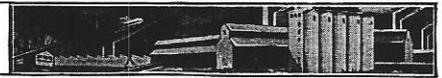


Fig. 25. — *Vue d'ensemble d'un haut fourneau et cerclage de la cuve.*



Les grands travaux exécutés à la Division des Hauts Fourneaux des Usines d'Ougrée-Marihaye, à Ougrée.

Par MAURICE DERCLAYE,

INGÉNIEUR A. I. LG., DIRECTEUR DE LA DIVISION DES HAUTS FOURNEAUX DE LA S. A. D'OUGRÉE-MARIHAYE, A OUGRÉE.

Suite (1)

II. But et travail du haut fourneau.

La métallurgie de la fonte a pour but d'extraire le fer de ses minerais. Le minerai, qui n'est autre chose que de l'oxyde de fer mélangé avec des terres argileuses, alumineuses ou calcareuses, doit être dépouillé de son oxygène pour mettre le métal en liberté. Cette réaction chimique, appelée réduction, est réalisée en mettant le minerai en contact avec un réducteur, autrement dit avec un corps avide d'oxygène, en l'occurrence l'oxyde de carbone produit par la combustion du coke sans grande épaisseur (fig. 26).

L'opération est pratiquée dans un four à cuve, appelé haut fourneau, dans lequel le minerai est chargé alternativement avec le combustible nécessaire à sa réduction et à sa fusion.

Le profil traditionnel des hauts fourneaux, composé de deux troncs de cône juxtaposés par leur grande base, résulte d'une pratique séculaire.

Les charges froides déversées dans la partie supérieure du four, au gueulard (voir plan 26) s'échauffent progressivement dans leur descente; elles ont tendance à se dilater et l'inclinaison des parois de la cuve doit faciliter cette dilatation, sinon, on empêcherait la descente régulière des charges.

Par ailleurs, les gaz produits au bas du four par combustion du coke sous l'action de vent

soufflé par des tuyères, doivent traverser uniformément toute la section du four, mais comme ils ont tendance à monter aux parois, il faut contrarier cette tendance en facilitant leur diffusion.

La nécessité d'une bonne répartition du courant ascendant conduit à un évasement du profil, immédiatement au-dessus des tuyères, autrement dit à un évasement auquel on a donné le nom « d'étagères ». La nécessité d'assurer, d'autre part, la descente régulière des charges oblige à limiter la hauteur de ces étagères et à lui superposer un profil rétréci qui porte le nom de « cuve ».

La partie du fourneau située en dessous des deux troncs de cône est cylindrique et porte le nom de creuset. Cette partie du fourneau est garnie de tuyères destinées à l'insufflation de vent nécessaire à la combustion. En dessous des tuyères, elle sert de réceptacle aux produits élaborés dans les fourneaux: la fonte et le laitier.

Ces produits, de poids spécifiques différents, se superposent par ordre de densité, la fonte, plus dense, occupe le fond du creuset et le laitier, plus léger, surnage par dessus, comme l'huile au-dessus d'un réservoir rempli d'eau.

Un trou pratiqué au fond du creuset, appelé trou de coulée ou stoupa, sert à l'évacuation de la fonte, tandis qu'un orifice percé à un niveau supérieur, dénommé trou de lâchage ou chios, permet le soutirage du laitier.

Pour maintenir le profil du fourneau, dans les étagères et dans la partie supérieure du creu-

(1) Voir n° de mai.

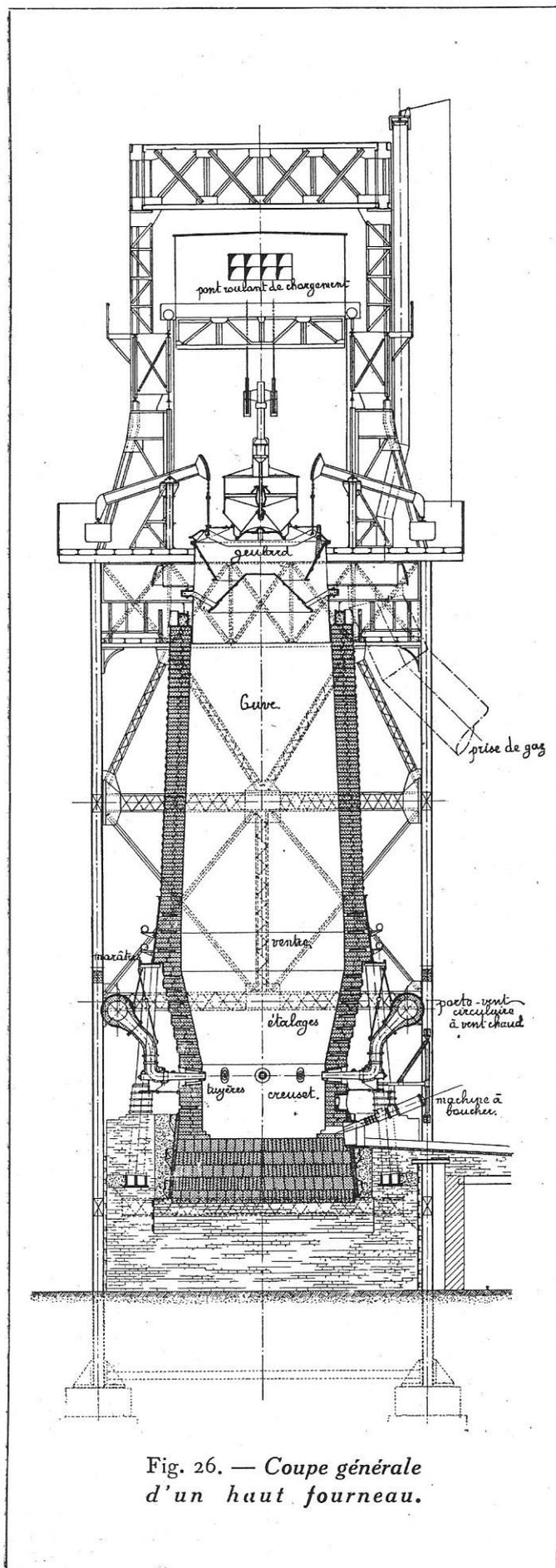


Fig. 26. — Coupe générale d'un haut fourneau.

set, la ou les maçonneries sont en contact avec des matières rendues pâteuses par la forte température qui y règne, on introduit dans l'épaisseur de ces dernières des bâches refroidissantes à circulation d'eau. Quant au creuset, renfermant la fonte et le laitier, à l'état de fusion, il est nécessaire de le refroidir abondamment par ruissellement d'eau extérieure sur un blindage massif. Sans ce refroidissement intense, la fonte rongerait rapidement les maçonneries et s'épancherait au dehors en provoquant de graves accidents.

Les tuyères destinées à insuffler le vent que l'on a préalablement chauffé à une température voisine de 800 degrés, sont en cuivre pur et à circulation intense d'eau pour empêcher leur destruction sous l'action de la chaleur.

Le combustible est introduit sous forme de coke, c'est-à-dire en morceau, parce que, sous tout autre état, le combustible serait incapable de résister à la forte pression des charges et empêcherait, par sa compacité, le mouvement ascensionnel des gaz réducteurs.

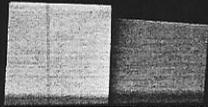
L'air, préalablement chauffé, est insufflé par de puissantes souffleries à la base du four, comme déjà dit, à travers de nombreuses tuyères. Sous l'action de ce courant d'air, le coke brûle en dégageant suffisamment de chaleur pour provoquer la fusion du fer réduit et des scories, tout en produisant l'oxyde de carbone nécessaire à la réduction.

Ce gaz réducteur traverse dans son mouvement ascensionnel la masse descendante des matières constituant le lit de fusion et provoque la réduction progressive du minerai à l'état de métal.

Le processus des échanges de chaleur et des réactions diverses qui se passent à l'intérieur du fourneau, agissant sur la colonne descendante des matières formant le lit de fusion, amènent progressivement ces dernières aux deux états finals caractérisés par ce qu'on appelle la fonte, alliage de fer avec des métaux et métalloïdes secondaires d'une part et, d'autre part, par le laitier, solution naturelle des gangues contenues dans le lit de fusion et de quelques oxydes non réduits.

La composition de la fonte obtenue conjointement avec le laitier dépend de la composition de ce dernier et, par conséquent, de celle du lit de fusion dont il émane.

La fonte est donc un alliage complexe tenant



97 % de fer et, pour le restant, du carbone, du silicium, du manganèse, du phosphore et du soufre.

La fonte, en elle-même, est peu susceptible d'applications: elle sert au moulage des pièces mécaniques. Le plus généralement, elle est affinée, c'est-à-dire débarrassée des métaux et métalloïdes étrangers. Pour l'obtention de fer pur, il faut enlever jusqu'aux dernières traces de corps étrangers; pour l'obtention d'acier, il faut, au contraire, laisser subsister certaines quantités de carbone surtout et quelques trace de silicium, manganèse et phosphore. Ce sont des éléments utiles à la qualité des aciers.

En tous cas, on s'efforce de faire disparaître aussi complètement que possible le soufre qui enlève aux aciers les qualités pour lesquelles ils sont recherchés.

Mais ici, nous touchons au domaine de l'aciérie, qui a pour objet la transformation de la fonte en acier et qui n'intéresse pas cette étude.

Le laitier, ou résidu du traitement des minerais, était autrefois conduit au crassier. Aujourd'hui, on granule le laitier, c'est-à-dire qu'à la sortie du fourneau, on le laisse tomber dans un fort courant d'eau.

Sous cette forme, le laitier acquiert des propriétés pouzzolaniques qui le font rechercher pour la confection des ciments dits « ciments de laitier » et pour la fabrication des briques de laitier.

Le laitier coulé en pains est utilisé, après concassage, comme ballast pour les chemins de fer; ce ballast, imprégné de goudron, convient admirablement à la construction des routes modernes.

Dans son mouvement ascensionnel, le courant gazeux, composé à l'origine d'oxyde de carbone et d'azote, accomplit son rôle réducteur sur le minerai; l'oxyde de carbone s'enrichit progressivement de l'oxygène enlevé aux minerais et se transforme en acide carbonique inerte.

Mais cette transformation, en vertu des lois des équilibres chimiques, n'est pas complète et le gaz sortant du gueulard contient encore une notable quantité d'oxyde de carbone, gaz combustible.

Autrefois, ces gaz inutilisés étaient enflammés au gueulard et illuminaient la nuit de leurs lueurs impressionnantes. La technique a su capter ces

gaz et en les brûlant sous des chaudières, a pu récupérer les trésors calorifiques qu'ils contenaient, en produisant de la vapeur dont on se sert pour actionner les souffleries, les monte-charges et toutes les machines accessoires indispensables à la marche des fourneaux et aussi pour chauffer le vent injecté dans les tuyères.

Pour réaliser le chauffage du vent, le gaz est brûlé dans des appareils formés d'une grande masse de matériaux réfractaires composée de briques creuses ou disposées comme les ruches d'abeilles, auxquels on a donné, de ce fait, le nom de ruchage. Les appareils à chauffer le vent portent le nom de « Cowpers », du nom de leur inventeur.

Le gaz, en brûlant dans les Cowpers, cède sa chaleur aux ruches. Après échauffement complet, on interrompt la combustion du gaz et on fait traverser l'appareil par le vent froid provenant des souffleries. La chaleur emmagasinée par les ruches dans la période de chauffage est cédée au vent froid et porte ce dernier à des températures de l'ordre de 700 à 800 degrés.

Pour assurer la continuité de service, on dispose de plusieurs Cowpers en périodes de chauffage pendant que l'un d'eux est à la période de soufflage.

L'introduction du vent chaud dans le fourneau, au lieu de vent froid, active considérablement les phénomènes de combustion et de fusion et permet de réaliser une grande économie de combustible par tonne de fonte produite.

La technique moderne a encore trouvé une meilleure utilisation du pouvoir calorifique des gaz de gueulard de haut fourneau en remplaçant le groupe chaudière, machine à vapeur, par le moteur à gaz. Le gaz est brûlé directement dans le moteur même. On comprend qu'en supprimant l'intermédiaire constitué par la chaudière, on doit réaliser une grande économie; autrement dit, pour une même quantité de gaz disponible, le moteur à gaz est capable de produire une plus grande quantité d'énergie. L'économie réalisée est tellement considérable, qu'on a pu affirmer que la fonte n'est plus qu'un sous-produit du haut fourneau.

Toutefois, les débuts de l'application des moteurs à gaz ont été pénibles et ce ne fut que lors-



que de savants ingénieurs eurent trouvé le moyen d'épurer les gaz, c'est-à-dire de les débarrasser des poussières qu'ils entraînent avec eux, que l'essor du moteur à gaz a été sans limites.

Ainsi, les grandes usines à fonte moderne sont-elles complétées par de grosses installations destinées à épurer la totalité des gaz, surtout des gueulards avant leur emploi dans les cowpers ou dans les moteurs à gaz.

III. Progrès techniques réalisés dans la construction des hauts fourneaux à grosse production.

L'ensemble de la construction des hauts fourneaux est resté longtemps stationnaire dans la plupart des pays européens, abstraction faite des modifications de détail apportées par chacun selon son tempérament ou nécessitées par les dispositions locales et aussi par les terrains par trop morcelés de maintes régions industrielles encombrées.

Les réfections des usines provoquées soit par les déprédations de guerre, soit par la concentration industrielle consécutive au renchérissement de la main-d'œuvre, a été et est encore à l'ordre du jour dans beaucoup de pays. Les constructeurs ont recours aux méthodes ultra-modernes et n'hésitent même plus à réédifier les usines sur des terrains neufs et abandonner les installations anciennes, tant ces dernières se prêtent mal à toute conception moderne d'organisation.

Il n'est de secret pour personne que les tonnages réalisés dans les hauts fourneaux américains, de l'ordre de 600 à 700 tonnes par appareil, sont, à présent, dépassés en Allemagne, où l'on enregistre couramment des produits de 900, 1.000 et 1.100 T. en 24 heures.

Pour l'obtention de tonnages de cet ordre de grandeur, on a été forcément obligé d'accélérer la combustion du coke dans l'unité de temps et conséquemment d'accroître la surface de combustion dans le plan des tuyères. La hauteur du fourneau a dû être augmentée et portée à la limite de 27^m50, pour permettre la réduction de la charge de minerais dans un temps raisonnable, mais toutefois minimum de 9 heures.

L'augmentation de la pression du vent soufflé a été la conséquence de ces modifications.

La hauteur des étalages a été réduite jusqu'à l'extrême limite de 3^m20 pour concentrer la chaleur dans la partie inférieure du fourneau et l'angle des étalages a été porté à 80, voire même 82 degrés pour éviter la zone morte de raccord des étalages avec la cuve et pour assurer une meilleure répartition des gaz ascendants dans toute la section, et aussi une amélioration dans la descente des matières constituant le lit de fusion.

De larges gueulards ont été admis pour diminuer la vitesse du courant gazeux au sommet du four et la production des poussières; des dispositifs spéciaux ont même été imaginés pour réduire l'entraînement de ces dernières hors du fourneau.

Les fortes productions sont obtenues dans des conditions autrement économiques que dans nos anciens hauts fourneaux et je dirais même qu'elles sont réalisées bien plus aisément et avec moins d'aléas que jadis parce que, en définitive, l'élargissement du creuset a assuré une meilleure descente des charges.

De grands changements ont dû être apportés dans la conduite des fourneaux, car tout le problème des fortes productions se résume à une adaptation du fourneau à une forte combustion de coke, autrement dit à un fort débit de vent, absolument constant et continu.

En effet, tout changement dans l'allure influence l'étendue et l'intensité de la zone de combustion et, par là, entrave la descente des charges et favorise les irrégularités de marche.

Il faut donc trouver le moyen de supprimer les arrêts, comme lors du remplacement d'une tuyère, ou lors du bouchage du trou de coulée et d'éviter les accidents comme les percées et les accrochages et il faut systématiquement remplacer le travail manuel par celui de la machine, c'est-à-dire rompre avec les anciennes méthodes.

Ces modifications apportées dans la conduite des hauts fourneaux demandent nécessairement des transformations dans la construction de l'appareil.

Il faut bien remarquer toutefois que les demi-mesures sont inefficaces et que pour tirer le profit maximum d'une installation de hauts fourneaux à marche intensive, il faut que tous les détails de construction soient bien étudiés et tendent vers un



but final unique, celui de supprimer les arrêts.

C'est de cette question que je me propose de vous entretenir présentement.

Blindage du creuset. — Les creusets des hauts fourneaux à marche intensive varient de 5 à 6 m. de diamètre. Les tonnages considérables de fonte et de laitier contenus dans ces volumineux creusets rendent les conséquences d'une percée des plus graves.

La première préoccupation des constructeurs est, en conséquence, la recherche d'un blindage de creuset apte, sinon à éviter les percées, du moins à les rendre presque impossibles. Aussi, le blindage en billettes ou picotage a été totalement abandonné; celui au goudron avec tubes field noyés dans la masse et refroidi par tuyaux plongeurs, bien que donnant de meilleurs résultats, n'a pu résister aux exigences nouvelles.

On a adopté partout le blindage massif constitué par une série de segments en acier coulé de 80 à 120 mm d'épaisseur, à faces jointives parfaitement dressées, solidement boulonnés entre eux et fortement frettés extérieurement à l'aide de plusieurs plats (3 à 5) de 350 à 400 mm de largeur et 25 mm d'épaisseur et plus.

Ce blindage a la forme tronconique à évasement vers le bas; il descend à 2^m50 en dessous du trou de coulée et monte jusque sous la tympe du chios à laitier.

Les plaques sont refroidies par serpentins de 2 pouces noyés dans la masse et alimentés par eau sous pression.

La disposition des serpentins n'est pas quelconque, car, en cas de percée, il faut s'arranger pour que la vapeur produite puisse se dégager instantanément et ne reste pas emprisonnée au risque de faire exploser la taque. C'est pourquoi les serpentins sont constitués d'éléments courbés en U, les branches verticales orientées vers le haut.

Plusieurs branches sont réunies l'une à l'autre et une plaque de blindage ne possède ainsi qu'une seule entrée et une seule sortie. Les tuyaux d'amenée et de sortie sont placés à un niveau inférieur à celui du plancher de travail du fourneau et sont dirigés le long des colonnes des marâtres pour éviter tout encombrement autour du creuset.

La conicité donnée à l'ensemble du blindage suit la ligne d'usure du réfractaire à l'intérieur

du fourneau; le creuset a, en effet, tendance à s'user en forme de poire sous l'action du vent des tuyères qui se rabat vers le fond du creuset.

J'ai entendu certaine critique concernant cette forme du blindage évasée vers le bas. On prétend que, sous l'influence de la dilatation de la maçonnerie réfractaire du fond de creuset, ce corset conique a tendance à remonter.

Je n'ai rien remarqué de semblable à notre haut fourneau 2 blindé de cette façon et en activité depuis un an. Il faut naturellement prendre quelques précautions élémentaires; il faut tout d'abord faire choix d'une brique réfractaire à faible coefficient de dilatation; à l'heure actuelle, la Maison Scheidauer et Gissing fabrique des briques silico alumineuses de choix dont le coefficient de dilatation n'atteint pas 1/2 %. Au surplus, les briques de carbone, qui ont un coefficient de dilatation presque nul et dont la vogue se répand de plus en plus en Allemagne, conviennent également bien.

En ce qui nous concerne, nous avons bloqué la première assise du fond de creuset contre le blindage, mais les quatre assises supérieures ont été maçonnées en laissant un jeu de 1 à 2 cm. le long du blindage et ce jeu a été rempli par interposition d'une masse de goudron et de graphite, posée à chaud et damée au marteau pneumatique. Par dessus la sôle, les briques de creuset sont à nouveau bloquées contre le blindage sans aucune interposition.

Pour assurer un bon frettage des segments boulonnés, il faut naturellement que les frettes soient placées contre des parties cylindriques venues de fonte avec les plaques de blindage.

A l'endroit du trou de coulée, le blindage présente une fente allongée de 60 à 80 cm. de hauteur et de 40 à 50 cm. de largeur, renforcée par un fort bourrelet continu, entourant complètement l'orifice. Avec cette disposition, on peut suivre les variations dans la position du trou de coulée, variations forcément faibles dans des fourneaux dont l'axe des tuyères à vent est à 2^m50 à 3 m. au-dessus du fond du creuset.

Il n'y a rien à craindre à ce sujet, mais il convient ici de rappeler que lorsqu'on adopte un détail déterminé de construction, ce détail doit être en rapport avec l'ensemble. Une telle cons-



truction, adaptée à un petit fourneau de faible diamètre de creuset, de faible angle aux étalages (70-72 degrés) avec tuyères disposées à 1^m70. seulement au-dessus du fond du creuset, en définitive de faible contenance de creuset, et sujet aux garnissages, une telle construction peut donner lieu à de graves ennuis.

En effet, s'il y a chute de garnissages, le creuset s'engorge rapidement et on se trouve dans l'obligation de devoir remonter le trou de coulée. Par ailleurs, la hauteur du plan des tuyères à vent

au-dessus de la sôle étant insuffisante, le vent ronge le fond jusqu'à ce que cette distance atteigne naturellement les 2^m50 qu'on aurait dû lui donner raisonnablement.

Il en résulte que, après moins d'un an de marche, on est forcé de redescendre le trou de coulée de 70 à 90 cm.; en cas de chutes de garnissages, on est quelquefois obligé de le remonter d'autant; on est bien obligé de prévoir la possibilité de suivre le trou de coulée dans ses vicissitudes; dans de telles conditions, un blindage insuf-

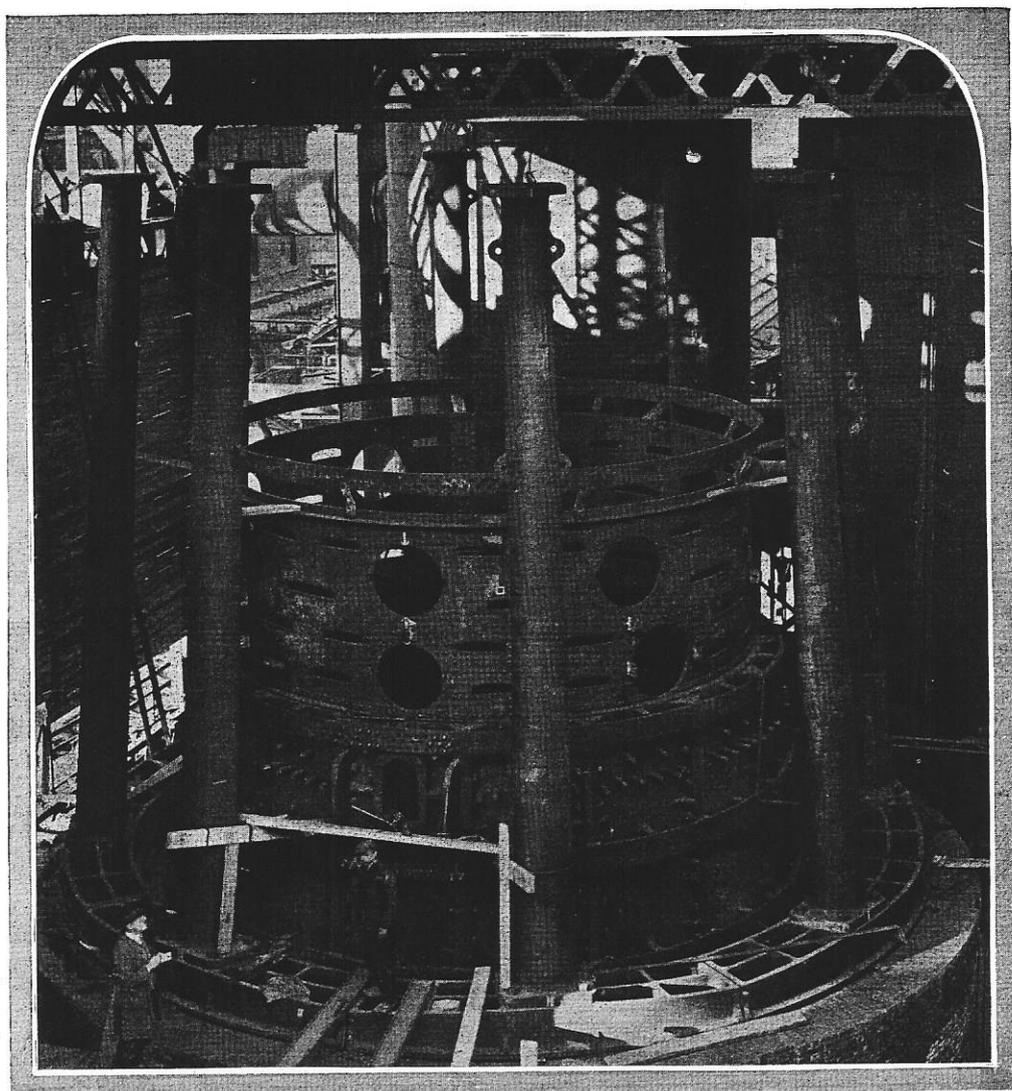


Fig. 27. — *Blindage du creuset ceinturé des tuyères.*



fisamment échancré au droit du trou de coulée procurerait d'insurmontables difficultés.

Rien de semblable n'est à craindre dans un fourneau bien conçu; le trou de coulée est placé à l'endroit exact où il doit être et il s'y maintiendra.

La largeur de l'échancrure du blindage à l'endroit du trou de coulée est juste suffisante pour l'introduction de la base de la machine à boucher; dans ces conditions, les hanches du stoupa sont bien refroidies. Grâce au bon refroidissement des hanches, grâce aussi à l'emploi de la machine boucher, on évitera les percées dans les hanches, percées si fréquentes dans nos anciens fourneaux.

Nous répétons encore: pas de demi-mesures ici; un tel blindage est dangereux si on ne fait pas usage de la machine à boucher, car si on veut faire le stoupa à la main, il est matériellement impossible d'atteindre les hanches et de les regarnir. Pour les atteindre, il faudrait pratiquer une large échancrure, mais alors elles ne seraient pas suffisamment refroidies et des percées sont à redouter.

Aux Etats-Unis, le blindage décrit ci-dessus est universellement employé avec succès. Nous l'avons employé nous-mêmes depuis 1924 à trois de nos fourneaux à notre entière satisfaction. Nous avons retrouvé ce blindage aux hauts fourneaux d'Imuyden en Hollande, à Dudelange, etc.

La photo 27 représente ce blindage en montage, en 1919, à notre fourneau n° 2, les tuyauteries des serpentins n'étant pas encore en place; sur la photo 28, on voit ce même blindage avec ses tuyaux de raccord. Sur les deux photos on distingue nettement le boulonnage et le frettage des segments, ainsi que l'aménagement autour du trou de coulée.

Dans certaines usines, l'échancrure au trou de coulée, au lieu d'être découpée dans le segment avant, constitue une pièce rapportée et amovible facile à remplacer en cas d'usure. Nous avons adopté cette nouvelle construction pour un haut fourneau en voie de reconstruction.

Dans la nouvelle usine de Mannesman à Huekingen, on a eu recours au blindage massif en fonte de 120 mm d'épaisseur, mais à refroidissement par ruissellement extérieur.

Le blindage est aussi tronconique et les segments sont assemblés non par boulons, mais à

l'aide de bossages en demi-lune, fortement frettés à chaud. Un joint de 15 à 20 mm a été laissé entre le blindage et la maçonnerie et a été rempli de masse au goudron et graphite damé à chaud.

Certaines usines allemandes ont remplacé le blindage massif en fonte à segments, par une cuirasse continue en tôles d'acier de forte épaisseur: 50 à 100 mm refroidie par un ruissellement extérieur très abondant. A Hoerde, un fourneau de 700 T. possède un blindage tronconique constitué par 2 tôles juxtaposées de 50 mm d'épaisseur chacune; il en est de même pour les deux fourneaux de 1.100 T. de la Gutofnungshütte à Oberhausen. A l'Union de Dortmund, le blindage est constitué par 2 tôles d'acier juxtaposées de 25 mm d'épaisseur chacune.

La dépense d'eau pour le refroidissement des hauts fourneaux modernes est énorme; elle est de 1.000 m³ à l'heure pour un appareil produisant 1.000 T. de fonte en 24 heures, dont plus de la moitié est absorbée pour le refroidissement du blindage du creuset.

La question d'arrosage est une question vitale dans la conduite du fourneau à marche intensive; c'est d'elle que dépend la bonne conservation de toutes les parties du four et du creuset en particulier; à notre fourneau n° 2 l'eau de circulation du blindage est presque aussi froide à l'entrée qu'à la sortie.

Ainsi, la technique moderne en matière de construction de blindage pour creuset a évolué vers le blindage massif en acier coulé, en fonte ou en tôles d'acier juxtaposées, à résistance considérable, indéformable, capable de s'opposer à la poussée due à la dilatation des maçonneries et à l'ouverture des joints des briques.

Il ne faut pas oublier, en effet, que l'ouverture des joints produite par le cé dage du blindage, a toujours été la cause principale de nombreuses percées de fonte, dans les premiers temps de marche des anciens fourneaux.

Le blindage massif à grande masse métallique conductrice, abondamment refroidi par eau sous pression ou par ruissellement intense, est seul capable de se tenir normalement froid et de conserver indéfiniment toutes ses propriétés réfrigérantes et par son frettage formidable, de résister à toute poussée interne: c'est le seul efficace à tous points de vue.

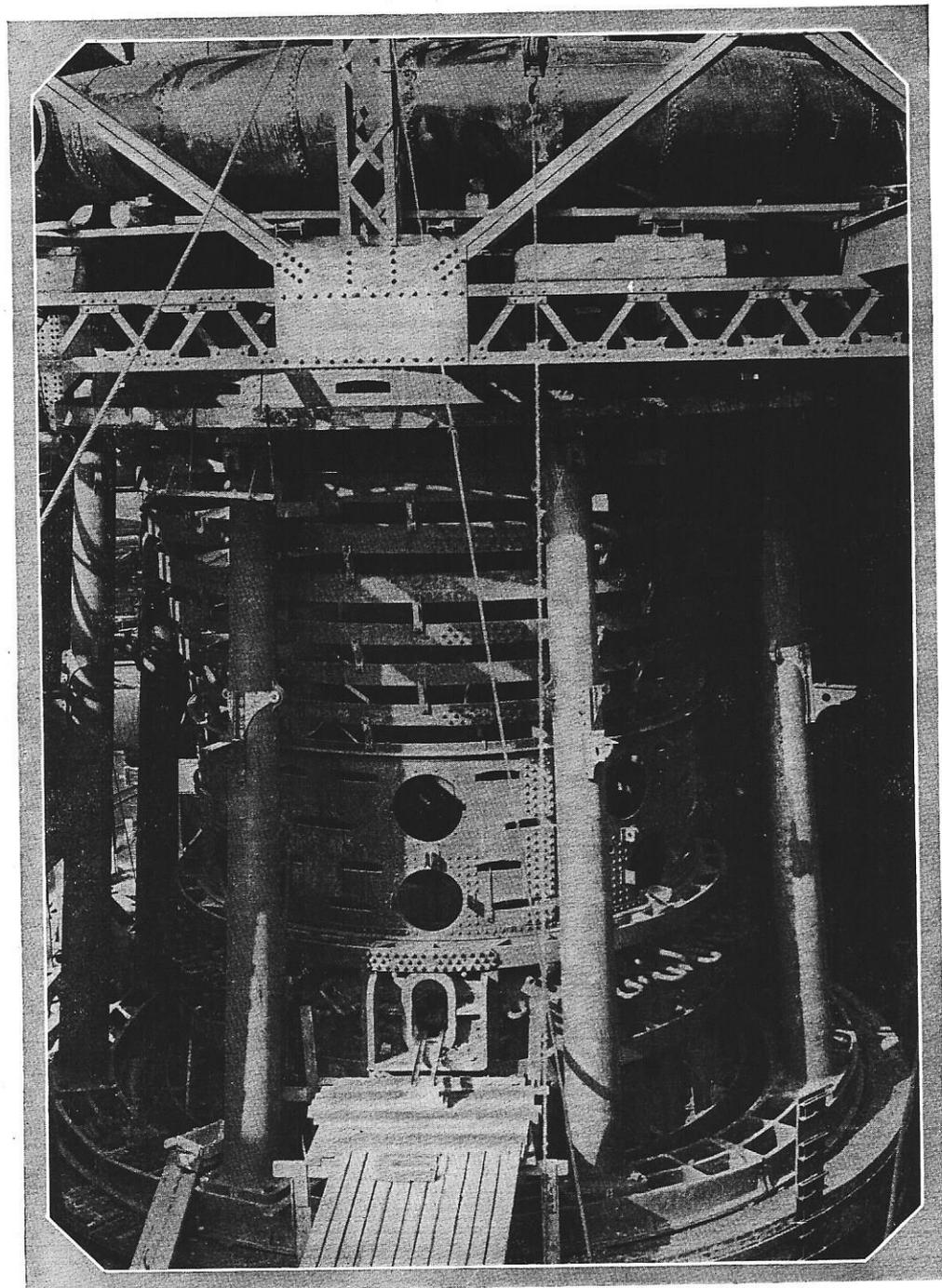


Fig. 28. — *Blindage du creuset. Ceinture des tuyères. Cerclage des étalages. Assise des marâtres.*



Supports des marâtres. — Dans les anciennes constructions, on s'est préoccupé de dégager entièrement le creuset et de faciliter l'évacuation des amas de fonte et de laitier en cas de percée, comme de faciliter les réparations. On s'est attaché à supprimer les colonnes de marâtres en faisant supporter ces dernières par les quatre colonnes maîtresses de la charpente encadrant le fourneau et servant de support au gueulard, par l'intermédiaire d'un cadre dit des marâtres constitué de poutres dont la hauteur est forcément conséquente et atteint normalement 1^m50.

Des poutres d'une telle hauteur, placées en face de la partie supérieure des étalages, empêchent toute surveillance, toute réparation, voire même tout refroidissement en cet endroit du fourneau.

Pour un appareil de 200 T. de production journalière, avec étalages plats (70-72 degrés d'inclinaison) et une cuve de poids relativement faible, une telle construction trouvait sa justification et procurait de grands avantages en dégagant complètement le creuset au détriment toutefois des étalages.

Présentement, avec de larges creusets de l'ordre de 5 à 6 m. de diamètre, des étalages à grande raideur, de 80 à 82 degrés d'inclinaison, de hautes cuves de grande hauteur garnies de centaines de boîtes en fonte à refroidissement, on serait amené à devoir donner aux poutres de marâtres une hauteur telle (2 m. au moins) que les étalages seraient complètement masqués d'autant plus que la hauteur de ces derniers tend à diminuer de plus en plus jusqu'à limite de 3^m20.

Il est d'ailleurs matériellement impossible de les dessiner, car on s'aperçoit de suite que le tracé du porte-vent et des tuyauteries des tuyères devient impossible.

On en revient nécessairement à l'emploi général des colonnes pour supporter la marâtre, mais on fait ces colonnes à base fuyante pour dégager le creuset dans la mesure du possible (fig. 28 et 29).

Aux Etats-Unis, ce mode de construction a d'autant plus de raisons d'être que le fourneau ne comporte pas, comme chez nous, une ossature ou charpente métallique extérieure et indépendante, destinée à supporter le gueulard, attendu qu'on y fait usage de l'enveloppe en tôle emprisonnant entièrement la cuve, prenant directement

appui sur les têtes des colonnes par l'intermédiaire d'une couronne de marâtre et qui supporte tout le poids du gueulard.

Une cause en provoquant une autre, beaucoup d'usines européennes ont adopté l'enveloppe métallique de la cuve s'appuyant sur les colonnes et l'on voit présentement se profiler dans le ciel hollandais à Imuyden, sur les bords du Rhin à Uckingén, et dans le ciel luxembourgeois à Dudelange, ces cuves légères et élégantes si caractéristiques des hauts fourneaux d'Outre-Atlantique.

Les têtes des colonnes sont réunies par une couronne en tôle d'acier de 40 mm d'épaisseur, sur laquelle on amorce le blindage de la cuve. Afin d'obtenir une raideur suffisante, la partie inférieure du cuvelage de la cuve, exécutée en tôles d'acier de 20 mm, fait office d'âme à une poutre circulaire idéale dont l'aile inférieure est constituée par la couronne de centrage des têtes de colonnes. Couronne et partie inférieure du blindage de la cuve sont réunies par de fortes cornières et l'on réalise ainsi une poutre très légère, mais aussi d'une grande rigidité capable de supporter le poids de la cuve.

Si, pour des raisons spéciales, comme celle de l'emploi d'un pont roulant comme appareil de chargement du gueulard, qui exige une charpente spéciale du support, il n'est pas nécessaire d'employer le blindage métallique de la cuve; on peut, comme nous l'avons fait pour notre haut fourneau 2, se contenter de blinder le bas de la cuve, sur une hauteur de 2^m50 seulement, et de raccorder ce blindage, comme nous venons de l'exposer, à la couronne des têtes de colonnes. On réalise une excellente assise de marâtres très élégante et, d'autre part, un blindage solide du ventre du haut fourneau, tout en dégagant complètement les étalages (voir fig. 28 et 29).

La base des colonnes correspond au niveau inférieur du blindage massif du creuset, c'est-à-dire à la tête du massif en maçonneries qui sert de socle au fourneau et sur laquelle on édifie la sôle ou sous-creuset.

La base des colonnes se trouve ainsi répartie à 2^m50 environ sous le trou de coulée. Cette base est constituée par une couronne en fonte dont les segments sont fortement boulonnés entre eux et frettés extérieurement et sur lesquels on boulonne les pieds des colonnes.



La couronne d'assise boulonnée et frettée est encore entourée d'une couronne en béton armé; ces précautions sont prises pour éviter le glissement des pieds de colonnes qui, avons-nous vu, sont inclinés sur la verticale dans le but de s'éloigner du creuset et de dégager ce dernier.

L'ensemble de la construction est rendu très visible sur la figure 28.

Disposition des colonnes autour du fourneau.

— En ce qui concerne la disposition des colonnes

autour du creuset, la question a été résolue en partant du principe que toute tuyère à vent doit être parfaitement dégagée.

Ainsi, dans la plupart des usines allemandes, chaque tuyère à vent est située au milieu de deux colonnes voisines; on trouve rarement une position dissymétrique.

Pour les fourneaux d'une capacité de 1.000 T. de fonte journalières, on adopte un nombre de tuyères égal à 10. Dans ces conditions, on doit avoir 10 colonnes; en réalité, on n'en trouve que

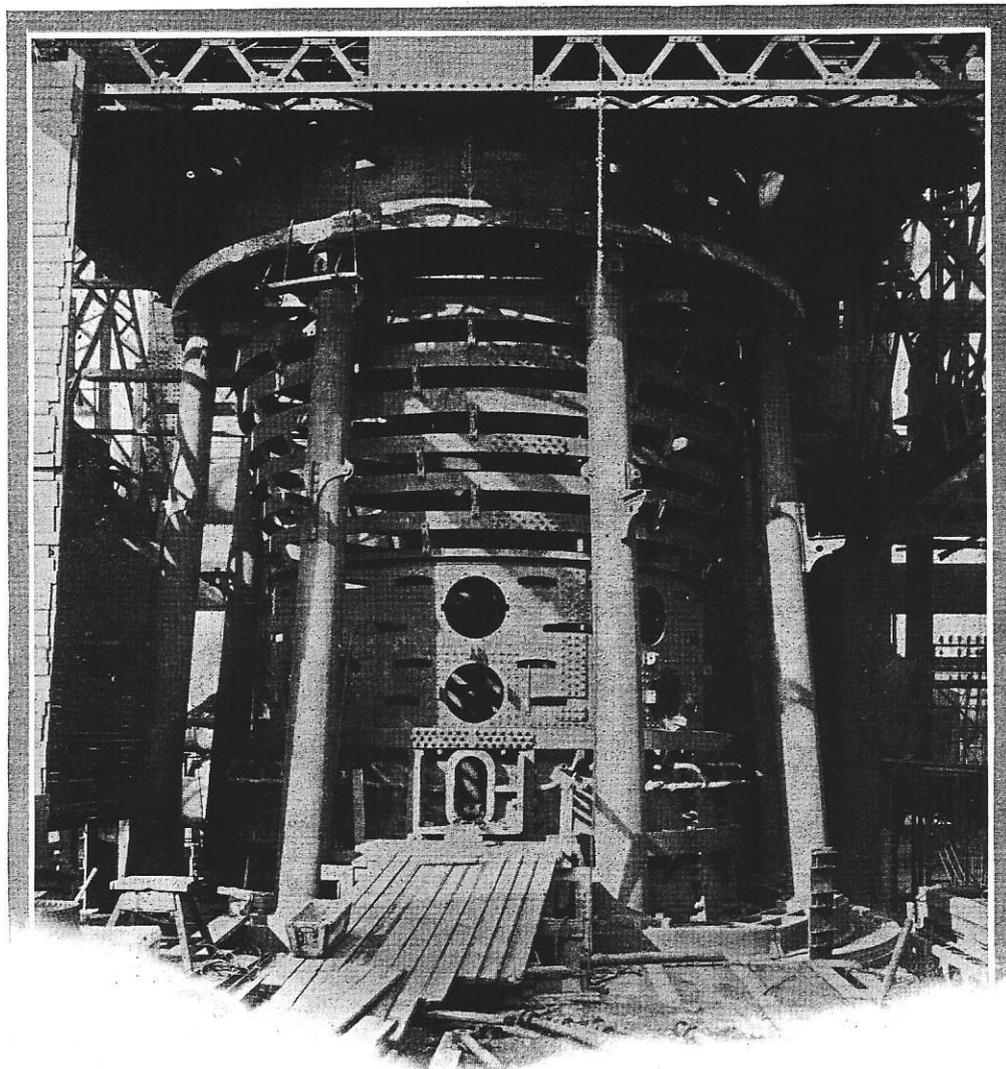
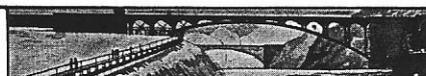
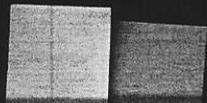


Fig. 29. — Autre vue du blindage du creuset et de la ceinture des tuyères.



8 en tout. En effet, la colonne correspondant au trou de coulée n'existe pas, pas plus que celle qui lui est diamétralement opposée à cause de la présence de la tuyère à laitier généralement placée à cet endroit.

Si, par suite de dispositions locales spéciales, on ne peut placer la tuyère à laitier diamétralement opposée au trou de la coulée, on peut naturellement installer la neuvième colonne. Dans ce cas, on n'hésite pas à placer la tuyère à laitier latéralement et directement sous une tuyère à vent, cette disposition n'offrant aucun inconvénient à cause de la grande distance du plan des tuyères à vent au-dessus de la sole.

En supprimant la colonne qui tombait face au trou de coulée, on dispose à cet endroit, le seul intéressant dans un fourneau, d'un écartement de colonnes double de celui existant à tout autre endroit; il en résulte que le fourneau se trouve admirablement dégagé aux abords du stoupa, c'est-à-dire à l'endroit où se concentre précisément tout le travail des fondeurs et où la machine à boucher trouve ainsi toute la place nécessaire à une évolution aisée.

Au cas où l'on adopterait 12 tuyères, six colonnes seulement sont installées et alors les tuyères à vent sont symétriquement disposées 2 à 2 entre 2 colonnes consécutives, même entre les 2 colonnes qui encadrent le trou de coulée; ces dernières ne sont nullement gênantes, attendu qu'elles sont plus rapprochées des colonnes que du stoupa et ce dernier est aussi dégagé que dans le premier cas et même davantage, puisque l'écartement des colonnes est plus grand.

Cerclage de l'ouvrage, des étalages et de la cuve. — Par dessus le blindage massif du creuset, on construit une ceinture continue en tôle d'acier enserrant les chapelles des tuyères principales à vent, aussi bien que la chapelle de la tuyère à laitier. Cette ceinture est construite en tôles d'acier de 35 à 45 mm d'épaisseur et est percée des ouvertures pour chapelles, renforcées par des surépaisseurs de tôle. Actuellement, toutes les chapelles sont de forme circulaire et on n'en construit plus d'autre forme, cette dernière étant la seule rationnelle.

Tous les joints de la ceinture sont à double couvre-joints et à double rivure. Les ouvertures

circulaires reçoivent une chapelle en acier coulé fortement évasée vers l'extérieur, dans le but de dégager le plus possible les tuyauteries d'alimentation des chapelles en bronze et des tuyères et ainsi faciliter la manutention des busillons.

Ces chapelles en acier sont assez courtes et sont solidement fixées, à l'aide d'une collerette venue de fonderie, à la ceinture des tuyères, où elles sont maintenues par des boulons à clavettes. Elles reçoivent les chapelles tronconiques en bronze, beaucoup plus longues et dont le bec pénètre à l'intérieur des maçonneries jusqu'à 20 cm. de la paroi intérieure du creuset.

Ces chapelles reçoivent les tuyères à vent, dont la longueur varie entre 270 et 350 mm seulement, et, de ce fait, sont légères et très maniables.

Les emboîtements des tuyères dans les chapelles en bronze et de ces dernières dans les chapelles en acier ont une longueur de 10 cm., mais les parties sont constituées de 2 brides de 8 cm. seulement, parfaitement dressées au tour, dans le but d'empêcher toute fuite de vent, même à des pressions de 2 atmosphères.

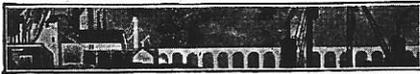
Dans la ceinture des tuyères, on dispose encore des ouvertures allongées pour y loger des boîtes fermées en cuivre, à refroidissement par eau sous pression; ces boîtes pénètrent dans la maçonnerie jusqu'à 10 cm. de la paroi interne du creuset. Dans le cas, ou par raison de symétrie, une boîte se situe à l'endroit d'un couvre-joint de la ceinture, on n'hésite pas à interrompre ce dernier.

L'ensemble de la ceinture des tuyères est très bien représenté sur les fig. 27, 28 et 29.

Les étalages sont ou bien cerclés ou bien entourés d'un corset tronconique en forte tôle; dans le premier cas, ils sont refroidis par des caisses en cuivre à circulation d'eau sous pression; dans le second cas, ils sont refroidis par arrosage superficiel et les eaux sont ramenées sur le cône par des tôles circulaires inclinées vers le centre du fourneau, ceci tant pour rendre le refroidissement aussi efficace que possible que pour éviter les projections d'eau sur les porte-vent et le plancher de travail.

Le corset est souvent adopté dans les usines qui font usage du blindage en tôles pour le creuset.

Lorsqu'on emploie le cerclage, les divers cercles reposent l'un sur l'autre par l'intermédiaire de



cavaliers disposés en quinconce, le premier cercle reposant sur une cornière surmontant la tête de la ceinture des tuyères.

Avec ce genre de construction, tout le cerclage depuis la sole jusqu'au-dessus des étalages peut être monté d'avance, ce qui présente de grands avantages pour la mise en place des maçonneries. Ces dernières peuvent être bloquées contre le cerclage, ce qui évitera par la suite l'entre-bâillement des joints de briques, les fuites et les percées.

Entre les cercles, on place les rangs de caisses ou boîtes refroidissantes fermées, en cuivre à 99,96 % et alimentées par de l'eau sous pression. La fig. 29 donne un aspect de ce beau blindage réalisé à notre haut fourneau 2.

Lorsque l'on voit, pour la première fois, un fourneau en marche, blindé de cette façon et refroidi entièrement par des plaques, des caisses et des tympes à circulation d'eau sous pression et que l'on n'aperçoit nulle part la moindre gouttelette d'eau, on est fortement impressionné.

Ce genre de construction aussi simple qu'élégant donne une impression de vraie puissance; il permet de maintenir autour du fourneau une propreté aussi grande que dans une salle de machines.

Chez Ford, on a poussé le raffinement jusqu'à revêtir les porte-vent et le cerclage d'une couche de couleur aluminium. Ajoutons que les fondeurs portent une tenue blanche et l'on se rendra compte qu'un fourneau n'est plus un appareil barbare et qu'il peut être entretenu et conduit comme une machine. C'est le triomphe de la technique appliquée aux hauts fourneaux modernes.

Nous avons déjà dit quelques mots au sujet du blindage de la naissance de la cuve, c'est-à-dire du ventre. En Amérique, ce blindage fait partie de l'enveloppe de la cuve. Si l'on désire maintenir la cuve nue en vue de réparations, on ne conserve l'enveloppe que sur une hauteur de 2^m50 environ, comme nous l'avons fait pour notre fourneau n° 2.

Le blindage ainsi réalisé est représenté sur les fig. 28 et 29.

Dans ce blindage, nous avons disposé trois rangs de caisses en cuivre à refroidissement par eau sous pression.

Cerclage de la cuve. — Nous avons vu que les Américains enserrant complètement la cuve dans un corset en tôles reposant sur la couronne des

marâtres et faisant corps avec elle pour obtenir une poutre de raideur suffisante pour supporter tout le poids des maçonneries de la cuve.

A ce genre de construction, on reproche le grave inconvénient de ne pouvoir surveiller les maçonneries de la cuve et, en cas d'usure locale, trop étendue, de devoir procéder à une réfection complète, coûteuse et exigeant un arrêt de longue durée.

Cette objection est fondée, mais les Américains ont toutefois comme principe de mettre le fourneau hors feu et de procéder à une réfection complète après une campagne correspondant à une production de 1.500.000 T. de fonte.

A Dudelange et chez Mannesman à Uckingen, on a cependant adopté carrément le blindage complet de la cuve, tant il est économique et pratique et aussi parce que l'on a adopté le monte-charges américain à Skip système Mc Kee, qui n'exige aucune charpente spéciale de soutien. Toutefois, pour assurer une longue existence à la cuve en parant à une usure trop rapide, ces usines, comme d'ailleurs la plupart des usines allemandes, ont tenu à refroidir la cuve en y disposant de nombreuses caisses ou boîtes de refroidissement en fonte, alimentées par de l'eau sans pression.

Mais alors le blindage se complique du fait que l'on doit pouvoir exercer une surveillance des boîtes et procéder à des nettoyages méthodiques. Certaine usine a résolu élégamment le problème en installant une échelle mobile prenant appui sur la couronne des marâtres et pouvant rouler sur galets de façon à se mouvoir tout autour de la cuve. Chez Mannesman, on a installé des balcons espacés l'un de l'autre de 2^m50 et reliés par des tronçons d'escaliers. Ces balcons successifs épousent la forme circulaire et conique de l'enveloppe, de la cuve et n'ont que 2^m25 de largeur. Ils prennent appui à l'aide de consoles légères sur des génératrices en poutrelles Grey rivées au corset. Le platelage des balcons est à claire-voie. L'ensemble est léger et gracieux et ne détruit nullement la bonne impression d'ensemble que produit le blindage de la cuve américaine.

Avec une telle disposition, la surveillance des boîtes de refroidissement s'exerce facilement.

Nous voyons que les usiniers européens, à l'encontre de leurs collègues américains, se précoc-



cupent davantage de la question de l'usure des cuves dans les fourneaux à marche intensive. Cette préoccupation est légitime parce que dans ces fours, c'est la cuve qui constitue le point faible. Nous connaissons une usine française de l'Ouest où la réparation des cuves doit se faire tous les deux ans, sur tout le pourtour du fourneau et sur une hauteur de 5 m. entre le premier et le second tiers à partir du ventre. Ce travail se fait en deux ou trois arrêts le dimanche, pour ne pas entraver la marche de l'aciérie en semaine.

A Cockerill, on fait même usage de dispositifs spéciaux dans la construction des cercles pour faciliter et accélérer le travail.

Il est évident qu'il vaut mieux s'organiser pour effectuer des réparations rapides et relativement peu coûteuses que de procéder à la mise hors service et à une réfection complète.

Pour augmenter la durée des cuves, il est actuellement d'usage courant d'employer des boîtes refroidissantes en fonte ouvertes à circulation d'eau sans pression; elles ont normalement 500 mm de largeur au gros bout, 300 mm de hauteur et 500 à 600 mm de profondeur; elles sont placées en quinconce d'une rangée à la suivante avec ou sans recouvrement.

Elles portent généralement un ergot ou cordon (voir fig. 30) à la partie supérieure, formant saillie au dos de la caisse et destiné à recevoir l'application des cercles qui les maintiendront en place.

Comme les briques de cuves n'ont généralement que 150 mm de hauteur, il en résulte un joint de brique à mi-hauteur des caisses; ce joint ne peut recevoir aucun cerclage; toutefois, malgré cette carence, les briques intercalaires sont parfaitement maintenues en place. En effet, ces briques forment coins, vers l'extérieur avec les parois latérales des caisses, parce que les faces radiales des caisses, comme

des briques, sont plus écartées vers l'intérieur que vers l'extérieur, mais comme ces dernières sont cerclées, l'appareillage ne peut céder.

Nous avons dit que la préférence a été donnée aux caisses ouvertes; on a choisi ce système, d'abord pour éviter que l'eau soit sous pression, ce qui, vu le nombre considérable de ces boîtes dans une cuve, constituerait un grave danger en cas de fissuration, n'ayant aucun moyen de déceler la boîte défectueuse et ensuite pour pouvoir procéder à des nettoyages systématiques et réguliers.

Ainsi, le premier principe à appliquer dans la construction d'une boîte de cuve est le refroidissement *sans* pression, méthodiquement surveillé; au surplus, comme la boîte doit être parfaitement refroidie, elle doit être complètement remplie d'eau; cette dernière doit bien baigner le plafond de la caisse et, pour cette raison, il faut éviter toute couche d'air à cet endroit.

Pour que le dessus de la boîte soit toujours mouillé, bien qu'elle soit ouverte, il faut que la partie de cette boîte, débordant en saillie sur la cuve en avant du cercle, soit relevée et que les tuyaux d'amenée et de sortie de l'eau aient leur

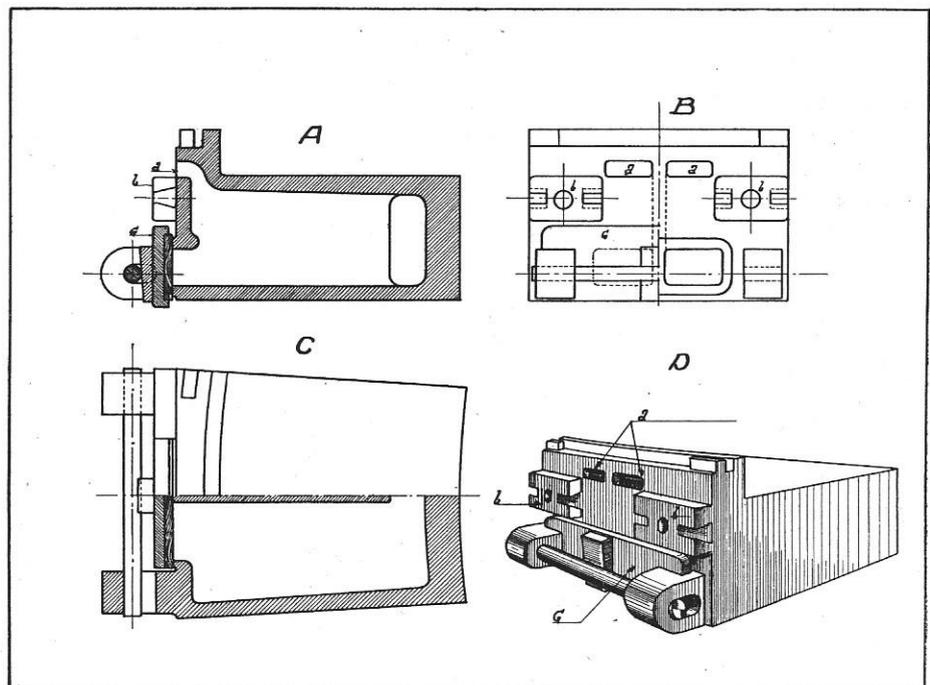


Fig. 30. — Caisses ouvertes pour cuves de haut fourneau.



axe au niveau de la paroi interne supérieure de la caisse. C'est pour cela que les boîtes portent à la partie antérieure et en saillie, deux espèces d'évents surélevés par dessus leur dos (fig. 30).

Pour rendre commode le nettoyage de ces caisses ouvertes, elles sont pourvues sur la face antérieure et au niveau du fond, d'une ouverture ou de deux ouvertures; si la caisse possède une cloison intermédiaire ou chicane. Ces ouvertures sont aveuglées par des planchettes calées sur coins; la planchette gonfle au contact de l'eau et constitue un joint suffisant; en décalant les planchettes, le nettoyage est vite exécuté.

Les boîtes sont alimentées en cascades, trois par trois dans les parties les plus chaudes de la cuve, cinq par cinq, voire sept par sept en remontant vers les parties supérieures de plus en plus froides.

Pour la surveillance, il suffit d'inspecter la dernière décharge d'un groupe; si elle débite, c'est que toutes les caisses du groupe sont en bon état. Dans le cas contraire, on a vite repéré la boîte défectueuse et on l'isole immédiatement.

Pour l'alimentation des caisses, on divise la hauteur de la cuve en zones de 2^m50; à chacune de ces zones correspond une passerelle de service sur laquelle on installe la tuyauterie maîtresse d'alimentation en eau des caisses de la zone inférieure, ainsi que le bac collecteur des décharges des caisses de la zone supérieure. Les décharges de tous ces bacs tombent dans le grand bac collecteur situé à la base de la cuve, au-dessus de la conduite à vent chaud.

On procède normalement au nettoyage des caisses tous les 15 jours; la présence d'un ouvrier est nécessaire d'une façon permanente, car un haut fourneau de 1.000 T. possède de 400 à 500 boîtes refroidissantes.

Lorsque la cuve est cerclée, nous venons de voir comment ce cerclage maintient les caisses en place. Dans quelques rares usines, les caisses ne sont pas pincées par les saillies de tête; elles sont munies de pattes latérales sur lesquelles on fixe les morceaux de cercle par boulons. Ce système est défectueux, car la patte de la boîte, venue de fonte, est beaucoup moins résistante que le cercle d'acier et se brise souvent.

En procédant au cerclage des cuves refroidies, comme nous venons de le décrire, on remarque

qu'il n'est plus nécessaire de placer des génératrices ou chaises qui servaient, autrefois, en cas de rupture d'un cercle, à retenir les débris et à les empêcher de tomber sur le plancher de travail du fourneau.

Ici, en cas de rupture d'un cercle, il y a suffisamment de caisses pour retenir les morceaux et empêcher la chute.

Lorsqu'un cercle vient à se rompre, ou lorsque dans une cuve refroidie, on doit procéder au remplacement d'une caisse défectueuse, on déforce deux rangs de briques et si le jeu devait se répéter souvent, il y aurait lieu de craindre des déformations permanentes de la cuve. Le danger de déformation est encore plus grave en cas de réparation, car lorsqu'on en arrive à cette extrémité, la cuve est quelquefois si usée qu'il ne reste plus à certains endroits que deux doigts d'épaisseur de briques et que l'enlèvement simultané de plusieurs cercles est de nature à provoquer l'écroulement d'une grande partie des maçonneries.

C'est pourquoi on a été amené à fixer les cercles à un système de génératrices.

Dans cette conception nouvelle, les génératrices ne jouent plus le rôle de support et de retient en cas de rupture d'un cercle; elles servent de traits d'union entre les différents segments de cercle.

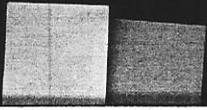
L'agencement entre les génératrices et les cercles est tel que l'on peut procéder au démontage de plusieurs segments de cercles faisant partie d'un panneau situé entre deux génératrices voisines sans nuire aucunement à la rigidité de l'ensemble qui forme une ossature rigide, indéformable, pour autant que les génératrices soient suffisamment fortes et conservent leur rigidité.

Pour réaliser un tel appareillage, les génératrices seront constituées d'un fer U ébauché, d'un fer U en acier coulé ou constitué d'un fort larget sur lequel on ramera des cornières ébauchées. Les ailes de tel fer U auront de 45 à 55 mm de largeur et l'âme 450 à 500 mm de façon à présenter une grande raideur dans le sens latéral.

Les tronçons de cercles terminés par des bouts ronds filetés sont introduits dans des trous forés dans les ailes des U et y sont boulonnés.

On réalise ainsi une cage d'écureuil tronconique comme la cuve, parfaitement rigide, contre laquelle on maçonne la cuve.

On comprend que, en cas de réparation, on



peut, sans inconvénient, démonter plusieurs segments de cercles en hauteur et dégager tout un pan de maçonnerie compris entre deux génératrices voisines pour y pratiquer une large brèche, sans pour cela déformer les parties voisines du cerclage, toujours parfaitement maintenues dans les mailles de la cage.

J'ai vu ce système en usage à la Société Cockerill, aux Usines Thyssen à Hamborn, chez Klöckner à Haspe, etc. L'idée est excellente et a fait son chemin, comme nous venons de l'indiquer par le nombre de firmes qui en font usage.

J'ai vu, toutefois, qu'il y avait lieu d'y apporter certain perfectionnement. En effet, les segments de cercles employés sont des plats en acier auxquels on a dû souder des bouts de tiges filetées pour pouvoir les introduire dans les trous pratiqués dans les ailes des U et les y boulonner. Remarquons, par ailleurs, que l'âme de l'U est généralement encastrée dans la maçonnerie de la cuve, mais que l'axe du trou pratiqué dans l'aile ne coïncide pas avec la fibre neutre du plat constituant le cercle.

Soudure d'une part qui constitue un point faible, désaxage, d'autre part, de l'axe de la tige du boulon et de la fibre neutre du cercle, qui permet une flexion de la tige filetée et, par conséquent, l'extension inutile du cercle sont deux causes d'infériorité d'un tel cerclage par rapport à l'ancien cerclage avec joints de Jupiter.

Pour supprimer ces inconvénients (fig. 31), je prends de larges plats comme génératrices. Sur ces larges plats, je rive horizontalement des bouts de fers U dégrossis, et que je place à la distance réglementaire des différents cercles successifs. Les deux extrémités des deux ailes des fers U sont percées de trous rectangulaires. Dans ces trous, on place des étriers dans le but de recevoir et de répartir sur les deux ailes les efforts subis par les segments de cercles que nous allons y accrocher. Dans ce but, les bouts de cercles sont refoulés et viennent buter contre les étriers extrêmes. Une cale placée entre le bout refoulé du cercle et le second étrier intérieur assure le serrage parfait du segment. Ici pas de soudure, donc pas de point faible, pas de désaxage entre les fibres neutres et les attaches, si l'on prend la précaution d'encastrer le large plat dans la maçon-

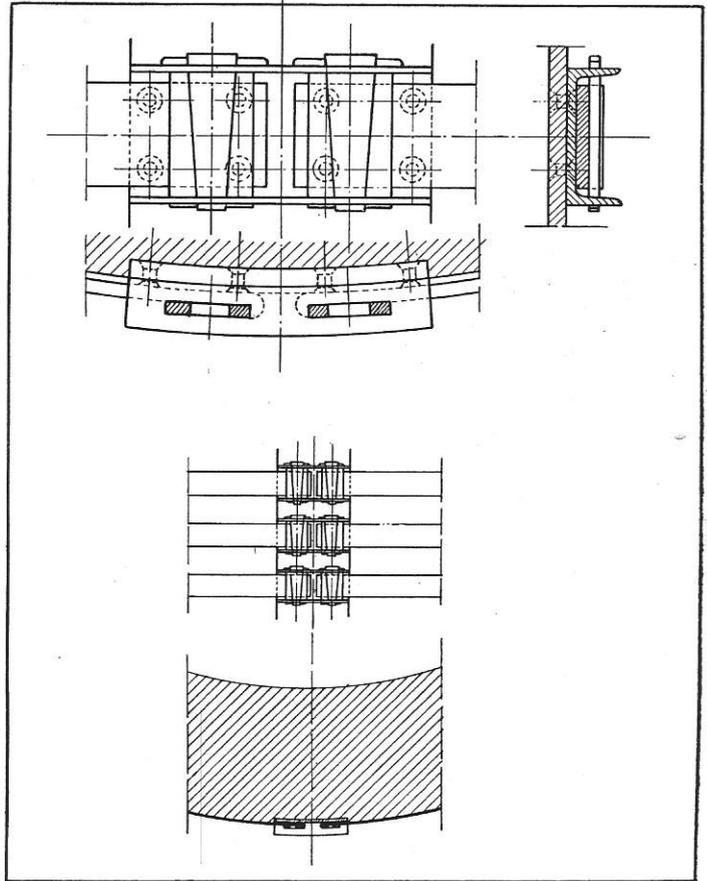


Fig. 31. — Cerclage rationnel d'une cuve de haut fourneau.

nerie, pas de difficulté de démontage, car il suffit de faire sauter la clavette et non de dévisser un boulon qui sera toujours rouillé et qu'il faudra couper à la tranche.

Nous avons constitué le cerclage de la cuve de notre haut fourneau de cette façon. La figure 25 en donne un aspect d'ensemble.

Pour terminer ce sujet, nous donnons ci-dessous une liste des usines qui emploient les caisses ouvertes dans les cuves de leurs gros fourneaux.

Dormend Union à Dortmund, Krupp à Rheinhäusen; Krupp à Berge-Borbeck Mannesman à Uckingen, Gutofnungshutte à Oberhausen; Thyssen à Hamborn, Caen en Normandie; Dudelange; Meiderich où la caisse ouverte représentée par la figure 30 a pris naissance.

Nous allons parler maintenant du briquetage et





des nouvelles méthodes employées dans la fabrication des produits réfractaires pour hauts fourneaux.

Briques réfractaires. — Les Américains construisent leurs fourneaux en briques de petites dimensions. A part Imuyden, je ne connais pas d'autre usine européenne qui ait suivi cette pratique. Sur le continent, on emploie généralement des briques de plus grandes dimensions.

On fait usage des briques alumineuses, des briques en carbone pour la sole, le creuset et les étalages et des briques en silice pour le fond du creuset.

La technique moderne semble s'orienter vers la construction de la sole en silice, du creuset et des étalages en carbone pour résister aux fortes variations de température et à l'action rongearde des laitiers, et la cuve en briques alumineuses à haute résistance pour résister à l'usure.

Briques alumineuses. — La fabrication de ces briques a fait, ces derniers temps, des progrès considérables. Dans cette fabrication, on a l'habitude de moudre de la chamotte ou terre réfractaire cuite avec de l'argile liante ou terre crue dans les proportions de 66 % et 33 % et moyennant une addition assez conséquente d'eau de gâchage, la masse rendue plastique passe au malaxeur pour l'obtention d'une pâte aussi homogène que possible.

La pâte passe ensuite à la filière, puis à l'atelier de moulage; on découpe un morceau de grosseur en rapport avec les dimensions de la brique à mouler, on le jette dans le moule, ordinairement construit en bois et à grand renfort de coups de maillet, on l'étend dans le moule, on l'égalise, puis on démoule; les arêtes sont avivées, puis les pièces passent au séchoir établi au-dessus des fours de cuisson, d'où, après deux à quatre jours de séchage, elles sont enfournées pour la cuisson.

Ce procédé est courant dans la plupart des fabriques de produits réfractaires. Au simple exposé ci-dessus, on se rend rapidement compte de tous les points faibles d'un tel procédé de fabrication.

Tout d'abord, on se rend compte de la difficulté que l'on éprouve à l'obtention d'un mélange intime de la chamotte, composée de grains de grosseur

variable, avec l'argile crue et qu'il est nécessaire d'ajouter une forte quantité d'eau de gâchage pour faciliter l'opération; néanmoins, la plasticité de la masse ne permet pas l'obtention d'une pâte homogène.

Ce manque d'homogénéité de la masse déterminera, au séchage d'abord, à la cuisson par la suite, des tensions inégales qui se traduiront en premier lieu par des déformations entraînant des frais ultérieurs de taillage et, en second lieu, par des fissures entraînant des bris et des usures anormales sous l'action des agents extérieurs: acidité des laitiers, imprégnation de carbone pulvérulent, etc.

Par ailleurs, l'excès d'eau de gâchage doit s'évaporer au séchoir, rend la brique poreuse, moins dense et moins résistante à l'action des agents extérieurs.

Au surplus, comme on doit incorporer indépendamment de leur grande quantité d'eau de gâchage une forte proportion d'argile crue au liant, en vue de l'obtention d'une pâte suffisamment molle pour passer à la filière et être moulée à la main, il en résulte qu'au séchage, puis à la cuisson, l'argile crue prenant plus de retrait que la chamotte cuite, il se produit des retraits inégaux et des tensions inégales qui diminueront la résistance des produits. Briques hétérogènes, de faible résistance aux agents physiques et chimiques, mal calibrées, tel est le résultat de cette fabrication courante.

Tout le mal provient, en somme, de ce que à l'origine, la proportion d'argile liante est trop grande et que la technique employée au cours de la fabrication doit tenir compte de cet état de choses.

A la base d'une bonne fabrication, qui a en vue l'obtention d'un produit homogène, capable de donner des briques saines, résistantes et bien calibrées, se pose ce premier principe: qu'il est indispensable de n'introduire dans la pâte que le moins possible de terre crue.

Pour ce faire, le liant doit nécessairement être introduit sous un état physique autrement fluide que dans la fabrication habituelle et, par la suite, à cause de la moindre plasticité de la pâte, trouver un mode de moulage plus efficace et autrement énergétique que celui obtenu au maillet.



La pâte est tellement sèche que tout travail à la filière est impossible. Dans ce cas, le liant amené à l'état colloïdal grâce à d'infimes additions d'alcalis, carbonate de soude, feldspaths, etc. est introduit dans la masse sous forme de coulis.

Grâce à l'état colloïdal, le liant acquiert une grande fluidité et une grande capacité d'enrobage. Deux à cinq pour cent d'un tel coulis suffisent pour enrober parfaitement tous les grains de chamotte et les entourer d'un réseau régulier de matière liante. Pour activer l'enrobage, on procède, au préalable, au calibrage et au mélange intime des grains de chamotte.

Le calibrage de la terre cuite se fait au trommel après broyage et la constitution d'un mélange à proportions bien définies de grains de grosseurs choisies se fait en soutirant les matières à l'aide de soles doseuses débitant sur un ruban, qui les convoient vers le malaxeur. Ce malaxeur, travaillant avec des produits parfaitement secs, donne sa pleine efficacité; le mélange qui sort du malaxeur est d'une homogénéité parfaite.

Ce mélange est introduit dans un second appareil placé sous la cuve contenant le coulis ou liant colloïdal préparé 24 heures à l'avance. On laisse couler dans ce second malaxeur la quantité exacte de liant et le produit constitue la pâte qui va servir à la confection des briques. A proprement parler, le produit n'est pas une pâte, car, ne contenant que 4 % d'eau, il est extrêmement sec.

Pour éviter toute évaporation pendant le transport à l'atelier de moulage, le chargement est recouvert d'une couverture.

Une pâte aussi sèche ne peut évidemment pas être moulée avec les procédés ordinaires, les agents de pression étant trop rudimentaires et insuffisants. On a recours d'abord à des moules en fonte et on y foule la masse au fouloir pneumatique par minces couches successives de 1 à 2 cm. d'épaisseur.

Le travail, dans des conditions aussi sévères de fabrication, est forcément assez lent et la production horaire ne dépasse pas trois briques de dimensions courantes, alors que dans la fabrication usuelle, on peut mouler dans le même temps six à huit briques.

Au surplus, l'outillage représente un gros capital et l'on comprend que le prix de vente de tels produits soit plus élevé.

Grâce à ce procédé de fabrication, on peut confectionner des briques avec une proportion de chamotte allant jusqu'à 90 % et une proportion d'eau de gâchage de moins de 5 %. Il en résulte qu'ayant un minimum d'eau à évaporer et un maximum de terre déjà cuite, le séchage et la cuisson ne provoquent presque pas de retraites et que les produits obtenus restent parfaitement plans, à dimensions rigoureusement exactes et à arêtes vives.

Il y a tellement peu de gauchissement que, dans un tas constitué d'une vingtaine de briques superposées, il est impossible d'introduire le bout d'une lame de canif dans un joint quelconque. De telles briques n'ont plus besoin de subir la taille; un léger meulage suffit; ce qui constitue une forte économie de main-d'œuvre et une diminution de déchets.

On comprend aussi, grâce au processus de fabrication décrit ci-dessus, que les produits obtenus sont d'une homogénéité parfaite tant chimiquement que physiquement.

La cassure de la brique est homogène, toujours tranchante et jamais grenue: la résistance du ciment étant toujours plus grande que celle des grains, c'est le grain qui cède.

De l'homogénéité de la brique, de sa forte densité, grâce au pilonnage pneumatique, de la grande résistance du liant, résulte une résistance considérable de la brique, qui donne un son métallique sous les coups de marteau. L'adhérence du squelette et du liant est tellement forte, qu'il est impossible de les séparer.

Voici les caractéristiques de briques alumineuses ordinaires et spéciales:

	Briques ordin.	Briques spéciales
Poids spécifique.	1,96	2,00
Porosité totale en volume .	24 à 28	12 à 18
Résistance mécanique à l'écrasement à la température ordinaire	80 à 120 kg/cm ²	600 à 800 kg/cm ²
Tolérance dans les dimensions	1,5 à 2,0 %	0,5 %
	surfaces souvent gauchies et arêtes ébréchées.	surfaces planes et arêtes vives.



On objecte que les briques façonnées avec trop de chamotte se désagrègent rapidement à la chaleur et ont une moindre durée; on objectera aussi que la résistance à froid n'a aucune valeur critique et que seule la résistance à chaud importe et que d'ailleurs aucune brique alumineuse ne résiste à plus de 2 kgs/cm² à des températures comprises entre 1.300 et 1.400 degrés (essais effectués sur cube de 2 cm. de côté).

Ces critiques sont peut-être fondées et l'expérience nous l'apprendra; pour ma part, j'estime que de grandes résistances à la température ordinaire sont l'indice d'une brique de qualité, de bonne fabrication et il est raisonnable d'admettre qu'une telle brique aura plus de chance de résister aux variations de température, aux actions corrosives des agents chimiques et aux forces physiques.

Les briques pour creusets, tenant 39 à 41 % d'alumine, possèdent une résistance à l'écrasement de 250 kgs par cm²; celles pour cuves, tenant 30 à 32 % d'alumine, offrent une résistance de 600 à 800 kgs par cm². J'estime que ce dernier chiffre offre une bonne garantie contre l'usure des cuves, la question de résistance à haute température n'a que faire dans ce cas.

Nous avons, depuis un an, un fourneau construit avec de tels matériaux et nous n'avons qu'à nous en féliciter jusqu'à présent. Ayant adopté la pratique américaine de ne faire aucun joint de dilatation entre la maçonnerie des étalages et celle de la cuve, en sorte que la cuve repose en partie sur les étalages, nous n'avons observé aucun décollement de la base de la cuve à l'endroit de la marâtre, ce qui prouve que le coefficient de dilatation des briques est négligeable. Au gueulard la boîte à sable, formant joint de dilatation, n'est remontée que de 4 cm., alors que dans les appareils construits avec des briques ordinaires, la sablière est remontée de plus de 25 cm. et d'une façon tout à fait inégale d'ailleurs.

Briques de carbone. — La brique de carbone est appréciée en Allemagne; elle paraît bien résister dans les fourneaux produisant toutes espèces de fonte; elles sont plus légères que les briques alumineuses; leur poids spécifique est seulement égal à 1,3; leur résistance est de l'ordre de 180 kgs par cm².

La brique de carbone ne provoque pas de loupes

de fonte sur la sole, elle ne se dilate presque pas à haute température; elle est mauvaise conductrice de la chaleur; elle est infusible et possède une grande capacité de résistance aux actions corrosives des laitiers soit acides, soit basiques.

L'opinion que les loupes ne peuvent se former paraît inexacte, alors que les autres qualités semblent se confirmer pratiquement.

Dans la fabrication de ces briques on apporte, à l'heure actuelle, les mêmes soins que dans la confection des briques alumineuses spéciales; on n'emploie comme matière première, que du coke de très bonne qualité, dur et très pur. D'après le comptoir de vente, la teneur en cendres ne doit pas dépasser 13 %; en réalité, les bonnes firmes n'emploie que des coques à 8 % de cendres seulement. Le coke est moulu très finement et mélangé avec 10 à 25 % du meilleur goudron d'aciérie. Après malaxage, le mélange est comprimé dans des moules métalliques, au fouloir pneumatique par couches minces successives.

Les moulages sont protégés contre l'action de l'air en les saupoudrant de poussières de coke; la cuisson s'effectue entre 1.300 et 1.400 degrés. Le produit fabriqué est compact et sonne dur.

Avant la mise en œuvre, on assemble les divers éléments sur une assise parfaitement dressée et on les rode pour éviter les joints. Comme mortier, on emploie aussi un mélange de fin poussier de coke et de goudron appliqué à chaud. L'essentiel est d'employer un mortier homogène et fin et de bien roder les faces des briques pour réduire les joints au strict minimum.

Il me semble que l'on doit protéger les maçonneries en carbone contre le contact direct de l'eau; aussi convient-il de cuirasser creuset et étalages et d'éviter tout refroidissement par ruissellement d'eau.

Ces briques ont connu déjà une grande vogue de 1900 à 1912; cependant, de l'avis de beaucoup d'ingénieurs, elles n'ont pas été sans causer beaucoup d'ennuis. A cette époque, la pratique d'entourer les maçonneries d'une cuirasse continue était inconnue.

Beaucoup de revêtements furent fondus, d'autres se soulevèrent et, à certaines mises hors feu, on ne retrouva aucune trace des briques de carbone. Le résultat se traduisit par de nom-



breuses percées et la destruction des trous de coulée.

Toutefois, là où il existait une bonne cuirasse et où l'on faisait usage de la machine à boucher, les expériences faites avec les briques de carbone furent favorables.

Il faut, à présent, bien se rendre compte que la conception moderne des hauts et larges creusets, de la cuirasse massive et continue avec refroidissement sans contact avec les revêtements réfractaires et du bouchage généralisé à la machine, a considérablement amélioré les conditions d'emploi des briques de carbone, comme des autres revêtements réfractaires d'ailleurs.

La cuirasse massive n'est nullement l'accessoire d'un creuset, mais bien la chose principale et qu'à ce compte, la brique carbone doit aussi bien résister, si ce n'est pas davantage que la brique alumineuse.

C'est pourquoi ce revêtement a reconquis la faveur des constructeurs, non sans succès d'ailleurs. Dans ces derniers temps, il a été employé aux usines suivantes: Gutofnungshütte à Oberhausen; Frédéric Krupp à Essen; August Thyssen-Hütte à Hamborn; Bockumer-Verein à Bochunhütte Vulean à Duisbourg, Hoesch à Dortmund, Henschel und Sohn à Hattingen; Mannesman à Uckingen; Providence à Rehon et Hauts Fourneaux de Caen.

En résumé, voici les caractéristiques d'une brique de carbone:

Analyse chimique: carbone = 92 à 93 %, cendres 8 à 7 %.

Densité: 1,3.

Résistance à la température ordinaire: 180 kgs par cm^2 .

Affaissement sous la pression de 2 kgs par cm^2 : nul à la température de 1.800°.

Briques de silice. — Ces briques sont uniquement employées pour la sole et remplacent, en somme, le poudingue de jadis. On a fait des essais dans certaines usines de la sole acide et on a remarqué qu'elle se comporte bien dans la fabrication de toute espèce de fonte et peut-être réemployée lors des reconstructions, les loups n'y adhèrent pas.

En pratique, on recouvre la sole en silice d'un

tas de briques chamotte d'une hauteur de 300 à 500 mm de hauteur, dans le but de réchauffer très lentement, sans quoi on risquerait de la désagréger à cause de la brusque dilatation qui se produit jusqu'aux environs de la température de 300°.

La couverture basique peut disparaître rapidement, mais on remarquera toujours que la formation des loups s'arrête à la partie supérieure de la sole acide.

De telles soles sont employées à la Gutofnungshütte à Oberhausen, à la Mannesmanwercke à Uckingen, aux Hauts Fourneaux d'Imuyden en Hollande, aux fourneaux de Lübeck, etc.

PLANCHER DE TRAVAIL: *Porte-vent, tuyères, machinerie.*

En Amérique, en Hollande, dans le Grand-Duché, en Allemagne, à Ougrée, bref chez tous ceux qui ont adopté le cuvelage massif du creuset, avec refroidissement par eau sous pression, le socle sur lequel repose le fourneau, dépasse de 3 m. le rayon extérieur du creuset. Ce socle ou dé est prolongé jusqu'au niveau du plancher de travail, soit jusqu'à 1^m70 sous le plan des tuyères à vent, englobant les colonnes qui supportent la marâtre, laissant entre lui et le blindage, un espace annulaire d'une largeur d'environ 0^m75.

Cet espace est rempli de sable sec jusqu'au plancher de travail dans le but de protéger les tuyaux d'arrosage de la cuirasse du creuset.

Dans les usines qui ont adopté le blindage massif, refroidi par ruissellement extérieur de l'eau, on arrête le socle en maçonnerie du fourneau au niveau inférieur du blindage, soit à 2^m70 sous le trou de coulée, c'est-à-dire au niveau de la couronne d'assise des colonnes de marâtre.

A ce niveau on constitue un bassin d'eau pour récolter toutes les eaux d'arrosage, depuis le dessus des étalages jusqu'à la sole.

Le plancher de travail est alors fixé aux colonnes sur poutrellage bétonné avec jeu tout autour du creuset pour la libre évacuation des matières en cas de percée.

Le porte-vent circulaire à vent chaud est suspendu à la couronne de centrage des têtes de colonnes; il est surmonté d'une passerelle circulaire à portée de laquelle on installe une double tuyauterie circulaire à eau pour l'alimentation de

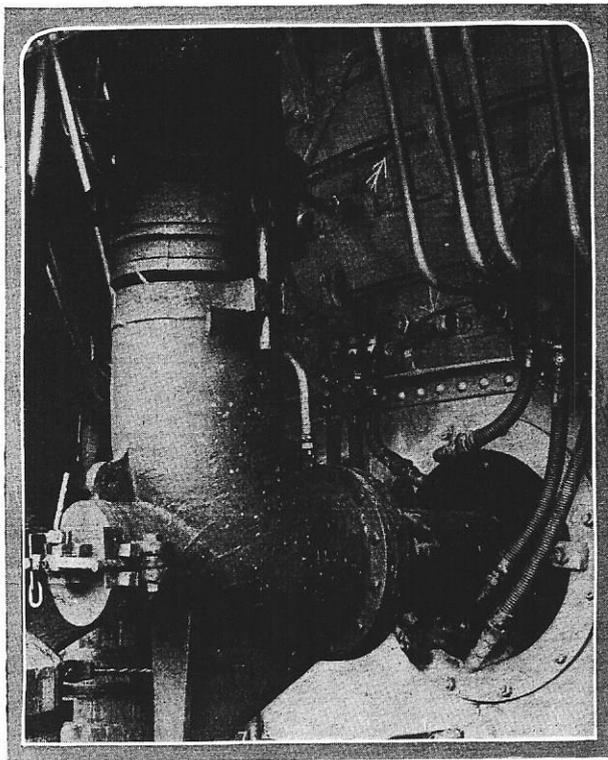


Fig. 32. — Tuyère à vent et porte-vent.

toutes les caisses, chapelles et tuyères du fourneau; on y installe aussi le bassin circulaire de décharge général.

Les porte-vent sont en acier coulé, à joints sphériques absolument étanches aux plus fortes pressions; les joints font partie de pièces rapportées appliquées aux coudes à l'aide de boulons à clavettes; en cas d'usure, ces pièces peuvent être remplacées rapidement et économiquement (fig. 32). Ces porte-vent se distinguent donc par leur grande étanchéité, par les faibles dépenses qu'ils occasionnent, par la facilité avec laquelle on peut démonter et déplacer les pièces.

Sur la figure 33, on remarquera les détails des tuyauteries d'alimentation et de décharge des chapelles et des tuyères; ces tuyauteries sont flexibles et armées de garnitures articulées en cuivre.

Les tuyères sont en cuivre à 99,96 % laminé et ne présentent ainsi aucune soudure évitant ainsi les risques d'accident. Le plan n° 34 indique les

stades successifs de la fabrication. Le bloc de cuivre fig. A est coupé à la périphérie (fig. B); la partie supérieure renferme la matière nécessaire à la confection de la paroi interne de la tuyère et l'autre, celle nécessaire à la confection de la paroi extérieure. Par martelage, on obtient un disque rond, à double paroi (fig. C). Par laminage, on redresse d'abord la partie intérieure du double disque (fig. D), puis ensuite la partie extérieure (fig. E). Enfin, on estampe le fond (fig. F), on le poinçonne, puis on l'alèse au tour vertical.

La matière de la tuyère finie possède une résistance de 30 kgs par cm^2 et un allongement de 48 %, une grande élasticité et une forte conductibilité. Nous donnons la photo (fig. 35) d'une tuyère qui a eu une durée de service de 14 mois dans un fourneau produisant 775 T. de fonte par jour. La tuyère a donc produit 328.200 T.

Nous possédons des tuyères de 200 mm de diamètre et de 275 mm de long seulement; leur

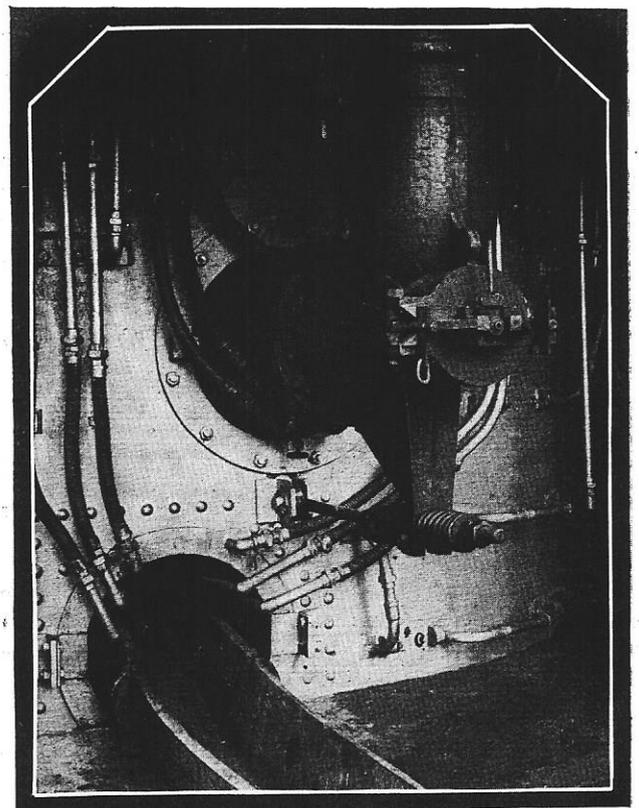


Fig. 33. — Tuyère à vent et tuyère à laitier.

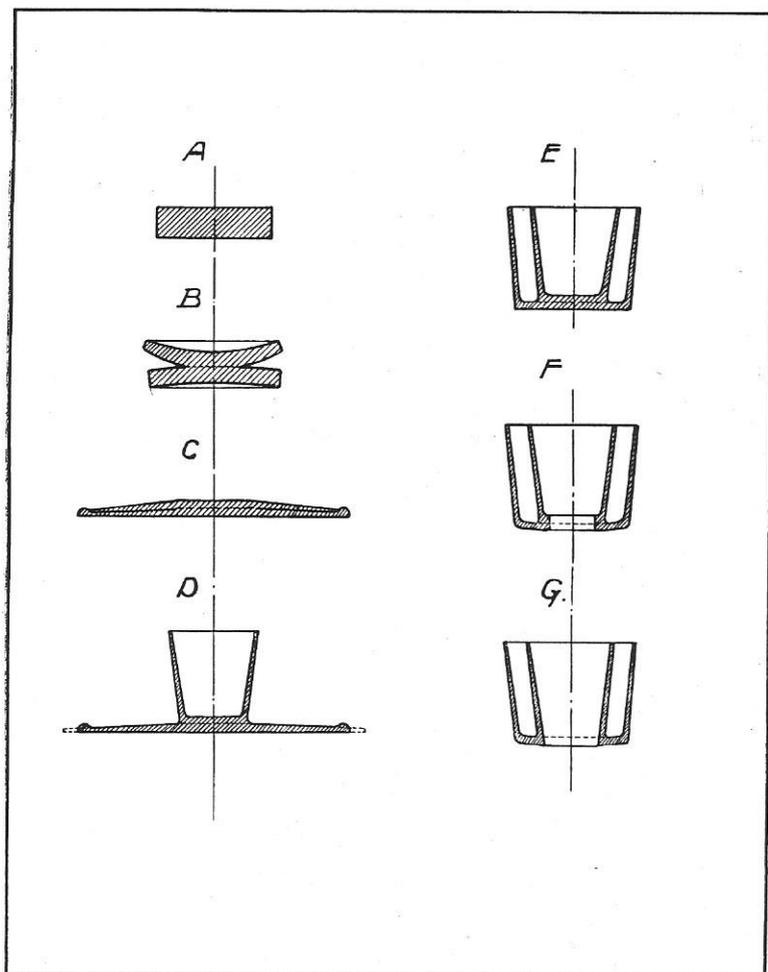


Fig. 34. — Détail de fabrication d'une tuyère laminée.

faible poids en rend le maniement des plus aisés. Ces qualités de la tuyère, jointes à celles des porte-vent rendent le remplacement d'une tuyère facile et extrêmement rapide et réduisent les arrêts au strict minimum de temps.

Comme déjà dit, les abords du trou de coulée sont bien dégagés dans les fourneaux modernes, grâce au plus grand espacement des colonnes à cet endroit. Le travail des fondeurs s'y exécute à l'aise et la machine à simple ou à double canon, à mise en place automatique, y évolue commodément (fig. 36).

La machine à boucher est l'outil indispensable des fourneaux à marche rapide; elle travaille suivant le principe de vidange à chaque coulée. Son

application systématique a pour effet de regarnir périodiquement les hanches du trou de coulée, aussi bien que le fond du creuset et de combattre l'usure du stoupa et d'empêcher les percées à cet endroit.

La pratique de vidanger le four à chaque coulée a pour résultat de brasquer périodiquement le creuset par le fraisil de coke et d'éviter les percées.

L'usage des hauts et larges creusets joint à l'usage de la machine à boucher et la pratique de vidanger le fourneau à chaque coulée ont rendu les percées excessivement rares.

L'emploi continu de la machine a pour effet de regarnir si fortement les trous de coulée que l'on éprouve souvent des difficultés à les déboucher pour la coulée et que l'usage des machines à percer les trous de coulée s'est rapidement introduit.

Pour déboucher le stoupa, on se sert d'une barre emmanchée à l'extrémité d'un percuteur à air comprimé, soutenu à droite et à gauche par deux fondeurs qui pressent énergiquement dessus; lorsque la barre est à fond ou cède sous les coups répétés du marteau percuteur, on la démanche, retourne le marteau et y emmanche de nouveau la tête de la barre, le percuteur agissant en sens contraire a pour effet de retirer rapidement l'outil.

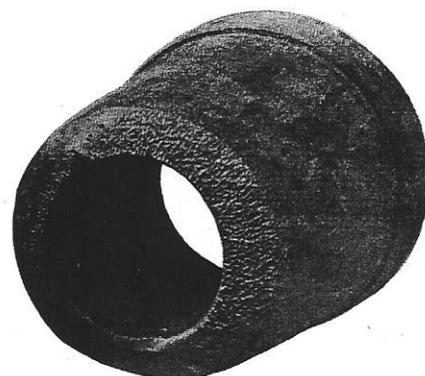


Fig. 35. — Tuyère laminée qui a produit 328.200 tonnes de fonte en 12 mois.



Cet appareil, inventé chez Meiderich, est employé couramment chez Krupp, Mannesman, etc.

Le travail des fondeurs s'est ainsi mécanisé et considérablement amélioré. Il s'exécute avec une telle sécurité que les abords des grands fourneaux sont toujours rapidement dégagés et maintenus dans un grand état de propreté.

La machine à boucher fonctionne à la vapeur ou à l'air comprimé; la meilleure pression de fonctionnement varie entre 10 et 15 kgs.

Dans le cas d'emploi de la machine à simple canon, on doit abaisser la pression du vent au fourneau, au moment de sa mise en place, et même arrêter quelques instants pour donner le temps de l'introduire dans le stoupa, de la caler et de lancer quelques boules de terre à boucher.

Avec une signalisation rapide entre le fourneau et la salle des machines et des fondeurs habiles, on évite presque l'arrêt total et les cou-

rants des solides et des gaz n'ont guère le temps de ralentir dans le four. Mais aussi rapide que soit la manœuvre, il y a discontinuité dans le soufflage du vent pour assurer la continuité de la soufflerie; Brosius a inventé la machine à boucher à double canon et Knox, la machine à rotation; ces machines permettent le bouchage sous une pression de 50 mm de mercure.

La mise en place de ces machines se fait à distance par servo-moteur à air comprimé et par renvoi de câbles; un coup de volant et la machine pivote, se place en face du trou à boucher, s'incline et, aux approches du trou, est saisie par l'appareil de calage, qui la pousse dedans. Au même instant, les pistons propulseurs projettent un double boudin de terre de bouchage.

Nous avons vu une telle machine en fonctionnement aux nouvelles usines de Krupp à Berge-Borbeck; chez Mannesmann à Uckingén on en projetait l'installation à bref délai.

Tuyères de secours. — En Amérique, on ne rencontre pas de tuyères de secours. Avec les fortes pentes données actuellement aux étalages, on diminue évidemment les risques de formation des garnissages au ventre et l'utilité des tuyères de secours est moins urgente. Toutefois, dans la région des minettes, il ne convient pas de les condamner *a priori*; en cas de concassage de la minette, sans agglomération des fines qui en résultent, l'emploi des tuyères de secours devient nécessaire et même profitable en détruisant les amas de poussières au ventre et en augmentant la production.

En fait, il vaudrait mieux s'en passer, car ces tuyères constituent un facteur de destruction des étalages, mais alors, on doit écarter la fine mine résultant du concassage et procéder au frittage de ces menus minerais. L'emploi d'agglomérés obtenus par frittage possède, en effet, une heureuse influence sur la productivité du four et sur la mise au mille; en réalité, qui dit concassage des minerais doit assurer le frittage des menus. L'avenir est de ce côté et non dans l'installation de tuyères de secours, l'avenir est dans le calibrage intégral des cokes et des minerais.

Un exemple typique de calibrage intégral de tous les éléments du lit de fusion existe en Tchécoslovaquie, aux usines de Triznietz, qui possèdent

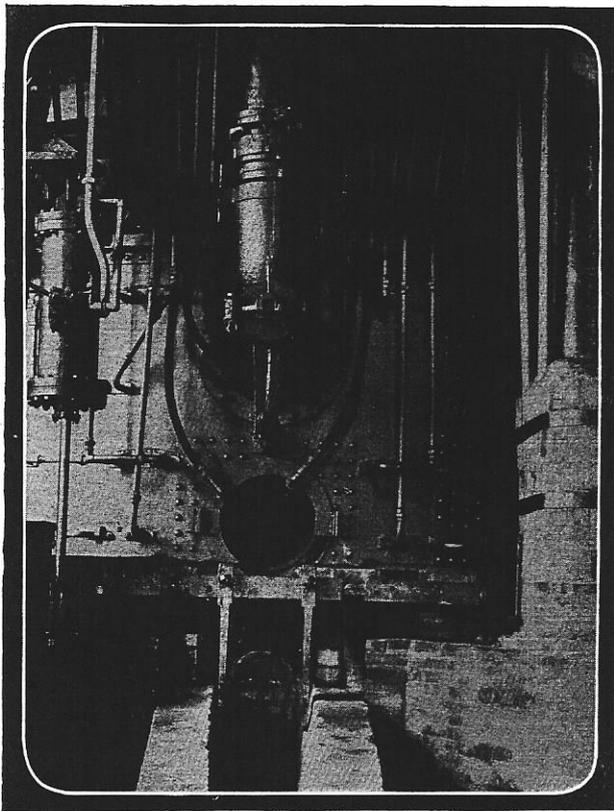
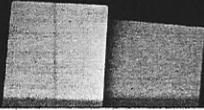


Fig. 36. — Trou de coulée et, à gauche, appareil de calage de la machine à boucher.



une installation complète de concassage et une installation de frittage pouvant agglomérer 600 T. de menus par jour à l'aide de 3 fours Schmidt. La consommation de coke par tonne de fonte ne dépasse pas 720 kgs avec un rendement de 48 %.

On a essayé une quantité de tuyères spéciales, en cuivre laminé et dont la vogue se répand de plus en plus, en aluminium, à refroidissement intense, à garnissage réfractaire interne, à ajustage convergent-divergent, etc.

Le tampon mécanique pour tuyères à laitier commence à s'introduire.

Toutes ces innovations ont pour but d'éviter les arrêts et d'assurer la continuité du débit d'air soufflé dans le fourneau, en conformité avec le principe moderne à la base de la conduite des fourneaux à allure intensive.

Ce grand principe préoccupe tellement les ingénieurs, que les nouvelles usines de Krupp à Essen et Mannesman à Uckingen ont renoncé à l'emploi des soufflantes à gaz et ont installé uniquement des turbo-soufflantes, plus souples et seules capables de maintenir automatiquement et rigoureusement le débit d'air uniforme et constant quelle que soit la pression au fourneau.

C'est par la faiblesse des souffleries que l'on doit craindre des ennuis dans la conduite des fourneaux à allure intensive; si la soufflante n'est pas assez puissante pour vaincre les résistances passagères du four, avant-coureur d'un accrochage en préparation, le débit de vent va diminuer précisément au moment exact où il serait important de le maintenir; si, au moment de sa manifestation, l'accrochage a pu être vaincu, le fourneau reprend son allure normale très rapidement, sinon l'accrochage va se caractériser et la situation deviendra de plus en plus grave.

Il faut donc des souffleries capables d'un fort débit, mais aussi suffisamment puissantes pour être en mesure d'assurer ce débit d'une façon complètement constante à tout moment.

Les coulées dans les grands fourneaux sont de l'ordre de 100 à 180 T.; un fourneau de 1.000 T. fait normalement 6 coulées de 165 T. On coule sur un pont de coulée surplombant ordinairement 4 voies. La première contre le fourneau sert à la coulée du laitier de vidange, la seconde sert de

voie de manœuvre d'accès aux divers fourneaux, les deux dernières sont réservées à la coulée de fonte. Cette coulée se fait dans des poches de 30 T. ou moins, à raison de 2 poches sur la troisième voie et 4 poches sur la quatrième.

Dans les grandes usines, on s'abstient de tout travail accessoire aux abords immédiats. C'est ainsi que l'on ne coule plus en halle près du fourneau, à moins d'accident; on va couler dans les fosses centrales installées loin des appareils.

Une innovation dans ce domaine!

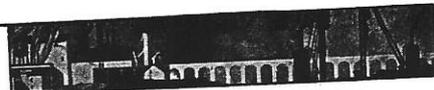
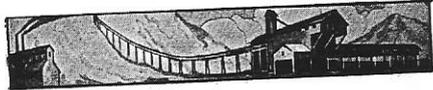
Chez Mannesman, au delà de la halle de coulée, de dimensions réduites, se trouve une excavation ayant la largeur de la banquette de travail du fourneau, une longueur égale et une profondeur de 5 m. environ. On y coule la fonte des jours fériés en couches successives en refroidissant après chaque coulée; la reprise a lieu à l'aide d'un pont casse fonte pourvu d'un mouton et d'un électro-aimant.

Ce procédé ne donne aucun ennui, sauf que les gueuses sont impropres à la vente; il offre en revanche beaucoup d'avantages: économie de place et de main-d'œuvre.

A Rheinhausen, on a ainsi emmagasiné, puis repris sans difficulté hors d'une fosse de $25 \times 25 \times 7$ m., jusque 10.000 T. de fonte.

Dans la plupart des grosses usines, des fosses semblables sont établies loin des fourneaux, à un endroit où l'on a établi également une granulation centrale. La granulation se pratique de moins en moins au fourneau; on conçoit que les vapeurs sulfureuses incommodes le personnel. Par ailleurs, un gros fourneau produisant 500 à 600 T. de laitier en 24 heures doit être dégagé rapidement et on n'a guère de temps pour effectuer une opération aussi lente que la granulation.

On établit maintenant un poste central de granulation dans des fosses surmontées de tours de 30 à 40 m. de hauteur pour chasser les vapeurs au loin dans l'atmosphère. On granule 2 à 4 poches en même temps; les mouvements de renversement des poches s'effectue par moteur électrique au régime de vitesse convenant à une bonne granulation. Un chaîne à godets puise dans la fosse à granuler et emmagasine le laitier dans une trémie en béton de capacité variable: 200 à



300 T., d'où il est chargé automatiquement dans les wagons.

Gueulard et chargement. — Criblage des coques, concassage des minerais, frittage des menus, autrement dit préparation intégrale de la charge constitue le second principe à la base de la conduite des hauts fourneaux modernes.

Dans la région des minettes, un écueil à éviter est la forte production de poussières due à la nature de ces minerais sujets à éclatement. La forte production de poussières n'est cependant pas exclusif à l'usage de la minette. Les gros fourneaux marchant avec un lit de fusion composé de 50 % de Suède, du Wabana et 10 % de minettes produisant 750 T. de fonte en 24 heures, avec un rendement de 47 % rejettant dans les bouteilles à poussières jusque 250 T. journalières de poussières, ce qui correspond à un pourcentage rapporté à la charge de mines, égal à 13.

Dans le bassin des minettes, nous avons relevé un pourcentage de 11 % pour un fourneau de 425 T. à 25 % de rendement.

En fait, la grande proportion de poussières est plutôt due à l'allure rapide et aux fortes pressions de soufflage.

Aussi convient-il d'employer tous les moyens possibles pour éviter cette perte. Le mieux est de fripper tous les menus. Au point de vue constructif, le seul qui nous intéresse ici, il convient de faire usage de larges gueulards. Le mode de chargement intervient également.

Les chargements les plus employés sont, d'une part, ceux qui emploient la benne conique à fond mobile et ceux qui utilisent le Skip associé à la distribution système Mc Kee, ceux-ci étant le dernier en date sur le continent européen.

Remarquons que ces deux appareils, la benne conique à fond mobile et le distributeur Mc Kee renferment un principe commun, celui d'assurer une répartition régulière de la charge au gueulard. En effet, le distributeur Mc Kee n'est, en réalité, qu'une benne à fond mobile, installée à poste fixe au gueulard et à rotation pendant le chargement par le Skip, tandis que la benne conique à fond mobile proprement dite est à rotation pendant le chargement sous les accumulateurs. C'est cette rotation qui assure la répartition

uniforme de la charge dans la benne d'abord, dans le fourneau ensuite.

Une dimension à respecter pour contribuer à un bon chargement est la distance comprise entre le bord de la grande cloche et le bord de la cuve. Une bonne dimension correspond à 600 mm, on peut aller jusque 700 mm, tandis que toute cote inférieure à 600 mm est nuisible pour la bonne marche du haut fourneau. Nous avons dû conduire des fourneaux qui n'avaient respectivement que 275 mm et 370 mm; ils ont eu une allure désastreuse jusqu'au moment, ou par modification de la cloche, la cote a été reportée à 600 mm. A dater de ces chargements, les deux fourneaux en question marchèrent dans d'excellentes conditions.

Le Skip est, avons-nous dit, le dernier appareil introduit sur le continent. Sa vogue est universelle en Amérique. Il est actuellement en usage à Imuyden en Hollande, à la nouvelle usine de Krupp à Berge Borbeck, à la nouvelle usine de Mannesman à Uckingen, à Dudelange dans le Luxembourg, etc.

Au point de vue chargement minéral, benne conique et distributeur Mc Kee se valent; toutefois, au point de vue coke, le Skip maltraite cette matière. Ainsi, à Berge-Borbeck, le coke entre à l'usine en wagons automatiques et déchargé dans des accus en trémies, d'où il glisse sur courroie transporteuse qui l'achemine au niveau supérieur des accus, où il passe dans un triage central. De ce triage, le coke est convoyé par ruban métallique aux trémies, de consommation de chaque fourneau.

Ces trémies sont installées dans l'accumulateur principal à minerais, à droite et à gauche du monte-charges incliné à Skip et le surplombent. A la sortie de ces trémies, le coke est criblé une deuxième fois avant de tomber dans le Skip. Au gueulard, le coke tombe du Skip dans le distributeur Mc Kee, de ce dernier dans le sas du gueulard et enfin dans le fourneau même. Depuis, le convoyeur métallique, cela fait 5 chutes et depuis la réception du coke à l'usine, on compte au moins 7 chutes, dont plusieurs de grande hauteur; c'est franchement une exagération.

Si la cokerie est à l'usine, comme à Imuyden le coke, après passage par le poste central de

criblage, est chargé dans un coke-carr convoyé aux accus; dans ce cas, on compte 6 chutes.

Avec la benne à fond conique, il y a une première chute après criblage au poste central; puis une seconde au gueulard, de la benne directement dans le gueulard. Au gueulard, il n'y a pas de sas, la benne coiffée de son chapeau y faisant office.

Avec la benne conique à fond mobile, on ne compte donc que 2 chutes à opposer aux 6 chutes nécessitées au moins par le Skip.

Si, en dehors du déchet au criblage central de l'ordre de 5 à 6 % et qui ressort de la fabrication aux fours à coke, on estime le déchet produit à chaque chute supplémentaire à 1,5 %, on constate que l'emploi du Skip produit un accroissement de déchet égal (6-2) chutes = $4 \times 1,5 \% = 6 \%$.

Ainsi, le chargement américain par Skip recommandable par sa grande économie de main-d'œuvre, puisqu'il n'exige que 2 ouvriers pour le chargement d'un fourneau de 500 à 1.100 T. de production journalière, perd une partie de cet avantage, à cause du déchet supplémentaire en coke qu'il occasionne.

Si, dans la région des minettes, la mise au mille de coke d'un fourneau de 500 T. de production journalière, est égale à 1.200 kgs, le déchet supplémentaire en coke sera de $1.200 \times \frac{6}{100} = 72$ kgs.

Le menu coke récupéré étant valorisé à 50 % de sa valeur, on peut affirmer que la perte réelle correspond à 36 kgs de bon coke métallurgique; au prix de 200 frs la tonne, de coke, cela représente: $36 \times 0,2 =$ frs 7,20 à la tonne de fonte,

En réalité, dans les 4 dernières chutes, il n'y a pas récupération des menus, ceux-ci étant entraînés dans le fourneau; par contre, il y entraîne une oxydation intempestive et une augmentation de la consommation de 45 kgs de coke en moyenne. Si, à cette perte, on ajoute la moitié de la perte précédente, soit 18 kgs, on arrive à une perte totale de coke par tonne de fonte de 63 kgs.

Ces résultats semblent se confirmer, car les gros fourneaux allemands qui utilisent le Skip ont des consommations de coke de 900 kgs environ avec des rendements de 47 à 48 %.

A la Guthoffnunghütte, qui utilise la benne à fond conique, la mise au mille du fourneau de 1.100 T. n'est que de 815 kgs avec un rendement

de 49 %. A Tryznetz, en Tchéco-Slovaquie, qui utilise la benne à fond conique également, la mise au mille de coke du fourneau de 570 T., est seulement de 730 kgs avec un rendement de 48 % (fonte à 0,28 silic.). Nous ajouterons toutefois que, en faveur de cette faible mise au mille, tous les menus sont frittés dans cette usine.

Prises de gaz. — Rabattage des poussières dans le fourneau. — La pratique actuelle est d'installer deux ou quatre prises de gaz. Dans le cas du choix de 2 prises, comme chez Thyssen, il y a deux bouts de prises horizontales de section elliptique aplaties, raccordés à deux descentes elliptiques à grand axe vertical, traversant la charpente carrée supportant le gueulard et aboutissant à 2 cloches à gaz en dehors du cadre métallique.

Ces deux cloches sont raccordées à une cloche unique placée entre les deux précédentes et raccordée à une grande bouteille à sec dont l'axe correspond avec l'axe général des fourneaux.

Cette bouteille a un diamètre de 10 à 12 m. et une hauteur de 18 à 20 m.; elle possède un cône inférieur et une calotte demi-sphérique et deux rangées de clapets d'explosion accessibles par balcon circulaire; pour simplifier la construction de la charpente de support, la partie cylindrique de la bouteille descend jusqu'au niveau inférieur du cône et quelques colonnes suffisent pour la supporter.

Mannesman utilise la construction américaine comportant 4 prises de gaz, uniformément réparties et redressées vers la tête du gueulard; elles sont réunies deux à deux et les raccords réunis à deux descentes inclinées à 45° munies de cloches avant raccordement au bas de la bouteille à sec.

Toutes les cloches à gaz sont des cloches à sec avec sièges coniques en acier coulé; tous les coudes des tuyauteries de descente sont garnis intérieurement d'une tôle d'usure. A remarquer que l'entrée de la tuyauterie à gaz dans le bas de la bouteille se fait indifféremment au centre ou latéralement, cela dépend de la situation topographique.

La caractéristique de tous les gros fourneaux de Thyssen, Krupp, Mannesman, Gutoffnunghütte, en fait de bouteilles à poussière, est l'emploi généralisé d'une bouteille unique de grandes



dimensions: 10 à 12 m. de diamètre et 18 à 22 m. de hauteur; ce qui fait que la bouteille a le même encombrement en plan que la charpente carrée du fourneau et que son dôme atteint le niveau du gueulard.

L'emploi de multiples bouteilles de 6 à 8 m. de diamètre et de 11 à 15 m. de haut est abandonné partout, parce que inefficace. Un haut fourneau de 1.000 T. à grand rendement, consommant 780 kgs de coke par tonne de fonte, produit à l'heure:

$$\frac{1000 \times 0,780}{24} \times 4.500 \text{ m}^3 \text{ gaz} = 150.000 \text{ m}^3 \text{ de gaz-heure;}$$

une aussi forte quantité de gaz doit pouvoir être rapidement détendue pour rabattre les quelques 200 T. qu'elle charrie par jour. Dans les prises de gaz, la vitesse est de l'ordre de 10 à 12 m. par seconde; dans la bouteille de 10 m. de diamètre, c'est-à-dire de 78 m² de section, cette vitesse tombe à:

$$v = \frac{V}{S} = \frac{150.000 \text{ m}^3 \text{ heure}}{\frac{3600 \text{ seconde}}{78}} = 0,5 \text{ m. environ.}$$

La formation des poussières est tellement considérable dans les fourneaux à marche intensive (certains fourneaux produisent jusqu'à 270 T. de poussières en 24 heures) qu'on a dû songer à les valoriser. De là est née toute une série de procédés pour l'agglomération des poussières de gaz.

Nous n'avons nullement l'intention de décrire les différents procédés de briquetage, pas plus que le procédé de réintroduction des poussières au ventre du haut fourneau; en fait, le meilleur moyen de se débarrasser des poussières est de les empêcher de sortir du fourneau.

La question est présentement résolue et 2 procédés ont récemment vu le jour:

1) Le procédé par chaînes qui forment un barrage au passage des poussières;

2) Le procédé Eschenberg d'insufflation de gaz épuré et d'eau sous forme de nappe horizontale, animée d'un mouvement tourbillonnant formant voile d'arrêt pour les poussières qui sont obligées de se rabattre dans le fourneau;

3) Le filtre à chaînes consiste en un voile formé de fortes chaînes pendues verticalement sur toute la circonférence du gueulard, sous la cloche, en pleine trajectoire des gaz qui cheminent vers les prises de gaz. Au droit des prises, il y a 76 chaînes par mètre courant de circonférence, tandis que sur le restant du pourtour, le nombre de chaînes n'est que de 43 (fig. 37).

La partie plus épaisse du filtre empêche la masse de gaz de s'engouffrer dans les prises de gaz et la force à faire un détour vers la zone moins serrée du filtre. Du fait qu'une plus grande résistance est opposée au gaz sur le chemin direct des dégagements latéraux, le courant gazeux doit se répartir uniformément sur toute la section transversale du fourneau.

Le filtre retient d'abord, de façon purement mécanique, une partie de la poussière, puis en outre, grâce à la répartition plus uniforme des gaz qu'il procure, il procurera une réduction dans la quantité de poussières.

Le filtre à chaînes aurait procuré aux usines de Bochum, outre une réduction de tonnage de poussières, un abaissement de la température du gueulard de 60°, indice d'une meilleure mise au mille de coke, qui s'est d'ailleurs traduite par une diminution de la consommation de coke de 30 kgs. Ces résultats ont été obtenus dans un fourneau produisant 900 T. de fonte avec une mise au mille de 780 kgs de coke sec et un rendement de 49 %; la température du gueulard étant de 260°.

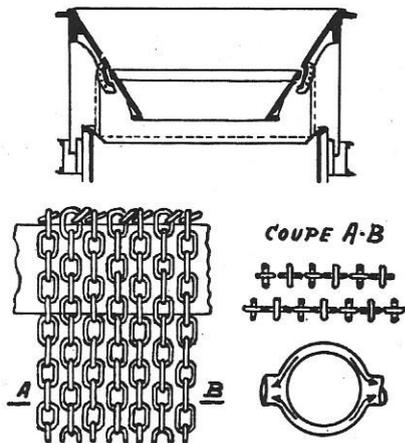


Fig. 37. — Filtre à chaîne et disposition dans la prise de gaz.

Le filtre à chaînes n'est pas, à proprement parler, un rabatteur de poussières, mais un régulateur de la répartition des gaz au gueulard et dans la cuve, capable de forcer les gaz s'élevant à la périphérie de mieux se répartir dans toute la section de la cuve et d'agir plus efficacement.

Le procédé Eschenberg des Acières Becker de Crefeld (fig. 38), consiste à produire dans un plan horizontal, entre le niveau supérieur des charges et le niveau inférieur de la cloche baissée, ou du répartiteur fixe, une nappe giratoire de gaz et d'eau sous pression et de créer ainsi dans un plan perpendiculaire au mouvement des gaz un voile ou filtre que ces derniers, chargés de poussières, doivent traverser avant de s'acheminer vers les prises de gaz; il en résulte un abatage des poussières qui retombent uniformément sur toute la section du fourneau.

La nappe filtrante est ordinairement produite à l'aide 6 tuyères d'injection de gaz, placées tangentiellement au cuvelage, suivant un angle de 15 à 20° environ, et de 6 tuyères d'injection d'eau, à bec écrasé, afin d'obtenir des nappes horizontales; ces tuyères sont dirigées suivant un angle plus grand pour éviter que l'eau ne frappe le cuvelage et ne coule à la périphérie de la cuve.

Le gaz est injecté sous une pression de 3 atmosphères à raison de 2.500 m³ à l'heure, à l'aide d'un ventilateur Roots. L'eau est injectée à la pression de 0,4 atmosphères à raison de 7 m³ l'heure pour un fourneau de 700 T. de production journalière.

Afin de pouvoir diriger convenablement les jets des tuyères et procéder méthodiquement au réglage le plus convenable, les tuyères sont montées sur rotules sphériques. Des dispositifs sont pris pour pouvoir nettoyer les tuyères en marche.

L'injection de l'eau n'a pas lieu sous forme pulvérisée, mais bien sous forme de grosses gouttelettes, afin de happer les poussières, de les alourdir et de les forcer à retomber dans le fourneau. Par ailleurs, on n'injecte l'eau que lorsque la température du gueulard le permet, c'est-à-dire, lorsque cette température est suffisamment élevée pour que l'eau injectée ne crée la formation de boues. Pour cette raison, on interrompt l'injection d'eau lorsque le fourneau s'accroche.

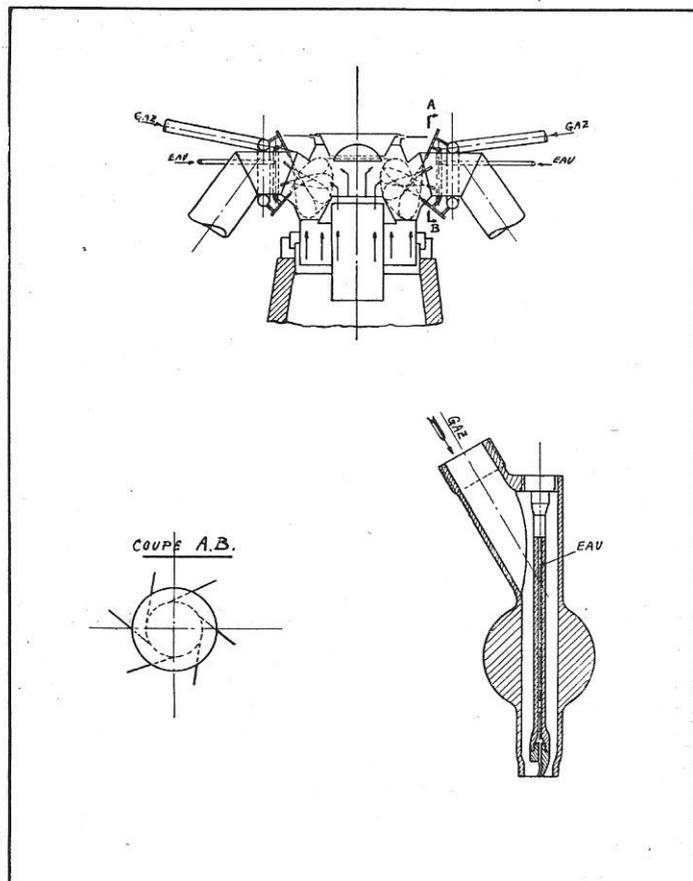


Fig. 38. — Rabatteur de poussières, système Eschenberg.

La formation des nappes filtrantes dans les prises de gaz n'est pas recommandable parce que la poussière, retombant dans le fourneau, crée 2 colonnes très nuisibles à la bonne marche.

Le système de nappe créé au-dessus des charges a été reconnu meilleur par la pratique, parce qu'il force le gaz à mieux se répartir dans la cuve. L'abatage des poussières est uniforme sur toute la section de la cuve et de plus, la formation des poussières est diminuée du fait de la meilleure répartition provoquée par la nappe gazeuse, qui empêche les gaz de s'engouffrer dans les prises en courants nets, mal répartis.

On observe ici aussi une diminution de la mise au mille de coke. Voici les résultats obtenus dans diverses usines:



Désignation des usines	Production journalière	Production journalière de poussières		Observations
		Avant application du système	Après application du système	
Krupp à Rheinhausen	450 tonnes hématite.	50 tonnes.	4 à 5 tonnes.	} 90 % des poussières sont rabattues. } 70 %
» »	750 » Thomas.	250 »	25 à 30 »	
Guthofnungshütte.	700 » »	120 »	25 à 30 »	
Krupp à Berge Barb	700 » hématite.	100 »	20 tonnes.	
Becker à Crefeld	700 » »	40 »	10 »	
Klockner à Haspe	750 » Thomas.	180 »	30 à 35 tonnes.	

Chez Klockner à Haspe, le fourneau produit 700 à 800 T. de fonte Thomas à 0,25 % sil, 0,046 soufre, 2,20 % phosphore. La production mensuelle de poussière de 3.900 T. en novembre 1929, avant l'application du procédé, est tombée à 1.050 T. en décembre 1929, après l'installation du procédé Eschenberg, soit de 130 T. de poussières par 24 heures à 35 T., ou encore de 9 % de la charge (mines + coke) à 3 %. On a rabattu 70 % de la totalité des poussières sans le moindre dérangement au fourneau.

On emploie 80 à 105 litres d'eau par minute, soit 6 m³ d'eau environ à l'heure sous la pression de 0,4 atmosphères et 2.500 m³ de gaz épuré à l'heure sous la pression de 3,0 atmosphères.

La température du gueulard de 170° s'est un peu abaissée après l'introduction du procédé.

Contrairement à toute attente, l'allure du fourneau ne s'est nullement dérangée; toutefois, l'effet ne se produit que quelques jours après la mise en marche, c'est-à-dire après qu'un certain équilibre soit établi. Il faut veiller à la mise en marche du système, à la diminution du poids de la charge attendu qu'en rabattant les poussières, on augmente le poids du lit de fusion.

Les poussières recueillies dans les bouteilles sont moins riches en fer 38 au lieu de 43 % de fer; c'est logique, les poussières les plus riches,

c'est-à-dire les plus lourdes, sont rabattues les premières.

La vieille conception de la construction des hauts fourneaux étriqués vers le bas comme des entonnoirs, avec étalages plats, a vécu et avec elle tout le cortège de misères occasionnées, pourrait-on dire, volontairement par cette forme qui a substitué pendant plus d'un siècle.

Ont vécu les accrochages avec leurs effets parfois foudroyants, les garnissages avec chutes périodiques de matières réfractaires, engorgeant les creusets trop petits, les percées dues aux faibles armatures des creusets et aux difficultés de maintenir les trous de coulée.

Le fourneau s'est apprivoisé, il est devenu un appareil docile et maniable, grâce au travail de toute une pléiade d'ingénieurs actifs qui ont résolument appliqué les méthodes scientifiques à sa construction, aussi bien qu'à sa conduite.

Le fourneau est l'appareil qui a le plus profité, dans ces dernières années, de l'application des méthodes scientifiques. Il est perfectible encore dans beaucoup de ses accessoires et un bel avenir lui est encore réservé.

(A suivre.)

Faites lire cette revue par votre personnel technique. Il y puisera certainement des idées capables de perfectionner son travail et d'augmenter son rendement.