

On peut admettre que le kw-heure coûte :

	fr.	fr.
1 ^o Avec la force hydraulique.	0,008	à 0,01
2 ^o Avec machines à vapeur à triple expansion.	0,05	à 0,06
3 ^o Avec gazogènes et moteurs à gaz.	0,03	à 0,04
4 ^o Avec gaz de haut-fourneau et moteurs à gaz pauvre.	0,02	environ

Il en résulte des dépenses, par tonne, de :

	frs	frs
1 ^o	6,40 à 8,00	3 ^o 24,00 à 32,00
2 ^o	40,00 à 48,00	4 ^o 16,00 environ

dans les divers cas pour la variante II.

Attribution de la grande médaille Lavoisier* à M. HÉROULT

Rapport présenté à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale par M. BACLÉ, membre du Conseil.

Le Comité des Arts chimiques a mission cette année de vous soumettre ses propositions pour l'attribution de l'une des plus hautes récompenses que vous ayez à décerner : celle de la médaille Lavoisier, laquelle est réservée, d'après votre règlement, aux auteurs français ou étrangers dont les travaux ont exercé la plus grande influence sur les progrès de l'Industrie française. En vous demandant de vouloir bien ratifier son choix, j'ai l'honneur de vous présenter en son nom, le rapport exposant les titres de M. Paul Héroult, le lauréat qu'il a désigné.

La métallurgie du fer et de l'acier a subi au cours de ces trente dernières années des modifications profondes qui ont eu leur répercussion marquée sur l'industrie tout entière, et, déjà à plusieurs reprises, nous avons eu l'occasion de signaler à votre attention les noms des principaux artisans auxquels nous devons les progrès ainsi réalisés.

C'est ainsi qu'en 1897, pour l'attribution de cette même médaille Lavoisier, notre Comité désignait à votre choix le nom de M. Osmond dont les belles recherches ont ouvert à la métallurgie de l'acier une voie nouvelle, en lui permettant en même temps de scruter la constitution intime du métal qu'elle élabore.

Aujourd'hui, l'électricité entre en scène, elle paraît appelée à provoquer dans la métallurgie générale des transformations plus profondes encore. Par l'emploi des courants de grandes intensités, elle permet désormais d'obtenir des températures restées irréalisables auparavant, et grâce auxquelles elle peut maintenant préparer l'aluminium, par exemple, dans des conditions particulièrement économiques; obtenir même des alliages inconnus jusque-là, et aborder à son tour, pour la modifier encore, la fabrication de l'acier.

C'est donc bien une métallurgie nouvelle qui a fait son apparition dans l'industrie. M. Héroult a joué un rôle particulièrement important parmi ceux qui l'ont créée, et son nom se trouvait ainsi immédiatement désigné pour la symboliser : le premier, en effet, il a réussi à préparer l'aluminium par la voie électrique; il a créé un type de four, universellement adopté aujourd'hui, pour l'application des courants électriques, il a réalisé enfin la préparation d'un grand nombre de produits nouveaux, ainsi que celle d'alliages métalliques exempts de carbone; et il aborde aujourd'hui la métallurgie du fer, en préparant les aciers doux épurés.

M. Héroult (Paul-Louis-Toussaint), né à Thury-Harcourt (Calvados) le 10 avril 1863, fit ses études classiques en se préparant aux grandes écoles techniques, et il suivit même les cours de l'école préparatoire à l'École supérieure des Mines; mais des événements de famille l'empêchèrent de poursuivre

ses études. L'état précaire de la santé de son père l'obligea, à son retour du volontariat en 1884, à entrer directement dans l'industrie, sans avoir pu conquérir le diplôme de l'école; il poursuivit alors avec une énergie nouvelle les études qu'il avait commencées déjà pour la préparation électrique de l'aluminium, et après de nombreuses tentatives infructueuses, sur lesquelles nous ne pouvons pas insister ici, il reconnut d'abord l'impossibilité d'obtenir ce métal par précipitation dans une solution aqueuse, et il arriva graduellement à l'idée de l'électrolyse par fusion ignée.

1^o *Aluminium pur et Alliages* — M. Héroult fit breveter en 1886 le procédé de préparation de l'aluminium par voie électrolytique, qui devait transformer complètement la métallurgie de ce métal.

Alors, en effet, celui-ci se fabriquait exclusivement, comme on sait, par le procédé dû à Sainte-Claire Deville, lequel comportait essentiellement l'emploi du sodium métallique appliqué à la réduction du chlorure double d'aluminium et de sodium; mais c'était là, du reste, un procédé évidemment fort coûteux, puisqu'il exigeait la préparation préalable de deux produits d'obtention fort difficile, comme le sodium et le chlorure double. Aussi, la fabrication industrielle de l'aluminium restait-elle fort limitée, et le prix de ce métal dépassait cent francs le kilog.

Au moment où M. Héroult entreprit ses recherches, les connaissances que nous possédions sur l'électrolyse ignée étaient encore bien rudimentaires, et tout était à créer.

Il fallait, en effet, découvrir l'électrolyte convenable, trouver en même temps le moyen de le régénérer d'une façon continue, maintenir la conductibilité constante, et déterminer à cet effet la nature de l'anode, en donnant au courant les caractéristiques les plus convenables, etc.

Ajoutons encore que les composés halogènes de l'aluminium ne sont pas conducteurs de l'électricité quand ils sont purs, et c'est là, du reste, la difficulté devant laquelle s'arrêtèrent les premiers expérimentateurs, comme Bunsen et Sainte-Claire Deville.

Une observation particulièrement sagace mit M. Héroult sur la voie de la solution cherchée.

Opérant sur un bain de cryolithe fondue, il remarqua que le courant passait bien, et que l'anode en charbon se trouvait attaquée lorsque la cryolithe était impure; il en conclut immédiatement qu'il se produisait dans le bain une décomposition interne donnant un dégagement d'oxygène, et il se trouva ainsi amené à ajouter de l'alumine dans le bain.

Il eut la satisfaction de voir qu'elle s'y dissolvait facilement en donnant en outre au bain une conductibilité qu'il n'avait pas. Dès lors, il disposait d'un électrolyte permettant d'obtenir directement des culots d'aluminium fondu, et le brevet du 23 avril 1886 revendiqué effectivement l'électrolyse de l'alumine dissoute dans la cryolithe en fusion. Un second brevet en date du 15 avril 1887, vint compléter celui-ci en appliquant la même méthode d'électrolyse à la préparation des alliages d'aluminium. Ces deux brevets contiennent la substance du procédé encore universellement appliqué aujourd'hui à la préparation de l'aluminium et de ses alliages, et les seuls perfectionnements dont il a été l'objet, depuis lors, portent sur des questions de détail et sur les tours de main que révèle la pratique journalière.

En réduisant le prix de ce métal dans des proportions inespérées, le procédé Héroult a donné à cette industrie le développement merveilleux auquel nous assistons aujourd'hui.

Nous voyons, en effet, qu'en 1890 le prix de l'aluminium-métal, préparé dans les usines de Neuhausen, d'après les procédés de M. Héroult, était déjà ramené à 35 fr. le kg, mais il subit presque aussitôt des réductions rapides et importantes.

En 1892, il était abaissé à 6 fr. le kg, en 1897 à 3 fr. 10, en 1901 à 2 fr. 50, et la production présentait de son côté un développement plus rapide encore.

(*) Cette médaille a été décernée à la séance générale du 23 décembre 1904.

En 1892, elle atteignait en effet, d'après les statistiques, 487 030 kg, dont 237 395 pour les usines établies en Suisse et 75 000 pour la France. En 1902, cette production était déjà 18 fois plus forte, car elle atteignait, en effet, 8 112 000 kg, dont 2 500 000 pour la Suisse et 1 700 000 pour la France.

En tenant compte des industries annexes qui se rattachent à la métallurgie de l'aluminium, comme celles qui ont pour but la préparation de l'alumine, des électrodes en charbon, etc., on peut dire qu'aujourd'hui l'élaboration de ce métal n'occupe pas moins de 5 000 à 6 000 ouvriers, et l'outillage dont les producteurs disposent actuellement leur permettrait, sans difficulté, de doubler et même de tripler rapidement la fabrication totale, s'il était nécessaire.

2° *Four électrique.* — En même temps qu'il créait ainsi le procédé de préparation de l'aluminium par l'électrolyse, M. Héroult réalisait en outre l'appareil qui devait devenir l'engin essentiel de la métallurgie électrique et qui devait servir, non seulement à la préparation de l'aluminium, mais même aussi à l'obtention de la plupart des alliages par voie d'électrolyse ignée.

Le four breveté le 8 décembre 1887, et qui est connu aujourd'hui sous le nom de four de Froges, ou four d'Héroult, peut être considéré, nous dit M. Minet, comme le premier four électrique véritablement industriel; il présente, en effet, une installation particulièrement robuste, avec des dispositions heureuses, qui en font un véritable appareil métallurgique, capable de supporter, sans interruption, des campagnes de plusieurs semaines.

En principe, ce four comporte une forte caisse métallique dont les parois intérieures sont revêtues de charbons agglomérés servant de cathode et qui est pourvue, en outre, d'un trou de coulée destiné à permettre un travail continu, comme dans le cas du cubilot.

L'électrode positive est formée d'une grosse tige de charbon de 30 à 40 centimètres de diamètre, elle est suspendue à une potence, par l'intermédiaire d'une pince à serrage appropriée, assurant le contact pour l'arrivée du courant. Cette électrode est mobile, et, sous l'action d'un mécanisme spécial qu'on peut même rendre automatique, elle peut s'abaisser ou se relever à volonté, de façon à permettre le réglage de l'arc obtenu, suivant la résistance que présente le bain au passage du courant.

Ajoutons, du reste, que l'appareil peut fonctionner également bien avec des courants alternatifs, comme avec des courants continus.

Les dispositions de ce four sont, ainsi que nous le disions, l'aboutissement de longues expériences poursuivies toujours avec le souci exclusif des besoins de la pratique; aussi ce four a-t-il pu être appliqué, sans modifications essentielles, dans les usines de Froges et de la Praz, à la préparation par voie électrique d'un grand nombre d'alliages métalliques: tels sont par exemple, le bronze d'aluminium, le ferro-aluminium, le corindon artificiel, le carbure de calcium, le ferro-chrome, le ferro-silicium, le ferro-tungstène, etc. On peut dire, en un mot, que cet appareil convient particulièrement bien pour opérer la réduction et la fusion des minerais réfractaires.

3° *Métaux doux.* — Dans les débuts de la fabrication des alliages métalliques au four électrique, on obtenait toujours des produits tenant une proportion élevée de carbone due à la présence même des électrodes, et comme c'était là ensuite une difficulté pour l'application de la plupart de ces alliages dans la métallurgie, il était d'autant plus intéressant de trouver le moyen de se mettre à l'abri de cette influence des électrodes, et de réussir à préparer également par la voie électrique des métaux à faible teneur en carbure, dits métaux doux.

Sur les indications de M. Ch. Combes, M. Héroult s'attacha à l'étude de cette question, et dès 1899, il créa un type de four particulièrement bien approprié à cette fabrication.

Ce four est constitué avec des matières réfractaires, non conductrices, restant par conséquent en dehors de l'action du courant; celui-ci est amené par deux électrodes en charbon suspendues au-dessus du bain métallique en fusion, de façon à éviter tout contact direct. Les électrodes affleurent seulement, en effet, la surface du bain de laitier surnageant au-dessus de celui des alliages; le courant qui fournit la température nécessaire pour maintenir le métal en fusion est transmis par l'intermédiaire des laitiers fondus. Toutefois, les électrodes ne peuvent pas être attaquées par le bain; sous l'influence de la tension élevée du courant, l'arc jaillit en effet au bas de l'électrode en traversant le laitier, de façon à éviter tout contact. On peut vérifier à chaque instant l'existence des deux arcs au moyen de deux voltmètres placés en dérivation entre la cuve et les électrodes. On peut aussi commander le mouvement de descente des électrodes au moyen de régulateurs appropriés. Chacun de ces voltmètres commande l'électrode correspondante, et permet ainsi de maintenir, toujours constante, la tension de régime. Grâce à cette disposition qui fait l'objet du brevet du 19 mars 1900, on réussit à écarter complètement toute influence des électrodes sur la composition du bain. D'autre part, en dosant exactement le carbone de réduction provenant des matières employées, on peut fixer à volonté la teneur résultante, et obtenir, par exemple, des ferro-chromes ne renfermant pas plus de 1 à 4 pour 100 de carbone, et qui, à ce titre, sont principalement appréciés dans la métallurgie. On pourrait même descendre encore à des teneurs plus basses en ajoutant de l'oxyde de chrome pour assurer l'affinage.

Les recherches bibliographiques ultérieures ont montré, il est vrai, que cette disposition des électrodes dans le four n'est pas absolument nouvelle; cependant l'application qui en a été faite par M. Héroult conserve tout son caractère de nouveauté.

4° *Fonte et acier.* — Disposant ainsi d'une méthode de préparation des alliages en métal doux, non saturés de carbone, M. Héroult essaya, à son tour, d'aborder la fabrication de la fonte et de l'acier, et il poursuivit à ce sujet de nombreuses expériences dont la Compagnie de Froges n'hésita pas à supporter les dépenses, si bien que les procédés de métallurgie électrique du fer, auxquels ses recherches vinrent aboutir, sont généralement aussi désignés aujourd'hui sous les noms de Froges et de M. Héroult, pour rappeler ainsi la part qui revient aux deux collaborateurs, dans les résultats obtenus.

M. Héroult se proposa d'abord de tirer un parti plus complet de la combustion du carbone servant à la réduction des minerais dans la préparation de la fonte, et il s'attacha à cet effet à transformer complètement tout le combustible en acide carbonique, en utilisant dans l'appareil lui-même les hautes températures ainsi obtenues, de façon que le courant électrique n'ait à fournir qu'un simple appoint.

Cette idée ingénieuse est réalisée dans le four économiseur faisant l'objet du brevet du 13 novembre 1900, lequel est disposé de façon que les matières à traiter soient échauffées par les chaleurs perdues; elles se trouvent ainsi déjà portées à une haute température, au moment où elles viennent se mélanger avec le charbon réducteur, en pénétrant dans le creuset électrique, où s'effectue la réaction.

Ce creuset est d'ailleurs percé de deux trous de coulée différents, servant l'un à l'écoulement des laitiers, et l'autre à celui de la fonte produite, ce qui permet ainsi d'assurer la continuité du travail.

Dans un autre dispositif faisant l'objet du brevet du 12 février 1902, M. Héroult fait tomber le coke employé dans une colonne verticale disposée directement au-dessus du creuset, tandis que les matières à traiter sont amenées par une trémie latérale, où elles sont échauffées par le gaz de combustion, et il utilise la colonne de coke elle-même, pour en faire l'une des deux électrodes d'aménée du courant, l'autre étant toujours

formée par la cuve en charbon du creuset; il constitue ainsi ce qu'il appelle le four électrique à électrodes coulantes, permettant effectivement de réduire beaucoup la dépense des électrodes habituelles.

Pour l'affinage de la fonte, M. Héroult a imaginé, d'autre part, un four oscillant spécial, faisant l'objet de son brevet du 1^{er} février 1901, lequel reproduit, en principe, les traits caractéristiques de la cornue Bessemer, et peut servir, d'ailleurs, pour la mise en application de ce procédé de préparation de l'acier, même avec des fontes de toute nature.

Lorsqu'on opère, en effet, sur des fontes quelconques, ne renfermant ni phosphore, ni silicium, la chaleur nécessaire à la réaction est fournie par le courant électrique arrivant par deux électrodes verticales, en charbon, disposées dans des conditions analogues à celles que nous avons indiquées précédemment. Ces électrodes sont suspendues à une double potence à laquelle elles sont rattachées par des colliers de serrage appropriés. Elles peuvent d'ailleurs se déplacer verticalement, suivant les besoins, de façon à se trouver complètement dégagées au moment où la cuve est basculée pour la coulée du métal.

Ce four peut recevoir, d'ailleurs, les applications les plus variées, il permet, en effet, d'affiner et d'épurer la fonte, et même de recarburer le métal, car il est possible de modifier suivant les besoins, la composition de l'atmosphère du bain métallique, en la rendant, à volonté, oxydante ou réductrice.

Dans de pareilles conditions, il devient possible d'obtenir des aciers dont la teneur en carbone soit fixée rigoureusement à l'avance. M. Héroult a même imaginé, à cet effet, de constituer de toutes pièces un carbure de fer physique ou artificiel, à teneur élevée en carbone, dénommé par lui *carburite*, qu'il incorpore dans le bain, suivant des proportions déterminées à l'avance. Ce produit présente d'ailleurs une densité suffisante, pour traverser la couche de laitier, lorsqu'il est projeté dans le bain métallique, et il entre ainsi en contact avec le métal fondu qui le dissout intégralement.

D'après la description donnée au brevet du 25 avril 1902, on prépare la carburite en mélangeant, à parties égales, des limailles ou copeaux de fer, fonte ou acier, avec du charbon de pureté convenable; et ajoutant, s'il est nécessaire, la quantité voulue d'un agglomérant approprié, comme le brai, par exemple. Le tout est pressé et bien cuit, de façon à former des blocs bien denses et solides, pouvant être chauffés avant l'introduction dans le bain, et traverser la couche de laitier sans se briser.

Poursuivant enfin ses études sur la préparation électrique de l'acier, M. Héroult est arrivé à constituer une méthode de traitement, particulièrement intéressante, en ce qu'elle peut s'appliquer aux fontes courantes, tenant des proportions élevées de soufre et de phosphore, et les épurer d'une façon complète, de manière à en tirer des aciers fins, pouvant rivaliser avec ceux qu'on obtient au creuset.

Cette méthode nouvelle qui est appelée à un grand avenir, si elle donne effectivement, au point de vue économique, les résultats revendiqués, consiste essentiellement à scinder en deux parties bien distinctes les opérations diverses que comportent l'affinage de la fonte et la transformation en acier.

Les premières opérations qui sont toutes par réactions oxydantes, sont effectuées dans un four métallurgique habituel chauffé dans les conditions ordinaires, sans l'intervention du courant; mais l'opération finale qui a pour but de ramener au point le métal suroxydé, provenant du traitement antérieur, est seule effectuée au four électrique, ce qui ramène ainsi au strict minimum la dépense correspondante.

Si on opère par exemple au Bessemer basique, ou même au four à sole pour le traitement des fontes phosphoreuses, on s'attache intentionnellement à pousser dans cet appareil l'oxydation à un degré beaucoup plus avancé qu'on ne le fait dans le traitement ordinaire, de façon à pouvoir éliminer toutes

les impuretés contenues dans la fonte traitée, et on obtient ainsi, effectivement, un métal dont la teneur, en matières étrangères, peut être réduite à de simples traces. Au sortir du four, le métal liquide est versé dans un creuset électrique, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une poche, et il y subit la dernière partie du traitement, résultant de la désoxydation dans une atmosphère réductrice, avec l'addition des corps étrangers qu'il peut être utile d'y incorporer, tels que manganèse, silicium, nickel, tungstène, vanadium, molybdène, aluminium, etc.

En même temps, le courant électrique entretient dans le creuset la température nécessaire pour maintenir le métal en fusion, et permet de le couler dans des conditions satisfaisantes.

Finalement, on obtient ainsi un métal tout à fait exempt d'impuretés, comme nous le disions plus haut, et, en fait, la teneur en phosphore se trouve ainsi ramenée à des valeurs comprises entre 5 et 15 cent-millièmes, tandis que le traitement habituel des fontes phosphoreuses ne permet généralement pas de descendre au-dessous de 5 à 3 dix-millièmes.

Il en est de même pour la teneur en soufre qui s'abaisse aussi à 1 ou 2 cent-millièmes.

Quant à la teneur en carbone, elle peut être fixée à volonté, et même précisée à l'avance, comme nous le disions plus haut.

Le métal ainsi obtenu présente d'ailleurs des propriétés mécaniques particulièrement remarquables, permettant de le rapprocher des aciers fins de bonne qualité.

La limite élastique a varié, en effet, de 46 à 100 kg : mm pendant que la charge de rupture variait parallèlement de 66,8 à 118 kg : mm, et l'allongement mesuré sur 100 millimètres, qui était de 15 pour 100 dans le premier cas, atteint encore 8 pour 100 dans le dernier.

Quant à la striction représentée par l'expression $(1 - s) : s$ elle a présenté les valeurs respectives de 0,31 et 0,34 dans les deux cas considérés.

Il y a là, comme on le voit par ce rapide exposé, des faits particulièrement intéressants, montrant que dans l'avenir l'emploi du courant électrique peut exercer son influence marquée dans la métallurgie du fer elle-même, comme il le fait déjà pour un grand nombre d'autres métaux, et, dès lors, il n'est pas étonnant que l'importance des résultats déjà obtenus, aussi bien que celle des progrès qu'il est possible d'entrevoir encore, ait attiré, même à l'étranger, l'attention des Sociétés techniques sur le nom de M. Héroult qui en a été le principal artisan, et il a reçu effectivement, il y a deux ans environ, de l'Université d'Aix-la-Chapelle, le titre de docteur-ingénieur, *honoris causa*, de la section d'électro-métallurgie.

Il appartenait, par conséquent, à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale de constater, à son tour, l'intérêt des travaux de notre compatriote, en lui décernant la médaille que notre comité des Arts chimiques propose de lui attribuer, et nous ne doutons pas que votre décision ne soit accueillie avec faveur par tous les métallurgistes, car ils savent comme nous la grande influence que les travaux de notre lauréat ont exercé et exerceront encore sur les progrès et le développement de leur industrie.

AVIS IMPORTANT

Une partie de la correspondance continuant à être expédiée à l'ancienne adresse du bureau technique de « LA HOUILLE BLANCHE », nous rappelons à nouveau que tout ce qui concerne la rédaction de la Revue doit être adressé à M. CÔTE, rédacteur en chef, 24, rue Sully, à Lyon.