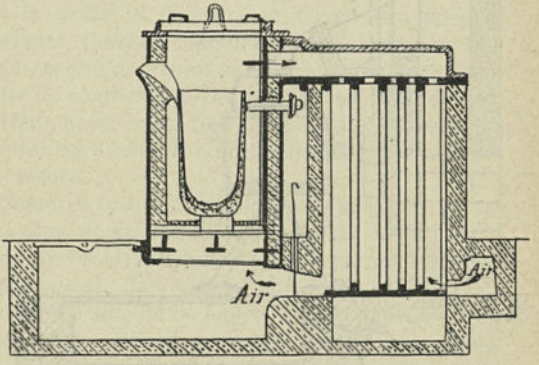


Fig. 215. Four portatif Piat à tirage forcé.

montre un four marchant à tirage forcé, et chauffé par les chaleurs et gaz perdus du fourneau ; enfin, la figure 216 représente la manœuvre de cette poche-creuset à l'aide d'un palan.

Avec ces fours marchant à l'air libre et au coke pour fondre 30 kilogr., la durée de l'opération est de 50 minutes et la consommation du combustible varie de 25 à 35 0/0 du métal fondu. Dans le même four avec creuset de 30 kilogr. et avec vent forcé,

la fusion est complète au bout d'une demi-heure, mais il y a une petite augmentation (5 0/0) dans la dépense de combustible.

Avec ces fours, la température des gaz qui s'en échappent est très élevée, ce qui fait perdre une

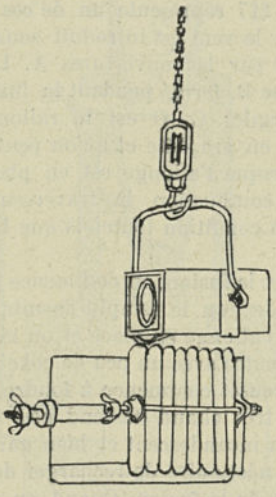


Fig. 216. Manœuvre du four portatif Piat.

grande partie de la chaleur développée ; on a cherché à augmenter la hauteur du four, mais alors la température du carbone s'élevant, il y a transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone.

Dans les nouveaux fours on a cherché à chauffer,

à l'avance, la charge de métal en profitant de la chaleur des flammes perdues, en plaçant sur le creuset une allonge, par laquelle passent les gaz chauds ; dans cette allonge, on charge une partie du métal, le reste de la charge étant disposé dans le creuset.

La figure 217 représente un de ces fours muni de l'allonge ; le vent est introduit sous la grille et latéralement par les ouvertures A. La coulée se fait par le bec B, fermé pendant la fusion par un tampon d'argile; C, D est la rallonge dont la partie D est en graphite et qu'on peut changer à volonté. Lorsque l'allonge est en place, tous les gaz de la combustion la traversent avant de s'échapper, à condition toutefois que le bec B soit bouché.

Pour opérer la fusion, on commence par chauffer le creuset vide ; on le remplit ensuite peu à peu ; puis on met l'allonge en place et on la remplit de matières à fondre avec un peu de coke ; lorsque la charge du creuset commence à fondre, le contenu de l'allonge très chaud descend peu à peu ; si le four est bien incandescent et bien garni de coke, il n'est pas nécessaire de recharger de coke pendant le cours de la fusion. Quand on peut fondre plusieurs charges successives dans le même four et avec le même creuset, la dépense en combustible se réduit à 1,200 kilogrammes par tonne d'acier.

Le système de chauffage imaginé par Siemens a permis de recueillir la chaleur emportée par les produits de la combustion par les régénérateurs et ramenée, en grande partie, dans le laboratoire par l'air et les gaz qui s'y rencontrent ; le combustible

y est mieux utilisé et il est plus facile d'obtenir les hautes températures nécessaires pour la fusion au creuset ; en outre, ces fours peuvent être alimentés avec du combustible cru et, par conséquent,

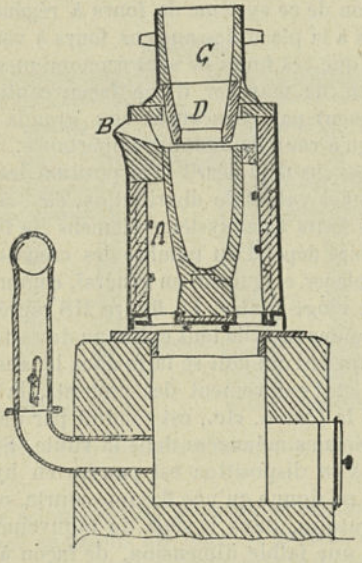


Fig. 217. Four portatif avec allonge et chauffage préalable.

moins cher. D'autre part, les creusets ne sont en contact ni avec le combustible, ni avec les cendres ; ils sont donc propres, visibles à tout instant et, par conséquent, très faciles à enlever, tandis que

dans les fours à vent il faut attendre, pour les aborder, que le niveau du combustible baisse, et les scories qui s'y attachent sont une cause de détérioration rapide.

Ces avantages ont conduit plusieurs usines à l'adoption de ce système de fours à régénérateurs Siemens à la place des anciens fours à vent. Il est évident que ces fours ne sont économiques qu'à la condition de marcher d'une façon continue, ils conviennent par conséquent aux grands ateliers plutôt qu'à ceux de moindre importance.

Nous avons déjà décrit la disposition des régénérateurs, des valves de distribution, etc., à l'occasion des fours à gaz système Siemens ; la forme du laboratoire dépend du nombre des creusets qu'on veut y placer et qui est, en général, compris entre douze et vingt-quatre. La figure 218 représente ce four Siemens installé tout entier au-dessous du sol. Tout le travail qui doit se faire dans le laboratoire, la pose et l'enlèvement des creusets, la surveillance de la fusion, etc., est conduit par des ouvertures spéciales ménagées dans la voûte. Si le gaz qu'on a à sa disposition est pauvre en hydrocarbures et ne donne qu'une flamme courte, on donne au laboratoire, dans le sens du mouvement de la flamme, une faible dimension, de façon à y loger dans ce sens deux ou trois creusets seulement. Dans le sens transversal, on divise le laboratoire en plusieurs compartiments de 0m60 à 0m90 de large par des cloisons verticales parallèles à la direction de la flamme. On crée ainsi des petites chambres où l'on peut loger quatre à six creusets. Au-dessus de chaque compartiment, le four est

fermé par deux couvercles mobiles juxtaposés ; ceux-ci sont faits avec briques réfractaires maintenues par des fers méplats ; chaque couvercle peut être saisi par un levier attaché à une chaîne,

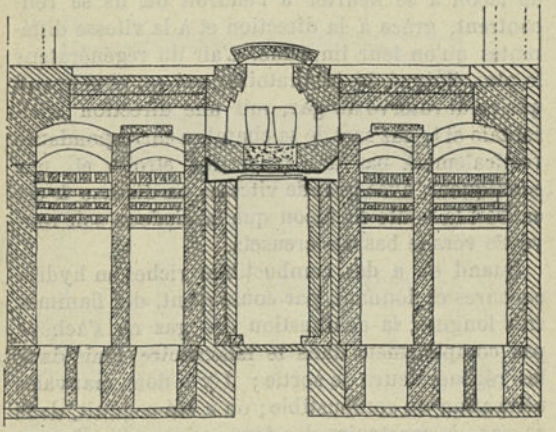


Fig. 218. Four Siemens à vingt-quatre creusets.

laquelle est suspendue à un galet roulant sur un rail placé au-dessus du four ; il devient ainsi très facile de manœuvrer le couvercle et d'aborder l'intérieur du four.

La plaque de fonte qui supporte la sole en terre est percée, sous chaque creuset, d'un trou qu'on recouvre d'un bouchon en terre ; si un creuset se casse ou coule, on perce avec un outil le bouchon correspondant, le métal et la scorie formée

s'écoulent dans la cave et on remplace le bouchon par un autre.

Dans cette disposition, nous avons dit que la flamme doit être très courte et très chaude; les gaz combustibles et l'air sont, par conséquent, dirigés de façon à se heurter à l'endroit où ils se rencontrent, grâce à la direction et à la vitesse différentes qu'on leur imprime. L'air du régénérateur le plus éloigné du laboratoire, qui est plus grand que celui réservé au gaz, suit une direction horizontale et le gaz sort de sa chambre correspondante verticalement par une fente très étroite et, par conséquent, avec grande vitesse; on dispose à cet endroit la voûte de façon que la chaleur soit renvoyée vers le bas des creusets.

Quand on a des combustibles riches en hydrocarbures et donnant, par conséquent, des flammes très longues, la combustion des gaz ne s'achève pas complètement dans le laboratoire, mais dans les régénérateurs de sortie; il y a donc mauvaise utilisation du combustible; on a été conduit, dans ce cas, à construire des fours comme l'indiquent les figures 219 et 220, ayant une longueur de laboratoire plus considérable, où les creusets sont placés sur deux rangées de six à huit chacune. Chaque creuset repose sur un fromage de 0^m 10 de hauteur et entre ceux-ci règne une rigole longitudinale qui conduit dans un petit canal ménagé au centre, le métal et la scorie qui peuvent s'échapper d'un creuset en mauvais état; pendant la fusion, ce canal est fermé par un bouchon, pour éviter les rentrées d'air, et on ne le débouche que quand tous les creusets ont été sortis du four.

Dans les fours Siemens fondant de l'acier au creuset, on brûle 1,200 kilogr. de bonne houille par tonne d'acier fondu ; avec du lignite, on atteint 2,000 à 4,000 kilogr.

Pour fabriquer le fer *Mitis*, c'est-à-dire un pro-

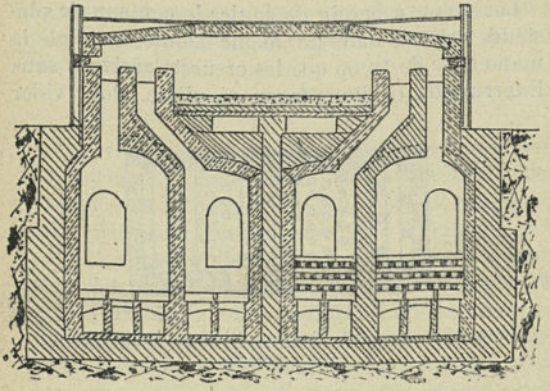


Fig. 219. Variante du four Siemens pour fusion aux creusets.

duit très peu carburé, on ne peut pas employer ni les fours à régénérateurs, ni les fours à vent ; on emploie un four chauffé au pétrole ou avec des résidus de ce dernier ; le pétrole est placé dans un bassin près du four, un jet d'air vient en lécher la surface et produit la combustion ; il en résulte un courant gazeux composé de gaz brûlés et des vapeurs combustibles qui achèvent de se brûler dans le four. On place dans le four six creusets en deux

rangs ; lorsque les deux premiers, placés dans la partie la plus chaude, sont à point pour la coulée, on les enlève, on fait avancer les suivants et on en introduit deux nouveaux dans la partie la moins chaude. Cette opération est renouvelée toutes les deux heures et demie.

Lorsqu'on a besoin de couler le contenu de plusieurs creusets dans un même moule, on règle la manœuvre de façon que les creusets arrivent sans interruption et d'une façon régulière. Pour vider

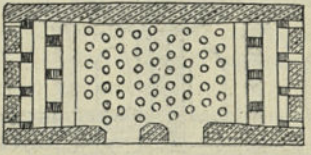


Fig. 220. Variante du four Siemens pour fusion aux creusets.

ainsi plusieurs creusets à la fois, on dispose au-dessus du moule un chenal en terre réfractaire et c'est là que les ouvriers vident le contenu de leurs creusets en suivant un ordre déterminé ; on peut encore placer au-dessus du moule un bassin garni de terre réfractaire au fond duquel se trouve le trou de coulée ; c'est dans ce réservoir qu'on verse rapidement le contenu des creusets pour que l'écoulement par le fond se fasse sans arrêt. Un autre moyen consiste à avoir une grande poche de coulée où l'on réunit le contenu de plusieurs creusets qu'on distribue ensuite dans les lingotières.

Pour que l'acier fondu au creuset soit de bonne qualité, il faut qu'il coule sans bouillonnement, ne contienne pas beaucoup de gaz et, par conséquent, ne remonte pas dans les moules ; tout lingot qui remonte doit être rebuté.

Quand on veut faire des additions d'autres métaux comme de l'aluminium par exemple, on le place dans la poche qui recevra le contenu de tous les creusets.

IV. CREUSETS

Les creusets employés à la fusion de l'acier sont cylindriques, renflés au milieu ; leurs dimensions varient suivant la charge qu'ils doivent contenir et qui varie généralement entre 10 et 40 kilogr.

Nous allons donner quelques détails sur la fabrition des creusets réfractaires pour la fonte des aciers, pratiquée à l'usine d'*Uslar*, en Hanovre, qui appartient au gouvernement de ce pays, parce que cette fabrication conviendrait parfaitement dans les cas particuliers où, pour des causes quelconques, on serait amené à adopter les creusets pour la fusion de l'acier et du fer. La matière qui sert à cette fabrication est connue sous le nom de *terre de pipe* ; on la choisit avec soin pour ce service, on l'assortit, on l'épluche et on la débarrasse de toutes les veines ferrugineuses, ainsi que du sable qu'elle peut contenir.

La plus grande partie de cette argile, avant de servir à fabriquer les creusets, a besoin d'être cuite, et pour cela on la moule en plaques carrées de 20 à 25 centimètres carrés et de 16 à 18 millimètres d'épaisseur qui, après avoir été desséchées

suffisamment, sont cuites dans un fourneau à cuire les pipes aussi complètement que possible, sans toutefois les vitrifier, ce qui serait tout à fait nuisible pour en fabriquer des creusets.

Après avoir cassé et bocardé ces briques pour les réduire en grains de la moitié de la grosseur d'une lentille, on mélange cette grosse farine avec de l'argile brute séchée et réduite en poudre, ainsi qu'avec du charbon de bois pulvérisé ; les proportions en poids sont :

Argile calcinée.	14 parties
Argile crue	9 —
Charbon de bois.	6 —

Ces matières sont mélangées ensemble jusqu'à ce que le mélange présente une couleur bien uniforme dans sa masse. Ces matériaux pulvérisés et mélangés sont déposés dans des grandes caisses et humectés avec de l'eau ; lorsque le liquide les a suffisamment pénétrés on les corroie avec des pilons à main, en forme de massue ; on les retourne et on les corroie encore, jusqu'à ce que la masse soit parfaitement imbibée d'humidité et ait acquis une résistance qui permette de la mouler à la main.

On la découpe alors en gros blocs ou *pâtons* que l'on conserve pendant quinze jours dans des caisses fermées et que l'on travaille au moins tous les deux jours sur un banc solide avec une batte en fer de 20 millimètres carrés, qui sert à en former des galettes rondes et minces qu'on relève ensuite sur champ pour les battre encore et amener une répartition parfaite dans la masse de toute l'humi-

dité qu'elle contient, en lui procurant la ductilité nécessaire pour la fabrication des creusets.

Quand ces opérations ont été répétées suffisamment pour atteindre ce but, on pétrit encore à la main toute cette masse, comme la pâte à faire le pain, et il ne reste plus qu'à en chasser quelques bulles d'air qu'elle contient, en la jetant par petites portions et avec une très grande force; sur un corps dur et uni ; on la divise alors en morceaux de la grosseur nécessaire pour faire un creuset, on la pèse pour que celui-ci ait un poids déterminé et on lui donne à la main une forme conique, qui est celle des creusets.

L'appareil pour soumettre les creusets à la presse consiste en deux parties, l'une extérieure, dite *forme à creuset*, et l'autre intérieure, appelée *moine*, qui présente la figure de la forme ovoïde intérieure du creuset et qui, à sa partie supérieure, s'ajuste parfaitement avec le bord supérieur de la forme. La forme est en fonte, son fond est mobile et porte sur un bloc de bois, avec lequel il est uni par des crochets et des oreilles. Le moine est également en fonte, quoique par économie on puisse l'établir en bois, en le consolidant avec des garnitures en fer ; il porte à sa partie inférieure une longue broche, qui entre dans un trou correspondant, percé dans le fond de la forme, et qui lui sert, par conséquent, de guide lorsqu'on l'insère dans celle-ci. La tête de ce moine, qui s'élève au-dessus de son bord supérieur, est percée d'un trou portant un manche, au moyen duquel on peut le faire tourner ; à son sommet, cette tête est aplatie pour recevoir plus uniformément le coup d'un

mouton, qui doit le chasser dans la masse d'argile déposée dans la forme.

On commence d'abord par percer un trou au centre de la masse d'argile, pour faire entrer la broche du moine dans l'œil correspondant de la forme ; aussitôt que cette introduction a eu lieu, on fait tomber, toujours en faisant tourner le moine, quelques coups, d'abord légers, du mouton sur sa tête, puis on augmente peu à peu la force de ces coups, jusqu'à ce qu'enfin son bord ait pénétré entièrement dans la forme, et que l'argile s'élève en lames ou en lanières au-dessus de sa tête ; c'est une preuve que la forme est parfaitement remplie, et que le creuset a acquis la densité convenable.

Alors on enlève avec précaution le moine de la forme, puis, avec un levier, on transporte cette forme sur un tourteau de bois rond, haut de 40^{mm}, mais dont le diamètre est un peu moindre que celui de la forme. Ce fond reste sur le tourteau avec le creuset, tandis que la forme tombe sur le bloc de bois. C'est ainsi que, sans effort et sans accident, l'ouvrier dégage son creuset de la forme ; mais on conçoit que, pour obtenir ce résultat, il est nécessaire que la forme ainsi que le moine, présentent un moyen quelconque pour s'opposer à l'adhérence de la matière plastique. Dans ce but, la forme est garnie d'une doublure en toile et c'est dans celle-ci qu'on jette l'argile qui doit former le creuset. Le moine, avant qu'on en fasse usage, est frotté avec de la graisse de porc, mais en ayant soin de n'en pas mettre en excès.

Après avoir été dégagé de la forme, le creuset

reste deux jours dans sa chemise de toile sans qu'on y touche. On le débarrasse alors de cette chemise; puis, avec un instrument qui ressemble à une cuillère, on en gratte, unit et polit les surfaces, tant extérieure qu'intérieure; on ferme, avec un bouchon d'argile bien battue, le trou du fond, et enfin on arrondit les bords. La dessiccation du creuset a besoin d'être conduite avec beaucoup d'attention, elle exige au moins trois mois; et ce n'est qu'après qu'elle a été parfaitement opérée à l'air qu'on peut se permettre de lui appliquer une chaleur artificielle pour le sécher complètement. Cette dessiccation accomplie, le creuset est propre au service, et a 40 à 41 centimètres de hauteur, 17 à 18 de diamètre extérieur à la base, 22 centimètres dans sa partie renflée, et 17 à 18 à son bord supérieur. Les parois ont, par le bas, 0m040 d'épaisseur et 0m027 par le haut. Sa capacité peut contenir 12 à 15 kilogr. de métal fondu.

Il faut pour chaque creuset, un couvercle épais de 33 à 35 millimètres, plus un tourteau ou fromage de 10 à 11 centimètres d'épaisseur, dont le diamètre est le même que celui de la base du creuset. Le couvercle se fait avec la même matière qui sert à fabriquer les creusets. Le fromage est en argile réfractaire et se moule comme les briques.

Recuit des creusets. — Les creusets, parfaitement desséchés à l'air, sont déposés dans une chambre chaude, d'abord loin du poêle qui sert à la chauffer, puis, peu à peu sur des gradins placés immédiatement sur le poêle même et ainsi exposés à la plus grande chaleur que celui-ci puisse produire. Ces creusets, à proprement parler, ne sont

pas cuits avant d'en faire usage, ainsi que cela se pratique pour tous les vaisseaux servant aux opérations de fusion ; mais on les place pendant qu'ils sont encore à la chaleur de la main, dans un fourneau à recuire, afin de leur faire subir une opération des plus nécessaires, et qui consiste à les faire passer graduellement de cette chaleur jusqu'au rouge, pour les préparer à supporter la température de la fusion des matières.

D'abord on chauffe légèrement le fourneau à recuire, à moins qu'il ne soit encore chaud des opérations précédentes ; puis on y place quatre creusets remplis de charbon menu, on les coiffe de leur couvercle, qu'on tient soulevé par des tessons de vieux couvercles, afin que l'air puisse s'introduire dans l'intérieur ; on les retourne et on les place sur la grille du fourneau.

Lorsqu'on a bien espacé régulièrement entre eux ces quatre creusets, et qu'on a jeté quelques charbons incandescents sur la grille, on remplit le fourneau de charbon de bois, qui doit avoir depuis la grosseur d'une noix jusqu'à celle d'un œuf de poule; des charbons plus menus passeraient à travers la grille, et des charbons plus gros laisseraient le feu s'élever trop rapidement, ce qui pourrait faire éclater les creusets.

Au moment où l'on introduit les creusets dans les fourneaux, on ferme en même temps la porte du cendrier, et on la lute avec de l'argile pour empêcher toute introduction de l'air. On laisse ainsi les creusets exposés au feu, qui se propage avec lenteur de bas en haut et qui met ainsi environ trois heures à monter. On donne alors un

peu de tirage, en ouvrant très légèrement la porte du cendrier, puis on augmente successivement cette ouverture et le tirage, jusqu'à ce qu'enfin celui-ci ait atteint le plus haut degré de vivacité.

Ordinairement, il faut pour cela quatre autres heures, pendant lesquelles on ajoute de temps à autre du charbon ; l'opération du recuit des creusets dure en tout sept heures.

Pour essayer les creusets qu'on apporte des fabriques, on les frappe avec l'articulation du doigt ; on reconnaît au son qu'ils rendent s'ils sont sains ou fêlés ; les mauvais sont mis au rebut, ainsi que ceux qui renferment des pyrites martiales ou qui sont étoilés. Les creusets, pour être conservés, doivent être mis dans un endroit sec où il ne peut pénétrer aucune humidité ; ils doivent être empilés sur des planches ; il est arrivé d'en perdre une assez grande quantité, que l'on avait provisoirement déposés dans un grenier.

Dans les grandes usines, où la consommation de creusets est considérable, on les fabrique sur place.

V. FUSION A AIR CHAUD ET A HAUTE PRESSION

Historique. — On n'était point encore parvenu il y a quelques années à fondre le fer d'une manière industrielle, c'est-à-dire économique. La raison était évidemment dans les difficultés de développer et de maintenir la haute température nécessaire à cette opération. M. Bessemer eut l'heureuse idée de poursuivre la conquête de cette température par le moyen de la pression. Le succès du procédé a été complet ; M. Bessemer a pu fondre à volonté

du fer et de l'acier dans un cubilot et dans un four à réverbère modifiés suivant les dispositions requises par le but proposé. L'air, en traversant la fonte, oxyde les corps étrangers qu'elle contient, particulièrement le carbone, le silicium et le manganèse, il la transforme en fer ou en acier.

Fourneau à air chaud et à haute pression de M. H. Bessemer

M. H. Bessemer a pris une patente dont la spécification paraît présenter une haute importance pour la production du fer et de l'acier. Son procédé, qui paraît basé sur les principes du convertisseur et sur l'expérience acquise avec cet appareil, a déjà été mis en pratique.

L'inventeur, dans sa spécification, commence par rappeler le caractère distinctif de son convertisseur, à savoir le moyen rapide à l'aide duquel il produit la chaleur requise, l'intensité de la chaleur plutôt que la qualité paraissant être une condition essentielle pour exploiter avantageusement les fourneaux dans la fusion du fer ou de l'acier contenant peu de carbone. Une substance, qui exige une température de 1,800°, pour être mise en fusion, peut être maintenue à celle de 1,700° des journées entières et successives sans se fondre, tandis qu'une simple addition de 50 à 100° devra, dans le cas particulier, produire une fusion complète de cette substance, dans une période de temps très courte.

Afin d'obtenir cette intensité ou ce rapide développement de la chaleur dont on a besoin, M. Bessemer a recours à l'air, tant à une haute tempéra-

ture que sous une pression élevée. L'air atmosphérique ou autre fluide gazeux à l'état chaud acquiert un degré encore plus élevé de température par sa compression sous un plus petit volume, et cet accroissement de température est proportionnel à la réduction de ce volume ou au nombre d'atmosphères refoulées dans l'espace ordinairement occupé par une seule.

En conséquence, M. Bessemer construit des fourneaux d'une force suffisante pour résister à une pression intérieure de deux ou d'un plus grand nombre d'atmosphères. Il est bien clair que, toutes les fois que la température produite par la consommation d'un combustible dans les fourneaux ordinaires ayant un libre échappement dans la cheminée, est suffisante pour atteindre un but désiré quelconque, tel, par exemple, que l'évaporation de l'eau dans les chaudières à vapeur, on éprouverait une perte par la compression des produits gazeux de la combustion dans ces fourneaux, car le travail mécanique nécessaire pour comprimer les gaz dépasserait celui qu'on obtiendrait de la quantité accrue de vapeur générée en conséquence de cette compression, toutes les autres conditions restant les mêmes.

Mais si la plus haute température produite dans les fourneaux ordinaires avec échappement libre est réellement insuffisante, ou bien même, si elle ne dépasse que de très peu la température absolument nécessaire pour une opération quelconque, le cas devient tout à fait différent. Bien que l'on puisse ainsi produire une température très élevée dépendant de la pression employée, M. Bessemer

se contente, afin de modérer l'usure du fourneau, d'une fusion modérément rapide. Il déclare que, dans un petit fourneau brûlant du coke, et alimenté par de l'air froid sous une pression de 1 k. 40 par centimètre carré, avec pression de 1 k. 20 dans le fourneau, au-dessus de celle atmosphérique, de petits échantillons de fer forgé ont été fondus avec une grande rapidité. Ainsi, un fragment de barre de fer d'un équarrissage de 0m 05 et de 0m 30 de longueur, du poids de 5 k. 90, introduit froid dans le fourneau, a été fondu complètement en cinq minutes et demi. Dans le même fourneau, 150 kilogr. de riblons introduits froids ont coulé du fourneau à l'état liquide après un intervalle de quinze minutes. Ce fourneau travaille, en ce moment, sous une pression moyenne de 1 k. 054 à 1 k. 125 par centimètre carré au-dessus de celle de l'atmosphère.

M. Bessemer croit qu'une pression de 1 k. 40 à 2 k. 10 au-dessus de celle atmosphérique sera la plus économique dans la pratique, parce qu'il est présumable que si l'on employait une pression plus haute, elle élèverait la température au point de chasser rapidement le fer sous forme de vapeur, ainsi que le fait se présente généralement, vers la fin du travail, dans le convertisseur Bessemer.

Les matières que l'on fond dans ces fourneaux sont le fer et l'acier puddlés, le fer et l'acier en barres, l'acier purifié au nitrate de soude, les rognures du sciage des rails, les vieux rails, les débris détachés des poches de moulage et autres. On peut se servir de ces fourneaux pour fondre le métal aciéreux mélangé, propre à mouler les chan-

gements de voie et les roues pour chemins de fer, les blocs d'enclume, les têtes de marteaux, les canons, les mortiers, etc.

Le système est applicable aux cubilots, aux fours à creusets, à réverbère, et dans tous les cas, il est préférable de faire l'enveloppe extérieure en tôle à chaudière, en fer ou en acier, avec tous les joints bien calfatés, étanches à l'air, et de donner à cette enveloppe suffisamment de force pour résister à la pression intérieure ; on peut aussi employer une enveloppe en fonte.

La chemise du fourneau doit être établie en briques réfractaires de Stourbridge ou en briques Dinas, en plombagine, en ganister broyé, suivant la méthode adoptée pour le convertisseur Bessemer.

Pour fondre du fer forgé ou de l'acier, non pas tant sous le rapport de la pureté que sous celui de l'économie, M. Bessemer applique le système à un cubilot pourvu d'un dôme au travers duquel on introduit le métal et le combustible. La porte circulaire est portée sur un bras mobile en fer qui, lui-même, soutient un cylindre vertical à fond mobile dans lequel on dépose la charge alimentaire de combustible et de métal. Afin de garantir la porte de la chaleur et de prévenir les fuites de flammes et de gaz, on creuse une gouttière profonde tout autour du châssis de la porte, gouttière dans laquelle on fait arriver de la vapeur ou de l'air à une pression supérieure à celle qui règne dans le fourneau. L'aire de l'orifice par lequel s'échappent les produits de la combustion peut être modifiée par l'insertion de briques réfractaires.

On fait usage de plusieurs tuyères réfractaires

pour amener l'air chaud qui est, de plus, à une pression de 140 à 400 grammes par centimètre carré plus élevée que celle qui règne dans le fourneau.

M. Bessemer a aussi fait connaître une disposition au moyen de laquelle des matières en poudre peuvent être amenées dans le fourneau par le vent.

Le cubilot se compose de deux parties, afin de pouvoir en réparer la chemise de la même manière qu'on le pratique pour la chemise du convertisseur Bessemer, et pour mieux faire saisir la transformation que cet inventeur a fait subir au cubilot ordinaire, on a représenté et décrit cette forme malgré que le cubilot sur tourillons, comme le convertisseur Bessemer ordinaire, puisse être considéré comme une forme plus parfaite.

La figure 221 est une section verticale par la ligne *x x'* de la figure 222.

La figure 222, section horizontale par la ligne *y y'* de la figure 221.

La figure 223 est une vue en élévation par devant du fourneau.

La figure 224 est le plan de la partie supérieure de celui-ci.

Les figures 225 et 226, sections verticales des orifices d'échappement.

a a, enveloppe extérieure du fourneau établie en tôle épaisse, rivée et calfatée de manière à être imperméable à l'air, et portant des goussets *a' a'*, pour en fortifier le bas ; *b*, chemise intérieure en briques réfractaires, plombagine, ganister ou autre matière réfractaire ; *c c*, tuyères en terre réfrac-

taire, moulées carrées extérieurement et percées au centre d'un trou rond pour le passage du vent. Ces tuyères sont insérées dans des plaques carrées

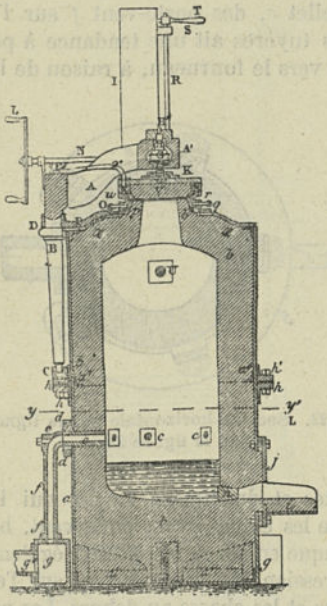


Fig. 221. Section verticale par la ligne $x\,x'$ de la figure 222.

d, arrêtées par des rivets fraisés sur l'enveloppe *a*, et chanfreinées à l'intérieur ; l'extrémité extérieure de ces tuyères est dilatée ou de forme légèrement conique, et l'espace entre cette portion élargie et

les parois chanfreinées des plaques est comblé avec du ciment de fer (tournure de fer et sel ammoniac), de façon qu'il ne puisse pas y avoir de fuite de gaz du fourneau autour des tuyères et que la pression du collet *e*, des porte-vent *f* sur l'extrémité dilatée des tuyères ait une tendance à pousser les tuyères *c*, vers le fourneau, à raison de leur extré-

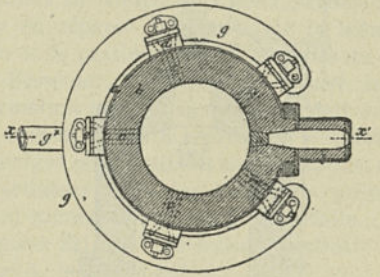


Fig. 222. Section horizontale par la ligne *y y'* de la figure 221.

mité dilatée et du ciment de fer qui l'entoure, tandis que les collets *e* du porte-vent, boulonnés sur la plaque en fer *d*, s'opposent également à ce que la pression intérieure agisse sur l'extrémité des tuyères et les chasse au dehors. Les porte-vent *f* sont boulonnés sur le coffre principal d'air *g*, par des collets *f*. Enfin, une soupape d'équilibre est disposée dans le conduit principal *g*, près du fourneau, de manière à pouvoir, à volonté, donner ou supprimer le vent ou en modérer l'écoulement.

La porte d'alimentation de ces fourneaux est

tellement petite qu'il est nécessaire de pourvoir, par une disposition spéciale, au moyen d'entrer dans le fourneau pour en réparer de temps à autre

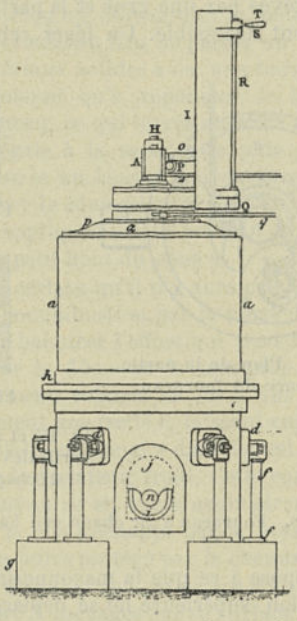


Fig. 223. Vue en élévation par devant du fourneau.

la chemise à l'intérieur et pour donner convenablement accès dans toutes les parties internes.

Le fourneau est séparé en deux parties par des ceintures en fer d'angle et massives *h h*, rodées

avec assez de soin pour former un assemblage étanche, et arrêtées l'une sur l'autre par des boulons et des écrous, ainsi qu'on le voit en *h'*. Lorsque le fourneau a besoin de réparation, la partie supérieure est levée par une grue et la partie inférieure est aisément accessible. Un léger rebord interne

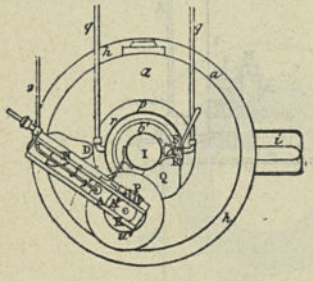


Fig. 224. Plan de la partie supérieure du fourneau.

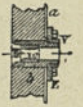


Fig. 225.

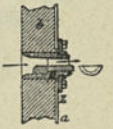


Fig. 226.

Fig. 225 et 226. Sections verticales des orifices d'échappement.

Fig. 221 à 226. Fourneau à air chaud et à haute pression.

a'' *a''*, s'oppose à ce que la maçonnerie de briques de la portion supérieure ne se déplace quand on l'enlève.

Le fourneau est pourvu d'un chio *i* doublé en terre grasse pour conduire le métal dans les poches de moulage. Une porte *j*, établie en ce point, ne présente qu'une très petite ouverture. En déboulonnant cette porte et en enlevant une portion de

la chemise, on peut nettoyer le fourneau ; on rétablit ensuite la chemise comme dans les cubilots ordinaires, ou bien un bouchon conique en terre réfractaire est inséré comme on le voit en *n*, de façon que lorsqu'on doit couler le métal du fourneau, les ouvriers, au lieu de percer un trou à travers les matériaux solides avec une barre pointue, n'ont simplement qu'à repousser le bouchon *n* dans le fourneau, ce qui ouvre aussitôt un passage d'une aire égale à la section de cette pièce. Une petite traverse et un boulon peuvent être employés pour empêcher le cône d'être projeté en dehors. La traverse est appliquée sur la porte *j* et le boulon presse sur le petit bout du cône *n*.

Afin d'être certain qu'il n'y aura pas de fuite des produits de la combustion par la porte d'alimentation, et pour balancer l'effort qui tend à l'ouvrir, on a rivé, sur le dôme ou la couronne *a* du fourneau, un anneau robuste en fer *p* sur lequel est serrée fortement une frette *r*, laissant entre eux un espace annulaire ou canal *s* dans lequel circule de l'eau afin de le maintenir froid. Cette eau est fournie par le tuyau *o*, et, après avoir circulé autour de l'anneau *p*, elle s'échappe par le tuyau *q* ; l'anneau *p* est en outre protégé par la chemise du fourneau, ainsi qu'on le voit en *b'*. Un encadrement *u* avec gouttière X ménagée sur sa surface extérieure est serrée par une frette en fer *w*, de manière à compléter le passage annulaire *x*. La face inférieure de cet encadrement *u* repose sur la face supérieure de l'anneau *p* ; le dessous porte une petite rigole en forme de V faite sur le tour et, à 25 millimètres environ de distance entre eux, sont percés des

petits trous qui remontent sous un certain angle et relient le canal en V avec espace annulaire X. Un tuyau 2 amène l'air du conduit principal du vent dans ce canal X, cet air descend alors par les petits trous nombreux qui y sont percés, et fournit ainsi de l'air sous pression au canal en V, dont il a été question.

Puisque la pression du vent excède celle des gaz à l'intérieur du fourneau, la conséquence est que toute imperfection dans l'ajustement de l'encadrement *u* de la porte, sur l'anneau supérieur *p* du fourneau, au lieu de permettre aux gaz brûlants de s'échapper et d'attaquer ou de détruire les organes en fer, les retient, parce qu'en cas d'ajustement imparfait des surfaces métalliques, l'air sous pression dans le canal en V, à raison de sa pression supérieure, s'ouvre une voie entre le joint imparfait, et s'échappe en partie dans la portion supérieure du fourneau et en partie dans l'atmosphère extérieure. Afin de pouvoir enlever la porte *u'* sur le gueulard du fourneau et de la replacer aisément comme il convient, on se sert d'une grue qui se compose de deux joues faites en forte tôle A A, boulonnées sur un poteau B, ce dernier tournant à son extrémité inférieure dans une crapaudine C boulonnée sur les ceintures d'angle *h*. Le haut de ce poteau est maintenu par une robuste potence D percée d'un œil dans lequel tourne ce poteau. En E est un collier mobile adapté sur un tourillon qui fait saillie sur le poteau, afin d'empêcher celui-ci de remonter lorsqu'on applique la pression à la porte du fourneau. Entre les joues A est boulonné fermement un bloc ou pièce en fer A'

portant au centre une ouverture dans laquelle est adaptée une roue hélicoïde G. Cette roue et son moyeu allongé G' forment une sorte d'écrou taraudé dans lequel fonctionne la vis H, une portion carrée H' étant ménagée sur l'extrémité supérieure de cette vis pour l'empêcher de tourner, mais sans s'opposer à son libre mouvement d'ascension ou de descente à travers le bloc A', dont les percements sont d'un diamètre égal au plus grand diamètre de la vis et n'ont pas de taraudage intérieur, mais remplissent simplement les fonctions de guides pour la vis H, laquelle porte à son extrémité inférieure une plaque s'adaptant librement à l'intérieur d'un anneau à rebord K arrêté par les boulons sur la plaque supérieure de la porte du fourneau. Le but de cet anneau et de la plaque ajustée librement est de suspendre la porte *u'* quand on la lève, dans une position horizontale. La liberté ainsi donnée à cette porte a pour objet de lui permettre constamment de trouver son appui et son équilibre propre sur l'anneau *p* ; l'extrémité de la vis H se trouvant alors mise en contact avec l'encadrement supérieur *u*, l'assujettit fermement sur son siège.

A cet effet, des poignées L sont disposées sur un arbre N, lequel porte également la vis sans fin P qui commande la roue hélicoïde G, par la rotation de laquelle la vis H monte ou descend sans tourner, emportant avec elle la porte *u'*. Deux arrêts sont disposés pour empêcher le bras de la grue d'aller trop loin dans l'une ou l'autre direction.

Pour introduire le combustible et le métal dans le fourneau, on fait usage d'un cylindre alimentaire

vertical I en tôle mince, arrêté par un bras robuste *o* sur celui de la grue. Sur la portion inférieure du cylindre I est appliquée une plaque Q (fig. 222, 223), laquelle est suspendue à une tige verticale R soutenue sur des appuis S, brasés sur le côté du cylindre ; le haut de cette tige porte une poignée T, à l'aide de laquelle on manœuvre la plaque Q pour ouvrir ou fermer le bas du cylindre.

Pendant que le fourneau reçoit le vent, les ouvriers introduisent une charge de coke ou autre combustible dans le cylindre, et avec lui les riblons ou autres fragments de métal malléable, que l'on veut mettre en fusion ; lorsque le cylindre est chargé, on arrête le vent, on met les poignées L en mouvement, et la porte *n'* est écartée suffisamment pour permettre au bras de la grue de tourner jusqu'à ce que le cylindre alimentaire I soit amené verticalement au-dessus du gueulard du fourneau. Un léger mouvement de la poignée T écarte la plaque G sous le cylindre, et permet de précipiter tout à coup la charge de combustible et de métal dans le fourneau. Le bras de la grue est alors ramené vivement à sa première position, et la porte est serrée de nouveau en tournant les poignées L.

Immédiatement après la fermeture du fourneau, on ouvre derechef l'accès au vent, et les opérations recommencent en répétant ces chargements à tels intervalles de temps qu'on le juge nécessaire. Dans la vue en plan (fig. 223), le bras de la grue est vu dans la position qu'il occupe pendant que le combustible est déchargé dans le fourneau. La plaque Q est éloignée du fond du cylindre.

M. Bessemer préfère emprunter l'air dont il a besoin pour clore la porte *n'* au tuyau de vent principal, dans un point où la soupape d'équilibre ne ferme pas la voie à l'alimentation. L'air continue ainsi à s'écouler pendant le temps qu'on alimente le fourneau en combustible. et le travail pour ramener la porte sur son siège, fait que de nombreux jets d'air se lancent par les petits trous percés dont il a été question, et débarrassent la surface sur laquelle s'adapte la porte, avec une force considérable, de toutes les petites particules de combustible ou autres matières.

Pour permettre le mouvement du bras de la grue, en continuant à maintenir l'alimentation de l'air, il existe au sommet du poteau de cette grue un tuyau 2 assemblé avec un autre tuyau 2' en cuivre ou en étain, qui a suffisamment de retrait pour permettre le léger soulèvement et l'abaissement de la porte du fourneau.

L'une des particularités principales de ce mode d'exploitation des fourneaux, sous une haute pression des produits gazeux, à leur intérieur, est l'orifice pour l'échappement de la flamme, si différent de celui du cubilot ordinaire, où cet orifice est généralement égal à tout le diamètre de la cuve du fourneau. En fonctionnant sous pression, dans l'un de ces fourneaux à haute pression, on a trouvé qu'une ouverture de 57 à 58 millimètres de diamètre suffit pour un fourneau dont l'aire transversale est 38 décimètres carrés, c'est-à-dire que la section de l'ouverture n'est guère que la 144e partie de cette aire. Ainsi, l'on a observé qu'avec une pression de 1 kg. 16 à 1 kg. 25 au-dessus de la pression

atmosphérique, un orifice de 6,45 centimètres carrés est approximativement nécessaire pour 100 kilogr. de coke brûlé par heure dans ces fourneaux.

L'orifice d'échappement, en V, est de la forme la plus simple, et consiste en un bloc carré de terre réfractaire, percé d'un trou rond de la dimension requise. Il porte un épaulement à l'extérieur, qui butte sur l'intérieur de l'enveloppe *a*, afin d'empêcher qu'il ne soit chassé par la pression intérieure ; une légère différence dans l'aire de cet orifice affecte matériellement la condition du fourneau. Les figures 225 et 226 sont des sections verticale et horizontale du bloc d'orifice U, par deux diamètres internes qui constituent l'épaulement. Dans ce bloc est inséré un petit cylindre *w* réfractaire pour contracter l'aire de cet orifice, et dans la figure 225 on voit un petit bloc semblable en Y, inséré à l'intérieur, s'avançant suffisamment pour pouvoir être saisi par une pince et remplacé par d'autres pièces de dimensions différentes. Dans ces deux figures, une plaque d'assemblage Z retient les blocs en place. En dévissant cette plaque, le bloc obturateur, quand il est trop attaqué, peut être remplacé facilement par un autre.

Le degré de la pression à laquelle on maintient les produits gazeux, dépend principalement du règlement de la pression du vent, l'orifice d'échappement étant également réglé de manière à empêcher que cette pression ne reste au-dessous, ou ne s'élève au-dessus de celle désirée. Dans quelques cas, l'échappement de la flamme et des matières chaudes peut être réglé par une soupape chargée, dont la face est formée d'une argile bien cuite : on

pourvoit alors, par un arrêt, à ce que cette soupape puisse se fermer entièrement.

La spécification de M. Bessemer comprend aussi, comme on l'a dit, la description avec figure d'un cubilot mobile sur tourillons, présentant des dispositions semblables, quant à la construction de l'enveloppe extérieure, et pour la fixation des tuyères, de la couronne et de la partie supérieure du poteau de la grue, de la porte du fourneau et du cylindre alimentaire.

Le combustible employé dans les fourneaux est de préférence le coke dur ou l'anthracite ; mais on peut également se servir de gaz combustible. Ce gaz est généré à la manière ordinaire et refoulé par une machine soufflante dans un réservoir où il est comprimé. La forme du fourneau que l'on choisit dans ce cas pour fondre l'acier et le fer par le gaz, est celle à réverbère, construit en maçonnerie, comme à l'ordinaire, mais renfermé dans une épaisse enveloppe en fer avec une porte, sur le plan de celle décrite pour le cubilot. On peut faire usage, dans cette forme à réverbère, d'un hydrocarbure liquide, employé seul ou avec un combustible solide. Le combustible liquide est introduit dans le porte-vent et porté dans le four par le vent, sous la forme d'une rosée. Le métal est préservé de l'oxydation en le recouvrant d'un mélange d'argile, de chaux et de sable, avec ou sans hématite ou sels alcalins.

Les fours à creusets de ce système sont établis avec une chambre à combustion cylindrique, qu'on alimente de vent de la même manière que le cubilot, avec règlement identique de la pression.

Four à haute et basse pression, de M. H. Bessemer

Nous allons donner ci-après la description d'un four à réverbère, imaginé par M. Bessemer, d'après le même système de la haute pression et combiné avec le système ordinaire ou de la basse pression. Ce four a été imaginé pour diminuer l'usure et la fatigue dans l'emploi continu d'une haute pression, et il est bien entendu que les matières qui doivent être chauffées ou mises en fusion, ont besoin d'être d'abord portées à une température élevée par l'action du four avec le tirage ordinaire de la cheminée, et que ce n'est que postérieurement que le système de la haute pression est mis en jeu, pour donner la température finale qui est requise.

La figure 227 est une section sur la longueur du four et de ses carneaux, disposés pour fonctionner avec le tirage ordinaire par la cheminée.

La figure 228 est une vue semblable, représentant les organes disposés pour fonctionner à haute pression.

La figure 229 est une élévation du four par côté.

La figure 230 est une vue en bout, après avoir enlevé la cheminée.

La figure 231 est une section transversale.

La figure 232 est une vue en élévation de l'extrémité du four où est placée la chauffe.

Dans ces figures, *a* est l'enveloppe extérieure du four, qui est formée en partie en tôles épaisses de fer ou d'acier, rivées et calfatées ; les plaques en fonte terminales *a'* sont soigneusement assemblées

avec le reste de l'enveloppe, de manière à s'opposer à la fuite des matières gazeuses chaudes par les joints. La chemise *b* du four se compose de briques apyres, de ganister ou autre matière réfractaire, employée communément dans les fours à mettre la fonte en fusion. *c* est une chambre à feu rectangulaire, où le combustible repose sur une grille en fer *d*, soutenue sur des appuis en fer *e*. Les extrémités de ces appuis traversent les côtés plats du corps *a* en *e' e'*, et elles servent de barres fixes pour soutenir les barreaux ; une barre d'appui additionnelle *f* passe également à travers le cendrier *g*. L'autel *b'* est pourvu d'un tube d'eau *h* qui le traverse, afin d'empêcher que sa maçonnerie de briques ne soit surchauffée. La sole *m* du four est presque plate sur le fond, et ne s'abaisse que lorsqu'elle se rapproche du trou de coulée *n*. La voûte mobile *a"* est établie en tôle épaisse d'acier ou de fer fortifiée par des fermes *x* en forme de T, les nervures d'angles robustes *x'* formant ossature pour la chemise en briques *b"*, et servant en même temps à arrêter la voute mobile sur l'autre portion du four, au moyen de boulons ou de clavettes mobiles *i*, *i*. Ces clavettes passent à travers les collets massifs *x"* rivés sur la portion inférieure du corps du four, les extrémités de la voûte mobile étant arrêtées de la même manière, de façon que, dans les moments où on le juge nécessaire, les clavettes *i* puissent être retirées, ce qui permet, au moyen d'une grue qui surplombe le four, d'enlever la voûte et d'en renouveler la chemise : cet enlèvement donne, en même temps, la facilité de faire des réparations dans la chambre

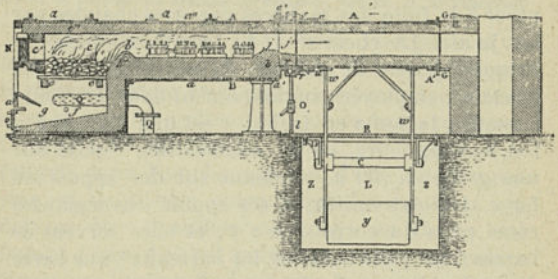


Fig. 227. Section sur la longueur du four.

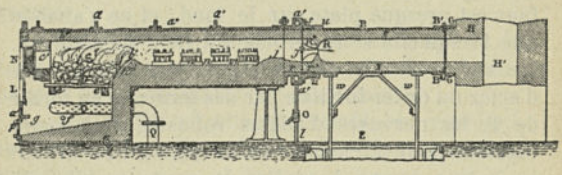


Fig. 228. Vue représentant les organes disposés pour fonctionner à haute pression.

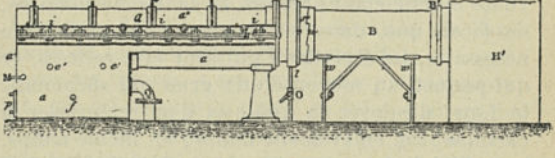


Fig. 229. Elévation du four par côté.

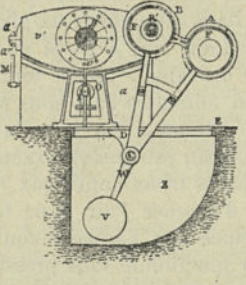


Fig. 230. Vue en bout après avoir enlevé la cheminée.

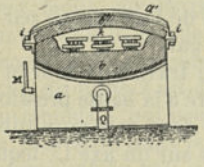


Fig. 231.
Section transversale

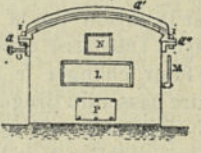


Fig. 232.
Vue en élévation
de l'extrémité du four où
est placée la chauffe.

Fig. 227 à 232. Four à haute et basse pression,
de H. Bessemer.

à feu et sur la sole plate qui, autrement, seraient inaccessibles. La jonction de la voûte mobile avec les autres parties du four est rendue imperméable à l'air par un lut d'argile réfractaire et de chaux.

La sole du four se rétrécit au point *j* et se termine en J par un orifice circulaire, au travers duquel les piles, paquets ou autres pièces de métal

qu'il s'agit de mettre en fusion sont introduits dans le four. Dans cette partie, la plaque terminale en fonte *a'* du four, qui a aussi une forme circulaire, possède un canal *r* creusé tout autour, dans lequel on peut admettre l'air sous pression par le tuyau *l* et le robinet *o*. La face du canal la plus voisine du carneau est dressée exactement au tour et percée de petits trous nombreux *r'*, ainsi qu'on le voit, afin d'amener l'air dans le canal ou la gouttière formée sur l'anneau coulant *s*. Ainsi, quand le four fonctionne sous pression, l'échappement de l'air comprimé, entre les surfaces de l'anneau *s* et la plaque plane *a'* s'oppose à l'échappement des gaz brûlants produits par la combustion, par la raison que la pression de l'air amené par le tuyau *l* surpasse celle de ces gaz.

Pour changer le mode de travail du four et le faire passer du tirage ordinaire à la haute pression, M. Bessemer fait usage des deux carneaux tubulaires mobiles A et B montés sur un axe C, lequel est soutenu sur des chaises pendantes D, qui sont boulonnées sur la face inférieure des plaques de plancher E. Ces carneaux A et B sont établis en tôle rivée et doublés en briques réfractaires F en forme de segments. A l'extrémité postérieure du carneau tubulaire A est un collet A', et le carneau B porte un collet semblable B' : ces collets servent à établir l'assemblage avec la ceinture en fer G' adaptée sur un anneau de maçonnerie H, sur lequel s'élève la cheminée H'. A l'extrémité opposée des carneaux tubulaires sont les anneaux coulants *s*, dont l'une des faces est pourvue d'une gouttière semi-circulaire, ainsi qu'on l'a dit précé-

demment, tandis que le côté opposé présente une série de surfaces inclinées en traits de Jupiter, surfaces disposées pour s'adapter sur celles de même forme sur le bord des ceintures *u* qui sont rivées sur chacun des carneaux tubulaires A et B. En insérant un levier dans l'œil *v*, on peut faire tourner l'anneau *s* qui, par l'effet des surfaces inclinées, est pressé et serré en contact intime sur la face du canal *r*.

Les carneaux A et B sont montés sur un bâti en fer *w* à travers les douilles duquel passe l'axe C ; entre les extrémités inférieures du bâti *w*, on a disposé un contrepoids V pour équilibrer les poids du double carneau tubulaire et permettre leur mouvement facile sur leurs axes ; ce contrepoids est un peu plus lourd que le poids des carneaux, afin de permettre de remonter ceux-ci avec facilité. On a établi un puits Z au-dessous du plancher pour le contrepoids V qui peut s'y mouvoir, en pratiquant des mortaises dans la plaque E pour se prêter au mouvement du bâti *w*.

La longueur des carneaux tubulaires doit être telle qu'elle procure un espace suffisant entre le four et la cheminée, pour que l'ouvrier puisse charger le métal. Lorsque les tubes sont écartés d'un côté (ainsi qu'on le voit dans la figure 230 où l'orifice *j'* est vu découvert et facilement accessible à l'ouvrier) aussitôt que les piles, les paquets ou autres pièces de métal ont été introduits par cet orifice *j'*, l'ouvrier fait mouvoir le carneau tubulaire A opposé à cet orifice, et le ferme en tournant l'anneau *s* avec un levier, ainsi qu'on l'a expliqué plus haut ; cette manœuvre amène l'ap-

pareil dans la position indiquée figure 227, et établit une communication libre entre la chambre à feu *c* et la cheminée H'.

Le cendrier *g* est alimenté d'air par la porte à bascule L que l'on fait mouvoir avec la poignée M; cette porte s'applique sur une surface dressée très exactement à l'intérieur de la plaque terminale *a'*, de manière à ce qu'elle soit imperméable à l'air quand la chose est nécessaire ; le feu est alimenté en combustible par l'ouverture *c'* qui, dans les autres moments, est fermée par une porte N, que l'on fait glisser au moyen d'une barre à poignée *o* visible dans la figure 227. Le dos de cette porte s'applique très exactement sur la face dressée de la plaque *a'* et une tuile réfractaire N' garantit cette porte en fer de l'action trop énergique de la chaleur rayonnante du feu. Les cendres peuvent être évacuées à la fin de la journée de travail en enlevant la plaque P dans la partie inférieure du cendrier.

Expliquons maintenant comment fonctionne le four. Les différents organes mobiles dont on vient de parler étant dans la position représentée dans la figure 227, l'ouvrier entretient l'activité du feu par le tirage ordinaire de la cheminée ; il nettoie de temps à autre la grille à travers la porte ouverte L, et alimente, suivant les besoins et aux intervalles requis, en houille au autre combustible par la porte N du foyer et l'orifice C'. La voûte très surbaissée du four maintient une flamme bien léchante sur le métal, et si celui-ci est bien disposé, en piles montées aux extrémités rapprochées des rails, ainsi qu'on le voit, ou sur d'autres pièces, la

flamme et les matières brûlantes passent le long de la surface de la sole sous les piles dont elles élèvent considérablement la température, tandis que ces piles elles-mêmes, enveloppées complètement par la flamme, sont rapidement portées à la chaleur suante.

Aussitôt que la tempépature a atteint ce point, l'ouvrier alimente fortement sa grille en combustible, puis procède immédiatement à la fermeture de la porte L en supprimant ainsi tout accès à l'air dans le cendrier par cette ouverture ; alors, il desserre et relâche l'anneau *s* et fait avancer les carneaux tubulaires jusqu'à ce qu'il amène le tube B à l'opposé de l'orifice *j'* ; puis il serre l'assemblage ou le joint, en faisant mouvoir cet anneau *s*, et enfin il introduit l'air en tournant le robinet *o* sur le canal *r*. Dans le moment opportun, quand la position des divers organes du four est encore celle représentée dans la figure 231, l'ouvrier ouvre une grande soupape tournante, qu'on ne voit pas dans les figures et par laquelle un courant d'air sous pression (supérieure à la pression atmosphérique de 1 kgr. 4 à 3 kgr. 5 par centimètre carré) remonte dans le tuyau Q, et passe à travers les trous nombreux dont il est percé, pour se distribuer de lui-même dans le cendrier et passer à travers les barreaux de la grille.

La totalité des produits gazeux dans l'intérieur du four est donc introduite sous une pression presque égale à celle du vent, parce que le passage à la cheminée dans le tube B se trouve considérablement rétréci, ainsi qu'on le voit en R. Ce passage est formé d'une pièce circulaire d'argile

réfractaire bien cuite R', que l'on peut aisément remplacer quand elle est hors de service. L'ouverture B peut avoir 70 à 75 centimètres carrés par mètre de surface de grille, mais cela dépend de la pression sous laquelle le four fonctionne.

Les produits gazeux de la combustion, qui ne peuvent plus se dilater librement, conservent, sous cette forme dense, une température extrêmement élevée qui, agissant sur un métal porté déjà à une très haute température, l'amènent promptement à l'état fluide, état sous lequel on peut l'évacuer par le trou de coulée *n* et le mélanger avec du spiegeleisen en fusion, comme on le pratique communément dans la fabrication de l'acier : ou bien le spiegeleisen ou autre fonte, carbure de fer ou alliage de fer, peuvent être introduits dans le four, pour y être mis en fusion et faire partie de la charge.

CHAPITRE XVIII

Affinage par le vent. Procédés Bessemer acide et basique

SOMMAIRE. — I. Historique. — II. Description du convertisseur. — III. Affinage. — IV. Petits convertisseurs. — V. Fusion au four à réverbère procédé Martin. — VI. Fours Martin. — VII. Procédé Bessemer-Martin. — VIII. Procédé Bertrand-Thiel. — IX. Procédé Talbot.

I. HISTORIQUE

En 1856, Bessemer proposa de faire passer dans une cornue de forme appropriée, dite *convertisseur*, au travers de la fonte de fer en fusion, un très grand nombre de jets d'air fortement comprimé. Cet air accomplit à lui tout seul les trois conditions que réclame tout bon affinage, il *oxyde, chauffe* et *brasse* la matière métallique.

La fonte, à l'état de fusion, provient d'un appareil indépendant de celui qui caractérise les procédés en question.

L'air froid, en passant à travers le bain de fonte en nombreux filets, le barbotte et le maintient parfaitement homogène, en oxyde partiellement les corps étrangers qu'elle contient, particulièrement le carbone, le silicium et le manganèse et, dans certaines circonstances, le phosphore; il la transforme en fer ou en acier ; il développe, dans certaines conditions, par le fait de cette oxydation

même, assez de chaleur pour que le fer doux affiné reste lui-même complètement liquide ; il suffit, pour cela, que la fonte renferme de 1 à 2 0/0 de silicium ou une certaine dose de manganèse. On pouvait craindre qu'en faisant passer de l'air froid à travers le bain de fonte le fer ne se figeât ou ne fût lui-même trop fortement oxydé. Or, l'expérience prouve que le fer n'est presque pas atteint lorsqu'il est associé à une proportion suffisante de silicium, de carbone et de manganèse. En outre, la chaleur emportée par les gaz et les parois de l'appareil est plus que compensée par celle que développe l'oxydation de ces éléments, du moins dès que l'on opère sur plus de 500 à 1,000 kilogr. de matière.

Le premier appareil ayant servi à Bessemer était un appareil fixe et se composait d'un creuset cylindrique plus ou moins contracté vers le haut, recevant le vent par une série de tuyères horizontales percées dans le bas de la paroi latérale. Le creuset était en briques ou en pisé ou terre réfractaire, fortement armé en tôle. Avec cet appareil fixe, il n'y avait pas moyen d'interrompre l'opération ni pour une prise d'essai ni pour toute autre cause, puisque la fonte remplirait les tuyères à chaque arrêt du vent. Plusieurs années ont été nécessaires pour surmonter les difficultés rencontrées et pour le rendre réellement industriel et c'est vers 1860 que Bessemer a construit un appareil mobile qui permet d'arrêter le vent sans avoir à craindre l'entrée de la fonte dans les tuyères. Ce procédé a réussi à s'introduire dans un certain nombre d'usines et à y donner des résultats satisfaisants, et, dès lors, il prit de tels développements qu'il fut promptement en état de

lutter avec les autres modes de fabrication du fer et de l'acier ; il amena, dans l'industrie du fer, une complète révolution et se substitua de plus en plus aux fers et aux aciers provenant des procédés de soudage.

L'appareil Bessemer est revêtu intérieurement de matières siliceuses, car les oxydes de fer qui, comme nous l'avons déjà dit, servaient à garnir les fours d'affinage de la fonte, étaient incapables de résister aux hautes températures qu'exige la production de l'acier fondu, et l'on ne connaissait pas, à cette époque, de matières basiques suffisamment réfractaires.

Les oxydes de fer et de manganèse résultant des réactions de l'affinage, se saturent de silice et forment une scorie acide, en présence de laquelle le phosphore ne peut être éliminé. Quand on veut donc obtenir, par le procédé Bessemer, un acier exempt de phosphore, il faut employer, pour la fabrication de la fonte, des minerais qui renferment très peu de ce métalloïde.

Aussi, après l'adoption de cette méthode, il a fallu importer d'énormes quantités de minerais purs provenant d'Espagne ou du nord de l'Afrique.

Des essais faits dans les laboratoires permirent d'espérer qu'on réussirait à éliminer le phosphore dans la cornue Bessemer, dès qu'on formerait des scories basiques.

MM. Thomas et Gilchrist, métallurgistes anglais, après plusieurs essais, sont arrivés, en 1870, à créer un appareil revêtu intérieurement avec de la dolomie calcinée, et dans lequel ils chargeaient de la chaux vive avec le métal. En 1879, le procédé

Thomas marchait à Eston, et la même année il fut introduit en Allemagne dans les aciéries du Rhin, près de Ruhrort, et à Hoerde. C'est ce qu'on appelle procédé *Thomas* ou procédé *Bessemer basique*.

Quoique inventé en Angleterre, c'est en Allemagne que le procédé Thomas a été perfectionné et a pris beaucoup de développement, grâce aux puissants gisements de minerais phosphoreux de Lorraine, de Luxembourg, et grâce aussi aux minerais suédois, très riches en phosphore, qu'elle reçoit à un prix très bas. La production totale annuelle du métal Thomas dans le monde entier, dépasse aujourd'hui cinq millions de tonnes, sur lesquels l'Allemagne fournit environ quatre millions de tonnes.

II. DESCRIPTION DU CONVERTISSEUR

La cornue ou convertisseur se compose d'une vaste cornue (fig. 233, 234), pouvant se mouvoir autour d'un axe horizontal formant tourillons T T', fixés à l'armature extérieure en tôle et fonte, ce qui permet de le faire basculer pour le remplir ou le vider ; le mouvement de rotation est produit et transmis mécaniquement pour les grands appareils, à la main pour les petits. L'un des deux tourillons T' sert de conduit au vent ; l'autre porte un pignon qui reçoit le mouvement mécanique de rotation.

Les convertisseurs ont la même forme, qu'ils soient destinés au travail acide ou au travail basique ; seul le revêtement intérieur diffère ; les dimensions varient également.

Le vent arrive du tourillon creux T' dans la boîte à vent B, située à la base de la cornue, et reliée à son armature extérieure en fer par des boulons à clavettes faciles à manœuvrer. De la

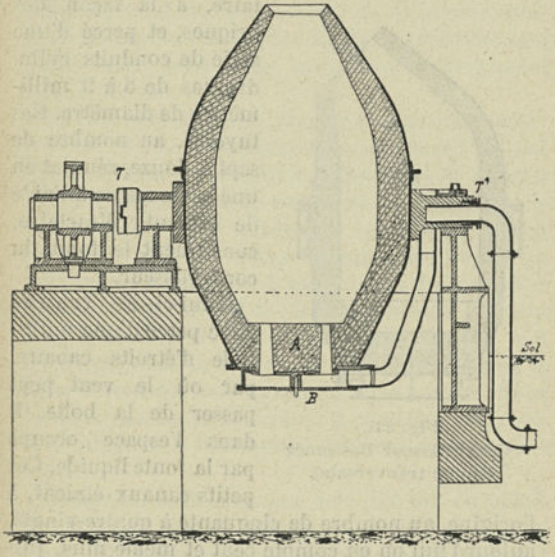


Fig. 233. Convertisseur Bessemer
(coupe verticale par l'axe des tourillons).

boîte, le courant d'air se distribue dans le bain de fonte par un très grand nombre de petits trous ou tuyères en terre réfractaire A.

Ces petites tuyères A sont le point faible de

l'appareil ; elles sont refroidies d'un côté par le courant d'air et chauffées de l'autre jusqu'au blanc le plus vif par la fonte en fusion et ne tardent pas à fondre. Chaque tuyère se compose d'un tronc de cône ou tronc de pyramide moulé en terre réfractaire, à la façon des briques, et percé d'une série de conduits cylindriques de 8 à 9 millimètres de diamètre. Ces tuyères, au nombre de sept à douze, réunies en une seule masse à l'aide de ciment réfractaire, constituent le fond du convertisseur.

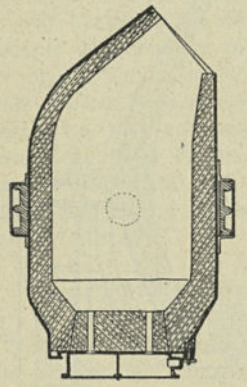


Fig. 234.
Convertisseur Bessemer (coupe tranversale).

Celui-ci se trouve donc percé d'une multitude d'étroits canaux, par où le vent peut passer de la boîte B dans l'espace occupé par la fonte liquide. Ces petits canaux étaient, à l'origine, au nombre de cinquante à quatre-vingts, aujourd'hui on en compte cent et même plus, jusqu'à deux cents. Ces tuyères s'usent rapidement ; elles résistent rarement à plus de huit ou dix opérations ; lorsque plusieurs tuyères sont réduites à une trop faible épaisseur, on les enlève à coups de masse et on les remplace par des tuyères neuves, en lutant de nouveau les joints avec du ciment réfractaire. Ce mode de réparation est long et pé-

nible ; il entraîne forcément des interruptions prolongées, car le travail ne peut reprendre qu'après dessiccation complète du mastic.

On préfère donc préparer d'avance un certain nombre de fonds mobiles, que l'on substitue en entier au fond dégradé, au lieu de remplacer isolément les tuyères usées. Ces fonds de rechange sont séchés avec soin dans une étuve, absolument comme les moules.

On fabrique ces fonds de deux façons différentes : ou bien on fixe les tuyères dans un massif de pisé battu, ou bien on remplit les intervalles de briques moulées préalablement cuites, et on rejointoye le tout avec un coulis réfractaire ; ce dernier moyen exige une cuisson moins longue, mais donne un fond moins homogène. L'assemblage du fond avec la boîte à vent se fait de plusieurs façons. On peut fixer le fond en serrant directement la boîte à vent à l'armature de la cornue, ou bien on boulonne la boîte à vent au fond et celui-ci à la cornue. Dans les deux cas, les boulons sont à clavettes, pour que le montage et le démontage puissent se faire sans gêne.

Lorsqu'un fond nouveau doit être mis en place, on enduit de ciment réfractaire sa surface tronconique, et on le presse ensuite comme un tampon à l'emplacement qui lui est réservé ; après quoi, on achève de luter le joint, en y bourrant du dehors du ciment réfractaire en pâte ferme.

Cette opération peut se faire tandis que la cornue est encore incandescente, de sorte que le remplacement d'un fond s'opère facilement en moins de deux heures, après quoi le travail peut être repris

sans autre arrêt. L'épaisseur du fond varie de 0,50 à 0,70.

La cornue proprement dite se compose d'une armature extérieure en fonte ou forte tôle, formée de deux ou plusieurs morceaux assemblés à boulons, et d'un revêtement intérieur, préparé comme le fond, en pisé réfractaire ou en briques, et dont l'épaisseur varie de 25 à 35 centimètres. Les gaz s'échappent par un orifice étroit qui se trouve à la partie supérieure et qui sert aussi pour charger et pour vider la cornue; on donne à l'ensemble de la partie supérieure, où commence le rétrécissement, le nom de *calotte*; l'ouverture de la calotte, à l'extérieur, est généralement reportée sur le côté, pour éviter, autant que possible, que le métal projeté avec force au dehors par le bouillonnement, retombe à l'extérieur; cette ouverture est cependant quelquefois placée au milieu, surtout en Amérique.

Il est cependant nécessaire que, lorsque le convertisseur est couché du côté de la panse et presque horizontal, on puisse voir et examiner le fond dans toute son étendue et s'assurer s'il y a des réparations à y faire, si les tuyères sont en bon état, etc.

La capacité du convertisseur dépend des charges, qui sont de 5, 7 et 10,000 kilogrammes; les convertisseurs de 5 et 7,000 kilogrammes sont les plus employés. Le diamètre maximum intérieur du ventre est alors 2m 20 à 2m 50; celui du fond mobile, de 1m 20 à 1m 50; la hauteur intérieure est généralement de 3 mètres, et la hauteur totale, y compris le fond et la boîte à vent, dépasse 4 mètres. Le haut de la cornue, ou col, vient se placer sous

la hotte d'une cheminée d'évacuation, élevée à demeure au-dessus de l'appareil.

La pression du vent doit être suffisante pour empêcher le métal contenu dans le convertisseur de passer par les orifices des tuyères ; d'un autre côté, quand la cornue est couchée, le métal et la scorie doivent avoir un espace assez grand pour qu'on puisse arrêter le vent, et que les mêmes orifices soient à découvert ; il est donc nécessaire que le cercle dans lequel ils sont répartis, soit d'un diamètre plus petit que la partie médiane. La partie inférieure de la cornue a la forme d'un tronc de cône, dont la petite base est du côté de la boite à vent. Cette disposition n'est cependant pas indispensable.

Dans la figure 234, le fond est tronconique et nous avons dit qu'on peut facilement le remplacer entre deux opérations pendant que la cornue est encore incandescente. Pour faciliter la manœuvre, on dispose sous la cornue un piston hydraulique dont le cylindre peut être fixé ou porté sur un wagonnet ; on peut aussi employer un vérin. Sur la tête du piston ou du vérin, on dispose un plateau qu'on élève ainsi jusqu'à ce qu'il vienne en contact avec le fond puis en enlève les clavettes de celui-ci et on abaisse le tout ; le fond est alors déposé sur un wagonnet et remplacé par l'autre tout préparé.

Souvent on donne au fond une forme telle que le joint soit plus ouvert du côté de la boîte à vent que du côté de la cornue (convertisseur Holley, figure 235) ; cette disposition permet de bourrer plus facilement avec des matières réfractaires.

Dans ce cas, le fond est toujours accompagné de la boîte à vent qui porte sur son pourtour des oreilles correspondant aux boulons qui doivent la fixer à la cornue. De cette façon, le joint du fond

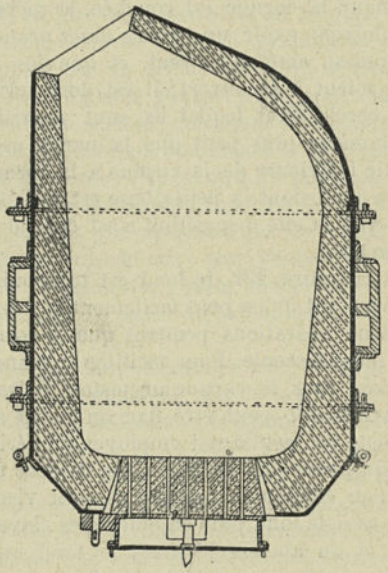


Fig. 235. Convertisseur Holley.

n'est masqué qu'aux endroits de ces oreilles, on met donc le fond en place, comme à l'ordinaire, sans enduire le joint de mortier, et on place les clavettes ; après, on tourne l'appareil de 180° pour

amener le fond à la partie supérieure et on garnit le joint du dehors d'un coulis réfractaire. Grâce à ce système, on a pu augmenter considérablement la production des aciéries ; le convertisseur Holley est employé dans un grand nombre d'usines, aussi bien pour les cornues acides que pour celles garnies de matières basiques.

Plus tard, le même inventeur Holley a adopté une autre disposition à joint plat (fig. 236) beaucoup plus facile ; il suffit d'enduire d'un coulis épais les deux surfaces qui doivent être mises en contact et serrer à l'aide de clavettes.

Quand il faut renouveler le garnissage complet d'un convertisseur, il est utile, surtout en marche acide, de transporter la cornue dans un atelier spécial de réparation où elle subira aussi l'étuvage. Pour faciliter le transport, on partage souvent la cornue en plusieurs anneaux qu'on réunit après la fin de l'étuvage (fig. 235) ; les différentes parties sont assemblées par des boulons à clavettes traversant des cornières rivées aux enveloppes en tôle. Pour faciliter cette manœuvre, on établit souvent ces enveloppes indépendantes de l'anneau porte-tourillons qui est très lourd et qui, de plus, peut rester en place et recevoir un autre appareil préparé à l'avance. Telle est la disposition appliquée par Holley à plusieurs usines américaines et qu'on voit assez nettement sur la figure 236. Pour sortir la cornue, il suffit de renverser l'appareil et d'enlever les boulons à clavettes B. L'anneau laisse entre lui et l'enveloppe du convertisseur un vide de 20 millimètres pour permettre la libre dilatation de la cornue pendant l'opération et son enlèvement

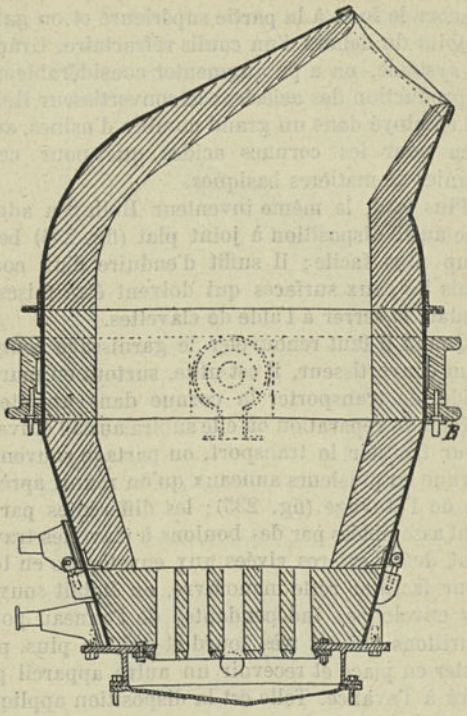


Fig. 236. Convertisseur à fond plat, des aciéries de Denain.

facile ; des vis de serrage, placées sur le pourtour de l'anneau, empêchent tout ballottement de la cornue, mais il faut avoir soin de les desserrer à mesure que l'appareil se dilate.

Le chariot qui doit recevoir la cornue renversée a une forme appropriée.

Les tuyères en terre réfractaire sont groupées, avons-nous dit, par sept ou douze (fig. 237) et placées dans le garnissage du fond ; une d'elles occupe le centre et les autres sont disposées en cercles concentriques autour de celle-ci. Il y a également une deuxième méthode de faire les tuyères et qui consiste à tracer, sur la surface que les conduits de vent doivent occuper, trois ou quatre cercles concentriques et à répartir, sur ces cercles, les emplacements que doivent occuper les conduits ; on ménage donc ceux-ci pendant la préparation des fonds en bourrant la terre autour des baguettes qui occupent la place des conduits de vent. Dans ces conditions, le vent est réparti plus uniformément sur toute la surface que lorsqu'on emploie des tuyères qui le distribuent par faisceaux.

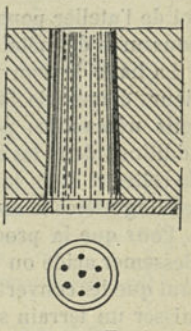


Fig. 237. Tuyère.

Une usine pour acier Bessemer, ayant une certaine importance, comprend en général au moins deux convertisseurs ; l'un d'eux sert à l'affinage d'une série de charges, tandis que l'autre est en réparation ou reçoit un autre fond mobile. Souvent, et surtout avec les revêtements basiques, on préfère avoir trois convertisseurs, ce qui permet à un moment donné d'obtenir un surcroît de pro-

duction. Auprès de deux ou trois convertisseurs se trouve une énorme poche de coulée portée par une grue hydraulique qui peut l'amener au-dessus de chacune des lingotières rangées en cercle au fond de la fosse de coulée établie dans le voisinage des convertisseurs et à 1 mètre ou 1m 50 au-dessous du sol de l'atelier pour protéger les ouvriers des éclaboussures de métal fondu.

La halle des convertisseurs doit comprendre plusieurs étages, de façon à disposer les divers appareils nécessaires pour introduire la fonte et les additions dans les cornues, pour verser le contenu de celles-ci dans la poche de coulée et couler dans les lingotières le métal obtenu.

Pour que la production journalière d'un atelier Bessemer acide ou basique puisse se développer, il faut que les convertisseurs soient placés de façon à laisser un terrain suffisant pour un grand nombre de lingotières. On a proposé, pour arriver à ce résultat, deux positions différentes, l'une adoptée en Europe et l'autre en Amérique.

Dans la disposition recommandée par Bessemer lui-même, et adoptée généralement en Europe (fig. 238), les deux convertisseurs E sont installés en face l'un de l'autre et la fosse de coulée F entre eux en forme de demi-cercle. Une grue G portant la poche et décrivant un cercle complet reçoit le métal et le répartit dans les moules. Sur les bords de la fosse sont déposées deux ou trois grues K pour la manœuvre des lingots et des lingotières. La fonte est reçue de deux cubilots D ou des fours à réverbère C ; un cubilot *d* plus petit (souvent même deux) sert à la fusion du spiegeleisen de

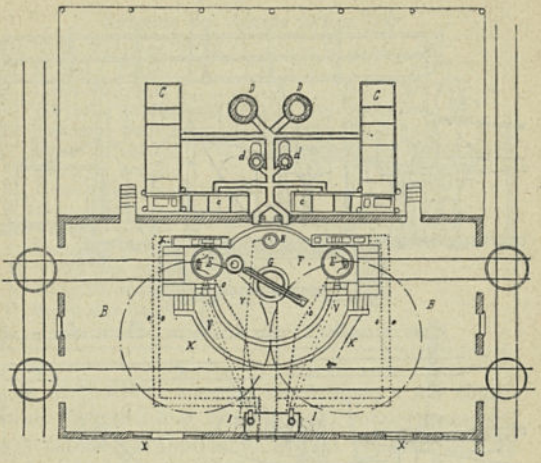


Fig. 238. Atelier Bessemer, type anglais.

Légende

A, Terrasse des fours de fusion.
B, Atelier Bessemer (1m 10 au-dessus de la terrasse).
C, Four à réverbère pour fonte grise.
C C, Fours à spiegeleisen.
D, Cubilots.
D D, Cubilots à spiegeleisen.
E, Convertisseur.
F, Fosse de coulée (1 mètre de profondeur).
G, Grue de coulée.
H, Fourneau à poche.
I, Banc de manœuvre.
K, Grues à lingots.
O, Conduites d'eau comprimée.
V, Conduite de vent.
X, Machines hydrauliques et soufflerie.

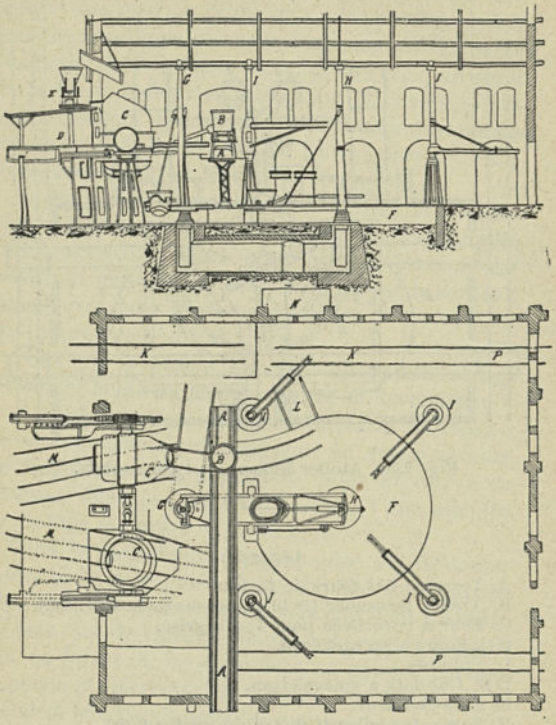


Fig. 239 et 240. Plan et coupe d'un atelier Bessemer, type américain.

l'addition finale. Le diamètre de la fosse de coulée est de 6 à 9 mètres, suivant l'importance de l'usine.

Légende des figures 239 et 240

A, Voie d'arrivée de la fonte sur la passerelle.
B, Poche à fonte.
C, Convertisseur.
D, Terrasse de chargement des convertisseurs.
E, Terrasse pour la chaux en travail basique.
F, Fosse de coulée (1m 20 au-dessous du sol de l'atelier).
G, Grue de recette.
H, Grue centrale de coulée.
I, Grue à lingots.
K, Voie de poche.
L, Tréteaux pour manœuvre de poches.
M, Voies des convertisseurs.
N, Banc de manœuvre.
P, Voies des lingots.

La disposition adoptée en Amérique est représentée figures 239 et 240 ; les deux convertisseurs C sont placés parallèlement et peu éloignés l'un de l'autre ; la fosse de coulée F occupe alors les 4/5 de la circonférence, on peut, par conséquent, y loger plus de lingotières ; un monte-charges hydraulique est destiné à élever la poche remplie de fonte quand les cubilots sont bas ; si les cubilots sont installés sur une plate-forme surélevée, ce monte-charges est supprimé et remplacé par une voie d'arrivée A.

Les figures 241, 242, 243 représentent l'aciérie basique de Peine (Hanovre) construite en 1885. La fonte, venant des cubilots C par un chenal, est reçue dans les convertisseurs placés en ligne droite. Le plancher de chargement des cubilots est utilisé également pour faire, dans les cornues, les additions de chaux qui sont indispensables en marche basique ; à cet effet, chaque convertisseur

est surmonté d'une trémie T qui correspond à son ouverture supérieure, lorsqu'on a donné à la cornue une faible inclinaison en arrière, en l'écartant de la hotte ; de cette façon, la trémie n'est pas constamment au milieu de la flamme. R est le banc de manœuvre où sont réunis tous les leviers

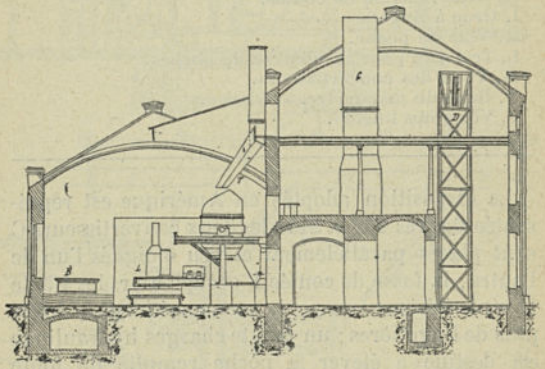


Fig. 241. Atelier Bessemer basique de Peine (Hanovre) (coupe transversale).

des appareils hydrauliques ; de cette place on doit voir tous les appareils ; en-dessous est une galerie pour la canalisation de l'eau sous pression.

L'espace voûté au-dessous des cubilots sert à emmagasiner les matières ; on l'utilise également pour les manœuvres de changement des fonds et la circulation des wagonnets emmenant les scories. Les hottes qui amènent au dehors les fumées et flammes sortant des gueules des cornues, sont

garnies intérieurement de matières réfractaires.

Les lingotières K sont rangées dans une fosse de coulée K' rectiligne.

Depuis un certain nombre d'années, on a adopté les mélangeurs de fonte ayant une capacité suffisante pour contenir plusieurs coulées du haut

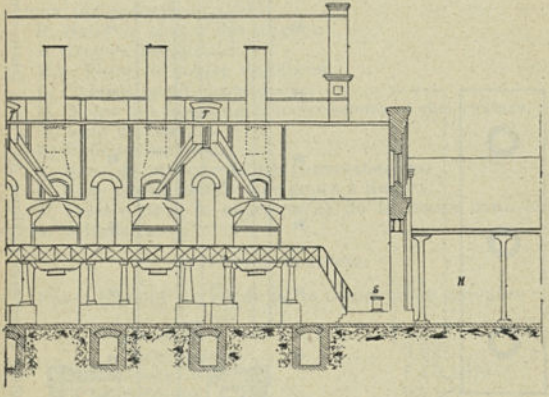


Fig. 242. Atelier Bessemer basique de Peine (Hanovre) (coupe en long).

fourneau ; on économise ainsi les frais de deuxième fusion et on évite d'avoir des fontes variables dans leur composition d'une opération à l'autre. Dans ce cas, on transporte la fonte à l'aide d'une poche portée sur un wagon qu'on élève à la hauteur convenable à l'aide d'un appareil hydraulique, pour la verser directement dans le convertisseur.

Marche de l'opération. — Nous avons dit que

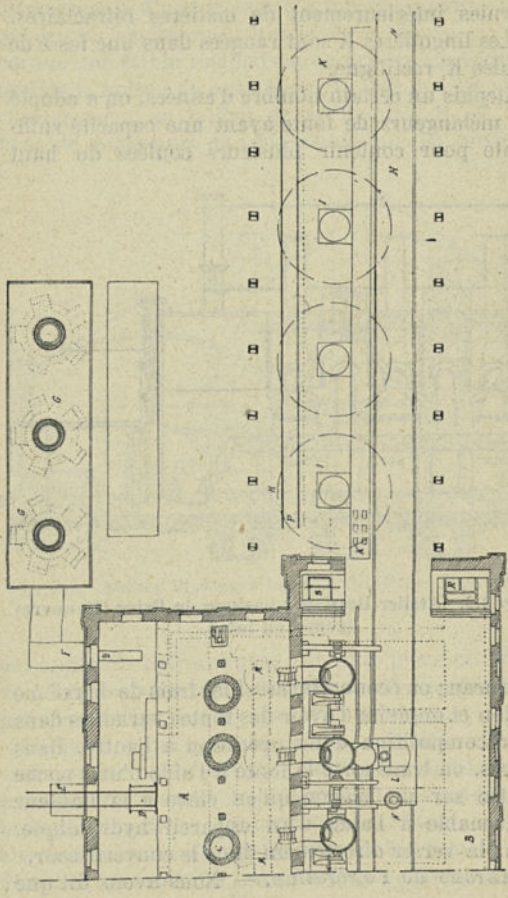


Fig. 243. Atelier Bessemer basique de Peine (Hanovre).

Légende de la figure 243

A, Fonderie de deuxième fusion.
B, Halle de Bessemerage.
C, Cubilots.
D, Monte-charges pour la fonte en gueusets, le coke, etc.
E, Bascule de pesage.
F, Monte-charges pour la chaux.
G, Trois fours à chaux de 7m 70 à cinq foyers, avec deux plates-formes en fer.
H, Halle de coulée des lingots.
I, Grues à lingots.
K K, Fosse de coulée rectiligne.
L, Chariot, grue, porte-poche.
M, Voies des fonds de convertisseurs et des crasses.
N, Voie de chariot.
P, Voie des lingots
R, Banc de manœuvre des convertisseurs.
S, Banc de manœuvre des grues à lingots.
T, Trémie pour le chargement de la chaux dans les convertisseurs.

FONTES TRAITÉES

Fonte blanche de Ilsède de la composition suivante :

Carbone	3 0/0
Phosphore	3 0/0
Manganèse	2 à 2,5 0/0
Silicium	0,5 0/0
Soufre	0,1 0/0

---

la fonte à transformer en fer ou en acier fondu peut être prise directement au haut fourneau et transportée dans une poche montée sur roues jusqu'à la cornue ; elle peut être prise également liquide au cubilot ou encore fondue dans des fours à réverbère, quoique très rarement. On donne la préférence au premier procédé pour éviter les frais de deuxième fusion, mais on doit toujours installer

des cubilots afin de ne pas se trouver obligé d'arrêter l'atelier Bessemer toutes les fois que, pour une raison quelconque, il y a interruption dans la marche des hauts fourneaux.

Choix de la fonte pour le procédé acide. — Pour le traitement dans une cornue à revêtement acide, la fonte doit être très siliceuse : 0,6 à 2 0/0.

La teneur en phosphore doit être d'autant plus faible que le produit qu'on veut obtenir devra contenir plus de carbone, car cet élément ne s'élimine pas par la conversion ; on n'en admet jamais plus de 0,10 0/0.

La quantité de manganèse doit être comprise entre 0,5 et 2 0/0 ; 1 0/0 semble préférable ; sa présence a pour effet de réduire l'oxydation du fer ; elle s'oppose donc à l'absorption du protoxyde de fer et à ce que le métal devienne rouverin et dégage une quantité considérable de gaz pendant la solidification. Le manganèse donne également des scories plus fluides, moins collantes par conséquent sur les revêtements réfractaires ; comme sa combustion développe plus de chaleur que le fer, il élève la température du bain et permet d'obtenir un métal suffisamment chaud, même avec faible teneur en silicium.

Si la proportion du manganèse est très forte, les revêtements sont attaqués et le manganèse passe tout entier dans la scorie, entraînant un déchet supplémentaire.

La proportion de carbone varie de 3,5 à 4 0/0 s'il y en a davantage, cela ne présente pas d'autre inconvénient que de prolonger la durée de l'opération et d'exiger plus de vent.

Choix de la fonte pour procédé basique ou Thomas. — La fonte qu'on traite dans le convertisseur basique doit contenir 0,5 0/0 au maximum de silicium, de 1,8 à 2,5 0/0 de phosphore et de 1 à 2 0/0 de manganèse. Si la teneur en phosphore est inférieure à 1,8 0/0, il faut ajouter dans la fonte un peu plus de silicium pour compenser et assurer une température suffisante ; on obtient alors une scorie moins phosphoreuse. Cette scorie a une certaine valeur ; elle se vend d'autant plus cher qu'elle contient plus d'acide phosphorique ; il en résulte qu'il est plus avantageux de traiter des fontes riches en phosphore et pauvres en silicium.

Le manganèse a l'avantage d'élever la température dès le début de l'opération ; c'est un résultat d'autant plus intéressant que les fontes contiennent peu de silicium et que l'oxydation du phosphore ne s'opère qu'après le départ du carbone.

La proportion du carbone est entre 3 et 3,5 0/0.

Il faut tenir compte de la perte que subit la fonte dans sa refonte au cubilot, tant en silicium qu'en manganèse. Cette différence de teneur entre la fonte chargée et celle qui sort du cubilot est d'autant plus grande qu'on consomme moins de combustible à la deuxième fusion ; on la diminue donc en employant plus de coke.

Chauffage préalable du convertisseur. — La fonte, prise au cubilot ou au haut fourneau, arrive dans le convertisseur préalablement chauffé jusqu'au rouge blanc, en y brûlant du coke sous l'action d'un faible vent ; lorsque le degré de chaleur voulue est atteint, on couche l'appareil horizontalement de sorte que la charge peut se

loger dans le ventre de la cornue sans pénétrer dans les tuyères. Dès que la charge est complète, on redresse la cornue et on donne le vent, l'affinage commence. Le vent arrive aux tuyères et, dès lors, le bain de fonte, d'une hauteur de 30 à 40 centimètres, se trouve sillonné de bas en haut par 100 ou 200 jets de vent ; il en résulte une vive oxydation des éléments combustibles et on constate, dans un espace de temps relativement assez court, la succession des deux phénomènes qui se remarquent dans tous les procédés d'affinage du fer brut, c'est-à-dire la *scorification et la décarburation* ; il ne faut pas croire que le silicium et les métaux sont seuls oxydés dans la première opération et le carbone dans la deuxième, cela veut dire simplement que le silicium, le manganèse et une partie de fer sont surtout oxydés à l'origine et le carbone vers la fin.

III. AFFINAGE

On reconnaît donc, dans le procédé Bessemer, une première période relativement paisible où l'oxygène de l'air forme surtout des oxydes fixes, puis une deuxième phase pendant laquelle il se produit plutôt des oxydes gazeux, c'est-à-dire de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique qui soulèvent la masse métallique et y déterminent une sorte de vif bouillonnement.

Dans la première phase de l'opération il n'y a, en effet, pas de flamme proprement dite au bec du convertisseur ; il en sort seulement un courant gazeux peu éclairant, d'une couleur rougeâtre,

presque exclusivement formé d'azote mêlé d'étincelles rouges et blanches, dues aux globules scoriacés et métalliques que le vent entraîne au dehors ; on entend à l'intérieur un bruit de clapotement provenant du passage de l'air à travers la masse métallique. Peu à peu, on voit sortir une flamme d'un jaune orange avec stries rouges et bleues qui grandit et blanchit peu à peu et devient finalement longue et brillante ; les étincelles diminuent en nombre et en grosseur. C'est la combustion du carbone qui commence. Les étincelles plus fines sortent en traînées presque continues ; le bruit du vent augmente aussi et, au sifflement du courant gazeux, s'ajoutent des détonations en quelque sorte continues, dues à la combustion plus ou moins intermittente de l'oxyde de carbone. Grâce au dégagement des gaz carburés, la masse fluide monte et bouillonne, parfois elle déborde au dehors et il se produit des projections tumultueuses de scories et de métal fondu. C'est la période de décarburation, due aussi bien à l'action directe du vent sur la fonte qu'à celle de l'oxyde de fer sur le carbone en dissolution, car les scories sont toujours, dans l'appareil Bessemer, fortement siliceuses et, par suite, peu oxydantes. A mesure que le carbone disparaît, l'ébullition se calme, la flamme redevient moins longue et passe du blanc pur au blanc mêlé de stries d'un bleu lilas. A ce moment aussi, et souvent même dès la période de la décarburation, la flamme est accompagnée d'une abondante fumée qui, d'abord blanche, prend bientôt une nuance rousse et dépose alors une poussière très fine de fer peroxydé mêlé de silice

et d'oxyde de manganèse. A ce moment, souvent les étincelles prennent une belle teinte lilas violacé plus ou moins intense ; à mesure que l'opération s'avance, la température devient plus élevée au sein de la masse ferreuse ; le métal est plus fluide et laisse plus facilement passer le vent. Aussi, à l'origine, le manomètre accuse-t-il souvent un excès de pression de 70 à 80 centièmes d'atmosphère et même parfois une atmosphère entière, tandis que vers la fin cet excès sur l'air extérieur descend à 40 ou 45 centièmes d'atmosphère.

N'oublions pas que, lorsqu'on opère par le procédé Thomas, on ajoute à la charge de fonte, avant de donner le vent, une certaine quantité de chaux vive qui s'élève à 13 ou 18 0/0 du poids de la fonte. Parfois, cependant, on ne jette dans la cornue, tout d'abord, que les deux tiers de la quantité de chaux nécessaire et on ajoute le reste vers la fin du soufflage, après avoir enlevé la scorie phosphoreuse qui s'est formée jusqu'à ce moment. La chaux est ordinairement introduite au moyen d'un entonnoir qui aboutit à l'orifice du col de la cornue lorsqu'elle est verticale. On n'emploie jamais le calcaire parce que sa décomposition absorberait de la chaleur et refroidirait le métal.

La fin de l'opération varie suivant qu'on travaille par le procédé acide ou par le procédé basique, suivant aussi la nature du métal que l'on veut obtenir. Lorsque les fontes sont pures, manganésifères, peu siliceuses, on arrête le travail lorsqu'on a atteint le degré voulu de décarburation, degré indiqué par le simple aspect de la flamme dont le volume diminue ; on opère alors la coulée dans les

lingotières. Souvent aussi on se sert d'un spectroscope qu'on braque sur la flamme. Il a été constaté, en effet, que lorsqu'on traite constamment des fontes de même nature, le spectre éprouve toujours les mêmes changements successifs. Par conséquent, si on détermine par tâtonnements quel est l'aspect du spectre qui correspond au moment où le degré de carburation voulu est atteint, on n'a plus qu'à arrêter l'opération à l'instant où cet aspect se présente. L'ouvrier placé au *banc de manœuvre* et chargé de la manœuvre des leviers, est chargé de ce travail.

Dans le cas de fontes siliceuses, on pousse l'opération jusqu'au moment où la flamme a presque entièrement disparu, ce qui donne une décarburation à peu près complète, et la persistance de l'oxyde de fer au sein de la masse en fusion. Arrivé là, on procède au *raffinage*, c'est-à-dire aux *additions finales*. A cet effet, on abaisse la cornue, ce qui suspend l'arrivée de l'air, puis on introduit, par le bec du convertisseur, la substance propre à réduire l'oxyde de fer. Cette substance additionnelle est de la fonte spéculaire manganésifère dans la proportion de 5 à 10 0/0, ou bien du ferro-manganèse dans la proportion de 1 à 3 0/0. Ce dernier peut être introduit en état solide, tandis que la fonte manganésifère est toujours liquide. Cette addition provoque de nouveau une certaine ébullition due au dégagement de l'oxyde de carbone, mais son intensité est faible, vu que l'oxyde de fer est surtout réduit par le manganèse.

Lorsque l'ébullition est terminée et le métal raffiné suffisamment homogène, on le coule par le bec

de la cornue dans la grande poche portée par la grue d'où on le distribue dans les lingotières.

Dans certaines usines, on avait l'habitude de relever un instant la cornue après l'addition du métal réducteur, croyant rendre le métal plus homogène, mais l'expérience a prouvé depuis que cette précaution était inutile et même nuisible, car ce nouveau soufflage d'une ou deux minutes oxyde en pure perte un peu de carbone et de manganèse et oblige à augmenter d'autant la dose du métal réducteur. L'addition du ferro-manganèse est faite en vue de réduire l'oxyde de fer provenant de l'affinage ; en outre, on a un but : c'est de laisser dans le métal final plus ou moins de carbone et de manganèse.

Le spiegeleisen qu'on ajoute dans une proportion de 2 à 10 0/0 de la fonte traitée est fondu préalablement dans un petit cubilot ; la fusion fait perdre un peu de manganèse, ce dont il faut tenir compte en calculant le poids de l'addition ; le plus souvent, d'ailleurs, on introduit également ce spiegeleisen sans le fondre.

Le bouillonnement est plus fort avec un métal plus décarburé, la réaction est plus vive, surtout si on introduit du spiegeleisen ; dans ce dernier cas, il est arrivé que tout le contenu de la cornue a été chassé par la trop brusque production de gaz comme par une explosion, au moment où on faisait une addition de spiegeleisen en fusion dans un bain à très haute température.

Caractères indiquant la fin de l'affinage. — Nous avons dit plus haut que si on a des fontes pures, c'est-à-dire simplement manganésées, on

arrête le travail de l'affinage lorsqu'on juge la décarburation suffisante à l'aspect de la flamme ; mais il est prudent dans ce cas d'affiner à outrance, sauf à réduire à nouveau par le manganèse, car il est très difficile d'arrêter l'opération au moment précis où le bain métallique a atteint le degré voulu de décarburation. Le travail marche si vite qu'une ou deux minutes de plus ou de moins peuvent modifier notablement la teneur en carbone. Il faut donc, dans ce cas surtout, pouvoir apprécier le moment convenable pour renverser la cornue. Avec un peu d'habitude, le simple aspect de la flamme dont le volume diminue vers la fin peut suffire pour marquer les progrès de l'affinage ; dans beaucoup d'usines, on se contente de ce simple signe. Cependant, il est plus prudent de se servir du spectroscope et, au besoin, d'avoir recours aussi à une prise d'essai des scories telle qu'elle se pratique en Autriche.

Ce dernier essai consiste à coucher un instant la cornue, de façon que les tuyères soient hors du bain, à arrêter le vent et à plonger dans le bain une barre de fer légèrement chauffée que l'on retire aussitôt ; une mince pellicule scoriacée se fige sur la palette ; on hâte son refroidissement par l'eau, puis on constate la nuance plus ou moins foncée de la surface externe de la scorie. Tant que le bain est encore carburé, cette nuance est claire et gris cendre ; à mesure que le carbone diminue, l'oxyde de fer augmente dans la scorie et la couleur passe du jaune au brun, puis au noir. La cassure est d'un blanc verdâtre clair à l'origine, et vert olive vers la fin ; si, d'après ces indices, on

juge que l'affinage doit être continué, on relève la cornue et on souffle encore une ou deux minutes ; à la palette du ringard s'attachent aussi des globules d'acier dont on peut apprécier le degré de carburation par l'effort qu'ils exigent pour être aplatis sous le marteau.

Fin de l'opération du procédé basique. — La fin de l'opération dans le procédé basique Thomas est tout à fait différente de la précédente ; l'élimination du phosphore ne s'obtient complètement que lorsque le carbone n'existe plus dans le bain qu'à très faible dose.

On continue donc le soufflage après que le carbone a été presque complètement brûlé, c'est l'opération, connue sous le nom de *période de sursoufflage*, ayant pour but de transformer le phosphore en acide phosphorique. Le temps de sursoufflage nécessaire pour amener la réduction de la quantité de phosphore à ce qu'on la désire n'est pas fixe. Généralement, cinq à six minutes suffisent à partir du moment où la flamme a disparu. Dans certaines usines, on arrête l'opération après quelques minutes en nombre fixe, dans d'autres on prend, pour base de la durée de ce soufflage supplémentaire, la quantité de vent lancé, c'est-à-dire le nombre de coups de piston de la machine ; on obtient ainsi une exactitude généralement suffisante.

Comme la teneur en phosphore varie dans les fontes, on s'assure du degré de déphosphoration obtenu dans le métal avant de faire l'addition finale ; on couche donc le convertisseur, on prend, à l'aide d'un cuiller, une petite quantité de métal

qu'on coule dans une lingotière, puis on forge rapidement cette éprouvette sous le pilon sous la forme d'un disque plat ou d'une barrette aplatie, on la trempe dans l'eau et on l'essaie au pliage ; elle doit se plier complètement sur elle-même sans craquer, puisque la dose de carbone est toujours inférieure à 0,1 0/0. La cassure doit être à grains fins. La durée de cet essai étant très courte (quelques minutes), le métal contenu dans la cornue, recouvert d'une couche de scorie, n'a pas le temps de se refroidir ; si le résultat de l'essai est satisfaisant, on commence par faire tomber la scorie dans une poche spéciale, puis on fait l'addition du ferro-manganèse ou du spiegeleisen.

Si on a une cassure à gros grains, cela prouve que le métal renferme encore du phosphore, on relève la cornue et on continue à souffler pendant un moment

On a le soin de verser le ferro-manganèse après qu'on a enlevé la scorie, car si elle était dans le bain, le carbone de l'addition réduirait l'acide phosphorique et le phosphore repasserait dans le produit final.

Après l'addition finale, on verse le métal dans la grande poche de coulée.

Allure froide et chaude d'un convertisseur. — *Allure froide.* La température qui se développe dans un convertisseur n'est pas toujours celle qu'il faudrait pour la bonne marche de l'opération. L'allure devient froide, soit parce que la température initiale de la fonte a été insuffisante, soit parce que la teneur en éléments combustibles susceptibles de développer beaucoup de chaleur

n'a pas été assez élevée, soit parce que le convertisseur lui-même a été mal préparé par un chauffage trop précipité, soit que le soufflage a été languissant, pas assez énergique.

L'allure froide provoque la projection de grosses étincelles formées de gouttelettes de métal peu fluide que les gaz entraînent hors de l'appareil; le vent éprouve plus de résistance à traverser le bain, la soufflerie se ralentit, la pression augmente; le métal se fige plus ou moins sur les orifices du vent, le bouillonnement est retardé parce que, à basse température, la combustion du carbone ne se fait pas aussi vite et, en même temps, parce que la quantité de vent qui traverse la fonte est moindre, puisque les orifices des tuyères sont en partie obstrués.

Dans ce cas, quand on renverse la cornue, on constate que la scorie est peu fluide et s'attache aux parois; au moment de l'addition du spiegeleisen, il ne se produit qu'une flamme courte, le dégagement de gaz est insignifiant; le métal est pâteux et se fige rapidement, il obstrue le trou de coulée de la poche et on est obligé de renverser celle-ci pour la débarrasser du métal qu'elle contient; on y trouve alors un *fond de poche*, c'est-à-dire une croûte de métal restant collée aux parois.

Lorsque le préposé à l'opération reconnaît la présence d'une allure froide, il y remédie dans une certaine mesure en augmentant le volume de vent introduit dans l'unité de temps; on réussit d'une manière plus sûre en faisant des additions de ferrosilicium riche ou d'aluminium si cela ne nuit pas à la qualité du produit final. On a essayé égale-

ment de souffler avec du vent chaud, mais les fonds des cornues sont plus rapidement usés et les frais, par conséquent, sont augmentés.

Allure trop chaude. — L'allure est trop chaude quand la température de la fonte est trop élevée ou si sa teneur en silicium est trop grande. On a alors une flamme transparente, plus bleuâtre qu'en allure normale, elle disparaît plus graduellement; le bruit dans l'intérieur du convertisseur est moins violent et, pour la même vitesse de la soufflerie, la pression reste plus basse, vu que le métal est plus fluide. Pendant l'addition du spiegeleisen, un bouillonnement très vif se produit avec une longue flamme terminée en pointe. Le revêtement de l'appareil est fortement attaqué, la composition du produit final ne répond pas toujours à ce que l'on se proposait.

Pour ramener une allure trop chaude à une allure normale, il suffit d'ajouter dans le bain métallique du fer ou de l'acier à l'état solide, qui entre en fusion aux dépens de l'excédent de chaleur. On se sert pour cela des *scraps* ou *débris* des opérations précédentes, des bouts de rails, etc.

Composition des scories. — Les scories des opérations Bessemer acide ou basique sont moins ferrugineuses que celles qui se produisent dans la fabrication du fer ou de l'acier par soudage. La haute température qui règne dans le convertisseur exalte l'affinité du carbone pour l'oxygène, de telle sorte que le protoxyde de fer provenant de l'oxydation produite par le passage de l'air au milieu du métal en fusion, est en majeure partie réduit par le carbone du bain et qu'il se forme de l'oxyde

de carbone, tandis que dans les procédés de soudage c'est par la décomposition partielle du peroxyde $Fe^2 O^3$ que se fait la combustion du carbone.

D'autres éléments étrangers sont ajoutés aux scories par le garnissage des cornues et l'addition de chaux ; ces éléments diminuent d'autant la proportion de fer et c'est grâce à la haute température qui règne dans l'appareil qu'on obtient, malgré cela, une décarburation aussi rapide.

Les scories renferment d'autant plus de fer que la décarburation est plus avancée ; c'est ce qui se remarque surtout pendant le sursoufflage dans les opérations basiques ; mais elles sont moins ferrugineuses si on opère à très haute température, parce que l'affinité du carbone pour l'oxygène devenant plus forte, à mesure que la température s'élève, le peu de carbone qui reste encore dans le bain protège mieux le fer contre l'oxydation et parce que le garnissage est plus détérioré, de sorte que les matières qui le composent passent en plus grande quantité dans la scorie.

Le manganèse passe presque complètement dans la scorie au poids de laquelle il s'ajoute ; il protège le fer contre l'oxydation et prend sa place dans la scorie.

Dans les scories des opérations acides, le fer n'existe que sous la forme de protoxyde, car les autres oxydes sont plus stables et se décomposent en présence du fer en excès. Dans les scories des opérations basiques, le fer se trouve sous forme de protoxyde et de sesquioxyde, mais on ne sait si ce dernier ne s'est pas formé pendant le refroidissement.

La silice des scories provient du silicium de la fonte, de la silice que renferme la chaux des opérations basiques et du garnissage des convertisseurs acides.

Les scories d'opérations basiques sont plus sulfureuses que celles des opérations acides, parce que dans ces dernières on n'admet pas de fontes dont la teneur en soufre dépasse 0,1 0/0.

L'acide phosphorique se trouve seulement dans les scories du procédé basique ; sa proportion dépend de la teneur de la fonte en phosphore et du rapport entre le poids de la fonte et celui de la scorie ainsi que de l'importance des additions. On a souvent remarqué que des morceaux de chaux qu'on retirait du convertisseur avant leur dissolution dans le bain, avaient absorbé du phosphore.

Composition des gaz. — Les gaz qui s'échappent du convertisseur ont une composition qui subit des variations pendant la durée du soufflage.

L'air qui traverse le bain se compose, comme on sait, de :

Azote	79
Oxygène	21

ou, ce qui revient au même, de :

Azote	100
Oxygène	26.5

L'azote ne subit aucune transformation, l'oxygène est employé entièrement, ou en grande partie, à opérer la combustion du silicium, du manganèse, du fer, du carbone et du phosphore ; ce dernier élément ne s'oxydant que dans les opérations basiques.

Les produits de la combustion du carbone se retrouvent dans les gaz sous forme d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone. Le volume d'acide carbonique est égal à celui de l'oxygène qui entre dans sa composition, tandis que celui de l'oxyde de carbone est le double de celui de son oxygène; le produit de la combustion des autres éléments contenus dans la fonte se retrouve dans les gaz. Quand les gaz renferment de l'acide carbonique, cela veut dire qu'une partie de l'oxygène de l'air traverse le bain métallique sans être utilisé ; cela arrive quand la température est trop basse ou quand on souffle beaucoup de vent en présence d'une fonte peu siliceuse.

Il n'est pas facile de régler l'admission du vent de façon que l'oxygène soit totalement absorbé, puisque l'affinité de tous les éléments de la fonte pour l'oxygène augmente avec la température; dans les opérations très chaudes on trouve très peu d'oxygène libre.

L'acide carbonique ne se produit pas dans la masse métallique; il provient, sans doute, de la combustion de l'oxyde de carbone par l'oxygène libre en dehors du métal.

On rencontre également de la vapeur d'eau dans les gaz des convertisseurs, elle provient de l'humidité de l'air insufflé. Lorsqu'on connaît la quantité d'azote et d'hydrogène qui se trouvent dans le gaz du convertisseur, on peut en conclure l'oxygène fourni au métal, et, si on trouve dans ce gaz moins d'oxygène que le calcul n'en indique, cela prouve qu'une partie a été employée à oxyder du fer, du silicium, du manganèse ou du phosphore,

Si, au contraire, la quantité trouvée dépasse celle que donne le calcul, c'est l'indice d'une décomposition partielle d'oxyde de fer produit antérieurement et qui a été réduit par le carbone. Ce phénomène se présente lorsque la température s'élève pendant l'affinage. Nous donnons ci-dessous un exemple sur une opération dans laquelle on a traité une fonte très siliceuse, la température étant faible au début. Les chiffres expriment des volumes :

Nature des gaz de la cornue	Après soufflage de					
	2'	4'	6'	10'	12'	14'
Oxygène. . . .	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acide carbonique. . . .	9.12	8.57	8.05	3.58	2.38	1.34
Oxyde de carbone	0.06	3.95	4.58	19.59	29.44	31.11
Hydrogène. . .	0.00	0.88	2.00	2.00	2.16	2.00
Azote	90.31	86.58	85.37	74.83	66.02	65.55

Si on veut calculer la quantité d'oxygène absorbé par le métal pendant les différentes phases de l'opération, on opère ainsi :

Deux minutes après le commencement du soufflage, le bain métallique recevait une quantité d'oxygène correspondant à 90,31 d'azote, soit :

$$\frac{90.31}{100} \times 26.5 = 23.93 \text{ vol.}$$

Il n'y a pas d'hydrogène et, par conséquent, il n'y a pas eu de décomposition de vapeur d'eau.

Au même moment, les gaz contenaient :

Oxygène libre.	0.51
— de CO^2	9.12
— de CO.	0.03
	9.66

Le silicium, le fer, le manganèse absorbaient donc à ce moment précis 23.93 — 9.66 = 14.27 volumes d'oxygène.

Dix minutes après le commencement du soufflage, le bain recevait un volume d'oxygène correspondant à 73,83 d'azote, c'est-à-dire :

$$\frac{73.83}{100} \times 26.50 = 19.8 \text{ vol.}$$

et une autre quantité d'oxygène correspondant à 2 volumes d'hydrogène, soit 1 volume.

Le convertisseur recevait donc 19.8 + 1 = 20,8 volumes.

Les gaz contenaient :

Oxygène de 3.58 de CO^2	3.58
— de 19.59 de CO	9.79
	13.37

Par conséquent le silicium, le manganèse et le fer absorbaient à ce moment : 20.8 — 13.37 = 7.43 volumes d'oxygène. Du reste, les analyses montrent que la température s'élève par suite de l'oxydation du silicium, la proportion de CO augmente tandis que celle de CO^2 diminue.

Résultats de l'opération d'affinage

Déchets de l'opération Bessemer. — Le déchet qui résulte de l'affinage de la fonte par le vent dépend de la composition de la fonte, de celle du produit que l'on veut obtenir et de la manière dont la conversion est conduite. Une partie de ce déchet provient des projections de métal pendant le bouillonnement ; elles sont d'autant plus fortes que le rapport entre la capacité de la cornue et le volume occupé par le métal liquide est plus petit.

On obtiendra moins de rendement quand les fontes contiennent plus de corps à éliminer : silicium, carbone, manganèse, phosphore. La fusion au cubilot est également une cause de perte de métal, le déchet total est donc plus grand quand la fonte est refroidie que lorsqu'elle est prise directement au haut fourneau.

De même quand on prolonge le soufflage jusqu'à décarburation totale et même au delà, comme dans le procédé basique, on oxyde une plus grande quantité de fer, et le poids du produit final est réduit.

Dans le procédé acide, le déchet est en moyenne de 12 0/0, il peut s'élever à 16 0/0 et descendre à 8 0/0.

Le procédé basique entraîne une perte plus grande de métal ; grâce au sursoufflage, on ne retire que 85 0/0.

Main-d'œuvre. — Le personnel ouvrier d'un atelier Bessemer, acide ou basique, se compose de la manière suivante :

Fondeurs attachés aux cubilots et leurs aides ;

Ouvriers chargés du service des cornues ;

Ouvriers chargés du service de la fosse de coulée, de l'installation des lingotières, de la manœuvre des lingots, de l'enlèvement des scories, etc., et de la poche de coulée.

Le nombre d'ouvriers varie de cinquante à trois cents, suivant l'importance de l'atelier et la production qu'on veut obtenir.

La dépense de main-d'œuvre par tonne de lingots est ordinairement comprise entre 2 fr. 50 et 2 fr. 75, elle s'élève à 10 francs si la production est faible.

La dépense occasionnée par les lingotières est comprise entre 1 fr. 25 et 2 fr. 50 par tonne, ce qui correspond à une consommation de 15 à 20 kilogrammes de fonte moulée par tonne de lingots.

L'entretien du convertisseur et des fonds coûte de 1 fr. 885 à 3 fr. 76 par tonne. Dans les cornues basiques, il faut 35 kilogrammes de dolomie et 3 kilogrammes de goudron par tonne de lingots.

Les frais de fabrication s'élèvent donc par tonne à 22 fr. 50 dans le procédé acide, et à 27 fr. 50 dans le procédé basique, lorsque la fonte est prise directement dans le haut fourneau ; il faut y ajouter 5 francs lorsqu'elle est refondue au cubilot.

Ainsi, pour le procédé acide, on a :

1.100 kilogr. de fonte à 75 fr.	82 fr. 50
8 kilogr. de ferromanganèse à 200 fr.	1 fr. 60
Frais de fabrication.	22 fr. 50
Prix de revient.	106 fr. 60

Pour le procédé basique, on a :

1.165 kilogr. de fonte à 65 fr.	75 fr. 35
8 kilogr. de ferromanganèse à 200 fr.	1 fr. 60
Frais de fabrication..	27 fr. 50
Prix de revient.	102 fr. 85

Bénéfice des scories.. 2 fr. 50 par tonne de lingots.

On obtient 250 kilogr. de scories par tonne de lingots.

IV. PETITS CONVERTISSEURS

Si l'emploi des cornues Bessemer de huit à quinze tonnes présente des avantages incontestables pour les grandes usines, il est non moins utile, pour les usines de moyenne importance, d'établir, à côté de la fabrication de la fonte, celle de l'acier fondu en petite masse, à l'aide de convertisseurs d'un bien moindre tonnage. On peut objecter, il est vrai, que les autres procédés d'élaboration des aciers, et notamment le procédé Martin-Siemens, peuvent se prêter aisément à de pareilles exigences; car on peut construire des fours de dimensions très réduites. Or, dans ce procédé, l'affinage ne peut se faire en se servant exclusivement de fonte; on doit nécessairement compléter le bain par des additions de métal plus doux ou de matières premières pour les petites usines.

L'idée est donc venue de traiter la fonte seule dans des convertisseurs de petites dimensions, analogues à la cornue Bessemer. L'épaisseur du bain métallique à brasser par l'air insufflé étant moins considérable que dans les grandes cornues, on peut donner à cet air une pression moindre, et réaliser de ce fait une économie sur les frais d'ins-

tallation des machines soufflantes. Dans certains types de convertisseurs, on a été plus loin encore dans cet ordre d'idées, en introduisant latérale-

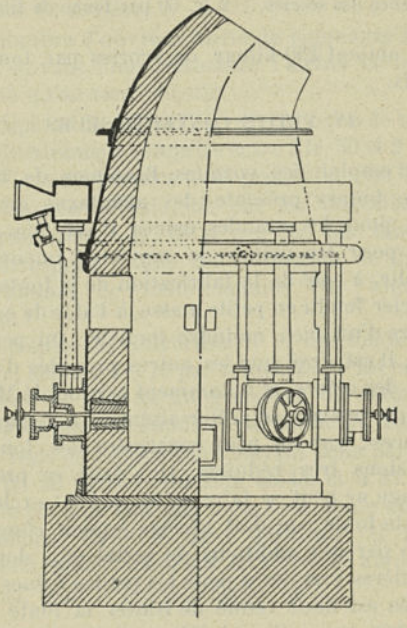


Fig. 244. Convertisseur Clapp et Griffiths de 2 tonnes (coupe verticale).

ment le vent par un seul côté, presque au niveau de la surface du bain. Ces petits appareils permettent de fabriquer des pièces de moyen tonnage

pour le matériel agricole et celui des chemins de fer, soit par voie de moulage, soit par voie de coulée en lingots. Parmi ces petits convertisseurs, nous allons décrire ceux de Clapp et Griffiths, de Robert et celui de Walrand-Légénisel.

Appareil Clapp et Griffiths

Il consiste essentiellement en un convertisseur fixe de 2,000 à 3,000 kilogrammes de capacité, à

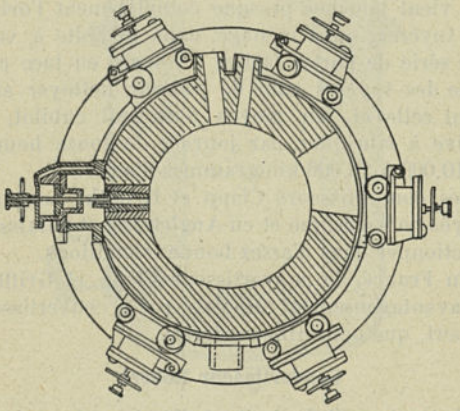


Fig. 245. Convertisseur Clapp et Griffiths de 2 tonnes (coupe horizontale).

soufflage latéral, muni d'un trou placé dans la paroi verticale au-dessus du plan des tuyères, pour permettre aux scories liquides de s'écouler pendant le travail du métal.

Le trou de coulée (fig. 244 et 245), a son origine au fond même du vide intérieur de la cornue, et débouche extérieurement au-dessous du plan des tuyères. Pour empêcher le métal d'entrer dans les tuyères, on n'arrête jamais le vent ; on se contente, quand on verse la fonte à affiner dans la cornue, d'en admettre une quantité juste suffisante pour retenir le métal liquide et s'opposer à sa sortie.

Ce résultat est obtenu à l'aide d'un obturateur, qui vient boucher presque complètement l'orifice des tuyères ; on a ménagé, dans la boîte à vent, une série de portes faciles à ouvrir, en face chacune des tuyères, afin de pouvoir nettoyer aisément celles-ci. Au moyen d'un seul cubilot, on arrive à fabriquer, par journée de douze heures, de 10,000 à 12,000 kilogrammes d'acier.

Les convertisseurs Clapp et Griffiths sont employés en Amérique et en Angleterre, et paraissent fonctionner dans d'assez bonnes conditions.

En France, le convertisseur Clapp et Griffiths est avantageusement remplacé par le convertisseur Robert, que nous allons décrire.

Convertisseur Robert

M. Gustave Robert, étant directeur des aciéries de Stenay (Meuse), imagina, en 1855, un convertisseur à soufflage latéral et de faible tonnage, qu'il a depuis appliqué dans sa fonderie d'acier de Paris et ailleurs. Le vent est introduit par des tuyères horizontales, voisines de la surface supérieure du bain de fonte, et placées obliquement par rapport à la face intérieure, sur laquelle elles

débouchent; on donne ainsi au bain un mouvement giratoire.

La cornue n'est pas fixe comme la précédente, qui reposait sur un massif en maçonnerie; elle est

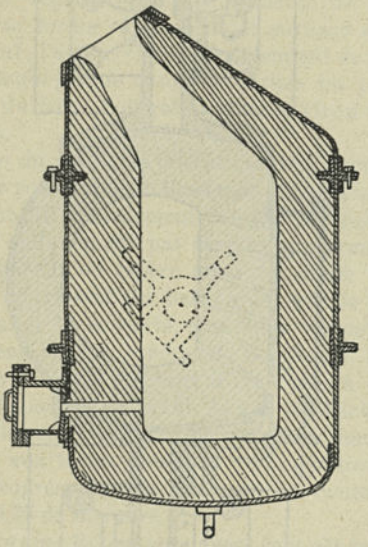


Fig. 246. Convertisseur Robert.

mobile comme la cornue Bessemer, autour d'un axe horizontal, constitué par les deux tourillons (fig. 246 et 247). On la penche, au début de l'opération, de manière à émerger presque complètement les tuyères hors du bain; on abaisse ensuite le niveau des tuyères par une rotation convenable

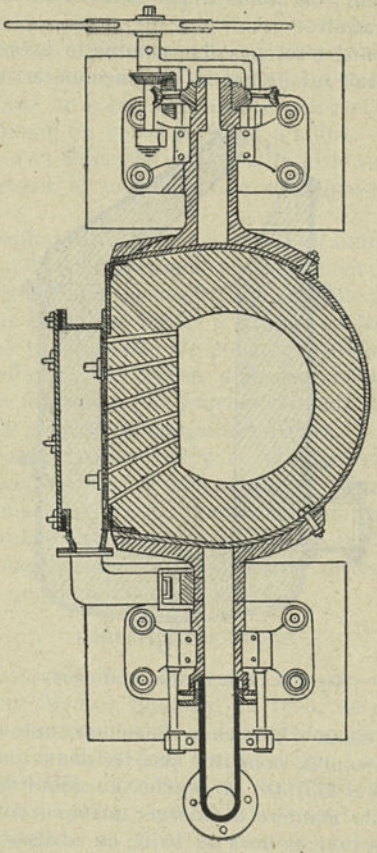


Fig. 247. Convertisseur Robert.

de la cornue, au fur et à mesure que l'opération s'achève.

En procédant ainsi, on se propose d'amener les molécules métalliques à subir successivement, et à diverses reprises, l'action affinante de l'air. La scorie se forme rapidement et surnage au-dessus du métal ; l'action oxydante s'étendant de molécule à molécule jusque dans les parties les plus profondes du bain, l'opération dure environ un quart d'heure.

L'idée du soufflage latéral est déjà ancienne ; le premier convertisseur Bessemer utilisé avec succès était soufflé latéralement, et les tuyères étaient placées obliquement, par rapport aux grands côtés de l'appareil ; on espère ainsi supprimer le brassage trop violent du bain, ainsi que le mélange du métal et de la scorie, et obtenir un métal plus homogène et plus exempt de soufflures. Nous ne pensons pas qu'il y a tant d'avantages à attendre de ce dispositif, au point de vue de l'action affinante ; le résultat le plus net est qu'au lieu d'avoir recours aux fortes pressions de l'opération Bessemer, proprement dite, on peut se contenter de 0,25 à 0,35 de mercure.

Les cornues Robert employées sont généralement d'assez faible tonnage ; on a cependant essayé d'appliquer ce dispositif à des cornues de cinq à six tonnes ; il semble, dès lors, qu'il n'y ait pas grand avantage à employer le système Robert de préférence à la cornue Bessemer. Peut-être pourrait-on objecter que l'action affinante est trop lente ou insuffisante, à cause de l'emploi même de la soufflerie latérale.

Procédé Walrand-Légénisel

La cornue Walrand-Légénisel est une cornue Bessemer de dimensions réduites; il n'y a, par suite, rien de particulier à dire sur l'appareil. Le caractère particulier du travail consiste dans l'addition de ferro-silicium, pour parer au refroidissement du bain, et on termine par un sursoufflage pour éliminer sûrement tout le silicium en excès. De cette façon, malgré le faible volume de l'appareil, le métal obtenu à la coulée est très chaud et exempt de soufflures.

Le métal étant très chaud et ne contenant plus que du fer et du carbone, on pourra aisément pratiquer telle addition qu'on voudra, et obtenir les diverses variétés d'aciers spéciaux si recherchés aujourd'hui dans l'industrie.

La contenance du convertisseur Walrand-Légénisel varie de 300 à 1,000 kilogrammes, et quoique de faible tonnage, ces appareils peuvent produire beaucoup, car leur allure étant très chaude, leur refroidissement après la coulée est très faible; aussi peut-on y traiter deux ou trois charges par heure. L'addition du ferro-silicium a lieu, selon la composition des fontes, après quinze à vingt minutes de soufflage et atteint la proportion de 15 à 20 0/0, selon que la teneur en silicium du ferro-silicium est de 15 à 20 0/0. Le sursoufflage ne dure pas plus de quatre à cinq minutes. D'après M. Snelm, il faut ajouter le ferro-silicium dès que les raies vertes commencent à disparaître.

—

V. FUSION AU FOUR A RÉVERBÈRE, PROCÉDÉ MARTIN

La fabrication de l'acier s'opère également dans les fours à réverbère ou sur sole, comme dans le procédé Martin-Siemens. De 1850 à 1860, de nombreuses tentatives ont été faites pour produire du fer ou de l'acier en fondant un mélange de fonte et de fer dans un four à réverbère ; mais le procédé n'est devenu pratique qu'avec l'emploi du four à régénérateur du système Siemens, le seul qui permît d'atteindre une température suffisamment élevée. C'est Pierre-Emile Martin qui, le premier, en 1865, a réussi à produire régulièrement de l'acier fondu au four Siemens.

Au commencement, on considérait le procédé Martin comme un complément du procédé Bessemer, permettant d'utiliser les déchets de ce mode de fabrication, mais dans la suite, en dehors de cette utilisation, il a pris un développement considérable, et on peut même dire qu'aujourd'hui, la production de l'acier et du fer fondu doit sa plus grande partie aux aciéries Martin.

On charge le four Martin avec des matières de natures diverses, mais il faut songer que le bain métallique reste exposé pendant plusieurs heures à l'action des gaz oxydants ; on doit donc commencer par introduire une certaine quantité de fonte, dont le carbone et le silicium s'oxyderont en protégeant ainsi le fer contre une combustion trop vive, qui en ferait passer une grande partie dans la scorie.

Les matières qu'on charge dans un four Martin se composent de débris, de riblons de toutes sortes, de bouts de barres laminées, de ferrailles, etc.; on ne doit exclure que les matières qui peuvent apporter dans le bain des éléments nuisibles impossibles à éliminer, comme du fer-blanc par exemple.

Souvent on est amené à faire un dosage de matières comportant plus de fonte et moins de fer, sans que le produit final renferme plus de carbone, de silicium ou de manganèse. C'est en se basant sur le prix relatif de la fonte et des ferrailles que l'on établit la composition du lit de fusion, et rien ne s'oppose à ce que la proportion de fonte soit plus élevée, si on augmente les réactions oxydantes pendant la fusion. Le moyen le plus simple qu'on puisse employer pour atteindre ce but consiste dans l'addition d'une certaine quantité de minerai de fer, dont l'oxygène intervient pour brûler le carbone; une partie du fer de ce minerai est réduit et vient s'ajouter à celui du bain ; dans ce cas, le procédé Martin devient un véritable affinage.

A mesure que la quantité de minerai chargé augmente, il devient plus difficile de maintenir la sole en bon état ; la réaction du minerai sur la fonte exige, en effet, plus de temps qu'une simple fusion, le volume de scories est plus important, occupe plus de place dans le four, oblige à des charges plus réduites. La diminution de production est l'inconvénient le plus grave qu'on puisse reprocher à cette variante du procédé Martin.

Les soles des fours Martin, au début, étaient établies avec des matières siliceuses et, par conséquent, il était impossible de procéder à la déphos-

phoration du métal absolument comme dans le convertisseur acide ; mais, dans la suite et après la découverte du procédé Thomas, on a fait des soles basiques pour pouvoir éliminer le phosphore et employer des matières de moindre valeur.

Quand on travaille sur une sole acide, on doit choisir avec grand soin la ferraille afin d'éviter celle qui contient beaucoup de phosphore ; si la sole est basique, cette précaution est inutile ; on remarqua même qu'avec les garnitures basiques on avait une oxydation du carbone et du silicium plus facile et plus rapide ; de plus, elles protègent le fer ; les opérations marchent plus vite, la production est augmentée et on obtient plus facilement du fer et de l'acier débarrassés des corps étrangers qui en altèrent la qualité.

Le procédé Martin se pratique donc comme le procédé Bessemer, sur sole acide ou sur sole basique ; le procédé Martin basique s'est substitué à l'autre pour la fabrication du fer doux fondu, même dans les contrées où les matières à traiter ne renferment pas de phosphore comme la Suède, la Styrie, etc.

Les soles acides servent maintenant pour la production des aciers carburés et des moulages.

Le métal est exposé, dans le four Martin, pendant plusieurs heures à l'action oxydante, absorbe une certaine proportion d'oxyde de fer FeO, qu'on décompose au moment de la coulée par des additions de ferro-manganèse ou de spiegeleisen, et celles-ci sont déterminées comme nature et comme proportions d'après les mêmes bases que nous avons indiquées pour l'affinage Bessemer.

VI. FOURS MARTIN

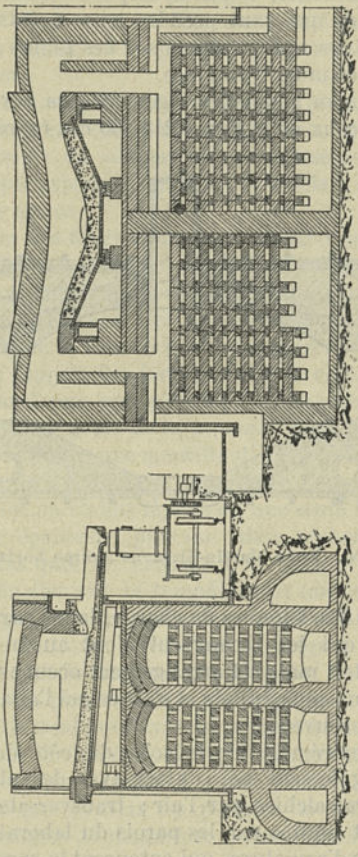
Fours fixes

La capacité du four Martin est variable, il en existe qui ne traitent que 3 tonnes, d'autres peuvent recevoir 50 tonnes de matières ; on en voit même pouvant recevoir 75 tonnes.

Le four de grande capacité est économique sous le rapport de la main-d'œuvre et du combustible, il résiste plus longtemps sans réparation à l'action d'une haute température ; d'un autre côté, si on dépasse une capacité moyenne, la conduite du four est plus délicate, il est moins facile d'obtenir une chaleur uniforme dans toute l'étendue du laboratoire ; les appareils de coulée deviennent considérables comme poids et comme place occupée, et en même temps très coûteux, la coulée elle-même est plus longue et le métal est exposé à se refroidir.

La capacité des fours les plus généralement employés est comprise entre 12 et 20 tonnes.

Le four Martin, représenté par les figures 248, 249 et 250, a été établi pour des charges de 3 à 4 tonnes. La sole du four est concave et portée par des plaques de fonte ou de tôle rivées ensemble que l'on rafraîchit par un courant d'air. Autrefois, ces plaques reposaient sur de petits piliers en briques montés au-dessus des voûtes des régénérateurs ; cette disposition est défectueuse parce qu'elle rend les régénérateurs solidaires de la sole et tout mouvement de dilatation ou de contraction de ceux-ci, par le fait de la chaleur, est transmis à la sole et peut y provoquer des crevasses. Dans les



249

248

Fig. 248 et 249. Four Martin-Siemens (coupes longitudinale et transversale).

nouveaux fours, on fait donc porter la sole par des poutrelles qui vont prendre leurs points d'appui au delà des régénérateurs sur des piliers spéciaux ou sur les murs d'enceinte.

Lorsqu'on adopte les régénérateurs horizontaux ou bien ceux de la figure 248-250 qui représente un

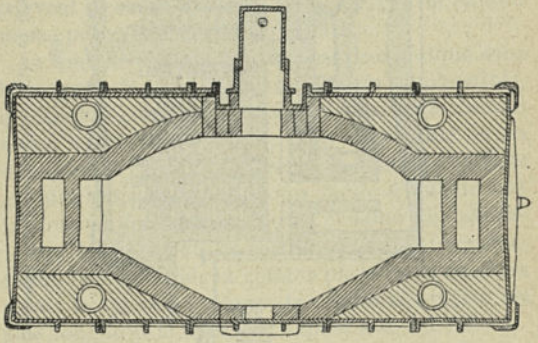


Fig. 250. Four Martin-Siemens (coupe horizontale).

four de 3 à 4 tonnes de charge, leurs parois et les voûtes qui les recouvrent n'ont aucun poids à supporter, mais cet arrangement occupe une place beaucoup plus grande et c'est ce qui l'a fait repousser fort souvent.

Les extrémités de la sole, du côté des autels, sont également en contact avec des plaques de fonte rafraîchies par l'air ; transversalement, la sole est limitée par les parois du laboratoire ; les plaques d'armature, qui entourent la construction,

doivent laisser assez de passages libres pour permettre à l'air de circuler librement au-dessous du four et de rafraîchir les plaques qui portent la sole et les autels.

On a bien essayé de rafraîchir ces plaques par un courant d'eau comme on le fait dans les fours à puddler, mais on obtient un refroidissement trop complet qui expose le métal ou la scorie à se figer contre les parois.

Les soles des fours acides sont établies en matériaux siliceux ; immédiatement au-dessus des plaques, on met ordinairement un rang sur champ de briques de Dinas et c'est au-dessus de ces briques qu'on prépare la sole en pisé réfractaire.

Dans la plupart des fours, ce pisé se compose de quartz aussi pur que possible, broyé sous forme de sable à gros grain de la grosseur d'un pois que l'on mélange avec une quantité d'argile réfractaire qui varie de 2 à 5 0/0, et qui assure l'agglomération. Tantôt on établit la sole en une seule fois sur toute son épaisseur, puis on laisse sécher lentement, après quoi on procède à la cuisson en élevant graduellement la température; tantôt on la construit par couches successives de 20 millimètres que l'on cuit l'une après l'autre, jusqu'à ce que l'épaisseur totale voulue soit obtenue. Ce second procédé exige plus de temps que le premier.

Lorsqu'on veut employer le procédé basique, on a recours à la dolomie ou à la magnésie ; cette dernière est plus résistante mais plus chère. On commence par couvrir les plaques de sole d'un rang de briques de magnésie, même dans les garnissages dolomitiques et, par-dessus, on dame la

dolomie ou la magnésie préalablement frittées et moulues. La magnésie s'emploie sans mélange, mais la dolomie est agglomérée par une certaine proportion de goudron ; quelquefois, on y ajoute une petite quantité de lait de dolomies, ou de scories broyées finement. Il faut, d'ailleurs, une certaine pratique pour établir une sole basique résistante et on éprouve fréquemment des mécomptes au début.

Quelquefois, on garnit la sole avec du fer chromé ; en emploie des gros morceaux de cette roche et on garnit les interstices avec de plus petits mélangés de chaux, de dolomie ou de magnésie et on chauffe jusqu'à agglomération.

On donne 0m 50 d'épaisseur aux soles acides et 0m 30 à 0m 45 aux soles basiques. M. Martin ne donnait qu'une épaisseur de 0m 15 à 0m 20. Les soles Martin sont battues d'un seul coup et sont cuites en une seule fois et en moins de vingt-quatre heures. Les soles épaisses sont cuites par couches minces successives, ce qui demande jusqu'à deux cents heures de grand feu.

Les soles en fer chromé ont rarement plus de 0m 20 d'épaisseur. Le trou de coulée se trouve au point le plus bas de la sole ; on lui donne de 0m 15 à 0m 20 en largeur et en hauteur ; pendant la fusion, il est bouché par un tampon de terre réfractaire. Le bain de métal doit avoir une profondeur de 0m 30 au minimum ; elle peut atteindre 0m 40 à 0m 50 et même 0m 60 ; si cette profondeur est trop faible, elle oblige le métal à présenter une plus grande surface à l'oxydation par les gaz ; c'est ce qu'on doit rechercher dans certains cas, comme, par

exemple, quand la fonte est en proportion élevée dans la charge, ou lorsqu'on veut obtenir du métal peu carburé.

On donne généralement à la sole une capacité égale au volume du métal augmenté de 1/8 pour travail acide sans minerai ; augmenté de 1/3 si on fait des additions importantes de cet oxydant, et des 2/3 pour fusion basique. Cela se comprend, car, dans ce dernier cas, on ajoute du calcaire.

Plus il y a de scories, moins on a à craindre une oxydation excessive sur un bain de faible épaisseur ; aussi, ne fait-on pas varier la profondeur de la sole d'un four à l'autre, dans des limites aussi étendues que si on tenait compte de la quantité de scories produites dans les diverses allures

Quand on connaît la profondeur du bain de métal et son poids P en tonnes, on calcule la surface S en mètres carrés de la sole comme suit :

Multiplier le poids de la charge par le coefficient pour avoir la surface du laboratoire ; la surface de la sole est établie dans la plupart des fours conformément au tableau suivant :

Charges	Fours acides	Fours basiques
7 à 8 tonnes	S = 1	S = 1.3
8 à 10 —	S = 1	S = 1.2
10 à 12 —	S = 0.9	S = 1.0
12 à 15 —	S = 0.8	S = 0.9
15 à 30 —	S = 0.7	S = 0.8
30 à 50 —	»	S = 0.75
Au delà de 50 —	»	S = 0.65

Le rapport entre la longueur L et la largeur l du laboratoire. Si la sole est trop courte, il peut arri-

ver que la combustion ne soit pas achevée dans le laboratoire, le combustible, en ce cas, est mal utilisé; le rapport $\frac{L}{l}$ doit être d'autant plus grand que le four est plus petit, et il rare que L soit plus petit que 3m 50; dans les grands fours, L atteint 9 mètres. Il devient donc $\frac{L}{l} = \frac{2}{1}$ pour les petits et moyens, et $\frac{L}{l} = \frac{3}{2}$ pour les plus grands; de toute façon, la largeur l ne dépasse pas 4 mètres, car le travail se fait mal et devient très difficile.

Les pieds-droits des fours à sole acide sont faits avec des briques de Dinas; ceux des fours basiques en briques de magnésie jusqu'au-dessus du niveau que peuvent atteindre les scories, et en briques de Dinas au delà jusqu'à la voûte; on remplace quelquefois les briques de magnésie par du fer chromé; dans tous les cas, la voûte est en briques de Dinas.

L'épaisseur qu'on donne aux pieds-droits est de 35 centimètres; la voûte est plus mince, elle a 22-25 centimètres.

On ménage dans les pieds-droits un certain nombre d'ouvertures nécessaires pour le chargement du four et pour toutes les manœuvres nécessaires pendant et après la fusion; la porte de chargement se trouve ordinairement en face du trou de coulée et une seule suffit dans les petits fours; dans les grands fours, on en dispose deux autres de moindre dimension à droite et à gauche de la première pour atteindre plus facilement les extrémités de la sole; quelquefois, on fait deux portes pour le chargement et entre elles, en face du trou

de coulée, une troisième plus petite. On donne aux portes de chargement 0m 70 à 1 mètre, les autres n'ont que 0m 50 ; on les garnit de briques réfractaires comme celles des fours à puddler et elles sont manœuvrées à l'aide d'un balancier auquel elles sont suspendues par une chaîne ; on les rafraîchit souvent par un courant d'eau et quand elles sont grandes on les manœuvre par un treuil ou par un moteur hydraulique.

La voûte est supportée par des pieds-droits et elle est rectiligne ou légèrement bombée au milieu, comme on l'a déjà vu dans le premier volume de cet ouvrage et sur les figures 248 et 249.

Dans les fours de 5 à 10 tonnes, la hauteur de la voûte au-dessus de la sole, au milieu du laboratoire, est de 1m 20 à 1m 40 ; elle atteint 1m 50 et 2 mètres dans les plus grands, de sorte qu'entre la voûte et la surface du bain il reste un espace libre de 0m 80 à 1 mètre de hauteur ; la section des carneaux d'air et de gaz varie avec les dimensions du four et la nature du gaz qui l'alimente ; il est bien évident que, si on emploie du gaz de lignite et pour fondre la même quantité de métal, il en faudra un plus grand volume que quand le gaz provient de houille et est peu chargé de vapeur d'eau.

La chaleur est mieux utilisée dans les grands fours que dans les petits, c'est-à-dire qu'il faudra une moindre quantité de gaz pour fondre le même poids de métal ; il s'ensuit que le rapport entre la section totale des carneaux de gaz ou d'air peut être un peu plus faible dans les grands fours que dans les petits.

On calcule ces sections très largement, quitte à les rétrécir, si besoin est, à l'entrée dans le laboratoire, de telle sorte que la somme des sections des carneaux d'air et de gaz au point où ils débouchent dans le laboratoire, soit 300 à 500 centimètres carrés par tonne de charge, et cela s'applique de chaque côté du four.

Le rapport entre la section des carneaux par lesquels arrive l'air, et celle des carneaux réservés aux gaz varie beaucoup. Ainsi, si on veut brûler une certaine quantité de gaz à l'air peu chargé de vapeur d'eau, il faut un volume d'air à peu près égal, mais, si le gaz contient peu d'éléments combustibles, il faudra moins d'air. Si les gaz sont soufflés et qu'il y a pression dans les carneaux de gaz, tandis que l'air arrive par simple aspiration, des arrivées d'air trop réduites pourraient amener une combustion incomplète ; si ces arrivées sont plus que suffisantes, il faudra réduire la quantité d'air introduite par la soupape qui règle son admission. On donne, par conséquent, une section plus grande aux orifices d'entrée d'air dans le laboratoire qu'à ceux du gaz, et le rapport entre eux varie entre $\frac{4}{3}$ et $\frac{6}{5}$. Ce rapport devient égal à l'unité quand les gazogènes sont alimentés avec du lignite.

Dans les nouveaux fours, on fait les conduits d'air et de gaz plongeants vers la sole, comme on le voit sur les figures 251 et 252, afin de multiplier les contacts entre la flamme et la charge ; on donne aux carneaux d'air une forte pente (fig. 251) et l'air arrive presque toujours au-dessus des gaz pour que le mélange se produise plus facilement ;

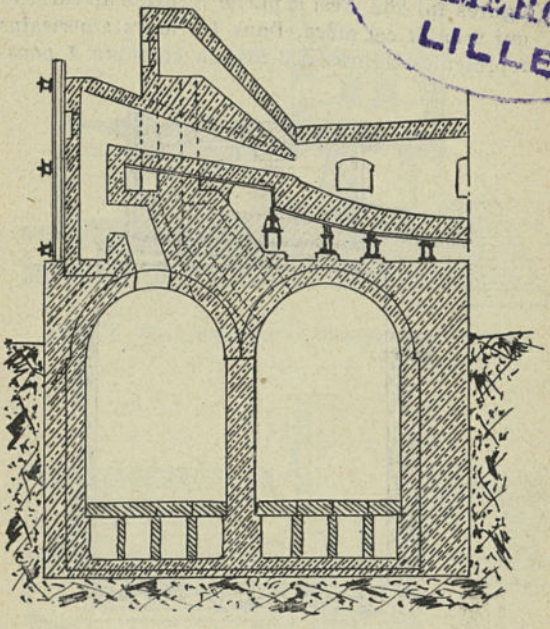


Fig. 251. Four Martin-Siemens à carneaux plongeants.

pour cela, les conduits d'air et de gaz débouchent dans le laboratoire sous un angle différent.

Quant aux générateurs et aux gazogènes, on les établit comme on l'a déjà indiqué dans le premier volume. Il est bon d'intercaler, entre les régénérateurs et le laboratoire, une chambre pour l'accumulation des poussières ; dans le four représenté

figures 251-252, c'est la partie verticale du carneau qui remplit cet office. Dans les fours américains représentés figures 253-254, la chambre à pous-

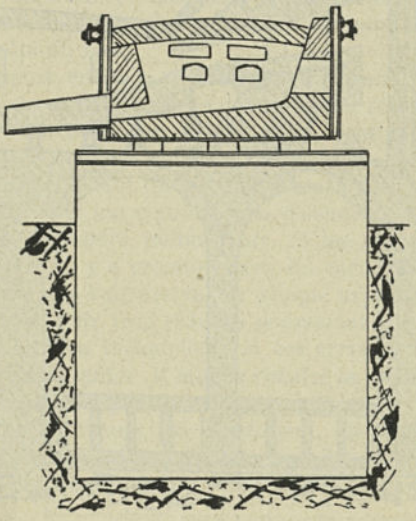


Fig. 252. Four Martin-Siemens à carneaux plongeants.

sière A est au-dessous du carneau vertical et les régénérateurs B sont placés latéralement.

Le trou de coulée doit être assez élevé au-dessus du sol de l'usine pour que le métal puisse être reçu dans la poche de coulée disposée au-dessous ; il se trouve habituellement à 2 ou 3 mètres au-dessus du sol ; les portes de chargement encore plus haut,

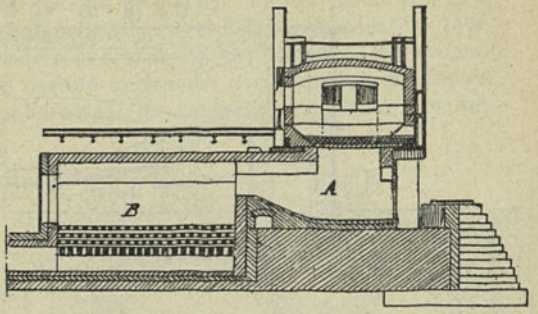


Fig. 253. Four Martin avec chambre à poussière.

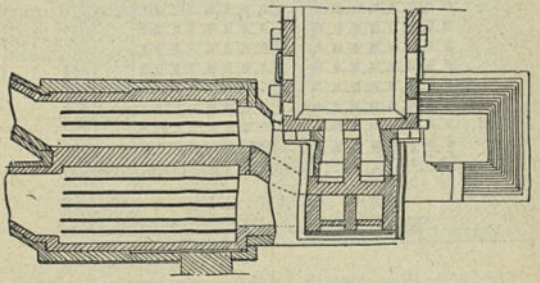


Fig. 254. Four Martin avec chambre à poussière (coupe horizontale).

et pour que les ouvriers puissent travailler facilement, on établit une plate-forme assez vaste pour recevoir les matières d'une ou plusieurs charges ; elle est faite avec des tôles striées reposant sur une charpente en fer.

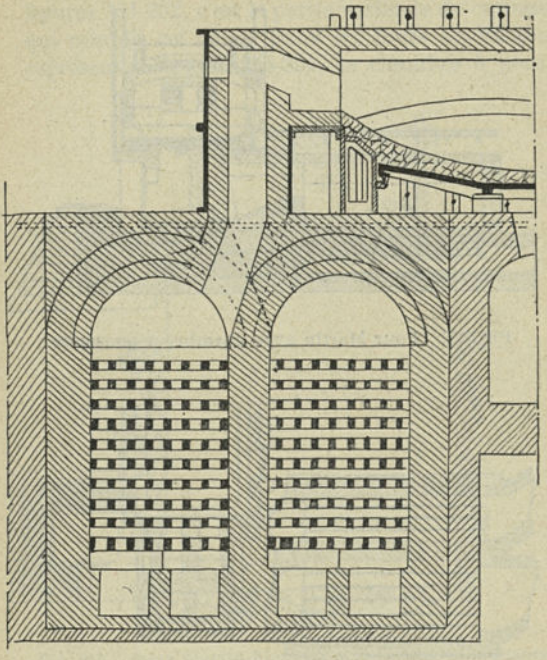


Fig. 255. Four Martin à sole neutre (coupe en long).

La campagne d'un four Martin dépend de la durée de la sole et de la voûte. Si on a besoin de réparer la sole, on la maintient en état jusqu'à ce que la voûte ait besoin d'être reconstruite et, alors, on met le four hors feu. Si la sole et la voûte sont bien construites, elles résistent au moins

à 300 charges et peuvent arriver même à 1,000.

Les figures 255, 256 et 257 représentent un four Martin à sole neutre avec revêtement en fer chromé. Il est destiné au travail, avec minerai, des fontes phosphoreuses ; les carneaux sont isolés, ce qui

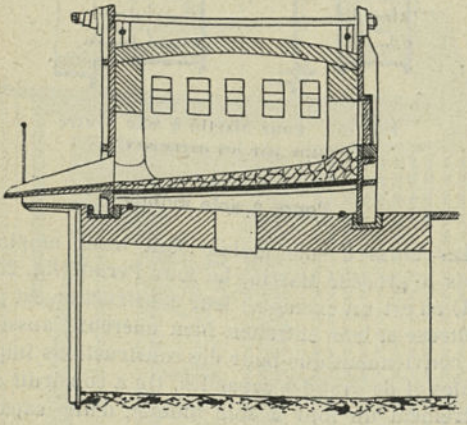


Fig. 256. Four Martin à sole neutre (coupe transversale).

assure leur conservation et facilite les réparations ; la sole est aérée au moyen d'une galerie centrale, qui sépare les deux groupes de régénérateurs ; la maçonnerie du laboratoire, les murs et la voûte repose tout entière sur les armatures, et celles-ci sont portées par des marâtres en fonte reposant elles-mêmes sur des murs, de façon à laisser les régénérateurs indépendants.

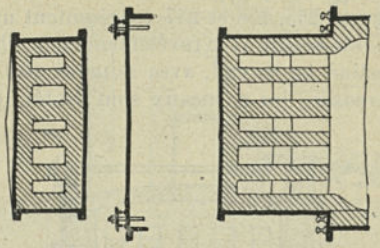


Fig. 257. Four Martin à sole neutre (coupe par les carneaux).

Fours à sole mobile

Les fours à sole mobile sont assez employés dans le procédé Martin. Le four Pernot (fig. 258 à 261) en est un exemple ; leur construction est plus coûteuse et leur entretien bien onéreux ; aussi ils ne conviennent que pour des constructions importantes et de grandes capacités. On a construit dernièrement un four à sole mobile, d'une capacité de 100 tonnes. Le four Pernot présente l'inconvénient de se détériorer promptement, et la machine motrice de la sole est exposée à être endommagée si le métal ou la scorie la touchent.

Le four Campbell (fig. 262 et 263) donne de meilleurs résultats ; il peut se vider en basculant, de sorte que le trou de coulée se trouvant en dehors du bain, ne peut pas être obstrué par du métal solidifié. Certains de ces fours ont un laboratoire cylindrique qui peut rouler sur une voie horizontale, en se séparant entièrement des massifs com-

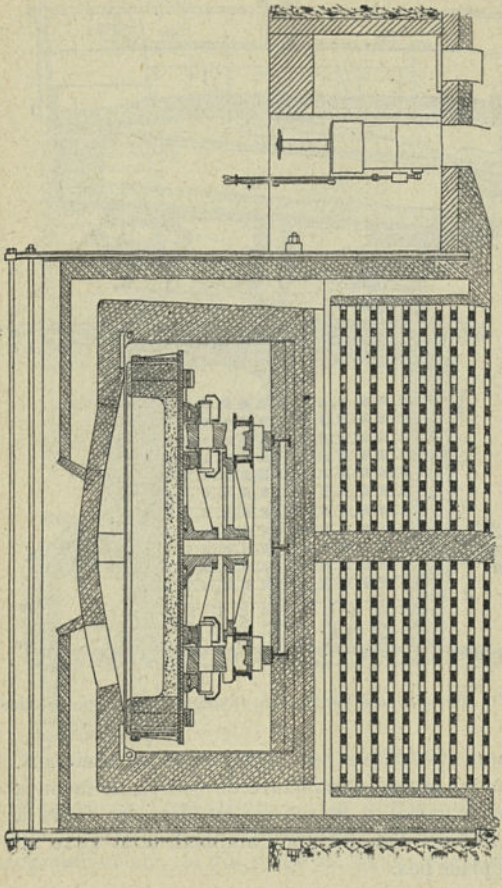


Fig. 258. Four à sole tournante, système Pernot, pour fusion de l'acier (coupe verticale).

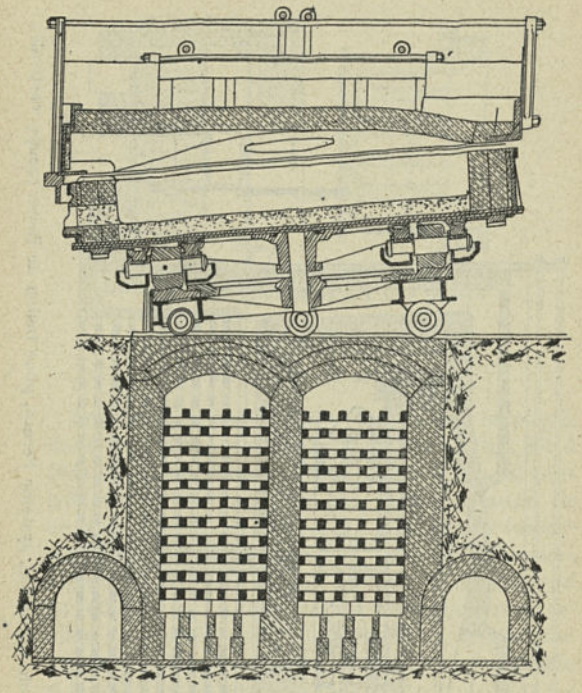


Fig. 259. Four à sole tournante, système Pernot, pour acier.

prenant les orifices des carneaux et en abaissant, en même temps, l'ouverture de coulée, de façon à vider le métal et la scorie; les derniers fours à sole mobile sont du type Campbell, dont l'axe ne se déplace pas.

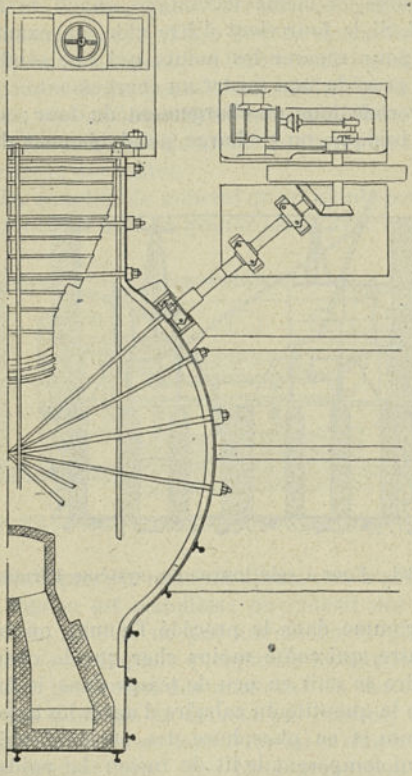


Fig. 260. Four à sole tournante, système Pernot.

Marche de l'opération. — On commence par amener le four à la température nécessaire en allant progressivement, ce qui exige au moins quarante-

huit heures, et même davantage, quand le four est neuf. Si le four vient d'être vidé, on examine la sole pour réparer les points qui ont souffert, puis on procède sans tarder au chargement.

On procède donc au chargement du four ; si la sole est basique, on y charge préalablement de la

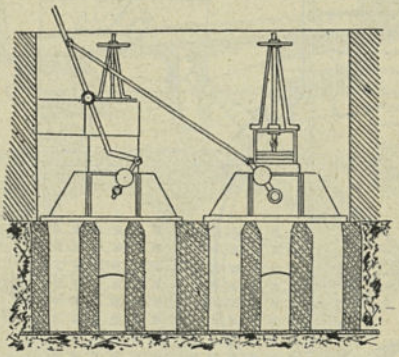


Fig. 261. Four à sole tournante, système Pernot.

chaux, comme dans le procédé Thomas, ou bien du calcaire, qui coûte moins cher que la chaux ; ce calcaire se cuit en peu de temps dans le four. On règle la quantité du calcaire d'après les teneurs en silicium et en phosphore des matières métalliques qui composent le lit de fusion. Le poids de cette addition de calcaire est ordinairement compris entre 6 et 12 0/0 du poids total de la charge ; il faut éviter d'en mettre trop, car on obtiendrait une scorie trop peu fluide, trop visqueuse,

Dans les fours à sole neutre, on commence par recouvrir la sole d'une couche mince de calcaire broyé grossièrement et légèrement humide, qu'on recouvre de la quantité nécessaire de même matière, concassée à la grosseur des cailloux de route, et c'est au-dessus qu'on fait le chargement des ferrailles et des fontes.

La quantité de minerai qu'on ajoute pour affiner la fonte est mise en grande partie avec les matières

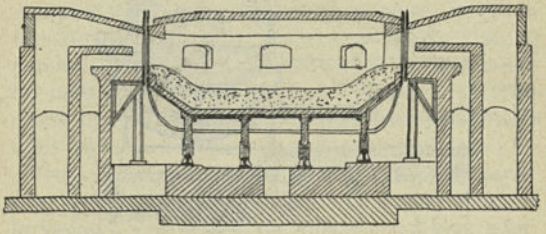


Fig. 262. Four oscillant Campbell (coupe longitudinale).

métalliques ; le reste est ajouté peu à peu, lorsque la fusion est complète ; on choisit des minerais riches, afin de ne pas augmenter le poids de la scorie ; on emploie quelquefois les oxydes de battitures, provenant des marteaux ou des laminoirs.

Les minerais ne doivent pas contenir de soufre, car celui-ci passe dans le métal et nuit à la qualité du produit final. Une forte proportion de phosphore ne peut être nuisible que si l'on travaille sur sole acide, mais en tout cas, il est préférable qu'elle ne soit pas considérable, alors même qu'on opère sur garnissage basique, parce que l'addition

de chaux doit être d'autant plus grande qu'il y a plus de phosphore à enlever.

L'addition de minerai ne dépasse jamais 20 0/0 du poids du métal chargé, dans les opérations ordinaires, et généralement elle est moins élevée; on ajoute un peu de minerai quand la fusion est terminée, afin de hâter le départ du carbone; dans ce cas, on n'introduit que de 3 à 4 0/0 du poids du

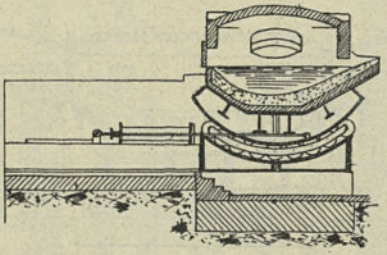


Fig. 263. Four Campbell oscillant (coupe transversale).

métal; on remplace quelquefois le minerai par des battitures agglomérées par un peu de chaux et grossièrement moulées sous forme de briques, qu'on jette dans le bain suivant les besoins.

La proportion entre le poids de la fonte et celui du fer et de l'acier, faisant partie d'une charge, varie beaucoup; elle dépend du prix de ces différentes matières. Ainsi, dans certains cas, la fonte n'entre qu'en faible proportion (5 0/0); dans d'autres cas, la fonte constitue toute la charge, et on affine avec du minerai; la proportion de la

fonte dépend également du degré de carburation qu'on demande au produit ; dans la plupart des cas, elle varie de un quart à un demi, le reste est constitué de chutes de rails, de tôles et vieilles ferrailles.

Une bonne proportion est celle de 1 de fonte pour 2 de ferrailles ; dans la plupart des cas, la proportion entre la fonte et le fer varie de 20 de fonte et 80 de fer à 40 de fonte et 60 de fer.

La composition de la fonte y entre en ligne de compte ; si elle est chargée en silicium, la décarburation est retardée, mais d'un autre côté, la combustion de cet élément donne de la chaleur au bain et facilite l'opération ; la fonte renferme d'ordinaire 0,75 à 1,50 0/0 de ce corps nuisible dans les fours basiques dont il attaque la sole.

Dans les fours de petites dimensions à garniture acide, on charge d'abord la fonte, et quand la fusion a commencé, on ajoute peu à peu la ferraille. Cette façon d'opérer soustrait le fer à l'action oxydante du gaz. Dans les grands fours, on charge le tout (fonte et ferraille) à la fois, pour accélérer la fusion ; cela se pratique surtout quand la sole est basique, car le fer a moins de tendance à passer dans la scorie.

Le chargement se fait à bras ou à l'aide d'appareils mécaniques. Pour charger à bras, on se sert d'une large pelle qu'on appuie sur le seuil de la porte ou sur un rouleau placé devant cette porte ; on empile sur cette pelle les matières à charger, puis l'ouvrier pousse cette pelle dans le four et la décharge à l'endroit convenable. Un fondeur, avec ses deux aides, chargent ainsi 1,000 kilogrammes

de fonte en gueusets en cinq minutes, les morceaux plus petits sont jetés dans le four.

Le chargement fait de cette manière devient long et le four se refroidit, quand la charge est considérable. Aussi, il devient très important de se servir d'appareils de chargement mécaniques ; l'ingénieur américain Wellmann a créé plusieurs types de machines à charger et a rendu de signalés services à l'industrie Martin.

Quel que soit le système employé, la charge est placée dans des caisses contenant environ 1,000 kilogrammes et portées sur des wagonnets. Quand le moment de charger est venu, les wagonnets se présentent successivement devant la porte de chargement du four avec leur caisse pleine, qui est immédiatement saisie par l'extrémité d'un long bras à mouvements combinés, de façon à soulever la caisse, à la faire pénétrer dans le four et à la vider en la renversant de côté, puis de la retirer immédiatement après hors du four ; ensuite, cette caisse est séparée du bras qui la portait et qui recommence la même manœuvre avec la caisse suivante s'il y a lieu.

Nous verrons plus loin, en parlant de la disposition des ateliers Martin, la figure 264 qui représente un four Martin muni de son appareil de chargement. Avec ces appareils mécaniques, on charge, en quinze minutes, un four de 15 tonnes, et en cinquante ou soixante minutes, un four de 40 tonnes. Il faudrait quatre fois plus de temps pour opérer le même travail à bras d'hommes. Pendant la fusion, le fondeur veille à ce qu'il ne se forme sur la sole aucun dépôt de fer adhérent ;

il doit en même temps s'occuper de régler convenablement la quantité d'air et de gaz qu'il admet dans le four; de temps en temps, à l'aide d'un long crochet, il brasse le métal pour faciliter le mélange des matières; ce brassage est surtout nécessaire quand on ajoute des matières à l'état solide au milieu du bain liquide.

L'oxydation du carbone se manifeste par le bouillonnement que produisent les bulles d'oxyde de carbone qui se dégagent du métal en fusion; on suit ce phénomène en regardant à l'intérieur du four à travers un verre bleu qui protège les yeux contre le vif éclat de la flamme.

Quand le bouillonnement a cessé ou s'apaise, on fait la première prise d'essai; on plonge dans le bain une petite poche en fer préalablement chauffée, on tire ainsi un peu de métal qu'on verse dans un moule en fonte; on obtient ainsi une éprouvette; les étincelles qui se dégagent pendant la coulée, le boursouflement qui se produit dans le moule ou le retassement, sont des indices de la nature du métal.

Une fois l'éprouvette solidifiée, on la porte sous le marteau, on la forge rapidement et on essaie de la plier à froid. Quand on travaille avec un four acide, on étire généralement le petit lingot en une barrette de 15 millimètres, que l'on trempe et que l'on ploie à froid; si la décarburation a été poussée assez loin, le métal supporte un pliage de 180°, sinon, il casse avant d'arriver à ce point.

Dans le procédé basique, le lingot est forgé en forme de disque, on le trempe et on le plie en deux

ou en quatre; l'éprouvette doit subir cette épreuve sans criquer.

Pour un œil bien exercé, l'examen de la cassure suffit à montrer le degré de la décarburation du métal; sur sole acide, le grain du métal grossit à mesure que le carbone est éliminé; avec sole basique, c'est le contraire qui se produit, car le phosphore, qui par sa présence développe le grain, disparaissant peu à peu, le grain devient plus fin à mesure que l'épuration est plus complète.

Quand on est certain d'être arrivé au point voulu, on procède à l'addition obligatoire de spiegeleisen ou de ferro-manganèse. Dans quelques usines, avant l'addition manganésée, on produit un brassage énergique des matières, en introduisant dans le bain une perche de bois vert, qui provoque un bouillonnement considérable et l'expulsion d'une certaine partie de la scorie.

Si, par l'examen de l'éprouvette, on reconnaît que le métal contient encore un excès de carbone ou de phosphore, on prolonge l'opération; on fait quelquefois une addition de minerai ou de calcaire (ce dernier dans l'opération basique seulement); de temps en temps, on prend une nouvelle éprouvette, et quand celle-ci paraît satisfaire aux conditions voulues, on ajoute les matières finales.

Ces additions finales manganésées se font en suivant les mêmes considérations que pour l'acier Bessemer, acide ou basique. S'il s'agit d'obtenir du fer doux pour laminage, on ajoutera du ferro-manganèse contenant de 50 à 80 0/0 de manganèse, et son poids sera compris entre 0,5 et 1 0/0 du métal chargé. Pour du fer ou de l'acier ordinaire

moins doux, on ajoute de 1 à 3 0/0 de ce même ferro-manganèse.

Dans un four basique, l'addition est plus faible, car le manganèse s'y oxyde moins que dans le four acide, et le bain final en contient davantage à l'état métallique avant l'introduction des alliages spéciaux.

Si l'on veut éviter les soufflures, on ajoute du ferro-silicium, soit 0,5 0/0 de ferro-manganèse et 0,5 0/0 de ferro-silicium, et on augmente ces proportions pour le métal destiné aux moulages.

Cette addition de ferro-manganèse et de ferro-silicium est généralement faite après un chauffage préalable, et on fait un brassage pour en assurer la dissolution ; dans certaines usines, on opère ces additions dans la poche de coulée, quoique l'on coure le danger d'obtenir un mélange moins homogène. L'aluminium se charge toujours dans la poche.

Quand tout est prêt, on perce le trou de coulée, et le contenu du four s'écoule dans la poche. On examine la sole, on la répare s'il le faut et on recommence une nouvelle opération.

Si on doit couler une partie du métal en lingots et l'autre en moulage, on commence par les premiers, puis on fait la nouvelle addition et on coule les pièces moulées.

Disposition des ateliers Martin

Dans un atelier Martin, les fours doivent être établis à un niveau assez élevé pour que le métal, qui s'écoule par le trou de coulée, puisse être reçu dans la poche disposée en dessous ; il faut donc,

en général, 2 mètres à 2m 50 de différence de niveau entre le sol de l'usine et le trou de coulée.

Le seuil des portes de chargement et de travail est plus élevé que le trou de coulée, et pour qu'on puisse y travailler commodément, il faut construire une plate-forme capable de recevoir plusieurs charges préparées d'avance.

On dispose les fours, les uns à côté des autres,

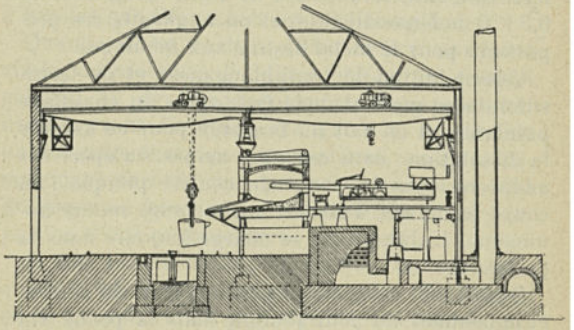


Fig. 264. Disposition générale d'un atelier Martin.

sur une seule ligne, de façon qu'il se trouve d'un côté une plate-forme générale, et de l'autre une fosse de coulée qui reçoit les lingotières de tous les fours ; cette fosse est le plus souvent longue et étroite, et au-dessus d'elle se meut la poche de coulée, portée sur un chariot roulant sur une voie ferrée. La poche peut être également portée par une grue roulante, qui peut en même temps faire le service de démoulage. Une deuxième grue roulante, que l'on voit sur la figure 264, fait le service

de la plate-forme de chargement et de travail, sur laquelle se trouvent les valves à air et à gaz.

Le service des lingots et lingotières se fait sur une voie qu'on voit sur la gauche du dessin.

Le bâtiment a 107 mètres de longueur et abrite vingt fours Martin ; les lingotières sont rangées dans une longue fosse de coulée, ou bien elles sont portées sur des wagonnets, de façon qu'on puisse opérer le démoulage à une certaine distance, ainsi que cela se fait depuis peu dans les aciéries Bessemer et Thomas. Il est rare de rencontrer, dans les installations récentes, des fours de coulée circulaires avec grues tournantes, ces fosses ne pouvant desservir que deux fours et occupant une surface énorme, ce qui rend difficile l'organisation d'un atelier de ce genre ; les gazogènes sont dans un bâtiment à part.

Variantes du procédé Martin

On a essayé de remédier aux divers inconvénients qu'on rencontre quand on traite au four Martin un lit de fusion formé en grande partie de fonte, ce qui occasionne une diminution importante dans la capacité de production.

Dans le *procédé Wurtemberger*, on s'est servi du vent forcé qu'on introduisait au milieu du bain ; ce procédé a été employé pendant plusieurs années dans l'usine Phœnix, près de Ruhrort ; la pression du vent était d'environ 0,75 kilogr. par centimètre carré. Ce procédé a été depuis abandonné, ne donnant pas des avantages compensant l'augmentation des frais. On lui reprochait de détruire trop rapidement les soles et de produire un bouillonne-

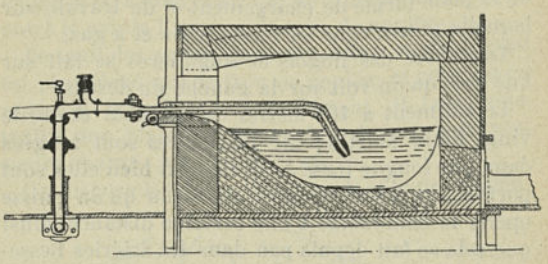


Fig. 265. Procédé Wurtemberger.

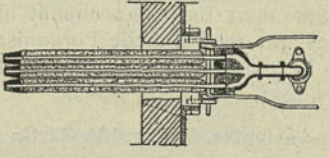


Fig. 266. Procédé Wurtemberger.

ment tel que des parcelles de métal et de scories étaient projetées sur la voûte et entraînées dans les chambres. Les figures 265 et 266 représentent l'appareil de soufflage employé dans le procédé Wurtemberger.

VII. PROCÉDÉ BESSEMER-MARTIN

On commençait l'affinage de la fonte dans une cornue Bessemer pour la débarrasser du silicium, du manganèse et d'une partie du carbone, puis on passe le métal au four Martin à l'aide d'une poche

et là le travail se continue jusqu'au point voulu comme d'ordinaire. Ce procédé a été appliqué en 1872 à Faciérie de Neuberg, en Styrie, pour donner de l'acier dur. Quand plus tard on a su déphosphorer dans les fours basiques Martin, on les mit à contribution pour débarrasser le métal du phosphore et du carbone qu'il contenait encore après l'affinage partiel à la cornue Bessemer. Ce procédé a été adopté, en 1888, à l'usine de Witkowitz et y est encore employé ; depuis, il a été également adopté dans d'autres usines.

Ce procédé est plus coûteux que le procédé Thomas et n'a sa raison d'être que quand on a à traiter une fonte trop siliceuse et pas assez phosphoreuse pour servir comme fonte Thomas, mais trop riche en phosphore pour donner de bons résultats dans la cornue Bessemer acide.

Si la proportion de fonte à affiner est faible relativement à celle de la ferraille disponible, il vaut mieux exécuter l'opération tout entière au four Martin.

VIII. PROCÉDÉ BERTRAND-THIEL

Il a été d'abord appliqué à Kladno, en 1897 ; il traite, dans un four Martin, de la fonte et du minerai sans faire entrer de la ferraille. Pour diminuer les inconvénients du procédé Martin, et surtout pour rendre la fabrication plus rapide, on combine l'action de deux fours basiques Martin. Dans le premier on commence l'affinage, puis le métal, demi-affiné et débarrassé de la scorie, passe dans le second four où il y a nouvelle addition de minerai et où l'affinage se termine.

Ce transvasement du premier four dans le second facilite la séparation du métal et de la première scorie ; il s'opère à l'aide d'une poche ou d'un canal garni de matières réfractaires ; il faut, par conséquent, qu'il existe une différence de niveau entre les deux fours, et cette différence atteint souvent 3 mètres.

L'opération se pratique comme suit : on introduit dans le premier four une partie du minerai et du calcaire puis de la fonte solide et, enfin, de la fonte liquide venant d'un haut fourneau ; la fonte solide est en proportion moindre que la fonte liquide ; le bouillonnement commence au bout de peu de temps ; on ajoute alors le reste du minerai et du calcaire pour compléter la charge du premier four.

La proportion du minerai doit être calculée pour que le silicium soit éliminé en totalité et que la teneur en phosphore soit réduite à 0,2 0/0. Deux heures et demie après le commencement du chargement, la scorie perd son pouvoir oxydant et le bouillonnement cesse.

Pendant ce temps, le métal de la charge précédente a été traité dans le second four et la coulée faite ; on charge alors la quantité de ferraille à laquelle on ajoutera le métal demi-affiné du premier four. Dès que cette partie de l'opération est accomplie, on achève la décarburation et la déphosphoration au moyen d'additions de minerai et de calcaire, tandis que dans le premier on commence à traiter une nouvelle charge.

Pour une opération complète, on a donc :

Dans le premier four :

Fonte à l'état solide	600 kilogr.
Fonte liquide	12.900 —
	13.500 kilogr.

La fonte contenait :

1,75 0/0 de manganèse,
0,56 0/0 de silicium,
1,34 0/0 de phosphore.

On y ajoute :

Minerai de fer magnétique . . .	2.160 kilogr.
Calcaire	940 —

On a chargé dans le second four :

Ferraille de fer ou d'acier. . . .	2.000 kilogr.
Fonte spéculaire	200 —
Ferro-manganèse	110 —

On y ajoute peu à peu :

Minerai magnétique.	1.600 kilogr.
Calcaire	550 —

IX. PROCÉDÉ TALBOT

Ce procédé, appliqué en Amérique, est pratiqué dans un four oscillant qui permet de se débarrasser de la scorie, couler une partie du métal et garder le reste dans le four. Pour affiner le métal, on fait des additions de minerai de fer, de battitures et de calcaire ; lorsque les réactions s'arrêtent, on fait écouler la scorie ; on fait de nouvelles additions jusqu'à ce que le métal ait acquis la qualité voulue. On fait alors une coulée partielle,

et on ajoute au métal qui reste dans le four une nouvelle charge destinée à remplacer ce qui a été coulé.

Résultats et produits de la fabrication par le procédé Martin

Durée de l'opération. — Le temps nécessaire pour faire une opération au four Martin dépend :

1° *Poids de la charge.* — On construit aujourd'hui des fours d'une capacité considérable ; il s'y développe plus de chaleur dans le même temps et la fusion marche plus vite, surtout quand on charge toutes les matières à fondre en une seule fois ; le chargement et la coulée exigent par contre beaucoup plus de temps quand les fours sont grands et, par conséquent, le temps absorbé par une opération est plus long. En général, il faut compter quatre ou cinq heures pour une charge de 20 tonnes, tandis qu'il faut de neuf à douze heures pour traiter des charges de 50 tonnes dans les aciéries américaines.

2° *Proportion de fonte dans la charge.* — Nous avons déjà dit que l'opération est plus longue quand la quantité de fonte est élevée ; on diminuera la durée de l'opération en prenant de la fonte liquide ; on a encore plus d'avantage en employant le procédé Bernard-Thiel. On arrive ainsi à traiter huit charges par jour dans deux fours de 15 tonnes avec de la fonte liquide.

3° *Nature de la sole.* — Le travail est plus rapide sur sole basique que sur sole siliceuse.

4° *Temps employé au chargement.* — Quand le chargement se fait à la main, les portes restent

ouvertes plus longtemps, le four se refroidit plus et, par conséquent, l'opération dure plus longtemps que si le chargement se fait mécaniquement.

5° *Production par vingt-quatre heures.* — Un four de 15 tonnes peut produire en vingt-quatre heures 75 tonnes et plus de lingots sur sole basique ; un four acide de la même capacité ne produira que 55 tonnes.

6° *Déchet.* — Le déchet dépend presque exclusivement de la proportion de fonte qui entre dans la charge, car la fusion doit éliminer la majeure partie du carbone, du silicium, du manganèse et du phosphore ; par conséquent, plus la fonte renfermera des éléments étrangers et plus la charge renfermera de fonte, plus le déchet est important.

7° *Consommation de combustible.* — La consommation de combustible par tonne de métal produit est d'autant plus grande que l'opération est de plus longue durée ; elle est moindre dans les grands fours que dans les petits, qui utilisent moins bien la chaleur. Elle varie donc d'une usine à l'autre, d'un four à l'autre. Si on emploie des fours à sole basique, une faible proportion de fonte dans la charge, des houilles peu chargées en cendres et convenables pour produire du gaz, on arrive à une consommation de 270 kilogr. par tonne. Si, au contraire, on emploie des petits fours, forte proportion de fonte dans les charges, houilles de mauvaise qualité, on dépasse même 500 kilogr.

8° *Main-d'œuvre.* — Pour un four Martin, il faut par poste un fondeur et deux ou trois aides ; pour la fosse de coulée et les gazogènes, le personnel dépend du travail à exécuter, il faut ajouter à ce

personnel spécial un certain nombre de manœuvres pour le transport des matières ; la dépense en main-d'œuvre est comprise entre 5 fr. 625 et 6 fr. 25 par tonne de métal produit ; elle est d'autant plus élevée que la production du four est plus petite.

9° *Prix de revient.* — Pour établir le prix de revient, on ajoute aux dépenses en matières employées, celles provenant de la main-d'œuvre, des frais d'entretien du four et des outils et des frais généraux. On admet en général, pour frais de fabrication et des frais généraux, une somme de 25 francs. On a, par exemple :

250 kilogr.	de fonte à 68,75 fr. 0/00	= 17.187
820 —	de fer et acier à 56,25 fr. 0/00 .	= 46.125
8 —	ferro-manganèse à 250,00 fr. 0/00.	= 2.000
	Matières chargées.	= 65.312
	Frais de fabrication	= 25.000
	Prix de revient total	= 90.312

par tonne de métal produit.

Le prix de revient du métal fabriqué sur sole basique est un peu inférieur à celui du métal obtenu sur sole acide, malgré les réparations et la construction du laboratoire bien plus coûteuse et les additions de calcaire. Cette différence provient de ce que l'on peut traiter des matières de moindre valeur.

Produit obtenu au four Martin. — Le métal obtenu dans le four Martin ne peut pas remplacer l'acier au creuset pour les usages exigeant une qualité de tout premier ordre ; pour les outils

moins délicats, pour la fabrication des ressorts, etc., le métal obtenu dans le four Martin peut lutter avec celui obtenu dans les creusets en raison du prix plus bas auquel il revient.

Depuis une vingtaine d'années, on fabrique au four Martin beaucoup de fer fondu. Le fer fondu Martin a, comme résistance et ténacité, une supériorité sur le fer obtenu par soudage, aussi l'emploie-t-on sous forme de tôles, de fils, de pièces laminées de profil quelconque, etc.

Pour la fabrication des pièces moulées, on emploie de préférence le four Martin au convertisseur. Lorsque le four Martin ne doit pas servir qu'aux moulages, on se sert de la sole acide. Les pièces moulées en métal Martin doivent subir un recuit comme tous les moulages en fer ou en acier.

Scories. — Les scories renferment moins de phosphore que celles des opérations Thomas, de sorte que, le plus souvent, on ne peut les utiliser comme engrais. On peut les passer au haut fourneau pour tirer parti du manganèse et du phosphore.

Si on traite, par le procédé Bernard-Thiel, des fontes riches en phosphore, avec addition de minerais et de calcaire, les scories contiennent de 16 à 20 0/0 d'acide phosphorique. Voici l'analyse des scories d'une opération par le procédé Bernard-Thiel :

	Si	Ph^2O^5	Fe
	—	—	—
Scorie finale dans le premier four. .	19.16	18.88	6.00
— — dans le second four . .	13.00	4.99	13.50

CHAPITRE XIX

Coulée de l'acier

SOMMAIRE. — I. Coulée. — II. Moules et lingotières. — III. Moyens d'obtenir des lingots et des pièces moulées sans soufflures.

I. COULÉE

Nous avons déjà dit que le métal contenu dans un four ou dans un convertisseur est versé dans une *poche de coulée*, qu'on transporte ensuite au moyen d'appareils mécaniques pour le distribuer dans les moules ou les lingotières. On peut également le couler directement.

Coulée directe. — Dans la coulée directe, il n'y a pas d'appareil intermédiaire entre l'appareil d'élaboration du métal et la lingotière qui le reçoit. On dispose les lingotières sur une plate-forme tournante ou sur des rails, de manière à les présenter successivement au-dessous de l'orifice de coulée pratiqué sur la face postérieure du four Martin ou du bec du convertisseur. Ce procédé a l'inconvénient d'entraîner avec le métal les scories qui surnagent dans le four et les débris des matériaux réfractaires arrachés aux parois du four ou aux conduits de coulée. Le lingot obtenu présente, dans ce cas, des défauts appelés piqûres.

Coulée en poche. — Dans la coulée en poche, le métal est reçu directement, à sa sortie du four,

dans une ou plusieurs poches de fonderie à *quenouille*, puis versé de la poche dans les lingotières par un orifice pratiqué à sa partie inférieure. Par ce procédé, les scories et le sable entraînés surnagent la surface du bain liquide dans la poche; on ne débouche le trou de coulée de la poche, en agissant sur la quenouille, qu'au bout d'un temps suffisant pour que cette liquation se soit accomplie. Ce mode de coulée s'impose surtout quand le métal provient de plusieurs fours ; on pourra alors procéder de deux façons différentes :

1° Ou bien le contenu de chaque four sera versé dans une poche de fonderie montée sur chariot et amenée, ensuite, au-dessus de la lingotière ;

2° Ou bien le métal des différents fours sera conduit, par des rigoles revêtues intérieurement de terre réfractaire, dans une poche unique qu'on amène ensuite au-dessus de la lingotière. Le second mode opère le mélange avant la coulée dans la poche et est préférable au premier, mais il nécessite des poches de dimensions considérables.

Poches de coulée. — Les poches de coulée (fig. 267) pour acier sont en forte tôle de 10 millimètres d'épaisseur et garniture intérieure en terre réfractaire de 70 à 100 millimètres d'épaisseur qu'on sèche avec précaution et qu'on chauffe ensuite jusqu'au rouge naissant, en maintenant la poche renversée au-dessus d'un feu de coke ou d'une flamme produite par la combustion d'un gaz. Une pareille garniture résiste à plusieurs coulées, mais on doit l'examiner et la réparer, au besoin, après chaque coulée ; elles portent sur le fond une *coulée*, c'est-à-dire un trou que l'on peut fermer

avec un bouchon métallique fixé à l'extrémité d'une tige A revêtue extérieurement de terre réfractaire. Cette tige porte le nom de *quenouille*, elle est recourbée pour passer par-dessus le bord de la poche et se fixe à une coulisse en fer guidée par

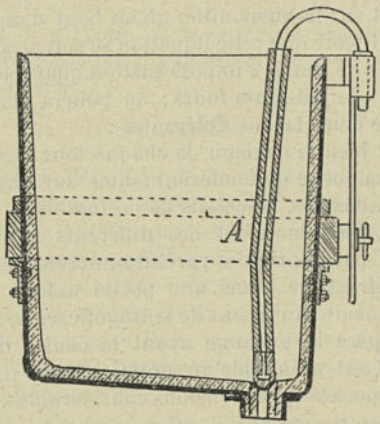


Fig. 267. Poche de coulée pour acier.

deux pièces. La quenouille est reliée directement à un levier de manœuvre par une articulation disposée à sa partie supérieure.

Pour faciliter l'écoulement complet du métal, on donne généralement au fond de la poche une certaine pente vers le trou de coulée qu'on y a ménagé.

Les poches sont portées au-dessus des lingotières par une grue puissante, quelquefois elles sont

montées sur chariots et peuvent ainsi circuler sur une voie de chemin de fer, de façon à venir se placer au-dessus de la lingotière à remplir.

La confection régulière des poches et des quenouilles présente pratiquement une grande importance; si le garnissage n'est pas assez réfractaire, ou s'il est mal séché, la tôle se trouve promptement à nu et se perce, en laissant le métal s'écouler, souvent d'une façon dangereuse; il faut, en outre, prendre toutes les précautions possible pour éviter la moindre trace d'humidité, car, par l'évaporation subite de l'eau, il peut y avoir des projections de métal fondu. Si la quenouille n'est pas bien posée, la fermeture n'est pas hermétique, il y a perte de métal en passant d'une lingotière à l'autre. Quelquefois la quenouille se défait, le bouchon restant collé sur son siège ; il faut alors, en toute hâte, chercher à le soulever en frappant à coups de masse sur une espèce d'outil dit *dégorgeoir*. Si on ne peut pas arriver à déboucher le trou de coulée, il faut se résigner à faire basculer la poche pour continuer la coulée par le bec en versant le contenu dans une *lingotière de secours*. Si la manœuvre n'est pas assez rapide, l'acier devient trop pâteux et ne peut plus s'écouler aisément de la poche et s'y fige en formant un *loup* qui n'est plus utilisable.

Poche pour convertisseur de Caspersson. — Cette poche est employée pour le coulage de l'acier Bessemer (fig. 268), afin de diminuer la perte de chaleur et la formation des seraps qui en résultent quand on coule de petites charges d'acier doux de la cornue dans une poche de coulée ordinaire. Cette poche convertisseur est attachée à l'aide de

clavettes au bec de la cornue renversée pour la coulée. On incline la cornue Bessemer de façon à ne faire passer dans la poche convertisseur qu'une faible fraction du métal qu'elle contient ; celui-ci restant en grande partie en arrière, dans la cornue qui est chaude, et ne coule que graduellement dans

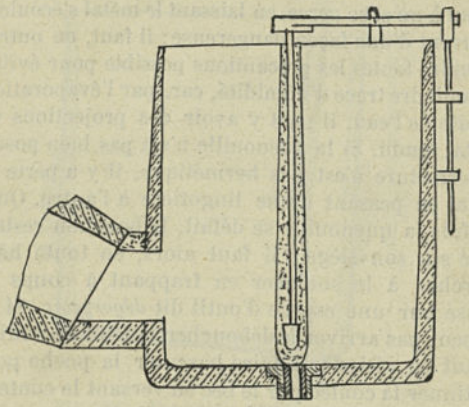


Fig. 268. Poche Caspersson pour convertisseur Bessemer.

la poche en y séjournant à peine avant de passer à la lingotière. Les lingotières se trouvent sur une table tournante qui les amène successivement sous le trou de coulée de la poche.

Coulée à la descente et coulée en source. — Dans la coulée à la descente, l'acier est introduit par le haut de la lingotière et tombe sur la plaque

de fond. La coulée à la descente a pour avantage de demander une installation simple et doit toujours être préférée pour les petits lingots. Si la lingotière est de grandes dimensions, il peut être dangereux de laisser tomber d'une grande hauteur, sur la plaque de fond, un liquide aussi dense que l'acier. Au delà de 4 mètres, on risque de briser la plaque de fond ou de la percer ; on peut protéger ce fond par une plaque en tôle qui, après refroidissement, reste adhérente à la partie inférieure du lingot et disparaît avec le déchet du métal auquel on consent toujours en sacrifiant, dans le cours de la fabrication, le pied du lingot. On peut, dès le début de la coulée, imprimer à la poche un léger mouvement de balancement ; de cette façon, on évite que le jet initial du métal ne perce cette tôle. Enfin, si le liquide tombe d'une très grande hauteur dans la lingotière, il rejaillit vers les parois en gouttelettes qui se refroidissent rapidement, s'oxydent à la surface et retombent dans la masse. Or, ces globules oxydés ne se soudent pas au reste du métal et forment ce qu'on nomme des gouttes froides, se trouvant toujours très près de la surface extérieure.

Pour éviter ces gouttes froides et le danger de rupture de la plaque de fond, surtout quand les lingotières sont élevées, on adapte au bas de la lingotière un siphon garni de terre réfractaire ; on coule le métal par ce siphon. Cette méthode de coulée n'est pas exempte de critique ; elle a le défaut d'arracher les morceaux de la garniture réfractaire du siphon et de les entraîner dans le lingot ; en outre, le métal étant introduit par le

bas, c'est l'extrémité inférieure du lingot qui se trouve la plus chaude.

Comme la coulée en source ne peut se faire qu'en poche, on peut, pour éviter les inconvénients du refroidissement du métal au cours de la coulée, combiner pour la coulée des gros lingots les deux mode de coulée à la descente et en source. On commence alors par couler en source la partie inférieure du lingot, puis on termine en coulant avec les deux poches à la fois. La coulée en source exige une installation plus compliquée et pour cette raison elle n'est pas vulgarisée dans les aciéries.

D'une façon définitive, nous pouvons dire qu'il faut verser dans la lingotière d'une façon continue sans interruption et, si la lingotière exige plusieurs poches, il ne faut pas attendre qu'une poche soit complètement vidée pour ouvrir la deuxième.

II. MOULES ET LINGOTIÈRES

On distingue deux sortes de moules, ceux établis en matière plastique et ceux en métal.

Les moules en terre sont employés pour le coulage des pièces qui ne doivent subir aucun travail de forge et qui sont analogues à celles que l'on coule en fonte dans les fonderies. On produit, de cette façon, un grand nombre de pièces de machines ayant une résistance supérieure à celles en fonte ; il faut mettre ce genre de produits à l'abri des soufflures, on doit par conséquent, dans leur fabrication, tenir compte des artifices que nous indiquerons plus loin, donner au métal une com-

position chimique convenable et employer de fortes masselottes.

La température du fer et de l'acier étant supérieure à celle de la fonte, il faut choisir les matières à employer pour le moulage ; on ne peut pas se servir du sable vert sans passer les moules dans l'étuve ; tous les moules doivent être séchés et portés à très haute température avant la coulée.

On emploie souvent, comme sable de moulage, un mélange de terre réfractaire et de matières destinées à diminuer le retrait de la cuisson ; les moules en terre ne peuvent servir qu'une seule fois, les moules métalliques n'ont pas cet inconvénient mais ils ne sont applicables qu'aux pièces de formes simples, dont le retrait peut se faire sans être gêné par les parois du moule ; on ne se sert de moules métalliques ou lingotières que pour couler des pièces destinées à être étirées.

Lingotières. — La forme la plus ordinaire des lingotières est celle d'un tronc de pyramide à section carrée, rectangulaire ou polygonale, ouvert à ses deux extrémités ; l'épaisseur de leurs parois est variable ; elle est généralement comprise entre 5 et 15 centimètres, selon les dimensions des lingots qu'elles doivent fournir ; le rapport entre la section et la hauteur a une grande importance. Si on adopte une faible section et une grande hauteur, on réduit, il est vrai, le travail de l'étirage que doit subir le lingot pour arriver aux dimensions de la pièce finie, mais ce travail moindre ne donne pas au métal toute la qualité voulue. Si, au contraire, on donne une grande section avec faible hauteur, on augmente le travail de l'étirage. On

donne généralement au lingot une hauteur double de son épaisseur. On y ajoute une dizaine de centimètres pour ne pas être obligé de les remplir jusqu'en haut.

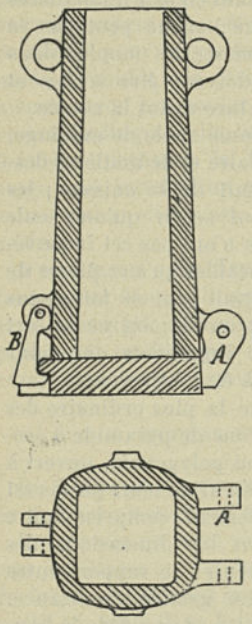


Fig. 269. Lingotière.

La grande base de la lingotière repose sur une plaque de fond en fonte assez épaisse sur laquelle vient frapper le jet liquide dès les premiers instants de la coulée à la descente. Si on veut appliquer au métal une pression artificielle, ou si on doit couvrir la surface de sable et maintenir le couvercle avec des clavettes, il faut fixer le fond à la lingotière à l'aide de clavettes (fig. 269). A cet effet le fond porte des oreilles A dans lesquelles on fixe des goujons en fer et autour desquelles le fond peut basculer. Des crochets B maintiennent le fond en place. Dans quelques usines on reçoit le métal liquide dans une sorte d'entonnoir intermédiaire garni de terre réfractaire et percé d'un ou de plusieurs trous de coulée. On brise ainsi la violence

du jet venant directement du four ou de la poche de fonderie, et comme l'acier remplit plus tranquillement la lingotière, l'homogénéité du lingot est mieux assurée.

La forme carrée est surtout pour les petits lingots ou de dimensions moyennes ; elle présente toutefois l'inconvénient de rendre le forgeage moins régulier, le corroyage, c'est-à-dire la diminution des dimensions transversales, étant sensiblement plus fort vers les angles que vers le milieu de la section. Avec la section hexagonale il est difficile de forger alternativement dans des plans rectangulaires, condition nécessaire pour donner à la pièce une section régulière ; aussi la section octogonale est-elle le plus souvent employée pour les grosses pièces de forge. La section rectangulaire est adoptée pour les lingots destinés à fournir par le laminage ou pilonnage des plaques de blindage et des tôles.

Les lingotières rondes et tronconiques étaient autrefois rares en France, mais elles ont commencé à se répandre depuis la fabrication des bandages de roues sans soudure et celle des obus en acier très dur. Le défaut de la lingotière à section circulaire, c'est de provoquer des déchirures peu profondes appelées *criques*. En effet, le métal qui y est coulé se refroidit au contact des parois et il se forme plus ou moins vite une mince croûte autour du métal en fusion. Le retrait général commence à se produire et la croûte du lingot se détache de la lingotière et supporte la pression du métal fluide qu'elle contient et qui tend à agrandir son périmètre, et comme la croûte ne peut pas

s'agrandir en se déformant, elle cède et se fend en produisant une crique.

Pour éviter ce fait on adopte la lingotière à section horizontale telle que la croûte puisse se gonfler sans déchirures ; on est ainsi arrivé à donner aux lingotières des sections dont les côtés sont légèrement convexes vers l'intérieur. On obtient ainsi un meilleur retrait pour le métal et des lingots à faces mieux dressées. La coulée en source favorise la formation de criques longitudinales ; il est nécessaire en effet que le métal soit coulé chaud, puisqu'il arrive par un siphon de faible section dont il faut éviter l'obstruction et qu'il doit remonter ensuite à travers l'acier qui a déjà rempli la lingotière en partie. Comme le métal est coulé très chaud, les couches extérieures se solidifient tandis que le cœur est encore liquide. Si, d'autre part, on coule le métal froid il peut se former une croûte à la partie supérieure du métal avant la fin de la coulée ; alors le métal liquide qui arrive en dessous pressant sur cette croûte, la perce et passe par-dessus en englobant ainsi à l'intérieur du lingot une couche de métal mal soudée.

Pour faciliter le démoulage on fait les lingotières coniques. Certaines usines arrivent à démouler rapidement par l'emploi de lingotières en deux morceaux s'emboîtant l'un dans l'autre ou prenant appui par une feuillure et maintenus par deux frettes en fer. Elles ne sont commodes que pour les petits lingots ; elles ont l'inconvénient de donner des lingots présentant deux bavures longitudinales qu'il va falloir buriner avant tout travail de transformation.

On rencontre aussi des lingotières ouvertes seulement à la partie supérieure, le fond étant venu de fonte avec les parois (figure 270). Ces lingotières, dites *borgnes* ou *à retournement*, présentent l'avantage d'éviter les bavures à la partie inférieure ; le lingot est plus propre et ne présente pas de petites étirures qui se trouvent toujours dans le voisinage des bavures ; cependant le fond s'use assez vite et nécessite le remplacement de la lingotière entière. Pour garantir le fond on se sert de l'entonnoir intermédiaire à plusieurs trous. Pour démouler il suffit de soulever les lingotières par les oreilles, le lingot se détache de lui-même et reste debout sur sa base.

Lingotières de M. Wilson, pour acier Bessemer. — Un autre modèle de lingotières, pour lesquelles il a été pris une patente par MM. Wilson, de Barrow-in-Furness, paraît être supérieur à tout ce qu'on a essayé jusqu'à présent. L'inventeur a imaginé des lingotières fermées (fig. 271) et des lingotières ouvertes (fig. 272 et 273), dans chacune desquelles on a pourvu à ce qu'il y ait égale dilatation, et sous ces deux formes elles ont présenté décidément les avantages que voici : célérité pour décharger et produire des lingots bien sains ; conicité moindre ; plus grande légèreté que les autres lingotières ; inutilité des ceintures, même pour les lingots d'un grand poids ; premier effet de la dilatation absorbé par des plaques en queue d'aronde indépendantes sur le fond des moules, ce qui les empêche de se crevasser et les rend plus durables que tous les autres modèles proposés jusqu'à ce moment.

Les plaques et les raccords sont toujours faits par duplicata et peuvent, par conséquent, être aisément remplacés par d'autres dans le cas où ils sont brûlés. Mais un autre avantage que l'on rencontre dans ces lingotières, c'est qu'elles refroidissent plus

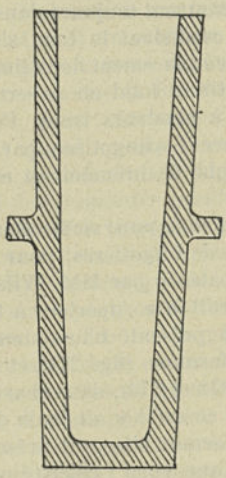


Fig. 270. Lingotière à retournement ou borgne.

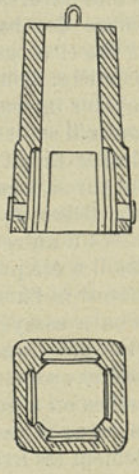


Fig. 271. Lingotière fermée de Wilson pour acier Bessemer.

promptement, et, chose plus importante encore, c'est que quand le lingot vient à adhérer et s'attacher, on peut le faire sortir à la minute en relâchant les broches et les clavettes de serrage, tandis que dans le cas d'un lingot qui adhère dans

une lingotière d'une seule pièce il faut quelquefois le travail de deux ou trois hommes pendant une heure (souvent avec peu de succès) pour le chasser

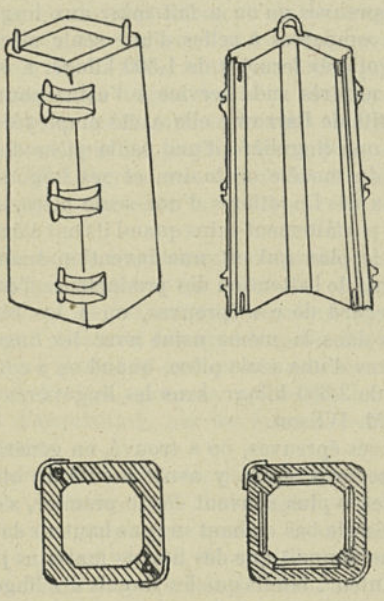


Fig. 272 et 273. Lingotières ouvertes Wilson, pour acier Bessemer.

avec un billot, et que dans bien des cas on risque de casser les lingotières et on les casse effectivement en cherchant à chasser le lingot, ce qui est un inconvénient grave, pour ne pas dire plus, des

anciennes lingotières, et qui suffirait déjà pour établir la supériorité de la lingotière Wilson, même quand elle n'offrirait que ce seul avantage.

M. B. D. Healey a résumé les résultats de certaines épreuves qu'on a fait subir aux lingotières Wilson comparées à celles d'une seule pièce. Une des lingotières fermées de 1,500 kilogr. a été soumise à un très rude service à l'usine pour acier d'hématite de Barrow ; elle a été employée à alimenter une lingotière d'une seule pièce de 3,500 kilogr. du modèle ordinaire, et ses lingots, ainsi que ceux des lingotières d'une seule pièce, se sont trouvés parfaitement sains quand ils ont été moulés d'après le plan qui est une invention américaine très digne de l'attention des producteurs d'acier.

En regard de ces épreuves, on a les résultats obtenus dans la même usine avec les lingotières ordinaires d'une seule pièce, quand on a coulé des lingots de 3,500 kilogr. sans les lingotières patentées de M. Wilson.

Dans ces épreuves, on a trouvé, en général, que les lingotières, après y avoir moulé un ou deux lingots et le plus souvent dès le premier, s'étaient crevassées de bas en haut sur une hauteur de 0m60, ce qui ne donnait que des lingots malsains jusqu'à cette hauteur, tandis que les lingots des lingotières Wilson ont toujours été sains.

Les lingotières ouvertes de 600 kilogr. sur le principe Wilson ont été soumises à des épreuves avec le même succès ; elles ont résisté à un moulage de 101 lingots au maximum et de 65 au minimum, soit de 83 en moyenne ; mais avec l'acier Martin-Siemens, on a trouvé qu'elles résistaient au moulage

au moins de 90 lingots, et comme elles vont être prochainement appliquées à cet acier à l'usine de Landore, on pourra rendre compte des résultats.

Les lingotières ouvertes supportent huit à dix moulages sans renouvellement de bouchage, et peuvent alors être ouvertes et rebouchées en six minutes environ. Elles sont fort utiles pour les grosses pièces, les lingots des rails, et exigent une faible conicité. Les lingotières fermées sont surtout avantageuses pour les lingots légers, par exemple de 400 à 700 kilogrammes et peuvent être déchargées promptement avec la moitié de la conicité ordinaire.

Le prix de ces lingotières, en considérant leur poids comparativement à celui des lingotières d'une seule pièce, est environ le même que celles ordinaires ; elles sont fabriquées en fer d'hématite de première qualité et sont encore achetées, quand elles sont brûlées, pour la moitié de leur prix primitif d'acquisition, par les fours à puddler et les fonderies.

Avant de mettre en service des lingotières neuves, il est bon de les enduire d'une légère couche isolante qui les garantisse contre le contact trop brusque du métal liquide. On emploie à cet effet du graphite délayé dans un lait de chaux ou d'argile ou toutes autres matières analogues ; il est également prudent, pour éviter les ruptures, de les chauffer toutes les fois qu'elles n'ont pas conservé de la chaleur des coulées précédentes.

III. MOYENS D'OBTENIR DES LINGOTS ET DES PIÈCES MOULÉES SANS SOUFFLURES

Les cavités provenant du retassement et du dégagement des gaz présentent de graves inconvénients aussi bien pour les pièces moulées que pour celles qui sont destinées à être forgées ou laminées ; ces défauts sont plus graves encore si dans ces cavités il se réunit, par liquation, des alliages phosphoreux ou sulfureux ; aussi a-t-on cherché les moyens de les éviter et de produire de l'acier et du fer fondus sans soufflures. Nous allons indiquer les différentes solutions proposées en commençant par les plus importantes ; le choix qu'on en doit faire dépend de la nature du métal et de la disposition des moules destinés à les recevoir.

1° La première solution consiste à diminuer le dégagement des gaz en réglant convenablement la composition du métal. L'oxyde de carbone ne peut se former, s'il ne se trouve, en dissolution dans le fer ou l'acier, un oxyde réductible par le carbone, du protoxyde de fer principalement. La formation de l'oxyde de carbone favorise le dégagement de l'hydrogène dissous.

La présence du silicium ou de l'aluminium diminue la quantité des gaz dégagés. L'observation de ces faits indique la marche à suivre pour déterminer la composition chimique, de telle sorte que le dégagement de gaz soit le plus faible possible. On atteindra ce résultat, d'abord en produisant le métal dans des conditions telles qu'il soit moins exposé à dissoudre de l'oxyde de fer et de l'hydro-

gène. Plus le métal contiendra de carbone, de manganèse et de silicium, moins il aura de tendance à dissoudre de l'oxyde de fer ; mais la proportion de ces différents corps n'est pas indifférente et doit être réglée d'après l'usage auquel le métal est destiné. Par exemple on laissera subsister peu de carbone dans un fer qui doit être doux et tenace ; la présence du silicium et du manganèse a moins d'influence que le carbone sur les propriétés mécaniques ; c'est donc sur ces deux éléments qu'on porte son attention pour s'opposer à la formation des soufflures.

Quand le métal a été exposé à des actions oxydantes énergiques, comme cela se passe dans les procédés Bessemer et Martin, on doit avant la coulée faire une addition susceptible de décomposer le protoxyde de fer et de diminuer le dégagement de l'hydrogène. Pour assurer cette réduction, on emploie dans la plupart des cas le manganèse soit sous forme de spiegeleisen, soit sous celle de ferromanganèse ; plus l'excès de manganèse est grand et plus rapide est la décomposition du protoxyde de fer. La proportion de manganèse ainsi ajoutée doit dépendre de celle de l'oxygène absorbé par le métal; si celle-ci, s'élève à 0,25 0/0, ce qui, d'après ce que nous avons exposé, est la plus forte dose qu'il puisse contenir et seulement lorsque le degré de carburation est très faible, on devrait introduire 0,80 0/0 de manganèse. En vérité il suffit d'une quantité moindre, parce que le carbone contenu dans l'alliage manganésé agit de son côté pour amener la décomposition du protoxyde de fer, mais plus le métal est sulfureux, plus il est nécessaire

de le mettre en présence d'un excès de manganèse ; on règle donc l'addition de façon qu'au moment de la coulée le bain renferme au moins 0,25 0/0 de manganèse ; on arrive même jusqu'à 1 0/0.

L'addition du manganèse n'empêche pas complètement le dégagement des gaz et n'agit pas avec autant d'efficacité que le silicium et l'aluminium sur celui de l'hydrogène. De plus le protoxyde de manganèse qui se forme à la place du protoxyde de fer, se décompose partiellement et donne naissance à de l'oxyde de carbone qui se dégage. En outre les composés manganésés qu'on emploie sont tous carburés et une partie de leur carbone brûle en produisant de l'oxyde de carbone. Il faut donc employer d'autres alliages si on veut avoir un métal exempt de soufflures ; les plus usités sont ceux du silicium qui possède la propriété de diminuer le dégagement des gaz. S'il faut 3,5 de manganèse pour former un protoxyde avec 1 d'oxygène, 0,9 de silicium suffisent pour absorber la même quantité d'oxygène en produisant de la silice. La pratique a cependant démontré qu'une addition de ferro-silicium seul sans ferro-manganèse donne un métal de qualité médiocre.

Quelquefois au lieu du ferro-silicium on emploie le *carborundum* qu'on obtient au four électrique et qui contient 70 0/0 de silicium et 30 0/0 de carbone.

Une addition, en petite quantité, d'aluminium est très efficace pour diminuer le dégagement de gaz. Pour absorber 1 d'oxygène il suffit de 1,2 d'aluminium, c'est-à-dire trois fois moins que le manganèse ; l'affinité de l'aluminium pour l'oxygène est beaucoup plus grande que celle de deux autres

éléments et le carbone est sans action sur l'alumine produite. Il faut donc un moindre excès d'aluminium que de manganèse pour assurer la réduction du protoxyde de fer et diminuer le dégagement des gaz, mais une très petite dose d'aluminium rend le métal moins fluide, ce qui est un obstacle au libre dégagement du gaz et favorise la formation des soufflures, effet tout opposé à celui qu'on cherche à obtenir ; elle diminue la malléabilité à chaud, la soudabilité et accroît la fragilité, elle augmente le retrait et, par conséquent, la tendance au retassement.

On ajoute donc très peu d'aluminium, 0,1 0/0, qu'on dépasse un peu pourtant pour les pièces moulées où la malléabilité, etc., ont moins d'importance ; on descend à 0,06 0/0 pour le métal destiné à l'étirage et, dans ce cas, on l'ajoute après l'addition du manganèse.

L'aluminium est employé en état de métal pur et, comme il est trop peu dense, il faut employer certains artifices pour le faire plonger dans le bain jusqu'à ce qu'il soit dissous. Souvent on jette dans le fond des moules cette quantité d'aluminium, son point de fusion étant plus bas que celui du fer et de l'acier, il s'y dissout facilement. Depuis 1885, on a couramment recours à cet artifice.

2° Le second moyen employé pour combattre les soufflures consiste à pourvoir les pièces coulées d'une masselotte. La masselotte est une partie supplémentaire qu'on coule en même temps que la principale et qui se trouve naturellement au-dessus ; elle doit en être séparée après la solidification du métal.

Les lingots de fer et d'acier sont de forme prismatique, la plus grande dimension étant verticale. Si donc on veut munir un lingot d'une masselotte, on lui donne 0m 10 de hauteur en plus et on retranche au tour, ou par tout autre moyen, ces dix centimètres supplémentaires.

Cette pratique est très utile, car, sur chaque lingot coulé, il se forme sur la surface supérieure une croûte solide qui s'oppose au dégagement des gaz ; il se fait donc une accumulation de gaz à la partie supérieure qui renferme des cavités en plus grand nombre que le reste du lingot ; quand donc on ajoute une masselotte, c'est dans cette partie que les gaz se réunissent et laissent la partie inférieure du lingot, c'est-à-dire la partie utile, saine ; si, de plus, le métal a tendance à tasser, c'est sur la masselotte qu'il va se former l'entonnoir, la masselotte fournira le métal qui remplira le vide produit par le retrait et on dit qu'elle *nourrit* le lingot.

Pour que cela puisse se produire, il faut que le lingot se solidifie tout entier avant la masselotte. Il faut donc donner à la masselotte une forme massive et recourir à certains artifices pour maintenir la masse à l'état liquide à la partie supérieure : c'est ainsi qu'on peut faire le moule de la masselotte indépendant, et en terre réfractaire, que l'on porte à la chaleur blanche avant de le disposer sur celui de la pièce elle-même, au moment de la coulée. Quand la coulée est terminée, on recouvre le tout d'un couvercle également chauffé au blanc.

On peut également crever la croûte qui se forme sur la surface et verser dans la masselotte du

métal liquide à mesure que la pièce se refroidit.

A cause de la main-d'œuvre exigée pour détacher la masselotte du lingot utile et de la perte qui en résulte par la deuxième fusion de ces masselottes, on cherche toujours à limiter leurs dimensions au strict nécessaire. La figure 274 représente une lingotière avec masselotte pour la coulée de gros lingots destinés à des pièces de forges.

3° Le troisième moyen pour éviter des soufflures est de couler les pièces ou les lingots aussi gros que possible. Il est évident que ce moyen ne peut s'appliquer qu'aux lingots devant subir l'étirage et qu'on peut ensuite sectionner soit au cours de l'étirage, soit quand celui-ci est terminé. Les soufflures s'y produisent en bien moindre quantité, car le lingot est plus volumineux et se refroidit plus lentement. Ce moyen exige, comme on le pense bien, l'établissement d'appareils ébaucheurs puissants et, d'un autre côté, la cavité de retassement augmente en même temps que le volume du lingot et la tendance à se liquater est favorisée par la lenteur du refroidissement ; il est donc bon de ne pas exagérer les dimensions et de ne pas dépasser certaines limites.

4° On peut réduire le nombre des soufflures en coulant en source. Nous avons dit qu'en coulant par le haut du fer ou de l'acier dans un moule, le métal se pulvérise contre le fond tant que celui-ci n'est pas recouvert d'une certaine épaisseur de matière en fusion ; les gouttelettes ainsi produites se solidifient immédiatement et sont soulevées par la masse liquide ; elles flottent à la surface en provoquant un dégagement de gaz ; si les gouttelettes

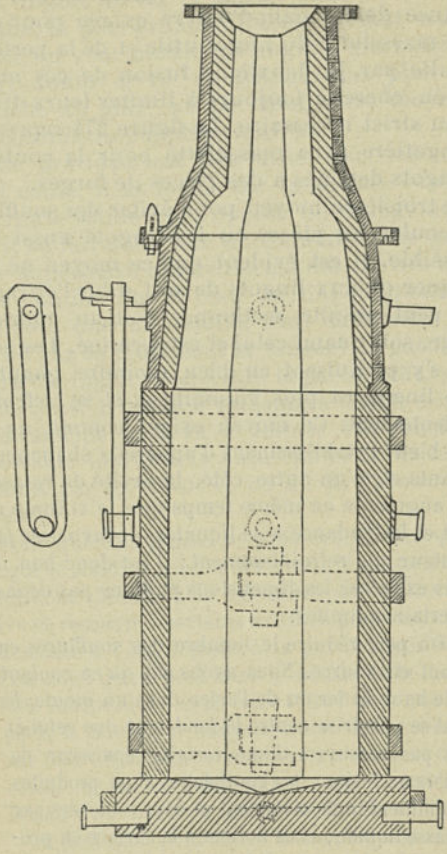


Fig. 274. Lingotière à masselotte pour gros lingots.

sont oxydées, ce qui arrive en général, elles ne se soudent pas au reste du métal et cèdent une partie de leur oxygène au métal qui les environne, et, si on casse le lingot, on trouve ces globules au fond d'une soufflure.

5° On peut encore éviter les soufflures en exerçant une forte pression sur le métal pendant sa solidification. Il est établi qu'on peut s'opposer au dégagement des gaz, tenus en dissolution dans un liquide, en exerçant sur celui-ci une forte pression; de même qu'on réduit le volume des gaz qui se dégagent d'autant plus que la pression à laquelle ils sont soumis est plus élevée; le métal coulé sous forte pression présentera donc des soufflures moins nombreuses et plus petites.

La figure 275 indique une disposition fort simple employée souvent pour empêcher le métal de monter dans les moules où il est coulé directement. On remplit la lingotière jusqu'à 10 centimètres du bord supérieur, on jette au-dessus du métal du sable sec ou du sable de moulage, de manière à la combler et on recouvre le tout d'un couvercle que l'on maintient au moyen de clavettes, tandis que le métal est encore liquide; les anneaux en fer, à travers lesquels passent les clavettes, ont été noyés dans la fonte lorsqu'on a coulé les lingotières. La pression ainsi obtenue est limitée et il arrive que, si le dégagement de gaz est très abondant, le métal filtre à travers le sable et s'échappe par le joint qui existe entre le couvercle et la lingotière.

Dans un grand nombre d'usines, on applique au métal coulé la pression hydraulique. Les moules sont alors composés de forts anneaux en acier

superposés et reliés les uns aux autres, garnis intérieurement d'une couche de matières réfractaires dans laquelle on a ménagé les évents qui permettent l'échappement des gaz. Les moules sont disposés sur une plate-forme et, lorsqu'ils sont remplis de métal liquide, on les amène sous le

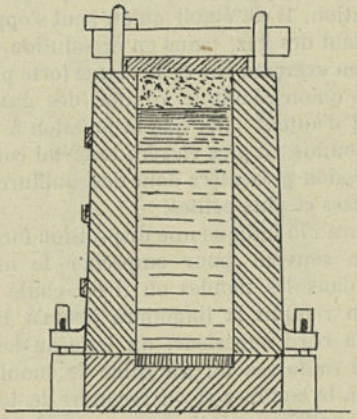


Fig. 275. Lingotière bouchée.

piston d'une presse hydraulique garni de matières réfractaires et animé d'un mouvement vertical ; il s'applique sur la surface du métal liquide et on l'y maintient pendant un certain temps variant de vingt à cinquante minutes, temps pendant lequel il exerce une pression de 600 kilogr. par centimètre carré.

Avec ce procédé, on obtient des lingots présen-

tant vers l'axe une cavité profonde remplie de gaz combustible ; il se produit là un effet contraire à ce qu'on cherchait à obtenir et, pour cette raison, cette méthode n'est plus employée que pour des lingots devant être évidés dans leur milieu comme les bandages, les réservoirs à gaz, etc.

Aux aciéries de Saint-Etienne, on a employé un procédé plus efficace en appliquant l'effort sous le lingot. Le haut de la lingotière est entièrement ouvert et a, à l'intérieur, la forme d'un tronc de pyramide élancée. Le bas de la lingotière se termine par une partie prismatique dont la longueur correspond à la course du piston compresseur. La tête de ce piston soulève la petite plaque en fonte qui sert de fond à la lingotière pendant la coulée et qu'on remplace sans beaucoup de frais. En se solidifiant, le lingot se contracte, mais, en montant dans la lingotière sous l'influence de la montée du piston, ses parois extérieures sont maintenues en contact avec la surface intérieure de la lingotière et se trouvent comprimées, puisque le lingot s'élève dans un espace qui va en se rétrécissant; de cette façon, le vide dû au retassement est rempli par le métal liquide refoulé par cette compression. Ce procédé ne s'est pas répandu à cause de la nécessité d'avoir une presse particulière pour chaque forme de lingotière.

CHAPITRE XX

Acier de cémentation

SOMMAIRE. — I. Agents de cémentation. — II. Fours de cémentation. — III. Autre mode de cémentation.

Lorsqu'on maintient pendant un certain temps à la chaleur rouge, le fer entouré de charbon de bois ou de quelque autre corps riche en carbone, cet élément est absorbé en partie et on obtient de l'acier : ce mode de production de l'acier est plus compliqué que tous ceux que nous avons décrits jusqu'ici au moyen des fours à puddler, des feux d'affinerie, de l'appareil Bessemer et du four Martin, et il est de plus bien plus coûteux.

On soumet en général à la cémentation le fer obtenu par soudage, parce que, abstraction faite des scories emprisonnées dans la masse, ce fer est plus pur que celui que fournissent les procédés de fusion, qui laissent toujours dans le métal du manganèse, du silicium et de plus fortes proportions de soufre; quant aux scories, elles se trouvent en grande partie réduites à l'état métallique par la chaleur rouge, maintenue longtemps en présence de corps carburants et réducteurs, et, d'ailleurs, lorsqu'on refond au creuset l'acier cémenté, elles se séparent naturellement. Il vaut mieux choisir, pour la cémentation, le fer qui est le moins chargé de scories; la présence de ces matières riches en oxyde de fer et disséminées

irrégulièrement dans le métal, rendrait la carburation inégale ; on préfère donc le fer affiné au bas foyer, et surtout celui des forges suédoises, dont la teneur en phosphore est très faible.

I. AGENTS DE CÉMENTATION

Le prussiate de potasse est un excellent agent de cémentation ; on s'en sert de la même manière que le poussier de charbon.

Le fer se cémente très bien au moyen de l'hydrogène carboné, en laissant séjourner ce gaz, pendant un certain temps, sur des barres de fer disposées, à cet effet, dans un cylindre de fonte revêtu d'un revêtement en argile réfractaire, et enveloppé de tous côtés de charbon allumé.

M. Macintosh, qui paraît avoir eu le premier cette idée, a trouvé que l'appareil le plus convenable était un cylindre de 4 à 6 pieds de long, de 10 à 11 pouces de diamètre ; il emploie, pour la chemise intérieure de ce tube, de l'argile réfractaire crue, mélangée avec environ un tiers de la même argile cuite et réduite ensuite en poussière. Cette précaution a pour but d'éviter le retrait. Le cylindre porte des ajutages à chaque extrémité, pour l'introduction et la sortie du fer et de l'hydrogène.

La charge du tube est de 100 à 150 livres de fer ; les barres sont disposées dans le sens de la longueur, et séparées l'une de l'autre par de petits morceaux placés en travers. Le gaz employé est celui qui provient de la distillation de la houille ; on ne le renouvelle que toutes les demi-heures. L'acier

qui sort de cet appareil est entièrement semblable à l'acier ordinaire, il produit du bon acier de fusion et peut servir avec avantage dans la confection d'instruments de coutellerie fine.

La durée de l'opération dépend de l'épaisseur des barres : avec des barres de 0,055 de largeur et de 0,014 d'épaisseur, la cémentation complète exige dix-huit à vingt heures.

L'agent le plus ordinaire et le plus économique est le charbon, et le procédé le plus en usage aujourd'hui consiste à placer des barres de fer dans du poussier de charbon, à ouvrir les pores du métal à l'aide de la chaleur et à forcer le carbone d'y pénétrer.

II. FOURS DE CÉMENTATION

L'acier cémenté se fait dans un fourneau d'une construction particulière (fig. 276, 277) : c'est un bâtiment rectangulaire oblong, ayant dans toute sa longueur un foyer A étroit, qu'on charge de combustible au moyen de deux portes placées à chaque extrémité. De chaque côté de ce foyer, à quelques centimètres plus haut, sont construites deux caisses B B destinées à la cémentation, ayant 2m 75 à 3m 50 de longueur sur 0m 80 à 1m 00 de large ; la profondeur varie de 0m 80 à 1m 20, elles sont supportées par des petits piliers de briques, afin de permettre à la flamme de passer dessous et de tous côtés par des ouvertures ménagées à cet effet qui offrent une communication avec les cheminées C. C'est par là que la fumée et l'air chaud s'échappent vers le dôme D qui recouvre les deux

caisses et le foyer. Ces caisses sont construites en terre réfractaire. A une des extrémités sont laissées des ouvertures qui servent à introduire le fer en

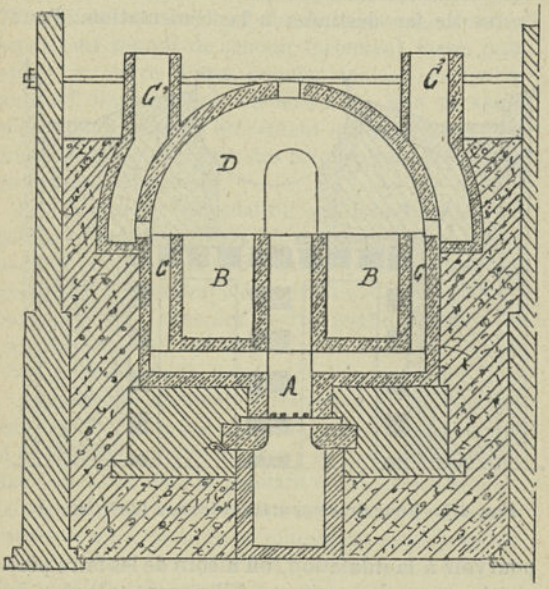


Fig. 276. Four de cémentation (coupe verticale).

barres dans le fourneau et entre lesquelles est une porte plus grande destinée à laisser entrer les ouvriers après le refroidissement, soit pour retirer les barres cémentées, soit pour charger de nouveau. Pour charger les caisses on place entre les

deux une forte feuille de tôle sur laquelle se tient l'ouvrier. Il place le charbon en poudre au fond de chaque caisse, à une épaisseur de 25 millimètres ; il la dame fortement et place ensuite dessus les barres de fer destinées à la cémentation. Pour

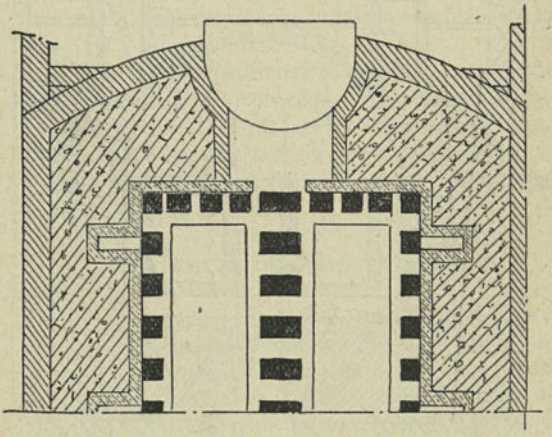


Fig. 277. Four de cémentation (coupe horizontale).

pourvoir à la dilatation, on a soin de les faire plus courtes que les caisses. Elles sont placées de champ sur leur côté le plus étroit et espacées de 12 millimètres. Le même espace est laissé entre les barres latérales et les parois de la caisse. Le charbon est fortement damé dans ces intervalles. On place sur cette première couche un lit de charbon de 25 millimètres toujours fortement pressé, et au-dessus on arrange une nouvelle série de barres,

en damier, c'est-à-dire de manière que la barre de fer du second étage soit placée directement au-dessus de l'intervalle rempli de charbon au premier. On continue ainsi d'étage en étage jusqu'à 75 millimètres du haut de la caisse. Le dernier espace est rempli de cément fortement tassé, puis on le recouvre d'une couche épaisse de sable mouillé. Dans quelques aciéries, au lieu de sable siliceux, on emploie du cément qui a déjà servi et on recouvre le tout avec des briques cimentées avec de la terre réfractaire.

Les caisses de cémentation ont, à leur centre, de petites ouvertures dont l'objet est de laisser sortir hors de la caisse quelques barres plus longues que les autres, qui servent d'éprouvettes. Ces ouvertures correspondent avec des portes pratiquées dans la paroi extérieure, par lesquelles on retire les barres pour s'assurer de la marche de l'opération.

Après le chargement on retire la tôle qui supportait l'ouvrier ; on jette alors un peu de combustible et de feu sur la grille du foyer et on augmente graduellement la chaleur pendant vingt-quatre heures. Le second jour le fourneau a acquis toute sa température et on a soin de la maintenir ainsi pendant toute la durée de l'opération ; une température plus élevée amènerait infailliblement la fusion ; de même qu'au-dessous, l'opération exigerait plus de temps.

Il est évident que plus le fer absorbe de charbon plus il devient disposé à fondre ; ce qui fait que vers la fin de l'opération surtout, il faut bien ménager la chaleur.

Quand on est arrivé au point voulu on cesse d'alimenter le fourneau et on le laisse refroidir pen-

dant plusieurs jours avant d'en retirer l'acier cémenté. Celui-ci, au sortir des caisses, est couvert d'ampoules que les Anglais nomment *blisters*, dues au dégagement des gaz carbonés. C'est ce qui fait donner à l'acier de cémentation le nom d'*acier ampoule*, *acier poule* (par corruption), *blistered steel* chez les Anglais.

Il faut six à huit jours pour faire de l'acier cémenté d'une dureté modérée, tel que celui dit *shear steel*; celui destiné à faire des ressorts ou des scies exige moins de temps, parce qu'il est plus doux; le plus dur, celui qu'on emploie pour les burins, les ciseaux à froid et autres outils de cette espèce, demande à être cémenté quelques jours de plus.

Un fourneau réduit de 8 à 10 tonnes de fer en barres en acier cémenté; l'acier absorbe 1/2 0/0 de carbone et est ordinairement plein de fissures et de cavités à sa surface; il n'offre point d'homogénéité dans son tissu. On est obligé d'en resserrer les pores avant de l'employer, sous un marteau de 75 à 100 kilogr. faisant 200 à 300 tours par minute.

Par tonne d'acier, il faut 45 kilogr. de charbon de bois frais, de 800 à 1,000 kilogr. de houille pour chauffage direct et la dépense en main-d'œuvre varie de 6 fr. 75 à 7 fr. 50, de telle sorte que les frais de cémentation peuvent se résumer de la façon suivante :

Main d'œuvre	6.75	à	7.50
Charbon de bois	3.75	à	5.00
Houille	11.25	à	12.50
Réparations	0.625	à	1.25
Frais généraux, impôts, amortissement	3.125	à	5.00
Totaux	25.50	à	31.25

Fours allemands. — Les fours de cémentation allemands du district de Remscheid, représentés figures 278, 279, comprennent chacun une seule caisse chauffée par sa grille; il est ainsi plus facile

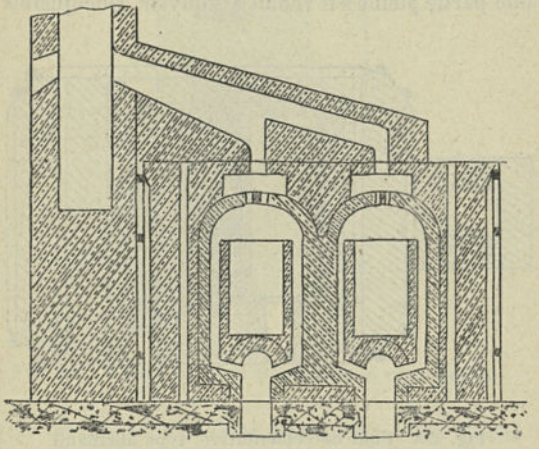


Fig. 278. Four de cémentation, type allemand (coupe verticale).

de régler la température de chaque caisse de façon à obtenir, si on le veut, un degré de carburation différent. La cheminée est sur un massif spécial et commune à plusieurs fours accolés; la suppression du dôme rend la construction moins coûteuse.

Les caisses sont construites en briques réfractaires à base de quartz ou d'argile, ou en pisé. Il est très important que les joints soient exécutés

avec assez de soin pour que l'air ne puisse s'y frayer un passage par lequel il pénétrerait dans la caisse pendant le chauffage. On compose donc les parois de plusieurs épaisseurs de briques à joints croisés de façon que chaque joint soit couvert par une partie pleine s'il venait à s'ouvrir. Quelquefois

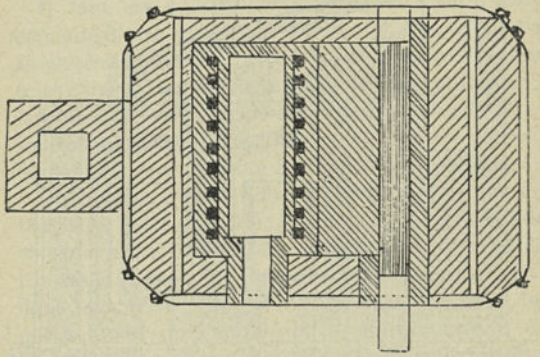


Fig. 279. Four de cémentation, type allemand (coupe horizontale).

même on a recours à des matériaux de formes spéciales qui ont l'avantage de relier ensemble les différentes assises (fig. 280).

III. AUTRE MODE DE CÉMENTATION

Lorsqu'on veut que la couche superficielle de certaines pièces de machines exécutées en fer doux résiste mieux à l'usure ou soit susceptible de rece-

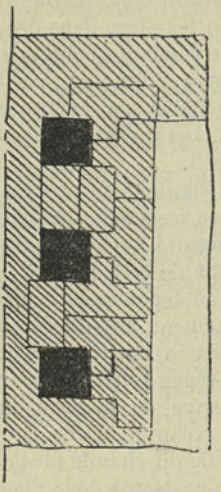


Fig. 280. Construction d'une caisse de cémentation.

voir un poli plus brillant, après leur avoir donné leur forme définitive, on les soumet à une cémentation partielle.

Il est évident qu'on pourrait exécuter ces pièces entièrement en acier, mais on rencontrerait les inconvénients d'une matière première d'un prix plus élevé, d'un travail difficile et on ne pourrait éviter une fragilité au choc plus ou moins grande; on préfère donc employer le fer doux et ne transformer en acier que la surface.

A cet effet, on entoure ces pièces de charbon de bois en poudre mélangé quelquefois de matières

azotées, de charbon d'os, de débris de cuir, de prussiates, et on les place dans des caisses en tôle que l'on chauffe pendant quelques heures sur une grille alimentée avec du coke ; on les retire de la caisse tandis qu'elles sont encore rouges et on les trempe à l'eau. Les surfaces peuvent dès lors recevoir un beau poli.

M. Harvey a employé un procédé analogue pour durcir la surface des plaques de blindage sans augmenter leur fragilité. On lamine ces plaques en fer fondu contenant de 0,10 et 0,35 0/0 de carbone ; elles sont ensuite déposées sur un lit de sable sec ou d'argile finement pulvérisée préparé dans un four à réchauffer construit spécialement pour cette opération ; on répand sur la surface à durcir, qui doit être, en dessus, du charbon de bois en poussière que l'on recouvre d'une couche de briques réfractaires ; puis on chauffe plus ou moins longtemps suivant l'épaisseur de la plaque, à la température de fusion de la fonte ; les plaques de 170 millimètres d'épaisseur, par exemple, sont maintenues à cette température pendant cent vingt heures.

Le chauffage terminé, on enlève la plaque et on la trempe en l'arrosant avec de l'eau lorsqu'elle est à la température du rouge cerise. La surface qui était en contact avec le charbon de bois a acquis une teneur en carbone de près de 1 0/0 ; la carburation va en diminuant vers l'intérieur, de telle sorte qu'à 75 millimètres de profondeur elle n'a augmenté que de 0,1 0/0.

L'acier de cémentation présente un gros grain dans sa cassure, parce qu'il a été pendant longtemps maintenu à une haute température ; il est

jaunâtre et fragile. L'étirage à chaud le transforme en métal à grains fins et lui fait acquérir les propriétés physiques qu'il doit au carbone qu'il renferme, mais on le traite ordinairement d'une façon différente. Il est, en effet, démontré que la carburation présente des irrégularités. Alors même que la cémentation a été suffisamment prolongée, que le carbone a pu pénétrer les barres à cœur, des circonstances fortuites, des différences de température d'un point à l'autre des caisses, des contacts insuffisants ou irréguliers avec le charbon, font varier l'absorption du carbone.

On réduit cet inconvénient ou on le fait disparaître complètement par un corroyage, c'est-à-dire en faisant avec les barres cémentées des paquets que l'on soude et qu'on étire de nouveau ; on atteint encore mieux le même résultat par une fusion au creuset.

Lorsqu'on veut corroyer cet acier cémenté, on en réunit quatre pièces d'environ 45 centimètres de long, qu'on a soin de lier par une petite barre de fer, laquelle s'enlève ensuite. Ce paquet, que les Anglais appellent *faggot* et que nous nommons *trousse*, est placé dans un feu de forge et exposé à la chaleur blanc soudant, après qu'on l'a préalablement saupoudré de sable quartzeux, dans le but de le couvrir d'un vernis siliceux ; on le porte alors sous le marteau, on le soude en le cinglant et lui donnant la forme et la dimension qu'on désire. Il acquiert ainsi de la densité et devient plus homogène ; il est susceptible d'un plus beau poli, prend de la ténacité, de la malléabilité et de la ductilité, il est propre à la fabrication des couteaux, des res-

sorts et autres objets de cette classe. On a donné à l'acier ainsi traité, le nom d'acier de ciseaux, parce qu'il est éminemment propre à la confection des ciseaux de couturières et de tailleurs.

Chaque martineur a pour aides deux jeunes garçons qui arrêtent le marteau, enlèvent les barres étirées de dessus l'enclume et rapportent la trousse chauffée au blanc dans le feu de forge.

Des battitures se forment dans l'étirage et tombent sur l'enclume, où, si elles y restaient, elles nuiraient au poli de la barre, quoique la panne du marteau et l'aire de l'enclume soient aciérées. C'est pour cela que dans quelques usines on prend à la machine soufflante un peu de son vent, qui est apporté par un porte-vent dans une buse, laquelle, en soufflant sur l'enclume, enlève toutes les battitures à mesure qu'elles se forment. Cette disposition a en outre l'avantage de refroidir l'enclume, qui prend une certaine chaleur sous la barre martelée.

Il est en effet remarquable qu'une trousse, retirée à la chaleur blanche de la forge et n'arrivant qu'au rouge plus ou moins clair sous le marteau, reprenne bien vite sa première température sous la percussion. Ce n'est plus au feu du fourneau qu'elle doit son extrême malléabilité, mais bien à la chaleur latente qu'on force à sortir des pores métalliques.

La perte, au martelage, des barres cémentées, varie entre 5 et 8 0/0. Le tissu de l'acier cémenté est le résultat d'une cristallisation confuse, qui ne présente ni grains, ni lamelles, ni cristaux, mais une texture métallique informe, dans laquelle on

distingue une tendance à la stratification. C'est le résultat d'une forte chaleur; lorsque la température de cémentation a été élevée on s'aperçoit d'une tendance à devenir grenu.

On peut ramollir l'acier, en l'enveloppant en tous sens d'une couche de limaille de fer de 0m 02 à 0m 015 d'épaisseur; il est bon que cette limaille soit rouillée. Le tout est enfermé dans une caisse de tôle et luté hermétiquement; on la tient dans le fourneau le temps nécessaire pour la décarburation qui dure ordinairement cinq à six heures; on recouvre de poussier de charbon pour éviter le contact de l'air et on laisse éteindre le feu. S'il s'agissait de décarburer entièrement, il faudrait prolonger l'opération pendant plusieurs jours.

CHAPITRE XXI

Appareils mécaniques destinés à améliorer le fer et l'acier et à leur donner une forme déterminée.

Sommaire. — I. Marteaux. — II. Presses. III. Laminoirs.

Le fer et l'acier ne peuvent pas être employés sous la forme qu'ils affectent à leur sortie des fours ou des autres appareils dans lesquels ils ont été produits; il faut par conséquent leur faire subir un travail mécanique qui a pour but d'en

améliorer la qualité et de les amener à une forme, à un profil déterminé.

Le métal fer ou acier obtenu par soudage, nous avons vu, renferme une grande quantité de scories; si on ne le soumet pas à une fusion, il faut chauffer le métal à une température assez élevée pour le ramollir et liquéfier la scorie, puis l'appliquer soit à une forte pression, soit à un martelage, pour lui enlever la plus grande partie des scories.

Les lingots obtenus par fusion présentent à leur intérieur des cavités produites par le dégagement des gaz ou par le retassement; le travail mécanique, presse, marteau, laminoir, a pour effet de rapprocher les parois de ces cavités et de diminuer leur effet nuisible. Nous avons vu aussi que le travail à chaud modifie la texture et améliore les propriétés mécaniques.

On a donc recours à des appareils mécaniques qui, aujourd'hui, sont devenus des engins puissants de cinglage, d'ébauchage et de finissage. Nous allons passer en revue ceux parmi tous, qui sont les plus employés.

I. MARTEAUX

Le marteau est une masse de fer ou de fonte fixée au bout d'un manche et qui, en tombant sur une autre masse de métal, produit ce qu'on appelle la percussion.

L'aire du marteau doit avoir été soumise à une espèce de trempe, c'est-à-dire refroidie plus promptement que le reste; lorsqu'elle a été fondue, si elle est en fer, elle doit être aciérée. Cette attention est

nécessaire, car la panne qui serait en fonte grise aurait bientôt pris l'impression des corps durs soumis à son choc et se détériorerait en peu de temps.

Il en est de même de l'aire de l'enclume sur laquelle se pose la loupe à cingler et s'exerce la compression. Elle doit être placée dans une position fixe et assise sur un grillage particulier. On la consolide à l'aide d'une *chabotte* en fonte placée dans le billot qui est au centre du grillage.

Pour corroyer et étirer le fer, le marteau agit par coups répétés : le coup se distingue de la pression en ce que l'organe qui produit le coup est animé d'une grande vitesse au moment où il rencontre l'objet frappé.

Le marteau doit être d'autant plus lourd que la pièce à forger est elle-même plus forte et plus dure, et cela pour plusieurs raisons : en premier lieu la vitesse ne peut pas dépasser une certaine limite sans exposer la pièce en mouvement à se briser, la masse doit donc être, dans une certaine mesure, proportionnelle à l'effet que doit produire le coup, c'est-à-dire que, pour forger des pièces volumineuses, il faut employer de gros marteaux.

Les parties du marteau et de l'enclume qui viennent en contact avec la pièce à forger s'appellent les *pannes*.

La chabotte a pour but d'absorber l'excédent de puissance vive du marteau, c'est-à-dire la partie de cette puissance qui n'a pas été employée au travail de déformation ; sans cet intermédiaire les trépidations se transmettraient avec une extrême violence au sol. La chabotte est donc d'autant plus

efficace qu'elle est plus lourde ; les marteaux lourds sont munis de chabottes très volumineuses. Voici le mode de calcul indiqué par Hauer pour le calcul des chabottes des marteaux en général et des marteaux-pilons en particulier.

Soient :

P le poids de la chabotte en kilogrammes ;
Q celui du marteau en kilogrammes ;
V la vitesse au moment du choc en mètres ;
g l'accélération $= 9{,}810$;

On aura :

$$2\,Q\frac{V^2}{g} < P < 2{,}5\,Q\frac{V^2}{g} \text{ pour le fer doux}$$

$$2\,Q\frac{V^2}{g} < P < 4\,Q\frac{V^2}{g} \text{ pour l'acier}$$

Les chabottes sont formées, autant que possible, d'une seule pièce ou tout au moins d'un petit nombre de parties ; on les coule habituellement sur place. Une couche élastique formée de pièces de bois et disposée sous la chabotte amortit les vibrations et empêche la transmission aux constructions voisines.

Marteaux à manche. — On distingue trois espèces de marteaux de forges ; ils tirent leur nom de la manière dont ils sont mis en mouvement. Dans le marteau *frontal*, la puissance qui le soulève est placée à l'une des extrémités, et le point d'appui ou l'axe de rotation est à l'autre ; dans celui à *bascule*, le point d'appui est entre le moteur et le marteau proprement dit ; dans celui à *soulève-*

ment enfin, la puissance est au milieu et fait effort sur le manche.

Ainsi, le marteau à bascule est un levier de première espèce ; le marteau frontal est un levier de la seconde, et enfin, le marteau à soulèvement est un levier de la troisième espèce. Ce dernier est par conséquent le moins avantageux, et les deux autres ont besoin d'une force motrice qui dépend en grande partie de sa distance au point d'appui. Le marteau à soulèvement est néanmoins employé dans presque toutes les anciennes usines ; mais ce vice n'est pas le seul qui existe dans ces établissements.

Les marteaux sont mis en mouvement à l'aide d'une roue ou d'un arbre armé de *cames*. Dans le marteau frontal, les cames saisissent la machine à la tête, la soulèvent à une faible hauteur et la laissent retomber de son propre poids. L'oscillation se produit au moyen d'un couteau, reposant sur le bâti auquel on donne la solidité nécessaire.

Les manches des marteaux à bascule et à soulèvement sont passés dans un anneau en fonte, lequel porte le nom de *bogue*, *hulse* ou *hurasse*. Cet anneau est pourvu de deux *cornes* ou tourillons qui s'encastrent dans des crapaudines fixées sur deux montants en bois assemblés, à leur tour, par semelle. Pour éviter que le marteau, lancé en l'air par les cames, ne s'élève trop et n'ait pas le temps de frapper la loupe avant qu'une autre came ne la saisisse, on place au-dessus du marteau un *rabat* qui l'arrête dans son élan et, par son élasticité augmente la vitesse de chute et l'effet de la masse compressive. Ce rabat est, ainsi que le manche,

confectionné en bois de charrue, ou en hêtre, bois qui résistent le mieux à la fatigue et au choc.

Toute la charpente du marteau est appelée *ordon*. L'ordon d'un marteau de soulèvement se compose de quatre jambes ou montants, dont deux portent la bogue, et deux soutiennent le rabat. Dans les ordons à bascule, le rabat est plus ordinairement fixé à une des jambes, ce qui simplifie la charpente.

Il est assez difficile d'obtenir une grande vitesse avec les marteaux à bascule ; car, dans ce cas, il

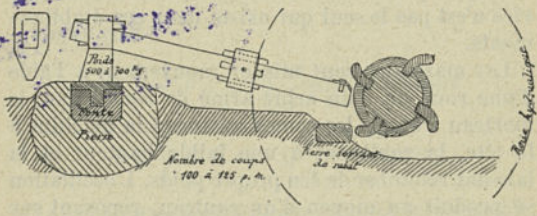


Fig. 281. Marteau à bascule ou chail catalan.

faut raccourcir la partie postérieure du manche et employer alors plus de force motrice. C'est pour cette raison qu'on diminue le poids du marteau partout où on ne peut disposer que d'une puissance peu considérable. Le marteau à soulèvement se prête plus facilement à cette disposition : il faut donc faire les gros marteaux de cette dernière espèce et n'employer les bascules que pour les martinets.

Une considération fort importante et qui tient de près à la bonne ou mauvaise qualité du fer martelé, c'est que la vitesse du marteau doit augmenter à

mesure que la barre se refroidit. Or, comme la température du fer décroît en progression géométrique pour des accroissements de temps égaux, la vitesse de la percussion devrait, à la rigueur, suivre cette progression. C'est ce qu'on n'a produit encore à l'aide d'aucune machine existante. Dans les forges où l'eau sert de moteur, on donne plus

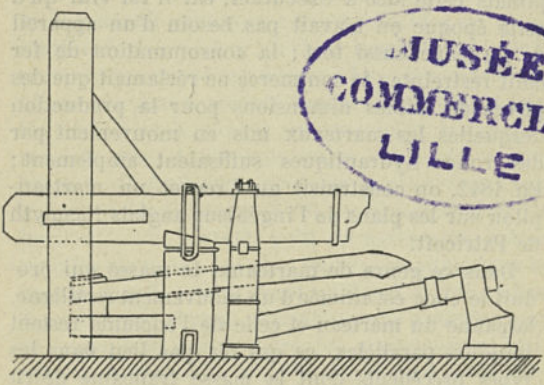


Fig. 282. Marteau à soulèvement de 250 kilogrammes, ave. ordon en bois.

d'eau, en ouvrant la vanne, au moment où le fer commence à refroidir ; mais, comme tout est laissé à la volonté de l'ouvrier et que rien ne détermine la vitesse nécessaire, il arrive presque toujours que le rapport n'est point gardé. Dans les usines mues par une machine à vapeur cette progression n'est et ne peut être nullement admise. Il s'ensuit que le marteau ne produit son maximum d'effet

sur le fer que dans les forges à eau, et qu'à cet égard les anciennes usines ont un avantage marqué sur les nouvelles. Les figures 205, 206, 281, 282 donnent un exemple de chaque type.

Marteaux-pilons. — Les marteaux-pilons sont d'une invention déjà ancienne. M. Watt prit un brevet pour marteau-pilon en 1784, mais il ne mit jamais cette idée à exécution, car il est vrai qu'à cette époque on n'avait pas besoin d'un appareil de forgeage aussi fort ; la consommation de fer était restreinte ; le commerce ne réclamait que des pièces de faibles dimensions pour la production desquelles les marteaux mis en mouvement par des roues hydrauliques suffisaient amplement ; En 1842, on construisit au Creusot un marteau-pilon sur les plans de l'ingénieur anglais Nasmyth de Patricoft.

Dans ce genre de marteaux, la masse qui produit le choc est animée d'un mouvement rectiligne, la panne du marteau et celle de l'enclume restent toujours parallèles, ce qui n'a pas lieu dans les types précédents dont la masse frappante décrit un arc de cercle ; avec le marteau-pilon on peut donc frapper facilement soit une pièce épaisse, soit une pièce mince, parce que le parallélisme des pannes est constant.

De plus, nous avons vu que dans le marteau à manche on ne peut augmenter la puissance des coups qu'en accélérant l'allure de l'outil, c'est-à-dire en produisant un coup de came qui augmenterait la levée si celle-ci n'était pas limitée par le rabat, mais on est bientôt arrêté dans cette voie par la crainte de faire camer le marteau, surtout

si le rabat est absent ; d'un autre côté, le nombre de coups dans un temps donné augmente nécessairement si on les veut plus violents, or il n'est pas toujours utile que les coups les plus forts, comme intensité, se succèdent d'une manière plus précipitée ; ainsi, par exemple, si on a à travailler des pièces volumineuses qui sont plus longues à faire mouvoir sur l'enclume, c'est avec une allure lente qu'il y aurait avantage à faire coïncider les coups les plus forts ; c'est ce qu'il est imposible de réaliser avec les marteaux décrits. Avec les marteaux-pilons, au peut à volonté limiter la course en laissant échapper la vapeur ou maintenir le mouton en l'air aussi longtemps qu'on le désire, ce qui laisse toute facilité de préparer la pièce à recevoir le coup suivant ; enfin, il est possible de réduire la force du coup autant qu'il est nécessaire, même avec les marteaux les plus lourds, en admettant la vapeur sous le piston avant qu'il soit arrivé au bas de sa course ; chacun connaît ce tour d'adresse que ne manquent pas de faire les marteleurs et qui consiste à casser la coquille d'une noix posée sur l'enclume, sans écraser la noix elle-même.

Ces avantages justifient la préférence qu'on accorde au marteau-pilon, surtout quand on se propose de forger de grosses pièces de fer ou d'acier.

Les marteaux-pilons sont à simple ou à double effet. Dans le premier cas, le mouton retombe par son seul poids lorsqu'on laisse échapper la vapeur qui a été employée à le soulever ; dans le second, on admet la vapeur au-dessus du piston pour accélérer la chute, augmenter l'effet du choc et obtenir

un plus grand nombre de coups par minute. Dans un marteau à double effet, la force du coup dépend principalement de la surface libre à la partie supérieure du piston sur laquelle agit la vapeur ; on peut donc, pour un coup d'une valeur théorique donnée, réduire le poids du marteau et sa levée ; d'un autre côté, on peut obtenir un plus grand nombre de coups par minute, avec une faible levée et une grande vitesse ; aussi, les petits marteaux de ferronnerie ont-ils des pistons de grande surface, une faible levée et battent-ils jusqu'à cinq cents coups par minute, ce qui est très favorable au travail des petites pièces dont le refroidissement est très rapide.

Le poids du marteau va en rapport avec celui de la pièce à forger ; une grosse masse de fer conserve plus longtemps sa chaleur et il faut plus de temps pour la manœuvrer entre deux coups, par conséquent, il y a avantage à ne pas précipiter les coups de marteau. Pour cette raison, les plus puissants sont généralement à simple effet. Ceux dont la masse frappante pèse moins de 20 tonnes sont à double effet.

Chaque marteau-pilon est pourvu de tous les organes d'admission et d'échappement de la vapeur dont la manœuvre se fait à l'aide de leviers et de bielles ; pour les plus petits, on rend la manœuvre de distribution automatique ; dès que le marteau a été mis en mouvement, il continue à marcher seul ; on peut, à volonté, modifier le fonctionnement de la distribution ou introduire la vapeur sous le piston pour amortir le coup.

Dans les grands marteaux, le mécanicien a le

temps d'agir sur les organes de distribution ; il est donc inutile d'avoir le système automatique, on se contente seulement d'établir un arrêt pour empêcher le marteau de monter trop haut et de venir frapper le fond du cylindre.

Le marteau à double effet peut être manœuvré comme s'il était à simple effet ; il suffit de faire mouvoir à temps l'appareil qui ouvre et ferme les soupapes ; celle qui admet la vapeur au-dessus du piston, par une disposition spéciale, peut avoir son ouverture retardée suffisamment.

II. PRESSES

Nous avons dit que les marteaux agissent par choc, la presse, elle, agit par simple pression sans choc. Le résultat qu'on obtient par la presse est plus complet, car avec la presse, non seulement on modifie la forme de la pièce qu'on travaille, mais on améliore encore la qualité du métal.

Les presses qu'on peut employer pour ce travail sont les presses hydrauliques. Dans toutes les presses, la force est fournie par la vapeur ; dans quelques-unes, même, le piston à vapeur agit directement sur le petit piston de la presse hydraulique ; dans d'autres, l'eau, sous la pression de 600 kilogr. par centimètre carré, est emmagasinée dans un accumulateur.

La presse produit des changements de forme, dans les pièces de fer ou d'acier, dans les mêmes conditions que le marteau ; une panne étroite déterminera un allongement dans le sens perpendiculaire au sillon qu'elle forme, une panne large

chasse les molécules dans toutes les directions et élargira la pièce.

La comparaison entre le forgeage au pilon et le forgeage à la presse donne des résultats à la faveur de ce dernier; en outre la presse produit trois fois plus de travail dans le même temps que le marteau-pilon.

III. LAMINOIRS

Les laminoirs ont pour but de diminuer la section des barres métalliques en les faisant passer entre deux cylindres tournant en sens contraire et dont les axes sont horizontaux. Les cylindres sont mis en mouvement par des machines motrices et la barre de métal qu'on leur présente est entraînée par le frottement et passe dans l'intervalle ménagé entre leurs surfaces.

La figure 283 représente un laminoir à deux cylindres; le supérieur en A est dit *mâle*, l'inférieur B est dit *femelle*. On construit également des laminoirs à trois cylindres dits *trios* (fig. 284) dans lesquels la barre passe alternativement de gauche à droite, puis de droite à gauche suivant qu'on l'engage entre les deux cylindres inférieurs ou entre les deux supérieurs; on étire ainsi le fer plus vite parce qu'on n'est pas obligé de passer la barre par dessus les cylindres pour la représenter toujours dans le même sens.

On a construit également des laminoirs à deux cylindres dits *reversibles* où l'on peut renverser à volonté le sens du mouvement des cylindres. Par leur emploi, on gagne le temps consacré à passer la pièce par dessus ou par dessous le laminoir à

deux cylindres,et on n'a plus l'inconvénient de l'usure inégale de ceux d'un trio; les reversibles seraient par conséquent préférables mais malheureusement le renversement du mouvement de rotation absorbe une force supplémentaire considérable, car toutes les pièces en mouvement sont animées d'une force vive importante qui se perd

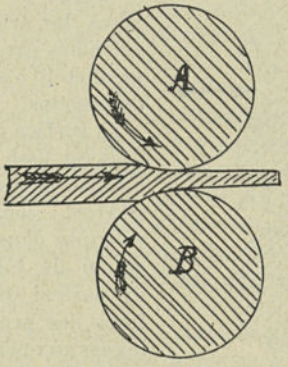


Fig. 283. Laminoir à deux cylindres.

par le fait de l'arrêt et qu'il faut produire à nouveau par le moteur.

Dans les laminoirs reversibles, il faut employer une machine à vapeur établie pour pouvoir changer le sens de sa marche toutes les fois que le travail du laminoir l'exige. Cette disposition est très appréciée pour le laminage des grosses pièces, gros lingots, poutrelles, tôles, etc.

Dans les laminoirs à pièces légères, le mouvement est transmis aux cylindres par des pignons qui engrènent ensemble et dont les arbres sont accouplés avec les tourillons des cylindres. Un de ces pignons est mû directement ou indirectement par la machine. Dans quelques cas particuliers, un des cylindres reçoit le mouvement, le second et même le troisième (dans les trios), sont entraînés par le frottement et il n'existe pas de pignons.

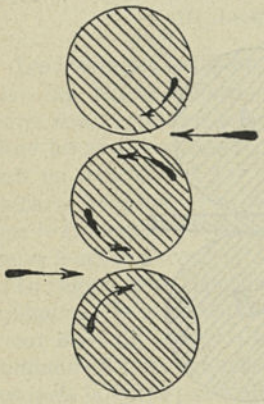


Fig. 284. Laminoir à trois cylindres, dit trio.

La surface des cylindres est lisse quand il s'agit de faire des pièces plates, comme par exemple, dans la fabrication de tôles, mais ils portent des cannelures des profils, analogues aux pièces qu'on veut obtenir et dans lesquelles la section de la barre est pressée quand il s'agit de barres profilées.

Chaque portion de cannelure qui appartient à un cylindre est une surface de révolution et les cannelures produisent un effet analogue à celui des étampes placées sous les marteaux.

L'opération du laminage a une analogie avec l'étirage au marteau; le cylindre inférieur joue le rôle de l'enclume et l'autre celui du marteau; dans

les deux cas, l'étirage résulte d'une série d'empreintes successives qui amènent une diminution de la section et un allongement correspondant dans le sens perpendiculaire à celui du sillon de l'empreinte.

Avec le marteau, il faut avancer ou reculer la barre après chaque coup; entre deux coups successifs, il existe un intervalle de temps pendant lequel l'outil remonte et retombe; le laminoir, au contraire, agit d'une façon continue et travaille en partie par traction, ce qui contribue à activer l'action de l'étirage.

Le laminoir ne peut pas remplacer complètement le marteau, car il fournit des tôles ou des fers de profils réguliers et à peu près uniformes, tandis que le marteau permet la fabrication de formes quelconques. Il ne peut pas non plus remplir le rôle de la presse à forger dont le rendement est plus grand que celui du marteau, surtout lorsque le but du travail est de rendre le métal plus compact.

Pour ces raisons on n'emploie pas le laminoir pour cingler des loupes de fer ou d'acier dont les grains doivent être soudés ensemble et dont la scorie doit être expulsée complètement.

Pour faciliter l'entrée des pièces à laminer on emploie des *plaques de garde* qui présentent une surface sur laquelle on peut appuyer lesdites pièces; elles servent également à les soutenir au moment de leur sortie et à les empêcher de s'enrouler autour des cylindres. Les plaques de garde les plus simples sont des pièces de fer ou de fonte dont le bord avancé s'appuie à peu près tangentiellement

contre la surface du cylindre inférieur; elles sont soutenues en arrière par les barres de fer qui vont d'une cage à l'autre et qui sont calées dans des rainures ménagées dans les jambages des cages. On règle la hauteur de ces barres en plaçant dans ces rainures des cales en bois ou en fer.

Les plaques de garde des cylindres à cannelures sont souvent profilées pour être en contact avec le cylindre jusqu'au fond des cannelures; elles portent souvent du côté de l'entrée des guides, ayant la forme d'un chenal qui aboutit à la cannelure; ces guides aident à présenter plus rapidement la pièce à laminer.

Si le poids ou les dimensions des pièces à laminer sont grandes, on garnit les plaques de garde de rouleaux, faisant une légère saillie sur leur surface supérieure, ce qui facilite le mouvement vers les cylindres.

Dans les laminoirs tournant toujours dans le même sens, on installe des appareils permettant de faire monter ou descendre la pièce qu'on lamine; il faut, avec ce genre de laminoirs, après chaque passe, élever la barre ou la plaque pour la faire revenir à l'avant du train et la présenter à la passe suivante; si on travaille avec un trio, il faut également lui faire parcourir du haut en bas ou de bas en haut une distance égale au diamètre du cylindre moyen.

Pour les laminoirs à petites pièces, on se sert pour cela d'un outil nommé *aviot*, qui se compose d'un levier suspendu à une chaîne, fixée elle-même à la chape d'un galet qui roule sur un rail horizontal établi à une certaine hauteur, de telle sorte

que l'outil, ou les outils semblables, puissent être utilisés sur toute la longueur du train. Ce galet roule souvent sur un rail horizontal faisant un angle droit avec l'axe du train. Ce rail est porté par deux chariots se mouvant horizontalement et parallèlement au train. Le tout est relié à un élévateur à axe horizontal, placé au-dessus et mis en mouvement par un cylindre à vapeur ou autre. On peut ainsi faire monter ou descendre la pièce à laminer, la transporter parallèlement au train, ou bien la faire avancer ou reculer normalement au train.

Lorsque les masses à laminer sont lourdes et difficiles à manœuvrer, on emploie des tabliers mobiles sur lesquels la masse repose tout entière. Ces tabliers avec leurs accessoires constituent le *releveur*. Le plus simple est composé d'une grille formée par des barres de fer plat entre lesquelles sont disposés des rouleaux formant une légère saillie. Les deux plats, qui limitent le tablier sur les côtés, se prolongent à une certaine distance des cylindres et se terminent par un axe horizontal, dont les extrémités sont supportées par des piliers établis à la hauteur convenable. On soulève le releveur, du côté des cylindres, au moyen de deux leviers accouplés.

Pour laminer des masses considérables, on dispose deux tabliers mobiles s'élevant et s'abaissant en même temps, mus par des pistons à vapeur ou par l'eau sous pression ; les cylindres sont disposés au-dessous des tabliers ou au-dessus des laminoirs. Les tabliers de cette espèce s'élèvent ou s'abaissent tout d'une pièce en restant horizontaux,

tandis que les précédents oscillaient autour d'un point fixe.

Les dents des pignons conducteurs étant exposées à subir des chocs violents, doivent être très résistantes ; on en réduit donc le nombre autant que possible et autant que le permet la bonne transmission du mouvement ; dans le sens de l'axe du laminoir, elles doivent avoir une longueur plus grande que celle qu'on leur donne dans les engrenages ordinaires ; pour augmenter leur solidité, on fait venir de fonte des cordons qui les réunissent à leurs extrémités et souvent, si les pignons sont très longs, on en dispose un autre au milieu de leur longueur ; ces cordons sont tournés, ils ont comme diamètre celui du cercle primitif, ils portent donc l'un sur l'autre. Aujourd'hui, on emploie les pignons à chevrons qui sont plus chers, mais présentent une plus grande résistance et ont une marche moins saccadée. Depuis quelque temps on se sert du pignon creux, le vide intérieur a la même forme que celui des manchons et c'est là que les allonges s'accouplent ; on réduit ainsi la longueur du train.

Afin d'emmagasiner le travail pendant que le train tourne à vide et de le restituer ensuite pendant que les pièces de fer ou d'acier sont en prise et, aussi, pour régulariser la marche de la machine malgré l'irrégularité de la dépense du travail, on se sert de volants dont le poids est en rapport avec le travail que le laminoir doit fournir pendant le passage des barres ou des plaques ; un volant trop lourd absorbe du travail en pure perte par le frottement de son arbre sur les coussinets ; leur

poids varie de 20 à 30 tonnes, et les trains trios, destinés au laminage des poutrelles, des rails et des masses lourdes, ont parfois des volants de 80 tonnes.

Laminoir universel. — Ce laminoir permet de faire, avec les mêmes cylindres, des barres de

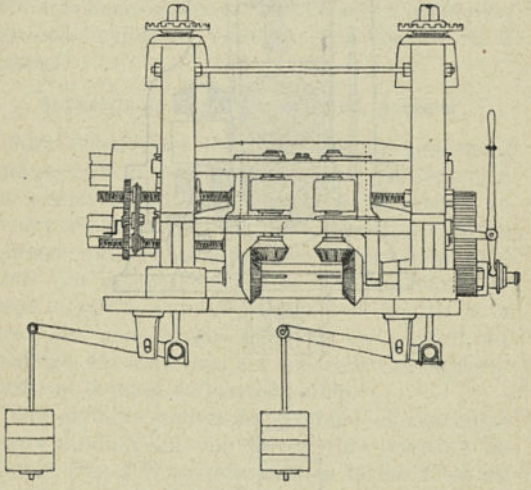


Fig. 285. Laminoir universel pour larges plats.

même forme mais de dimensions variées. Jusqu'à ce jour, le laminoir universel a principalement été employé pour la fabrication des larges plats.

Il se compose d'une paire de cylindres horizontaux dont le plus élevé repose sur des contrepoids,

ce qui permet d'écarter leurs axes à volonté, et de deux cylindres verticaux qui exercent leur

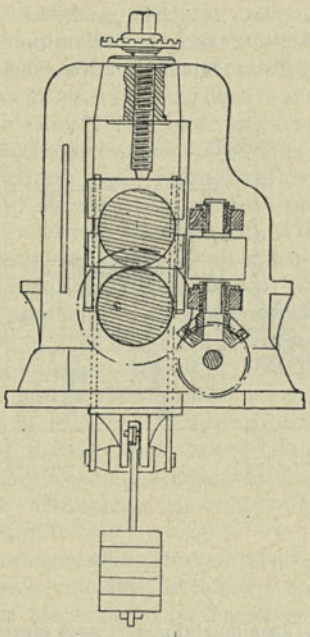


Fig. 286. - Laminoir universel pour larges plats (coupe transversale).

action latéralement sur les côtés de la barre engagée entre les deux premiers. La disposition est telle qu'on peut rapidement augmenter ou dimi-

nuer la distance qui sépare les deux cylindres verticaux. On peut ainsi obtenir des plats de dimensions très différentes dans cet appareil, qui ne comporte qu'une paire de cages pourvue de quatre cylindres.

Les figures 285 et 286 représentent un laminoir universel pour larges plats ; l'écartement des cylindres horizontaux se règle comme d'ordinaire ; celui des cylindres verticaux à l'aide de vis à écrous.

Appareils de cinglage, moulins, presses

Pour débarrasser les loupes de fer provenant d'un procédé de soudage de la plus grande partie des scories emprisonnées entre les molécules, on se sert des appareils spéciaux, dits appareils de cinglage, qui ne peuvent pas servir pour forger une pièce. Ces appareils sont : le *cingleur rotatif*, la *presse à bras ou à vapeur*, le *marteau frontal ou à queue* que nous avons déjà vus en parlant du puddlage. Presque tous ces appareils ont cédé aujourd'hui la place au marteau-pilon.

Dans certains ateliers de puddlage, on rencontre encore aujourd'hui une presse dite *crocodile* ou *alligator* (fig. 211) en raison de sa forme. C'est un large levier en fonte, d'une construction robuste, oscillant sur un axe horizontal ; le bras le plus long est relié à son extrémité à une bielle ou à un excentrique qui lui transmet un mouvement alternatif ; l'autre bras forme une sorte de mâchoire sur laquelle on rapporte une plaque en acier ou en fonte trempée garnie de dents inclinées vers l'arrière pour mieux maintenir la loupe. La mâchoire

inférieure est une pièce fixe, facile à remplacer, qui joue le rôle d'enclume et présente à son extrémité une table plus basse, ce qui permet de donner un coup de presse par bout sur le massiau cinglé et de le refouler. La mâchoire supérieure se lève de 25 à 30 centimètres à son extrémité; le petit bras a environ 1m 30 de longueur, sa largeur est à peu près de 0m 50; le grand bras du levier a 2 mètres environ de longueur. Un appareil de ce genre donne de 60 à 100 coups par minute et exige une force de 10 à 12 chevaux; il suffit à cingler les loupes d'un atelier de 12 à 16 fours à puddler.

CHAPITRE XXII

Elaboration du fer et de l'acier

SOMMAIRE. — I. Corroyage. — II. Fours à réchauffer. — III. Fours à souder. — IV. Puits Gjers.

I. CORROYAGE

Quelle que soit la précision avec laquelle on forge le fer, le métal ne jouit pas à tous les points de la barre d'une compacité rigoureusement égale; sa ténacité et ses autres qualités sont plus affaiblies dans un endroit que dans un autre. Le vice est dû à la différence de rapport qui existe à chaque instant entre la ductilité du fer et la nature du marteau, de même qu'à la distance plus ou moins

grande des points exposés à la percussion. C'est pour remédier à ce mal qu'on a imaginé le corroyage.

On forge d'abord la pièce en barre plate de 0m 04 à 0m 07 sur 0m 007 d'épaisseur ; on la porte ensuite aux cisailles et on la coupe en morceaux de 0m 50 à 0m 65 de long. On réunit les morceaux les uns aux autres en *trousses* à section à peu près carrée et on porte ces trousses à la chaufferie, où on les élève à la chaleur du blanc soudant. Elles sont ensuite forgées et martelées sous la forme qu'on se propose d'obtenir. Il faut une grande attention pour bien mélanger les fers dans une même trousse, de manière à ce que la qualité soit uniforme dans toute la longueur de la pièce. Néanmoins ce procédé est un excellent correctif et on a cru observer que les fers cassant à chaud et ceux cassant à froid acquéraient une malléabilité qu'ils n'avaient pas antérieurement.

Le corroyage n'est cependant pas sans inconvénient : les lames coupées se recouvrent en refroidissant d'un oxyde ou silicate de fer, et alors le soudage devient d'une grande difficulté. On y remédie en faisant suer les trousses dans le feu de chaufferie et donnant au martinet toute sa puissance ; mais alors le déchet est considérable, parce que les scories, en roulant, entraînent toujours une grande quantité de métal avec elles. Nous savons que la composition de ces scories est telle, que le plus souvent elles sont plus riches en fer que le meilleur minerai employé dans les fourneaux.

Dans les forges à l'anglaise, le corroyage et le réchauffage présentent naturellement des diffé-

rences. Les balles, en sortant du four à puddler, sont portées sous les machines de cinglage, puis passées au laminoir dégrossisseur, où on les réduit en barres plates de 15 à 20 millimètres, dites *mill-bar* n° 1, qu'on coupe avec des cisailles à des longueurs égales pour les réunir ensuite en piles ou trousses. Ces barres coupées de longueur portent le nom de *stampings*.

Les stampings de bonne qualité ont une fracture cristalline, brillante, exempte de scories et d'impuretés; les grains ou cristaux sont très petits, assez réguliers, et n'offrent aucune apparence de fibres. Leur surface est rugueuse, couverte d'oxyde, et les bouts de barres, au lieu d'être terminés par une ligne à angle droit, en offrent une irrégulière et gercée.

S'il s'agit d'obtenir des stampings de qualité supérieure, pour fer fin, fer-blanc, etc., on a soin de tremper dans l'eau le mill-bar n° 1, à sa sortie du laminoir dégrossisseur, afin d'en détacher les pellicules d'oxyde qui en salissent la surface.

Aussitôt que ces stampings sont coupées, on en place les morceaux les uns sur les autres et on forme ainsi des *piles* ou *trousses* qu'on soumet à la chaleur soudante dans un four de réchaufferie à réverbère semblable au four à puddler, à quelques modifications près.

On utilise également pour la préparation des paquets les extrémités de barres de fer fini fournies par la fabrication ; et même des ferrailles achetées au dehors ; ces matières renferment moins de scories que le fer brut et peuvent, en conséquence, être mélangées avec celui-ci dans les paquets destinés

à produire, sans nouveau corroyage, du fer fini qui sera, par cela même, de meilleure qualité que s'il provenait exclusivement de fer brut.

Le plus important des inconvénients de cette pratique est qu'on obtient un produit final composé d'éléments soudés ensemble, n'ayant pas, par conséquent, entre ses parties la même adhérence qu'une barre résultant de l'étirage d'une seule loupe.

En attaquant par un acide la section d'un morceau de fer provenant de l'étirage d'un paquet, on fait apparaître tous les plans de soudure ; si on soumet un échantillon de ce genre à une série de pliages successifs inverses, à froid, les plans de soudure se séparent souvent les uns des autres, révélant ce manque d'adhérence ; des efforts de torsion, des coups répétés produisent fréquemment le même résultat.

Quoi qu'il en soit, la mise en paquets et le corroyage sont indispensables quand on veut expulser la scorie interposée et obtenir, du métal brut forcément irrégulier, un produit aussi homogène que possible.

II. FOURS A RÉCHAUFFER

On appelle ainsi les fours employés dans les petites fabrications pour l'étirage des loupes des feux d'affinerie, par exemple, ou pour le soudage d'aciers très carburés qu'on tient à soustraire ainsi à l'oxydation.

Le four le plus simple à réchauffer les pièces obtenues par soudage a la forme d'un feu de maréchal établi sur de plus grandes dimensions. Le

foyer (fig. 287) est ménagé dans une cavité ou compris entre des plaques de fonte ; on lui donne 0,20 à 0,30 de profondeur, la largeur est comprise entre 0,35 et 0,45, la longueur entre 0,50 et 0,60 ; le vent arrive horizontalement à travers une des parois latérales ou verticalement par le fond ; on y brûle de la houille grasse en fragments qui se collent les uns aux autres au-dessus de la pièce à

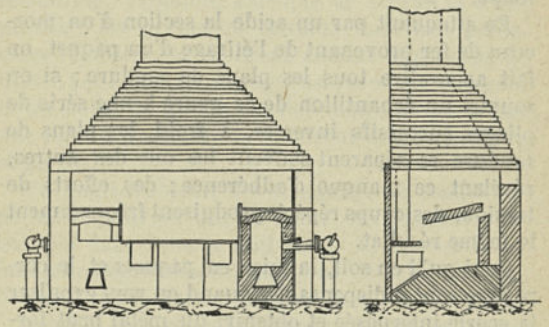


Fig. 287. Four à réchauffer au charbon de bois.

chauffer et forment une voûte ; quand on veut ajouter du nouveau combustible, on fait écrouler la voûte et on remet de la houille qui la reforme immédiatement ; de cette façon le fer n'est jamais en contact qu'avec une matière déjà carbonisée et désulfurée, et on évite les influences nuisibles que les impuretés pourraient avoir sur le métal. On souffle dans le foyer de 2 à 3 mètres cubes d'air par minute, à la pression de 15 à 20 centimètres d'eau.

La consommation de combustible varie naturellement avec la grosseur des pièces à chauffer et le nombre des chaudes qu'on leur fait subir ; elle atteint généralement 500 kilogrammes par tonne de fer fini, si on ne donne qu'une seule chaude suante, et, dans ce cas, le déchet est compris entre 8 et 10 0/0.

Les figures 288 et 289 donnent la forme et les dimensions d'un four à réchauffer. A, grille dont la surface est beaucoup plus étendue, proportion-

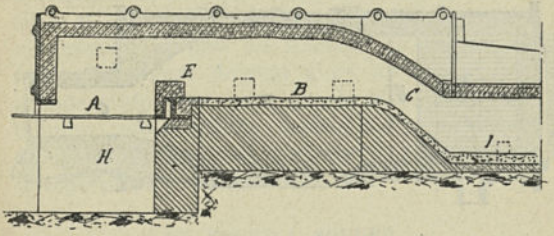


Fig. 288. Four à réchauffer (coupe longitudinale).

nellement à la sole, que celle du four à puddler, attendu qu'il faut une très grande chaleur pour le réchauffage ; B, sole formée de sable siliceux, placée sur un fond de fonte, ou un fond de briques voûtées. Elle est inclinée afin de donner un faible écoulement aux scories.

C, rampant ; D, cheminée ; E, pont ou autel ; F, porte de charges des piles, par où on les retire également quand elles sont suffisamment réchauffées. On laisse dans cette porte un petit trou bouché avec un tampon par lequel on peut suivre

l'opération intérieure sans être obligé d'ouvrir la porte et de refroidir le fourneau.

G, stock-hole ou porte-charge pour le combustible; H, cendrier; I, floss-hole, chio, par lequel les scories s'écoulent. On entretient à l'extérieur, un feu de charbon, afin de tenir toujours les scories en état de fluidité; L, fond de sable de la sole.

On forme les trousses de manière à ce que leur largeur soit à peu près égale à leur épaisseur. La

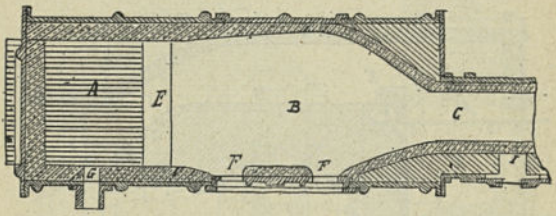


Fig. 1289 Four à réchauffer (coupe horizontale).

longueur varie selon les proportions de la barre qu'on veut obtenir. Le déchet que peut éprouver une pile dans la réchaufferie et sous les laminoirs étireurs est évalué à 1 1/2 ou 2 0/0. Il est dû au suintement des silicates et des battitures.

Dans le four de réchaufferie, le chauffeur place les trousses sur l'autel, à 8 ou 10 centimètres de distance l'une de l'autre. Il se sert pour cela, d'une pelle en fer. Un aide-chauffeur les lui apporte.

Au bout de 15 à 20 minutes, les trousses sont en état d'être livrées au lamineur. On les retire une à

une avec des pinces, et on porte chacune d'elles sous la première cannelure des laminoirs ébaucheurs.

Quand on a affaire à de l'acier très carburé, celui-ci supporte moins bien la chaleur d'un feu de coke ou de houille et sa nature se modifie ; il perd une partie de son carbone au contact des gaz chargés d'acide carbonique qui l'enveloppent ; il faut donc de préférence recourir à un combustible qui puisse brûler avec facilité et dont la combustion produise surtout de l'oxyde de carbone. C'est le charbon de bois qui remplit le mieux ces conditions et ses cendres alcalino-terreuses sont particulièrement propres au soudage de l'acier. Les foyers des fours doivent alors avoir une plus grande profondeur pour que la pièce reste constamment recouverte de combustible et on dispose au-dessus une voûte en maçonnerie qui régularise la répartition de la chaleur.

III. FOURS A SOUDER

Ce sont des fours à réverbère sur la sole desquels on place les pièces à chauffer ; ils permettent d'élever la température d'un grand nombre de pièces à la fois, de poids différents, y compris les plus grosses ; de plus ils ont l'avantage de donner un degré de chaleur régulier et uniforme, ce qui est impossible avec les chaufferies.

Ils sont chauffés soit par du combustible solide, soit au moyen de gaz. On donne la préférence aux fours à gaz parce qu'on obtient ainsi une température plus uniforme et plus élevée. On se sert également du système Siemens quand on a à sa

disposition des combustibles inférieurs, tels que : lignite, tourbe, etc.

Comme la chaleur emportée par les produits de la combustion est considérable, on place à la suite des fours à souder des générateurs de vapeur pour utiliser cette chaleur perdue, et d'une manière générale on peut produire de cette façon la vapeur

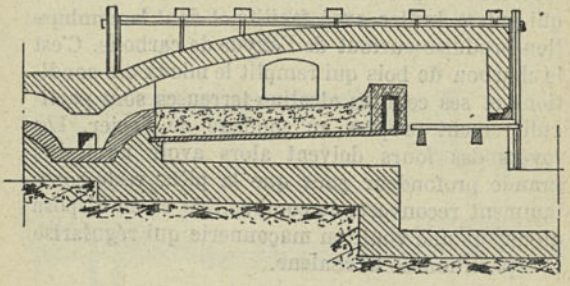


Fig. 290. Four à souder (coupe verticale).

nécessaire à l'élaboration mécanique des fers chargés dans le four.

Les figures 290 et 291, représentent un four à souder ordinaire. La sole est plate et formée d'une couche de sable étendue sur une plaque de fonte que supportent les murs latéraux. La largeur du laboratoire du four est comprise entre 1m30 et 1m80, la surface de la sole, de l'autel au rampant, varie de 2m20 à 3 mètres carrés.

Le refroidissement des parois par courants d'eau est inutile, car on n'a pas besoin ici de les garantir de l'action corrosive des scories.

L'autel est formé d'un coffre en fonte garni de briques et parcouru par un courant d'air; une des extrémités de ce coffre débouche sur un des côtés du four et y prend l'air, l'autre aboutit à un tuyau vertical qui fait fonction de cheminée d'appel.

La hauteur de l'autel varie suivant le degré de chaleur qu'on veut avoir sur la sole et suivant aussi qu'on veut préserver les pièces qui y sont placées, du contact des gaz oxydants. Un autel élevé produit un moindre échauffement de la sole

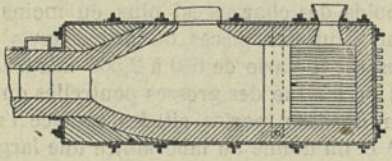


Fig. 291. Four à souder (coupe horizontale).

et une moindre oxydation; pour le soudage du fer à nerf, on emploie des autels plus bas que pour celui du fer à grains ou de l'acier.

La hauteur de l'autel au-dessus de la sole varie généralement entre $0^m 10$ et $0^m 40$, et au-dessus de la grille, elle varie de $0^m 35$ à $0^m 70$.

Le fer oxydé formé à la surface du métal, et les matériaux qui entrent dans la construction du laboratoire forment une scorie qu'il faut évacuer. On donne donc à la sole une pente sur le rampant et en même temps vers la face opposée à celle du chargement. Le rampant lui-même a une forte pente pour que les scories se réunissent à sa partie inférieure et coulent hors du four par un orifice A,

spécial, qu'on appelle le *flou* ; à l'extérieur du four, on ménage une cavité dans laquelle elles se réunissent et se solidifient. La porte de chargement a une surface analogue à celle des plus grosses pièces à introduire dans le four ; elle est formée d'un châssis en fonte garni intérieurement de briques réfractaires; elle est suspendue par une chaîne à l'extrémité d'un levier de manœuvre; la voûte est surélevée du côté de la porte, comme dans les fours à puddler et le rampant est rapproché de ce même côté pour y attirer la flamme.

Le poids des charges est plus ou moins grand suivant celui des pièces ou des paquets qui les composent; il varie de 650 à 2,500 kilogrammes ; quand on lamine des grosses poutrelles on munit le four de deux portes situées, en face l'une de l'autre et on donne au laboratoire une largeur de 4m 50. Dans ce cas on peut employer le chauffage au gaz qui permet à la flamme de se développer davantage et on donne à la sole une longueur entre autel et rampant de 4 mètres. Tous les systèmes de chauffage au gaz ont été employés : four Bicheroux, four Boëtius, four Siemens. Les figures 292, 293, 294, représentent ce dernier, qui ne diffère des autres du même système, des fours Martin, par exemple, que par la forme de la sole plate, formée d'une couche de sable quartzeux portée par des plaques de fonte.

On enfourne les paquets ou les pièces à chauffer, au moyen d'une pelle ou palette de chargement et on les dépose sur la sole; si les pelles sont lourdes on suspend la pelle à une poulie. Quand le fer commence à *suer*, on le retourne sens dessus

dessous, pour chauffer la face qui jusque-là reposait sur la sole ; quand la température est suffisante, on le fait sortir du four en le saisissant avec des

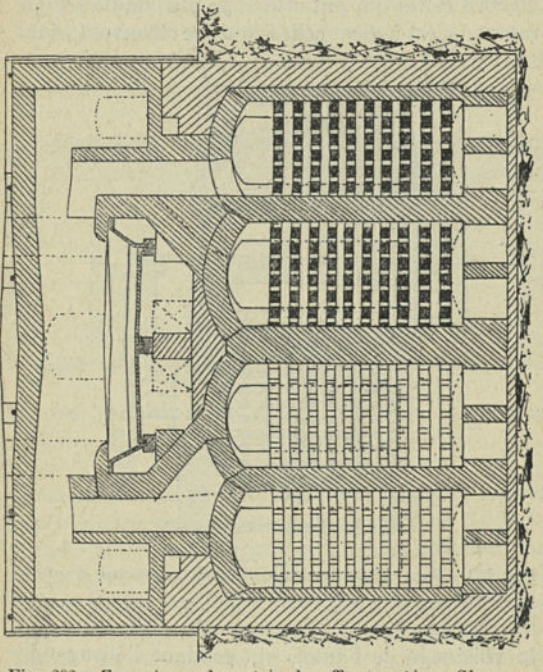


Fig. 292. Four à souder et à chauffer, système Siemens (coupe verticale).

tenailles à main, si les pièces sont de petites dimensions, ou bien on a recours à des crochets manœuvrés à bras ou au moyen d'appareils mécaniques.

Pour amener les pièces ou les paquets au laminoir, on se sert, quand ils sont petits, des tenailles et on les traîne sur le sol. On commence à enlever d'abord celles qui ont atteint la plus haute température, c'est-à-dire celles qui se trouvent dans

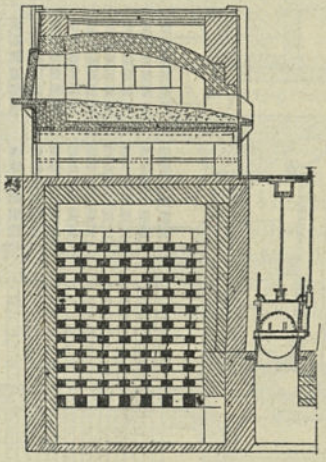


Fig. 293. Four à souder et à chauffer, système Siemens (coupe en travers).

le voisinage de l'autel, et, pendant l'étirage des premières, on rapproche, autant qu'il est possible, les autres de la partie la plus chaude du four.

La consommation de combustible dépend du système de four employé, de ses dimensions et du poids des pièces chauffées ; un four à chauffage

direct brûle de 400 à 700 kilogrammes de combustible par tonne de fer soudé en *une seule chaude*; les fours à gaz consomment un peu moins; dans un four Siemens alimenté avec du gaz de houille, on brûle de 200 à 350 kilogrammes.

Le déchet varie de 9 à 12 0/0 du poids primitif pour le premier chauffage; si on soumet le fer à un

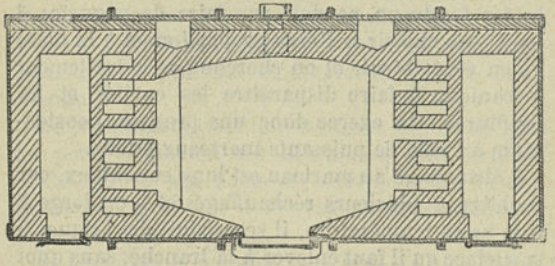


Fig. 294. Four à souder et à chauffer, système Siemens (coupe horizontale).

deuxième ou à un troisième chauffage, le déchet est moindre, mais il atteint toujours 4 ou 5 0/0.

Le nombre des charges qu'on peut chauffer par vingt-quatre heures dépend de la grosseur des pièces ou des paquets; il varie donc de neuf à vingt-quatre charges. D'une façon générale, on peut admettre que chaque mètre carré de sole correspond au chauffage de 4,5 tonnes à 6,5 tonnes par vingt-quatre heures.

Les scories des fours à souder sont riches en fer (50 0/0) en état d'oxydes de fer; elles renferment aussi de l'acide phosphorique, de l'alumine, du

soufre, etc. On les emploie dans les fours à puddler ou on les repasse aux hauts fourneaux.

Tout ce que nous venons de dire s'applique au fer et à l'acier provenant de soudage; le fer et l'acier obtenus par fusion ne contiennent pas de scories et leur élaboration est plus facile. Il suffit de rendre les lingots plus compacts tout en les amenant, par choc ou par pression, à leur forme définitive. Avec le fer fondu on ne doit pas faire de paquets; il faut donc choisir le lingot proportionnel à la pièce qu'on veut obtenir et on cherche par le traitement mécanique à faire disparaître les cavités et les soufflures. On exerce donc une pression considérable à l'aide de puissants marteaux-pilons.

L'ébauchage au marteau est long et coûteux, car il oblige à plusieurs réchauffages et si on forge à trop basse température, il se produit des criques à la surface qu'il faut enlever à la tranche, sans quoi on les retrouve dans la pièce finie.

On trouve donc plus pratique de prendre des lingots plus sains et de les passer directement au laminoir, qui leur donne la forme voulue, tout en assurant un resserrement suffisant des molécules. Les gros lingots sont moins exposés à contenir des soufflures que les petits; et pour cette raison on a créé des laminoirs dégrossisseurs de grande puissance d'où les gros lingots sortent plus compacts et ayant subi un étirage; on divise ensuite le *bloom* obtenu en lopins qu'on transforme en pièces finies par un second laminage et on diminue ainsi les frais de fabrication.

Pour les pièces dont la forme ne permet pas de se servir des laminoirs, on emploie les presses à

forger, qui remplacent avantageusement les marteaux-pilons.

Les fours à réchauffer qu'on emploie pour amener les lingots à la température convenable pour leur travail à chaud n'ont pas besoin d'une température aussi élevée que celle nécessaire à l'élaboration du métal obtenu par soudage.

Ce sont des fours à réverbère presque semblables à ceux à souder; la sole est horizontale, formée par un dallage en briques; l'autel est plus haut pour mieux protéger les lingots de l'action de la flamme.

Le chauffage se fait tantôt direct, tantôt au gaz. La porte a souvent des dimensions considérables 3,70×2,50 et son poids est énorme; pour la manœuvrer, on se sert d'un système de chaînes, de leviers et de contrepoids.

Si les pièces à chauffer sont très lourdes et très volumineuses, la sole est indépendante des parois latérales et est montée sur roues qui roulent sur rails; on peut ainsi faire sortir la sole avec sa charge, de dessous la voûte, et se servir de grues pour soulever et transporter la masse de fer incandescente.

Quand on a à réchauffer des lingots ayant toujours les mêmes dimensions comme ceux avec lesquels on fabrique les rails, on emploie un four où l'on applique le principe de chauffage rationnel. Le laboratoire est très long et on y place un grand nombre de lingots ; chacun d'eux est avancé graduellement vers la source de chaleur au fur et à mesure que d'autres, ayant séjourné plus longtemps, ont acquis la température convenable pour

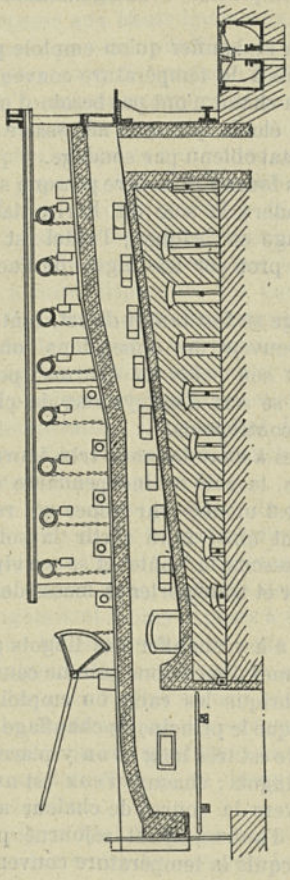


Fig. 295. Four à chauffer les lingots d'acier au four roulant (coupe verticale).

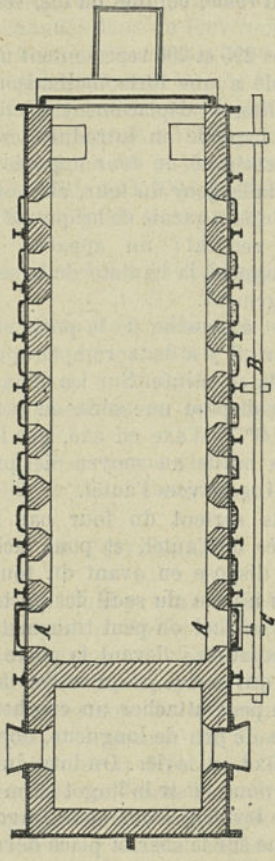


Fig. 296. Four à chauffer les lingots d'acier au four roulant (coupe horizontale).

l'étirage ; on *roule*, comme on dit, les lingots sur eux-mêmes.

Les figures 295 et 296 représentent un four de ce genre ; la sole a une forte inclinaison sur l'autel afin de faciliter le déplacement des lingots. L'ouverture par laquelle on introduit les lingots est située à l'extrémité du four opposée à la grille ; elle a toute la largeur du four, elle est fermée par une porte en fonte garnie de briques et guidée dans un châssis vertical ; un appareil hydraulique amène les lingots à la hauteur de la sole pour faciliter le chargement.

A droite et à gauche de la porte et dans l'intérieur du four, il y a deux rampants qui amènent les gaz vers la cheminée. Sur les deux pieds-droits latéraux, on dispose une série de petites portes, espacées de 0m 75 d'axe en axe, par lesquelles on introduit les outils au moyen desquels on fait avancer les lingots vers l'autel.

Les lingots sortent du four par la première porte A, près de l'autel, et pour faciliter la manœuvre, on dispose en avant du four et un peu au-dessus du niveau du seuil des portes, un arbre horizontal B auquel on peut transmettre un mouvement de rotation ; devant la porte A se trouve un levier C, qui arrive jusqu'au bas de cette porte et auquel on peut attacher un crochet au moyen d'une chaîne de peu de longueur, dont le dernier anneau est fixé au levier. On introduit le crochet dans le four pour saisir le lingot et on fait tourner l'arbre B ; le levier C entraîne le lingot et amène celui-ci jusque sur le chariot placé devant la porte.

La sole des fours de ce genre peut avoir jusqu'à

12 mètres de longueur. La quantité d'acier ou de fer fondu, réchauffée dans un four roulant, est très considérable. Ainsi, un four ayant 7m 50 de longueur de sole peut contenir trente lingots de 600 kilogr. qui y séjournent trois heures, s'ils ont été chargés froids, ce qui correspond à 150 tonnes par vingt-quatre heures; si on les y place encore chauds et que leur poids aille de 1,800 à 2,000 kilogr., on y pourra chauffer un poids trois ou quatre fois plus grand.

Le chargement se fait à l'aide d'appareils mécaniques.

La consommation de combustible d'un four à réchauffer dépend du système de four, de la grosseur des lingots et, surtout, de la chaleur qu'ils possèdent au moment où on les introduit dans le four.

Le déchet, après chaque chaude, est compris entre 2 et 4 0/0 du métal chargé.

IV. PUITS GJERS

Nous avons dit qu'il y avait intérêt à charger les lingots lorsqu'ils sont encore à haute température; or, cette température s'abaisse graduellement du moment de la coulée jusqu'au refroidissement complet. On chercha donc à conserver les lingots bien chauds jusqu'au moment de leur passage au laminoir, afin d'éviter la dépense de combustible de réchauffage, à la condition de rendre uniforme, dans toutes ses parties, la chaleur que conserve le lingot. On obtient ce résultat en les enfermant, aussitôt après la coulée, dans des chambres étroites

ou puits, à parois mauvais conducteurs, déjà chauffés par les charges antérieures

Les puits Gjers sont revêtus de briques réfractaires (fig. 297) ; on met un lingot dans chaque puits, et les dimensions du contenant sont très peu différentes de celles du contenu ; chaque puits est fermé d'un couvercle en fonte garni de briques ; la

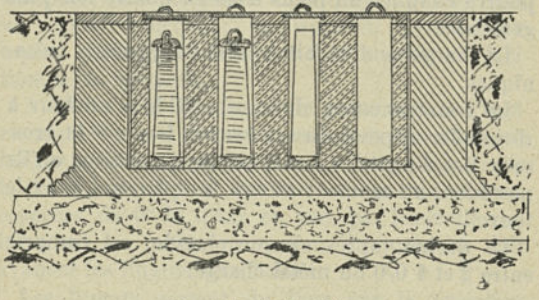


Fig. 297. Puits Gjers.

sole est en menu coke, ce qui permet de faire varier la profondeur, suivant que les lingots sont plus ou moins longs ; on donne au puits des dimensions telles qu'il reste, entre le lingot et les parois, un vide de 5 à 10 centimètres.

Quand les puits sont nouvellement construits, il faut les sécher avant de mettre les lingots ; pour cela, on introduit des lingots chauds et on place les couvercles ; après quelques jours, et quand on croit que les maçonneries sont bien sèches, on y introduit les lingots à haute température ; cette période

de préparation est terminée quand les parois deviennent rouges ; à partir de ce moment, les puits fonctionnent normalement et les lingots qui y ont passé peuvent être étirés sans réchauffage. Un séjour de dix à douze minutes suffit pour les petits et moyens lingots ; les gros lingots doivent séjourner davantage.

La manœuvre se fait à l'aide de tenailles en fer suspendues à une grue; il faut deux ou quatre ouvriers pour desservir un groupe de seize à vingt-quatre puits. Lorsqu'on arrête le travail, on couvre les fosses d'une épaisse couche de cendres après avoir mis les couvercles; elles restent ainsi plusieurs jours en conservant leur chaleur.

Le déchet des lingots, ainsi traités, est bien moindre que celui qui résulte du chauffage dans des fours : pour les gros lingots, il n'atteint même pas 1 0/0.

Ce système de chauffage exige une grande activité dans la fabrication; si on ne peut pas la réaliser et enlever les lingots avant qu'ils tombent à une température inférieure à celle convenable pour l'étirage, il faut prendre des dispositions pour rechauffer les lingots dans les puits mêmes ; c'est ce qui se fait dans un certain nombre d'usines allemandes et les puits sont appelés *fours profonds*. Ordinairement, on les chauffe en faisant circuler les produits de la combustion dans des chambres juxtaposées qui communiquent entre elles par la partie supérieure.

CHAPITRE XXIII

Machines servant à diviser les pièces de fer ou d'acier

—

SOMMAIRE. — I. Cisailles. — II. Fenderies. — III. Scies circulaires.

Nous avons dit à plusieurs reprises qu'il faut diviser les pièces, plus ou moins volumineuses, de fer ou d'acier ; le fer brut de puddlage doit être coupé pour entrer dans la composition des paquets ; les blooms, provenant du train dégrossisseur, doivent être séparés en plusieurs tronçons avant d'être employés aux trains finisseurs, les barres et les tôles laminées doivent être rognées à leurs extrémités ou sur leurs bords avant d'être livrées à la consommation, etc., etc.

I. CISAILLES

Ce sont les plus anciens outils qui aient été employés pour couper le fer et l'acier, ils fonctionnent à la manière des ciseaux. Deux lames d'acier aiguisées, dont le biseau forme un angle de 75 à 85°, glissent l'une contre l'autre en se croisant et tranchent les objets que l'on présente dans leur intervalle. Si les deux lames passent à côté l'une de l'autre sans se toucher exactement, la pièce que l'on veut couper peut se coincer et la cisaille est arrêtée ; cet accident est plus fréquent quand la pièce à couper est plus mince.

On distingue les cisailles à mouvement alternatif, les cisailles à couteaux parallèles ou à guillotine et les cisailles circulaires ou fenderies.

Cisailles à mouvement alternatif. — Les deux lames (fig. 298) sont en acier dur et sont disposées de façon à pouvoir être remplacées facilement. L'une d'elles est fixée à un levier en fonte résistante, qui oscille autour d'un axe horizontal; l'autre fait partie du bâti, qui porte en même temps une des extrémités de l'axe d'oscillation, l'autre extrémité étant portée par un support également en fonte; dans cette disposition, le levier est coudé et mis en mouvement par une bielle.

La figure 299 représente une autre forme de cisaille dans laquelle le levier est droit et repose par son bras le plus long sur un excentrique avec lequel il est constamment en contact et qui fait ouvrir et fermer alternativement la mâchoire qui porte la lame mobile.

L'axe d'oscillation est placé plus bas que la lame fixe, ce qui présente l'avantage de trancher peu à peu les pièces qu'on présente, mais cette disposition a l'inconvénient de chasser les pièces un peu volumineuses en dehors.

Pour les gros échantillons, le centre d'oscillation est placé au-dessus du bord supérieur de la lame fixe, de telle façon que les deux couteaux deviennent parallèles un peu avant de se rencontrer. Cette cisaille exige 2 à 6 chevaux de force suivant la grosseur des barres à couper. Le nombre d'oscillations varie de 30 à 40 par minute. Telle est la cisaille représentée par la figure 300; le mouve-

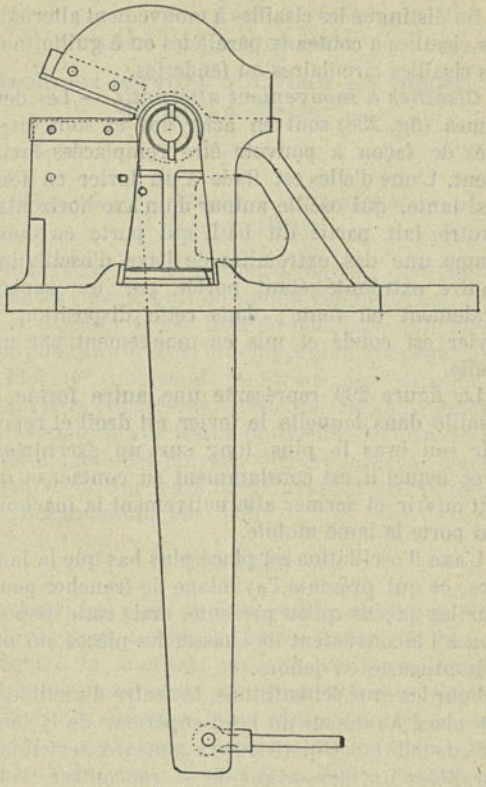


Fig. 298. Cisaille à mouvement alternatif.

ment d'oscillation est donné par l'intermédiaire d'un arbre coudé et d'une bielle.

Pour ne pas être obligé d'établir une queue d'une longueur démesurée, il faut rapprocher les lames de l'axe d'oscillation d'autant plus que la pièce à couper est plus épaisse, tout en ayant une ouverture de mâchoires suffisante. On limite donc à 0m 50 de longueur les lames de ce genre de cisailles; quand on veut avec des outils de ce genre trancher des pièces larges, il faut s'y reprendre à plusieurs

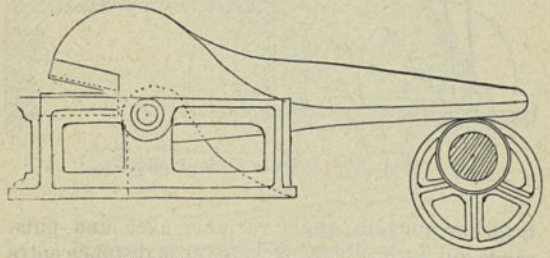


Fig. 299. Cisaille à excentrique.

fois, couper une petite partie, et avancer à chaque ouverture de mâchoire la plaque d'une nouvelle quantité entre les deux lames, ce qui demande plus de temps et donne un résultat moins certain que lorsqu'on emploie d'autres cisailles comme les cisailles à guillotine, c'est-à-dire à couteaux parallèles.

Enfin la figure 301 représente une cisaille pour tôles, dans laquelle les deux mâchoires sont articulées à leur extrémité.

Cisailles à guillotine. — Les cisailles que nous venons de décrire plus haut ont l'inconvénient de

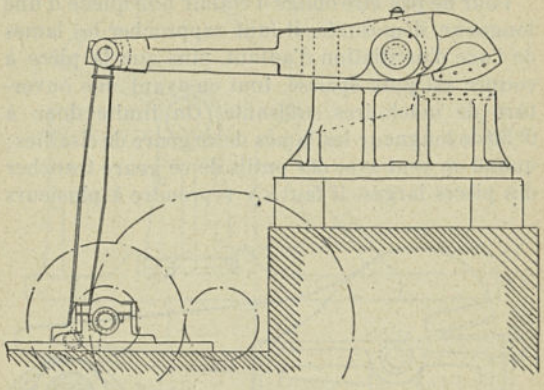


Fig. 300. Cisaille à manivelle.

trancher sous un angle variable avec une puissance qui varie elle-même suivant la distance entre le point de contact et l'axe de rotation ; on a cherché à donner au couteau mobile un mouvement de translation vertical en ligne droite et on est arrivé ainsi à la cisaille à guillotine.

La figure 302 représente une cisaille de ce genre pour couper les tôles en travers, système Thorneycroft. Ces cisailles ont une longueur quelconque et conviennent pour couper les tôles ; la lame supérieure, dans son mouvement de descente, vient raser la lame inférieure, mais son tranchant est établi suivant une inclinaison de 3 à 7°, de façon qu'il ne rencontre pas à la fois, sur toute sa longueur, la pièce à couper, ce qui produirait un choc et une section irrégulière ; le couteau agit donc

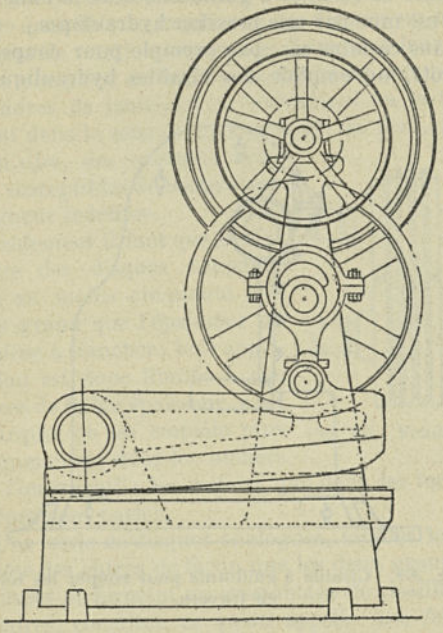


Fig. 301. Cisaille pour tôles épaisses.

successivement d'abord par sa partie la plus basse puis, progressivement, par toutes les autres parties; la lame supérieure reçoit son mouvement de haut en bas d'une manivelle montée sur un arbre portant volant qui emmagasine le travail du moteur pendant que l'outil marche à vide.

On a établi depuis quelque temps un grand

nombre de cisailles à guillotine, dont la lame mobile est mue par une pression hydraulique.

Dans certains cas, par exemple pour couper les lingots, on emploie des cisailles hydrauliques à

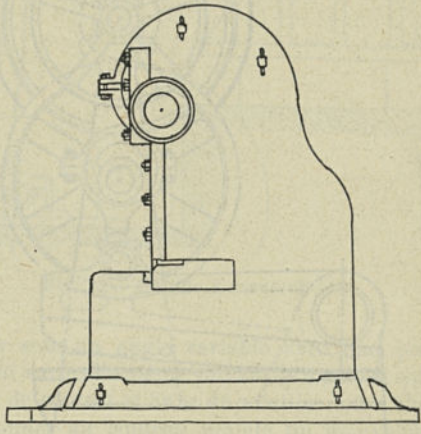


Fig. 302. Cisaille à guillotine pour couper les tôles en travers.

couteaux verticaux, se mouvant horizontalement; cette disposition présente l'avantage de pouvoir cisailler la pièce posée sur ses rouleaux transporteurs sans avoir besoin de la soulever.

II. FENDERIES

Cisaille circulaire. — Elle se compose de deux lames circulaires dont les axes sont parallèles et

dont les bords tranchants se recouvrent d'une très petite quantité; on imprime à ces disques un mouvement de rotation très rapide. Lorsqu'on leur présente une pièce de fer, ils la saisissent comme les cylindres de laminoir et l'entraînent en la tranchant dans le sens de sa longueur; ce sont, pour ainsi dire, des couteaux sans fin, susceptibles de couper une longueur indéfinie.

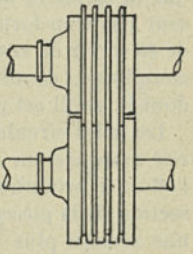


Fig. 303. Fenderie.

Seulement il faut que le diamètre des disques coupants soit au moins cinquante fois plus grand que l'épaisseur de la pièce à trancher; leur application est donc limitée à des pièces de faible épaisseur, c'est pourquoi on les emploie plus fréquemmeut dans les ateliers où l'on travaille les métaux que dans les forges à proprement parler.

Une série de disques analogues, montés les uns à côté des autres, de façon que les deux groupes se croisent et forment un assemblage de cisailles circulaires, constitue ce qu'on appelle une *fenderie* (fig. 303), c'est-à-dire un appareil usité pour diviser un fer plat en plusieurs barrettes carrées ou rectangulaires étroites. Aujourd'hui, cet appareil est abandonné après les perfectionnements apportés au laminage des petits fers.

III. SCIES CIRCULAIRES

Nous avons dit que les cisailles oscillantes ou à guillotine rendaient des services énormes pour le sectionnement des pièces de fer, mais il faut aussi que la forme de la section soit simple et son épaisseur pas trop forte; il devient presque impossible de se servir de ces appareils pour les pièces à profil compliqué, comme les rails, les poutrelles, etc., dont le profil est profondément déformé.

Les scies circulaires, ont, en outre, une supériorité marquée sur les cisailles; avec ces dernières, l'effort à produire croît proportionnellement à la section de la pièce à couper, tandis qu'avec la scie, une section plus forte exige simplement un peu plus de temps; de plus, la scie ne déforme en rien le profil, qui reste aussi régulier qu'auparavant, il y a simplement une perte de métal proportionnelle à la largeur du *trait de scie* et à la section de la pièce.

La scie circulaire se compose (fig. 304), d'un disque en fer ou en acier, dont la circonférence est taillée en forme de dents de scie; il est compris entre deux plateaux A, en fonte, montés sur un arbre horizontal animé d'un mouvement de rotation très rapide.

On amène les dents de la scie en contact avec la pièce à couper, soit en avançant celle-ci progressivement, soit à l'aide d'un levier L et d'une tringle B faisant osciller autour de son axe O le support de la pièce à couper, soit en faisant mouvoir la scie elle-même; chaque dent enlève un

copeau de métal et il se produit ce qu'on appelle un *trait de scie*, qui devient de plus en plus profond et finit par séparer la pièce en deux.

Les scies circulaires travaillent soit à froid, soit à chaud, c'est-à-dire qu'elles tranchent le métal soit à la température ordinaire, soit incandescent ; ces dernières sont les seules usitées dans les forges.

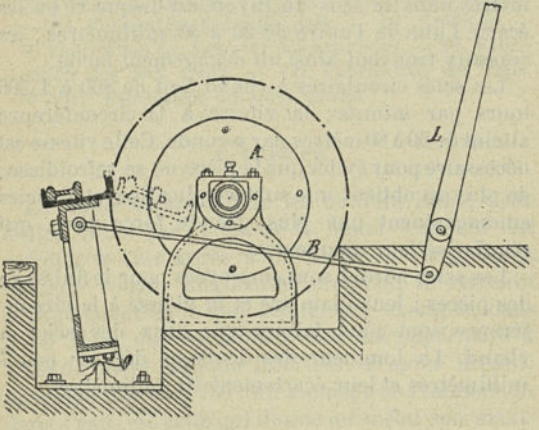


Fig. 304. Cisaille circulaire.

Le travail absorbé par une scie à chaud est proportionnel au poids du métal enlevé ; il faut donc préférer les disques de scie ayant la plus faible épaisseur possible, en tenant compte cependant de la relation qui doit exister entre le diamètre et l'épaisseur ; le diamètre, lui, dépend de la section du métal à couper. Ordinairement, le diamètre

varie de 0m 80 à 1m 50 et l'épaisseur de 4 à 6 millimètres.

On coupe les barres à leur sortie du laminoir, c'est-à-dire pendant qu'elles sont encore rouges, car les dents éprouvent ainsi une moindre résistance, elles tranchent plus vite et dépensent moins de force.

La longueur des dents varie de 10 à 25 millimètres dans le sens du rayon du disque et on les écarte l'une de l'autre de 20 à 30 millimètres ; les copeaux trouvent ainsi un dégagement facile.

Les scies circulaires à chaud font de 800 à 1,200 tours par minute ; la vitesse à la circonférence atteint de 60 à 80 mètres par seconde. Cette vitesse est nécessaire pour éviter que la pièce ne se refroidisse ; de plus on obtient une surface plus lisse et les scies emmagasinent une plus grande force vive, qui régularise leur mouvement.

Les scies à froid sont employées pour le finissage des pièces ; leur diamètre et la vitesse à la circonférence sont plus faibles que ceux des scies à chaud. La longueur des dents ne dépasse pas 7 millimètres et leur écartement 10 millimètres.

CHAPITRE XXIV

Traitement du fer et de l'acier obtenus par soudage ou par fusion

---

SOMMAIRE. — I. Trempe. — II. Fabrication des gros fers. — III. Fabrication des petits fers. — IV. Tréfilage. — V. Fabrication des fers pour constructions. — VI. Fabrication des fers creux. — VII. Fabrication des rails. — VIII. Fabrication des tôles noires.

I. TREMPE

La *dureté naturelle* d'un fer ou d'un acier, c'est-à-dire celle que possède le métal lorsqu'il est refroidi à l'air après avoir subi un étirage à la chaleur rouge, augmente lorsqu'on le refroidit brusquement en le plongeant, par exemple, dans l'eau alors que sa température est supérieure à celle du point critique inférieur. D'après Brinell, la température de 750°, au moment de l'immersion dans l'eau, est celle qui donne au métal son maximum de dureté. Par exemple, un acier à 0,7 0/0 de carbone, trempé à 750°, est trois fois plus dur que lorsqu'il est trempé à 700°.

Pour que l'acier trempé puisse rayer le verre, il faut que l'acier employé soit très carburé. L'acier le plus dur à l'état naturel est celui qui donne une meilleure trempe.

Le manganèse, le chrome, le tungstène développent la faculté de tremper, pourvu que la dose

du manganèse ne dépasse pas celle qu'on trouve dans le métal doux des appareils Bessemer ou Martin.

Il faut saisir la température la plus convenable pour refroidir le métal brusquement. Une température trop basse n'augmente guère la dureté ; si au contraire la température est trop élevée, non seulement on n'augmente pas la dureté, mais on risque d'altérer le métal. Cela se comprend facilement, car l'excès de chaleur que possède le métal réchauffe l'eau et quand le métal se trouve arrivé à la température à laquelle la trempe peut se produire normalement, l'abaissement de la température n'est plus assez brusque.

On se guide généralement par la couleur du métal incandescent pour faire la trempe ; le rouge sombre convient à l'acier dur et le rouge cerise au métal doux ; on se place pour bien observer la couleur dans un local obscur.

Les pièces qu'on soumet à la trempe sont exposées à se briser, car le refroidissement brusque qu'elle exige se fait irrégulièrement dans la pièce, provoque des tensions et il se produit des fissures à l'intérieur ou à l'extérieur. Ce danger est d'autant plus à redouter que la pièce a des épaisseurs différentes dans ses diverses parties.

Pour éviter ces accidents, au lieu de tremper à l'eau froide on se sert d'eau tiède, d'eau de savon, d'huile. On augmente la dureté de trempe des aciers doux en se servant des bains bons conducteurs comme de l'eau acidulée.

Pour obtenir un bon résultat de la trempe on est obligé de recourir à des artifices appropriés à

la forme des objets à tremper. Au lieu de plonger la pièce incandescente simplement dans l'eau, ce qui provoque la formation d'une gaine de vapeur autour de la pièce qui s'oppose au contact intime du métal avec le liquide et retarde le refroidissement, on doit agiter la pièce au sein du liquide ou employer un jet ou une pluie d'eau.

Pour obtenir le durcissement d'une partie de la pièce, le tranchant d'un outil quelconque, par exemple, il ne faut pas limiter à une ligne nette le refroidissement par le liquide dans lequel on opère la trempe, car si la partie trempée au maximum est contiguë à celle qui ne l'est pas du tout, il en résulte des tensions qui provoquent souvent la rupture de la pièce ou tout au moins la rendent fragile. Il faut donc varier, pendant la trempe, la longueur de la partie plongée dans le liquide afin de diminuer la dureté progressivement depuis la partie trempée.

II. FABRICATION DES GROS FERS

On appelle *gros fers* ceux dont la section présente une grande surface et une forme simple, carrée, rectangulaire, ronde, hexagonale ou octogonale, et qu'on obtient du laminage de paquets en une seule chaude. La limite bien définie pour distinguer ces fers des autres n'existe pas ; mais d'une façon générale on désigne ainsi tous ceux qu'on passe au laminoir une seule fois pour arriver au fer fini.

La limite entre le gros fer et le petit fer est très difficile à établir aussi ; pour diminuer le travail du laminoir, on coule des lingots assez petits pour

qu'ils donnent, en une seule chaude, des barres de très petite section, ou bien on chauffe de gros lingots, on les ébauche au gros laminoir, on les coupe à chaud et on lamine les morceaux pour réduire la section sans avoir besoin d'une seconde chaude.

Les paquets sont composés soit avec du fer brut, de la ferraille, soit avec du fer fini provenant des barres coupées auxquelles on donne le nom de *chutes*. On calcule le poids du paquet d'après celui de la barre qu'on veut obtenir en y ajoutant celui qui correspond aux chutes et au déchet.

Ordinairement on coupe les morceaux de 0,45 à 0,60 de longueur et on les empile de façon à croiser les joints et à réduire autant que possible les vides ; on doit avoir soin, pour que le paquet ne se désorganise pas, de les lier avec des fers minces ou des fils de fer.

Les paquets, à leur sortie du four à souder, passent au laminoir par des cannelures ogivales, et on continue ainsi l'étirage aussi loin qu'il est nécessaire avant de livrer la barre aux cannelures finisseuses.

Pour les fers ronds et carrés on poursuit l'étirage dans les cannelures ogivales assez loin pour que les trois cannelures finisseuses soient suffisantes ; on passe cependant la barre dans la dernière cannelure, de trois à cinq fois, en la tournant à chaque fois de 90° avant de l'engager.

Pour les fers plats, après le passage de la barre dans les cannelures ogivales on la présente aux cannelures emboîtantes en la tournant chaque fois de 180°. Nous avons indiqué comment sont établies ces cannelures.

Le métal fondu est passé au laminoir, pour barres finies, sans être mis en paquets.

III. FABRICATION DES PETITS FERS

Pour la fabrication des petits fers on étire le paquet au laminoir à gros fer, les barres obtenues sont coupées en tronçons auxquels on donne le nom de *billettes* ; celles-ci sont passées à leur tour dans le four à réchauffer, puis étirées aux dimensions définitives ; souvent on lamine ces billettes en fer fini, de la même chaude.

Pour la fabrication des petits fers on doit employer des trains animés d'une vitesse d'autant plus grande que la section finale de la barre est plus petite, vu que la rapidité du refroidissement est plus grande.

Les cannelures successives sont sur des cages différentes afin de faciliter la manœuvre, bien qu'on soit ainsi obligé d'augmenter le nombre des cages nécessaires. Le lamineur saisit avec des tenailles l'extrémité de la barre qui se présente la première à la sortie d'une des cannelures et l'engage dans la suivante ; cette manœuvre est facilitée par la présence de guides.

Quelquefois, on place les cages finisseuses les unes devant les autres et parallèlement pour éviter de ployer la barre lorsqu'on doit la faire passer d'une cannelure à la suivante. Dans quelques installations, il y a jusqu'à douze cages disposées de cette façon et contenant chacune une paire de cylindres horizontaux. Chacune de ces paires de cylindres doit avoir une vitesse plus grande que

celle qui la précède, puisque le fer est animé d'une vitesse plus grande à la sortie qu'à l'entrée d'une cannelure. Pour obtenir ce résultat, on se sert de pignons coniques montés sur le même arbre et ayant des diamètres différents les uns des autres.

Les cannelures des trains à verge sont alternativement ovales et carrées, il n'y a que la dernière qui est ronde.

IV. TRÉFILAGE

Le plus petit fer rond qu'on puisse obtenir au laminoir a 0m 0045 de diamètre ; il porte le nom de *verge de tréfilerie* ou plus simplement *machine* ; au sortir du laminoir, on l'enroule sur un dévidoir : sous cette forme, le fer est employé à divers usages, ou bien il est passé à la filière pour produire des fils de moindres diamètres ; cette opération porte le nom de *tréfilage*.

On appelle filières des bandes de fer plat de 0m 65 à 0m 97 de long, de quelques centimètres de large et 0m 027 à peu près d'épaisseur, dans lesquelles sont percés des trous coniques disposés en échiquier et échelonnés par diamètres, de manière que le dernier soit égal au fil qu'on désire obtenir.

Les trous des filières doivent avoir une grande dureté pour ne pas s'user à la longue et pour donner au fer filé une perfection convenable ; c'est pour cela qu'on garnit la partie la plus étroite de la filière d'acier sauvage fabriqué par un procédé particulier. On remplit une boîte de morceaux de cet acier qui, ainsi que nous l'avons dit, se rapproche beaucoup de la fonte ; on chauffe cette boîte devant la tuyère d'un feu de forge, en la recou-

vrant d'un linge trempé dans de l'eau argilée. Lorsque cet acier est devenu pâteux, on l'étire, on le laisse refroidir et on en forme des filières. Il est préférable de rendre la filière très dure, sauf à l'adoucir en la recuisant sous une couche d'argile. Il serait impossible de remédier à une filière trop douce. On perce les filières à chaud avec des poinçons d'Allemagne ; on change de poinçons en commençant par la partie la plus large du cône et continuant avec des poinçons dont la grosseur diminue à mesure qu'on avance. Ce procédé a l'inconvénient d'obliger à remettre plusieurs fois la pièce au feu. Il serait beaucoup plus convenable de commencer avec le foret et de percer à froid ; on pourrait alors achever la filière en ne chauffant qu'une fois. Pour traverser l'acier qui forme la troncature du trou, on le perce à la chaleur rouge avec un poinçon conique qui sert à plusieurs trous. La dimension de ce trou est donc soumise au coup d'œil plus ou moins sûr de l'ouvrier ; ce qui, dans quelque genre de travail que ce soit, est toujours un mal. Il serait plus prudent d'avoir, pour chaque différent trou, un poinçon cylindrique du calibre voulu.

Il y a trois choses à observer dans le travail des filières : leur dureté, la rondeur des trous et la précision du calibre. Si l'opération que nous venons de décrire est faite avec sagacité, le trou est assez dur et l'acier conserve toute sa force. Des filières en certaine fonte blanche réussiraient également. Le calibre des trous diminue dans la plupart des usines suivant une progression dont la raison est $0^{m}87$. Ce rapport beaucoup trop faible donne lieu à des ruptures, à des déchets et à beaucoup

d'autres inconvénients ; il serait bien plus avantageux de le faire 0m 972 : cette disposition entraînerait un plus grand nombre de trous pour arriver au même résultat, mais le fil y gagnerait en beauté, en qualité et en quantité.

C'est ici surtout qu'il faut avoir égard au plus ou moins de dureté du fer qui doit être étiré aux filières, à sa ténacité et enfin à une foule d'autres conditions qui, dans les autres fabrications, passent inaperçues, mais qui sont ici d'une importance extrême. Aussi, ne prétendons-nous pas donner de règle générale sur la progression de ces filières : le calibre des trous doit varier suivant la qualité du métal qu'on doit filer.

Le fer cassant ne peut être passé aux filières ; le fer fort et dur s'étire difficilement et, s'il a des dispositions à s'aigrir, il ne peut être tiré avec la même vitesse que le fer nerveux. Le fer mou est celui qui se travaille le mieux et attaque le moins la filière; mais le fer tenace est le seul qui donne un bon produit. Ainsi, le métal qui est à la fois tendre et tenace réunit toutes les qualités convenables pour la filerie.

Le fer laminé est sujet à des solutions de continuité après avoir passé à la filière ; la verge crénelée, dont on se sert dans beaucoup d'endroits et qu'on nomme *forgis*, produit des pailles et des fentes ; le fer fendu se rompt facilement, mais le fer affiné au charbon de bois et martiné, ou mieux encore laminé après coup, est préférable à tous les autres. Il est possible cependant d'étirer toutes les espèces de fer, mais il faut user du ménagement qui convient à chacune. Si l'on passe immédiate-

ment d'une filière à une autre, sans que la différence des deux diamètres soit proportionnée à la qualité du métal, le fer s'aigrit et le fil perd son élasticité. La vitesse avec laquelle on doit étirer les numéros est une autre condition qui, ainsi que le calibre des filières, est basée sur le plus ou moins de ténacité, le plus ou moins d'aigreur du métal. Un fabricant doit faire à cette vitesse une grande attention ; mais malheureusement, comme elle varie pour chaque localité, il est bien difficile d'établir une théorie régulière pour la tréfilerie. La vitesse dépend donc de la grosseur du fer avant le tirage et du calibre qu'on veut obtenir, de la température du métal et de l'étirage qu'il a reçu préalablement. Si le fil a déjà passé plusieurs fois à la filière, sa texture acquise le rend plus propre à s'étendre en longueur ; on peut donc augmenter plus facilement la vitesse du fil mince que de celui qui passe aux premières filières, d'autant mieux que le frottement des fils de petits échantillons dans le trou conique leur donne une espèce de recuit.

Le fil qui a passé à la filière s'aigrit comme s'il avait été écroui ; il prend du nerf, mais ses fibres sont peu cohérentes et les probabilités de rupture augmentent aux premiers tours. Bientôt, à la vérité, elles diminuent, mais on ne pourrait continuer de filer sans que le fer ne perdît rapidement sa ténacité. On est donc obligé de lui donner des recuits, dont le nombre dépend entièrement de la dureté du métal.

Il est important de garantir de l'oxydation le fil qu'on veut recuire. Cette attention est surtout nécessaire pour les échantillons minces ; ceux-ci,

lorsque le diamètre est très faible, demandent à être recuits dans des vases clos. Quant aux diamètres plus forts, on peut les chauffer dans un four ordinaire au moyen des charbons; mais il serait préférable d'adopter, pour tous les calibres, le procédé des vases hermétiquement fermés, parce qu'il est toujours très difficile d'en nettoyer la surface.

L'ouvrier chargé d'enlever l'oxyde qui résulte du chauffage en contact avec l'air atmosphérique, porte le nom d'*écrieur* ou d'*ébroudeur*; il commence par battre avec un maillet de bois les paquets de fil de fer, et il enlève ensuite ce qui reste, en frottant les fils avec une toile écrue et du grès pilé.

A mesure que le diamètre du fil diminue, les recuits deviennent plus rares ; le chauffage est aussi moins long, car il faut moins de chaleur pour élever leur température. Les difficultés du tirage diminuent donc à mesure que le travail avance et que le métal prend de l'élasticité et du corps.

On a soin de préparer et de forger la pointe des gros fils avant de les engager dans le trou de la filière. On doit donc avoir à cet effet, une forge à mains dans laquelle on puisse les faire chauffer. On refait la pointe à chaque recuit, parce qu'elle se déforme plus ou moins pendant le chauffage.

C'est un usage assez avantageux que celui de certaines usines qui donnent un recuit aux forgis avant de les faire passer dans le premier trou conique. Les angles saillants de ces barres fatiguent beaucoup la filière et la détériorent en très peu de temps. Le meilleur moyen d'obvier à cet inconvénient consiste à les passer avant tout sous un lami-

noir à cannelure ronde. Il faut, autant que possible, éviter de multiplier les chaudes, parce que l'acier des filières s'altère à la longue et se ramollit quelquefois.

Pour diminuer le frottement qui a lieu dans le tirage, on graisse les trous des filières avec du suif ou de l'huile. Quelques fabricants appliquent aussi à la filière un sachet ou linge rempli de graisse à travers lequel passe la verge qu'il s'agit de tirer; par ce moyen, ils refroidissent l'ouverture conique, en même temps qu'ils facilitent le passage du fil dans cette ouverture.

On a reconnu que du fil qui avait été plongé dans une liqueur acide dont on avait élevé la température par l'immersion d'un lingot de cuivre très échauffé, passait ensuite par les trous de la filière avec une facilité remarquable, et cela en raison de la précipitation d'une portion de cuivre de la dissolution sur sa surface; ce fil n'a plus besoin d'être recuit aussi souvent qu'auparavant, sans doute parce que le cuivre empêche le déchirement de la superficie du fer par la filière. Quelques fabricants, en conséquence de ce fait, se servent d'une faible dissolution de cuivre pour faciliter le tirage du fil de fer et d'acier. La légère couche de cuivre qui le recouvre est entièrement enlevée dans le dernier recuit.

On donne plus particulièrement le nom de *tréfileries* aux usines où l'on fabrique du fil de fer d'un gros diamètre, et celui de *tireries* à celles où l'on tire du fil de petit échantillon. Dans les premières, on se sert de tenailles qui se meuvent sur un banc à tirer, s'ouvrent d'elles-mêmes, en avan-

çant, pour saisir le fil, le prennent et le serrent dans leur mouvement rétrograde. Dans les tireries, on remplace les tenailles par des *bobines*, ou petits cylindres tournants sur lesquels le fil s'enroule à mesure qu'il sort des filières.

Les tenailles laissent sur le fil des traces de l'effort qu'elles ont fait pour tirer le fil de fer, tandis que les bobines lui conservent toute la régularité qu'il a acquise en sortant de la filière. Celles-ci sont donc préférables sous ce rapport. Il

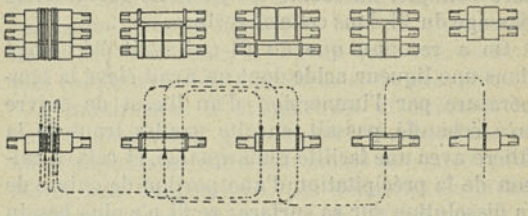


Fig. 385. Diagramme d'un train à serpentin pour fer à machine et de laminage d'une billette (élévation et plan).

est évident que les tenailles et les bobines doivent avoir des vitesses proportionnelles à la finesse du fil. Quant aux tenailles, cette progression rigoureuse serait impossible, mais on y supplée par des bobines qui tournent à bras d'hommes et sont soumises aux variations qu'on juge nécessaires.

Le fil est ordinairement livré au commerce en bottes de divers poids, ou en petits échantillons sur leurs bobines. Quelquefois, cependant, et pour certaines manipulations, il a besoin d'être redressé.

On emploie à cet effet divers procédés. Le déchet donné dans cette fabrication n'excède pas 12 0/0; il dépend d'ailleurs de la grosseur du fil à étirer; quelquefois, il n'est que de 1 à 2 0/0.

Le fil doit avoir une parfaite égalité dans toute sa longueur; il faut qu'il ait une telle souplesse qu'on puisse le plier et le replier à plusieurs re-

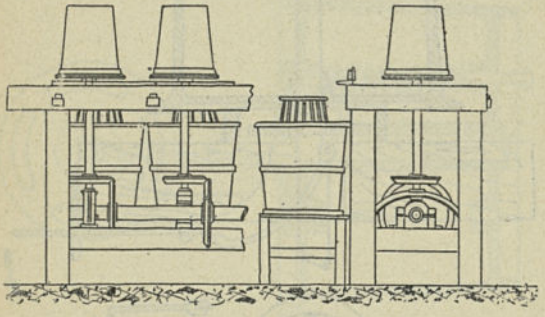


Fig. 306. Installation de bobines verticales sur un banc de tréfilerie.

prises sans occasionner ni ruptures ni fentes. La dureté et l'élasticité parfaite sont encore deux des qualités les plus précieuses de ce produit.

Chaque pays a sa manière particulière de désigner les diverses espèces de fils : aussi ne peut-on donner aucune comparaison entre les numéros. Les fils de tréfilerie portent ceux de 20 à 30, suivant leur diamètre, les fils de tirerie, de 19 à 1, au-dessous duquel est le *passe-perle*. Les numéros au-dessous de celui-ci vont en augmentant avec leur

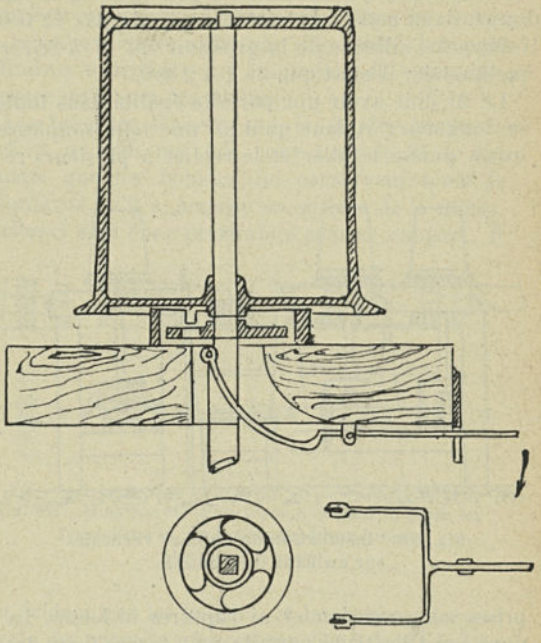


Fig. 307. Bobine verticale avec son toc.

finesse jusqu'au n° 12, dont 1 kilogramme fait une longueur de 10,000 mètres.

Dans certaines fabriques les gros fils des numéros 23 à 37 se fabriquent avec du fer puddlé brut mis en trousses, suivant la méthode ordinaire, et chaque trousse, composée de trois barres plates,

pèse de 6 à 7 kilogr. Le réchauffage s'en opère dans des fours à réverbère alimentés avec de la houille, et l'étirage en verge de tirerie n° 23, a lieu en une seule chaude. Les fils de fer de moindres diamètres s'étirent avec du fer puddlé préparé au charbon de bois.

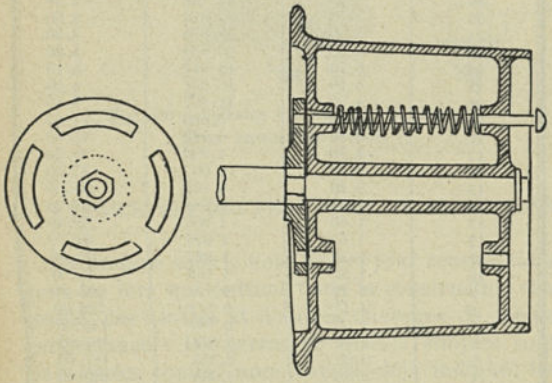


Fig. 308. Bobine horizontale de grosse tréfilerie avec son toc.

Le tableau de la page suivante indique tous les numéros des fils en même temps que le poids de 100 mètres de chacun des fils et la longueur d'un kilogramme.

Pour terminer avec la tréfilerie nous donnons, dans les figures 305, 306, 307, 308 et 309, un spécimen des différentes machines employées dans ces usines.

Numéros des fils	Diamètres en millimètres	Poids de 100 mèt. de long en kilogr.	Longueur de 1 kilogr. en mètres
30	14.00	115.500	0.64
29	12.50	92.072	1.08
28	11.00	71.303	1.40
27	9.65	54.706	1.80
26	8.55	42.763	2.30
25	7.70	34.916	2.80
24	7.00	28.875	3.40
23	6.50	23.838	4.20
22	5.70	19.611	5.10
21	5.10	15.321	6.50
20	4.50	11.877	8.40
19	3.90	8.580	11.60
18	3.40	6.429	15.60
17	2.90	4.950	20.20
16	2.50	3.667	27.50
15	2.20	2.852	35.00
14	1.98	2.381	42.00
13	1.80	1.905	52.40
12	1.64	1.596	62.70
11	1.56	1.324	75.50
10	1.38	1.169	85.50
9	1.27	0.9.9	105.40
8	1.17	0.819	122.00
7	1.09	0.700	143.00
6	1.02	0.612	163.00
5	0.95	0.533	187.00
4	0.88	0.468	213.00
3	0.81	0.386	259.00
2	0.74	0.332	301.00
1	0.68	0.272	364.00
Passe perle	0.62	0.226	442.00
0	0.56	0.187	533.00
1	0.51	0.152	658.00
2	0.46	0.128	785.00
3	0.415	0.105	952.00
4	0.37	0.086	1162.00
5	0.33	0.068	1470.00
6	0.29	0.053	1887.00
7	0.25	0.043	2326.00
8	0.22	0.034	2941.00
9	0.20	0.027	3704.00
10	0.185	0.020	5000.00
11	0.17	0.015	6066.00
12	0.16	0.010	10000.00

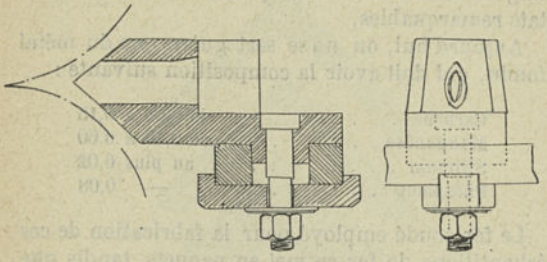


Fig. 309. Détails d'un guide en fonte pour cannelure ovale.

V. FABRICATION DES FERS POUR CONSTRUCTIONS

On désigne sous le nom de *fers pour constructions* tous les fers qui entrent dans la construction des ponts, des navires et d'autres ouvrages de même importance : les barres de formes simples sont fabriquées comme nous l'avons déjà indiqué ; les fers cornières, les poutrelles de différentes formes et les tôles exigent un travail spécial.

Le métal employé doit être très tenace et résister à la rupture de manière à supporter les efforts répétés auxquels il sera soumis par la suite ; les fers obtenus par soudage doivent résister à 36 kilogrammes par millimètre carré dans le sens du laminage, ceux en métal fondu présenteront une résistance de 37 à 45 kilogrammes.

Jusqu'en 1878 on n'employait que le fer obtenu par soudage ; il n'y a qu'après l'invention des procédés Bessemer et Martin qu'on a employé des

lingots de métal fondu et qui ont donné des résultats remarquables.

Aujourd'hui, on ne se sert guère que du métal fondu, qui doit avoir la composition suivante :

Carbone	de 0,08 à 0,15
Manganèse	de 0,40 à 0,60
Silicium	au plus 0,02
Phosphore	— 0,08

Le fer soudé employé pour la fabrication de ces échantillons de fer se met en paquets, tandis que le fer fondu se prend sous forme de lingots à section généralement carrée.

Dans la préparation des paquets il faut mettre, en dessus et en dessous du fer corroyé, des rognures de tôles ; on obtient ainsi une surface plus lisse qui supporte mieux le poinçonnage ; le laminage se fait en une ou deux chaudes.

La figure 310 montre la série des cannelures généralement employée en Allemagne pour la production des cornières.

Pour les fers à double T, les paquets ont une forme s'approchant grossièrement du profil définitif ; les angles qui sont les parties les plus éprouvées par le travail de l'étirage sont composés de fer corroyé ; ces pièces se laminent l'âme étant horizontale et les ailes verticales ; plus celles-ci sont larges et plus ce profil est difficile à réussir ; les plus petites se font au laminoir trio, les plus grosses au laminoir reversible.

—

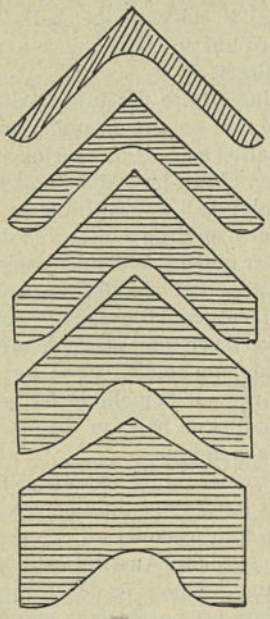


Fig. 310. Formes de cannelures employées pour cornières.

VI. FABRICATION DES FERS CREUX

La fabrication des tubes en fer, ou fers creux, consiste à faire chauffer des barres de fer plat, à leur donner, sous un marteau particulier, la forme grossière des tubes ; à les remettre de nouveau au feu pour les réchauffer au blanc soudant et à les étirer, dans cet état, à la filière. Tel est le procédé

compliqué qui a été employé jadis et s'emploie encore aujourd'hui en concurrence avec le procédé de l'étirage direct.

Le fer destiné à faire des tubes doit être de très bonne qualité ; on se sert de préférence de barres battues au maillet en bois ou fabriquées avec de la ferraille, qu'on réduit préalablement, sous le laminoir, en fer plat de 5 à 7 millimètres d'épaisseur, d'une longueur d'environ 2 mètres et de la largeur nécessaire pour obtenir le diamètre désigné.

La barre plate étant chauffée au rouge sombre, est préalablement courbée dans le sens de la longueur et convertie en une espèce de tube grossièrement plié, mais non soudé. On se sert, pour cela, ou d'une bigorne sur laquelle le fer est arrondi à l'aide d'un maillet de bois, ou du marteau à plier qui est plus économique.

Le tube grossier ainsi obtenu et dont les rebords ne sont pas joints intimement, est ensuite porté dans un four à souder où on en élève la chaleur au blanc soudant. Aussitôt cette température obtenue, d'une manière égale et rapidement, la barre recourbée est portée dans une filière placée très près du four, où un ouvrier l'engage, et à travers laquelle le tube est entraîné par des tenailles et se soude en s'étirant.

Dans le four à réchauffer de Marslant, deux tubes ébauchés passent à la filière, tandis qu'un troisième est réchauffé à la température voulue. Ces opérations occupent continuellement un chauffeur, deux ouvriers et trois apprentis. Il faut un peu plus d'une minute pour chauffer trois tubes et la moitié de ce temps pour les étirer.

Après l'étirage, les tubes ont besoin d'être taraudés; ce qui se fait au mandrin suivant les procédés en usage.

Les tubes s'étirent depuis 3 millimètres jusqu'à 50 centimètres de diamètre. Voici l'épaisseur et le poids de certains fers creux :

Diamètre intérieur	Épaisseur	Poids par mètre courant
—	—	—
0m003	»	»
0m006	»	»
0m010	0m003	»
0m013	0m003	1k50
0m019	0m004	2k25
0m025	0m004	2k60
0m032	0m004	4k15
0m038	0m005	6k00
0m050	0m006	10k50

VII. FABRICATION DES RAILS

Jusqu'en 1860 environ, les rails étaient fabriqués presque exclusivement avec du fer soudé. Les paquets sont préparés avec du fer à grains fins ou de l'acier puddlé pour les parties qui formeront les champignons et avec du fer à nerf pour le restant. Plus tard, on a remplacé l'acier puddlé des champignons par de l'acier Bessemer, mais sous le poids des trains, il se produisait une séparation des mises et une exfoliation qui mettait bientôt les rails hors de service avant qu'ils soient usés.

A partir de 1865, on a commencé à employer le métal fondu pour la production des rails, mais à cause des clauses inscrites dans les cahiers des charges exigeant une résistance de 76 kilogrammes

par millimètre carré, la fabrication était difficile et le prix de revient considérable; on réservait alors ces rails pour les voies dans les gares importantes où l'usure est rapide et pour les fortes rampes.

Après 1870, on est parvenu, grâce aux nouvelles découvertes d'étirage, à fabriquer des rails en acier fondu à un prix inférieur à celui du fer soudé; en même temps des expériences ont fixé sur la qualité la plus convenable et sur la manière de l'obtenir.

Un rail doit résister aux ébranlements répétés auxquels il est soumis et en même temps être assez dur pour ne pas se déformer sous le poids des trains. Dans les cahiers des charges de la plupart des grandes compagnies de chemins de fer, la résistance à la traction des rails est fixée entre 55 et 65 kilogrammes par millimètre carré de section.

La composition du métal pour rails doit être la suivante, d'après W. Richards et Martin :

Carbone	0,35 à 0,50
Silicium	0,05 à 0,10
Soufre	0,04 à 0,08
Phosphore.	» à 0,08
Manganèse	0,75 à 1,00

Le métal pour rails peut provenir des procédés Bessemer et Thomas ; le procédé Thomas fournit un métal moins phosphoreux, mais la carburation ne s'effectue qu'après arrêt du soufflage et peu avant la coulée, et on s'est demandé s'il n'y avait pas là un inconvénient. Cependant la pratique n'a pas démontré si les rails Thomas étaient inférieurs aux rails faits avec du métal Bessemer acide.

Un lingot pour rails donne ordinairement deux longueurs de rails, le plus souvent quatre et quelquefois huit.

La longueur d'un rail varie de 8 à 15 mètres; leur poids est variable suivant les pays et leur forme.

Quand un lingot doit donner au moins quatre rails, à sa sortie du four à réchauffer ou des puits Gjers, on le passe à un train dégrossisseur, puis on le coupe à la cisaille en tronçons que l'on passe au finisseur; si le travail se fait rapidement, ces tronçons n'ont pas besoin d'être réchauffés avant de passer au finisseur; dans le cas contraire on doit les réchauffer légèrement.

Les lingots pour deux rails et même pour trois sont toujours laminés d'une seule chaude et passent au dégrossisseur et au finisseur, sans être coupés ni réchauffés.

Les trains à rails sont généralement des trios; les plus simples possèdent deux cages; la première contient les cylindres ébaucheurs, l'autre les finisseurs qui ont un diamètre compris entre 0m 60 et 0m 70 et qui font de 100 à 120 tours par minute; le volant pèse de 30 à 50 tonnes.

La longueur de la barre qui sort, sous forme de rail, de la cannelure finisseuse dépend de la puissance de la machine et de la place dont on dispose.

Il faut de 11 à 24 passes suivant qu'on tire d'un même lingot un plus ou moins grand nombre de rails. Si la longueur de la barre finie doit être très grande, le lingot est très gros et exige un plus grand nombre de passes pour arriver à la section voulue.

Pour atteindre une grande production on dispose plusieurs cages isolées ou par paires, les unes derrière les autres; les blooms, arrivant du train à lingots, passent dans les premières cages à cannelures ébaucheuses, puis aux secondes cages qui comportent des cannelures finisseuses, si elles sont les dernières. Souvent on intercale une troisième série entre les deux précédentes et celle-ci ne renferme que des cannelures ébaucheuses : cette disposition est très bonne car elle permet de donner à chaque cylindre la vitesse qui convient pour qu'il n'y ait pas de perte de temps, la vitesse devant aller en croissant à mesure que la barre devient plus longue.

En sortant du train finisseur, les rails sont coupés à la longueur voulue au moyen de scies circulaires; on en établit généralement plusieurs à la distance voulue pour opérer tous les sciages à la fois; pour deux longueurs, il faut trois scies, et ainsi de suite.

Les champignons des rails conservent la chaleur plus longtemps que les patins, et les rails se courbent en se refroidissant, il est donc nécessaire de les dresser à froid au moyen de presses (fig. 311 et 312). Quelquefois on leur donne, après le coup de scie, pendant qu'ils sont encore rouges, une courbure inverse de celle que le refroidissement leur ferait prendre, de façon que, quand ils sont refroidis, ils arrivent à être à peu près droits.

Après refroidissement on les dresse aux presses, on fraise les deux bouts et on les perce.

La machine motrice consomme 100 à 150 kilogr. de houille par tonne de rails finis; la main-d'œuvre

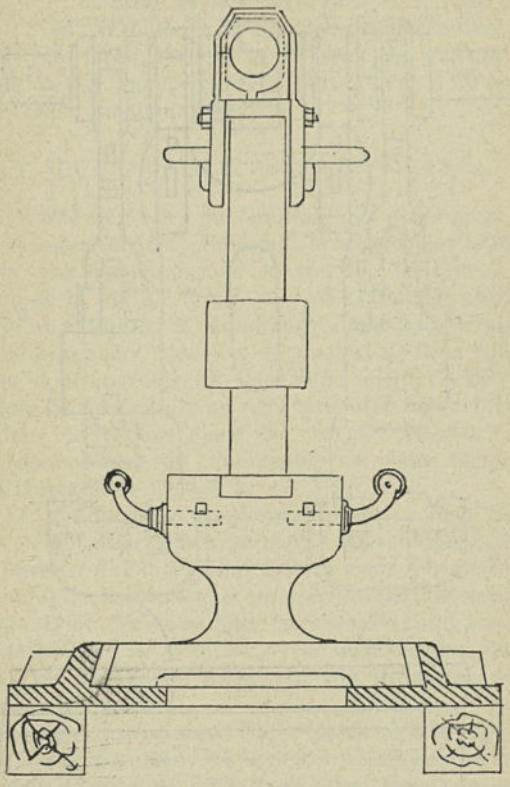


Fig. 311. Presse à dresser les rails à froid.

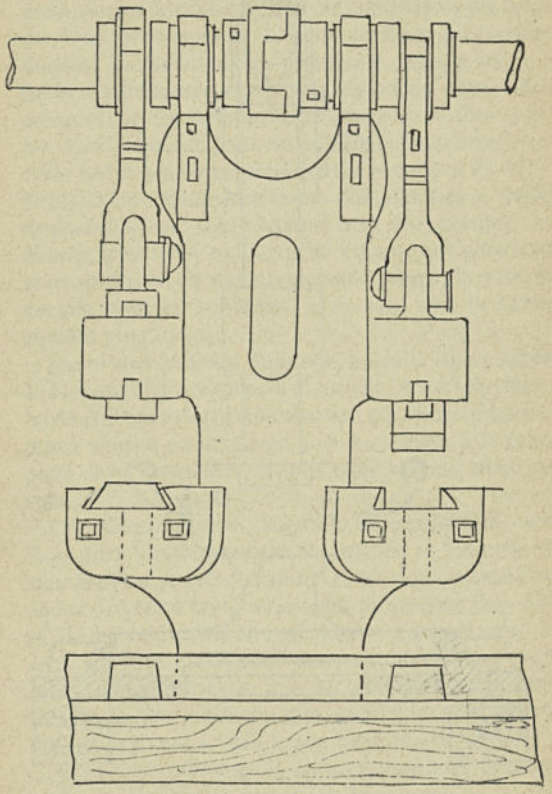


Fig. 312. Presse à dresser les rails à froid.

pour réchauffage et laminage varie de 1 fr. 15 à 3 fr. 125 par tonne et le finissage presque autant. De cette façon, l'ensemble des frais de transformation des lingots en rails finis s'élève à 20 ou 25 francs par tonne de rails.

VIII. FABRICATION DES TOLES NOIRES

La tôle est un fer en feuilles d'une petite épaisseur; on croit que le nom de *tôle* lui vient du latin *tela*, par comparaison avec la toile. La fabrication de la tôle en France date de 1726; elle avait lieu au marteau; le fer employé dans les tôleries doit être doux, nerveux et malléable; il ne doit pas se criquer sur les côtés ni se déchirer à l'étirage. Le fer cassant ne peut produire de la tôle mince; le fer fort exige des chaudes réitérées et consomme trop de combustible en même temps qu'il retarde le travail.

La tôle forte est toujours employée à l'état de fer noir; la tôle mince est le plus souvent destinée à faire du fer-blanc; elles doivent avoir une épaisseur uniforme partout et une surface parfaitement lisse. Elles doivent se plier facilement à froid dans tous les sens, ne point se gercer ni se déparer. La tôle est marchande lorsqu'elle n'a ni pailles, ni bosses, ni trous.

Le travail mécanique de la tôle se fait aujourd'hui exclusivement au laminoir; autrefois on le faisait au marteau et il comportait trois parties distinctes : l'*élargissage* ou *élargerie*, le *platinage* et le *parage*.

Aujourd'hui la tôle en métal fondu tend de plus

en plus à remplacer celle en fer obtenu par soudage. On considère comme grosses tôles celles qui ont une épaisseur supérieure à 5 millimètres et qu'on travaille au rouge pour leur faire subir des changements de forme, des pliages, etc.

Pour les grosses tôles en fer soudé on emploie des paquets formés de barres de fer brut disposées en lits alternatifs et dont les joints se croisent à angle droit ; on porte ces paquets au four à souder puis on les forge au marteau-pilon pour exprimer les scories et les transformer en un prisme rectangulaire appelé *lopin* ; ce lopin est chauffé à nouveau et passé au laminoir à tôles composé de deux cylindres dont le cylindre supérieur est équilibré ; le train comprend deux cylindres ébaucheurs et deux finisseurs.

Pour obtenir la longueur et la largeur voulues, on fait passer la pièce à laminer tantôt dans le sens de la longueur, tantôt dans l'autre sens ; de cette façon l'étirage se fait dans les deux sens et les fibres ne peuvent pas s'orienter toutes de la même façon ; il est pourtant vrai que c'est le dernier laminage qui détermine le sens définitif des fibres et que, dans ce sens, le métal a plus de résistance.

Après chaque passage on doit nettoyer la surface des feuilles des battitures qui les couvrent plus ou moins pour éviter qu'elles s'incrustent dans le métal et rendent la surface rugueuse.

Une fois le laminage fini on étend la feuille obtenue sur une plaque de dressage en fonte et on la frappe avec des maillets en bois pendant qu'elle est encore rouge.

On se sert également des trains trios et dans les grands ateliers on passe les lingots de métal fondu au blooming avant de les amener au laminoir à tôle ; les lingots sont alors très gros pour donner plusieurs feuilles. On découpe le bloom obtenu et on envoie les morceaux au train de tôlerie.

Pour fabriquer des tôles minces, des *largets* provenant de paquets de fer affiné au bois, de fer puddlé et même des loupes cinglées, les barres plates se débitent en tronçons de dimensions suffisantes pour que chacun d'eux puisse donner une feuille, chacun des tronçons porte le nom de *bidon* ; on chauffe les bidons dans des fours à souder, on les allonge jusqu'à ce que la longueur soit égale à la largeur de la tôle, puis on les lamine dans l'autre sens jusqu'à ce que la dimension voulue soit obtenue. Le cylindre supérieur du laminoir est toujours libre sans être commandé par un pignon. Les tôles minces sont recuites dans des fours à réverbère à autel très élevé et dans lesquels on entretient une flamme fumeuse, pour leur enlever la dureté qui résulte de l'écrouissage ; les tôles très minces sont recuites dans des caisses spéciales. Ce recuit leur donne une couleur noire.

Lorsqu'un laminoir à grosse tôle se trouve dans le voisinage d'un train à tôles minces, on peut utiliser à ce dernier les rebuts du premier après enlèvement des parties défectueuses.

On a imaginé un procédé de fabrication de la tôle mince à l'aide duquel on obtient aux laminoirs une seule longue feuille que l'on découpe quand elle est finie.

Pour cela on passe le lingot dans un train uni-

versel à trois cylindres horizontaux pour le réduire à un lopin de 50 millimètres d'épaisseur. Etant encore chaud, ce lopin est affranchi sur ses bords et passé au train Lauth pour être réduit à une épaisseur de 5 millimètres.

Quand il sort de ce train il est transporté par des rouleaux à une série de cinq paires de cylindres d'où il sort avec l'épaisseur de 1,5 à 2 millimètres et une longueur de 40 à 50 mètres.

On découpe ensuite cette longue feuille en parties de 15 à 17 mètres qu'on présente au laminoir finisseur pour l'amener à l'épaisseur voulue. Grâce à ce procédé on diminue la proportion des chutes, le déchet de feu et la consommation de combustible ; en revanche l'installation d'un pareil atelier est plus coûteuse.

FIN DU TOME SECOND

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME SECOND

Du travail du fer

Pages

CHAPITRE VIII. — *Réduction du minerai et production de la fonte* 1

I. Description d'un haut fourneau 2

Profils intérieurs de hauts fourneaux. Influence sur l'allure des appareils 2

Détermination pratique du profil d'un haut fourneau 13

Volume du haut fourneau 14

Relation entre le diamètre et la hauteur du haut fourneau 16

Diamètre du gueulard 17

Hauteur du ventre. Pente des étalages 17

Ouvrage. Son diamètre et sa hauteur. Diamètre au niveau des tuyères 17

Tuyères. Disposition de leurs ouvertures . . . 18

II. Construction des hauts fourneaux 22

Enveloppe en tôle des hauts fourneaux . . . 28

Construction des différentes parties d'un haut fourneau 34

Appareils réfrigérants 45

Tuyères 46

Trou de laitier 50

Trou de coulée 54

Tympe 56

Ouvrage. Etalage et cuve. 56
Sole. 62
Quantité d'eau à employer 63
Plate-forme du gueulard. 64

CHAPITRE IX. — *Appareils pour la prise et la conduite des gaz ; leur épuration et leur combustion* 67

I. Considérations générales 70
II. Exemples de prises de gaz 72
Trémie 72
Prise de gaz centrale. 73
Cup and cone 76
Prise de gaz Vonhoff. 80
Prise de gaz Langen. 83
Prise de gaz centrale et latérale. 86
III. Appareils de chargement. 87
IV. Tuyaux d'amenée des gaz. 88
V. Appareils d'épuration des gaz. 91
VI. Combustion des gaz 101

CHAPITRE X. — *Monte-charges* 106

I. Monte-charges mus par câbles 107
II. Monte-charges inclinés. 110
III. Transport par câbles aériens 112
IV. Monte-charges par balances d'eau. 114
V. Monte-charges hydrauliques 116
VI. Monte-charges pneumatiques 116

CHAPITRE XI. — *De la fusion au haut fourneau*. . 117

I. Travail pratique. Opérations préparatoires. . 117
Mise en feu. Séchage. Chauffage. Charges de minerais 117
Travaux de réparation à exécuter à l'intérieur des hauts fourneaux. 122
Arrêts momentanés et mise hors. 125

Service d'un haut fourneau en marche . . . 127
Coulée et enlèvement des laitiers 130
Phénomènes physiques et chimiques qui se produisent dans les hauts fourneaux . . . 136
Température des diverses régions d'un haut fourneau 144
Pression et volume d'air injecté dans le haut fourneau 146
De l'emploi de l'air chaud 149
II. Marche normale d'un haut fourneau 151
III. Produits obtenus par fusion 158
Conditions dans lesquelles on obtient les principales sortes de fonte 160
Fonte grise 160
Ferro-silicium. 161
Fonte blanche ordinaire et fonte rayonnée. . 163
Fonte spéculaire ou spiegeleisen 165
Ferro-manganèse 167
IV. Calcul du lit de fusion. 169
V. Résultats du travail des hauts fourneaux . . 169
VI. Quantité de fonte produite pendant un temps donné. 170
VII. Rapport entre la production et la capacité d'un haut fourneau. 173
VIII. Poids du lit de fusion par 1,000 kilogrammes de combustible 174
IX. Rendement du lit de fusion et des minerais . 174
X. Consommation de combustible par tonne de fonte 175
XI. Prix de revient de la fonte. 176
CHAPITRE XII. — *Produits accessoires des hauts fourneaux et leur emploi* 179
I. Du laitier. 179
II. Des gaz. 187

III. Des cadmies 189
IV. Du plomb 189
V. Des poussières 190
VI. Produits accidentels 190

CHAPITRE XIII. — *De la fonte et de ses propriétés*. 191

I. Propriétés des fontes 192
II. Fontes grises 194
Fontes grises ordinaires 197
III. Fontes noires 197
Fontes grises siliceuses 198
Fontes siliceuses ou ferro-siliciums proprement dits 198
Fontes gris clair 199
Fontes truitées 200
IV. Fontes blanches et ferro-manganésées 200
Fontes blanches ordinaires 201
Fontes blanches rayonnées 202
V. Fontes spéculaires ou spiegeleisen 202
VI. Ferro-manganèse 203

CHAPITRE XIV. — *Deuxième fusion et épuration de la fonte* 204

I. Epuration de la fonte 205
II. Elimination du silicium et du manganèse . . 206
III. Déphosphoration de la fonte 207
IV. Désulfuration des fontes 209

CHAPITRE XV. — *Fabrication du fer* 211

I. Influence du mode de fabrication 212
II. Fabrication du fer par soudage 214
Traitement direct des minerais 215
Fabrication directe au bas foyer ou foyer catalan 216

Traitement dans les fours à loupes ou stückofen 221
III. Méthode Chenot pour fabrication de l'éponge de fer par réduction du minerai sans fusion de scorie 224
IV. Fabrication directe du fer et de l'acier par soudage dans les fours à réverbère système Siemens. 227

CHAPITRE XVI. — *Affinage de la fonte*. 228

I. Généralités 228
II. Affinage dans les bas fourneaux ou bas foyers 231
Méthode comtoise 235
Méthode wallonne 241
Méthode mixte ou affinage champenois . . . 244
Affinage pour acier au bas foyer 246
III. Affinage à l'anglaise 247
De la finerie. 248
IV. Du puddlage ou affinage dans les fours à réverbère 259
Fours à puddler. 261
Description des fours à puddler simples . . . 262
Dimensions des fours simples. 271
Fours doubles 273
Four à puddler système Pietzka. 276
Four à puddler Siemens 279
V. Du travail de puddlage. 280
VI. Puddlage mécanique 292

CHAPITRE XVII. — *Fabrication du fer et de l'acier par fusion* 292

I. Fabrication de l'acier au creuset 293
II. Fours de fusion 298
III. Travail dans les fours à creusets 301
IV. Creusets. 313

Recuit des creusets 317
V. Fusion à air chaud et à haute pression . . . 319
Historique. 319
Fourneau à air chaud et à haute pression de M. H. Bessemer 320
Four à haute et basse pression de H. Bessemer. 336

CHAPITRE XVIII. — *Affinage par le vent, procédés Bessemer, acide et basique*. 345

I. Historique. 345
II. Description du convertisseur. 348
Marche de l'opération 363
Choix de la fonte pour le procédé acide . . . 366
Choix de la fonte pour le procédé basique ou Thomas. 367
Chauffage préalable du convertisseur 367
III. Affinage. 368
Caractères indiquant la fin de l'affinage . . . 372
Fin de l'opération du procédé basique. . . . 374
Allure froide et chaude d'un convertisseur. . 375
Allure froide 375
Allure trop chaude. 377
Composition des scories 377
Composition des gaz 379
Résultats de l'opération d'affinage. 383
Déchets de l'opération Bessemer. 383
Main-d'œuvre 383
IV. Petits convertisseurs. 385
Appareil Clapp et Griffith 387
Convertisseur Robert. 388
Procédé Walrand-Légénisel. 392
V. Fusion au four à réverbère procédé Martin. . 393
VI. Fours Martin 396
Fours fixes 396
Fours à sole mobile 410

Marche de l'opération 413
Disposition des ateliers Martin 421
Variantes du procédé Martin 423
VII. Procédé Bessemer-Martin. 424
VIII. Procédé Bertrand-Thiel. 425
IX. Procédé Talbot 427
Résultats et produits de la fabrication par le procédé Martin 428
Durée de l'opération 428
Produit obtenu au four Martin 430
Scories 431

CHAPITRE XIX. — *Coulée de l'acier*. 432
I. Coulée 432
Coulée directe 432
Coulée en poche 432
Poches de coulée. 433
Poche pour convertisseur Carpersson 435
Coulée à la descente et coulée en source . . . 436
II. Moules et lingotières. 438
Lingotières 439
Lingotières de M. Wilson. 443
III. Moyens d'obtenir des lingots et des pièces moulées sans soufflures. 448

CHAPITRE XX. — *Acier de cémentation* 458
I. Agents de cémentation. 459
II. Fours de cémentation 460
Fours allemands. 465
III. Autre mode de cémentation 466

CHAPITRE XXI. — *Appareils mécaniques destinés à améliorer le fer et l'acier et à leur donner une forme déterminée*. 471
I. Marteaux 472
Marteaux à manche 474

Marteaux-pilons 478
II. Presses 481
III. Laminoirs 482
Laminoir universel 489
Appareils de cinglage, moulins, presses . . . 491
CHAPITRE XXII. — *Elaboration du fer et de l'acier* 492
I. Corroyage 492
II. Fours à réchauffer 495
III. Fours à souder 499
IV. Puits Gjers 511
CHAPITRE XXIII. — *Machines servant à diviser les pièces de fer et d'acier* 514
I. Cisailles 514
Cisailles à mouvement alternatif 515
Cisailles à guillotine 517
II. Fenderies. Cisailles circulaires 520
III. Scies circulaires 522
CHAPITRE XXIV. — *Traitement du fer et de l'acier obtenus par soudage ou par fusion* 525
I. Trempe 525
II. Fabrication des gros fers 527
III. Fabrication des petits fers 529
IV. Tréfilage 530
V. Fabrication des fers pour constructions . . . 541
VI. Fabrication des fers creux 543
VII. Fabrication des rails 545
VIII. Fabrication des tôles noires 551

FIN DE LA TABLE DU TOME SECOND

BAR-SUR-SEINE. — IMPRIMERIE Vᵉ C. SAILLARD.

1er AOUT 1909

Ce Catalogue annule les précédents

CATALOGUE COMPLET

DE LA

LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE

RORET

L. MULO, SUCCr

12, rue Hautefeuille, 12

PARIS-VIe

NOUVELLE COLLECTION

DE

L'ENCYCLOPÉDIE-RORET

Format in-18 Jésus 19 × 12

COLLECTION DES MANUELS-RORET

OUVRAGES DIVERS

Sur l'Industrie et les Arts et Métiers

OUVRAGES HORTICOLES

JOURNAUX — SUITES A BUFFON

Divers. — Bibliothèque des Arts et Métiers

Dépôt des Ouvrages publiés par la Librairie FÉRET & FILS

DE BORDEAUX

Ce Catalogue est envoyé *franco* sur demande

ENCYCLOPÉDIE-RORET

COLLECTION

DES

MANUELS-RORET

FORMANT UNE

ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES ET DES ARTS

FORMAT IN-18

Par une réunion de Savants et d'Industriels

Tous les Traités se vendent séparément.

La plupart des volumes, de 300 à 400 pages, renferment des planches parfaitement dessinées et gravées, et des figures intercalées dans le texte.

Les Manuels épuisés sont revus avec soin et mis au niveau de la science à chaque édition. Aucun Manuel n'est cliché, afin de permettre d'y introduire les modifications et les additions indispensables. Cette mesure, qui oblige l'Editeur à renouveler les frais de composition typographique à chaque édition, doit empêcher le Public de comparer le prix des *Manuels-Roret* avec celui des ouvrages similaires, tirés sur clichés.

Pour recevoir chaque volume franc de port, on joindra, à la lettre de demande, un *mandat sur la poste* (de préférence aux timbres-poste). Afin d'éviter les écritures pour l'expéditeur et les frais de recouvrement pour le destinataire, **aucun envoi n'est fait contre remboursement par la Poste.**

Les volumes expédiés dans les pays qui ne font pas partie de l'Union des Postes, seront grevés des frais de poste établis d'après les tarifs de la poste française. Les demandes venant de l'**Etranger** devront contenir **25 centimes** en sus des prix portés au Catalogue, pour frais de recommandation à la Poste.

Les timbres étrangers ne pouvant être utilisés, nous prions nos Correspondants de ne pas nous en adresser.

Nouvelle Collection de l'Encyclopédie-Roret

Format in-18 Jésus 19 × 12

Les ouvrages précédés d'un astérisque (*) ont été honorés d'une souscription des Ministères du Commerce, de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, et de l'Agriculture.

Manuel de l'**Apiculteur Mobiliste**, nouvelles Causeries sur les Abeilles en 30 leçons, par l'abbé Duquesnois. 1 vol. in-18 jésus, orné de 20 fig. dans le texte. (*Médaille d'argent* à Bar-le-Duc.) 3 fr.

— de l'**Eleveur de Chèvres**, par H.-L.-Alph. Blanchon. 1 vol. in-18 jésus, orné de 12 figures dans le texte. 2 fr. 50

*— de l'**Eleveur de Faisans**, par H.-L.-Alph. Blanchon, 1 vol. in-18 jésus, orné de 31 figures dans le texte. 2 fr.

— de l'**Eleveur de Poules**, par H.-L.-Alph. Blanchon. Deuxième édition, revue, 1 vol. in-18 jésus, orné de 67 figures dans le texte. 3 fr.

— du **Pisciculteur**, par H.-L.-Alph. Blanchon, 1 vol. in-18 jésus, orné de 65 fig. dans le texte. 3 fr. 50

*— de l'**Eleveur de Pigeons, Pigeons voyageurs**, par H.-L.-Alp. Blanchon, 1 vol. in-18 jésus, orné de 44 fig. dans le texte. 3 fr.

*— de l'**Eleveur de Lapins**, par Willemin, 1 vol. in-18 jésus, orné de 24 figures dans le texte. 2 fr. 50

— **Cordon Bleu** (le), Nouvelle Cuisinière Bourgeoise, par Mlle Marguerite, 14e édition. 1 vol. in-18 jésus, orné de figures dans le texte. (*En préparation*).

— **Eléments Culinaires** (les) à l'usage des jeunes filles, par Auguste Colombié. 1 vol. in-18 jésus, cartonné. 3 fr.

— **Traité pratique de Cuisine bourgeoise**, par Auguste Colombié, 1 vol. in-18 jésus, cartonné. 4 fr.

— **100 Entremets**, par Auguste Colombié, 1 vol. in-18 jésus, cartonné. 2 fr.

*— de **Jardinage et d'Horticulture**, par Albert Maumené, avec la collaboration de Claude Trébignaud, arboriculteur. 1 vol. in-18 jésus, orné de 275 figures dans le texte, 900 pages. Broché, 6 fr. — Cartonné, 7 fr.

— de l'**Agriculteur**, par Louis Beuret et Raymond Brunet, 1 vol. in-18 jésus orné de 117 figures. 5 fr.

— **Artichaut et de l'Asperge** (de la Culture de l'), par R. Brunet, ingénieur agronome. 1 vol. orné de 13 fig. dans le texte. 2 fr.

— **Champignons et de la Truffe** (de la Culture des),

par R. Brunet, ingénieur agronome. 1 vol. orné de 15 figures dans le texte. 2 fr. 50

— **Châtaignier** (Culture, Exploitation et Utilisations), par H. Blin. 1 vol. in-18 jésus orné de 36 fig. 1 fr. 50

— **Fraisier** (de la Culture du), par R. Brunet, ingénieur agronome. 1 vol. orné de 28 fig. dans le texte. 2 fr.

— **Groseillier, du Cassissier et du Framboisier** (de la Culture du), par R. Brunet, ingénieur agronome. 1 vol. orné de 7 fig. dans le texte. 1 fr. 50

— **Melon, de la Citrouille et du Concombre** (de la Culture du), par R. Brunet, ingénr agronome. 1 vol. orné de 25 fig. dans le texte. 2 fr.

— **d'Ostréiculture et de Myticulture**, par A. Larbalétrier, 1 vol. orné de 22 fig. dans le texte. 2 fr. 50

— **Tabac** (Culture et Fabrication du), par R. Brunet, ingénr agronome. 1 vol. orné de 23 fig. dans le texte. 3 fr.

COLLECTION DES MANUELS-RORET

Manuel pour gouverner les Abeilles (Voir *Manuel de l'Apiculteur*, page 3).

— **Accordeur de Pianos**, traitant de la Facture des Pianos anciens et modernes et de la Réparation de leur mécanisme, contenant des Principes d'Acoustique, des Notions de Musique, les Partitions habituelles, la Théorie et la Pratique de l'Accord, à l'usage des Accordeurs et des Amateurs, par M. G. Huberson. 1 vol. orné de figures et de musique et accompagné de planches. 2 fr. 50

— **Aérostation**, ou Guide pour servir à l'histoire ainsi qu'à la pratique des *Ballons* (*En préparation*).

— **Agriculture Elémentaire** (Voir *Manuel de l'Agriculteur*, page 3).

— **Alcoométrie**, contenant la description des appareils et des méthodes alcoométriques, les Tables de Force de Mouillage des Alcools, le Remontage des Eaux-de-Vie, et des indications pour la vente des alcools au poids, par MM. F. Malepeyre et Aug. Petit. 1 vol. 1 fr. 75

— **Algèbre**, ou Exposition élémentaire des principes de cette science, par M. Terquem. (*Ouvrage approuvé par l'Université.*) 1 gros vol. (*En préparation*).

— **Alimentation**, par M. W. Maigne. 2 vol. 6 fr.

— *Première partie*, Substances alimentaires, leur origine, leur valeur nutritive, falsifications qu'on leur fait subir et moyens de les reconnaître. 1 vol. 3 fr.

— *Deuxième partie*, CONSERVES ALIMENTAIRES, contenant tous les procédés en usage pour conserver les Viandes, le Poisson, le Lait, les Œufs, les Grains, les Légumes verts et secs, les Fruits, les Boissons, etc., suivi du Bouchage des boîtes, des vases et des bouteilles. 1 vol. orné de fig. 3 fr.

— **Amidonnier** et **Fabricant de Pâtes alimentaires,** traitant de la Fabrication de l'Amidon et des Produits obtenus des Fruits et des Plantes qui renferment de la Fécule, par MM. MORIN, F. MALEPEYRE et Alb. LARBALÉTRIER. 1 vol. avec figures et planches. 3 fr.

— **Anatomie comparée,** par MM. de SIEBOLD et STANNIUS ; trad. de l'allemand par MM. SPRING et LACORDAIRE, professeurs à l'Université de Liège. 3 gros vol. 10 fr. 50

— **Aniline (Couleurs d'), d'Acide phénique et de Naphtaline,** par M. Th. CHATEAU. (*En préparation.*)

— **Animaux nuisibles** (Destructeur des).

1re *partie*, Animaux nuisibles aux Habitations, à l'Agriculture, au Jardinage, etc., par VÉRARDI (*En préparation*).

2e *partie*, Insectes nuisibles aux Arbres forestiers et fruitiers, à l'usage des Forestiers, des Jardiniers et des Propriétaires, par MM. RATZEBURG, DE CORBERON et BOISDUVAL. 1 vol. orné de 8 planches. (*En préparation.*)

— **Archéologie** grecque, étrusque, romaine, égyptienne, indienne, etc., traduit de l'allemand de M. O. MULLER par M. NICARD. 3 vol. avec Atlas. Les 3 vol. 10 fr. 50. L'Atlas séparé : 12 fr. Les 3 volumes et l'Atlas : 22 fr. 50

— **Architecte des Jardins,** ou l'Art de les composer et de les décorer, par M. BOITARD. 1 vol. avec Atlas de 140 planches (*En préparation*).

— **Architecte des Monuments religieux,** ou Traité d'Archéologie pratique, applicable à la restauration et à la construction des Eglises, par M. SCHMIT. (*En prépar.*).

— **Arithmétique démontrée,** par MM. COLLIN et TRÉMERY. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Arithmétique complémentaire,** ou Recueil de Problèmes nouveaux, par M. TRÉMERY. 1 vol. 1 fr. 75

— **Armurier,** Fourbisseur et Arquebusier, traitant de la fabrication des Armes à feu et des Armes blanches, par M. PAULIN DÉSORMEAUX. 2 vol. avec planches. (*En prépar.*)

— **Arpentage,** Art de lever les plans, par P. BOURGOIN, géomètre topographe. 1 vol avec 255 fig. 3 fr. 50

On vend séparément les MODÈLES DE TOPOGRAPHIE, par CHARTIER. 1 planche coloriée. 1 fr.

— **Art militaire,** ou Instructions pratiques à l'usage

de toutes les armes de terre, par M. VERGNAUD, colonel d'artillerie, 1 volume avec figures. (*En préparation.*)

— **Artificier** (PYROTECHNIE CIVILE), contenant l'Art de confectionner et de tirer les feux d'artifice, par A.-D. VERGNAUD, colonel d'artillerie et P. VERGNAUD, lieutenant-colonel. 1 vol. orné de fig. Nouvelle Edition, refondue, par Georges PETIT, ingénieur civil. 3 fr.

— **Aspirants** aux fonctions de Notaires, Greffiers, Avocats à la Cour de Cassation, Avoués, Huissiers, et Commissaires-Priseurs, par M. COMBES. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Assolements, Jachère et Succession des Cultures** (Voir *Manuel de l'Agriculteur*, page 3).

— **Astronomie**, ou Traité élémentaire de cette science, trad. de l'anglais de W. HERSCHEL, par M. A.-D. VERGNAUD. 1 vol. orné de planches. (*En préparation.*)

— **Astronomie amusante**, Notions élémentaires sur l'Astronomie, par M. L. TOMLINSON, traduit de l'anglais par A. D. VERGNAUD. 1 vol. avec figures. (*En prép.*)

— **Automobiles** (De la construction et du montage des), contenant l'historique, l'étude détaillée des pièces constituant les automobiles, la construction des voitures à pétrole, à vapeur et électriques, les renseignements sur leur montage et leur conduite, par N. CHRYSSOCHOIDES, ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à la Fédération générale française des Chauffeurs, Mécaniciens, Electriciens. 2 vol. ornés de 340 figures dans le texte. 8 fr.

— **Bibliographie universelle**, par MM. F. DENIS, P. PINCON et DE MARTONNE. (*En préparation.*)

— **Bibliothéconomie**, Arrangement, Conservation et Administration des Bibliothèques, par L.-A. CONSTANTIN. 1 vol. orné de figures. (*En préparation.*)

— **Bijoutier-Joaillier** et Sertisseur, traitant des Pierres précieuses, de la Nacre, des Perles, du Corail et du Jais, contenant l'Art de les tailler, de les sertir, de les monter, de les imiter, suivi de la description des principaux Ordres et la fabrication de leurs décorations, par MM. JULIA DE FONTENELLE, F. MALEPEYRE et A. ROMAIN. 1 vol. accompagné de planches. 3 fr.

— **Bijoutier-Orfèvre**, traitant des Métaux précieux, de leurs Alliages, des divers modes d'Essai et d'Affinage, du Titre et des Poinçons de garantie de l'Or et de l'Argent, des divers travaux d'Orfèvrerie en or, en argent et en plaqué, du Niellage et de l'Emaillage des Métaux précieux, de la Bijouterie en vrai et en faux, de la fabrication des bijoux de fantaisie, en fer, en acier, en aluminium, etc., par J. DE FONTENELLE, F. MALE-

PEYRE et A. ROMAIN. 2 vol. avec fig. et planches. 6 fr.

— **Biographie,** ou Dictionnaire historique abrégé des grands hommes, par M. NOEL, ancien inspecteur-général des études. 2 volumes. 6 fr.

— **Blanchiment et Blanchissage,** Nettoyage et Dégraissage des fils de lin, coton, laine, soie, etc., par G. PETIT, ing. civ. 2 vol. ornés de 112 fig. dans le texte. 7 fr.

— **Bonnetier et Fabricant de bas,** renfermant les procédés à suivre pour exécuter, sur le métier et à l'aiguille les divers tissus à maille, par MM. LEBLANC et PREAUX-CALTOT. 1 vol. avec planches *(En préparation)*.

— **Botanique,** Partie élémentaire, par M. BOITARD. 1 vol avec planches. 3 fr. 50

ATLAS DE BOTANIQUE pour la partie élémentaire. 1 vol. in-8 renfermant 36 planches. 6 fr.

— **Bottier et Cordonnier** *(En préparation)*.

— **Boucher,** voyez *Charcutier*.

TABLEAU FIGURATIF DES DIVERSES QUALITÉS DE LA VIANDE DE BOUCHERIE, in-plano colorié. 1 fr.

— **Bougies stéariques et Bougies de paraffine,** traitant de la fabrication des Acides gras concrets, de l'Acide oléique, de la Glycérine, etc., par M. F. MALEPEYRE. Nouv. éd. rev. et corrig. par G. PETIT, ing. civil. 2 vol. ornés de 179 figures dans le texte. 8 fr.

— **Boulanger,** ou Traité pratique de la Panification française et étrangère, contenant la connaissance des farines, les moyens de reconnaître leur mélange et leur altération, les principes de la Boulangerie, la construction des pétrins et des fours, la fabrication de toute espèce de pains et de biscuits, par J. FONTENELLE et F. MALEPEYRE. Nouvelle édition entièrement refondue et mise au courant de l'état actuel de cette industrie, par SCHIELD-TREHERNE. 1 vol. orné de 97 figures dans le texte 4 fr.

— **Bourrelier-Sellier-Harnacheur,** contenant la description de tout l'outillage moderne. Les renseignements sur les marchandises à employer. Fabrication du harnais, équipement, sellerie, garniture de voitures. Recettes diverses. Vocabulaire des termes en usage dans cette profession, par L. JAILLANT. 1 vol. orné de 126 fig. dans le texte. 3 fr.

— **Bourse et ses Spéculations** mises à la portée de tout le monde, par BOYARD. 1 vol. *(En préparation)*.

— **Bouvier.** *(En préparation.)*

— **Brasseur,** ou l'Art de faire toutes sortes de Bières françaises et étrangères, par F. MALEPEYRE. Nouvelle édi-

tion, entièrement revue et complétée par SCHIELD-TREHERNE, 2 gros vol. accompagnés d'un Atlas de 14 pl. 8 fr.

— **Briquetier, Tuilier,** Fabricant de Carreaux, de tuyaux de Drainage et de Creusets réfractaires, contenant la fabrication de ces matériaux à la main et à la mécanique, et la description des fours et appareils actuellement usités dans ces industries, par F. MALEPEYRE et A. ROMAIN. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée, par G. PETIT, ingénieur civil. 2 vol. ornés de 351 fig. dans le texte. 7 fr.

— **Briquets, Allumettes chimiques,** soufrées, phosphorées, amorphes, etc., *Briquets électriques*, *Lumière électrique* et appareils qui la produisent, par MM. MAIGNE et A. BRANDELY. Edition entièrement refondue par Georges PETIT, ingénieur civil. 1 vol. orné de 67 figures. 3 fr.

— **Broderie,** ou Traité complet de cet Art, par Mme CELNART. 1 vol. accompagné d'un Atlas de 40 planches. (*En préparation.*)

— **Bronzage des Métaux et du Plâtre,** par DEBONLIEZ, MALEPEYRE, et LACOMBE. 1 vol. 1 fr. 25

— **Cadres** (Fabricant de), Passe-Partout, Châssis, Encadrements, suivi de la restauration des tableaux et du nettoyage des gravures, estampes, etc., par J. SAULO et DE SAINT-VICTOR. Edition entièrement refondue, par E.-E. STAHL. 1 vol. orné de 27 illustrations. 2 fr.

— **Calculateur,** ou COMPTES-FAITS utiles aux opérations industrielles, aux comptes d'inventaire, etc., par M. Aug. TERRIÈRE. 1 gros vol. 3 fr. 50

— **Calendrier** (Théorie du). (*En préparation.*)

— **Calligraphie,** ou l'Art d'écrire en peu de leçons, d'après la méthode de CARSTAIRS. 1 Atlas in-8 obl. 1 fr.

— **Canotier,** ou Traité universel et raisonné de cet Art, par UN LOUP D'EAU DOUCE. 1 vol. orné de fig. 1 fr. 75

— **Caoutchouc, Gutta-percha, Gomme factice,** Tissus imperméables, Toiles cirées et gommées, par M. MAIGNE. Nouvelle édition, revue et augmentée, par G. PETIT, ingénieur civil. 2 vol. ornés de 96 fig. dans le texte. 6 fr.

— **Capitaliste,** contenant la pratique de l'escompte et des comptes-courants, d'après la méthode nouvelle, par M. TERRIÈRE, employé à la trésorerie générale de la couronne. 1 gros vol. 3 fr. 50.

— **Cartes Géographiques** (Construction et Dessin des), par PERROT. Nouvelle édition par BOURGOIN. 1 vol. orné de 148 figures. 2 fr. 50

— **Cartonnier,** Fabricant de Carton, de Carte, de

Cartonnages et de Cartes à jouer, par Georges PETIT, ingénieur civil. 1 vol. orné de 95 fig. dans le texte. 4 fr.

— **Chamoiseur, Maroquinier, Mégissier, Teinturier en peaux, Fabricant de Cuirs vernis, Parcheminier et Gantier,** traitant de l'outillage à la main, des machines nouvelles, et des procédés les plus récents en usage dans ces diverses industries, par MM. JULIA DE FONTENELLE, MAIGNE et VILLON. 1 vol. avec fig. 3 fr. 50

— **Chandelier et Cirier,** contenant toutes les opérations usitées dans ces industries. Nouvelle édition par Georges PETIT, ingénieur civil. 1 vol. orné de 85 figures dans le texte. 4 fr.

— **Chapeaux** (Fabricant de) en tous genres, par MM. CLUZ, F. et JULIA DE FONTENELLE. 1 vol. (*En préparation*).

— **Charcutier, Boucher et Equarrisseur,** contenant l'élevage et l'engraissement du Porc et de la Truie, l'Art de préparer et de conserver les différentes parties du Cochon, les maniements et le Dépeçage du Bœuf, de la Vache, du Taureau, du Veau, du Mouton et du Cheval, et traitant de l'utilisation des débris, par MM. LEBRUN et MAIGNE. 1 vol. avec figures et planches. 2 fr. 50

On vend séparément :

TABLEAU DES QUALITÉS DE VIANDE, in plano col. 1 fr.

— **Charpentier,** ou Traité complet et simplifié de cet Art, traitant de la Charpente en bois et en fer et de la Manipulation des diverses pièces de Charpente, par HANUS, BISTON, BOUTEREAU et GAUCHÉ. Nouvelle édition refondue, corrigée et augmentée de la *Série des Prix*, par N. CHRYSSOCHOÏDÈS. 2 vol. ornés de 94 fig. dans le texte et accompagnés d'un Atlas de 22 planches. 8 fr.

— **Charron-Forgeron,** traitant de l'Atelier, de l'Outillage, des Matériaux mis en œuvre par le Charron, du Travail de la forge, de la Construction du gros et du petit matériel, etc., par M. G. MARIN-DARBEL. 1 vol. orné de nombreuses figures et accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Chasseur,** ou Traité général de toutes les chasses à courre et à tir, suivi d'un Vocabulaire des termes de Chasse et de la Législation, par MM. DE MERSAN, BOYARD et ROBERT. 1 vol. contenant la musique des principales fanfares. 3 fr.

— **Chaudronnier,** contenant l'Art de travailler au marteau le cuivre, la tôle et le fer-blanc, ainsi que les travaux d'Estampage et d'Etampage, par MM. JULLIEN, VALÉRIO et CASALONGA, ingénieurs civils. Nouvelle édition entièrement refondue et augmentée du *Tracé en chaudronnerie*, par Georges PETIT, ingén. civil. 1 vol. orné de

86 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas de 20 pl. 5 fr.

— **Chauffage et Ventilation** des Bâtiments publics et privés, au moyen de l'air chaud, de l'eau chaude et de la vapeur, Chauffage des Bains, des Serres, des Vins, et des Vagons de chemins de fer, par M. A. Romain. 1 vol. accompagné de planches et orné de figures. 3 fr.

— **Chaufournier, Plâtrier, Carrier et Bitumier**, contenant l'exploitation des Carrières et la fabrication du Plâtre, des différentes Chaux, des Ciments, Mortiers, Bétons, Bitumes, Asphaltes, etc., par MM. D. Magnier et A. Romain. Nouvelle édition. 1 vol. accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Chemins de Fer**, contenant des études comparatives sur les divers systèmes de la voie et du matériel, le Formulaire des charges et conditions pour l'établissement des travaux, etc., par M. E. With. 2 vol. avec atlas 7 fr.

— **Cheval (Education et dressage du)** monté et attelé, traitant de son hygiène et des remèdes qui lui conviennent, par M. de Montigny. 1 vol. avec planches. 3 fr.

— **Chimie Agricole**, par MM. Davy et Vergnaud. 1 vol. orné de figures. 3 fr. 50

— **Chimie analytique** (*En préparation*).

— **Chimie appliquée**, voyez *Produits chimiques*.

— **Chocolatier**, voyez *Confiseur et Chocolatier*.

— **Cidre et Poiré** (Fabricant de), traitant de la Culture et de la Greffe des meilleures variétés de fruits propres à faire le Cidre et le Poiré, ainsi que des Méthodes nouvelles et des Appareils perfectionnés employés dans cette industrie, par MM. Dubief, F. Malkpeyre et le Comte de Valicourt. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Cirage**, voyez *Encres*.

— **Ciseleur**, contenant la description des procédés de l'Art de ciseler et repousser tous les métaux ductiles, bijouterie, orfèvrerie, armures, bronzes, etc., par M. Jean Garnier, ciseleur-sculpteur. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée, par C. Chouartz, ciseleur. 1 vol. orné de 60 figures dans le texte. 3 fr.

— **Clichage** en matière et galvanique, voyez *Graveur*.

— **Coiffeur**, par M. Villaret. 1 vol. orné de figures. (*En préparation*).

— **Colles** (Fabrication de toutes sortes de), comprenant celles de matières végétales, animales et composées, par Malkpeyre. Nouvelle édition entièrement refondue par H. Bertran, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 114 figures dans le texte. 3 fr.

— **Coloriste**, contenant le mélange et l'emploi des Couleurs, ainsi que l'Enluminure, le Lavis, le coloriage à la main et au patron, etc., par MM. PERROT, BLANCHARD, THILLAYE et VERGNAUD. (*En préparation.*)

— **Commerce, Banque et Change**, contenant tout ce qui est relatif aux effets de Commerce, à la tenue des livres, à la comptabilité, à la bourse, aux emprunts, etc., par M. GALLAS, suivi de la MÉTHODE NOUVELLE POUR LE CALCUL DES INTÉRÊTS A TOUS LES TAUX (*En préparation*).

— **Compagnie** (Bonne), ou Guide de la Politesse et de la Bienséance, par madame CELNART (*En préparation*).

— **Comptes-Faits**, voyez *Calculateur*, *Capitaliste*, *Poids et Mesures* (*Barème des*).

— **Confiseur et Chocolatier**, contenant les derniers perfectionnements apportés à ces Arts, par MM. CARDELLI et LIONNET-CLÉMANDOT. Nouvelle édition complètement refondue par M. A. M. VILLON, ingénieur-chimiste. 1 vol. avec nombreuses illustrations. 4 fr.

— **Conserves alimentaires**, voyez *Alimentation*.

— **Construction moderne** (La), ou Traité de l'Art de bâtir avec solidité, économie et durée, comprenant la Construction, l'histoire de l'Architecture et l'Ornementation des édifices, par BATAILLE, architecte, anc. professeur. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée par N. CHRYSSOCHOÏDÈS. 1 vol. orné de 224 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas grand in-8° de 44 planches 15 fr.

— **Constructions agricoles**, traitant des matériaux et de leur emploi dans les Constructions destinées au logement des Cultivateurs, des Animaux et des Produits agricoles dans les petites, les moyennes et les grandes exploitations, par M. G. HEUZÉ, inspecteur de l'agriculture. 1 vol. accompagné d'un Atlas de 16 pl. grand in-8°. 7 fr.

— **Contre-Poisons**, ou Traitement des individus empoisonnés, asphyxiés, noyés ou mordus, par M. le Docteur H. CHAUSSIER. 1 vol. (*En préparation*).

— **Contributions Directes**, Guide des Contribuables, par M. BOYARD. (*En préparation.*)

— **Cordier**, contenant la culture des Plantes textiles, l'extraction de la Filasse, et la fabrication de toutes sortes de cordes, par G. LAURENT. 1 vol. orné de fig. (*En préparation*).

— **Correspondance Commerciale**, contenant les Termes de commerce, les Modèles et Formules épistolaires, et de comptabilité, etc., par MM. REES-LESTIENNE et TRÉMERY. (*En préparation.*)

— **Corroyeur**, voyez *Tanneur*.

— **Couleurs** (Fabricant de) à l'huile et à l'eau, Laques, Couleurs hygiéniques, Couleurs fines, etc., par MM. RIFFAULT, VERGNAUD, TOUSSAINT et MALEPEYRE. 2 volumes accompagnés de planches. 7 fr.

— **Coupe des Pierres,** contenant des notions de Géométrie élémentaire et descriptive, ainsi que l'art du Trait appliqué à la Stéréotomie, par MM. TOUSSAINT et H. M.-M., architectes. Nouvelle édition, augmentée d'un Appendice sur le transport et le travail de la pierre, par FROMHOLT. 1 vol. avec Atlas. 5 fr.

— **Coutelier**, ou l'Art de faire tous les Ouvrages de Coutellerie, par LANDRIN, ingr civil. (*En préparation*).

— **Couvreur**, voyez *Plombier*.

— **Crustacés** (Hist. natur. des), par MM. BOSC et DESMAREST, etc. 2 vol. ornés de planches. 6 fr.

— **Cubage des Bois** en grume ou écorcés au 1/4 et au 1/5 réduits, de 1m à 10m90 de longueur inclus, et de 0m40 à 4m de circonférence inclus ; donnant tous les cubes par fraction de 0m10 en 0m10 pour la longueur et de 0m05 en 0m05 pour la circonférence, et permettant d'obtenir les cubes de toutes longueurs, par G HAUDEBERT, ancien marchand de bois à Vendôme. 1 vol. 1 fr. 25

— **Cuisinier et Cuisinière.** (*En préparation.*)

— **Cultivateur Forestier,** contenant l'Art de cultiver en forêts tous les Arbres indigènes et exotiques, par M. BOITARD. 2 vol. (*En préparation.*)

— **Cultivateur Français,** ou l'Art de bien cultiver les Terres et d'en retirer un grand profit, par M. THIÉBAUT DE BERNEAUD. 2 vol. ornés de figures. 5 fr.

— **Dames,** ou l'Art de l'Elégance, traitant des Objets de toilette, d'ameublement et de voyage qui conviennent aux Dames, par madame CELNART. 1 vol. 3 fr.

— **Danse,** ou Traité théorique et pratique de cet Art, contenant toutes les *Danses de Société* et la Théorie de la Danse théâtrale, par BLASIS et LEMAITRE. 1 vol. 1 fr. 25

— **Décorateur-Ornementiste.** (*En préparation.*)

— **Dessin Linéaire**, par M. ALLAIN, entrepreneur de travaux publics. 1 vol. avec Atlas de 20 planches. 5 fr.

— **Dessinateur,** ou Traité complet du Dessin, par M. BOUTEREAU, professeur. 1 volume accompagné d'un Atlas de 20 planches, dont quelques-unes coloriées. 5 fr.

— **Distillateur-Liquoriste,** contenant les Formules des Liqueurs les plus répandues, les parfums, substances colorantes, etc., par MM. LEBEAUD, JULIA DE FONTENELLE et MALEPEYRE. 1 gros volume. 3 fr. 50

— **Distillation de la Betterave, de la Pomme de terre**, du Topinambour et des racines féculentes, telles que la carotte, le rutabaga, l'asphodèle, etc., par HOURIER et MALEPEYRE. Nouvelle édition entièrement refondue par LARBALÉTRIER. 1 vol. accomp. de 3 pl. gravées sur acier. 3 fr.

— **Distillation des Grains et des Mélasses**, par MM. F. MALEPEYRE et ALB. LARBALÉTRIER. 1 vol accompagné d'un Atlas de 9 planches in-8°. 5 fr.

— **Distillation des Vins**, des Marcs, des Moûts, des Fruits, des Cidres, etc., par M. F. MALEPEYRE. Nouvelle édition revue, corrigée et considérablement augmentée par M. RAYMOND BRUNET, ingénieur-agronome. 1 vol. 3 fr.

— **Domestiques**, ou Art de former de bons serviteurs, par Mme CELNART. 1 vol. *(En préparation.)*

— **Dorure, Argenture, Nickelage, Platinage sur Métaux**, au feu, au trempé, à la feuille, au pinceau, au pouce et par la méthode électro-métallurgique, traitant de l'application a l'Horlogerie de la dorure et de l'argenture galvaniques, et de la coloration des Métaux par les oxydes métalliques et l'Electricité, par MM. MATHEY, MAIGNE, A. VILLON et Georges PETIT, ingénieur civil. 1 vol. orné de 36 figures dans le texte. 3 fr. 50

— **Dorure sur bois** à l'eau et à la mixtion, par les procédés anciens et nouveaux, traitant des Peintures laquées sur Meubles et sur Sièges, par M. SAULO. 1 vol. 1 fr. 50

— **Drainage simplifié**. (Voir *Agriculture*, p. 3.)

— **Eaux et Boissons Gazeuses**, ou Description des méthodes et des appareils les plus usités dans cette industrie, le bouchage des bouteilles et des siphons, la Gazéification des Vins, Bières et Cidres, etc. Nouv. édit. augmentée des Boissons angl. et améric., par L. GASQUET, Ingénieur des Arts et Manufactures, et JARRE, Ingénieur. 1 vol. orné de 140 fig. dans le texte. 4 fr.

— **Eaux-de-Vie (Négociant en)**, Liquoriste, Marchand de Vins et Distillateur, par MM. RAVON et MALEPEYRE. Nouvelle édition revue, corrigée et augmentée par RAYMOND BRUNET, ingénieur-agronome, 1 vol. 1 fr.

— **Ebéniste et Tabletier**, traitant des Bois, de leur Teinture et de leur Apprêt, de l'Outillage, du Débitage des bois de placage, de la fabrication et de la réparation des Meubles de tout genre et du travail de la Tabletterie, par MM. NOSBAN et MAIGNE. 1 vol orné de figures et accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Electricité atmosphérique** (voir *Electricité*).

— **Electricité médicale,** ou Eléments d'Electro-Biologie, suivi d'un Traité sur la Vision, par M. Smee, traduit par M. Magnier. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Electricité,** contenant théorie, pratique et applications diverses, par G. Petit, Ingénieur civil, 2 vol. ornés de 285 figures dans le texte. 8 fr.

— **Encres (Fabricant d')** de toute sorte, telles que Encres d'écriture, Encres à copier, Encres d'impression typographique, lithographique et de taille douce, Encres de couleurs, Encres sympathiques, etc., suivi de la *Fabrication des Cirages* et de l'*Imperméabilisation des Chaussures*, par MM. de Champour, F. Malepeyre et A. Villon. 1 v. 3 fr. 50

— **Engrais** (Fabrication et application des) animaux, végétaux et minéraux et des Engrais chimiques, ou Traité théorique et pratique de la nutrition des plantes, par MM. Eug. et Henri Landrin et M. Alb. Larbalétrier. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Entomologie élémentaire,** ou Entretiens sur les Insectes en général, mis à la portée de la jeunesse, par M. Boyer de Fonscolombe. 1 gros vol. 3 fr.

— **Epistolaire (Style),** Choix de lettres puisées dans nos meilleurs auteurs et Instructions sur le style, par Biscarrat et la comtesse d'Hautpoul (*En préparation*).

— **Equarrisseur,** voyez *Charcutier*.

— **Equitation,** traitant du manège civil, du manège militaire, de l'Equitation des Dames, etc., par MM. Vergnaud et d'Attanoux. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Escaliers en Bois** (Construction des), traitant de la manipulation et du posage des Escaliers à une ou plusieurs rampes, de tous les modèles et s'adaptant à toutes les constructions, par M. Boutereau. 1 vol. et Atlas grand in-8° de 20 planches gravées sur acier. 5 fr.

— **Escrime,** ou Traité de l'Art de faire des armes, par M. Lafaugère. 1 vol. orné de figures. 2 fr. 50

— **Etat Civil** (Officier de l'), traitant de la Tenue des Registres et de la Rédaction des Actes, par M. Lemolt. 1 vol. 2 fr. 50

— **Etoffes imprimées et Papiers peints** (Fabricant d'). (*En préparation.*)

— **Falsifications des Drogues** simples ou composées, moyens de les reconnaître, par M. Pédroni, chimiste. 1 vol. avec planche. (*En préparation.*)

— **Ferblantier-Lampiste,** ou Art de confectionner tous les Ustensiles en fer-blanc, de les souder, de les ré-

parer, etc., suivi de la fabrication des Lampes et des Appareils d'éclairage, par MM. Lebrun, Malepeyre et A. Romain. 1 vol. orné de fig. et accompagné de planches. 3 f. 50

— **Fermier.** — Voir *Agriculteur*, page 3.

— **Filature du Coton,** contenant la description des Métiers à filer le coton, diverses formules pour apprécier la résistance des Appareils mécaniques, et un Traité des engrenages, par M. Drapier. (*En préparation.*)

— **Fleuriste artificiel et Feuillagiste,** ou l'Art d'imiter toute espèce de Fleurs, de Feuillage et de Fruits. 1 vol. orné de 50 figures. 3 fr.

On peut se procurer des *modèles coloriés*, dessinés d'après nature, par Redouté. La planche : 1 fr.

— **Fondeur,** traitant de la Fonderie du fer, de l'acier, du cuivre, du bronze et du laiton, de la fonte des statues, des cloches, etc., par MM. A. Gillot et L. Lockert, ingénieurs. Nouvelle édition revue, corrigée et augmentée par N. Chryssochoïdès, ingénieur des Arts et Manufactures. 2 vol. ornés de 253 figures dans le texte. 8 fr.

— **Fontainier,** voy. *Mécanicien-Fontainier, Sondeur.*

— **Forestier praticien** (le) et Guide des Gardes Champêtres (Voir *Cultivateur forestier, Gardes champêtres*).

— **Forgeron, Maréchal, Taillandier,** voyez *Charron, Machines-Outils, Serrurier.*

— **Forges** (Maître de), ou Traité théorique et pratique de l'Art de travailler le fer, la fonte et l'acier, par M. Landrin. *(En préparation).*

— **Galvanoplastie,** ou Traité complet des Manipulations électro-métallurgiques, contenant tous les procédés les plus récents et les plus usités, par M. A. Brandely. Nouvelle édition revue et corrigée par G. Petit, ingén. civil. 2 vol. ornés de 81 figures. 7 fr.

— **Gants** (Fabricant de), voyez *Chamoiseur.*

— **Gardes Champêtres, Gardes Forestiers, Gardes-Pêche, et Gardes-Chasse,** par M. Boyard, ancien président à la Cour d'Orléans, M. Vasserot, ancien sous-préfet, M. V. Emion et M. L. Crevat, juges de paix, 1 vol. 2 fr. 50

— **Gardes-Malades,** et personnes qui veulent se soigner elles-mêmes, par M. le docteur Morin. 1 vol. 2 fr. 50

— **Gaz** (Appareilleur à), voyez *Plombier.*

— **Gaz** (Eclairage et Chauffage au), ou Traité élémentaire et pratique destiné aux Ingénieurs, aux Directeurs et aux Contre-Maîtres d'Usines à Gaz, mis à la portée de

tout le monde, suivi d'un *Aide-Mémoire de l'Ingénieur-Gazier*, par M. D. MAGNIER, ingénieur-gazier. Nouvelle édition corrigée, augmentée et entièrement refondue, par E. BANCELIN, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ancien sous-régisseur d'usine de la Cie Parisienne du Gaz. 2 vol. ornés de 322 figures dans le texte. 8 fr.

On a extrait de ce Manuel l'ouvrage suivant :

AIDE-MÉMOIRE DE L'INGÉNIEUR-GAZIER, contenant les Notions et les Formules nécessaires aux personnes qui s'occupent de la Fabrication et de l'Emploi du Gaz. Br. in-18. 75 c.

— **Géographie de la France,** divisée par bassins, par M. LORIOL (*Autorisé par l'Université*). 1 vol. 2 fr. 50

— **Géographie physique,** ou Introduction à l'étude de la Géologie, par M. HUOT. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Géologie,** ou Traité élémentaire de cette science, par MM. HUOT et D'ORBIGNY. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Gourmands,** ou l'Art de faire les honneurs de sa table, par CARDELLI. (*En préparation.*)

— **Graveur,** ou Traité complet de la Gravure en creux et en relief, Eau-forte, Taille douce, Héliogravure, Gravure sur bois et sur métal, Photogravure, Similigravure, Procédés divers, Clichage des gravures en plomb et en galvanoplastie, Fabrication des Cartes à jouer, Gravure de la musique, etc., par M. VILLON. 2 volumes ornés de figures. 6 fr.

— **Greffes** (Monographie des), ou Description des diverses sortes de Greffes employées pour la multiplication des végétaux. (*En préparation.*) — Voir *Jardinage*, page 3.

— **Gymnastique,** par M. le colonel AMOROS. (*Ouvrage couronné par l'Institut, admis par l'Université, etc.*) 2 vol. et Atlas. 10 fr. 50

— **Habitants de la Campagne** (Voir *Agriculteur*, page 3).

— **Histoire naturelle médicale et de Pharmacographie,** ou Tableau des Produits que la Médecine et les Arts empruntent à l'Histoire naturelle, par M. LESSON, ancien pharmacien de la marine à Rochefort. 2 volumes. 5 fr.

— **Horloger,** comprenant la Construction détaillée de l'Horlogerie ordinaire et de précision, et, en général, de toutes les machines propres à mesurer le temps ; par LENORMAND, JANVIER et MAGNIER, revu par L. S.-T. Nouvelle édition entièrement refondue et augmentée de l'Horlogerie Electrique, l'Horlogerie Pneumatique et la Boîte à

Musique, par E. STAHL. 2 vol. accompagnés d'un Atlas de 15 planches. 7 fr.

— **Horloger-Rhabilleur,** traitant du rhabillage et du réglage des Montres et des Pendules, augmenté de : **Corrélation du Pendule au rochet** avec le levier de la Force motrice. Etude mécanique appliquée à l'Horlogerie, par M. J.-E. PERSEGOL. 1 vol. orné de 59 figures. 2 fr. 50

On vend séparément :

CORRÉLATION DU PENDULE AU ROCHET. 50 c.

— **Huiles minérales,** leur Fabrication et leur Emploi à l'Eclairage et au Chauffage, par D. MAGNIER, ingénieur. Nouvelle édition par N. CHRYSSOCHOÏDÈS. 1 vol. orné de 70 figures. 4 fr.

— **Huiles végétales et animales** (Fabricant et Epurateur d'), comprenant la Fabrication des Huiles et les méthodes les plus usuelles de les essayer et de reconnaître leur sophistication, par J. DE FONTENELLE, F. MALEPEYRE et AD. DALICAN. Nouvelle édition revue, corrigée et augmentée par N. CHRYSSOCHOÏDÈS, ingénieur des arts et manufactures. 2 vol. ornés de 190 fig. dans le texte. 7 fr.

— **Hydroscope,** voyez *Sondeur.*

— **Hygiène,** ou l'Art de conserver sa santé, par le docteur MORIN. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Indiennes** (Fabricant d'), renfermant les Impressions des Laines, des Châles et des Soies, par MM. THILLAYE et VERGNAUD. 1 vol. accompagné de planches. (*En préparation*).

— **Instruments de Chirurgie** (Fabricant d'), par M. H.-C. LANDRIN. (*En préparation.*)

— **Irrigations et assainissement des Terres,** ou Traité de l'emploi des Eaux en agriculture, par M. le Marquis DE PARETO, 3 vol. accompagnés de deux Atlas composés de 40 planches in-folio et de tableaux. 18 fr.

— **Jeunes gens,** ou Sciences, Arts et Récréations qui leur conviennent, par M. VERGNAUD. (*En préparation.*)

— **Jeux d'Adresse et d'Agilité,** contenant les Jeux et les Récréations d'intérieur et en plein air, à l'usage des enfants, des jeunes gens et des jeunes filles de tout âge, et des grandes personnes, par DUMONT. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Jeux de Calcul et de Hasard.** (*En prép.*)

— **Jeux de Cartes,** tels que l'Ecarté, le Piquet, le Whist, la Bouillotte, le Bésigue, le Trente et un, le Baccarat, le Lansquenet, etc. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Jeux de Société,** renfermant les Rondes enfantines, les Jeux innocents, les Pénitences, les Jeux d'esprit, les Jeux de Salon les plus en usage dans les réunions intimes, par Madame CELNART. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Justices de Paix,** ou Traité des Compétences et Attributions tant anciennes que nouvelles, en toutes matières, par M. BIRET. (*En préparation.*)

— **Laiterie,** ou Traité de toutes les méthodes en usage pour traiter et conserver le Lait, faire le Beurre, confectionner les Fromages français et étrangers, et reconnaître les Falsifications de ces substances alimentaires, par M. MAIGNE. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Lampiste,** voyez *Ferblantier*.

— **Langage** (Pureté du), par M. BLONDIN (*En prép.*).

— **Langage** (Pureté du), par MM BISCARRAT et BONIFACE. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Levure** (**Fabricant de**), traitant de sa composition chimique, de sa production et de son emploi dans l'industrie, principalement dans la Brasserie, la Distillation, la Boulangerie, la Pâtisserie, l'Amidonnerie, la Papeterie, par F. MALEPEYRE. Nouvelle édition revue et corrigée par R. BRUNET, ingénr agronome. 1 vol. orné de fig. 2 fr 50

— **Limonadier,** Glacier, Cafetier et Amateur de thés, contenant la fabrication de la Glace et des Boissons frappées ou rafraîchissantes, par CHAUTARD et JULIA DE FONTENELLE. Nouvelle édition entièrement refondue par CHRYSSOCHOÏDÈS, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 76 figures dans le texte. 3 fr.

— **Linotypie.** *la Linotype à la portée de tous*, contenant description, fonctionnement, avaries et réparations, instructions aux opérateurs, par H. GIRAUD, mécanicien-électricien au journal *La Dépêche de Brest*, 1 vol. orné de 36 figures. 1 fr. 50

— **Liquides** (**Amélioration des**), tels que Vins, Alcools, Spiritueux divers, Liqueurs, Cidres, Bières, Vinaigres, Laits, par V.-F. LEBEUF ; 6e éd., entièrement refondue, par le Dr E. VARENNE I. P. ✠, ancien distillateur, négociant en vins et spiritueux, membre de la commission extra-parlementaire de l'alcool, etc., rédacteur scientifique à la *Revue Vinicole*, 1 vol. 3 fr

— **Lithographe** (Imprimeur et Dessinateur), traitant de l'Autographie, la Lithographie mécanique, la Chromolithographie, la Lithophotographie, la Zincographie, et des procédés nouveaux en usage dans cette industrie, par M. VILLON. 2 volumes et Atlas in-18. 9 fr.

— **Littérature** à l'usage des deux sexes, par madame D'HAUTPOUL. 1 vol. 1 fr. 75

— **Locomotion mécanique,** voyez *Vélocipédie et Automobiles.*

— **Luthier,** ou Traité de la construction des Instruments à cordes et à archet, tels que le Violon, l'Alto, le Violoncelle, la Contrebasse, la Guitare, la Mandoline, la Harpe, les Monocordes, la Vielle, etc., traitant de la Fabrication des Cordes harmoniques en boyau et en métal, par MM. MAUGIN et MAIGNE. Nouvelle édition suivie du mémoire sur la construction des instruments à cordes et à archet, par F. SAVART. 1 vol. avec fig. et planches. 3 fr. 50

— **Machines à Vapeur** appliquées à la Marine, par M. JANVIER. 1 vol. avec planches. 3 fr. 50

— **Machines Locomotives** (Constructeur de), par M. JULLIEN, ingénieur civil (*En préparation*).

— **Machines-Outils** employées dans les usines et ateliers de construction, pour le Travail des Métaux, par M. CHRÉTIEN. Voir page 32.

— **Maçon, Stucateur, Carreleur et Paveur,** contenant l'emploi, dans ces industries, des matières calcaires et siliceuses, ainsi que la construction des Bâtiments de ville et de campagne, et les méthodes de Pavage expérimentées dans les grandes villes, par MM. TOUSSAINT, D. MAGNIER, G. PICAT et A. ROMAIN. 1 vol. orné de figures et accompagné de 6 planches. 3 fr. 50

— **Maires, Adjoints, Conseillers et Officiers municipaux,** rédigé *par ordre alphabétique*, par M Ch. VASSEROT, ancien adjoint. (*En préparation*).

— **Maître d'Hôtel,** ou Traité complet des menus, mis à la portée de tout le monde, par M. CHEVRIER. 1 vol. orné de figures. (*En préparation.*)

— **Maîtresse de Maison,** ou Conseils et Recettes sur l'Economie domestique, par Mme LAURENT 1 vol. (*En préparation.*)

— **Mammalogie,** ou Histoire naturelle des Mammifères, par M. LESSON. 1 gros vol. 3 fr. 50

— **Marbrier, Constructeur et Propriétaire de maisons,** contenant des Notions pratiques sur les Marbres, ainsi que des Modèles de Monuments funèbres, de Cheminées, de Vases et d'Ornements de toute nature, par B. et M. (*En préparation.*)

— **Marine,** Gréement, manœuvre du Navire et Artillerie, par M. VERDIER. 2 vol. ornés de figures. 5 fr.

— **Maroquinier,** voyez *Chamoiseur.*

— **Marqueteur et Ivoirier,** traitant de la fabrication des meubles et des objets meublants en marqueterie et en incrustation, de la Tablett rie-Ivoirerie, du travail de l'Ivoire, de l'Os, de la Corne, de la Baleine, de la Nacre, de l'Ambre, etc., par MM. MAIGNE et ROBICHON. 1 vol. orné de figures. 3 fr. 50

— **Mathématiques appliquées,** Notions élémentaires sur les Lois du mouvement des corps solides, de l'Hydraulique, de l'Air, du Son, de la Lumière, des Levés de terrains et nivellement, du Tracé des Cadrans solaires, etc., par RICHARD. (*En préparation.*)

— **Mécanicien-Fontainier,** comprenant la Conduite et la Distribution des Eaux, le mesurage aux Compteurs et à la Jauge, la Filtration, la fabrication des Robinets, des Fontaines, des Bornes, des Bouches d'eau, des Garde-robes, etc., par MM. BISTON, JANVIER, MALEPEYRE et A. ROMAIN. 1 vol. avec figures et planches. 3 fr. 50

— **Mécanique,** ou Exposition élémentaire des lois de l'Equilibre et du Mouvement des Corps solides, par M. TERQUEM. 1 gros vol. orné de planches (*En préparation*).

— **Medecine et Chirurgie domestiques,** contenant les moyens les plus simples et les plus rationnels pour la guérison de toutes les maladies, par M. le docteur MORIN. (*En préparation.*)

— **Mégissier,** voyez *Chamoiseur.*

— **Menuisier en bâtiments, Layetier-Emballeur,** traitant des Bois employés dans la menuiserie, de l'Outillage, du Trait, de la construction des Escaliers, du Travail du Bois, etc., par MM. NOSBAN et MAIGNE. 2 vol. accompagnés de planches et ornés de figures. 6 fr.

— **Métaux** (Travail des), voyez *Machines-Outils, Tourneur, Charron, Chaudronnier, Ferblantier.*

— **Meunier.** (*En préparation.*)

— **Microscope** (Observateur au). Description du Microscope et ses diverses applications, par M. F. DUJARDIN, ancien professeur à la Faculté des Sciences de Rennes. 1 vol. avec Atlas de 30 planches. 10 fr. 50

— **Minéralogie,** ou Tableau des Substances minérales, par M. HUOT (*En préparation*).

— **Mines (Exploitation des).**

2e *partie*, MÉTAUX PRÉCIEUX ET INDUSTRIELS, SOUFRE, SEL, DIAMANT, par M. L. KNAB, ingenieur. 1 vol. avec pl. 3 fr. 50

— **Miniature,** voyez *Peinture à l'Aquarelle.*

— **Morale,** ou Droits et Devoirs dans la Société. 1 volume. (*En préparation.*)

— **Morale** (**La**) de l'Enfance, par le vicomte DE MOREL VINDÉ. 1 vol. in-18 cartonné. (*En préparation.*)

— **Moraliste**, ou Pensées et Maximes instructives pour tous les âges de la vie, par M. TREMBLAY. 2 vol. 5 fr.

— **Mouleur,** ou Art de mouler en Plâtre, au Ciment, à l'argile, à la cire, à la gélatine, traitant du Moulage du carton, du carton-pierre, du carton-cuir, du carton-toile, du bois, de l'écaille, de la corne, de la baleine, du celluloïd, etc., contenant le moulage et le clichage des médailles, par MM. LEBRUN, MAGNIER, ROBERT et DE VALICOURT. 1 vol. orné de figures. 3 fr. 50

— **Moutardier**, voyez *Vinaigrier*.

— **Musique** : SOLFÈGES, MÉTHODES

Méthode de Trompette et Trombone. . . . » 75	Méthode de Harpe. . . 3 50 Méthode de Cor anglais 1 75

— **Mythologies**. (*En préparation.*)

— **Naturaliste préparateur,** 1re *partie* : Classification, Recherche des Objets d'histoire naturelle et leur emballage, Disposition et Conservation des Collections, par M. BOITARD. 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— *Seconde partie* : Art de préparer et d'empailler les Animaux, de conserver les Végétaux et les Minéraux, de préparer les Pièces d'Anatomie normale et d'embaumer les corps, par MM. BOITARD et MAIGNE. 1 vol. orné de figures. 3 fr. 50

— **Navigation,** contenant la manière de se servir de l'Octant et du Sextant, les méthodes usuelles d'astronomie nautique, suivi d'un Supplément contenant les méthodes de calcul exigées des candidats au grade de Maître au cabotage, par M. GIQUEL, professeur d'hydrographie. (*En préparation*).

*— **Numismatique ancienne,** par M. A. DE BARTHÉLEMY, Membre de l'Institut. 1 gros vol. accompagné d'un Atlas renfermant 12 planches. 7 fr.

*— **Numismatique moderne et du moyen âge,** par M. AD. BLANCHET. 3 vol accompagnés d'un Atlas renfermant 14 planches. 15 fr.

— **Oiseaux** (**Eleveur d'**), ou Art de l'Oiselier, contenant la Description des principales espèces d'Oiseaux indigènes et exotiques susceptibles d'être élevés en capti-

vité; leur nourriture, leur reproduction, leurs maladies, etc., par M. G. Schmitt. 1 vol. 1 fr. 75

— **Oiseleur,** ou Secrets anciens et modernes de la Chasse aux Oiseaux, traitant de la Fabrication et de l'emploi des Filets et des Piéges, par J. G. et Conrard. 1 vol. orné de planches et de 48 figures dans le texte. Nouvelle édition. 3 fr. 50

— **Organiste**, contenant l'expertise de l'Orgue, sa description, la manière de l'entretenir et de l'accorder soi-même, suivi de Procès-verbaux pour la réception des Orgues de toute espèce et d'un dictionnaire des termes employés dans la facture d'orgues, par J. Guédon. 1 vol. orné de 94 figures dans le texte. 3 fr.

— **Orgues** (Facteur d'), ou Traité théorique et pratique de l'Art de construire les Orgues, contenant le travail de Dom Bédos et les perfectionnements de la facture jusqu'à nos jours, par Hamel. Nouvelle édition revue et augmentée d'un Appendice donnant les nouveautés apportées dans la fabrication depuis la dernière édition, par J. Guédon. 1 vol. grand in-8 jésus, orné de 64 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas de 43 planches. 20 fr.

— **Ornithologie,** ou Description des genres et des principales espèces d'oiseaux, par M. Lesson (*En prépar.*).

Atlas d'Ornithologie, composé de 129 planches représentant la plupart des oiseaux décrits dans l'ouvrage ci-dessus (*En préparation*).

— **Paléontologie,** ou des Lois de l'organisation des êtres vivants comparées à celles qu'ont suivies les Espèces fossiles et humatiles dans leur apparition successive; par M. Marcel de Serres, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier. 2 vol. avec Atlas. 7 fr.

— **Papetier et Régleur,** traitant de ces arts et de toutes les industries annexes du commerce de détail de la Papeterie, par Julia de Fontenelle et Poisson (*En préparation*).

— **Papiers de Fantaisie,** (Fabricant de), Papiers marbrés, jaspés, maroquinés, gaufrés, dorés, etc.; Peau d'âne factice, Papiers métalliques, par Fichtenberg (*En préparation.*)

— **Parcheminier,** voyez *Chamoiseur*.

— **Parfumeur,** ou Traité complet de toutes les branches de la Parfumerie, contenant les procédés nouveaux, employés en France, en Angleterre et en Amérique, à

l'usage des chimistes-fabricants et des ménages, par MM. PRADAL, F. MALEPEYRE et A. VILLON 2 vol. ornés de figures. Nouvelle édition corrigée, augmentée et entièrement refondue, par M. A.-M. VILLON, ingénieur-chimiste. 6 fr.

— **Patinage** et Récréations sur la Glace, par M. PAULIN-DÉSORMEAUX, 1 vol. orné de 4 planches. 1 fr. 25

— **Pâtes alimentaires**, voyez *Amidonnier*.

— **Pâtissier**, ou Traité complet et simplifié de Pâtisserie de ménage, de boutique et d'hôtel, par M. LEBLANC. 1 volume orné de figures. 3 fr.

— **Paveur et Carreleur**, voyez *Maçon*.

— **Pêcheur**, ou Traité général de toutes les pêches *d'eau douce et de mer*, contenant l'histoire et la pêche des animaux fluviatiles et marins, les diverses pêches à la ligne et aux filets en rivière et en mer, etc., par PESSON-MAISONNEUVE et MORICEAU. Nouvelle édition entièrement refondue par G. PAULIN. 1 vol. orné de 207 fig. dans le texte. 3 fr. 50

— **Pêcheur-Praticien**, ou les Secrets et les Mystères de la Pêche à la ligne dévoilés, par M. LAMBERT. Nouvelle édition, par L. JAILLANT. 1 vol. orné de 96 figures dans le texte. 1 fr. 50

— **Peintre d'histoire et Sculpteur**, ouvrage dans lequel on traite de la philosophie de l'Art et des moyens pratiques, par M. ARSENNE, peintre. 1 vol. 3 fr. 50

— **Peintre d'histoire naturelle**, contenant des notions générales sur le dessin, le clair-obscur, l'effet des couleurs naturelles et artificielles, les divers genres de peintures, etc. par M. DUMÉNIL. (*En préparation.*)

— **Peintre en Bâtiments**, Vernisseur et Vitrier, traitant de l'emploi des Couleurs et des Vernis pour l'assainissement et la décoration des habitations, de la pose des Papiers de tenture et du Vitrage, par RIFFAULT, VERGNAUD, TOUSSAINT et F. MALEPEYRE. Nouvelle édition revue et augmentée du Peintre d'enseignes, de la Pose des vitraux, etc. 1 vol. orné de 44 figures. 3 fr.

— **Peintre en Voitures**, par V. THOMAS, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Rennes. 1 vol. orné de 54 figures. 3 fr.

— **Peinture à l'Aquarelle**, Gouache, Miniature, Peinture à la cire, Peintures orientales, procédé Raffaëlli, etc. Nouvelle édition par Henry GUÉDY. 1 vol. 3 fr.

— **Peintre et Graveur en lettres** (*En préparation*)

— **Peinture sur Verre, Porcelaine, Faïence et**

Email, traitant de la décoration de ces matières, ainsi que de la fabrication des Emaux et des Couleurs vitrifiables et de l'Emaillage sur métaux précieux ou communs et sur terre cuite, par MM. Reboulleau, Magnier et Romain. 1 vol. avec fig. Nouv. édit. revue par H. Bertran. 3 fr. 50

— **Peinture et Vernissage des Métaux et du Bois**, traitant des Couleurs et des Vernis propres à décorer les Métaux et les Bois, de l'imitation sur métal des bois indigènes et exotiques, de l'ornementation des Articles de ménage et des Objets de fantaisie, suivi de l'imitation des Laques du Japon sur menus articles, par MM. Fink et Lacombe. 1 vol. orné de figures. 2 fr.

— **Pelletier-Fourreur et Plumassier**, traitant de l'apprêt et de la conservation des Fourrures et de la préparation des Plumes, par M. Maigne. 1 vol. orné de figures. 2 fr. 50

— **Perspective** appliquée au Dessin et à la Peinture, par M. Vergnaud. 1 vol. accompagné de planches. 3 fr.

— **Pharmacie Populaire**, simplifiée et mise à la portée de toutes les classes de la société, par M. Julia de Fontenelle (*En préparation*).

— **Photographie** sur Métal, sur Papier et sur Verre, contenant toutes les découvertes les plus récentes, par M. de Valicourt. 2 vol. avec planche. 6 fr.

— Supplément à la Photographie sur Papier et sur Verre, par M. G. Huberson. 1 vol. 3 fr.

— **Photographie** (Répertoire de), Formulaire complet de cet Art, par M. de Latreille. (*En préparation.*)

— **Physicien-Préparateur**, ou Description des Instruments de Physique et leur Emploi dans les Sciences et dans l'Industrie, par MM. Ch. Chevalier et le docteur Fau. (*En préparation.*)

— **Physiologie végétale**, Physique, Chimie et Minéralogie appliquées à la culture, par M. Boitard. 1 vol. orné de planches. 3 fr.

— **Plain-Chant ecclésiastique**. (*En préparation.*)

— **Plâtrier**, voyez *Chaufournier*, *Maçon*.

— **Plombier, Zingueur, Couvreur, Appareilleur à Gaz**, contenant la fabrication et le travail du Plomb et du Zinc et la manière de les souder, la Couverture des Constructions et l'Installation des Appareils et

des Compteurs à Gaz, par M. Romain. Nouvelle édition, refondue, corrigée et augmentée, suivie de la *Série des Prix*, par N. Chryssochoïdès, 1 vol. orné de 266 figures dans le texte. 4 fr.

— **Poêlier-Fumiste,** traitant de la construction des Cheminées de tous modèles, des Fourneaux et des Poêles en terre, de l'agencement et de la Tuyauterie des Fourneaux en maçonnerie et des Poêles en terre, en fonte et en tôle, et du Ramonage des divers appareils de Chauffage, par MM. Ardenni, J. de Fontenelle, F. Malepeyre et A. Romain, 1 vol. orné de figures. 3 fr.

— **Poids et Mesures**, à l'usage des Médecins, etc. Brochure in-18. 25 c.

— **Poids et Mesures**, Comptes faits ou Barême général des Poids et Mesures, par M. Achille Nouhen. *Ouvrage divisé en cinq parties qui se vendent séparément.*

1re partie, Mesures de Longueur *(En préparation).*
2e partie, — de Surface. 60 c.
3e partie, — de Solidité (*En préparation*).
4e partie, Poids (*En préparation*).
5e partie, Mesures de Capacité *(En préparation).*

— **Poids et Mesures** (Barême complet des), avec conversion facile de l'ancien système au nouveau, par M. Bagilet. 1 vol. 3 fr.

— **Poids et Mesures** (Fabrication des). *Voir Potier d'étain.*

— **Police de la France**. (*En préparation.*)

— **Pompes** (**Fabricant de**) de tous les systèmes, rectilignes, centrifuges, à diaphragme, à vapeur, à incendie, d'épuisement, de mines, de jardins, etc., traitant des principales Machines élévatoires autres que les Pompes, par MM. Janvier, Biston et A. Romain. 1 vol. orné de figures et accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Ponts et Chaussées** : *Première partie*, Routes et Chemins, par M. de Gayffier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 1 vol. avec planches. 3 fr. 50

— *Seconde partie*, Ponts et Aqueducs en maçonnerie, par M. de Gayffier, 1 vol. avec planches. 3 fr. 50

— *Troisième partie*, Ponts en bois et en fer, par M. A. Romain. 1 vol. avec figures et planches. 3 fr. 50

— **Porcelainier, Faïencier, Potier de Terre,** contenant des notions pratiques sur la fabrication des Grès cérames, des Pipes, des Boutons, des Fleurs en porcelaine et des diverses Porcelaines tendres, par D. MAGNIER, ingénieur civil. Nouvelle édition revue et augmentée par BERTRAN, Ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 148 figures dans le texte. 4 fr.

— **Potier d'Etain** et de la fabrication des **Poids et Mesures**, contenant la fabrication de la poterie d'Etain, Etains d'art ; poids et mesures de tous genres, balances, bascules, alcoomètres. Nouvelle édition par G. LAURENT, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 227 figures dans le texte. 4 fr.

— **Produits chimiques** (Fabricant de), formant un Traité de Chimie appliquée aux Arts, à l'Industrie et à la Médecine, par M. G. E. LORMÉ. 4 gros volumes et Atlas de 16 planches grand in-8°. (*En préparation*).

— **Propriétaire, Locataire** et Sous-Locataire, des biens de ville et des biens ruraux ; rédigé *par ordre alphabétique*, par MM. SERGENT et VASSEROT. 1 vol. 2 fr. 50

— **Puisatier**, voyez *Sondeur*.

— **Relieur** en tous genres, contenant les Arts de l'Assembleur, du Satineur, du Brocheur, du Rogneur, du Cartonneur et du Doreur, par MM. Séb. LENORMAND et W. MAIGNE. 1 vol. avec figures et planches. 3 fr. 50

— **Roses** (Amateur de), leur Histoire et leur Culture, par M. BOITARD. (*En préparation.*)

— **Sapeur-Pompier** (Nouveau Manuel *complet* du), composé par une commission d'officiers du Régiment de *Paris* et de la *Province*, publié par *Ordre* du *Ministère de l'Intérieur*. Edition entièrement refondue d'après le nouveau materiel de la Ville de Paris. 1 vol. orné de 140 fig. dans le texte. Broché . . . . . 3 fr. 50

Cartonné avec la couverture imprimée. . . . 3 fr. 85

— **Sapeur-Pompier** (Nouveau Manuel *abrégé* du) composé par une commission d'officiers du Régiment de Paris et de la Province, publié par *ordre* du *Ministère de l'Intérieur*. Edition abrégée entièrement refondue, extraite du Nouveau Manuel complet. 1 vol. orné de nombreuses figures dans le texte. Broché. . . . . 2 fr.

Cartonné avec la couverture imprimée. . . . 2 fr. 25

— **Sapeurs-pompiers** (Théorie des), extraite du nouveau Manuel complet du Sapeur-Pompier composé par une commission d'officiers du Régiment de Paris et de la Province.

Edition entièrement refondue, contenant les manœuvres de la Pompe à bras et des Echelles, d'après le nouveau matériel de la Ville de Paris. 1 vol. orné de nombreuses figures dans le texte. Broché . . . . . 75 c.

Cartonné avec la couverture imprimée. . . . . 85 c.

— **Sapeurs-Pompiers** (*Manuel des Concours*) (Fédération nationale des Sapeurs-Pompiers français). 1 vol. orné de 80 fig. dans le texte, br. 2 fr. 50 ; — *Franco*, 2 fr. 75

Cartonné avec la couverture imprimée, 2 fr. 85 ; — *Franco*. 3 fr. 10

— **Sapeurs-Pompiers**, manuel des premiers secours par le Dr Ch. Le Page. 1 vol. in-16 orné de 83 illust. dans le texte 2 fr.

— **Sapeurs-Pompiers**, voir Service d'Incendie dans les Villes et les Campagnes.

— **Sauvetage** dans les Incendies, les Puits, les Puisards, les Fosses d'aisances, les Caves et Celliers, les Accidents en rivière et les Naufrages maritimes, par M. W. Maigne. 1 vol. orné de vignettes et de planches. (*En préparation*).

— **Savonnier**, ou Traité de la Fabrication des Savons, contenant des notions sur les Alcalis et les corps gras saponifiables, ainsi que les procédés de fabrication et les appareils en usage dans la Savonnerie, par M. E. Lormé. 3 vol. accompagnés de planches. 9 fr.

— **Sculpture sur bois**, contenant l'Outillage et les moyens pratiques de Sculpture, les Styles de l'Ornementation, l'Art de Découper les Bois, l'Ivoire, l'Os, l'Ecaille et les Métaux, la Fabrication des Bois comprimés, etc., par M. S. Lacombe. 1 vol. orné de figures. 3 fr. 50

— **Serrurier**, ou Traité complet et simplifié de cet Art, traitant des Fers, des Combustibles, de l'Outillage, du Travail à l'Atelier et sur place, de la Serrurerie du Carrossage et des divers travaux de Forge, par Paulin-Désormeaux et H. Landrin. Nouvelle édition entièrement refondue par Chryssochoïdès, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 106 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas de 16 planches. 5 fr.

— **Service d'Incendie** dans les Villes et les Campagnes, en France et à l'Etranger, par le lieutenant-colonel

RAINCOURT, ancien Chef de Bataillon au Régiment des Sapeurs-Pompiers, Président d'honneur du Congrès international des Sapeurs-Pompiers en 1889, et M. MARCEL GRÉGOIRE, Sous-Préfet de Pontoise. 1 vol. in-18 orné de 77 fig. dans le texte. 2 fr. 50

— **Soierie**, contenant l'art d'élever les Vers à soie et de cultiver le Mûrier, traitant de la Fabrication des Soieries, par M. DEVILLIERS. 2 vol. et Atlas. (*En préparation*).

— **Sommelier** et **Marchand de Vins**, contenant des notions sur les Vins rouges, blancs et mousseux, leur classification par vignobles et par crus, l'Art de les déguster, la description du matériel de cave, les soins à donner aux Vins en cercles et en bouteilles, l'art de les rétablir de leurs maladies, les coupages, les moyens de reconnaître les falsifications, etc., par M. MAIGNE. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée, par R. BRUNET. 1 vol. orné de 97 figures dans le texte. 3 fr.

— **Sondeur, Puisatier et Hydroscope,** traitant de la construction des Puits ordinaires et artésiens et de la recherche des Sources et des Eaux souterraines, par M. A. ROMAIN, 1 vol. accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Sorcellerie Ancienne et Moderne expliquée**, ou Cours de Prestidigitation (*Epuisé*).

— SUPPLÉMENT A LA SORCELLERIE EXPLIQUÉE, par M. PONSIN. (*Epuisé.*)

— **Souffleur à la Lampe et au Chalumeau**, (Voir *Verrier*).

— **Sucre** (**Fabricant et Raffineur de**), traitant de la fabrication des Sucres indigènes et coloniaux, provenant de toutes les substances saccharifères dont l'emploi est usuel et reconnu pratique, par M. ZOÉGA. 1 vol. orné de planches et de figures. *(En préparation.)*

— **Taille-Douce** (Imprimeur en), par MM. BERTHIAUD et BOITARD. (*En préparation*).

— **Tanneur, Corroyeur et Hongroyeur,** contenant le travail des Cuirs forts de la Molleterie et des Cuirs blancs, suivi de la fabrication des Courroies, d'après les méthodes perfectionnées les plus récentes, par MAIGNE. 2 vol. ornés de figures et accompagnés de planches. 6 fr.

— **Tapissier Décorateur**, par H. LACROIX, professeur technique. 1 vol. orné de 81 figures dans le texte. 2 fr. 50

— **Technologie physique et mécanique**, ou

FORMULAIRE ANNOTÉ à l'usage des Ingénieurs, des Architectes, des Constructeurs et des Chefs d'usines, par H. GUÉDY, architecte. 1 vol. 4 fr.

— **Teinture des peaux,** voyez *Chamoiseur*.

*— **Teinture moderne**. Voir page 31.

— **Teinturier, Apprêteur et Dégraisseur,** ou Art de teindre la Laine, la Soie, le Coton, le Lin, le Chanvre et les autres matières filamenteuses, ainsi que les tissus simples et mélangés, au moyen des COULEURS ANCIENNES animales, végétales et minérales, par MM. RIFFAUT, VERGNAUD, JULIA DE FONTENELLE, THILLAYE, MALEPEYRE, ULRICH et ROMAIN. 2 vol. accompag. de planch. 7 fr.

— *Supplément*, traitant de l'emploi en Teinture des COULEURS D'ANILINE et de leurs dérivés, par M. A.-M. VILLON, chimiste. 1 vol. 3 fr. 50

— **Télégraphie électrique,** contenant la description des divers systèmes de Télégraphes et de Téléphones, et leurs applications au service des Chemins de fer, des Sonneries électriques et des Avertisseurs d'incendie, par ROMAIN. 1 vol. orné de fig. et accompagné de pl. 3 fr. 50

— **Teneur de Livres**, renfermant la Tenue des Livres en partie simple et en partie double, par TRÉMERY et A. TERRIÈRE (*Ouvrage autorisé par l'Université*), suivi de la Comptabilité agricole, par R. BRUNET. 1 vol. 3 fr.

— **Terrassier** et Entrepreneur de terrassements, traitant des divers modes de transport, d'extraction et d'excavation, et contenant une description sommaire des grands travaux modernes, par MM. CH. ETIENNE, AD. MASSON et D. CASALONGA. 1 vol et un Atlas de 22 pl. (*En prép.*)

— **Théâtral** (**Manuel**) et du Comédien, contenant les principes de l'Art de la parole, par Aristippe BERNIER DE MALIGNY. 1 vol. (*En préparation.*)

— **Tissage mécanique**. (*En préparation.*)

— **Tissus** (Dessin et Fabrication des) façonnés, tels que Draps, Velours, Ruban, Gilet, Coutil, Châle, Passementerie, Gazes, Barèges, Tulle, Peluche, Damassé, Mousseline, etc., par M. TOUSTAIN. (*En préparation.*)

— **Tonnelier**, contenant la fabrication des Tonneaux, des Cuves, des Foudres et des autres vaisseaux en bois cerclés, suivi du *Jaugeage* des fûts de toute dimension, par P. DÉSORMEAUX, OTT et MAIGNE. Nouvelle édition revue et corrigée par RAYMOND BRUNET, Ingénieur agronome. 1 vol. orné de 227 figures, 3 fr.

— **Tourneur**, ou Traité théorique et pratique de l'art du Tour, contenant la description des appareils et des procédés les plus usités pour Tourner les Bois et les Métaux, les Pierres, l'Ivoire, la Corne, l'Ecaille, la Nacre, etc. Ainsi que les notions de Forge, d'Ajustage et d'Ebénisterie indispensables au Tourneur, par E. de VALICOURT. 1 vol. grand in-8 contenant 27 planches de figures, 4e édition revue et corrigée. 15 fr.

— **Treillageur**, *Première partie*, traitant de la fabrication à la main, de la Menuiserie des Jardins et de la fabrication des Objets de jardinage, par M. P. DÉSORMEAUX. 1 vol. accompagné de planches (*En préparation*).

— **Treillageur**, *Seconde partie*, traitant de l'outillage, de la fabrication à la main et à la mécanique, de la confection des Grillages, Claies, Jalousies, etc., par M. E. DARTHUY. 1 vol. avec figures et planches. 3 fr.

— **Typographie** (de). Historique. Composition. Règles orthographiques. Imposition. Travaux de ville. Journaux. Tableaux. Algèbre. Langues étrangères. Musique et plain-chant. Machines. Papier. Stéréotypie. Illustration. Par EMILE LECLERC, de la *Revue des Arts graphiques*, ancien directeur de l'Ecole professionnelle Lahure. Préface de M. PAUL BLUYSEN. 1 vol. orné de 100 figures dans le texte. 4 fr.

On vend séparément les SIGNES DE CORRECTION. 50 c.

— **Vélocipédie** (de), Locomotion, Vélocipèdes, Construction, etc., par Louis LOCKERT, ingénieur diplômé de l'Ecole centrale. 1 vol. orné de 58 fig. dans le texte. Terminé par l'Art de monter à Bicyclette, par RIVIERRE. 1 fr. 50

— **Vernis (Fabricant de)**, contenant les formules les plus usitées de vernis de toute espèce, à l'éther, à l'alcool, à l'essence, vernis gras, etc., par M. A. ROMAIN. 1 vol. orné de figures. 4 fr.

— **Verrier et Fabricant de Cristaux**, Pierres précieuses factices. Verres colorés, Yeux artificiels, par JULIA DE FONTENELLE et MALEPEYRE. Nouvelle édition entièrement refondue par BERTRAN, Ingénieur des Arts et Manufactures. 2 vol. ornés de 235 fig. dans le texte. 8 fr.

— **Vétérinaire**, contenant la connaissance des chevaux, la manière de les élever, les dresser et les conduire, la Description de leurs maladies, les meilleurs modes de traitement, etc., par M. LEBEAU et un ancien professeur d'Alfort. 1 vol. orné de figures. (*En prépar.*).

— **Vigneron,** ou l'Art de cultiver la Vigne, de la protéger contre les insectes qui la détruisent, et de faire le Vin, contenant les meilleures méthodes de Vinification, traitant du chauffage des Vins, etc., par THIÉBAUT DE BERNEAUD et F. MALEPEYRE. 1 vol. orné de 40 figures. Nouvelle édition, revue par R. BRUNET. 3 fr. 50

— **Vinaigrier et Moutardier,** contenant la fabrication de l'acide acétique, de l'acide pyroligneux, des acétates, et les formules de Vinaigres de table, de toilette et pharmaceutiques, l'analyse chimique de la graine de moutarde, ainsi que les meilleures recettes pour la préparation de la moutarde, par MM. J. DE FONTENELLE et F. MALEPEYRE. 1 vol. orné de figures. 3 fr. 50

— **Vins** (Calendrier des), ou instructions à exécuter mois par mois, pour conserver, améliorer ou guérir les Vins. *(Ouvrage destiné aux Garçons de caves et de celliers, et aux Maîtres de Chais, faisant suite à l'Amélioration des Liquides)*, par M. V.-F. LEBEUF. 1 vol. 1 fr. 75

— **Vins de Fruits et Boissons économiques,** contenant l'Art de fabriquer soi-même, chez soi et à peu de frais, les Vins de Fruits, les Vins de Raisins secs, le Cidre, le Poiré, les Vins de Grains, les Bières économiques et de ménage, les Boissons rafraîchissantes, les Hydromels, etc., et l'Art d'imiter avec les Fruits et les Plantes les Vins de table et de liqueur français et étrangers, par M. F. MALEPEYRE. 1 vol. 3 fr.

— **Vins mousseux** (Voyez *Eaux et Boissons gazeuses*).

— **Zingueur,** voyez *Plombier*.

INDUSTRIE, ARTS ET MÉTIERS

***Guide pratique de Teinture moderne,** suivi de l'Art du Teinturier-Dégraisseur, contenant l'étude des fibres textiles et des matières premières utilisées en Teinture, et des procédés les plus récents pour la fixation des couleurs sur laine, soie, coton, etc., par V. THOMAS, docteur ès sciences, préparateur de Chimie appliquée à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 vol. grand in-8° raisin, orné de 133 figures dans le texte. 20 fr.

Art du Peintre, Doreur et Vernisseur, par WATIN ; 14e édit., revue pour la fabrication et l'application des couleurs, par MM. Ch. et F. BOURGEOIS, et augmentée de l'*Art du Peintre en voitures, en marbres et en faux-bois*, par M. J. DE MONTIGNY, ingénieur. 1 vol. in-8°. 6 fr.

Calcul des essieux pour les Chemins de Fer ; Coup d'œil sur les roues de vagons, par A.-C. BENOIT-DUPORTAIL, 1856. Brochure in-8°. 1 fr. 75

Cubage des Bois en grume (**Tarif de**), au mètre cube réel et au mètre cube marchand, par M. CH. BLIND. Brochure in-18. 75 c.

Etudes sur quelques produits naturels applicables à la *Teinture*, par ARNAUDON, 1858. Br. in-8. 1 fr. 25

— **Guia** del Cultivador de Montes y de la Guarderia Rural — ò — La Silvicultura Práctica. 1 vol. in-8. 2 fr.

Incendies des matières dangereuses et explosives (**Les**) (dangers, précautions, moyens et appareils), *les extincteurs d'incendie*, par Daniel PIERRE, ingénieur chimiste, 1 vol. in-8°, avec figures. 2 fr.

Levés à vue (**Des**) et du Dessin d'après nature, par LEBLANC. Brochure in-18 avec planche. 25 c.

Machines-Outils (**Traité des**) employées dans les usines et les ateliers de construction pour le Travail des Métaux, par M. J. CHRÉTIEN, 1866. 1 volume in-8 jésus, renfermant 16 planches gravées avec soin sur acier. 12 fr.

Manipulations hydroplastiques, ou Guide du Doreur et de l'Argenteur, par M. ROSELEUR. 1 volume in-8°. 15 fr.

Manuel-Barême pour les Alliages d'Or et d'Argent. Ouvrage indispensable aux Fabricants Bijoutiers et Orfèvres, ainsi qu'à toutes les personnes qui s'occupent du commerce des Métaux précieux, par M. A. MERCIER. 1 vol. in-8. Broché, 10 fr. Relié en toile, 11 fr. 50

Manuel de la Filature du Lin et de l'Etoupe, Application du Système métrique au Calcul du mouvement différentiel, par DELMOTTE. 2e *éd.*, 1878. 1 vol. in-12. 2 fr. 50

Mémoire sur l'Appareil des voûtes hélicoïdales et des voûtes biaises à double courbure, par A.-A. SOUCHON. 1 vol. in-4° renfermant 8 planches. 3 fr. 50

Photographie sur papier, par M. BLANQUART-EVRARD, 1851. 1 vol. grand in-8. 1 fr. 50

Tables techniques de l'Industrie du Gaz, par M. D. Magnier, ingénieur. (*En préparation.*)

Traite du Chauffage au Gaz, par Ch. Hugueny, 1857. Brochure in-8°. 1 fr. 50

Traité de la Coupe des Pierres, ou Méthode facile et abrégée pour se perfectionner dans cette science, par J.-B. De la Rue. 3e édition, revue et corrigée par M. Ramée, architecte. 1 vol. in-8° de texte, avec un Atlas de 98 planches in-folio. 20 fr.

Traité des Echafaudages, ou Choix des meilleurs modèles de charpentes, par J.-Ch. Krafft. 1 vol. in-folio relié, renfermant 51 planches gravées sur acier. 25 fr.

Usage de la Règle logarithmique, ou Règle-calcul. In-18. 25 c.

Vignole du Charpentier. 1re partie, Art du trait, contenant l'application de cet art aux principales constructions en usage dans le bâtiment, par M. Michel, maître charpentier, et M. Bouterreau, professeur de géométrie appliquée aux arts. 1 vol. in-8°, avec Atlas de 72 pl. 20 fr.

PARIS-BIJOUX

Annuaire des Horlogers et Bijoutiers, publié par la *Revue de l'Horlogerie - Bijouterie*, 1909. — Petit in-16, toile souple. 3 fr.

OUVRAGES SUR L'HORTICULTURE

L'AGRICULTURE, L'ÉCONOMIE RURALE, ETC.

Plantes vivaces de la maison Lebeuf, ou Liste des espèces les plus intéressantes cultivées dans cet établissement, avec quelques renseignements sur leur culture, leur emploi, etc., par Godefroi-Lebeuf et Bois, 1882. 1 vol. in-18, orné de figures. 2e édition. 1 fr. 50

Les Insectes nuisibles aux arbres fruitiers. Moyens de les détruire, par A. Ramé.

1re partie : Les Lépidoptères. 1 vol. in-18, 2e édit. 1 fr. 25

Histoire du Pommier, par Duval, 1852. Brochure in-8°. 1 fr. 50

Etude sur les Sauterelles et les Criquets, moyens d'en arrêter les invasions et de les transformer en Engrais par les procédés DURAND et HAUVEL, brevetés s. g. d. g., 1878. Brochure in-8 de 36 pages. 75 c.

Voyage de découverte autour du Monde et à la recherche de La Pérouse, par J. DUMONT D'URVILLE, capitaine de vaisseau, exécuté sous son commandement et par ordre du gouvernement, sur la corvette l'*Astrolabe*, pendant les années 1826 à 1829. 5 tomes divisés en 10 volumes in-8 ornés de vignettes sur bois, avec un Atlas contenant 20 planches ou cartes grand in-folio. 30 fr.

Cet important ouvrage, qui a été exécuté par ordre du gouvernement sous le commandement de M. Dumont d'Urville et rédigé par lui, n'a rien de commun avec le *Voyage pittoresque* publié sous sa direction.

ALBUMS INDUSTRIELS

Carnets du Garde-Meuble, Albums grand in-8, publiés par D. GUILMARD.

N° 1. ÉBÉNISTE PARISIEN, Recueil de dessins de Meubles dessinés d'après nature chez les principaux ébénistes du faubourg Saint-Antoine. Album in-8 jésus de 130 feuilles.

En couleur, 40 fr.

N° 2. FABRICANT DE SIÈGES, Recueil de dessins de Sièges non garnis, dessinés d'après nature chez les principaux fabricants du faubourg Saint-Antoine. Sièges simples. Album de 120 planches avec titre.

En noir, 25 fr. — En couleur, 40 fr.

N° 3. VIEUX BOIS, Recueil de dessins de Meubles et de Sièges en vieux chêne sculpté. Fabrication courante. Album de 26 planches.

En couleur, 10 fr.

N° 3 *bis*. MEUBLES EN CHÊNE, Recueil de Meubles et de Sièges sculptés en chêne. Album de 26 planches.

En noir, 6 fr. — En couleur, 10 fr.

N° 4. SCULPTEUR, Recueil de motifs sculptés employés dans la fabrication des meubles simples. Album de 24 pl.

En noir (pas de couleur), 6 fr.

N° 6. MARQUETERIE ET BOULE, Recueil de meubles dans ce genre, contenant 24 planches in-8° jésus, et représentant 44 modèles différents.

En noir, 6 fr. — En couleur, 12 fr.

N° 7. CARNET-RÉFÉRENCE, Collection de Sièges, Meubles et Tentures, contenant 80 planches in-4° noires. 12 fr.

Carnet Empire, 68 planches de Tentures, Sièges et Meubles, genre Empire, par E. MAINCENT. Album cart.
En noir, 10 fr. — En couleur, 20 fr.

Petit Carnet, N° 1, MEUBLES SIMPLES, Petit Album de poche, contenant 40 planches, représentant 67 modèles
En noir, 5 fr. — En couleur, 7 fr.

Petit Carnet, N° 2, SIÈGES. Petit Album de poche, contenant 40 planches.
En noir, 5 fr. — En couleur, 7 fr.

Petit Carnet, N° 3. TENTURES. Petit Album de poche, contenant 39 planches. En noir, 5 fr. En couleur, 7 fr.

Petit Carnet, N° 4. SIÈGES BOIS RECOUVERT, série classique et fantaisie. 60 pl. en noir, 7 fr. 50 ; en couleur 12 fr.

Petit Carnet, N° 5. TENTURES. 60 pl. contenant 66 modèles de tentures classiques, modernes et art nouveau, en noir 7 fr. 50 ; en couleur, 12 fr.

Petit Carnet du Garde-Meuble, N° 10, SIÈGES, TENTURES. Petit Album de poche, renfermant 32 planches.
En noir, 5 fr.

Décoration (La) au XIXe Siècle, Décor intérieur des habitations, Riches appartements, Hôtels et Châteaux, par D. GUILMARD. 48 pl. in-4° coloriées, en carton. 60 fr.

Décoration (La petite), Menuiserie décorative appliquée à l'intérieur des habitations, par E. MAINCENT. Album de 20 planches coloriées. 16 fr.

Disposition des Appartements, Album relié renfermant 18 plans de faces et d'élévations, etc. En noir, 50 fr.

Fleur décorative (La), 1re *partie*, BRODERIES, donnant la plus grande partie des types de fleurs employés dans la décoration. 43 planches, dont un titre, en carton.
En noir, 12 fr. — En couleur, 25 fr.

Menuiserie (La) parisienne, Recueil de motifs de menuiserie dans le genre moderne, par D. GUILMARD. Album de 30 planches in-4° en carton. 15 fr.

Menuiserie (La) religieuse, Ameublement des Eglises, styles roman et ogival du xe au XIVe siècle, par D. GUILMARD. Album in-4° de 30 planches. 15 fr.

Ornementation (La connaissance des Styles de l'), Histoire de l'ornement et des arts qui s'y rattachent depuis l'ère chrétienne jusqu'à nos jours, par D. GUILMARD. 1 beau vol. in-4°, richement illustré et accompagné de 42 planches noires. 25 fr.

Ornements d'appartements (Album des), Collection de tous les accessoires de décorations servant aux croisées et aux lits, par D. Guilmard. Album de 24 planches in-8° oblong. En noir, 6 fr. — En couleur, 10 fr.

Portefeuille pratique de l'Ebéniste parisien, Elévation, Plan, Coupe et détails nécessaires à la fabrication des Meubles, par D. Guilmard. Album in-4° de 31 planches noires. 15 fr.

Sièges (Portefeuille pratique du Fabricant de), Plan, Coupes, Elévation et Détails nécessaires à la Fabrication des Sièges, par D. Guilmard. Album in-4° de 31 planches. 15 fr.

Tapissier garnisseur (Tarif du), Prix de revient de modèles en bois recouverts ou apparents. 9 fr.

Albums en cartons contenant les dessins correspondant aux prix de revient du Tarif :

Bois recouverts, 128 modèles, fig. noires. 28 fr.
Bois apparents, 125 modèles, fig. noires. 23 fr.

Tapissier parisien (Album du), par D. Guilmard. Album grand in-8° de 25 planches.

En noir, 7 fr.

Tapissier parisien (Portefeuille pratique du), Première partie. Décors de lits, croisées, etc. Coupe et texte de ces diverses décorations, par D. Guilmard. Album de 30 planches in-4°. En noir, 18 fr. — En couleur, 25 fr.

Seconde partie. Dessins de Tentures modernes avec Coupes, Détails et Texte explicatif, par E. Maincent. Album de 35 planches. En noir, 20 fr.

Tapissier (Tarif du), Tentures, par E. Maincent, donnant le prix de revient, l'emploi et la coupe des Etoffes pour Tentures. 1 vol. grand in-8° cartonné, sans planches. 12 fr.

Tourneur (Art du) ; Profils et renseignements pour servir dans tous les Arts et Industries du Tour, par E. Maincent. Album in-4° de 30 planches avec texte. 20 fr.

Nouveau Recueil de Tentures laines dans le genre simple. 28 pl. sur bristol grand format (0,32×0,49), comprenant des décors de lit, fenêtres, portières, grandes baies, salons, salles à manger, chambres à coucher.

En noir, 30 fr.; en couleur, 55 fr.

L'AMEUBLEMENT
ET
LE GARDE-MEUBLE
RÉUNIS

publie 60 Planches par année

Il est divisé en trois parties :

MEUBLES, TENTURES, SIÈGES

Il paraîtra tous les deux mois :

4 Planches de Meubles, 4 Planches de Tentures

Et tous les quatre mois :

4 Planches de Sièges.

PRIX DES ABONNEMENTS :

FRANCE

Meubles..	24 pl. par an,	en noir 14 fr.;	— couleur	20 fr.
Tentures.	24 pl. par an,	— 14 fr.;	—	20 fr
Sièges...	12 pl. par an,	— 7 fr.;	—	10 fr.
Prix des 3 séries complètes		— 35 fr.;	—	50 fr.

ÉTRANGER

Meubles .	24 pl. par an,	en noir 15 fr.;	— couleur	22 fr.
Tentures.	24 pl. par an,	— 15 fr.;	—	22 fr.
Sièges...	12 pl. par an,	— 8 fr.;	—	11 fr.
Prix des 3 séries complètes		— 38 fr.;	—	55 fr.

Les livraisons paraissent tous les deux mois.

Les Sièges avec les livraisons de Janvier, Mai, Septembre

Les Abonnements partent de Janvier.

NOUVEAUX PROCÉDÉS
DE
TAXIDERMIE

Accompagnés de Photographies des principaux types de la collection de l'auteur à Makri-Keui, près Constantinople, de Physionomies de Rapaces sur nature, et suivis de quelques impressions ornithologiques, par le COMTE ALLEON, commandeur de l'ordre du Mérite civil de Bulgarie, chevalier de l'ordre de St-Grégoire, officier du Medjidié, membre du Comité international permanent ornithologique de Vienne, médaille d'or à l'exposition de Vienne 1883. 1 vol. in-8° jésus, 32 p. de texte, 132 fig. tirées sur papier couché. 25 fr.

BIBLIOTHÈQUE DES ARTS ET MÉTIERS

6 vol. format in-18, grand papier

1 fr. 75 le volume

Livre du Cultivateur, Guide complet de la culture des Champs, par M. MAUNY DE MORNAY. 1837. 1 vol. accompagné de 2 planches.

Livre du Jardinier, Guide complet de la culture des Jardins fruitiers, potagers et d'agrément, par M. MAUNY DE MORNAY. 1838. 2 vol. accompagnés de 2 planches.

Livre des Logeurs et des Traiteurs, Code complet des Aubergistes, Maîtres d'hôtel, Tenneurs d'hôtel garni, Logeurs, Traiteurs, Restaurateurs, Marchands de Vin, etc., suivi de la Législation sur les Boissons. 1838. 1 vol.

Livre du Fabricant de Sucre et du Raffineur, par M. MAUNY DE MORNAY. 1837. 1 vol. accompagné de 2 planches.

Livre du Vigneron et du Fabricant de Cidre, de Poiré, de Cormé, et autres Vins de Fruits, par M. MAUNY DE MORNAY. 1838. 1 vol. accompagné d'une planche

---

Zoologie classique, ou Histoire naturelle du Règne animal, par M. F. A. POUCHET, ancien professeur de zoologie au Muséum d'Histoire naturelle de Rouen, etc. Seconde édition considérablement augmentée. 2 vol in-8°, contenant ensemble plus de 1,300 pages, et accompagnés d'un Atlas de 44 planches et de 5 grands tableaux.

Fig. noires. 25 fr.

NOTA. *Le Conseil de l'Université a décidé que cet ouvrage serait placé dans les bibliothèques des Lycées.*

SUITES A BUFFON

Formant avec les Œuvres de cet auteur

UN

COURS COMPLET D'HISTOIRE NATURELLE

EMBRASSANT

LES TROIS RÈGNES DE LA NATURE

Belle Édition, format in-octavo

DIVISION DE L'OUVRAGE

Zoologie générale (Supplément à Buffon), ou Mémoires et Notices sur la Zoologie, l'Anthropologie et l'Histoire de la Science, par M. Isidore Geoffroy-Saint-Hilaire. 1 vol. avec 1 livraison de planches.
Fig. noires. 13 fr.
Fig. coloriées. 21 fr.

Cétacés (Baleines, Dauphins, etc.), ou Recueil et examen des faits dont se compose l'histoire de ces animaux, par M. F. Cuvier, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle. 1 vol. avec 2 livraisons de planches.
Fig. noires. 17 fr.
Fig. coloriées. 33 fr.

Reptiles (Serpents, Lézards, Grenouilles, Tortue, etc.), par M. Duméril, membre de l'Institut, professeur à la Faculté de Médecine et au Muséum d'Histoire naturelle, et M. Bibron, professeur d'Histoire naturelle. 10 vol. et 10 livraisons de planches.
Fig. noires. 130 fr.
Fig. coloriées. 210 fr.

Poissons, par M. A.-Aug. Duméril, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, professeur agrégé libre à la Faculté de Médecine de Paris. Tomes I et II (en 3 volumes) avec 2 livraisons de planches. (*En publication*).
Fig. noires. 34 fr.
Fig. coloriées. 50 fr.

Entomologie (Introduction à l'), comprenant les principes généraux de l'Anatomie, de la Physiologie des Insectes ; des détails sur leurs mœurs, et un résumé des principaux systèmes de classification, etc., par M. Lacordaire, professeur à l'Université de Liège. (*Ouvrage adopté et recommandé par l'Université pour être placé dans les bibliothèques des Facultés et des Collèges, et donné en prix aux élèves*). 2 vol. et 2 livraisons de planches.
Fig. noires. 25 fr.
Fig. coloriées. 40 fr.

Insectes Coléoptères (Cantharides, Charançons, Hannetons, Scarabées, etc.) par M. LACORDAIRE, professeur à l'Université de Liège, et M. le Dr CHAPUIS, membre de l'Académie royale de Belgique. 14 vol. avec 13 livraisons de planches.
Fig. noires. 170 fr.
(*Manque de coloris*).

— **Orthoptères** (Grillons, Criquets, Sauterelles), par M. AUDINET-SERVILLE, membre de la Société entomologique de France. 1 vol. et 1 livraison de pl.
Fig. noires. 13 fr.
Fig. coloriées. 21 fr.

— **Hémiptères** (Cigales, Punaises, Cochenilles, etc.) par MM. AMYOT et SERVILLE. 1 vol. et 1 livraison de planches.
Fig. noires. 13 fr.
(*Manque de coloris*).

Insectes Lépidoptères (Papillons). *Les deux parties de cet ouvrage se vendent séparément.*

— DIURNES, par M. BOISDUVAL, tome Ier, avec 2 livraisons de planches. (*En publication*).
Fig. noires. 17 fr.
(*Manque de coloris*).

— NOCTURNES, par MM. BOISDUVAL et GUÉNÉE, tome Ier, avec 1 livraison de planches, tomes V à X, avec 5 livraisons de planches. (*En publication*).
Fig. noires. 90 fr.
Fig. coloriées. 125 fr.

— **Névroptères** (Demoiselles, Éphémères, etc.), par M. le docteur RAMBUR. 1 vol. et 1 livraison de planches (*Epuisé*).

— **Hyménoptères** (Abeilles, Guêpes, Fourmis, etc.), par M. le comte LEPELLETIER DE SAINT-FARGEAU et M. BRULLÉ. 4 vol. avec 4 livraisons de planches.
Fig. noires. 50 fr.
Fig. coloriées. 90 fr.

— **Diptères** (Mouches, Cousins, etc.), par M. MACQUART, ancien recteur du Muséum d'Histoire naturelle de Lille. 2 vol. et 2 livraisons de planches.
(*Epuisé.*)

— **Aptères** (Araignées, Scorpions, etc.), par MM. WALCKENAER et GERVAIS. 4 vol. avec 5 livraisons de planches.
Fig. noires. 54 fr.
(*Manque de coloris*).

Crustacés (Ecrevisses, Homards, Crabes, etc.), comprenant l'Anatomie, la Physiologie et la classification de ces animaux, par M. MILNE-EDWARDS, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, etc. 3 vol. avec 4 livraisons de planches.
Fig. noires. 42 fr.
(*Manque de coloris*).

Helminthes ou Vers intestinaux, par M. DUJARDIN, doyen de la Faculté des Sciences de Rennes. 1 vol. avec 1 livraison de planches

Fig. noires. 13 fr.
(*Manque de coloris*).

Annelés marins et d'eau douce (Annélides, Géphyriens, Sangsues, Lombrics, etc.), par M. DE QUATREFAGES, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, et M. Léon VAILLANT, professeur au Muséum d'Histoire naturelle. Tomes I et II (en 3 vol.) avec 2 livraisons de planches.
Fig noires. 32 fr.
Tome III (en 2 vol.) avec 1 livraison de planches.
Fig. noires. 22 fr.
(*Manque de coloris*).

Zoophytes Acalèphes (Physales, Béroés, Angèles, etc.), par M. LESSON, correspondant de l'Institut, pharmacien en chef de la Marine, à Rochefort. 1 vol. avec 1 livraison de pl.
Fig. noires. 13 fr.
(*Manque de coloris*)

— **Echinodermes** (Oursins, Palmettes, etc.), par MM. DUJARDIN, doyen de la Faculté des Sciences de Rennes, et HUPÉ, aide-naturaliste au Muséum de Paris. 1 vol. avec 1 livraison de planches.
Fig. noires. 13 fr.
Fig. coloriées. 21 fr.

— **Coralliaires** ou POLYPES PROPREMENT DITS (Coraux, Gorgones, Eponges, etc.), par MM. MILNE-EDWARDS, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle, et J. HAIME, aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle. 3 vol. avec 3 livraisons de pl.
Fig. noires. 37 fr.
(*Manque de coloris*).

Zoophytes Infusoires (Animalcules microscopiques), par M. DUJARDIN, doyen de la Faculté des Sciences de Rennes. 1 vol. avec 2 livraisons de pl.
Fig. noires. 18 fr.
(*Manque de coloris*)

Botanique (Introduction à l'étude de la), ou Traité élémentaire de cette science, contenant l'Organographie, la Physiologie, etc., par M. DE CANDOLLE, professeur d'Histoire naturelle à Genève. (*Ouvrage autorisé par l'Université pour les Lycées et les Collèges*). 2 vol. et 1 livraison de planches noires. 22 fr.
Les planches ne sont pas coloriées.

Végétaux phanérogames (Organes sexuels apparents : Arbres, Arbrisseaux, Plantes d'agrément, etc.), par M. SPACH, aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle. 14 vol. avec 15 livraisons de pl.
Fig. noires. 180 fr.
Fig. coloriées. 300 fr.

Géologie (Histoire, Formation et Disposition des Matériaux qui composent l'écorce du globe terrestre), par M. HUOT, membre de plusieurs sociétés savantes. 2 vol. ensemble de plus de

1,500 pages, avec 2 livraisons de pl. noires. 26 fr.
Les planches ne sont pas coloriées.

Minéralogie (Pierres, Sels, Métaux, etc.), par M. DELAFOSSE, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle et à la Sorbonne. 3 vol. et 4 livraisons de planches noires. 43 fr.
Les planches ne sont pas coloriées.

PETITES SUITES A BUFFON

Format in-18

Histoire des Poissons classée par ordre, genres et espèces, d'après le système de Linné, avec les caractères génériques, par BLOCH et RÉNÉ-RICHARD CASTEL. 10 vol. accompagnés de 180 planches représentant 600 espèces de poissons dessinés d'après nature.
Fig. noires. 26 fr.

Histoire des Reptiles, par MM. SONNINI, naturaliste, et LATREILLE, membre de l'Institut. 4 vol. accompagnés de 54 planches, représentant environ 150 espèces différentes de serpents, vipères, couleuvres, lézards grenouilles, tortues, etc., dessinées d'après nature.
Fig. noires. 10 fr.

Histoire des Coquilles, contenant leur description, leurs mœurs et leurs usages, par M. BOSC, membre de l'Institut. 5 vol. accompagnés de planches.
Fig. noires. 10 fr. 50

Histoire naturelle des Végétaux classés par familles, avec la citation de la classe et de l'ordre de Linné, et l'indication de l'usage qu'on peut faire des plantes dans les arts, le commerce, l'agriculture, le jardinage, la médecine, etc.; des figures dessinées d'après nature, et un GENERA complet, selon le système de Linné, avec des renvois aux familles naturelles de Jussieu, par J.-B. LAMARCK et C.-F.-B. DE MIRBEL. 15 vol. in-18 accompagnés de 120 planches.
Fig. noires. 30 fr.
Fig. coloriées. 46 fr.

Histoire naturelle des Vers, par M. BOSC, membre de l'Institut. 3 vol.
Fig. noires. 6 fr. 50
Fig. coloriées. 10 fr. 50

Histoire des Insectes, composée d'après RÉAUMUR, GEOFFROY, DE GEER, ROESEL, LINNÉ, FABRICIUS, et les meilleurs ouvrages qui ont paru sur cette partie; rédigée suivant les méthodes d'Olivier, de La-

treille, avec des notes, plusieurs observations nouvelles et des figures dessinées d'après nature, par F.-M.-G. DE TIGNY et BRONGNIART, pour les généralités. Edition augmentée par M. GUÉRIN. 10 vol. ornés de planches. Fig. noires. 23 fr.

Histoire des Crustacés, contenant leur description, leurs mœurs et leurs usages, par MM. Bosc et DESMAREST. 2 vol. accompagnés de 18 planches. Fig. noires. 7 fr. 50

OUVRAGES DIVERS D'HISTOIRE NATURELLE

Arachnides (Les) de France, par M. E. SIMON, membre de la Société entomologique de France.

Tome 1er, contenant les Familles des Epeiridæ, Uloboridæ, Dictynidæ, Enyoidæ et Pholcidæ. 1 vol. in-8°, accompagné de 3 planches. 12 fr.

Tome 2, contenant les Familles des Urocteidæ, Agelenidæ, Thomisidæ et Sparassidæ. 1 vol. in-8°, accompagné de 7 planches. 12 fr.

Tome 3, contenant les Familles des Attidæ, Oxyopidæ et Lycosidæ. 1 vol. in-8°, accompagné de 4 planches. 12 fr.

Tome 4, contenant la Famille des Drassidæ. 1 vol. in-8°, accompagné de 5 planches. 12 fr.

Tome 5 (1re partie), contenant la Famille des Epeiridæ (supplément) et des Theridionidæ. 1 vol. in-8°, accompagné de planches. 12 fr.

Tome 5 (2e partie), contenant la Famille des Theridionidæ (suite). 1 vol. in-8°, accompagné de planches et orné de figures. 12 fr.

Tome 5 (3e partie), contenant la Famille des Theridionidæ (fin). 1 vol. in-8°, accompagné de planches et orné de figures. 12 fr.

Tome 6. (*En préparation.*)

Tome 7, contenant les Familles des Chernetes, Scorpiones et Opiliones. 1 vol. in-8°, accompagné de planches. 12 fr.

Histoire naturelle des Araignées, par M. EUG. SIMON, *Deuxième édition.*

Tome premier, *1er fascicule* contenant 215 figures intercalées dans le texte. 1 vol. grand in-8° de 256 pages. 6 fr.

Tome premier, *2e fascicule* contenant 275 figures intercalées dans le texte. 1 vol. grand in-8°. 6 fr.

Tome premier, *3e fascicule* contenant 347 figures intercalées dans le texte. 1 vol. grand in-8°. 6 fr.

Tome premier, *4e et dernier fascicule* (du tome 1er), contenant 261 figures 1 vol. grand in-8°. 6 fr.

Tome second, *1er fascicule* contenant 200 figures intercalées dans le texte. 1 vol. grand in-8°. 6 fr.

Tome second, *2e fascicule* contenant 184 figures intercalées dans le texte. 1 vol. grand in-8. 6 fr.

Tome second, *3e fascicule* contenant 407 figures. 6 fr.

Tome second, *4e et dernier fascicule* contenant 329 figures. 6 fr.

Catalogue des espèces actuellement connues de la famille des Trochilides, par Eugène Simon, brochure in-8°. 3 fr.

OUVRAGES D'ASSORTIMENT

Aranéides des îles de la Réunion, Maurice et Madagascar, par M. Aug. Vinson. 1 gros volume in-8, illustré de 14 planches.

Fig. noires. 20 fr.

Astronomie des Demoiselles, ou Entretiens entre un frère et sa sœur, sur la mécanique céleste, par James Fergusson et M. Quétrin. 1 vol. in-12. 3 fr. 50

Botanique (La), de J.-J. Rousseau, contenant tout ce qu'il a écrit sur cette science, augmentée de l'exposition de la méthode de Tournefort et de Linné, suivie d'un Dictionnaire de botanique et de notes historiques, par M. Deville. 2e édition, 1 gros vol. in-12, orné de 8 planches.

Figures noires. 4 fr.

Choix des plus belles fleurs et des plus beaux fruits, par P.-J. Redouté, peintre d'histoire naturelle.

100 planches différentes coloriées. Chaque pl. 1 fr.

Collection iconographique et historique des Chenilles d'Europe, ou Description et figures de ces Chenilles, avec l'histoire de leurs métamorphoses, et leur application à l'agriculture, par MM. Boisduval, Rambur et Graslin.

Cette collection se compose de 42 livraisons, format grand in-8, papier vélin : chaque livraison comprend *trois planches coloriées* et le texte correspondant.

Les 42 livraisons réunies (la pl. I des Papillonides n'a jamais existé) : 100 fr.

Cours d'agriculture, de viticulture et de jardinage, par Mathieu Risler (1849). 1 vol. in-12. 2 fr.

Fauna japonica, sive Descriptio animalium quæ in itinere per Japoniam jussu et auspiciis superiorum, qui

summum in India Batava imperium tenent, suscepto anni 1823-1830, collegit, notis, observationibus et adumbrationibus illustravit Ph. Fr. de Siebold.

Reptiles, 3 livraisons noires. Ensemble 25 fr.

Faune de l'Oceanie, par M. le docteur Boisduval. 1 gros vol. in-8, imprimé sur grand papier. 10 fr.

Faune entomologique de Madagascar, Bourbon et Maurice. — *Lépidoptères*, par le docteur Boisduval ; avec des notes sur leurs métamorphoses, par M. Sganzin.

Huit livraisons, format grand in-8, papier vélin.

Planches noires. 10 fr.

Icones historique des Lépidoptères nouveaux ou peu connus, collection, avec figures coloriées, des papillons d'Europe nouvellement découverts, par M. le docteur Boisduval. Ouvrage formant le complément de tous les auteurs iconographes. Cet ouvrage se compose de 42 livraisons grand in-8, comprenant chacune *deux planches coloriées* et le texte correspondant.

Les 42 livraisons réunies. Coloriées. 100 fr.

Noires. 25 fr.

Nota. — Tome 2. Le texte s'arrête page 208. Toutes les fig. des planches 48 à 70 inclusivement sont décrites.

Les fig. des planches 71 à la fin ne sont pas décrites.

Manuel des Candidats à l'emploi de Vérificateur des Poids et Mesures, par Ravon. 2e éd., 1841. 1 vol. in-8. 5 fr.

Manuel des Sociétés de secours mutuels. Une brochure in-12. 1854. 0 fr. 50

Mémoires de la Société royale des Sciences de Liège. Première série, 1843 à 1866, 20 vol. à 7 fr.

Deuxième série, 1866 à 1887, 13 vol. à 7 fr.

Ministre (Le) de Wakefield, traduit en français par M. Aignan. 1 vol. in-12, avec figures. 1 fr.

Monographie des Erotyliens, famille de l'ordre des Coléoptères, par M. Th. Lacordaire. In-8. 9 fr.

Synonymia insectorum. — Genera et species curculionidum (ouvrage comprenant la synonymie et la description de tous les Curculionides connus), par M. Schoenherr. 8 tomes en 16 parties. (*Ouvrage terminé.*) 144 fr.

Théorie élémentaire de la Botanique, ou Exposition des principes de la classification naturelle et de l'art de décrire et d'étudier les végétaux, par M. de Candolle. 3e édition, 1 vol. in-8. 8 fr.

DÉPOT DES OUVRAGES

PUBLIÉS PAR LA

LIBRAIRIE FÉRET & FILS

DE BORDEAUX.

Andrieu (P.). — Le Sucrage des Vendanges. Les vins de première cuvée avec chaptalisation des moûts. Les vins de sucre avec corrections dans leur composition. 1903, in-8, broché. 1 fr. 50

— Nouvelle méthode de vinification de la vendange par sulfitage et levurage. 1903, in-8, br. 0 fr. 60

— 1904, in-8°, br. 0 fr. 60

— 1905, in-8°, br. 0 fr. 60

— 1906, in-8°, br. 0 fr. 60

— 1907, in-8°, br. 0 fr. 60

— 1908, in-8°, br. 0 fr. 60

— Les Caves de réserve pour les vins ordinaires, 1904, in-8°, br. 0 fr. 75

Audebert. — La lutte contre l'Eudémis Botrana, la Cochylis et l'Altise. Bordeaux, 1902. 0 fr. 50

Audebert II (Tristan). — La chasse à la palombe dans le Bazadais, 1907, in-18 avec planches. 3 fr.

Barbe. — De l'élevage du cheval dans le sud-ouest de la France et principalement dans la Gironde et les Landes, et de son hygiène. Hygiène des animaux en général et de leurs habitations. 1903, 1 vol. in-8, br. 6 fr.

Batz-Trenquelléon (Ch. de). — Le vrai baron de Batz, rectifications historiques d'après des documents inédits. 1908, in-8. 2 fr.

Bellot des Minières. - Manuel pratique pour les traitements contre toutes les maladies cryptogamiques, à l'aide de l'ammoniure de cuivre en vases hermétiques, b. s. g. d. g. 1902, gr. in-8. 0 fr. 50

— La question viticole. 1902, gr. in-8. 1 fr. 50

Berniard. — L'Algérie et ses vins :

1re partie : prov. d'Oran. Ouv. illustré et accompagné d'une carte vinicole de la province d'Oran. 1888, in-18. 3 fr.

2e partie : prov. d Alger. Ouv. illustré et accomp. d'une carte vinicole de cette province. Bordeaux, 1890, in-18. 3 fr.

3e partie : prov. de Constantine. Ouv. illustré et accompagné d'une carte vinicole de cette prov. 1892, in-18. 3 fr.

Bitterolff. — Nouveau système astronomique. Lois nouvelles de la gravitation universelle. 1902, in-18. 5 fr.

Blarez (Dr). — Cours de chimie organique (programme aide-mémoire des leçons), in-18. 3 fr.

Bonton (A.). — Traité de cuisine bourgeoise bordelaise, 1906, 1 gros vol. in-18 jès., cartonné 3 fr.

Boué (L.). — A travers l'Europe. Impressions poétiques, ornées de 101 compositions dues à 60 artistes de Paris ou de Bordeaux, avec préface de Th. Froment, in-folio de luxe tiré à 625 exempl., dont 25 exempl. sur Japon. Prix sur vélin, 30 fr.; relié toile genre amateur, 37 fr.; sur Japon. 100 fr.

Carles (Dr P.). — Etude chimique et hygiénique du vin en général et du vin de Bordeaux en particulier. 1880, in-8. 3 fr.

— Dérivés tartriques du vin ; 3e éd., Bordeaux, 1903, in-8 (Prix Montyon de l'Institut de France, 1898). 4 fr. 50

— Bouquet naturel des vins et eaux-de-vie. 1897, 1 fr.

— Le vin, le vermouth, les apéritifs et le froid. 1900, in-8. 1 fr.

— Le pain des diabétiques, in-8. 0 fr. 50

— L'acide sulfureux en œnologie et en œnotechnie. Bordeaux, 1905. 1 fr.

— Les vins de Graves de la Gironde, vinification et conservation, 1907, in-8. 0 fr. 60

— Le vin et les Eaux-de-vie de France, 2e édition, 1908, in-8. 0 fr. 40

Carrère (H). — Scènes et saynètes. Lettre préface de Jacques Normand, in-12. 3 fr. 50

(Ouvrages pour les familles et les pensions).

Cazenave. — Manuel pratique de la culture de la vigne dans la Gironde, 2e édition, 1889, in-12, br. 304 p. 3 fr.

Daniel (L.). — La question phylloxérique. — Le greffage et la crise viticole, préface de M. Gaston Bonnier, membre de l'Institut. 1908, fascicule 1er, gr. in-8°, 184 p., orné de 81 dessins en noir et 1 pl. hors texte en couleurs. 6 fr.

Daurel (J.). — Album des raisins de cuve de la Gironde et de la région du S.-O., avec leur description et leur synonymie, avec 15 gr. color. gr. nat., 5 gr. en phototyp. Bordeaux, 1892, in-4, br. 7 fr.

(Publication de luxe couronnée par la Société des Agriculteurs de France).

Dezeimeris (R). — D'une cause de dépérissement de la vigne et des moyens d'y porter remède, 5e édition, Bordeaux, 1891, in-8, br. 82 p. et 4 pl. hors texte. 2 fr. 50

Denigès (Dr G.). — Exposé élémentaire des principes fondamentaux de la théorie atomique ; 2e édition, 1895, in-8, 120 p. 3 fr. 50.

Féret (Ed.). — **Annuaire du Tout Sud-Ouest** illustré, 1904. Bordeaux, 1 gros vol. petit in-8°, 1,300 p., illustré, par Marcel de Fonrémis, de vues de châteaux, portraits, etc., cartonné toile. 9 fr.
Reliure de luxe. 12 fr.

Féret. — Annuaire du Tout Sud-Ouest illustré, 1905-1906. 1,520 pages, cart. toile. 9 fr.
Reliure de luxe. 12 fr.

Féret (Ed.). — **Bordeaux et ses vins** classés par ordre de mérite, 8e édition. Bordeaux, 1908, in-12 br., avec 700 vues de châteaux et 10 cart. vinic. 9 fr.
Le même relié toile anglaise. 10 fr.
Le même sans les cartes br. 7 fr.

— Bordeaux and its Wines classed bv order of merit 3d english edition, translated from the 7d french édition by M. Ravenscrofit, illustrated by Eug. Vergez. 10 fr.
Le même relié toile. 11 fr. 50

— Bordeaux und Seine Weine, trad. sur la 6e édition française par Paul Wend. Bordeaux et Stettin, 1893, in-12, br., 851 p. enrichie de 400 vues de châteaux. 12 fr. 50
Le même relié. 15 fr.

— Album des grands crus classés du Médoc syndiqués, 1908, in-8. 1 fr. 25

— Les vins de Médoc, avec ill. d'Eug. Vergez et 4 cartes, in-18 j., 260 p. 3 fr.

— Les vins de Graves rouges et blancs, avec ill. d'Eug. Vergez et cartes, in-18 j., 146 p. 2 fr.

— Le pays de Sauternes et les vins blancs de Podensac et de Langon, avec ill. et cart. 2 fr.

— Saint-Emilion et ses vins et les principaux vins de l'arrondissement de Libourne, avec illust., et cartes vinicoles, in-18 j., 264 p. 3 fr.

— Les vins du Cubzadais, du Bourgeais et du Blayais, avec ill. et cart. 2 fr.

— Les vins de l'Entre-Deux-Mers, avec ill. et cart. 3 fr.

Ces ouvrages sont tirés de la 8e éd. de *Bordeaux et ses vins*.

— Caractère des récoltes de 1795 à nos jours. Bordeaux, 1898, 16 p. et une carte vinicole de la Gironde. 0 fr. 75

Le même en anglais. 0 fr. 75

— Carnet de statistique du négociant en vins, destiné à recevoir des notes sur 2,000 crus de la Gironde. Bordeaux, 1894, in-12, toile. 2 fr.

— Bordeaux et ses monuments, in-8, br., 90 p., 2 plans et 31 gr. 2 fr.

Feret (Ed.). — Dictionnaire Manuel du maître de chai et du négociant en vins, guide utile à quiconque veut vendre ou manipuler des vins et des spiritueux. 1 vol. in-18, ill. Bordeaux, 1898, 6 fr., cart. 7 fr.

— Le même ne contenant que les articles utiles au maître de chai 3 fr. 50, cart. 4 fr. 50

— Bergerac et ses vins et les principaux crus du département de la Dordogne. 1 vol. in-18 jésus illustré, 3 fr. 50 cart. 5 fr.

Carte vinicole du Médoc et de l'arrondissement de Blaye, extraite de la carte de la Gironde au 1/160000 ; 1 feuille gr. colombier, tirée en trois couleurs. 3 fr.

La même sur toile pleine. 4 fr. 50

Nouvelle carte routière et vinicole de la Gironde à l'échelle de 1/160000, dressée par Félix Feret pour accompagner l'ouvrage *Bordeaux et ses vins*; 1 feuille gr.-aigle, imprim. en trois couleurs et color. par contrées vinicoles (1893). 6 fr.

La même, collée sur toile, pliée, cartonnée. 10 fr.

La même collée sur toile vernie, montée avec gorge et rouleau. 14 fr.

— Statistique générale du départt de la Gironde, 3 tomes en 4 vol. gr. in-8; prix pour les souscripteurs. 52 fr.

Le tome I : Partie topographique, scientique, agricole, industrielle, commerciale et administrative ; 1 vol. gr. in-8 de 1,000 p. est en vente au prix de 16 fr.

Le tome II : Partie agricole et viticole; 1 vol. gr.-8, avec supplément 1,100 p., orné de 300 gr. est à peu près épuisé; ce volume ne se vend qu'avec le t. I au prix de 36 francs les deux vol.

Le tome III : 1re partie, bibliographie; 1 vol. gr. in-8, br., 628 p., est en vente au prix de 10 fr.

2e partie, archéologique ; 1 vol. gr. in-8, br., d'environ 500 p., orné d'illustrations de MM. Léo Drouyn, Vergez, etc. (sous presse).

— Supplément à la statistique générale de la Gironde part. vinic.). Bordeaux, 1880, in-8, 169 p. avec 50 vues. 4 fr.

Gautier (Paul). — Au fil du rêve, poésies, 1905. in-18, 120 p. 3 fr.

Gayon. — Etude sur les appareils de pasteurisation des vins en bouteilles et en fûts, avec vignettes ; in-8, 1895. 2 fr.

— Expériences sur la pasteurisation des vins de la Gironde. Bordeaux, 1895, in-8, 59 p. 1 fr. 25

Gayon, Blarez et Dubourg. — Analyse chimique des vins rouges du département de la Gironde, récolte de 1887. Bordeaux, 1888, in-8. br., 47 p. 1 fr. 50

— Analyse chimique des vins du département de la Gironde, récolte de 1888. 1889, in-8, br., 31 p. 1 fr. 50

Gébelin. — Eléments de géographie. Nouvelle édition par M. Marion.

Europe (moins la France). 1900, in-18. 2 fr.
France et colonies françaises. 1899, in-18. 2 fr.
La Terre, l'Amérique. 1899, in-18. 1 fr. 50
Asie, Afrique, Océanie. in-18. 1 fr. 50

Grandjean. — Le baron de Charlevoix-Villiers et la fixation des Dunes, in-8. 1 fr.

Guillaud (Dr J.-A.). — Flore de Bordeaux et du Sud-Ouest, analyse et description sommaire des plantes sauvages et généralement cultivées dans cette région ; Phanérogames, 326 p., br. 4 fr. 50 ; cartonné 5 fr. 50

Guillon (J.-M.), dir. de la station viticole de Cognac. — Notes sur la reconstitution du vignoble, avec fig., 1900, gr. in-8. 1 fr. 25

Hugo d'Alési. — Panorama de Bordeaux, fac-simile d'aquarelle sur bristol. 6 fr.

Juhel-Rénoy. — Conseils sur la fabrication et la conservation du cidre. 1897, in-18, 60 p. 1 fr. 25

Kehrig (H.). — La cochylis. Des moyens de la combattre. 3e éd., 1893, in-8, 2 pl. 2 fr. 50

— L'Eudémis. Les moyens proposés pour la combattre. 1907. 0 fr. 50

— Le vin chez le consommateur. Conseils pratiques, 4e éd., in-18, 12 p. 0 fr. 25

— Le soutirage des vins, 2e édition. 1907. 0 fr. 50

— Le privilège des vins à Bordeaux jusqu'en 1889, suivi d'un appendice comprenant le Ban des Vendanges, des Courtiers, de Taverniers ; prix payés pour les vins du XIIe au XVIIIe siècle, tableau de l'exploitation des vignes en 1825 Ouvrage couronné par l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux. 1886, gr. in-8, 116 p. 2 fr. 50

Labat (Gustave). — Gustave de Galard, sa vie et son œuvre (1779-1841); in-4o, orné de 4 pl. hors texte, dessins inédits du maître. 1896, in-4. 15 fr.

Laborde (J.). — Cours d'Œnologie. Tome I. Maturation du raisin. Fermentation alcoolique. Vinification des raisins rouges et blancs, avec préface de V. Gayon. 1908. 1 vol. gr. in-8o, avec 55 fig. et 1 planche hors texte. 5 fr.

Lapierre (A.). — Plan de la ville de Bordeaux avec les lignes de tramways et omnibus, à l'échelle du 1/10000, dressé par A. Lapierre. 1 fr. 50

Le même, colorié. 2 fr. 50

Lemaignan. — Utilisation des marcs de raisin pour fabriquer d'excellentes piquettes, pour nourrir le bétail et comme engrais. 1906, gr. in-8o. 0 fr. 25

Loquin (Anatole). — Le Masque de fer et le livre de M. Funck-Brentano. Bordeaux, 1898, in-8. 0 fr. 60

— Le Prisonnier masqué de la Bastille. Son histoire authentique. Bordeaux, 1900, in-12. 3 fr. 50

Malzevin (P.). — Etudes sur la viti-viniculture, 1905, gr. in-8o. 4 fr.

Mathé (E.). — De Bordeaux à Paris par la Chine, le Japon et l'Amérique. 1907, 1 vol. in-18 orné de figures. 4 fr.

Matignon (J. J.). — Le siège de la légation de France (Pékin, du 15 juin au 15 août 1900). Conférences faites à Bordeaux, in-8. 1 fr. 50

Meric (G.). — Le black-rot. Tableau donnant grandeur nature en chromo, feuilles et grains atteints par le black-rot, avec texte explicatif. 0 fr. 75

Montaigne (Michel de). — Nouvelle édition publiée par MM. H. Barckhausen et R. Dezeimeris. contenant la reproduction de la 1re édition, avec les variantes des 2e et 3e éditions; 2 vol. in-8, édition de luxe (Publication de la Société des Bibliophiles de Guyenne). 15 fr.

Pabon (Louis). — Dictionnaire des usages commerciaux et maritimes de la place de Bordeaux et des places voisines. Bordeaux, 1888, in-8, br., 214 p. 3 fr. 50

Panajou (F.). — Barèges et ses env. 1904, 1 vol. in-12, 110 p., 80 phot., 2 pan. h. t., 1 c. de la rég., br. 2 fr. 25

Perceval (Emile de). — Le président Emérigon et ses amis (1795-1847), in-8. 10 fr.

Poignant (M. P.). — Coefficient économique des machines à vapeur en raison de la détente du cylindre et de la formule $\frac{t - to}{t}$ Surchauffe de la vapeur. 1902, in-8. 1 fr. 50

Rouhet. — De l'entraînement complet et expérimental de l'homme, avec étude sur la voix articulée, suivi de recherches physiologiques et pratiques sur le cheval, gr. in-8, illustré. 10 fr.

— L'Equitation, gr. in-8 illustré. 3 fr. 50

Saint-Laurent (Pierre). — Chiens de défense et chiens de garde, races, éducation, dressage. Préface de M. Cunisset-Carnot, 1907, in-8° avec planches. 2 fr.

Salvat. — Le pin maritime, sa culture, ses productions. Bordeaux, 1891, in-12, br., 39 p. 1 fr.

Sud-Ouest navigable (1er Congrès du), tenu à Bordeaux les 12, 13 et 14 juin 1902. Compte rendu des travaux. 1902, gr. in-8. 5 fr.

Usages locaux du département de la Gironde publiés suivant la délibération du Conseil général, 2e éd. revue et augmentée. 1900, in-12. 2 fr. 50

Viard (E.). — Etude sur les vins au point de vue de leur action sur l'organisme. 1904, gr. in-8. 1 fr.

Ajouter 10 0/0 du prix de l'ouvrage pour l'envoi franco, plus 25 centimes de recommandation pour l'Etranger.

BAR-SUR-SEINE. — IMP. Ve C. SAILLARD.

ENCYCLOPÉDIE-RORET

COLLECTION

DES

MANUELS-RORET

FORMANT UNE

ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES & DES ARTS

FORMAT IN-18

Par une réunion de Savants et d'Industriels

Tous les Traités se vendent séparément.

La plupart des volumes, de 300 à 400 pages, renferment des planches parfaitement dessinées et gravées, et des vignettes intercalées dans le texte.

Les Manuels épuisés sont revus avec soin et mis au niveau de la Science à chaque édition. Aucun Manuel n'est cliché, afin de permettre d'y introduire les modifications et les additions indispensables.

Cette mesure, qui met l'Editeur dans la nécessité de renouveler à chaque édition les frais de composition typographique, doit empêcher le Public de comparer le prix des *Manuels-Roret* avec celui des autres ouvrages, tirés sur cliché à chaque édition, et ne bénéficiant d'aucune amélioration.

Pour recevoir chaque volume franc de port, on joindra, à la lettre de demande, un mandat sur la poste (de préférence aux timbres-poste) équivalant au prix porté au Catalogue.

Cette franchise de port ne concerne que la **Collection des Manuels-Roret** et n'est applicable qu'à la France et à l'Algérie. Les volumes expédiés à l'Etranger seront grevés des frais de poste établis d'après les conventions internationales.

Bar-sur-Seine. — Imp. Ve C. Saillard.