

Dans cette formule, substitutions les valeurs de z et n , on a finalement :

$$\frac{\pi R}{2} + 2R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 2r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{2\pi r}{360}\right) \alpha = \frac{\pi R}{2} + \left(\frac{2\pi R}{360}\right) \alpha - D + D_e$$

$$2r \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi \alpha}{360} \right) = 2R \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi \alpha}{360} \right) - D_e + D$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r = R - \frac{D_e - D}{2 \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi \alpha}{360} \right)} \\ m = \frac{\pi R}{2} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} (R - r) - D_e \\ x = r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \end{array} \right. \quad (9)$$

Dans le cas où $\alpha = 90^\circ$ les formules se simplifient et on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} r = R - \frac{D_e - D}{2 - \frac{\pi}{2}} = R - \frac{D_e - D}{0,4292} \\ m = \frac{\pi R}{2} + R - r - D_e \\ x = r \end{array} \right. \quad (9a)$$

La connaissance de r , x et n suffit pour déterminer la petite courbe.

On connaît ainsi tous les éléments du problème. Outre sa simplicité, cette construction possède l'avantage de réaliser les conditions d'un passage rationnel de l'eau.

Th. KACH,
Ingénieur Hydraulicien.

LA FABRICATION DU FERRO-MANGANÈSE AU FOUR ÉLECTRIQUE

Parmi les produits les plus employés actuellement dans l'industrie sidérurgique, il faut mettre au premier rang les ferros-alliages, dont la consommation augmente chaque année. On peut même dire que c'est là une industrie nationale pour la France, car si l'on se reporte aux colonnes « exportation et importation » des statistiques douanières, on voit que la France exporte plus de la moitié de sa production.

Les ferros les plus courants sont : le ferro silicium, le ferro chromé et le ferro manganèse. C'est sur ce dernier que nous nous arrêterons.

Les différentes sortes de ferro-manganèse. — On fabrique dans l'industrie plusieurs ferros-Mn à des teneurs en Mn assez différentes, depuis le spiegel, ou spiegel-eisen, ou fonte spéculaire, dont la teneur maximum est de 12 à 23 %, jusqu'au ferro-manganèse, Mn à 90-93 %, mais nous devons ajouter que, de plus en plus, c'est l'alliage 80-85 % qui a la préférence, pour plusieurs raisons.

Les spiegels et les ferros 50 % pour une même quantité de matière réductrice (Mn) renferment beaucoup plus de C, ce qui est parfois gênant ; car, dans un bain fortement oxydé, il faut plus de 1 % de Mn pour opérer la réduction totale et si, d'autre part, on ne veut pas un acier trop dur, il sera fort difficile d'introduire du spiegel, pour ne pas être ensuite obligé de faire un affinage complémentaire afin de réduire le taux de carbone.

Le ferro 90-93 % réaliserait bien le but proposé, mais d'une part, il est difficilement transportable, car il tombe

en poussière (le Mn étant sous forme de carbure de Mn) et, d'autre part, son prix de revient est trop élevé ; les fabricants qui en font, le consomment eux-mêmes d'ordinaire, les avantages de son emploi leur faisant accepter l'inconvénient d'une fabrication onéreuse.

En effet, le ferro 80 % se vend actuellement 200 fr. la tonne et revient à 160-165 francs, tandis que le 90-93 %, pour une faible élévation de prix de vente, voit son prix de revient augmenter considérablement, puisqu'il s'élève à plus de 250 francs.

Nous étudierons donc l'alliage commercial 80-85 % qui se fait, en grande partie, au four électrique, le haut-fourneau se prêtant bien à la fabrication du spiegel, mais revenant trop cher pour tous les autres ferros plus riches.

Jusqu'à ces derniers temps, la presque totalité du ferro-manganèse consommé provenait des hauts-fourneaux, mais le prix de vente ayant fortement baissé, on a dû chercher un procédé de préparation plus rémunérateur et, bien que certains auteurs aient prétendu que la fabrication électrothermique est trop coûteuse, il n'en reste pas moins vrai que le four électrique soutient contre le haut-fourneau la lutte sans désavantage, toutes les fois qu'on dispose d'énergie à moins de 60 à 70 francs le cheval-an.

..

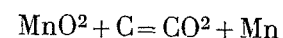
Une étude méthodique de la question devrait comporter l'examen de ses divers éléments dans l'ordre suivant : 1° matières premières ; 2° fabrication ; 3° propriétés et emplois des ferros-manganèses. Mais le lecteur nous excusera si nous commençons par la fabrication. La longueur de ce travail ne se prêtant pas à l'insertion en un seul article, nous croyons préférable, pour obtenir un meilleur équilibrage, de le diviser en deux parties principales : dans la première, nous opposerons le four électrique au haut-fourneau ; dans la seconde, nous réunirons les renseignements chimiques relatifs aux minerais employés et aux produits fabriqués.

HAUT-FOURNEAU. — FOUR ÉLECTRIQUE

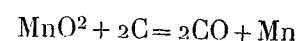
Théorie de la fabrication. — La mise en œuvre des matières premières s'effectue, à très peu de chose près, de la même manière dans les deux procédés : haut-fourneau et four électrique. Ces matières premières sont : le minerai, le charbon, le fer en riblons et les fondants. Les minerais de manganèse employés se rangent, au point de vue minéralogique, en deux groupes : les minerais oxydés et hydratés d'une part ; les minerais carbonatés et silicatés, d'autre part. Nous y reviendrons dans la seconde partie de cette étude.

Théoriquement, la fabrication se résume, dans tous les cas, en une réduction, par le carbone, de l'oxyde de manganèse contenu dans le minerai, et en la dilution du manganèse formé dans la fonte en fusion.

On a deux réactions :



et à température élevée :

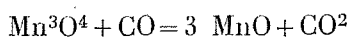


En réalité, les réactions sont cependant plus complexes : il se forme d'abord des oxydes supérieurs, oxydes salins de Mn qui sont réduits à leur tour.

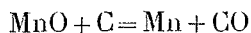
C'est ainsi que l'on a pu constater la présence de Mn^{304} dans certaines parties des scories se trouvant dans des zones de températures peu élevées ; on admet pour sa formation le processus suivant :



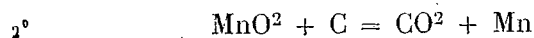
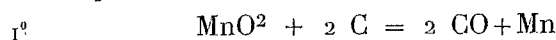
Cet oxygène, mis en liberté, se combine au carbone et provoque la formation de C² qui a pu être décelé dans les fourneaux. — Le gaz CO sert, de son côté, d'agent de réduction et on a finalement :



Ce MnO ne peut plus être réduit par CO. Le carbone seul le réduira :



Comme on le voit, le bioxyde subit non pas une désoxydation brusque, mais une perte en O régulière. Au haut-fourneau, cette dégradation est très marquée et on peut suivre, comme nous le verrons, la perte en O du minerai, tandis qu'au four électrique, la température élevée nous permet de dire que ces deux seules réactions se produisent :



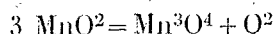
Donnons d'abord un aperçu de la fabrication des spiegels et ferros-Mn au haut-fourneau, puis abordons la fabrication électrothermique, qui tend de plus en plus à supplanter les procédés métallurgiques proprement dits.

Fabrication au haut-fourneau. — Dans le haut-fourneau, on n'emploie pas le minerai tel quel, on l'agglomère pour avoir le maximum de rendement en quantité.

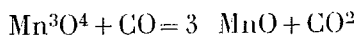
Pour faire ces agglomérés ou briquettes, on procède de la façon suivante :

On fait un mélange de limaille de fer ou de fonte en morceaux relativement petits, avec la quantité calculée de minerai, puis on humidifie la poussière avec un liquide acide, qui varie suivant les usines ; un échauffement se produit dans la pâte, puis un durcissement ; on a soin alors de mouler la pâte avant son durcissement complet, pour avoir les briquettes. C'est elles que l'on charge dans le haut-fourneau alternativement avec le coke, comme pour faire la fonte, selon la méthode bien connue.

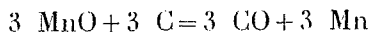
Dans la partie supérieure, c'est-à-dire dans la zone la moins chaude, on a formation de Mn³O⁴ :



Le CO produit d'autre part agit à son tour :



Pendant ces transformations, la charge est arrivée dans la zone inférieure du four qui est à température très élevée ; c'est à ce moment que se forme le manganèse qui tombe au fond de la cuve avec le fer.



Un lit de scories fondues préserve le Mn formé de l'oxydation et lui permet de s'allier au fer.

Voici quelques exemples de lits de fusion, extraits de Schüphan et que nous devons à l'obligeance de M. F. Malet, ingénieur des Mines.

1^{er} EXEMPLE. — On emploie un mélange de : minerai de Poti, 86 % + minerai de Fernie, 14 %, dont la composition est donnée par le tableau suivant :

	Fe	Mn	Ph	SiO ²	Divers
86 % Poti . . .	1,09	36,32	0,113	8,32	4,07
14 % Fernie . . .	2,42	2,26	0,011	1,45	1,40
Total . . .	3,51	38,58	0,124	9,77	5,47

Le rendement du haut-fourneau étant de : 99 % pour le fer, 66 % pour le manganèse, 100 % pour le phosphore, on a respectivement : 3,47 + 25,46 + 0,124 = 29,054 + 2,52

pour les autres éléments, soit au total une masse de 31,574 % de l'alliage à produire.

On obtient un ferro à 80,6 % de manganèse.

Il faut pour fabriquer une tonne de cet alliage :

$$\frac{1000 \times 1000}{31,574} = 3167 \text{ kgs.}$$

On peut aisément, d'après cela, calculer le prix de revient d'une tonne de ferro-manganèse. Il faut, en effet :

86 % Poti . . .	2 723 k. 62 (1 T. vaut 33 marks),	soit	112,30
14 % Fernie . . .	423 k. 38 (1 T. vaut 14 marks),	soit	7,40
Au total . . .	3 167 k. qui coûteront	Fr.	119,70
Il faut, en outre, 2 tonnes de coke à 20 fr.,	soit		40, »
23 % castine = 728 kgs (à 4 fr. 50 la tonne)		3,30
On évalue les frais de fabrication à			25, »
Total			188 fr.

2^e EXEMPLE. — On emploie : 50 % minerai de Poti + 50 % de Carthagène.

Le rendement calculé comme dans l'exemple précédent est de 32,6 % d'alliage.

On obtient un ferro à 60,4 % Mn comme le montre l'analyse suivante : 6,05 (C + S) ; 1,20 (Si + CaO + Ph) ; 32,35 Fe ; 60,4 Mn. — Par tonne, il faut employer :

1 533 k. 5 Poti coûtant	Fr.	63,25
1 533 k. 5 Carthagène coûtant		24, »

Avec le coke, la castine, etc., la tonne revient à 176 fr.

Avec le haut-fourneau, l'opération est longue, les rendements sont peu satisfaisants, cela pour deux raisons : le MnO² mettant un certain temps pour être réduit, se scorie dans les phases intermédiaires ; le grand dégagement de CO entraîne avec lui des poussières de Mn et de Mn³O⁴ ; c'est ce qui donne aux fumées de ces fours leur couleur rousse. On estime au minimum la perte à 10 % en Mn.

Ces inconvénients sont évités par l'emploi du four électrique qui tend à se généraliser et qui donne, en très peu de temps, un ferro à teneur plus élevée et une perte minimum moins grande, comme nous allons le voir.

Ferro-manganèse électrothermique. — Cette fabrication relativement récente a pris une grande extension après une période assez dure, pendant laquelle la lutte avec le haut-fourneau porta surtout sur le prix de revient de l'une et l'autre fabrication.

Des essais, ainsi qu'une enquête minutieuse, nous permettent de dire maintenant que le four électrique lutte facilement avec le haut-fourneau et, qu'actuellement, les rôles se sont inversés, le ferro-électrique coûtant moins cher que le ferro-métallurgique à condition, toutefois, que le prix du HP-an électrique soit compris entre 50 et 75 francs. Dans ces conditions, une tonne de ferro-électrique coûte de 150 à 160 francs, tandis que le haut-fourneau ne peut le produire que vers 180 francs comme on vient de le voir.

Ce qui fait cette assez forte différence, c'est d'abord la consommation fort réduite de coke qui, ici, ne sert plus à chauffer, mais joue seulement le rôle d'un corps chimique opérant la réduction immédiate du minerai.

Puis, l'installation d'un atelier de ferro-électrique est de beaucoup moins coûteuse que la construction d'un haut-fourneau et l'aménagement de tous ses appareils accessoires, tels que gazogènes, souffleries, récupérateurs, etc.

En outre, la main-d'œuvre est minimum dans le cas d'un atelier électrométallurgique, deux ouvriers pouvant assurer le service régulier de deux fours marchant simultanément avec un décalage d'une heure.

Cela nous amène à parler des appareils de production, sur lesquels nous serons très brefs, les fours étant trop répandus pour que les techniciens, même profanes en électrometallurgie, ne les connaissent point. Voyons donc successivement : les fours, leur construction, leurs connexions, leurs électrodes, leur marche, la coulée.

LES FOURS. — On peut dire que la presque totalité des fours employés pour la fabrication du ferro-Mn et de tous les ferros, est du type : four carbure.

Fours avec revêtement extra-magnésien ou calcaire avec sole en graphite et conducteurs noyés dans la sole. Ils se font en général, pour des puissances assez élevées, mais les types répandus aujourd'hui, varient de 500 à 1 500 HP, avec tendance actuelle à utiliser de préférence des fours de 1 000 et 1 500 kw.

Appareils à cuves très profondes : « fours cuves », si on peut les appeler ainsi, dans lesquels on a le rendement maximum au double point de vue : chaleur et quantité. Les gaz chauds produits à la base du four, cheminent en sens inverse de la matière réchauffent les charges successives qui sont introduites presque continuellement. On évite, de cette fa-

çon, la perte en Mn sous forme de fumées rousses contenant Mn^3O_4 , les lits superposés de minerais et de coke formant, pour ainsi dire filtre, et les gaz s'échappant y laissent une grande partie du Mn entraîné.

viron suivant la puissance du four. Ce revêtement est, à son tour, consolidé extérieurement par une chemise en tôle rivée. Le fond ou « sole », est formé par une brasque de graphite, dans laquelle sont noyés les conducteurs en cuivre y amenant le courant électrique.

Les autres prises de courant se font à la partie supérieure par des électrodes suspendues.

LES ÉLECTRODES. — On emploie, dans la fabrication des ferros alliages et du ferro-manganèse en particulier, des électrodes en anthracite. Ces électrodes ont des sections diverses, et pour porter un ampérage déterminé, l'on se trouve en présence du choix suivant à effectuer : ou employer des électrodes de sections très grosses, ou accoupler ensemble plusieurs électrodes de sections moyennes. Chacun de ces deux procédés a ses avantages et ses inconvénients.

Les grosses électrodes se placent plus facilement dans leur support. La perte de voltage est minimum, surtout si on fait le joint au moyen de clinquant de cuivre ; mais on a une conductibilité inférieure à celle que présentent les électrodes moyennes ; en effet, il est beaucoup plus difficile de faire une électrode homogène si elle est grosse, tandis qu'on

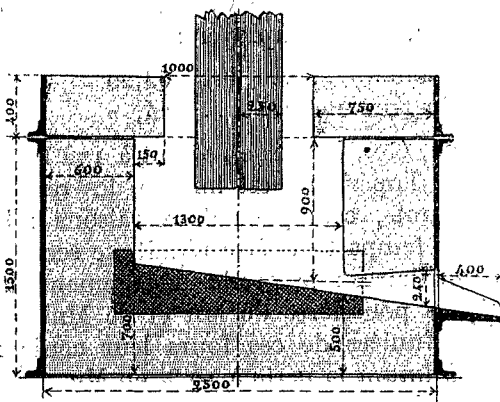


Fig. 1. — Coupe verticale suivant MN.

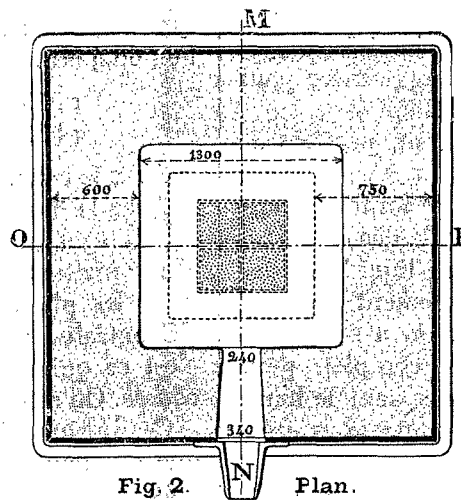


Fig. 2. Plan.

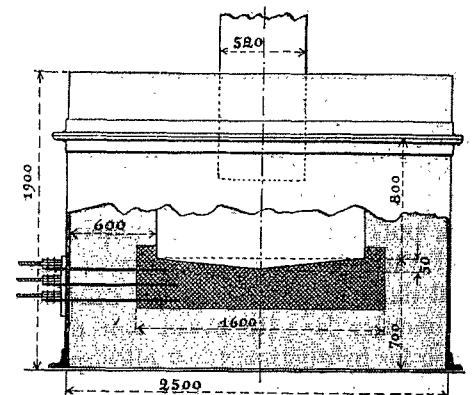


Fig. 3. — Coupe verticale suivant OP.

DIMENSIONS PRINCIPALES D'UN FOUR A FERRO-ALLIAGES DE 500 KILOWATTS DU TYPE USUEL A CUVE CARRÉE

Le seul petit inconvénient de tels fours est leur aménagement assez coûteux, mais nécessaire, pour ne pas rendre la manœuvre trop compliquée et, par suite, trop difficile pour le personnel peu nombreux des ateliers électrometallurgiques. On les dispose au ras du sol, et on établit un échafaudage métallique les surplombant ; sur ce plancher, se trouvent les chargeurs ; on a, en somme, un atelier à deux étages ; mais l'amortissement de cette installation est suffisamment couvert par le rendement supérieur que donnent ces appareils.

CONSTRUCTION DES FOURS. — Ce sont des cuves rondes ou carrées suivant les usines : les parois doivent être très épaisses pour éviter les pertes par rayonnement et, de plus, ces parois doivent être en matières très réfractaires exemptes de SiO_2 ; car, sous l'influence de la chaleur et en présence de MnO_2 , on aurait une désagrégation rapide du four, en même temps qu'une perte très élevée en Mn, par suite de la scorification du minerai avec la silice du revêtement.

Le revêtement se fait en briques de MgO excessivement réfractaires, et on lui donne une épaisseur de 60 cent. en-

obtient facilement des électrodes moyennes très homogènes.

Les électrodes moyennes exigent, pour leur montage, un temps plus long. La perte de voltage y est moins élevée que dans les grosses ; mais si, pendant la marche, une de ces électrodes se brise, on n'a qu'à changer l'électrode endommagée, tandis que si cet accident assez fréquent se produit sur une grosse électrode, elle est hors de service et occasionne pour l'usine une perte assez considérable.

Cet avantage, ainsi que leur grande conductibilité, ont fait adopter le couplage de 2 ou 4 petites électrodes.

Dans ces électrodes on admet 4 ampères par cm^2 pour un four de 500 HP ; un couplage de 4 électrodes (travaillant en parallèle) de 25 cm de côté, paraît être le plus convenable ; leur longueur est de 1 800 millimètres.

RENDEMENT DU FOUR. — Un four de 500 HP donne 3 tonnes de ferro à 80 % Mn par 24 h. en marche normale, c'est le rendement maximum pour de telles unités ; ce chiffre peut-être dépassé par les gros fours, mais cela n'est pas encore bien certain, le nombre de fours de puissance beaucoup plus élevée, étant encore restreint.

Si l'on fabrique du spiegel ou ferro à moins de 25 %, le rendement est presque proportionnel, par comparaison avec le ferro à 80 %.

Mais on a une chute brusque de rendement pour les ferros

de 85 à 93 %, teneur presque maxima à laquelle on tend aujourd'hui. C'est ce qui a même fait prétendre que le ferro à plus de 85 % n'était pas avantageux à produire, son prix de revient étant à peu près son prix de vente, quand il ne le dépassait pas. Nous sommes en mesure d'affirmer que ces dires ne sont pas fondés ; des essais précis ont été faits et ont démontré l'avantage de cette préparation, mais les résultats en sont encore tenus secrets et c'est toujours le ferro à 80 % de Mn qui reste le plus courant de ces alliages et qui tient le marché.

ENERGIE NÉCESSAIRE, DENSITÉ DE PUISSANCE. — Beaucoup de chiffres ont été donnés sur l'énergie dépensée dans la fabrication ; mais, en se basant sur des calculs vérifiés et corrigés par des expériences, on peut dire qu'actuellement, il faut compter une dépense de 2 900 à 3 100 kw-h. pour une tonne de ferro-manganèse à 80 %. Si on compare ce chiffre à celui de 3 900 à 4 000 kw qui représentait la dépense d'énergie par tonne, il y a quelques années, on voit le grand progrès que les industries électrométallurgiques ont réalisés ; ce progrès est dû à deux causes : à la construction des fours à cuves profondes et au *briquetage des charges*, qui, pour ne pas être encore employé partout, tend à se généraliser.

Les résultats industriels nous font admettre comme densité de puissance maxima à laquelle le rendement est le meilleur, l'usure des fours étant normale, 350 à 370 W. par décimètre cube de cavité ; au-dessous de ce chiffre, on a un bain pâteux et un mauvais rendement, et au-dessus, la perte en Mn par volatilisation est trop considérable, car on est en présence du fait suivant :

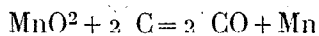
La réduction du manganèse exige une température élevée et cette température croît avec la richesse du ferro à préparer ; d'autre part, la volatilisation est très active à haute température, d'où des pertes de métal en vapeurs importantes à la température même de la réduction. Il y avait pour parer à cet inconvénient deux moyens : ou opérer à basse température (mais alors on a des rendements déplorables et une grande partie du Mn se scorifie à l'état de MnO, la température n'étant pas assez élevée pour que le C réduise MnO²) ; ou alors trouver un dispositif convenable permettant de condenser et d'arrêter Mn²O⁴ entraîné.

On s'est arrêté à ce dernier moyen, et ce fut l'origine des fours à cuve profonde, dont nous avons énuméré les autres avantages au commencement de ce paragraphe.

Nous croyons même qu'on pourrait réduire encore cette volatilisation en faisant des fours munis d'un couvercle, mais actuellement la majorité des fours sont ouverts, les charges formant couvercle.

COMPOSITION DES CHARGES. — Nous nous supposerons dans le cas le plus général qui est celui de l'emploi de minerais à 63 % de MnO² et de la fabrication de l'alliage à 80 % de manganèse.

On compte sur une perte en Mn de 10 %. Pour faire une tonne de cet alliage, il faut 800 kgs de manganèse et, perte comprise, 2 200 kgs de minerais. Pour les autres matières réactives, on se base à peu de chose près, sur l'équation chimique :



soit théoriquement 387 kgs de charbon. Etant donné que le coke employé renferme des cendres, on n'aurait plus la proportion de C nécessaire ; cependant vu que tout le C ne donnera pas exclusivement du CO, mais aussi du CO², on retrouve presque la quantité nécessaire à la réduction du minerai. — On ajoute cependant 18 % en plus pour parer aux pertes par volatilisation.

Le coke renferme environ 5 % de Fe² O³ ce qui, pour la quantité employée, donne 16 kgs de fer.

Le minerai renferme aussi 3,5 % de Fe² O³, soit 56 kgs pour la totalité du minerai.

On a donc : 16 + 53 = 69 kgs de fer.

D'autre part, le ferro 80 % bonne qualité, doit renfermer 9,5 % de Fe, soit 95 kgs par tonne. On n'a donc qu'une charge de 26 kgs de fer à mettre dans le four par tonne d'alliage. — Ce fer est introduit généralement, pour ne pas dire presque toujours, sous forme de rognures, battitures, paille de fer des laminoirs.

Pour la réduction de ces oxydes de fer provenant des matières premières, un excès de coke est jugé nécessaire, et à la charge totale, on en ajoute une petite quantité variant d'une usine à l'autre, tout en se basant toujours sur ce fait, évident, que le carbone provenant des électrodes complète la charge de coke.

Ajoutons, pour être plus précis, qu'un excès de minerai est toujours nécessaire et, cela, pour la raison suivante :

Une partie de Mn se scorifiant à l'état de MnO avec de la silice, cette gangue subira une réduction qui, si elle est totale, donne un mauvais alliage. En effet, MnO se réduit le premier et avant SiO², une fois tout l'oxyde de Mn transformé en Mn, la silice se réduira et du silicium passera dans le bain, ce qui est considéré comme fâcheux, car ce Si confère au ferro-Mn des propriétés gênantes et fait baisser le taux de carbone.

Telle serait la composition théorique de la charge, mais en général, on introduit plus de riblons que ne le veut la théorie, parce qu'en pratique, l'oxyde de fer du coke et du minerai ne subit pas une réduction totale, et la SiO² du minerai en scorifie une partie.

La charge est la suivante, sauf quelques variantes selon les usines : Minerai : 2 200 kgs ; Coke : 476 kgs ; Fer : 40 kgs et plus, si le minerai renferme SiO² ; Spath : variable, suivant le minerai.

Il y a avantage à mettre une quantité de fer plus grande que SiO² du minerai ne l'exige théoriquement, pour que sa silice scorifie Fe² O³ et non MnO.

Cette charge est employée sous forme de briquettes comme dans la fabrication au haut-fourneau.

MARCHE DU FOUR. — Le four est échauffé par le courant avant d'y introduire les matières réactives ; on chauffe généralement pendant 4 heures, l'appareil étant rempli de coke. Quand on juge la cuve assez « bonne », on y introduit les briquettes de minerai et de fer et le coke destiné à la réduction ; le chargement se fait à la pelle et on ne le fait pas en une seule fois, comme dans les aciéries électriques, mais on prépare aux alentours le tas de matières qui doivent être utilisées dans la journée, et on charge peu à peu. Un four-type de 500 HP a les constantes de marche suivantes :

8 000 à 8 500 amp. sous 40 à 50 volts. Quelquefois même, le voltage peut être abaissé suivant la conductibilité du bain de fusion, mais, le plus souvent et au début de l'opération surtout, il faut une tension plus forte.

Ces fours peuvent marcher « à arc » ou à « résistance » ; les premiers essais furent faits avec l'arc, mais la dépense en énergie fut plus élevée et la perte en Mn aussi ; il est facile de s'en rendre compte même dans des essais en petit.

On fait donc marcher le four en résistance, le courant arrivant par la sole se répand dans la masse des matières grâce au coke et l'électrode supérieure qui sert à la sortie du courant est plongée au sein même des matières d'environ

