

de la valeur de  $n_s$  on peut directement déduire le genre et la forme de la roue mobile.

Le nombre de tours spécifique pour les différents genres de roues mobiles peut être tiré du tableau suivant :

*Turbines tangentielles à libre déviation*

(ROUE PELTON)  $n_s = 5 : 25$  tours. *Turbines Francis*

Pour chute jusqu'à 200 m. ; $n_s = 40 : 100$ tours.	} Petite V.	
— 100 » ; $n_s = 100 : 150$ »		
— 50 » ; $n_s = 130 : 180$ »		
— 20 » ; $n_s = 175 : 250$ »		} V. norm.
— 10 » ; $n_s = 250 : 325$ »		
— 10 » ; $n_s = 300 : 350$ »	} Grande V.	

Les exemples ci-après, pris sur des installations exécutées, peuvent démontrer que les valeurs sus-indiquées  $n_s$  correspondent effectivement à la pratique.

1<sup>er</sup> EXEMPLE. — Quel est le nombre de tours spécifique  $n_s$  pour la turbine suivante ?

H = 269 m. ; Q = 1 200 l/sec. ; N = 3 440 HP ; n = 300 tours.

$$\underline{n_s} = \frac{n \cdot \sqrt{N}}{\sqrt[4]{H^3}} = \frac{300 \cdot \sqrt{3440}}{\sqrt[4]{269^3}} = \underline{16 \text{ tours}}$$

Genre de la turbine exécutée : Turbine tangentielle à libre déviation (roue Pelton).

2<sup>o</sup> EXEMPLE. — Quel est le  $n_s$  de la turbine suivante :

H = 166 m. ; Q = 4 800 l/sec. ; N = 8 500 HP ; n = 400 tours.

$$\underline{n_s} = \frac{n \cdot \sqrt{N}}{\sqrt[4]{H^3}} = \frac{400 \cdot \sqrt{8500}}{\sqrt[4]{166^3}} = \underline{62 \text{ tours.}}$$

Genre de la turbine exécutée : Turbine Francis à haute chute (turbine à petite vitesse).

3<sup>o</sup> EXEMPLE. — Quel est le  $n_s$  de la turbine suivante ?

H = 50 m. ; Q = 2 250 l/sec. ; N = 1 200 HP ; n = 600 tours.

$$\underline{n_s} = \frac{n \cdot \sqrt{N}}{\sqrt[4]{H^3}} = \frac{600 \cdot \sqrt{1200}}{\sqrt[4]{50^3}} = \underline{157 \text{ tours.}}$$

Genre de la turbine exécutée : Turbine Francis à haute chute (turbine à petite vitesse).

4<sup>o</sup> EXEMPLE. — Quel est le  $n_s$  de la turbine suivante ?

H = 17,5 m. ; Q = 1 250 l/sec. ; N = 220 HP ; n = 600 tours.

$$\underline{n_s} = \frac{n \cdot \sqrt{N}}{\sqrt[4]{H^3}} = \frac{600 \cdot \sqrt{220}}{\sqrt[4]{17,5^3}} = \underline{248 \text{ tours.}}$$

Genre de la turbine exécutée : Turbine Francis (vitesse normale).

5<sup>o</sup> EXEMPLE. — Quel est le  $n_s$  de la turbine suivante ?

H = 4,5 m. ; Q = 2 670 l/sec. ; N = 125 PS ; n = 200 tours.

$$\underline{n_s} = \frac{n \cdot \sqrt{N}}{\sqrt[4]{H^3}} = \frac{200 \cdot \sqrt{125}}{\sqrt[4]{4,5^3}} = \underline{340 \text{ tours.}}$$

Genre de la turbine exécutée : Turbine Francis à grande vitesse.

J'espère que ces brèves explications seront de quelque utilité pour la pratique.

Th. KACH.

## L'ÉTAT ACTUEL DES INDUSTRIES ÉLECTRO CHIMIQUES (1)

Reil

Messieurs et Chers Collègues,

Suivant la tradition de notre Société, vous voulez bien m'autoriser à vous entretenir de la branche d'industrie dont je me suis spécialement occupé. Or, parmi celles que les progrès de la science moderne et l'importance des problèmes résolus ont mises en lumière, l'électrochimie et sa voisine l'électrometallurgie sont dignes de retenir l'attention.

Elles ont eu le privilège de mettre à la disposition de la technique, à des prix inconnus jusqu'ici, des métaux et alliages dont les applications s'étendent chaque jour ; on a pu disposer de corps nouveaux et presque insoupçonnés, comme cette belle série de produits du four électrique que nous devons avant tout à l'intuition géniale de MOISSAN. On a pu, enfin, appliquer à la grande industrie des réactions considérées comme étant du domaine du Laboratoire, et réaliser ainsi cette fixation de l'azote de l'air, qui semble appelée à exercer une si grande influence économique.

Les résultats obtenus au cours de ces trente dernières années sont l'œuvre d'une série d'Ingénieurs et de Chimistes distingués. Nous éprouvons quelque fierté à rencontrer parmi eux un grand nombre d'entre vous. Aussi vous demanderai-je la permission de vous présenter rapidement le résumé des travaux auxquels nous devons la création d'industries, dont je voudrais essayer de vous faire connaître le développement. Vous m'excuserez pourtant de devoir aborder pour cela un bien vaste sujet.

La première application industrielle de l'électrolyse devait être amenée par l'emploi de la dynamo GRAMME dans la galvanoplastie ; on se rendit vite compte de la possibilité d'étendre les principes de la méthode à l'affinage du cuivre pour la préparation du métal à haute conductibilité et la séparation des métaux précieux que renferment les cuivres bruts. En raison du grand intérêt de ces opérations, on construisit les premières dynamos de grande intensité ; celle fournie à Hambourg, vers 1875, débitait 3 000 ampères sous une tension de 4 volts.

L'affinerie de Hambourg, qui fonctionnait dès cette époque, doit être considérée comme ayant été la première usine électrochimique.

En 1877, M. GRAMME communiquait à l'Académie des Sciences une série de remarquables expériences sur cette question. Pourtant, notre regretté collègue Hippolyte FONTAINE, écrivait en 1892 : « Toutes les affineries électrolytiques d'Europe ne produisent pas plus de 20 tonnes de cuivre électrolytique par jour, c'est-à-dire 4 pour 100 de la consommation totale ».

Pour mesurer le chemin parcouru, nous remarquerons que l'affinage électrolytique est appliqué aujourd'hui dans 38 usines, dont la production atteignait, en 1909, 469 000 tonnes, représentant 55 % de la production mondiale.

Les procédés électrolytiques d'affinage ont donné naissance à l'ingénieuse méthode de fabrication des tubes connus sous le nom de ELMORE-SECRETAN et arrivée, à l'Usine de Dives, à un haut degré de perfectionnement.

Ce n'est, toutefois, que vers 1886-1887 que nous trouvons de nouvelles tentatives pour développer les applications industrielles de l'électrolyse : le traitement électrolytique des chlorures de potassium et de sodium permit de préparer

(1) Discours d'ouverture prononcé le 9 janvier 1914, par M. Henry GALL, président de la Société des Ingénieurs Civils de France.

directement les chlorates correspondants. Commencé en France à cette époque, ce procédé de fabrication, basé sur l'oxydation directe des chlorures dissous, est appliqué à plus de 20 000 tonnes de ces produits. Il comporte l'utilisation du courant électrique avec de hautes densités de courant, facilitées par l'emploi d'anodes en platine.

On a réalisé depuis la préparation, par des méthodes analogues, des perchlorates et des persulfates, produits très oxydants, qui ont rencontré quelques intéressantes applications.

Ces premiers résultats avaient fait entrevoir la possibilité de transformer la grande industrie de la soude elle-même. Quoi de plus séduisant, en effet, que de réaliser directement la dissociation électrolytique du chlorure de sodium et d'obtenir ainsi en une seule opération le chlore et la soude, dont la séparation, depuis l'illustre LEBLANC, a occupé tant d'ingénieurs inventeurs et a mis au jour, parmi tant d'autres, les belles conceptions de WELDON et de DEACON,

On a rappelé récemment, à l'occasion du cinquantenaire du procédé SOLVAY, l'importance de cette industrie de la soude, dont la production annuelle moyenne atteint 3 millions de tonnes, dont 1 800 000 tonnes sont obtenues par le procédé à l'ammoniaque.

Il a fallu constater que l'électrolyse ne pouvait concurrencer ce dernier procédé et devait se limiter à la production du chlore et de l'alcali correspondant.

Plusieurs méthodes de travail sont aujourd'hui consacrées par la pratique ; toutefois, deux usines seulement fonctionnent en France, où il semble que les emplois limités du chlore dans les industries des produits organiques aient été jusqu'ici le principal obstacle à la création de nouveaux établissements.

La fabrication électrolytique de la soude a trouvé un débouché intéressant pour son hydrogène, resté jusqu'ici sans emploi sérieux, et qui est recueilli, comme vous le savez, tant pour les besoins de l'aéronautique que pour la nouvelle industrie de l'hydrogénation catalytique des corps gras.

Le développement des industries chimiques devait donner un intérêt tout spécial au sodium métallique. Préparé par les anciennes méthodes, il était resté un produit cher. Préoccupé de l'obtenir avec facilité pour la fabrication synthétique des cyanures, qu'exigeait le traitement des minerais d'or du Transvaal, CASTNER constitua, vers 1892, un procédé électrolytique en s'inspirant des observations faites par DAVY en 1807.

J.-B. DUMAS nous a conservé le souvenir, d'après un récit de FARADAY, de l'émotion éprouvée par le grand chimiste lorsqu'il vit apparaître, sous l'influence de la pile, le premier globule de métal alcalin, que la main de l'homme eût isolé.

« Expérience capitale », avait écrit DAVY sur le registre conservé pieusement à l'Institution Royale. Les industries électrochimiques auront eu cette bonne fortune de tirer plusieurs fois des résultats éclatants de travaux de laboratoire, qui semblaient offrir un intérêt strictement scientifique. Ce n'est pas ici, mes chers Collègues, où l'on s'est toujours préoccupé de rester en contact avec les représentants de la science qu'il est nécessaire d'insister sur la connexité des travaux de science pure avec le développement industriel.

Le procédé de CASTNER est particulièrement basé sur l'électrolyse de l'alcali caustique en fusion, dans des limites de température très étroites : 310-335 degrés.

Les procédés de CASTNER, appliqués successivement en Angleterre, en Allemagne, en Suisse et aux États-Unis, devaient permettre la production économique de plusieurs milliers de tonnes de sodium. Ils furent perfectionnés en France

d'une façon très intéressante par M. L. HULIN, dont les méthodes sont appliquées dans deux usines du Dauphiné et du Valais.

L'extraction directe du sodium de son chlorure vient également d'être commencée dans une usine de Savoie.

Si le sodium est un métal, au sens chimique du mot, sa grande altérabilité met obstacle à tout emploi à ce titre. Tout au plus a-t-on pu indiquer une application peu pratique comme conducteur électrique, ce métal étant coulé et maintenu à l'abri de l'air dans des tubes en fer.

Le calcium, dont les composés sont si répandus dans la nature, offre, à un degré moindre, il est vrai, les mêmes inconvénients : il possède la curieuse propriété, mise en lumière par M. JAUBERT, de donner des hydrures susceptibles de dégager au contact de l'eau jusqu'à 1 100 litres d'hydrogène par kilogramme. Sa préparation électrolytique directe, dans laquelle il a été réalisé de grands progrès, n'en comporte pas moins des difficultés, et sa production totale paraît être restée inférieure à 100 tonnes par an. Il en est de même du magnésium, dont les applications sont restées limitées.

Au contraire, l'aluminium, dont la technique se perfectionne toujours davantage depuis quelques années, peut être considéré comme un des résultats les plus remarquables des recherches entreprises sur l'électrolyse et l'électrometallurgie.

Dans le bel exposé que vous nous faisiez l'an dernier sur la situation métallurgique de notre pays, vous regrettiez à juste titre, mon cher Président, le rang que nous occupions dans la production des métaux, autres que le fer, nécessaires à notre consommation.

Sauf pour le zinc, où nous arrivons à produire 47 % de nos besoins, nous constatons non sans quelque amertume le rang infime que nous occupions dans la production du cuivre, du plomb et de l'étain, et vous concluiez que nous avions payé à l'étranger, en 1910, 600 à 700 millions pour notre approvisionnement en matières minérales, houille et métaux communs.

Aussi, comme il m'est agréable de constater la vision prophétique d'Henri Sainte-Claire DEVILLE, lorsqu'il nous disait : « Les métaux que les hommes emploient dans les pays civilisés pour les besoins ordinaires de la vie sont en très petit nombre... Lorsque le hasard m'eût fait découvrir quelques-unes des propriétés si curieuses de l'aluminium, ma première pensée fut que j'avais mis la main sur ce métal intermédiaire, dont la place serait faite dans les usages et les besoins des hommes le jour où l'on connaîtrait le moyen de le faire sortir du laboratoire des chimistes pour le faire entrer dans l'industrie. »

On ne sait pas assez, mes chers Collègues, la façon dont il en est sorti et les efforts déployés par DEVILLE pour transformer tout d'abord en métal les globules, dont le plus gros avait le volume d'une tête d'épingle.

« J'avoue, ajoutait Sainte-Claire DEVILLE, que j'ai possédé pendant plus d'un an dans mon laboratoire des quantités considérables, pour l'époque, de poudre grise, qu'il ne m'a été possible de réunir en culot que par le plus grand des hasards. »

Il semble que l'histoire des tâtonnements d'un si grand savant soit un précieux enseignement pour ceux d'entre nous qui connaissent certaines heures de découragement, inhérentes à la réalisation de toute invention.

Les méthodes de préparation purement chimiques de l'aluminium appartiennent elles aussi à l'histoire. Vous savez que, poursuivies aux frais de la cassette Impériale, elles permirent d'obtenir, à partir de 1856, le métal dont la fabrication devait rester stationnaire jusqu'aux environs de 1887.

A cette époque, et en même temps qu'une intéressante tentative de M. MINER, réussissant là où plusieurs inventeurs avaient échoué, notre Collègue HÉROULT instituait le procédé de fabrication électrolytique aujourd'hui universellement adopté, et la première usine française fonctionnait à la Praz en 1892.

Basé sur la décomposition électrolytique de l'alumine dans un bain de cryolithe, ce procédé comporte aujourd'hui des cuves de 15 000, et même de 20 000 ampères. Il a dû être réglé dans tous les détails, et l'opération, en apparence fort simple, d'électrolyse n'en comporte pas moins des calculs très rigoureux de toutes les surfaces du bain et d'électrodes ; sa mise au point a nécessité une sagacité qui fait honneur à M. HÉROULT et à ses collaborateurs, au nombre desquels je ne saurais oublier de mentionner les modestes ouvriers de la Savoie, dont l'intelligence et l'esprit d'observation m'ont bien souvent surpris.

Nous bénéficions encore des recherches de Sainte-Claire DEVILLE en ce qui concerne l'alumine. Si le procédé de fabrication de ce produit a été l'objet d'un progrès sérieux, grâce à l'intervention du chimiste autrichien BAYER, c'est à lui que nous devons d'avoir mis en lumière la nécessité des méthodes alcalines pour l'extraction de l'alumine de la bauxite, dont il devait, dès ses premiers travaux, apprécier l'importance pour le nouveau métal. Vous savez que notre pays est si spécialement favorisé au point de vue de ce précieux minerai, — mélange d'alumine hydratée et d'oxyde de fer, — dont il est actuellement extrait près de 250 000 tonnes annuellement, qu'il fournit et alimente plusieurs pays voisins. Ce n'est que tout dernièrement que les usines françaises ont pu commencer à transformer en alumine une quantité de minerai supérieure à notre consommation ; il semble que cette situation doive s'accroître chaque année.

Il n'en est pas de même de la cryolithe. Sainte-Claire DEVILLE n'avait pas méconnu non plus l'importance des gisements du Groënland. Ce curieux produit, constitué, comme vous le savez, par un fluorure double d'aluminium et de sodium, semble exister en quantité suffisante pour alimenter pendant bien longtemps encore la consommation des usines, qui représente tout au plus 10 % de la production du métal.

Vous le voyez, mes chers Collègues, la métallurgie de l'aluminium présente, au point de vue français, un aspect particulièrement réconfortant. Si la production mondiale dépasse déjà 50 000 tonnes, celle de la France s'élève à 15 000 tonnes et les usines sont déjà outillées pour atteindre 19 000 tonnes et utiliser une quantité d'énergie de près de 65 000 kw.

Notre pays exporte des quantités importantes, — plus de 8 000 tonnes, — et nous trouvons ici une situation bien différente de celle que je vous signalais à propos des autres métaux. Ainsi se trouvent justifiées les vues si profondes de notre grand compatriote.

Certaines propriétés de l'aluminium ont pu en restreindre l'application. Aussi des recherches nombreuses sont-elles poursuivies pour utiliser dans certains alliages ses principaux avantages. Il semble bien que certains progrès aient été réalisés tout récemment et qu'on ait obtenu, sans sacrifier la légèreté, des résultats très intéressants au point de vue des propriétés mécaniques.

La cuve de fabrication de l'aluminium peut être considérée comme une transition entre l'électrolyseur proprement dit et le four électrique. La concentration dans une enceinte des effets de l'arc électrique ou de la simple incandescence d'un conducteur en charbon devait permettre l'étude de réactions nouvelles, qui constituent plus particulièrement l'œuvre d'Henri MOISSAN.

De 1890 à 1898, fut publié une série de travaux remarquables, nous faisant connaître successivement la série des carbures, dont l'existence devait élargir nos vues sur certains phénomènes comme la formation des pétroles. Vous avez entendu, en 1903, une importante communication de M. LENICQUE à ce sujet.

La connaissance des conditions de réduction des oxydes des métaux réfractaires a permis à l'industrie de préparer avec facilité les ferro-alliages dont l'emploi en métallurgie se développe chaque jour.

La production mondiale du ferro-silicium atteint près de 40 000 tonnes, celle du ferro-chrome atteint plusieurs milliers de tonnes, sans parler des ferro-tungstène et ferromolybdène devenus tout à fait industriels.

Les applications du four électrique sont devenues si vastes, qu'il s'agisse de la fabrication de l'acier électrique, dont la production dépassait 120 000 tonnes en 1910, ou du carborundum ou silicure de carbone, dont les curieuses applications vous sont connues, qu'il serait téméraire d'essayer de vous les énumérer en quelques mots.

C'est ainsi que M. SAUVAGEON essaie actuellement une méthode de travail pour la préparation du verre au four électrique, laquelle paraît offrir un intérêt spécial dans certaines circonstances.

La distillation du zinc au four électrique vient, après celle du phosphore, d'entrer dans la voie pratique qui autorise les plus sérieuses expériences.

Il me paraît indispensable de mentionner également les curieuses expériences faites en Allemagne par RODENBURG, dans une voie indiquée par WARTENBERG : la fusion des métaux réfractaires comme le tungstène et le molybdène par les rayons cathodiques, qui a fourni ces métaux, à un degré de pureté remarquable. Il y a là certainement un dispositif plein d'intérêt, susceptible d'application, et qui a été expérimenté avec des installations utilisant plus de 6 000 kw.

Vous me permettrez de m'étendre un peu plus sur l'un des produits qui lui doivent son existence : le carbure de calcium, dont l'importance était apparue dès 1894 à notre Collègue, M. BULLIER. Son application à l'éclairage devait provoquer un rapide développement de la production.

Il a fallu, toutefois, que la construction des appareils d'emploi fût assez de progrès pour que ce produit, s'adressant à une catégorie spéciale de consommateurs ne disposant ni du gaz ni de l'électricité, fût apprécié à sa valeur.

On peut le considérer comme un accumulateur d'un genre spécial emmagasinant l'énergie des rivières torrentielles près desquelles il est fabriqué et la restituant dans des contrées éloignées.

La réaction en apparence si simple par laquelle MM. MOISSAN et BULLIER obtinrent pour la première fois à l'état cristallisé le carbure, entrevu en 1827 par WÖHLER, comporte aujourd'hui une technique qui représente le résultat d'une série d'efforts susceptibles pourtant de laisser place à de nouveaux progrès.

C'est ainsi que les premiers fours, dans lesquels on faisait jaillir un arc de 150 kw. au sein d'une masse pulvérulente, inapte au dégagement des gaz engendrés par la réduction de la chaux, se sont trouvés successivement remplacés par des fours de 1 000, 3 000 et, nous assure-t-on, 8 000 kw., en Norvège, dans lesquels la chaux et le coke en gros morceaux sont soumis directement à l'action électro-thermique.

L'énergie électrique se dépense à l'aide de conducteurs en charbon, dont la section est généralement calculée pour laisser passer 4 à 5 ampères par centimètre carré. Il est facile de se représenter l'énormité des sections destinées à amener

dans ces petits hauts-fourneaux des courants arrivant à dépasser 100 000 ampères.

Aussi a-t-on dû étudier, avec beaucoup de soin, les dispositifs d'amener du courant aux électrodes infiniment moins conductrices et préserver les pièces métalliques placées au-dessus du four par une circulation d'eau analogue à celle utilisée dans la métallurgie.

La production du carbure de calcium dans le monde doit être considérée comme s'étant remarquablement développée, si l'on se rapporte surtout aux souvenirs encore si vivants dans notre génération, qui a vu fonctionner les fours de laboratoire en pierre de Courson, dont la réaction sur les électrodes devait amener MOISSAN à soupçonner la possibilité de la formation du carbure.

Cette production atteint, en effet, 300 000 tonnes dans le monde et s'élève à plus de 36 000 tonnes en France même, en dehors des quantités utilisées pour la fixation de l'azote de l'air, dont je vous dirai quelques mots tout à l'heure.

Les propriétés du carbure de calcium en font un produit intéressant pour les contrées nouvelles privées des distributions d'éclairage. Aussi constatons-nous que la nouvelle industrie s'est établie dans tous les pays d'Europe. L'Italie et la Norvège possèdent les usines les plus importantes. La Grèce elle-même possède son usine à carbure, non loin des Thermopyles. Il s'en crée actuellement dans plusieurs pays d'outre-mer, notamment dans l'Amérique du Sud.

On ignore souvent la grande influence qui revient à l'acétylène dans la soudure autogène des métaux. Dès 1895, c'est-à-dire peu après la découverte du carbure, M. H. LE CHATELIER, dans une note présentée à l'Académie des Sciences sur le calcul de la température de combustion de différents gaz, annonçait que, brûlé avec un égal volume d'oxygène, l'acétylène donnerait une température supérieure de 1 000 degrés à la température de la flamme oxyhydrique et sa communication se terminait par cette phrase : « Cette double propriété rendra très précieux pour les laboratoires l'emploi de l'acétylène dans le chalumeau à gaz tonnant pour la production des températures élevées ».

Cette prédiction a fait son chemin elle aussi ; grâce à des efforts multiples où nous retrouvons encore plusieurs de nos Collègues, par la dissolution si élégante dans l'acétone, qui a fait de l'acétylène dissous un produit d'un maniement si commode, par la création de chalumeaux à basse pression, enfin par l'étude approfondie des métaux d'apport assurant l'exécution rationnelle de la soudure en s'inspirant des indications les plus récentes de la métallographie, une institution due à une initiative intelligente, sous le nom d'Union de la Soudure Autogène, s'est appliquée à faciliter l'application des nouvelles méthodes.

Presque encore à leurs débuts, celles-ci exigent déjà en France seulement l'emploi d'une quantité d'oxygène pur supérieure à 2 500 000 m<sup>3</sup> d'oxygène.

Elle s'accroît sans cesse, et la consommation du carbure pour cet usage, qui n'est que d'environ 6 000 tonnes en France, atteint déjà 22 000 tonnes par an en Allemagne.

Je viens de vous indiquer combien les grandes intensités, réclamées par les fours électriques actuels, avaient donné d'importance à la question des conducteurs en charbon. Les industries électrothermiques ont trouvé la voie toute tracée par les créateurs du charbon à lumière, notamment par notre regretté collègue CARRÉ. Il n'en est pas moins vrai que les grandes sections devenues nécessaires exigeaient un matériel de compression et des fours de cuisson répondant aux nécessités nouvelles.

De puissantes presses hydrauliques de 6 000 tonnes et au delà exercent une pression atteignant jusqu'à 450 kg. par centimètre carré ; des fours à gaz à travail méthodique, construits sur les principes du four HOFFMANN, permettent de fabriquer des électrodes allant jusqu'à 2 m. 50 de hauteur pour une section de 600 mm. de côté.

La résistivité de ces pièces en carbone descend au-dessous de 5 000 microhms-centimètre.

La production française dépasse actuellement 10 000 t. en dehors même des pièces moins importantes dites anodes en carbone aggloméré, fabriquées directement dans les usines d'aluminium.

Il est fort probable que les résultats remarquables que nous devons à l'emploi du four électrique auront d'autres conséquences pour les industries métallurgiques. Déjà le tonnage des divers produits obtenus dans notre seul pays dépasse 100 000 tonnes.

La fixation de l'azote de l'air, grâce aux moyens nouveaux mis à notre disposition, va devenir une des grandes industries mondiales.

Si, pour des raisons que je vais vous indiquer, cette application de l'énergie électrique ne s'est pas développée en France autant qu'on aurait pu le souhaiter, il n'en est pas moins nécessaire de considérer les problèmes que soulève cette grave question de l'azote. Il y a trois ans, notre collègue, M. E. LAMY, nous présentait un tableau très documenté des procédés alors connus.

Je me bornerai donc à vous parler des progrès les plus récents et à vous rappeler quelques chiffres.

W. CROOKS a montré, en 1898, comment l'accroissement des peuples de race blanche — c'est, hélas, un problème qui intéresse davantage l'Europe que la France elle-même — comporte une augmentation des quantités de céréales nécessaires. La culture intensive peut, seule, permettre de suffire aux besoins auxquels il faut satisfaire. On a calculé, par exemple, qu'en ce qui concerne l'Allemagne, ce pays qui ne produit que les deux tiers du blé nécessaire à sa consommation, serait susceptible d'obtenir un excédent de 4 millions de tonnes par l'emploi de 130 kg. d'azote par hectare.

Les sources d'azote qui ont alimenté jusqu'ici l'agriculture sont les gisements de nitrate et de houille. Les premiers, presque exclusivement limités à l'Amérique du Sud, sont loin de devoir être considérés comme inépuisables. Jusqu'à une époque récente, ils alimentaient presque seuls la consommation du monde, qui atteignait 2 400 000 tonnes en 1910.

Quant aux gisements de houille, vous avez eu souvent l'occasion d'entendre ici même l'exposé des efforts tentés pour la meilleure utilisation de l'azote qu'ils renferment ; nous savons notamment combien grand a été à cet égard le souci de ceux qui ont eu à développer la fabrication du coke métallurgique. Il n'en est pas moins vrai que, dans ce cas, on ne retire que 20 % de l'azote contenu dans la houille, correspondant à environ 10 à 15 kg. de sulfate d'ammoniaque par tonne de houille. Cette proportion se trouve augmentée dans la gazéification de la houille par les procédés MOND et s'élève alors à 40 kg. ou 60 % environ de l'azote contenu, mais ce mode de production ne s'applique que dans des circonstances spéciales.

La production de sulfate d'ammoniaque dans le monde atteignait 1 157 000 tonnes en 1911, et la production française, environ 62 000 tonnes, se trouvait inférieure d'environ 21 000 tonnes à notre consommation, relativement faible par rapport à celle du nitrate du Chili, 336 000 tonnes.

Il y a donc pour la fixation de l'azote de l'air un but d'un intérêt social d'autant plus grand qu'on peut envisager pour une époque relativement prochaine, 1940 disent les uns, 2032 disent d'autres statistiques, l'épuisement des gisements du Chili. Il est permis d'affirmer aujourd'hui que l'industrie saura remplacer la nature et fournir aux besoins des générations à venir tout l'azote qui pourra lui être nécessaire.

C'est ainsi que si l'on éprouvait la nécessité de remplacer une production annuelle de 4 millions de tonnes de nitrate du Chili, constituant une augmentation sensible sur les chiffres actuels, il suffirait, en appliquant, il est vrai, les meilleurs procédés récemment mis à jour pour certains engrais azotés, d'utiliser l'énergie correspondant à 1 200 000 kw. C'est là une perspective qui ne sera pas au-dessus des forces de l'humanité, qui recourra, en cas de besoin, à l'utilisation des rapides des grands fleuves africains.

La production directe des nitrates constituait donc un des plus beaux problèmes industriels. Au nombre des solutions qui devaient être trouvées, nous devons en premier lieu vous signaler l'œuvre considérable des Ingénieurs norvégiens BIRKELAND et EYDE, lesquels devaient, comme CASTNER l'avait fait pour l'expérience de DAVY, adapter aux exigences de l'industrie la célèbre expérience de CAVENDISH, en réalisant à partir de 1905 l'arc à champ tournant, qui avait déjà fait l'objet en 1896 d'intéressants essais à Genève. Les résultats obtenus devaient confirmer les vues formulées en 1870 par Marcellin BERTHELOT et le four de 18 kw. devenait bientôt le puissant appareil de 4 000 kw. qu'il est aujourd'hui.

Quoique de nombreux inventeurs aient présenté des solutions variées, et qu'une usine même ait été construite en France, dans le département des Hautes-Alpes, la question n'a été abordée nulle part avec la même ampleur qu'à Nottoden, où un plan systématiquement appliqué, comportant l'installation successive de forces motrices considérables, a permis de réaliser une œuvre digne d'admiration. Ces usines comportant l'utilisation de plus de 300 000 HP, la production du nitrate de chaux devait atteindre bientôt plus de 160 000 tonnes. La mise au point des procédés de condensation a fait un pas sensible grâce à la collaboration de nos compatriotes, notamment de M. SCHLOESING.

Ces procédés d'oxydation de l'azote atmosphérique présentent pourtant un point faible : la mauvaise utilisation de l'énergie consommée, le rendement effectif n'étant que de 3 %. SCHOENHERR a indiqué, en effet, que, dans cette opération, 40 % de l'énergie sont absorbés par les refroidisseurs des fours, 17 % sont perdus par rayonnement, 30 % peuvent être récupérés dans les chaudières, 10 % enfin sont cédés aux refroidisseurs suivant les chaudières.

Aussi, comme les procédés de préparation de l'azote ammoniacal paraissent incontestablement plus avancés, on s'occupe d'améliorer le rendement moyen des installations en cherchant à procurer à l'agriculture, non pas le nitrate de chaux, mais bien le nitrate d'ammoniaque à 35 % d'azote, l'ammoniaque étant obtenue par un des procédés indirects qu'il me reste à mentionner :

Le plus important est dû à FRANK et CARO, et dérive du carbure de calcium. Se basant sur une observation faite avant 1860 par des fabricants français. MARGUERITE et SOURDEVAL, à la recherche d'un procédé de fabrication du cyanure, ces savants se rendirent compte que la fixation de l'azote, observée à cette époque, devait être attribuée à la présence de petites quantités de carbure alcalino-terreux dans les masses traitées. Ils arrivèrent ainsi à reconnaître la remarquable propriété du carbure de calcium de subir une véritable combustion dans l'azote, lorsque ce produit est porté, à

l'état pulvérulent, en un point de sa masse, à la température d'inflammation, environ 900 degrés.

L'application de ce procédé, singulièrement facilitée par l'emploi des appareils de rectification de l'air liquide de notre collègue CLAUDE, lesquels fournissent l'azote à l'état de grande pureté, s'est développée dans plusieurs pays. La production de cyanamide, répandue dans plusieurs pays, s'élève à 160 000 tonnes correspondant à près de 32 000 tonnes d'azote. Cette cyanamide peut être, soit utilisée directement, et c'est là son principal emploi, soit transformée avec facilité en ammoniacque, et les usines norvégiennes d'acide nitrique sont ainsi à même de trouver auprès des usines de cyanamide les moyens d'écouler leur production à l'état de nitrate d'ammoniacque.

L'industrie de la cyanamide a réalisé de grands progrès dans ces dernières années et constitue actuellement un des procédés les plus simples de fixation de l'azote.

Tout récemment, enfin, on s'est occupé de la fixation de l'azote à l'état de nitrure d'aluminium ; le docteur SERPECK, qui devait trouver auprès d'une de nos grandes Compagnies françaises un puissant concours, s'est appliqué à réaliser cette réaction, et l'importance des essais effectués en Savoie aura sa place dans l'histoire industrielle de l'azote.

On a tout d'abord constaté qu'un mélange de charbon et d'alumine, porté à une température voisine de 1 900° dans une atmosphère d'azote, se transforme en nitrure d'aluminium. Ce nitrure, attaqué par la soude caustique, est susceptible de donner à l'état d'ammoniacque tout l'azote qu'il renferme. En combinant rationnellement ce traitement avec la fabrication de l'alumine, M. BADIN est arrivé, avec une énergie qui lui fait honneur, à rattacher une nouvelle branche de l'industrie de l'azote à celle de l'aluminium.

Dernièrement, on a pensé, en raison de certaines difficultés rencontrées dans l'établissement des appareils spéciaux, à réaliser la fabrication du nitrure en deux phases distinctes, en réduisant la bauxite à l'état de ferro-aluminium, dont l'azotation exothermique est une des plus curieuses manifestations des affinités d'un élément, dont il est peut-être permis de dire aujourd'hui qu'il a été singulièrement méconnu.

La très grande importance de l'industrie de l'azote au point de vue spécial de l'utilisation de l'énergie électrique a pu paraître mise en question par des procédés de synthèse directe, qui ont été mis sur pied récemment. Il semble bien pourtant que l'avenir des installations actuelles ne doive pas être mis en discussion de quelque temps.

Messieurs et chers Collègues, les résultats, dont je viens de vous faire la trop longue et pourtant bien incomplète énumération, n'ont été possibles que grâce à l'énergie électrique à bas prix, que l'on a pu produire à l'aide des forces hydrauliques. Vous savez, pour en avoir entendu souvent le compte rendu, combien grands ont été les efforts dépensés pour créer les puissantes usines qui fournissent les quantités d'énergie qui nous sont nécessaires.

La France devait être parmi les nations industrielles un des pays appelés à recourir de plus en plus à cette houille blanche, dont on a dit si heureusement qu'elle s'offre d'elle-même, tandis qu'il faut le travail de l'homme pour extraire la houille noire. Les conséquences de notre situation hydrographique sur notre activité nationale ont été considérables.

La nécessité de baser la construction des usines sur des données aussi exactes que possible a été facilitée par une documentation remarquable que nous devons au Service des Grandes Forces Hydrauliques, institué auprès du Ministère

de l'Agriculture. Sous la direction de M. l'Inspecteur général TAVERNIER et M. l'Ingénieur en Chef de la Brosse, ont été publiés les renseignements les plus complets sur le débit des rivières de la région des Alpes et des Pyrénées, et le nombre des observations consignées dans cette magnifique publication s'accroît chaque année.

La création des stations de jaugeage, les méthodes de mesure minutieusement décrites, l'étude approfondie du régime glaciaire ont été pour les industries hydrauliques un élément précieux, et elle leur doit des certitudes sur le régime des bassins, qui auraient pu paraître d'un espoir bien téméraire il y a quelques années. Nous leur devons les notions les plus intéressantes sur les débits caractéristiques et on est fixé aujourd'hui avec une approximation qui donne des bases suffisantes et permet d'étudier les régularisations, c'est-à-dire la création des réservoirs, que tous les hommes d'expérience considèrent comme une des nécessités de nos installations actuelles.

Dès 1902, à l'occasion du Congrès de la Houille Blanche, les questions si diverses que comporte l'aménagement des forces motrices avaient fait l'objet de communications de la plus haute importance. Elles seront traitées de nouveau au Congrès de Lyon, qui se réunira cette année sous la présidence de notre distingué collègue, M. CORDIER, et nul doute qu'il ne marque une nouvelle étape dans une branche qui fait tant d'honneur à nos Collègues hydrauliciens.

Ils se sont trouvés en présence de problèmes très variés, auxquels ils ont dû apporter des solutions souvent nouvelles. Les prises d'eau, qui constituent une des difficultés de ces installations, doivent être disposées de telle sorte que le fonctionnement des usines soit assuré sans interruption et réponde souvent aux exigences d'un service public dans les circonstances les plus différentes : glaces d'hiver ou crues de la fonte des neiges, à la suite desquelles le débit de nos torrents alpins varie dans des proportions considérables. Or, la plupart des usines bien établies arrivent à ne pas connaître plus d'une journée d'arrêt dans l'année et certaines d'entre elles arrivent à la réduire à quelques heures.

Les conduites forcées, d'abord exécutées en tôle rivée pour les chutes de moyenne hauteur, — jusqu'à 200 m. — auxquelles on s'est tout d'abord adressé, ont nécessité des tubes soudés et étirés quand on a dû recourir aux plus hautes chutes. Les progrès réalisés dans la construction des tubes à haute pression, impérieusement réclamés par l'industrie des gaz comprimés, devait permettre à l'industrie d'aborder des pressions qui étaient restées limitées à la presse hydraulique proprement dite. On a passé successivement de 400 à 650, puis à 950 m. dans les Pyrénées, et on installe actuellement, en Suisse, une force de 1 650 m. de hauteur de chute.

Les turbines elles-mêmes ont pu être calculées dans des conditions qui donnent pleine satisfaction et il n'est pas rare de rencontrer dans les unités actuelles un rendement de 84 %, qui ne diminue que dans une faible mesure quand la turbine fonctionne à demi charge.

D'après un tableau établi en 1910, par les soins de M. PINOT, la puissance hydro-électrique aménagée de la France s'élevait en eaux moyennes à 600 000 HP, se répartissant en : 473 000 pour la région des Alpes ; 55 000 pour le Plateau Central ; 51 000 pour la région des Pyrénées, et 41 000 pour les autres régions.

Sur cette puissance aménagée, près de la moitié, soit 291 000 HP, est consacrée à l'électrochimie et à l'électrometallurgie. Pendant les dix dernières années, la puissance totale des aménagements de houille blanche a crû dans la proportion de 1 à 5,2.

A la même époque, on arrivait, à l'aide de documents d'une incontestable exactitude, à évaluer à 540 millions de francs, les capitaux immobilisés dans les installations hydro-électriques, dont plus de 120 dans les usines s'occupant d'électrochimie et d'électrometallurgie.

Ce magnifique effort ne saurait en rester là et les constatations faites sur notre domaine houiller doivent permettre d'envisager de nouvelles installations ; nous rappellerons seulement que, dès 1904, M. de la Brosse avait calculé la puissance hydraulique de la Savoie et du Dauphiné à 1 000 000 de chevaux d'étiage et à 2 300 000 chevaux en eaux moyennes, et enfin que l'ensemble de nos régions montagneuses serait susceptible de fournir 4 600 000 chevaux d'étiage et 9 200 000 en eaux moyennes.

Aussi, la plupart des grandes villes de la région méridionale ont-elles pu recourir à l'énergie hydroélectrique, soit exclusivement comme Toulouse, Nice, Toulon, soit pour une très grande partie de leurs besoins comme Lyon, Marseille, Bordeaux.

L'admirable réseau qui couvre les trois régions du Centre, du Sud-Est et du Sud-Ouest, est en train de transformer la vie économique de ces régions, où nous voyons notamment revenir dans les moindres villages des métiers qu'on en croyait disparus et où nous constatons un accroissement ininterrompu de la consommation d'énergie avant même que l'agriculture ait commencé à user des facilités qui peuvent résulter pour elle de ces nouveaux moyens d'action fonctionnant cette fois-ci avec des moteurs actionnés par l'énergie envoyée de nos montagnes.

A côté de nous, en Italie, le mouvement s'est étendu dans des conditions qui font très grand honneur à la clarté de vues de nos voisins. Turin, Milan, Venise, Bologne et Rome reçoivent la totalité de l'énergie nécessaire à leur éclairage des usines hydrauliques et, tout récemment, on inaugurerait à Naples un transport de force amenant, sous la tension de 88 000 volts, les forces des Apennins, distants de 180 kilom.

Il nous semble que chez nous, non plus, on ne saurait en rester là ; aussi avons-nous enregistré avec intérêt les projets d'électrification de certaines de nos Compagnies de chemins de fer, qui concordent avec ceux de la Suisse et de l'Italie. N'apparaît-il pas que les usines ainsi créées constituent une sorte de dotation des générations futures, qui nous devront de leur avoir procuré à tout jamais des moyens d'éclairage et de transport, dont le coût deviendra presque nul après l'amortissement des capitaux engagés ?

Dans une communication faite en 1904, M. de la Brosse en attribuant divers coefficients probables de dix-huit heures de marche par jour aux moteurs industriels, de huit heures aux moteurs de chemins de fer et tramways, a donné des bases d'évaluation que nous appliquerons à la statistique de l'année 1911, qui évalue à 3 144 000 HP la puissance des moteurs industriels et à 10 309 000 HP la puissance des moteurs de chemins de fer et tramways.

On arrive ainsi à une puissance nécessaire de 50 milliards 700 millions de chevaux heures. La puissance hydro-électrique de notre pays est actuellement du dixième de ce chiffre. Elle peut être immédiatement accrue de 50 % par l'aménagement de deux forces motrices, dont, vous le savez, l'étude est complètement terminée ; celle du Rhône à Genisiat et celle de la Durance à Serre-Ponson.

On a dit avec raison que l'utilisation de chacune de ces forces correspondrait à la découverte de bassins houillers produisant, l'un 1 800 000 tonnes, le second 800 000 tonnes de charbon par an.

Il semble bien qu'en présence de semblables résultats à attendre, les Administrations compétentes soient disposées, et nous sommes heureux de le constater, à faire tomber les obstacles qui s'opposent encore à leur aménagement et à l'utilisation rapide de notre richesse hydraulique. Déjà, pour les forces hydrauliques du domaine privé, les initiatives individuelles ont eu pour conséquence la transformation économique de régions pauvres. Certes, en ce qui concerne le domaine public, on conçoit qu'en présence des exigences de l'heure présente, l'Etat ait le légitime souci de ne pas se dessaisir à tout jamais de ce domaine, et l'industrie s'est inclinée devant les réserves qu'il a pu convenir de formuler à cet égard. Tout démontre pourtant que la collectivité ne peut manquer de recueillir une large participation dans les avantages à obtenir et le Parlement devra, par une appréciation équitable de la situation, établir un régime libéral. Les bases d'une entente loyale sont possibles. Il nous paraît nécessaire de les trouver avant que d'autres pays prennent sur nous l'avance que nous avons su leur disputer.

En travaillant à ce résultat, nous aurons rempli, mes chers Collègues, l'un des buts qui nous sont assignés par ceux qui ont tracé notre voie : poursuivre l'application la plus étendue des forces et des richesses du pays.

\*\*

Nos lecteurs ont retrouvé, dans le discours précédent, la documentation que nous avons déjà si souvent mise sous leurs yeux. Mais, en la circonstance, elle emprunte à la haute situation de l'auteur si qualifié pour traiter ce sujet, une valeur particulière ; d'ailleurs, l'exposé qu'on vient de lire du développement de l'Electrochimie comporte une vue d'ensemble d'où se dégagent d'une manière saisissante les perspectives d'avenir de cette industrie : c'est à ce double titre que nous avons reproduit ces pages.

En les lisant, il n'est pas un technicien qui ne remarquera la modestie de M. GALL parlant de tous, sauf de lui à qui la science électrochimique est pourtant redevable de travaux si féconds. Ceci prouve bien une fois de plus que c'est à leur modestie que se reconnaissent les vrais savants.

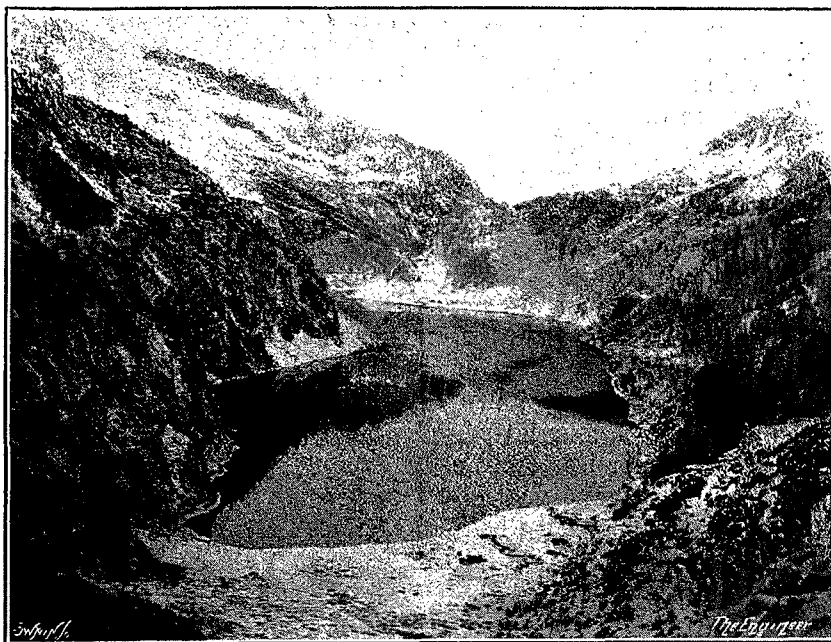
## AMÉNAGEMENT D'UNE HAUTE CHUTE EN HAUTE MONTAGNE

D'une intéressante conférence faite récemment à la *Société d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon*, par notre collaborateur M. CHARLES, nous extrayons la description suivante. Elle montre bien de quelle somme d'audace, de science et d'énergie les mineurs de la houille blanche doivent faire preuve pour conquérir les merveilleuses et inépuisables richesses que la nature a placées aux flancs de nos montagnes.

\*\*

Une chute, quelle que soit sa puissance, n'a beaucoup de valeur que si elle est à peu près constante ou, du moins, si sa force minima est encore assez grande et de durée assez courte pour que le secours demandé à tout autre source d'énergie soit limité et n'entraîne pas l'immobilisation de capitaux considérables.

Cette condition n'est réalisée que lorsqu'on peut accumuler en un réservoir suffisamment grand l'eau inutilisée pen-



dant une partie de la journée ou de l'année, pour en tirer parti aux heures où la demande de force est plus grande, et pendant les périodes où le froid et la sécheresse réduisent le débit du cours d'eau exploité.

Plus la hauteur de chute utilisée est grande, plus petit est le volume d'eau nécessaire pour la production d'une force donnée, et plus faible, par conséquent, le volume de la réserve à constituer pour les moments de pénurie.

De plus, une installation hydroélectrique puissante en basse chute nécessite des machines énormes, tandis qu'en haute chute ces mêmes éléments, sauf la longueur de la conduite forcée, se réduisent en dimension, en poids et en prix. Aussi, cherche-t-on de préférence les hautes chutes alimentées par des ruisseaux provenant de glaciers et traversant des lacs ou des vallées que l'on peut, à l'aide de travaux relativement peu coûteux, transformer en réservoirs assez vastes pour parer, dans une large mesure à l'irrégularité de débit de ces ruisseaux.

L'installation hydroélectrique de l'Adamello nous fournira un exemple typique des travaux de ce genre.

## INSTALLATION HYDROÉLECTRIQUE DE L'ADAMELLO

L'Adamello s'élève à plus de 3 500 mètres sur un des contreforts des Alpes Réthiques qui descendent vers la plaine lombarde, près de Brescia.

L'écoulement du glacier vers l'ouest, forme un réseau de torrents qui se précipitent écumants entre des sommets couverts, jusqu'à la limite des neiges, de pins et de hêtres, et descendent par une succession de vallées sauvages se jeter dans l'Oglio au village de Cedegolo.

En ce point, cette rivière reçoit la Poggia, alimentée elle-même par l'Adamè, le Salarno et la Poggia d'Arno, émissaire du lac d'Arno.

Le lac d'Arno, situé à 1 800 mètres d'altitudes, a 571 000 mètres carrés. Un ingénieur, M. Luigi Stucchi, frappé de la valeur industrielle de ce réservoir naturel presque inaccessible, en fit l'acquisition après s'être assuré la concession des affluents de la Poggia ; il transmit ses droits à la Société Générale Electrique de l'Adamello, formée en avril 1907 pour utiliser les forces hydrauliques du val Camonica. Trois