LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

6e Année. — Mai 1907. — N° 5.

La **Houille noire** *a fait l'Industrie moderne ;*
la **Houille blanche** *la transformera.*

Etat actuel de l'Électro-Sidérurgie

Le four électrique tenant, à l'heure actuelle, une place considérable dans la métallurgie du fer, la Société des Ingénieurs Civils de France avait mis à l'ordre du jour de sa séance du 1er mars *une discussion sur l'électrosidérurgie*, à laquelle ont pris part MM. GUILLET, GIROD, SACONNEY, et le commandant italien STASSANO. Vu l'intérêt qui s'attache à cette question pour les lecteurs de *La Houille Blanche*, nous reproduisons, ici, *in extenso*, le résumé de cette discussion, tel qu'il a paru dans le *Bulletin* de la Société des Ingénieurs civils de France.

M. GUILLET pense qu'il y aurait lieu de discuter les différents points suivants, dont il résume brièvement l'état actuel :

1° *Les méthodes de fabrication : A*) En vue de la production de la fonte. Il rappelle, à ce sujet, les essais couronnés de de succès faits au Canada par M. Héroult, et les expériences de MM. Keller et Leleu, à Livet ;

B) En vue de la production de fer ou d'acier en partant du minerai, comme le fait M. le Commandant Stassano ;

C) En vue de la production de l'acier, par la méthode directe, toutes les opérations, fusions, affinage, se faisant au four électrique. C'est cette méthode qui, jusqu'ici, est la plus employée ; elle a fourni déjà des qualités importantes d'aciers spéciaux et d'aciers à outils. Il est indubitable qu'elle remplace avantageusement la fabrication au creuset ;

D) En vue de la production de l'acier par la méthode indirecte. Ici, l'on prend l'acier à l'état liquide dans un four Martin ou autre, et on le fait passer au four électrique pour en effectuer le paraffinage. Cette méthode est déjà utilisée à Syracuse et à Remscheid.

2° *Les appareils utilisés :* Les fours employés peuvent être divisés :

A) En fours à électrodes se subdivisant en :
- *A'* Fours à plusieurs électrodes, le courant passant dans le bain. Type : Fours Héroult, Keller.
- *A"* Fours à une électrode, le courant passant dans le bain. Type : Four Girod.
- *A'"* Fours à électrodes, le courant ne passant pas dans le bain. Type : Four Stassano.

B) En fours sans électrodes se divisant en :
- *B'* Fours à induction. Types : Kjellin et Schneider.
- *B"* Fours utilisant l'effet Joule. Type : Gin.
- *B'"* Fours à résistance. Type : Girod.

M. Guillet donne une description très rapide de ces différents fours. Il fait remarquer à M. Girod que, si son four à électrode présente un intérêt considérable, il ne croit pas possible la réalisation industrielle de son four à résistance pour la fabrication de l'acier.

3° *La consommation d'énergie et le prix de revient :*

D'après les essais connus, on peut admettre comme consommation d'énergie 750 à 850 kilowatts-heure par tonne d'acier dans le procédé direct, 350 dans le procédé indirect. Ce dernier chiffre découle des essais de Remscheid ; mais on pense bien l'abaisser à 150 kilowatts-heure, avec un four plus important.

Il est à noter que la consommation des électrodes est nulle.

4° *La qualité des aciers obtenus et les raisons de ces qualités :*

Dans un tableau important, M. Guillet donne les propriétés mécaniques d'aciers préparés soit au four électrique, soit par les méthodes ordinaires (Martin et creuset). Ces essais démontrent nettement la supériorité des aciers électriques qui, toutes choses égales d'ailleurs, ont une résistance au choc supérieure à celle des aciers ordinaires. D'ailleurs, les résultats obtenus sur aciers à outils ordinaires ou à coupe rapide le démontrent aussi. Cette supériorité peut s'expliquer, d'après M. Guillet par trois raisons :

a) Une décantation à haute température, qui fait que les impuretés se séparent aisément de la masse ;

b) Une épuration plus parfaite, les réactions qui produisent cette épuration croissant avec la température ;

c) L'absence presque complète de gaz.

5° *L'avenir de l'électrosidérurgie :*

A ce sujet, M. Guillet énumère les nombreuses usines qui font déjà de l'acier au four électrique, ce qui prouve bien que l'on est réellement entré dans l'ère de fabrication. Il conclut que :

a) La fabrication de la fonte au four électrique ne peut être intéressante que dans des cas particuliers, comme celui offert par le Canada ;

b) La méthode directe paraît avoir le plus brillant avenir, surtout pour la préparation d'aciers un peu chers : aciers à outils, aciers spéciaux, etc. ;

c) La méthode indirecte, sur laquelle on ne possède encore que peu de renseignements, paraît, au contraire, devoir s'étendre rapidement, grâce à l'utilisation des gaz de hauts fourneaux, pour produire à bon compte l'énergie électrique.

M. GIROD, tout en faisant remarquer qu'il est entièrement d'accord avec M. L. Guillet sur la qualité des aciers obtenus par des fours électriques quelconques, croit devoir fixer quelques points historiques.

C'est ainsi que, répondant à une communication faite le 9 décembre devant le « Verein deutscher Eisenhüttenleuten », à Düsseldorf, par M. le professeur Eichhoff, attaché à la Société qui exploite le brevet Héroult en Allemagne, et prétendant que le four Girod n'est qu'une modification du four Héroult, M. Girod a dit que le four qu'il avait fait breveter pour la fabrication de l'acier n'est pas autre chose que le four, modifié en vue d'un nouvel usage, qui est employé dans les usines de sa Société, depuis 1898, pour la fabrication des alliages. Le four à sole conductrice, modifié en vue de la fabrication des aciers et alliages à faible teneur en carbone, existait donc longtemps avant le dépôt du brevet Héroult.

M. Girod fait ressortir également que le four employé pour

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1907021

les essais de réduction de la fonte au Canada, par M. Héroult, est également une modification des fours qui ont été employés un peu partout pour la fabrication du carbure et des alliages carburés.

Enfin, M. Girod dit que le four d'Allevard, dont M. Guillet vient de faire un si grand éloge, se rattache au brevet qu'il a pris concernant le principe de la sole conductrice disposée de telle façon qu'en aucun cas la dite sole ne puisse influencer la nature du métal, soit par l'apport de carbone, soit par l'apport d'autres corps, ce qui est obtenu par le refroidissement, artificiel ou non, qui provoque un dépôt du métal à fabriquer sur le pôle noyé dans la sole.

M. Girod ne peut toutefois pas être d'accord avec M. Guillet lorsque celui-ci dit que le procédé direct serait d'une application bien moins fréquente que le procédé indirect tel qu'il est pratiqué à Remscheid. A ce propos, M. Girod démontre que, dans son four, il obtient, même lorsque la charge est froide, le chauffage de toute la masse, parce que celle-ci venant s'interposer comme résistance entre la ou les électrodes supérieures et le pôle inférieur constitué par la sole, est portée à une haute température immédiatement, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on a deux électrodes en série, le courant passant par la surface du métal seulement. M. Girod croit que, dans ces conditions, les avantages de la marche directe peuvent, dans beaucoup de cas, compenser les avantages indiqués par M. Guillet comme étant le fait de la marche indirecte, ajoutant que les dépenses au four Martin, pour amener le métal à l'état *suroxydé*, doivent être assez importantes.

M. Girod demandant si, dans l'assistance, quelqu'un peut le renseigner à ce sujet, M. Dutraux lui répond que les frais de combustibles au Martin ordinaire ne dépasseraient pas 350 à 400 kgs de charbon par tonne d'acier fondu, ce qui correspond à sensiblement 8 francs. M. Girod dit alors que c'est précisément le prix de revient de fusion qui résulte de l'emploi fourni par le gaz de haut fourneau, lorsqu'on fond, dans son four de 1 500 kgs de capacité de charge, du métal chargé froid qui ne doit pas être affiné. On consomme, en effet, à Ugine, pour cette opération, 385 kilowatts-heure. Si l'on admet pour l'énergie fournie au haut fourneau le prix de 0,02 fr. par kilowatt-heure, c'est donc une dépense de fusion de 7,69 fr.

Enfin, M. Guillet, faisant remarquer qu'on espère arriver à réduire, à Remscheid, l'énergie employée uniquement à l'affinage, de 350 kilowatt-heure à 150 kilowatt-heure par tonne, M. Girod lui répond que cela se peut bien, mais que ce sont des espérances pour l'avenir qu'on discute en ce moment-ci, sur des chiffres qui sont très défavorables au four électrique, parce que vu la faible dimension des appareils construits jusqu'à ce jour, la main-d'œuvre, comme il résulte du tableau ci-dessous, joue un rôle presque aussi important que celui d l'énergie.

En marche directe, avec un four absorbant 240 à 250 kilowatts-heure, voici quels sont, d'après M. Girod, les frais de fabrication pour 1 tonne d'acier :

1. Refonte de matières pures :

Electrodes, 12 kg à 0,30 fr	3,60
Main-d'œuvre, 6 heures à 0,50 fr	3 »
Entretien	2 »
TOTAL	8,60

2. Affinage :

Electrodes, 20 kg à 0,30 fr	6 fr.
Main-d'œuvre, 14 heures à 0,50 fr	7 »
Entretien	2,50
TOTAL	15,50

A ces prix, il faut ajouter le coût de l'énergie nécessaire à la refonte des matières pures, soit 385 kilowatts-heure, et à l'affinage, soit 800 kilowatts-heure, dont les prix sont de :

385 × 0,007 = 2,69 frs à Ugine.
385 × 0,02 = 7,70 frs au gaz des hauts-fourneaux.
385 × 0,04 = 15,40 frs à la vapeur.

Pour la refonte des matières pures, et de :

800 × 0,007 = 5,60 frs à Ugine.
800 × 0,02 = 16 » frs au gaz des hauts-fourneaux.
800 × 0,04 = 32 » frs à la vapeur.

pour l'affinage.

Soit un prix de revient total de :

Refonte	Affinage	
11,29 frs	21,10	à Ugine.
16,30	31,50	au gaz des hauts-fourneaux.
24 »	47,50	à la vapeur.

Par contre, les prix de revient de l'acier fondu au creuset dans la Loire se calculent comme suit :

Combustible, 30 à 35 fr	30 fr.
Creuset	20 »
Main-d'œuvre 28 à 35 fr	28 »
Entretien du four, 8 à 10 fr	8 »
TOTAL	86 fr.

et l'on ne peut charger dans le creuset que des matières pures dont le prix n'est pas comparable aux riblons dont on se sert au four électrique.

La lutte contre le four au creuset est possible dans n'importe quel cas avec des avantages énormes en faveur du four électrique. Quant à la lutte contre le four Martin, M. Girod estime qu'avec un four électrique à marche directe, d'une puissance de capacité analogue à celle des gros Martin, c'est-à-dire 30 à 40 tonnes, on arriverait à des prix de revient rivalisant avec ceux obtenus pour les aciers demi-fins, le four électrique ne visant pas la fabrication des produits tout-à-fait ordinaires.

M. Girod fait ensuite ressortir que son système se prête mieux, par suite d'impossibilité de courts-circuits, entre le grand nombre de pôles qu'il faut prévoir pour un four de grande puissance, à la réalisation d'un tel four à marche directe ou indirecte, que le four Héroult avec des électrodes de polarité différente qui ont toujours tendance à entrer en court-circuit, et dont l'isolement entre elles représente une difficulté technique bien difficile à contourner dans un four qui dégage des vapeurs métalliques, et dont le couvercle est traversé par toutes ces électrodes.

M. le commandant STASSANO déclare que lorsqu'il commença ses études, il y a dix ans environ, il s'est placé à ce point de vue spécial de l'industrie métallurgique italienne, qui a vu ses hauts fourneaux s'éteindre successivement lorsque le coke est venu remplacer le charbon de bois. Très riche en gisement ferrifères, l'Italie ne possède pas de houille, ne produit donc pas de fonte ni de fer, et, si l'on examine les importations annuelles, on se rend vite compte de l'intérêt qu'il y aurait pour ce pays à arriver à fabriquer le fer sans la houille.

Dès 1898, M. Stassano apercevait, aux cours de ses premiers essais, que le four électrique pourrait fournir la solution du problème. Des difficultés d'ordre financier retardèrent la réalisation d'expériences pratiques, définitives, tandis que, dans l'intervalle, la question était reprise à l'étranger, sous une forme différente, pour aboutir à la réalisation d'un four électrique uniquement destiné à la fabrication de produits fins et coûteux, jusqu'alors exclusivement obtenus au creuset.

M. Stassano considère le four électrique comme destiné à des applications plus importantes et plus étendues, il doit permettre le développement de la grande industrie sidérurgique dans les pays riches en minerai de fer et en forces hydrauliques et dépourvus de houille, en remplaçant le haut fourneau, la cornue Bessemer et le four Martin, tandis que, dans les pays où la houille est à bon marché, il remplacera le creuset pour la fabrication des produits spéciaux, acier à outils et autres.

Dans un mémoire présenté au dernier Congrès international de chimie appliquée, M. Stassano énonçait comme il suit les

conditions fondamentales auxquelles doit répondre, selon lui, un four électrique. Il faut :

1° Que le milieu où s'opère la transformation de l'énergie électrique en chaleur ne se trouve pas soumis à l'action directe de l'air atmosphérique, et qu'il soit absolument neutre au point de vue chimique;

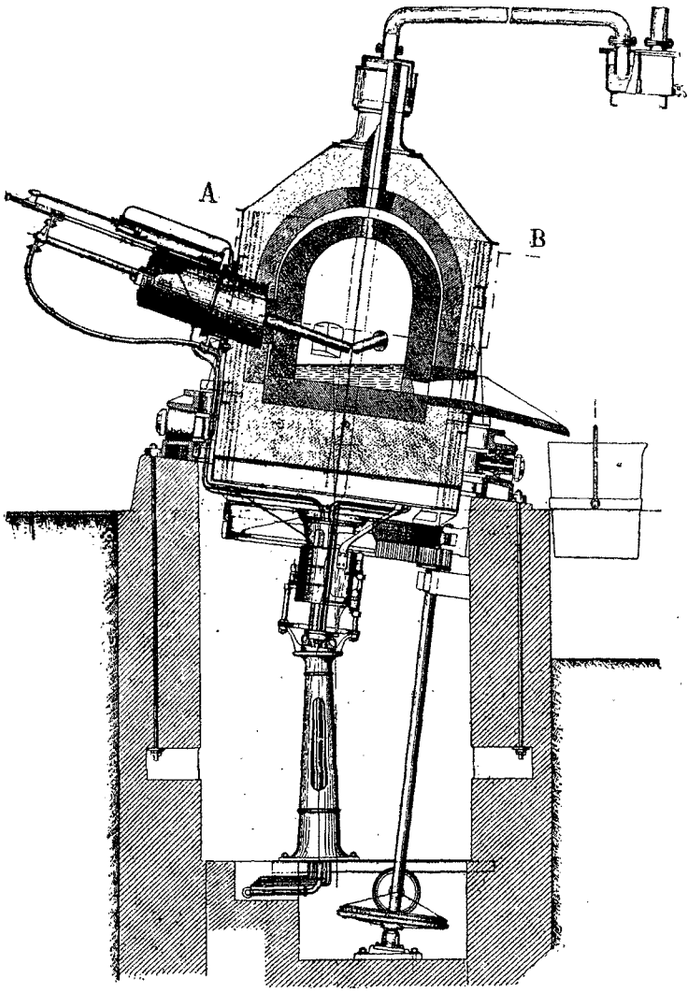

FIG. 1.
Coupe verticale du four rotatif Stassano

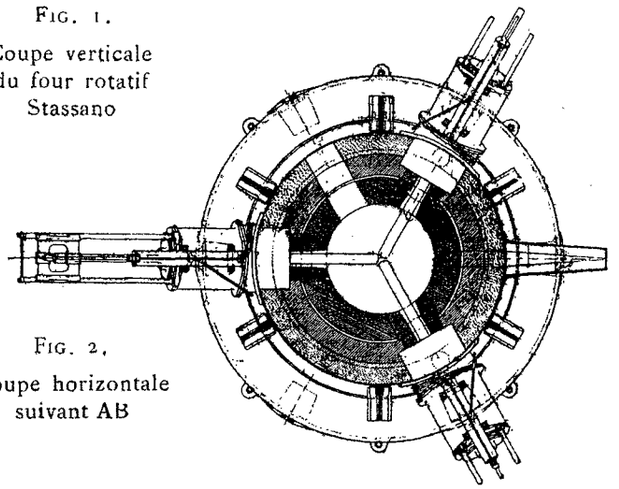

FIG. 2.
Coupe horizontale suivant AB

2° Que la chaleur développée par cette transformation soit produite à une température aussi élevée que possible;

3° Que les matières traitées n'aient aucun contact avec des corps étrangers capables d'exercer une influence nuisible sur leur composition;

4° Que les appareils où auront à s'effectuer les diverses opérations métallurgiques auxquelles devra servir la chaleur provenant de l'énergie électrique soient construits de manière à pouvoir toujours fonctionner en pleine charge.

En se plaçant à ce point de vue, M. Stassano examine successivement les divers fours existants.

En suivant l'ordre chronologique, le premier four électrique fut le four à induction de Ferranti, breveté en Angleterre, en 1885, qui doit être mentionné, quoiqu'il n'ait jamais fonctionné, pour rendre hommage au savant électricien anglais qui, le premier, a conçu ce type de four, attribué parfois par erreur à M. Kjellin qui, en 1900, en constuisit un sur le même principe.

Sans parler des petits fours électriques de M. Siemens et du regretté M. Moissan, qui doivent être considérés comme des appareils de laboratoires, et quelques autres fours demeurés à l'état de simple esquisse sur le papier, il faut arriver aux premiers essais de Rome, en 1898, au cours desquels M. Stassano produit effectivement du fer et de l'acier.

Plus tard, presque simultanément, en 1900, nous trouvons les fours de MM. Kjellin, Héroult, Keller et Girod.

Dans tous ces fours, la transformation de l'énergie électrique en chaleur est obtenue au moyen de l'arc voltaïque, sauf pour le four Kjellin, basé sur l'échauffement que le courant induit produit dans le secondaire d'un transformateur statique fermé en court-circuit.

Dans les fours Héroult, Keller et Girod, la petite résistance que le courant rencontre en passant d'une électrode à l'autre, à travers le bain métallique, ou la scorie, détermine la transformation en chaleur, par effet Joule, d'une quantité d'énergie absolument négligeable en comparaison de celle transformée par les arcs qui jaillissent entre les électrodes et le bain, de sorte que le terme de *four à résistance*, appliqué à ces fours, paraît un peu spécieux.

On peut donc grouper les fours actuels en deux catégories, à savoir :

Fours à induction (four Kjellin);

Fours à arcs (fours Stassano, Héroult, Keller, Girod);

Le four Stassano se différencie des autres en ce que l'arc jaillit entre les deux électrodes qui ne touchent pas le bain, tandis que, dans tous les autres, l'arc s'établit entre les électrodes et le bain.

Le four à induction représente certainement une idée géniale. Mais, si on passe de la théorie à la pratique, on voit qu'au point de vue électrique, il ne travaille pas dans de bonnes conditions, à cause du fort décalage du courant qui se produit dans le secondaire d'un transformateur statique fermé en court circuit, de la grande résistance magnétique de l'énorme carcasse qui le constitue, des dérivations magnétiques qui se produisent ,etc. Au point de vue métallurgique, les conditions ne sont guère meilleures, parce que la longue et mince bande de métal qui constitue le secondaire du transformateur présente une grande surface à l'oxydation, et, en raison de sa forme spéciale, ne peut pas être bien surveillée.

La première des quatre conditions énoncées plus haut, n'est donc pas réalisée, parce que le milieu dans lequel se produit la transformation de l'énergie électrique en chaleur ne peut pas être considéré comme chimiquement neutre.

La deuxième condition n'est également pas réalisée, parce que, comme il résulte clairement du rapport de la Commission canadienne, en faisant des produits durs à 1 pour 100 de carbone, la fusion s'opérait sans difficulté; mais lorsqu'on a voulu produire de l'acier doux demandant une température plus élevée, on ne réussit pas à avoir une bonne coulée, la chaleur développée n'étant pas suffisante pour avoir un métal bien fluide.

La troisième condition est entièrement réalisée, car le four n'a pas d'électrode, de sorte qu'aucune substance étrangère ne peut affecter le bain.

Il semble *a priori* que la quatrième condition soit également facile à remplir; mais, si on examine avec plus d'attention le mode de fonctionner du four, on voit qu'elle ne l'est pas : le courant absorbé par le four est fonction des dimensions de la couche de métal fondu, de sorte que, au fur et à mesure que le métal fond, la quantité d'énergie croît, et, par consé-

quent, le four ne marche pas en pleine charge pendant toute l'opération.

Tel qu'il est construit, ce four ne peut pas être appliqué au traitement direct des minerais, en sorte que, tout en étant utilisé dans quelques installations pour la fabrication des aciers spéciaux et de valeur, en partant de bons riblons, il n'est pas certainement l'appareil destiné à résoudre le grand problème de la sidérurgie thermo-électrique.

M. Stassano examine ensuite les trois fours Girod, Héroult et Keller qui, tout en présentant entre eux des différences de construction importante, ont, dans leurs lignes générales et dans leur manière de fonctionner, de notables analogies, spécialement au point de vue des quatre conditions fondamentales; ils peuvent ainsi se ramener à un type unique : ce sont des fours ouverts. L'air atmosphérique entre librement dans l'intérieur du four par les orifices de passage des électrodes, par les portes de chargement, et par les trous servant au décrassage ou à la coulée du métal fondu. Et l'on ne peut pas invoquer le fait que, lorsque la charge est fondue, le bain métallique se trouve protégé de l'action oxydante de l'air par la couche de scorie qui le recouvre, pour démontrer que l'atmosphère du four est neutre au point de vue chimique. On sait, en effet, que, dans les fours Martin, la dernière partie de l'affinage est faite aux dépens de l'oxygène du protoxyde de fer de la scorie qui, se trouvant à la partie supérieure de la couche, se péroxyde, et cède son excès d'oxygène aux impuretés du bain sur lequel elle surnage.

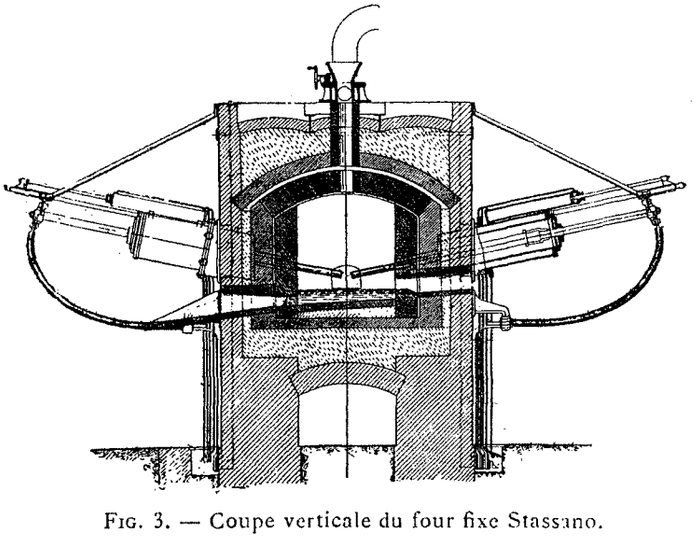

Fig. 3. — Coupe verticale du four fixe Stassano.

En conséquence, on voit tout de suite que la première condition n'est pas du tout réalisée avec ces fours, tandis que la seconde l'est entièrement, parce que la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique se fait au moyen de l'arc.

La troisième condition n'est pas réalisée; les électrodes étant en contact direct avec le bain, une partie du soufre des électrodes passe certainement dans le bain, ainsi que le carbone des électrodes, dont l'usure est sensible. L'expérience montre en effet très clairement que, dans la marche en affinage avec ces fours, on doit suivre constamment l'opération en prenant des éprouvettes, pour être sûr d'arriver au produit final voulu, si l'on fait, au contraire, la réduction directe du minerai, on est obligé de passer par la fonte.

M. Stassano insiste à ce propos sur la nécessité absolue — contestée par beaucoup de métallurgistes — de travailler avec dosages fixés au préalable dans la marche en affinage, ou, quand on part du minerai, d'arriver directement dans une seule opération au produit fini sans passer par la fonte. Ces conditions sont absolument indispensables si l'on veut tirer parti de tous les avantages que le four électrique peut donner dans la métallurgie du fer.

Dans les fours Girod, Héroult et Keller, la quatrième condition n'est satisfaite qu'en partie, car il faut réduire l'intensité du courant envoyé dans le four avant que le bain soit complètement fondu, sans quoi on se heurte à de grosses difficultés de réglage, et de plus, il résulte du rapport de la Commission canadienne, qu'on est obligé d'interrompre le courant lorsqu'on fait le décrassage et lorsqu'on coule.

Il est indéniable que, tout en ne remplissant pas complètement toutes les conditions désirables pour la bonne marche d'un four électrique, ces appareils sont très remarquables, et donnent effectivement de bons résultats.

M. Stassano fait ensuite la description de son four.

Dans ses lignes générales, le four est constitué par une chambre de fusion à parois réfractaires, dans laquelle débouchent les électrodes entre lesquelles jaillit l'arc. Les électrodes sont légèrement inclinées sur l'horizontale, et cette disposition fait que la flamme de l'arc est dirigée vers la sole et, par suite, sur le bain qui la recouvre, sans que les électrodes touchent le bain.

Une ouverture dans la paroi permet d'introduire sur la sole les matières à traiter.

Pendant la marche, cette ouverture est fermée au moyen d'une porte garnie intérieurement de briques réfractaires. Au sommet de la voûte, une autre ouverture donne passage aux produits volatils des réactions qui se produisent dans la chambre de fusion; cette ouverture n'est pas directement en communication avec l'air extérieur, mais reliée à un barillet par l'intermédiaire d'une tuyauterie. On comprend aisément qu'avec cette disposition on obtient, dès que le four est mis en marche, une atmosphère neutre au point de vue chimique, qui permet de travailler exactement sur dosages établis à l'avance.

Toute la chambre de fusion, avec ses électrodes, peut tourner autour de son axe de figure qui n'est pas vertical, mais légèrement incliné, ce qui permet un brassage énergique de la matière traitée.

Comme les électrodes ne touchent pas le bain, on est sûr que ni leurs impuretés, ni leur carbone ne peuvent attaquer la masse métallique, en même temps on est aussi certain de n'avoir aucun dégât en maintenant l'arc allumé pendant la charge, pendant le décrassage, le brassage et la coulée, ce qui permet de pouvoir toujours marcher à pleine charge. On voit donc que ce four, conçu et étudié en vue de la réalisation des quatre conditions fondamentales énumérées plus haut, permet de les réaliser complètement dans les limites de la pratique. On peut, par conséquent, avec ce four, réaliser dans de bonnes conditions, soit de la simple fusion, soit de l'affinage, soit traiter directement les minerais pour en retirer, dans une seule opération, le produit final voulu, ainsi que cela se pratique journellement à Turin.

Au cours d'une expertise faite pour le Patent Amt de Berlin, le Dr Hans Goldsmith, d'Essen, a constaté effectivement qu'en chargeant dans le four un mélange de minerai de fer, de charbon et de fondant en proportions déterminées, on arrivait directement à produire du fer qu'il déclara, dans son expertise, pouvoir se comparer au meilleur fer suédois au charbon de bois. Il assista à la fabrication directe, en partant des minerais, de l'acier chrômé de bonne qualité et très pur. Ceci s'explique si l'on se rappelle que le four est construit de telle sorte que les charges introduites ne sont exposées à aucun contact qui puisse modifier leur composition. La préparation des charges est, d'ailleurs, une opération industrielle très simple : le broyage du minerai, le mélange avec le charbon nécessaire pour absorber tout l'oxygène qu'il contient et avec le fondant indispensable pour scorifier la gangue et les impuretés, et enfin la réduction du mélange en briquettes sont toutes opérations qui rentrent dans la pratique industrielle courante.

Les choses ne se passent pas différemment si, au lieu de traiter directement le minerai, on fait de l'affinage; en effet, depuis trois ans, avec le four installé pour le compte du

Ministère de la Guerre italien dans l'usine de construction d'artillerie de Turin, et, depuis un an, dans les fours que la Société *Forni Termo-elettrici Stassano* vient d'installer également dans ses usines à Turin, M. Stassano produit couramment de l'acier de composition déterminée, en partant de tournure de fonte et de riblons, sans prendre d'éprouvette pendant l'opération. Et, pour arriver à ce résultat, il suffit de faire un calcul théorique, en connaissant la composition moyenne des matières employées, et en contrôlant ce dosage avec deux ou trois opérations d'essai au maximum. Cette propriété du four électrique permet de fabriquer l'acier sans que les ouvriers ou les contremaîtres employés au four possèdent les connaissances spéciales requises dans les procédés ordinaires.

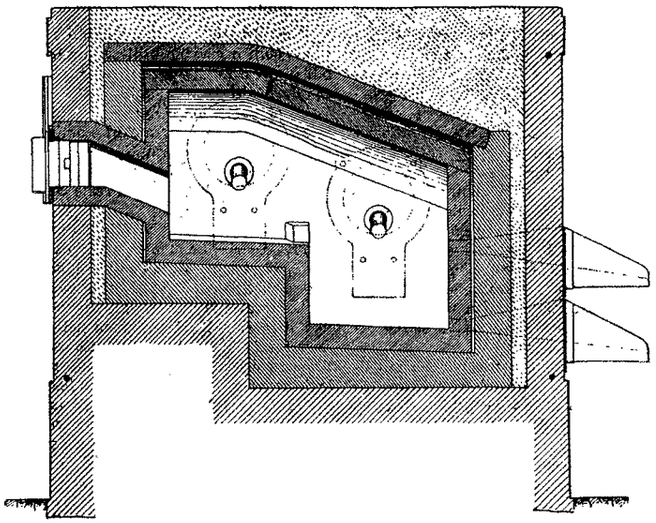

FIG. 4. — Four Stassano pour affinage du cuivre.

M. Stassano indique, en terminant, quelques chiffres relatifs à ses appareils. Le four de 140 kilowatts, maintenant en marche dans l'installation de Turin, produit le kilogramme de métal acier en affinant la fonte, ou en fondant les riblons, avec une dépense d'énergie qui ne dépasse pas 1,3 kilowatt-heure en partant de la fonte, et 1 kilowatt-heure lorsqu'on fait seulement la fusion et l'affinage des riblons. La consommation des électrodes ne dépasse pas 5 kgs par tonne de produit, et la perte des matières premières employées se maintient toujours au-dessous de 4 pour 100.

Avec le four de 1 000 HP, la consommation d'énergie est sensiblement inférieure à celle du four précédent, mais cette diminution de consommation ne peut pas encore être chiffrée, parce que l'on n'a pas encore fait d'essais réguliers et nombreux à ce sujet. Au cours des premiers essais, on a constaté ce fait, intéressant, qu'une unité de cette puissance pouvait être alimentée par le réseau urbain de Turin, qui fournit le courant, sans amener de perturbation sur le réseau.

Pendant l'hiver actuel, le travail est interrompu, en raison de l'insuffisance du débit des rivières alimentant les stations génératrices, mais M. Stassano espère pouvoir bientôt donner des résultats exacts, et certains, sur la consommation d'énergie du four de 1 000 chevaux.

M. GIROD tient à rendre hommage, au nom de tous les électrométallurgistes, à la persévérance qu'a mise M. Stassano pour réaliser l'appareil, malheureusement un peu compliqué, qu'il vient de décrire. M. Girod fait remarquer ensuite, qu'au point de vue économique, M. Stassano restreint trop le champ d'action du four électrique; également, que le four Stassano ne répond pas en entier au programme que M. Stassano lui-même vient de formuler : 1° la chaleur ne trouve pas son application parfaite, parce que M. Stassano éloigne son centre de production du métal en fusion; 2° M. Stassano se sert, comme conducteur de chaleur, de gaz forcément moins conducteur que le laitier, et même que le métal. Les chiffres mêmes qu'indique M. Stassano font voir que son four perd plus de chaleur que les fours à électrodes plongeant dans le laitier.

M. Girod ne peut admettre, comme une infériorité des autres fours à électrodes, le fait que celles-ci sont en contact avec le laitier, même si celui-ci est en couche excessivement mince. Il est suffisamment prouvé, par les expériences faites par M. Héroult et M. Girod lui-même, que l'on peut obtenir dans ces fours des aciers pour ainsi dire exempts de carbone.

M. Girod fait remarquer également que, dans son four à sole conductrice, même chargé de matières froides, il obtient une marche parfaitement régulière, le four étant réglé depuis le commencement jusqu'à la fin de l'opération automatiquement.

Il semble résulter, de ce qui précède, un avantage en faveur des fours à électrode chauffant directement par contact de la matière en fusion.

M. SACONNEY dit qu'au cours d'une étude sur les fours électriques, faite par une société métallurgique étrangère, il a eu l'occasion, comme Membre de la Commission chargée de cette étude, de suivre de près quelques opérations aux fours électriques, et vient donner quelques chiffres observés. Les fours étudiés étaient le four Stassano, à Turin, le four Héroult, à Remscheid, et le four Girod, à Ugine.

Avec le four Stassano, il est difficile de faire une épuration considérable du métal. Son fonctionnement le rapproche, dans ces conditions, d'un four à creusets.

Sur cinq coulées auxquelles M. Saconney a assisté, à Turin, quatre ont été faites avec des matières premières de bonne qualité : fonte de Suède, riblons à 0,040 pour 100 de S, et 0,050 pour 100 de Ph. Le métal obtenu contenait encore 0,033 de S et même 0,082 de Ph (augmentation provenant probablement des additions). La cinquième coulée a été faite intentionnellement avec les matières premières les plus mauvaises que l'on ait pu trouver : tournure de fonte à 1 pour 100 de Ph et 0,080 de S, riblons à 0,350 de Ph et 0,060 de S. Cette coulée a donné de l'acier ayant S = 0,102 et Ph = 0,250, donc pas de désulfuration, et une diminution assez notable du phosphore. Ce départ de Ph ne serait pas une déphosphoration, car, en employant des matières aussi impures, il serait impossible, rien que par le fait de les fondre avec de la chaux, de ne pas faire disparaître une grande partie du phosphore, la difficulté réside à faire disparaître cet élément lorsqu'il a atteint 0,100 à 0,200 pour 100.

En somme, M. Saconney est d'avis que le procédé du Commandant Stassano ne permet d'arriver à un résultat très satisfaisant que si l'on part de matières premières d'excellente qualité. Le four peut parfaitement être adapté à la fabrication en affinage et déphosphoration, genre Martin, mais on serait obligé pour cela, à cause de la température du bain, réellement moins élevée que dans les deux autres types, de prolonger outre mesure la durée de l'opération pour racheter le refroidissement inévitable provoqué par les décrassages successifs. On ne peut considérer le four Stassano que comme étant destiné à la seule fabrication des aciers de qualité supérieure. Le prix élevé du garnissage, en raison de la forme du four, et son usure, due à la réverbération constante et directe de l'arc, sont une source de dépenses d'entretien considérables.

M. Saconney a constaté à l'usine Stassano un fait qui est tout à l'avantage de l'acier fabriqué à ce four, et à l'acier fabriqué électriquement en général. Les moulages fabriqués dans cette usine, et qui contiennent certainement au moins 0,050, pour ne pas dire plus, de Ph et de S, sont cependant d'excellente qualité. Une bavure de moulage, prélevée sur une pièce n'ayant subi aucun recuit, a pu être soumise à quatre ou cinq flexions à moins de 90 degrés sans se rompre.

Les deux coulées suivies au four Héroult ont été faites en partant de boccages de fonte à 0,090 pour 100 de Ph, et de riblons à 0,067.

A Remscheid, on emploie le procédé mixte : l'acier est d'abord affiné et suroxydé dans un four basculant Welmann;

l'opération s'achève au four Héroult, dans lequel le métal séjourne de deux heures à deux heures et demie. Cela semble d'autant plus long,que la déphosphoration est déjà très poussée au four Welmann. En effet, les éprouvettes, prélevées dans la poche, au moment de la coulée dans le four électrique, accusent pour la première coulée 0,031 et pour la deuxième coulée 0,014 de Ph. Le four Héroult ne fait que désulfurer et perfectionner la déphosphoration. Les résultats obtenus à ce four sont remarquables. Les chiffres relevés sur les livres de l'usine de Remscheid indiquent des teneurs en S et Ph dépassant 0,10 pour 100.

L'usine de Remscheid fait, d'ailleurs, des aciers au creuset depuis de longues années; aussi le four Héroult, desservi par un personnel connaissant à fond la fabrication de l'acier, s'y trouve-t-il dans des conditions exceptionnellement bonnes.

Au four Girod, à Ugine, au cours de cinq coulées faites avec de la fonte de Chasse, à 0,046 de Ph, et des riblons à 0,075, on a obtenu des aciers dont la teneur en Ph varie de 0,017 à 0,048 et le S de 0,013 à 0,035. Il semble, au premier abord, qu'il n'y ait là qu'une épuration courante que l'on peut obtenir au four Martin. Mais il faut observer que les cinq opérations au four Girod ont été faites sans aucune précaution, et avec une durée variant de trois heures un quart à cinq heures, pour une production de 1 000 à 1 400 kgs, en partant d'une charge froide et cela par un personnel n'ayant jamais vu fabriquer d'acier. On se rend facilement compte que ce même four, mis entre les mains d'aciéristes expérimentés, donnerait des résultats au moins aussi brillants, au point de vue chimique, que le four Héroult. D'ailleurs, sur une quinzaine de coulées relevées au hasard sur le livre du laboratoire de cette usine, et comprenant toutes les nuances d'acier, on trouve les proportions suivantes : S = 0,001 à 0,035, Ph = traces à 0,037. Ces coulées ont été faites dans des conditions très mauvaises comme personnel et matériel, en présence des diverses délégations venues à Ugine pour étudier le four, c'est-à-dire dans des conditions défavorables pour une étude suivie. Cette étude va être rationnellement entreprise, et il est à supposer que, sous peu, l'usine d'Ugine donnera d'une façon suivie des aciers de toutes qualités, et d'une pureté exceptionnelle.

Comparant maintenant ces deux fours au point de vue installation et exploitation, M. Saconney constate les avantages et inconvénients suivants :

Avantage du four Girod, parce qu'il n'a qu'une seule électrode ou plutôt parce que, lorsqu'il y en a plusieurs, elles sont en parallèle, donc pas de courts-circuits à craindre par l'enveloppe, cela permet de réduire le jeu entre l'électrode et le trou servant à son passage dans le couvercle, d'où moins de perte de chaleur, moins d'usure dans les électrodes. A cause du faible voltage, toute difficulté est supprimée au point de vue de l'isolement et la mise en marche est beaucoup plus facile et plus rapide. Pas de court-circuit à craindre par la charge elle-même lorsque l'on charge en matières solides, ce qui rend très irrégulier et même dangereux le départ sur riblons froids au four Héroult.

Le réglage, à Remscheid, même en chargeant l'acier liquide, doit être fait à la main pendant une demi-heure à trois quarts d'heure, avant de le faire automatiquement.

Avantage du four Héroult dû à la plus faible intensité. L'intensité double du four Girod oblige à doubler la dépense pour les conducteurs; c'est une augmentation du prix de premier établissement, mais cette augmentation est largement compensée, d'autre part, comme on va le voir.

Avantage du four Girod sur le dispositif de suspension et réglage des électrodes, plus simple et plus pratique permettant d'isoler dans la salle des machines les appareils délicats de réglage.

Le four Girod utilise mieux l'énergie calorifique développée par la résistance, car dans ce four la résistance intéresse la totalité de la charge, tandis que dans le four Héroult elle n'intéresse que les couches supérieures, le fond doit être réchauffé par conductibilité. On a constaté à La Praz qu'il fallait plus de deux heures pour arriver à chauffer le fond. Ceci expliquerait le long séjour du bain dans le four électrique constaté a Remscheid.

L'avantage signalé plus haut pour le four Héroult est très relatif, car il est détruit largement par le prix plus élevé de ce four.

Le four Héroult coûte environ 30.000 francs, y compris les appareils de réglage, sans électrodes ni fondations.

Le four Girod coûte environ 20 000 francs dans les mêmes conditions, soit donc en faveur de ce dernier une économie de plus de 10 000 francs compensant et au delà la plus forte dépense pour les conducteurs.

Comme conclusion, les avantages du four Héroult ne portent que sur la première installation; ceux du four Girod, qui sont indéniables, se font sentir d'une façon constante pendant toute la durée de la marche du four, de sorte que M. Saconney montre une préférence marquée pour le four Girod, qui serait d'un rendement plus économique, tout en donnant, comme pour le four Héroult, toutes les qualités d'acier désirées.

M. STASSANO fait observer, en réponse aux remarques de M. Saconney, que celui-ci a oublié de dire que les deux premières coulées faites en sa présence ne doivent pas être retenues, une erreur ayant été commise dans le calcul des dosages de ces deux premières charges, comme il le lui fit remarquer immédiatement. Quant aux autres opérations, elles constituaient chacune un premier essai avec les différentes charges employées. Or, comme on l'a vu, on doit, dans le four électrique, arriver au produit final avec dosage fait au préalable, parce que cela répond parfaitement à la théorie et à la pratique de cet appareil, mais on ne peut pas prétendre atteindre ce but avec un simple calcul théorique, sans le contrôle d'un essai pratique. Si une telle manière de procéder était réalisable, le four électrique constituerait un appareil donnant exactement les résultats théoriques, ce qu'on ne peut raisonnablement demander.

Recherches sur l'influence de la disposition des Électrodes dans les Prises de terre industrielles

L'étude théorique, objet de cet article, a été faite pour un transport d'énergie électrique par le système continu-série. On avait envisagé dans ce transport le retour par la terre. Il s'agissait d'établir d'avance la répartition, la forme et les dimensions des prises de terre, pour une puissance déterminée, et pour les pertes admises par l'économie du projet et par l'Administration compétente.

Soit en un point O, situé dans un milieu homogène indéfini, une quantité d'électricité définie et constante A.

Il se produit autour du point O un champ électrique; soit ρ la distance au point O d'un point quelconque M.

Le potentiel U, créé par A, est en ce point : $U = \frac{A}{\rho}$

L'équation d'une surface équipotentielle est :

$$U = \text{Constante} \quad \text{d'où} \quad \rho = \text{Constante}$$

Dans ce cas, les surfaces équipotentielle sont donc des sphères.

D'autre part, la surface d'une électrode est une surface que nous supposons maintenue au même potentiel. Il suffit pour cela que l'électrode soit de conductibilité infinie, ou pratiquement très grande par rapport à la conductibilité du milieu homogène dans lequel elle est plongée.