

maintenir ce mouvement commencé. Avec des résistances plus faibles, la réaction d'induit était trop faible pour maintenir le mouvement, et les oscillations cessaient alors.

Comme on l'a vu précédemment, les alternateurs A_1 et A_2 de la première série d'expériences commençaient à osciller pour des valeurs de la résistance plus basses que celles du moteur synchrone de la seconde série; mais d'autre part, alors que ce dernier commençait à osciller vers 11 ohms pour se désynchroniser à 16, les premiers commençant à 8 ohms environ allaient jusqu'à 20.

Or les machines A_1 et A_2 ayant leurs induits dentés, et non munis de trous comme le moteur synchrone, avaient une self-induction beaucoup plus faible (9 ohms au lieu de 28 pour une excitation de 25 ampères), ce qui pour un même angle de stabilité devait donner une résistance plus élevée (20 au lieu de 16). D'autre part ils avaient leurs pôles lamellés, ce qui diminuait le retard dû à l'hystérésis magnétique, d'où impulsions de la réaction d'induit moins intenses; mais, par contre, le moteur synchrone avec ses pôles massifs présentait une puissance d'amortissement supérieure à celle des alternateurs. Aussi, bien que les impulsions fussent plus fortes avec le moteur synchrone, celui-ci oscillait moins facilement que les alternateurs (11 ohms au lieu de 8), parce que son amortissement était plus intense.

De tout ceci il résulte que dans la marche en parallèle des alternateurs, toute variation de vitesse tend à donner lieu à un état d'oscillations pendulaires qui se trouve maintenu par les pulsations de la réaction d'induit, grâce à l'hystérésis magnétique qui joue l'office d'une accélération, alors que les effets d'amortissement tendent à restreindre ces oscillations en absorbant de l'énergie. Tout ce qui tend à augmenter la réaction d'induit favorise la formation des oscillations. Les alternateurs ont, en général, une résistance très faible par rapport à leur réactance et leur angle de stabilité est assez grand; mais si l'on vient à intercaler entre deux de ces machines une ligne dont la résistance est très grande par rapport à la réactance, l'angle de stabilité pourra être considérablement diminué et leur marche devenir de ce fait très irrégulière sinon impossible.

Il semble donc que l'on devra étudier avec soin le type de machine qui conviendra le mieux dans chaque cas particulier où l'on aura à accoupler des alternateurs à distance. Une réaction d'induit modérée, des pôles lamellés et des amortisseurs spéciaux énergiques paraissent être les conditions principales auxquelles devront s'attacher les constructeurs afin d'agrandir les limites de stabilité.

Extrait des Actes
de l'Association Electrotechnique Italienne.

Fabrication de la Fonte par l'électricité

Rapport de la Commission du docteur HAANEL,
d'après le *Journal de l'Electrolyse*.

Lorsque la Commission canadienne du docteur Haanel, a visité l'usine de Livet (France), il a été prouvé devant elle qu'on pouvait obtenir à 10 dollars 60 la tonne de fonte par le procédé électrique. Ceci est un des points intéressants du rapport préliminaire et des observations de la Commission dirigée par le docteur Haanel, et qu'il a communiqué au Ministre de l'Intérieur.

Le docteur Haanel dit que les résultats qui ont été obtenus n'ont pas été atteints dans les fours spécialement construits pour la fabrication requise, et que les expériences dans une usine érigée pour la démonstration de la production économique de la fonte, donneraient probablement de bien meilleurs résultats.

Le rapport parle des points suivants :

A Ghysinge (en Suède), la Commission canadienne a constaté que l'acier, de qualité supérieure, est fait en mélangeant du charbon de bois, de la fonte et des riblons, dans un four électrique du type à induction, c'est-à-dire un four sans électrodes (1). Ce procédé correspond au procédé de fabrication de l'acier au creuset, mais il a certains avantages sur ce dernier, et notamment celui de soustraire — pendant toute la durée de l'opération — les matières en fusion à l'action nuisible des gaz délétères qui affectent la qualité du produit.

Le four fonctionne tranquillement et régulièrement; il produit environ 4 tonnes d'acier en 24 heures: les coulées se font toutes les 6 heures. Il faut 0,116 de cheval électrique-an pour faire une tonne de produit; le coût du cheval électrique-an est d'environ 10 dollars, ce qui fait une dépense de 1 dollar 16 par tonne de produit.

A Korfors (en Suède), M. Héroult a montré son procédé pour faire de l'acier, mais le four est employé à présent pour faire du ferro-silicium.

Procédés français. — A la Praz, en France, on fait de l'acier avec des riblons; le procédé diffère de celui de Ghysinge en ce que, s'il permet la purification des matériaux employés, il faut des scories pour obtenir ce résultat, et la recarburation est effectuée dans le four par des briquettes en charbon.

Le four est oscillant et consiste en un rectangle de fer garni de briques de dolomie. Le fond du four est garni par de la dolomie concassée sur laquelle repose la charge. Deux électrodes, à joints de circulation d'eau, plongent dans le four. Ces électrodes sont verticales et parallèles et sont réglées à main ou bien par un régulateur; elles sont alimentées par un courant alternatif de 4 000 ampères et 110 volts.

On peut obtenir de l'acier de différentes qualités et le coût de l'énergie absorbée est de 1 dollar 54 par tonne en lingots. Le prix de revient de l'acier varie depuis 336 fr. 60 à 123 fr. 60 par tonne, suivant les qualités. D'intéressantes expériences ont été faites devant la Commission dans cette usine, pour la production de fontes en partant du minerai; ces expériences ont été faites dans un four très simple, consistant en une capacité rectangulaire de fer garnie de matériaux réfractaires; le fond du four dans lequel se trouve du fer constitue un des pôles du circuit électrique, une électrode en charbon, de section carrée, de 3 pieds de long est placée verticalement au-dessus du four et constitue l'autre pôle. On règle les électrodes à la main. Trois charges de minerai ont été introduites pendant l'opération et on a obtenu trois coulées de métal et de scories.

Four italien. — Le four construit à Turin, en Italie, par le capitaine Stassano, pour le gouvernement italien, est construit dans une aciérie du gouvernement. Il n'était pas en marche depuis plusieurs mois parce que les briques réfractaires et de magnésie, commandées à une firme allemande, n'étaient pas encore arrivées. On n'a pas pu indiquer à la Commission la date de la remise en marche de ce four.

C'est par l'intermédiaire et les bons offices de l'ambassadeur anglais à Rome, que la Commission canadienne a pu obtenir du gouvernement italien la permission de visiter cette installation.

Expériences à Livet. — La Commission a été témoin d'expériences très importantes qui ont été faites à Livet par M. Keller, de la Compagnie Keller, Leleux et Cie; il a été employé environ 90 tonnes de minerai de fer pour démontrer la production économique de la fonte par ce procédé électrique.

Les fours employés pour cette expérience étaient les fours habituels dont se sert cette Compagnie pour fabriquer, par le procédé électrique, les ferros-alliages variés comme le ferro-silicium, le ferro-chrome et d'autres.

Au moment de la visite de la Commission, cette Compagnie avait une commande très importante du gouvernement russe, mais elle a interrompu généreusement cette fabrication de ferro-silicium pour pouvoir faire les expériences devant la Commission.

Le four employé est du type à résistance et consiste en deux capacités rectangulaires de fer, de section carrée, formant deux compartiments qui communiquent l'un avec l'autre par un canal intérieur. Ces capacités sont garnies avec des briques réfractaires, la base de chaque four est formée par un bloc de charbon, ces blocs sont en communication électrique avec l'extérieur du four par plusieurs barres de cuivre. Les électrodes qui servent d'arrivée et de retour du courant plongent dans le four jusqu'aux deux tiers de leur longueur. Ces électrodes sont des prismes de 72 cm de diamètre et 135 cm de long.

Trois séries d'expériences ont été faites, savoir :

1° Réduction électrique de minerai de fer et obtention de différentes qualités de fontes grises, blanches et truitées;

2° Réduction électrique de minerai de fer contenant une propor-

(1) On trouvera plus loin, aux *Inventions nouvelles*, la description d'un four de ce type.

tion définie de charbons dans la charge, afin de contrôler la dépense d'énergie électrique pour la production d'une tonne de fonte ;

3° Fabrication d'acier ordinaire de bonne qualité avec la fonte obtenue dans les expériences précédentes.

Simplicité du fonctionnement du four. — Les différentes qualités de fonte ont été obtenues sans difficulté et les fours qui ont marché pendant les expériences ont été très tranquilles, sans aucun accident ; les gaz provenant de la réduction sortaient sans pression et de petites flammes brûlaient à la partie supérieure. Les manœuvres employés sont des ouvriers italiens qui n'ont aucune capacité spéciale.

Il a été obtenu par coulée différents objets comme des barres, des engrenages, etc., avec le métal sortant directement du four : la fonte coulée a montré que, même en petite section, elle était très résistante.

Pour la détermination de l'énergie électrique absorbée, on a employé des voltmètres pour mesurer des volts, et des ampèremètres pour mesurer des ampères. Ces appareils ont été étalonnés par le laboratoire de l'Institut électro-technique de Grenoble qui dépend de l'Université, de manière à pouvoir déterminer d'une façon certaine le facteur de puissance des alternateurs fournissant l'énergie électrique. On a trouvé que l'énergie absorbée par tonne de fonte a été de 0,226 cheval-an.

Coût de la production. — Avec du minerai de fer hématite contenant 35 % de fer, du coke à 35 fr. la tonne, des électrodes à 25 fr. les % kgs, et l'énergie électrique à 30 fr. le cheval-an, on arrive au prix de 53 francs la tonne sans la licence.

Pour satisfaire la Commission, M. Keller a fait des expériences de fabrication d'acier pour compléter son procédé. Les détails de cette opération et les chiffres provenant de cette expérience sont entre les mains du professeur Narbord, un métallurgiste anglais, qui accompagnait la Commission.

Quant aux autres procédés, M. Harmet, de Saint-Etienne, a publié des rapports et obtenu des patentes pour un procédé électrique pour faire du fer et de l'acier ; M. Gin, de Paris, a également obtenu une patente pour la production de l'acier en partant des riblons ; mais ces Messieurs n'ont pas encore d'usine en fonctionnement dans laquelle ils peuvent montrer leur procédé en marche.

La Commission a obtenu des photographies des fours qu'elle a vu fonctionner dans chacune des usines, ainsi que des plans détaillés, sauf cependant pour le four de M. Stassano.

Conclusions du docteur Haanel.

Dans ces conclusions le docteur Haanel dit :

Il doit être d'abord expliqué que les résultats obtenus à Livet sont les résultats d'expériences faites dans des fours qui n'ont pas été construits spécialement pour la fabrication requise. — Avec des fours perfectionnés dont la Commission a eu les plans détaillés, et dans lesquels il est prévu une plus haute colonne de chargement qui permettra d'utiliser d'une façon plus effective, pour la réduction, tout le pouvoir de l'oxyde de carbone, et par l'emploi de chargeurs automatiques, le coût de la main-d'œuvre sera réduit, et les résultats que nous avons donnés plus haut seront bien meilleurs.

Le procédé de fabrication de la fonte par l'électricité doit être, à l'heure actuelle, regardé comme dans une période d'expériences, car il n'existe à présent aucune usine faisant le commerce de minerais de fer réduit par le procédé électrique. Mais ce qui est très remarquable et ressort d'expériences faites à main-levée pour ainsi dire, dans des fours non construits spécialement pour la production de la fonte, est que le prix de revient qui a été obtenu permet de conclure que dans une usine électrique construite et aménagée spécialement, le procédé électrique permettra d'entrer en concurrence avec les hauts fourneaux.

Il est, de plus, raisonnable d'espérer qu'après avoir acquis de l'expérience dans la fusion électrique et avec des dispositions de fours électriques appropriées aux conditions de la haute température à laquelle on atteint, le métallurgiste obtiendra des améliorations qui réduiront au minimum la consommation de l'énergie électrique.

L'ingénieur électricien doit être appelé par cette nouvelle industrie à faire des usines spéciales, aménagées en vue de la fusion de la fonte par l'électricité. Quand il sera prouvé que le procédé électrique est applicable à réduire tous les autres minerais comme le minerai de cuivre, de nickel, d'argent et d'autres, que les fours sont d'une construction simple permettant de régler la température par un contrôle parfait, nous espérons que les applications de l'énergie électrique pour l'extraction des métaux de leur minerai prendront un rapide essor et que, après s'être familiarisé avec des courants de grosses intensités et avoir fait des expériences de fusion électrique, il résultera que beaucoup de méthodes qui sont compliquées et coûteuses, seront remplacées par un procédé plus simple et plus économique.

L'effet immédiat de l'exploitation d'une usine construite spécialement pour la fusion des minerais de fer, dans laquelle on démontrera clairement que la fonte et l'acier peuvent être obtenus

économiquement, sera d'affirmer la confiance du monde industriel pour cette nouvelle métallurgie et pour les autres industries dans lesquelles l'électricité est le principal acteur, et le développement de l'emploi de l'énergie électrique sera la conséquence immédiate de cette usine de pionniers.

LE MOIS HYDRO-ÉLECTRIQUE

INFORMATIONS DIVERSES

Nouveau tarif de l'électricité à Milan

La station électrique que la municipalité de Milan vient de faire installer est maintenant terminée et la Société Edison de cette ville, par suite de la concurrence qui lui est faite, a adopté, pour l'éclairage, le nouveau tarif suivant à partir du 1^{er} mai de la présente année :

1^o Le prix de l'hectowatt-heure est fixé à 7,5 centimes; mais d'importantes réductions sont faites suivant la quantité d'énergie consommée. Lorsque le nombre d'heures, obtenu en divisant le nombre total d'hectowatts heure de l'année entière par le maximum d'hectowatts consommés (maximum constaté par un appareil spécial) sera arrivé à 500, la Société remboursera au client, à la fin de l'année, la différence entre la somme payée au taux de 7,5 centimes et celle qui aurait résulté du taux : de 5 centimes pour une consommation allant jusqu'à 50 000 hectowatts-heure et de 3,95 centimes pour une consommation égale ou supérieure à 200 000 hectowatts-heure. Pour les consommations comprises entre 30 000 et 200 000 kwh, il sera appliqué un tarif proportionnel, les trois derniers chiffres décimaux étant toutefois négligés. Lorsque le client se sera abonné, ou désabonné dans le courant de l'année, les nombres de 500 heures, de 50 000 et de 200 000 hectowatts-heure seront réduits proportionnellement au nombre des mois entiers d'abonnement.

2^o Pour les magasins et ateliers industriels, employant le courant électrique comme force motrice, le prix de l'hectowatt-heure est fixé à 7 centimes pour les 300 premières heures, obtenues comme précédemment, et à 2,7 centimes pour n'importe quelle consommation au-dessus de 300 heures. Ce second tarif s'applique aux petites industries à domicile.

Comme il est difficile, sinon impossible, d'accumuler l'énergie électrique à certaines époques de faible charge pour la restituer à d'autres plus chargées, il est tout à fait rationnel de faire payer moins cher à un client qui, pour une même consommation totale d'énergie, consomme peu à la fois mais pendant longtemps, qu'à un autre qui consommant beaucoup, mais pendant peu de temps, oblige à installer à certains moments des machines qui seront sans emploi à d'autres moments.

L'adoption d'une pareille taxation est donc très logique ; elle a toutefois l'inconvénient d'exiger un appareil spécial pour indiquer quelle a été l'énergie maximum consommée.

Voie ferrée Aoste, Col-Ferret, Martigny

D'après *L'Electricità*, la Société anonyme suisse Jacob Rieter et C^{ie}, de Wintherthur, vient de solliciter du Gouvernement Italien l'autorisation de construire et d'exploiter une voie ferrée économique, à traction électrique et à écartement réduit, en prolongement de la ligne déjà concédée, par l'Assemblée générale Suisse, aux ingénieurs Dietrich, Cocatrix et C^{ie}, de Lausanne, pour le compte de ladite société.

L'énergie électrique doit être fournie par une station hydro-électrique située sur le torrent de la Doire. Le col de Ferret sera traversé en galerie sur une longueur de 6 125 mètres, dont 3 920 en territoire italien et à une altitude de 1 800 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le tunnel débouchera à la Gruetta, près de Pré de Bar. La ligne doit suivre la rive gauche de la Doire jusqu'à Courmayeur, à 16 kilomètres du tunnel, où serait construite la station internationale pour la douane. Avant d'arriver à ce point de rendez-vous des touristes, la voie ferrée traverse « La Saxe Larzey », site des plus fréquentés. Après Courmayeur, la ligne continue à descendre en passant près de Pallensieux et St-Didier où se trouvera une station qui, dans la suite, doit être tête de ligne de deux autres voies ferrées :