

donc le problème pour les postes de grande altitude qui ne peuvent être visités que de loin en loin et son emploi peut y rendre de précieux services. Il exige cependant certaines corrections pour tenir compte de la faible évaporation qui peut encore se produire à l'intérieur de l'appareil malgré le pouvoir absorbant de la solution employée.

La photographie ci-jointe en montre l'aspect général ; ses dimensions sont les suivantes :

Diamètre de l'orifice supérieur.....	0 ^m 16
Diamètre du corps cylindrique central....	0 ^m 50
Longueur du corps cylindrique central....	0 ^m 71
Hauteur totale de l'appareil.....	1 ^m 25

La quantité de solution à employer est de 18 à 20 litres dont il faut bien entendu mesurer soigneusement le volume et la densité, la couche d'huile supérieure ne doit avoir que quelques centimètres.

LE PROBLÈME DE LA FIXATION INDUSTRIELLE DE L'AZOTE

Les diverses solutions proposées

« Le problème de la fixation industrielle de l'azote est incontestablement, à l'heure actuelle, le problème chimique le plus important ; on peut dire qu'il domine aujourd'hui toute la chimie minérale. »

Ainsi s'exprime M. Camille MATIGNON, professeur au « Collège de France », au début d'une très remarquable communication faite sur cette question devant la *Société pour l'Encouragement à l'Industrie nationale*, le 23 mai passé. Nous ajouterons que, de tous les problèmes contribuant à la mise en valeur de nos richesses hydrauliques, celui de la fixation industrielle de l'azote est aussi sans conteste le plus gros de conséquences. Les industries électro-chimiques grandes consommatrices de *kilowatts périodiques*, vont permettre l'exploitation de nombreuses et puissantes chutes d'eau qu'on ne saurait aménager pour le seul emploi de leurs *kilowatts permanents* dans les réseaux de distribution d'énergie : nous l'avons déjà si souvent exposé que nous n'y voulons pas revenir présentement. Mais on comprendra le soin mis par nous à placer sous les yeux des lecteurs de cette Revue tous les documents de valeur propres à les éclairer sur les progrès qui s'accomplissent dans cette voie aux horizons illimités.

Trois de ces documents viennent précisément d'être produits, se complétant et constitués : le premier par la communication de M. MATIGNON, plus haut indiquée, sur « le problème de la fixation industrielle de l'azote » ; le second par une conférence de M. Georges CLAUDE à la *Société des Ingénieurs Civils de France* (séance du 18 avril 1913), sur « le rôle des basses températures dans les industries de la fixation de l'azote » ; le troisième par le travail sur « la bauxite et le four électrique », que M. le professeur FLUSIN, de l'Université de Grenoble, a développé devant la *Société Internationale des Electriciens* au cours de l'une de ses dernières séances.

Commençons par le premier, c'est-à-dire par le mémoire de M. MATIGNON, que nous analyserons et dont nous reproduirons les principaux chapitres.

LES PROCÉDÉS DE FIXATION DE L'AZOTE

IMPORTANCE DE LA SOLUTION DU PROBLÈME. — M. le professeur C. MATIGNON, après avoir fait ressortir la nécessité de mettre à la disposition des agriculteurs un tonnage d'en-

grais azotés sans cesse croissant, considère les sources auxquelles on les a puisés jusqu'à présent, savoir : la houille et les gisements naturels de nitrate de soude du Chili. La houille qui contient en moyenne 1,2 pour 100 d'azote fournit de l'ammoniaque, transformé en sulfate, dont la production annuelle qui atteint 1 million de tonnes va en grandissant très vite mais ne pourra jamais suffire à tous les besoins. Le Chili donne par an 2 500 000 tonnes de nitrate de soude et l'on peut prévoir que ses réserves seront épuisées le siècle prochain. Il faut donc de toute obligation recourir à cet inépuisable réservoir d'azote qu'est l'air, en faisant entrer cet élément dans des combinaisons chimiques susceptibles de jouer le rôle d'engrais.

Toutefois, faire entrer l'azote en combinaison paraissait un problème bien difficile : n'a-t-on pas toujours enseigné que l'azote était un corps inerte ? « Mais, fort heureusement, dit M. MATIGNON, l'inaptitude de l'azote à entrer en réaction est un vieux cliché qu'il faut désormais remiser dans les archives de la Science ». L'azote peut, au contraire, intervenir dans beaucoup de réactions : par exemple se combiner avec un assez grand nombre d'éléments métalliques en donnant naissance à des *azolures très stables*, formés avec de grands dégagements de chaleur.

Un autre point sur lequel il importe d'insister, c'est que l'azote est vraiment inerte, en ce sens qu'il sort difficilement dans ses réactions de sa zone de repos chimique. Pour provoquer les réactions dans lesquelles il intervient, le système doit être le plus souvent porté à très haute température ; on en tire immédiatement cette conclusion que les réactions de l'azote seront facilitées par des catalyseurs et qu'il y aura intérêt, dans la plupart des cas, à substituer à la réaction elle-même, par l'intermédiaire de ces corps de présence, deux ou un plus grand nombre de réactions dont la première sera la résultante.

Avant de jeter un coup d'œil sur les différentes solutions proposées pour la fixation de l'azote, l'auteur donne, en quelque sorte, une idée quantitative de l'importance du problème en apportant quelques chiffres.

Dès maintenant, et la question est à son début, plus de 500 millions de francs sont déjà engagés soit dans des usines en pleine marche, soit dans des installations à la veille de fonctionner, soit encore dans des usines d'essai et de mise au point, ou bien même dans des recherches de laboratoire. En outre, plus d'un millier de brevets ont été pris dans ces dernières années, brevets dans lesquels leurs auteurs ont la prétention de faire entrer facilement et économiquement l'azote en combinaison. Il n'y a donc plus de doute que l'inertie de l'azote ne soit aujourd'hui une légende. Un grand nombre de laboratoires se sont consacrés presque exclusivement à cette question de l'azote, et entre autres les laboratoires scientifiques, de MM. GUYE, à Genève, HABER, d'abord à Carlsruhe, maintenant transporté à l'Académie Wilhelm, à Dhalen, près de Berlin ; les laboratoires industriels de la Badische Anilin- und Soda-Fabrik, de la Société norvégienne de l'Azote.

PROCÉDÉS DANS LESQUELS ON UTILISE UNE FLAMME ÉLECTRIQUE. — M. MATIGNON, renvoyant ses lecteurs aux publications techniques qui ont décrit en de nombreux articles les procédés Birkeland et Eyde, Schœnherr, Pauling, Guye, fait part de l'impression profonde qu'il a rapportée de sa visite aux installations de la Société norvégienne de l'Azote.

Il considère ensuite l'évolution que paraît devoir subir cette industrie. « Il est évident, *a priori*, qu'une industrie aussi nouvelle, dont les débuts datent à peine de sept an-

nées, est loin d'avoir atteint tous les perfectionnements dont elle est susceptible. Actuellement, les vapeurs nitreuses sortant des fours Byrkeland et Eyde, ou bien des fours Schönherr, sont absorbées par l'eau circulant dans de grandes tours d'absorption construites en granit et par conséquent fort coûteuses, puis les solutions nitriques étendues obtenues sont neutralisées par du calcaire et évaporées pour obtenir le nitrate de chaux, produit fondamental des usines norvégiennes ; M. Schloësing a donné récemment un procédé d'absorption par voie sèche qui permet, en faisant passer les vapeurs nitreuses sur de la chaux maintenue vers 300°, d'obtenir immédiatement le nitrate de chaux ; on supprime ici les volumineuses tours de granit, les opérations de neutralisation de l'acide, de concentration du nitrate et l'on obtient uniquement du nitrate. Ajoutons que les vapeurs nitreuses sont intégralement absorbées, tandis que, dans le procédé d'absorption actuel, quelques centièmes de l'azote combiné ne sont pas récupérés et par suite sont perdus, et enfin, on n'atteint ce degré d'absorption imparfait qu'en produisant, à côté du nitrate de chaux, un peu de nitrite de soude.

« Le perfectionnement Schloësing doit en entraîner un second. La théorie établit que la proportion d'azote oxydé doit être maximum quand le mélange gazeux initial est à volumes égaux d'oxygène et d'azote ; elle montre, en outre, mais cette fois non plus avec certitude, que, dans ce cas, le rendement du four électrique doit augmenter d'environ 25 pour 100. En fait, tous les observateurs qui se sont occupés de la question avec leurs appareils de recherches, ont reconnu qu'il y avait toujours augmentation sensible du rendement, cette augmentation pouvant varier, comme dans les essais de Guye, de 16 à 60 pour 100 suivant les conditions. J'ai pu me rendre compte dès maintenant, grâce aux perfectionnements apportés, par Georges CLAUDE et par LINDE, au problème de l'enrichissement de l'air en oxygène, que la substitution du mélange optimum à l'air ordinaire doit conduire à une amélioration économique du rendement. La superposition des deux progrès me paraît devoir abaisser notablement le prix du nitrate. »

Après quelques mots sur la concentration et le transport de l'acide nitrique, l'auteur passe aux procédés purement chimiques.

Dans toutes les combustions, une petite quantité de l'azote de l'air est entraînée dans l'oxydation et il apparaît des composés oxygénés de l'azote, quand la combustion est complète. Le mécanisme de la formation de l'oxyde azotique est exactement le même qu'avec la flamme électrique. Par suite de la chaleur produite dans la combustion, l'oxygène en excès et l'azote sont portés à la température de réaction et il y a formation d'oxyde azotique. On se rend compte immédiatement que la quantité d'azote oxydé sera d'autant plus grande que la température produite par la combustion sera plus élevée.

Sur ce principe fonctionnent actuellement deux procédés : celui de HAÜSSER, dans lequel on réalise une combustion avec explosion, celui de BENDER, avec combustion progressive ordinaire.

PROCÉDÉ HAÜSSER. — M. le professeur Häusser a mis au point son procédé dans une petite usine d'essai à Nuremberg. Il employait comme combustible le gaz de ville qu'il faisait détoner avec un excès d'air ou mieux avec de l'air et un tiers en oxygène du volume du gaz d'éclairage. Il importe, pour obtenir de bons résultats, de réaliser l'explosion dans des conditions telles que l'oxydation de l'azote

ait le temps de se produire ; autrement dit, il est nécessaire que la courbe des pressions au moment de l'explosion se maintienne un temps suffisant dans la région des hautes pressions ; il suffit pour cela que la bombe, dans laquelle se produit la détonation, ait un volume suffisant.

Il faut éviter que le bioxyde d'azote formé ne se décompose pendant le refroidissement, et cela, comme lorsqu'on opère avec les flammes électriques ; on hâte donc le refroidissement en produisant, aussitôt que la réaction est terminée, une détente brusque des gaz de la combustion par l'ouverture d'une soupape appropriée.

A la bombe, dont le volume à Nuremberg était de 100 l., sont adjoints quatre compresseurs, l'un pour le gaz combustible, l'autre pour l'air, le troisième pour l'oxygène, et enfin un quatrième pour l'air de balayage après la détente ; les trois premiers compresseurs fonctionnent simultanément dans la période de remplissage. — On produit 15 explosions par minute, la durée de chaque opération est donc de 4 secondes. Le mélange gazeux avant l'explosion est comprimé à 5 atmosphères au maximum. Les gaz à la sortie de la bombe se détendent dans un long serpentín plongé dans l'eau froide ; l'eau provenant de la combustion s'y condense et forme avec les vapeurs nitreuses une solution nitrique très diluée. Ici encore, un seul métal, l'aluminium, a pu résister convenablement à l'attaque de cette solution.

La concentration, évaluée en acide azotique, des vapeurs nitreuses dans les gaz à la sortie par mètre cube est : avec l'air, en moyenne, 9,8 gr. ; avec l'oxygène, 15,5 grammes.

La Deutsche Stickstoff Industrie Gesellschaft, de Dortmund, qui avait subventionné les essais de Nuremberg, a cédé les brevets allemands à une filiale qui vient de construire à Hamm (Westphalie) une petite usine, annexée aux usines de coke de MM. de Wendel, pour utiliser comme matière combustible les gaz des fours à coke.

L'usine westphalienne de démonstration doit traiter par jour 6 000 m³ de gaz, avec un nombre restreint d'ouvriers, 8 à 10. Le rendement en acide nitrique est voisin de 170 gr. d'acide azotique par mètre cube de gaz épuré en ajoutant le tiers du volume en oxygène.

Si l'on compare les rendements fournis par le four Byrkeland et le procédé Häusser, à énergie égale, on trouve qu'un mètre cube de gaz de pouvoir calorifique égal à 4 100 cal. produit 170 gr. d'acide, tandis que l'équivalent en énergie électrique donne, à Nottoden, 300 gr. d'acide. Evidemment, l'énergie calorifique ici est beaucoup moins coûteuse que l'énergie électrique, mais par contre, il faut utiliser de l'oxygène coûteux et effectuer le travail de compression des gaz, travail qui est loin d'être négligeable.

D'après un calcul de M. Häusser, l'Allemagne produirait, à l'heure actuelle, 240 millions de mètres cubes de gaz de fours à coke susceptibles de produire 40 000 tonnes d'acide azotique ou 60 000 de nitrate de chaux.

Le procédé donnerait un meilleur rendement avec les gaz naturels des Etats-Unis dont le pouvoir calorifique est bien supérieur à celui des gaz des fours à coke.

PROCÉDÉ BENDER. — Le procédé dont Bender avait donné le principe, dans plusieurs brevets, a été mis en application grâce à la découverte fortuite de champs de gaz en Transylvanie. Une société effectuait des recherches de sels potassiques en 1909 à Kissarmas, lorsque, à 300 m. de profondeur, elle obtint un jet de gaz puissant dont on mit près de deux ans à se rendre maître. Ce gaz est du méthane pur ; il constitue en tout cas le gaz naturel le plus riche en méthane qu'on ait rencontré.

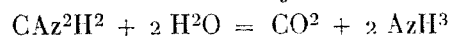
Le débit de la source gazeuse est resté jusqu'ici absolument constant ; il atteint un million de mètres cubes par jour, équivalent à 1 000 tonnes de houille, soit 100 wagons de 10 tonnes.

Sous les auspices du Gouvernement hongrois, la recherche d'autres sources gazeuses se poursuit ; celles qui ont été découvertes depuis donnent ensemble une production à peu près équivalente à la première.

Le Gouvernement hongrois a accordé provisoirement une concession de 200 000 m³ de gaz par jour à une société qui s'était constituée pour appliquer le procédé Bender, à savoir la production d'acide azotique par la combustion de ce gaz dans des brûleurs du type Bunsen, mais sous pression ; les rendements obtenus dans une petite installation d'essai auraient montré que le procédé était viable, aussi le Gouvernement a-t-il rendu la concession définitive. On construit actuellement une usine pour consommer tout le gaz concédé. En admettant que le rendement en acide azotique soit le même qu'avec le gaz de coke, l'oxygène employé avec ce dernier compensant son pouvoir calorifique moindre, on peut calculer ainsi une production annuelle d'azote combiné équivalente à 12 250 tonnes d'acide azotique.

Le procédé Bender n'est évidemment pas susceptible de généralisation ; en outre, sa production est évidemment limitée par la durée de la source gazeuse. Il ne donnera jamais qu'un faible appoint à la consommation.

PRODUCTION DE CYANAMIDE. — A côté des procédés synthétiques de production d'acide nitrique, s'élaborent actuellement d'autres procédés qui vont apporter, sur le marché, l'azote combiné sous une autre forme, la forme ammoniacale. La cyanamide, préparée depuis plusieurs années et sur laquelle beaucoup de publications ont déjà été faites, se rattache à ce groupe de procédés. On peut l'utiliser telle quelle comme engrais, ou bien la transformer en ammoniacque par une opération très simple, le chauffage en autoclave avec de l'eau, additionnée ou non d'adjuvants :



La cyanamide, surtout à cause des difficultés de l'épandage, a donné en Europe des résultats variables avec les pays. Aux Etats-Unis, d'après un fort intéressant rapport publié récemment par M. Bertrand, délégué pour les services du nitrate de soude en Europe, la cyanamide a réussi comme engrais, parce que les Américains ont l'habitude d'employer des engrais composés et que, en mélange, elle ne présente plus les mêmes inconvénients. Quoi qu'il en soit, les usines de Niagara Falls, qui produiraient actuellement 24 000 tonnes, seraient en voie de transformation pour atteindre une production de 200 000 tonnes dans trois ou quatre ans.

En tout cas, la production mondiale en cyanamide ne dépasse guère 1 000 000 de tonnes. Toutefois, au moins en Europe, on paraît tendre de plus en plus à son utilisation sous forme de sulfate d'ammoniacque. Une partie du carbure de calcium fabriqué à Odda est maintenant transformé en cyanamide, puis en ammoniacque à l'usine de Vilvorde, près de Bruxelles. La production de cyanamide atteindrait cette année 75 000 à 80 000 tonnes. Il semble que l'industrie de la cyanamide aurait maintenant une tendance bien accusée à sortir de la période de tâtonnements du début.

PROCÉDÉ HABER. — Si l'on élève peu à peu la température d'un mélange d'azote et d'hydrogène, on ne constate à aucun moment la formation d'ammoniacque ; c'est que la réaction sort de sa « zone de frottement » à des températures où la proportion d'ammoniacque à l'équilibre est prati-

quement nulle. Il convient donc de chercher des catalyseurs qui permettraient d'abaisser la température à laquelle la réaction peut commencer. C'est ce qu'ont fait HABER et VAX OORDT en utilisant le fer. En présence de ce métal, on constate qu'un mélange d'azote et d'hydrogène susceptible de donner naissance à 1 000 parties d'ammoniacque, en fournit exactement 0,24 gr. à 1 020° ; inversement 1 000 parties d'ammoniacque chauffées à cette température se décomposent jusqu'au moment où la teneur s'est abaissée à 0,24 parties. Un catalyseur qui permettrait de fonctionner à 627°, fournirait à cette température un mélange d'azote et d'hydrogène contenant 2/1 000 d'ammoniacque.

M. Haber a trouvé dans l'osmium et le carbure d'uranium deux catalyseurs qui fonctionnent déjà vers 500°, mais, même à cette température, la proportion d'ammoniacque formée est toujours très faible.

Aussi, pour augmenter le rendement, HABER et LE ROSSIGNOL, se fondant sur ce fait, comme l'indique la loi du déplacement de l'équilibre avec la pression, que la pression donnait une transformation plus avancée, ont cherché et réussi pratiquement à constituer un appareil permettant de fonctionner d'une façon continue sous une pression voisine de 200 atmosphères. Pour arriver à ce résultat, ils ont dû vaincre des difficultés techniques considérables. A Carlsruhe, un petit appareil marchant régulièrement fournit 90 grammes d'ammoniacque liquide par heure : le carbure d'uranium utilisé comme catalyseur fonctionnait à 550°, sous la pression de 175 atmosphères avec un rendement d'ammoniacque égal à 8 p. 100. Cet appareil, qui a été décrit depuis, forme un circuit dans lequel se trouvent successivement le catalyseur maintenu à 550°, un refroidisseur qui amène l'ammoniacque formée à l'état liquide et la sépare des gaz, une pompe qui produit la circulation gazeuse et enfin un tube latéral pour introduire une portion du mélange Az+3H préalablement comprimé, en quantité suffisante pour compenser la partie combinée et isolée du circuit sous forme d'ammoniacque.

L'osmium est un élément trop rare pour servir de base à un procédé industriel de synthèse de l'ammoniacque. Le carbure d'uranium, d'autre part, a l'inconvénient d'être un catalyseur perdant assez vite ses propriétés activantes.

Il n'est pas douteux que le travail en grand, sous des pressions voisines de 200 atmosphères, complique singulièrement le procédé. La Société badoise s'est attelée à la solution de ce problème, qui est sur le point de passer dans la pratique. Elle paraît, d'après les brevets les plus récents, employer le fer comme catalyseur ; en outre, elle a pu abaisser la pression du mélange gazeux et doit travailler maintenant dans le voisinage de 50 atmosphères. Quoi qu'il en soit, ce travail industriel, sous pression élevée, constitue un point faible du procédé et entraîne à de grandes dépenses initiales ; la dépense d'installation serait d'environ 1 000 fr. par tonne de sulfate produit annuellement.

Un deuxième inconvénient réside dans l'obligation de préparer de l'hydrogène à côté de l'azote ; or, on n'a pas encore trouvé une solution permettant d'avoir l'hydrogène à bon marché. Ce problème est à l'étude de différents côtés en Allemagne, des méthodes variées sont à l'essai, et il est probable que des solutions économiques seront bientôt élaborées. Pour le moment, la Société badoise va préparer son hydrogène d'après le procédé Linde, Frank et Caro, fondé sur la séparation de l'oxyde de carbone dans le gaz à l'eau par liquéfaction. La Société Linde construit un appareil pour produire 2 000 m³ d'hydrogène à l'heure, correspondant à une synthèse annuelle de 30 000 tonnes de sulfate d'ammoniacque.

niaque. Le mètre cube d'hydrogène reviendrait à un prix ne dépassant par 0,20 fr., tandis qu'on peut compter par mètre cube d'azote une dépense voisine de 0,02 francs.

L'hydrogène doit être tout à fait débarrassé de l'oxyde de carbone, car celui-ci, comme on le sait, se décompose au contact du fer en donnant du carbone et du gaz carbonique ; en admettant que ce carbone ne se combine pas au fer, il noierait bientôt le catalyseur et par suite arrêterait la réaction en empêchant le contact avec les gaz. Aussi la Badische a-t-elle pris différents brevets pour l'élimination des dernières traces d'oxyde de carbone.

Parmi les diverses solutions proposées pour la préparation de l'hydrogène à bon marché, M. MATIGNON signale tout particulièrement celle qui repose sur la réaction suivante de Merz et Weith : $\text{CO} + \text{Ca}(\text{OH})^2 = \text{CO}^3\text{Ca} + \text{H}^2$.

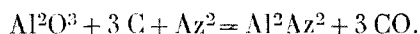
Il en résulte qu'en envoyant du gaz à l'eau sur l'hydrate de chaux, on remplace l'oxyde de carbone par son volume d'hydrogène. Toutefois la Société chimique de Griesheim, qui s'occupe depuis plusieurs années déjà de la mise au point du problème, n'a pas encore abouti à des résultats vraiment pratiques.

La Badische installe l'usine dont il a été parlé plus haut à Oppau, dans le voisinage de Ludwigshafen.

PROCÉDÉ SERPEK. — Si le procédé précédent est le triomphe de la physico-chimie qui a permis à Haber de fixer *a priori* toutes les conditions du problème, celui que je vais maintenant étudier, dit M. MATIGNON, est au contraire « le triomphe de l'imprévu ».

C'est encore l'aluminium, ce métal si déconcertant, qui lui sert de base.

Le docteur SERPEK a démontré que si l'on chauffe à 1 800° un mélange d'alumine et de charbon dans un courant d'azote, ce dernier s'unit à l'aluminium, pour former un azoture stable tandis que le carbone et l'oxygène s'en vont à l'état d'oxyde de carbone :



« Voilà pour un chimiste qui connaît les propriétés de l'aluminium, la grande chaleur de formation de son oxyde, ses propriétés réductrices si intensives qui en sont la conséquence, une réaction bien imprévue. »

L'ancien procédé de préparation du chlorure d'aluminium fournissait l'exemple d'une réaction ternaire analogue mais avec des conditions thermochimiques fort différentes.

Le docteur SERPEK a établi que la réaction qui marche déjà à 1 500°, mais extrêmement lentement, devient rapide à 1 800°, au point que quelques minutes suffisent pour la transformation en azoture.

La réaction effectuée par un chauffage électrique, le seul pratiquement possible à cette température, consomme 187,6 calories, mais l'oxyde de carbone produit simultanément peut en brûlant régénérer 204,6 cal., donc une quantité plus grande ; mais, bien entendu, ces deux énergies ne sont pas équivalentes, elles sont de qualités différentes : l'énergie électrique, pour un pouvoir calorifique égal, vaut beaucoup plus théoriquement et pratiquement que l'énergie calorifique *dégradée* fournie par la combustion de l'oxyde de carbone. On aperçoit néanmoins tout de suite, dans la récupération de ces calories, une grande diminution de dépense dans la préparation industrielle.

M. MATIGNON, tout en rappelant les conclusions auxquelles l'ont amené ses travaux personnels sur l'exothermicité de l'azoturation de l'aluminium, cite un certain nombre d'expériences montrant cette grande exothermicité.

Pour montrer avec quelle facilité on peut produire la belle réaction du D^r Serpek, on chauffe le mélange d'alumine et de charbon dans un four électrique, constitué essentiellement par un tube en charbon maintenu à ses deux extrémités dans deux fortes masses de même matière servant d'arrivée et de départ du courant ; si l'on remplit le tube avec un mélange d'alumine et de charbon, et qu'on le chauffe vers 1 800°, en envoyant un fort courant électrique pendant que l'azote le parcourt, ce dernier chasse trois fois son volume de gaz oxyde de carbone, lequel forme, après allumage, une longue flamme à l'extrémité du tube. En arrêtant momentanément le courant d'azote, la flamme s'éteint aussitôt ; en le rétablissant, la flamme reparait, d'autant plus étendue que le courant d'azote est plus rapide.

La réaction peut être catalysée par l'hydrogène et par le fer. Le D^r SERPEK a entrepris des recherches qui ont montré que l'hydrogène activait la réaction, que le fer et d'autres métaux jouaient un rôle identique, et qu'enfin, en superposant les deux actions accélératrices, on obtenait un résultat supérieur à la somme des deux effets. On peut ainsi abaisser notablement la température de réaction, et la rendre pratique à 1 500° et même au-dessous. On voit de suite l'importance industrielle du fonctionnement avec catalyseurs.

M. MATIGNON donne ici quelques résultats qui précisent ce point important et fait remarquer de suite que le minerai d'aluminium, la bauxite, étant toujours plus ou moins ferrugineuse, chauffée en présence du charbon, elle fournira par conséquent elle-même le fer nécessaire à la catalyse.

Le grand intérêt que présente le procédé Serpek découle du fait suivant : il permet, à partir de la bauxite, de préparer l'alumine pure, en obtenant comme produit secondaire de l'ammoniaque. C'est ce qu'a compris dès le début M. BADIN, directeur général de la Société des Produits chimiques d'Alais et de la Camargue, qui a voulu faire profiter de ce perfectionnement la métallurgie française de l'aluminium, en introduisant en France, pour le mettre au point, le procédé Serpek. M. Badin s'est souvenu, dans la circonstance, que sa Société était coutumière d'initiative ; c'est elle, en effet, qui a appliqué et applique encore aujourd'hui le procédé Balard pour l'extraction des différents sels des eaux-mères des marais salants ; c'est elle aussi qui avait rendu véritablement industriel le procédé de Deville de préparation de l'aluminium, procédé qui a fonctionné aux usines de Salindres jusqu'à l'apparition de la métallurgie électrique.

La préparation de l'alumine pure en passant par l'azoture d'aluminium, avec synthèse simultanée d'ammoniaque, est appelée, dit l'auteur, à abaisser sensiblement le prix du métal. « En outre, le traitement de l'azoture, par rapport à celui de la bauxite, est considérablement simplifié ».

En effet, dans le procédé Bayer actuel, on attaque la bauxite par une lessive d'aluminate de soude, concentrée aux environs de 40° Baumé, avec un rapport moléculaire de NaOH à Al(OH)³, variant de 5 à 6, et dans un autoclave, à une température de 150°, correspondant à une pression de 6 à 8 kg/cm². Au contraire, en opérant avec l'azoture, on peut attaquer ce dernier à l'ébullition sous faible pression avec une lessive concentrée à 20-21° Baumé. Après précipitation de l'alumine de la liqueur, sous l'influence de petites quantités d'alumine préalablement précipitée, on obtient précisément une liqueur marquant 20 à 21° Baumé, c'est-à-dire la liqueur d'attaque de l'azoture ; il n'est donc pas nécessaire de faire ici, comme avec la bauxite, une concentration du liquide à la sortie des décomposeurs pour amener la solution de 20 à 40° Baumé.

Quant aux impuretés de la bauxite, elles sont réduites au moment de l'azoturation (l'oxyde de fer, par exemple, donne du fer métallique) et forment, après attaque par la lessive alcaline, un résidu lourd, facilement séparable de la liqueur par une simple décantation.

D'après le D^r Serpek, la transformation de la bauxite en alumine coûte 125 fr. 25 par tonne d'alumine pure, celle du nitrure en alumine ne dépasse pas 63 fr. 80.

La production mondiale de l'aluminium, qui est passée de 35 000 tonnes en 1911 à 65 000 tonnes en 1912, est appelée à se développer rapidement. On peut affirmer aujourd'hui que ce « petit métal » deviendra, dans l'avenir, un métal d'une consommation comparable à celle des autres métaux communs, comme le zinc par exemple, de l'ordre de 200 000 tonnes, en tenant compte de la différence des densités.

M. MATIGNON base son affirmation sur les deux raisons suivantes. Tout d'abord, la résistance chimique du métal augmente rapidement quand ses impuretés diminuent ; là, comme dans bon nombre de réactions chimiques, ce sont les impuretés qui facilitent leur mise en marche ; avec l'aluminium, cette particularité est tout à fait accusée. Et tout nouveau progrès réalisé dans la diminution des impuretés aura pour but d'améliorer les qualités chimiques du métal. En second lieu, les fabricants d'aluminium étaient jusqu'ici sans lien commun avec les lamineurs et tréfileurs du

métal ; il en résultait un manque d'entente et d'initiative pour développer et multiplier les applications de l'aluminium. Aujourd'hui, grâce à l'accord qui s'est établi entre les producteurs français d'aluminium et dont le procédé SERPEK fut la cause, la dualité précédente est appelée à disparaître en même temps que la concentration des efforts et leur unité de direction faciliteront singulièrement le développement de ce métal. On peut donc affirmer que les espérances que Sainte-Claire Deville avaient fondées sur l'aluminium sont à la veille de devenir des réalités, et que ce nouveau métal peut être considéré comme « ayant atteint sa majorité ».

D'après la production de 1912, 65 000 tonnes, on peut calculer une obtention simultanée de 132 000 tonnes de sulfate d'ammoniaque ; et le jour où cette production aurait quadruplé, on atteindrait 528 000 tonnes de sulfate.

Mais le procédé Serpek peut fonctionner, non seulement comme producteur d'alumine avec l'ammoniaque comme produit secondaire, mais également comme producteur d'ammoniaque, la même alumine rentrant toujours dans la fabrication.

La décomposition de l'azoture, dans ce dernier cas, est encore simplifiée, car il n'est plus nécessaire d'obtenir de l'alumine pure ; au contraire, il faut conserver à celle-ci ses impuretés catalysantes et par conséquent l'opération devient plus économique. (à suivre).

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

ÉTUDES GLACIOLOGIQUES

La vitesse des glaciers en hiver et l'inanité de la théorie thermique de leur progression. Note de M. J. VALLOT, présentée par le Prince Roland BONAPARTE. Séance du 23 juin 1913.

La vitesse annuelle de progression des glaciers a fait l'objet de nombreuses études ; mais le rapport entre la vitesse d'été et la vitesse d'hiver est totalement inconnu, les expériences qui ont été faites ayant été toutes viciées par des erreurs de technique.

La plupart du temps, on s'est contenté de suivre et de mesurer la marche d'un bloc erratique pendant une longue période ; mais M. Vallot a démontré que les changements de pente rencontrés par le bloc dans son excursion produisent des changements de vitesse correspondants qu'on a pris pour l'influence des saisons.

Le seul procédé légitime consiste à mesurer successivement pendant l'été, et ensuite pendant l'hiver, la vitesse de la même région du glacier, en ayant soin de rétablir les jalons rigoureusement sur la même ligne.

Ce procédé a été employé par Tyndall, il y a cinquante ans ; mais son expérience a été viciée par cette circonstance que les deux mesures ont été faites à plusieurs années d'intervalle, au cours de la décroissance rapide du glacier. Or M. Vallot a démontré que la vitesse varie avec les crues et que chaque diminution de 1 m. dans le niveau de la Mer de Glace amène une diminution de 2 cm. par jour dans la vitesse, de sorte que les expériences de Tyndall ne sont pas comparables entre elles.

M. Vallot a entrepris de nouvelles mesures, pour lesquelles il s'est efforcé d'éviter les causes d'erreurs qui affectaient les expériences de ses devanciers.

En été 1912, il a établi en travers de la Mer de Glace, au Montanvert, une ligne droite formée d'une vingtaine de pierres numérotées, distantes entre elles de 20 m. environ. Ces repères mobiles ont été alignés au théodolite, et leurs distances ont été chaînées. La ligne avait une longueur de 350 m. et occupait la

partie médiane du glacier, partie dont les divers points ont des vitesses peu différentes. L'expérience a duré du 6 août au 7 septembre, soit 32 jours, au bout desquels de nouvelles mesures ont permis de connaître l'espace parcouru par chacun des repères mobiles ainsi disposés.

L'expérience a été reprise au cours de la saison froide qui a suivi immédiatement. Une ligne de piquets en bambous plantés dans la neige a été établie rigoureusement au même point le 29 décembre 1912. La position des repères mobiles a été mesurée le même jour et les mesures ont été reprises le 4 février, 37 jours après. — Le compte rendu contient un tableau donnant la position des repères mobiles au commencement de chaque expérience et la vitesse de chacun d'eux en centimètres par jour.

La moyenne donne 24,6 pour l'été et 24,3 pour l'hiver, en centimètres de vitesse par jour. L'erreur à craindre étant de 1 cm., la concordance est remarquable. Le détail des chiffres montre qu'il ne s'agit pas d'un hasard de moyennes, mais bien de chiffres semblables sur tous les points de la ligne. On peut dire que la vitesse du glacier n'est pas sensiblement différente en été et en hiver.

Depuis trois siècles (Scheuchzer, 1708) le sujet est à l'étude et les glaciologues sont divisés sur la question de savoir si le glacier descend sur la pente uniquement par son poids ou s'il progresse par dégel, avec introduction d'eau suivie de regel dans ses fissures. Les expériences de M. Vallot à la Mer de Glace ont établi divers caractères qui assimilent le glacier à un fleuve coulant dans son lit : le glacier coule parallèlement à ses rives et non en éventail ; la vitesse de chaque point varie en raison de la pente ; la vitesse augmente avec les crues, etc. D'un autre côté, Forel et Hagenbach ont établi que l'existence des fissures capillaires était limitée à l'écorce du glacier et que la masse était imperméable. M. Vallot a signalé le même fait dans le tunnel du sommet du Mont Blanc.

Il a démontré que la partie du glacier couverte de moraines progresse avec la même rapidité que la partie découverte, bien que beaucoup moins échauffée. Il a démontré aussi que les glaciers