

# ÉLECTROCHIMIE

## NOTES BIBLIOGRAPHIQUES SUR L'AZOTURE D'ALUMINIUM

—( Suite )—

WESTON et ELLIS (1908, 28 avril, lecture à la *Faraday Society*, *Chemical News*, t. 97, p. 219-222 et 233-234) ont étudié la « réaction de la poudre d'aluminium sur le carbone », c'est-à-dire les conditions de la formation du carbure d'aluminium, et aussi accessoirement celles de la formation de l'azoture, car dans ces expériences l'air ambiant ou l'air occlus dans le charbon apportait de l'azote qui se fixait. Ce mémoire est intéressant surtout, relativement à l'azoture d'aluminium, en ce qu'il donne la description de bonnes méthodes de dosage pour les mélanges de Al, C, AlAz, Al<sup>4</sup>C<sup>3</sup> et Al<sup>2</sup>O<sup>3</sup>. Ces cinq corps, ou du moins les quatre derniers, sont précisément ceux dont il importe de suivre avec soin les variations, lorsqu'on étudie la fabrication de l'azoture d'aluminium.

SERPEK (1908, 15 juillet, demande de brevet allemand ; brev. français 415 252 du 7 juillet 1909 ; brev. anglais 15 997 du 8 juillet 1909 (1)). Il s'agit de la production d'ammoniaque par décomposition de l'azoture d'aluminium dans une lessive alcaline. Il semble que la nouveauté du procédé ait été contestée, en Allemagne, malgré l'artifice ingénieux consistant à faire intervenir l'aluminate de potasse au lieu de la simple potasse. Car, chose singulière, ces brevets ne considèrent, en fait d'alcali, que la potasse, et ne parlent pas de la soude !

SERPEK (1908, 22 septembre, brevet allemand 231 886, addition au 183 702 ; brevet français 12 482, addition du 6 juillet 1909 au 367 124 ; brevet anglais 15 995 du 8 juillet 1909, addition au 13 579 de 1906) décrit le nouveau mode opératoire qui lui paraît alors le meilleur. Le mélange d'alumine et de charbon est chauffé « à une température à laquelle a lieu la formation du carbure », température qui n'est pas mieux précisée, et « pendant une durée suffisante pour la conversion de 15 à 20 %, par exemple, du mélange en carbure ». Alors seulement « on souffle de l'azote en courant énergétique à travers la masse ». L'explication théorique indiquée est la suivante : le carbure formé réagit sur l'alumine, donne naissance à de l'aluminium libre, lequel se combine à l'azote avec grand dégagement de chaleur. Cette explication semble avoir été inspirée par les vues théoriques de Pring, que nous avons résumées précédemment. Quoiqu'il en soit, ce procédé, avec subdivision très nette en deux phases, chauffage d'abord, insufflation d'azote ensuite, a été abandonné par Serpek, ultérieurement, comme nous le verrons bientôt.

JOUKOF (1908, *Journal Soc. Phys. et Chim. Russe*, t. 40, p. 455-460) étudie jusqu'à 1250° l'absorption de l'azote par onze métaux différents, parmi lesquels l'aluminium. Il trouve que l'azote est absorbé rapidement par l'aluminium à partir de 825°, et qu'il se forme l'azoture AlAz.

SERPEK (1908, 22 septembre, brevet allemand 216 746 ; brev. français 415 216 du 6 juillet 1909 ; brev. anglais

15 996 du 8 juillet 1909) propose d'effectuer le chauffage du mélange alumine et charbon, en présence d'azote, en amenant le mélange « sur du carbure de fer liquide maintenu de préférence en circulation », ce mode de fabrication étant réalisé, notamment, « dans un four électrique à induction ». Ces brevets doivent correspondre, probablement, à des essais qui n'ont pas donné de résultats satisfaisants, car c'est dans une autre voie, plus simple, que les essais de l'inventeur ont été poursuivis ultérieurement. Mais il s'agissait déjà dans ces brevets du chauffage électrique par résistance, le corps résistant étant distinct des matières en traitement.

HENDERSON et GALLETTY (1908, *Journ. Society of Chemical Industry*, tome 27, p. 387 à 389) reprennent l'étude des modifications que subissent les métaux chauffés dans un courant de gaz ammoniac. Onze métaux ont été étudiés à ce point de vue, et l'aluminium est du nombre. La température était de 800° ou 850°. Dans tous les cas, il y a eu formation d'une quantité plus ou moins grande d'azotures.

E. BRONNERT (1909, *Bull. Soc. Industrielle de Mulhouse*, séance du 27 janvier, p. 39 à 47) donne quelques renseignements intéressants sur les propriétés de l'azoture d'aluminium cristallisé, et sur les rendements industriels obtenus dans les essais de Serpek, de 1905 à 1908.

SERPEK (1909, 16 mars, brevet allemand 224 628 ; brevet anglais 7 507 du 29 mars 1909 ; brevet français 411 031 du 1<sup>er</sup> avril 1909) signale que, lorsqu'on chauffe dans des conditions qui ne sont pas précisées, un mélange alumine et charbon, en présence d'azote, en vue de produire l'azoture d'aluminium, on constate une fixation d'azote déjà notable à 1 100°, de 5 % après un quart d'heure à 1 500°, une fixation énergétique vers 1 700°, et « à la température de 1 800° à 1 850°, la réaction s'opère avec violence ». Ce brevet est donc fort intéressant en ce qu'il montre qu'il n'est pas nécessaire d'aller jusqu'aux plus hautes températures de l'arc électrique pour que l'affinité de l'aluminium pour l'oxygène soit vaincue par celles simultanées du charbon pour l'oxygène et de l'aluminium pour l'azote. L'exothermicité très notable de la formation de l'azoture d'aluminium, déjà mesurée par Fichter, faisait d'ailleurs prévoir ce résultat. La limite inférieure des températures auxquelles l'azoture d'aluminium peut être fabriqué industriellement, c'est-à-dire rapidement, dans un four électrique, se trouve donc étudiée dans ce brevet. Mais la limite supérieure reste encore indéterminée.

SERPEK (1909, 10 avril, demande de brevet allemand ; brev. français 404 923 du 9 juillet 1909 ; brev. anglais 17 611 du 29 juillet 1909) propose de fabriquer, non plus seulement de l'azoture d'aluminium impur, mais de l'azoture pur, c'est-à-dire susceptible de donner de l'alumine pure par le traitement ultérieur par l'eau et les alcalis. Par un chauffage à une température de 1 700° à 1 800°, l'alumine brute, c'est-à-dire la bauxite calcinée, est débarrassée par volatilisation de la silice, plus volatile que l'alumine à cette température. D'après les brevets en question, cette séparation de l'alumine et de la silice, par différence de volatilité, se produirait en même temps que la fixation de l'azote sur l'aluminium de l'alumine.

BADISCHE ANILIN & SODA FABRIK (1909, 9 juillet, demande de brevet allemand ; brev. franç. 418 425 du 24 juin 1910). Cette société revendique, d'après le résumé du brevet, « comme produits industriels nouveaux », les « composés azotés

(1) Il y a aussi un brevet SERPEK allemand 206 588, du 15 février 1908, relatif à la réduction de l'alumine ; mais il n'est pas fait mention d'azote ni de combinaisons azotées quelconques dans ce brevet.

de l'aluminium ou le mélange de ces corps avec d'autres azotures » obtenus par le procédé consistant à chauffer dans une atmosphère d'azote « des mélanges d'alumine et de charbon en présence d'oxydes ou de composés oxydiques capables de fournir des azotures s'ils sont traités par l'azote en présence de charbon ». Si on étudie le corps même du brevet, on remarque que les impuretés efficaces sont énumérées très habilement : on parle d'abord du molybdène, du glucinium, du cérium, de l'uranium, puis finalement du titane et du silicium, bref des impuretés ordinaires de l'alumine naturelle, autrement dit de la bauxite. Il y aurait bien des remarques à faire au sujet de ce brevet, mais cela nous entraînerait trop loin. Nous nous bornerons à signaler qu'il est à rapprocher de deux autres brevets analogues, c'est-à-dire relatifs aussi aux impuretés *naturelles* des matières premières industrielles, déposés également par la même société : le 405 712 (français) du 27 juillet 1909, relatif aux impuretés de la quartzite dans la fabrication de l'azoture de silicium, et le 425 099 (français) du 24 novembre 1909, relatif aux impuretés du fer employé comme catalyseur pour la synthèse de l'ammoniaque à partir de ses éléments. Ce dernier brevet, surtout, est bien intéressant, en ce qu'on y indique que « des impuretés extrêmement minimes, parfois par exemple celles qui se trouvent encore dans les préparations ferrugineuses commerciales dites *pures* et *extra-pures*, peuvent suffire pour assurer une efficacité excellente et durable de la masse de contact ».

BADISCHE ANILIN & S. F. (1909, 9 juillet, date de la première de six demandes de brevets allemands, les cinq autres déposées les 6 août, 15 septembre, 28 décembre 1909, 24 janvier et 18 février 1910 ; brevet français 418 059 du 8 juillet 1910). Au lieu de chercher, comme Serpck (brevet français 404 923) à fabriquer de l'azoture pur, c'est-à-dire susceptible de donner sans aucune précaution, par le traitement à l'eau ou à la soude, de l'alumine pure, la Badische a cherché, dans une voie qui semble plus rationnelle, à fabriquer l'alumine pure avec de l'azoture impur, de même qu'on extrait déjà, actuellement, de l'alumine pure de l'alumine impure naturelle, c'est-à-dire de la bauxite. Le procédé consiste à traiter l'azoture brut, c'est-à-dire impur, *par des quantités limitées d'acides ou d'alcalis*, et de telle sorte que les impuretés ne participent pas à la réaction, et soient dès lors faciles à séparer des sels d'alumine ou des aluminates résultant de la décomposition de l'azoture d'aluminium par les acides ou les alcalis employés. De nombreux exemples d'application de ce procédé sont donnés avec détails intéressants.

SOFIANOPOULOS (1909, *Bull. Soc. Chimique de France*, 4<sup>e</sup> série, tome 5, p. 614 à 616) reprend la méthode essayée par White et Kirschbraun trois ans auparavant, et réussit à fabriquer de l'azoture d'aluminium très pur (à environ 34 % d'azote) par l'action du gaz ammoniac sur de la poudre d'aluminium chauffée « à la température du rouge », ou encore « à une température qui peut être évaluée comme inférieure à la température de fusion de l'aluminium », pendant au moins deux heures. White et Kirschbraun, après trois heures à 700°, n'avaient obtenu qu'un produit à 1,8 p. 100 d'azote, quoiqu'ils eussent opéré eux aussi sur de la poudre d'aluminium.

ELLIS (1909, *Chemical News*, t. 99, p. 4) obtient les azotures de baryum, strontium, calcium et aluminium, en enflammant, en présence de l'air, un mélange des oxydes de ces métaux et de poudre de magnésium.

SERPEK (1910, 26 janvier, brevet français 411 947). Ce brevet correspond encore, vraisemblablement, à une idée qui n'a pas été poursuivie. Puisque la formation de l'azoture d'aluminium commence à une température bien inférieure à celle de l'arc électrique, ne pourrait-on pas « fondre de la bauxite dans un four à récupération approprié, chauffer à l'état incandescent le plus clair du charbon par une soufflerie d'air ou d'oxygène et introduire ensuite le charbon, en présence d'azote, dans de la bauxite fondue », et « souffler l'azote par des tuyères dans la masse en fusion, comme cela est le cas pour l'air dans le procédé Bessemer » ? Tel est le procédé, évidemment peu pratique, indiqué dans ce brevet.

KOHN-ABREST (1910, 11 avril, C. R., tome 150, p. 918 à 921) expose les principaux résultats des études poursuivies par lui pendant les années précédentes, sur les modifications que subit la poudre d'aluminium chauffée à l'air entre 500 et 1 125°. Cette fois, il ne néglige plus, comme dans sa note de 1905, la fixation de l'azote. Tout au contraire, les circonstances fort curieuses de la fixation simultanée de l'azote et de l'oxygène sont très minutieusement étudiées dans une série d'expériences méthodiques, dont les détails complets n'ont été donnés par l'auteur que dans son mémoire de 1911, dont nous parlerons tout à l'heure. Toutefois, cette communication de 1910 était suffisamment explicite pour montrer combien les recherches qu'elle résumait étaient nouvelles et intéressantes.

DAVID WOLK (1910, 14 avril, thèse présentée à la Faculté des Sciences de Nancy, 58 pages, sous le titre : *Contribution à l'étude de l'azoture d'aluminium et de l'azoture de baryum*) étudie tout spécialement la préparation de l'azoture d'aluminium par le chauffage de la poudre d'aluminium dans un courant de gaz ammoniac sec. L'azoture ne se formerait, dans ces conditions, que tout autant que la chaleur est suffisante (au moins 800°) pour décomposer l'ammoniac, et cela sans que l'affinité de l'azote pour l'aluminium semble diminuer la température à laquelle l'ammoniac commence à se décomposer hors de la présence de poudre d'aluminium. Le baryum se comporterait tout autrement (1).

SERPEK (1910, 13 mai, brevet français 426 868) constate que la présence du soufre, soit seul, soit à l'état combiné (sulfures, sulfates, etc.), augmente sensiblement la rapidité de la fixation de l'azote, lorsqu'on fait passer à haute température un courant d'azote sur un mélange d'alumine et de charbon.

SERPEK (1910, 18 mai, brevet français 427 066 ; brevet anglais 12 601 du 24 mai 1910), après avoir indiqué pourquoi les fours à arc ne conviennent guère à la fabrication des azotures, décrit un four électrique permettant de chauffer et brasser, simultanément, les matières en traitement. C'est un four à résistances, et tournant, qui consiste en un cylindre creux, légèrement incliné, en matériaux réfractaires et isolants maintenus par une armature métallique, à l'intérieur duquel le mélange d'alumine et de charbon chemine par le fait même du mouvement de rotation du four, et passe dès lors en contact avec les résistances chauffantes qui garnissent la paroi interne du cylindre et qui sont disposées hélicoïdalement, tandis qu'un courant d'azote traverse en sens inverse le four. Ce nouveau four tournant rappelle, à certains égards, celui de Igeswsky (*Revue de métallurgie*, janvier 1908, pages 38 à 47).

(1) Cette thèse a été reproduite à peu près complètement dans une communication à la Société Chimique de France (séance du 24 juin 1910).

SERPEK (1910, 19 mai, brevet français 427 109 ; brevet anglais 13 086 du 30 mai 1910) décrit schématiquement une combinaison d'appareils tels que trémies, tubes inclinés tournants, etc., ayant pour but de réaliser d'une façon continue la calcination de la bauxite pulvérisée, son mélange avec du charbon, et sa transformation en azoture dans un four électrique tournant, tel que celui breveté antérieurement, le tout avec récupération méthodique de chaleur.

SERPEK (1910, 19 mai, brevet français 427 110 ; brevet anglais 13 088 du 30 mai 1910) cherche à fabriquer l'alumine pure avec l'azoture d'aluminium brut ordinaire. La méthode proposée consiste à substituer cet azoture à la bauxite calcinée, dans le procédé Bayer, ce procédé étant, d'autre part, modifié quelque peu dans les détails secondaires, tels que le degré de concentration de la lessive alcaline, la température et la pression dans l'autoclave, etc.

SERPEK (1910, 1<sup>er</sup> juin, brevet français 13 958, addition au 427 066 ; brevet anglais 16 522 du 11 juillet 1910) figure une seconde disposition des résistances de son four tournant. La résistance chauffante est un tube en charbon aggloméré formant la paroi interne de la cavité cylindrique dans laquelle chemine, dans un sens, le mélange d'alumine et de charbon, et, dans l'autre, l'azote. En outre, un dispositif des entrées et sorties du courant électrique est figuré. Ces organes d'entrée et de sortie, qui doivent conduire de forts ampérages dès qu'on aborde la grosse production industrielle, sont, en effet, pour les fours tournants à résistance, une très grande difficulté. Ce sont, en somme, des « collecteurs », analogues sous bien des rapports aux collecteurs des dynamos, mais tournant plusieurs centaines de fois moins vite.

SERPEK (1910, 6 juin, *C. R.*, tome 150, p. 1520 et 1521), dans une note très courte, critique, sans préciser, la note du 11 avril précédent de Kohn-Abrest, dont il semble n'avoir pas soupçonné l'intérêt. Il déclare, incidemment, que le travail de Fichter en 1907 a été fait sur sa demande pour « compléter mes connaissances jusqu'ici rudimentaires sur la préparation et les propriétés de l'azoture d'aluminium ».

KOHN-ABREST (1910, 27 juin, *C. R.*, tome 150, p. 1757) répond en quelques mots à la critique précédente de Serpek, mais ne paraît pas avoir compris que ce dernier s'était placé à un point de vue industriel tout à fait différent du point de vue scientifique dans lequel ses propres recherches, à lui Kohn-Abrest, avaient été faites.

SERPEK (1910, 11 août, brevet français 430 553 ; brevet anglais 29 299 du 16 décembre 1910) figure un troisième dispositif de four tournant à résistance. Les résistances chauffantes sont des barres placées diamétralement en travers de la cavité cylindrique interne où chemine le mélange d'alumine et de charbon. Cette disposition, déjà plus pratique que les deux précédentes (18 mai et 1<sup>er</sup> juin) permet le changement assez facile des barres chauffantes usées, sans démolition complète du four, ainsi que cela était nécessaire pour les deux précédentes. Et en outre la possibilité de connecter les barres chauffantes en série permet d'éviter les gros ampérages, toujours difficiles à manier dans tous les systèmes tournants.

SERPEK (1910, 23 août, brevet français 430 822) décrit un nouveau four fixe, à cuve, dans lequel des agglomérés de bauxite et charbon descendent d'une façon continue, tandis que de l'azote chauffé à haute température est amené sous

pression au bas, et chemine en sens inverse des agglomérés, qui se transforment dès lors en azotures. L'azote est chauffé par son passage dans un réchauffeur électrique à arc ou à résistance de coke, accolé au four ou à peu de distance de lui. De même que dans les premiers brevets de Serpek, on indique la possibilité d'employer de l'air : mais alors un excès de charbon dans les agglomérés sert à transformer l'oxygène de l'air en oxyde de carbone.

SERPEK (1910, 31 août, brevet français 14 338, 2<sup>e</sup> addition au 427 066) décrit et figure de nouvelles dispositions pour les résistances chauffantes du four tournant de son brevet du 18 mai 1910. Ces résistances sont constituées par des barreaux de faible longueur disposés dans le four à une certaine distance du revêtement intérieur, et supportés par des vousoirs saillants, dans lesquels les extrémités de deux barreaux voisins sont amenées en contact, de façon à former un circuit qui est parcouru par le courant. Un ou plusieurs circuits polygonaux sont montés de la sorte, en série ou en parallèle.

SERPEK (1910, 21 décembre, brevet anglais 29 715 de 1910, addition au 29 299 de 1910 ; brevet français pas encore publié) décrit et figure quelques dispositifs de détail nouveaux pour les résistances diamétrales internes de son four tournant.

KOHN-ABREST (1911, *Recherches sur l'aluminium*, 91 pages, chez Béranger, éditeur, 15, rue des Sts-Pères, à Paris). Dans ce mémoire très étendu et très important sur différentes propriétés de l'aluminium, l'auteur donne en détail les résultats des expériences qu'il avait résumées dans sa communication de 1910 à l'Académie des Sciences. Le point le plus singulier de ces expériences (nous ne considérons ici que celles qui sont relatives à l'azoture d'aluminium) est le suivant : tandis que, au-dessous de 610°, il n'y a aucune fixation d'azote, et seulement une légère fixation d'oxygène, lorsqu'on chauffe dans un courant d'air de la poudre d'aluminium, au-dessus de 610°, et à mesure que la température croît, l'azote montre pour l'aluminium une affinité croissante, et croissant plus rapidement que celle de l'oxygène, en sorte que, par exemple, après 10 minutes de chauffage dans l'air à 1125°, la poudre d'aluminium fixe 22,9 % d'azote, et seulement 11,8 % d'oxygène (par rapport au poids de la poudre d'aluminium matière première).

L'auteur en conclut que, dans ces conditions, « l'affinité de l'aluminium pour l'azote est plus grande que celle pour l'oxygène ». Il faudrait dire simplement que, dans ces conditions, la fixation de l'azote est plus grande que celle de l'oxygène, car, d'autre part, l'oxygène déplace l'azote de l'azoture formé lorsque le chauffage est prolongé : après une heure à 1100°, la teneur en azote, qui était 22,5 % après dix minutes, est réduite à 12,9 %, et après six heures à 10,0 %, en sorte que l'affinité de l'aluminium semble bien être inférieure, vers 1100°, à celle pour l'oxygène. D'ailleurs, l'air renfermant 4 fois plus d'azote que d'oxygène (volumes), on peut imaginer que, si les affinités pour l'azote et pour l'oxygène étaient rigoureusement égales, il devrait se fixer 4 volumes d'azote pour 1 volume d'oxygène, soit en poids :  $4 \times 14 = 56$  d'azote pour 16 d'oxygène. Puisque, dans les expériences de Kohn-Abrest, il s'est fixé, à 1125°, à peu près deux fois plus d'azote que d'oxygène, soit environ 32 d'azote pour 16 d'oxygène, c'est bien que l'affinité pour l'azote est notablement moindre, à 1125°, que celle pour l'oxygène. Après 6 heures à 1100°, il n'y avait plus que 10 % d'azote fixé : mais combien y avait-il alors d'oxygène fixé ? Ce

serait intéressant à connaître, et l'auteur ne nous le dit pas.

Il serait bien désirable que ces expériences soient reprises et poussées jusqu'à des températures supérieures à 1100°, ce qui demanderait, il est vrai, des dispositifs de four électrique assez différents de ceux qui ont pu suffire jusqu'à 1100°. Il importerait beaucoup, en effet, pour la future industrie des nitrures, de connaître exactement les circonstances de fixation ou de déplacement relatif de l'azote et de l'oxygène, à toutes les températures pratiquement réalisables dans l'industrie électrothermique, aussi bien que Kohn-Abrest les a fait connaître pour les températures de 500° à 1100°.

BOURGEREL (1911, *Azoture d'aluminium, alumine, acide nitrique*, in : *Moniteur scientifique Quesneville*, 837<sup>e</sup> livraison, septembre, p. 561 à 575). Dans cet article, très documenté, l'auteur cherche à établir quels seraient les éléments du prix de revient industriel de l'azote fixé sous forme d'azoture d'aluminium, en partant de la bauxite, et transformé successivement en ammoniacque, puis en nitrate de chaux. Mais les autres modes d'utilisation de l'azoture, emploi agricole direct, ou transformation en sulfate d'ammoniacque, ne sont qu'indiqués incidemment, et ne sont pas discutés avec détails.

✱

Arrivés à ce point de notre étude, devons-nous présenter, comme résumé et conclusion, quelques appréciations sur l'avenir de la nouvelle industrie, en ce moment naissante, de l'azoture d'aluminium ? Nous croyons que ce serait prématuré. En effet, si de nombreux brevets, comme nous venons de le voir, ont été déjà publiés relativement à cette industrie, aucun ne correspond encore à une fabrication industrielle certaine. Plusieurs nouveaux brevets ont été demandés récemment qui ne sont pas encore publiés à ce jour (1<sup>er</sup> décembre 1911) : c'est ainsi que, pour la France, les titres, mais les titres seulement de 14 brevets ou certificats d'addition, 2 de 1910 et 12 de 1911, relatifs à l'azoture d'aluminium, peuvent être relevés à l'Office National de la propriété industrielle. Et comme plusieurs techniciens poursuivent en ce moment des recherches expérimentales sur cette même question dans différentes usines électrochimiques des Alpes françaises, sans parler des recherches analogues qui, bien probablement, sont poursuivies non moins activement dans les pays voisins, il est probable que beaucoup d'autres brevets seront demandés encore, qui révéleront peu à peu quelques-unes des conditions principales de la nouvelle industrie. Plusieurs autres resteront évidemment secrètes... En définitive, il faut attendre quelques années pour que le grand public soit exactement renseigné par l'examen des bilans des sociétés qui auront entrepris la nouvelle fabrication.

Nous ferons seulement remarquer, en ce qui concerne le principal débouché des produits azotés, c'est-à-dire la vente comme engrais azotés à l'agriculture, débouché pour lequel il s'agit d'obtenir la fixation de l'azote le plus économiquement possible, que la fixation de l'azote paraît déjà bien plus grande, pour une même dépense d'énergie électrique, dans les fabrications de la cyanamide et des azotures, que dans la fabrication, par chauffage électrique de l'air, des oxydes d'azote. La cyanamide a l'inconvénient d'être caustique et, dès lors, difficile à faire accepter par les consommateurs ; on ne peut l'associer aux superphosphates qu'elle fait rétrograder ; en outre, elle exige encore, par suite de la fabrication intermédiaire du carbure de calcium, plusieurs

manipulations successives qui en augmentent le prix de revient. Au contraire, les azotures d'aluminium et de silicium ne sont pas caustiques, et pourront bien probablement être obtenus d'un seul jet.

Si l'impossibilité de trouver rapidement dans l'agriculture de gros débouchés pour de nouveaux produits oblige à viser la fabrication d'engrais déjà bien connus, tels que le sulfate d'ammoniacque, les nitrures se prêteront facilement à cette transformation, qui ne sera nécessaire, peut-être, que pendant quelques années, jusqu'à ce que l'emploi direct des nitrures ait été essayé et vulgarisé dans tous les principaux centres de consommation d'engrais azotés. Peut-être aussi cette transformation en sulfate d'ammoniacque sera-t-elle imposée, et dans ce cas le sera indéfiniment, par une trop grande lenteur de la transformation spontanée ou microbienne des nitrures en ammoniacque ou autres composés azotés solubles, dans le sol. Mais, dans un cas comme dans l'autre, on peut dès à présent entrevoir comment cette fabrication de sels ammoniacaux solubles, à partir des nitrures, sera réalisable très simplement.

Les azotures d'aluminium ou de silicium, ou analogues, seront-ils donc, directement ou indirectement, les engrais azotés de l'avenir ? L'avenir nous le dira, et peut-être un avenir très prochain.

Georges COUTAGNE,

*Ancien élève de l'École Polytechnique  
Docteur ès sciences*

*Pour terminer l'étude de M. COUTAGNE, nous croyons intéressant de mettre sous les yeux de nos lecteurs quelques reproductions des dessins annexés à certains des brevets qui ont été cités par notre collaborateur.*

*Les planches ci-après reproduisent ces dessins.*

## TRACTION ÉLECTRIQUE

### L'ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER

—(Suite et fin)—

#### 2. — Trains à unités multiples

Les locomotives dont la description précède donnent d'excellents résultats pour la remorque des trains ordinaires. Sur les lignes à trafic très intense, telles que les lignes suburbaines, la traction électrique permet de faire mieux encore et de relever considérablement la vitesse moyenne de marche. Là, ce n'est presque plus de la vitesse maxima que dépend la vitesse moyenne entre deux arrêts rapprochés, mais surtout de la rapidité des mises en vitesse. Or, les démarrages rapides exigent un effort de traction considérable et, comme la valeur de ce dernier est limitée par l'adhérence si elle ne l'est pas par la puissance des moteurs, il faut qu'une notable fraction du poids total du train soit utilisée comme poids adhérent. L'obtention de vitesses moyennes élevées exigerait donc l'emploi de locomotives très lourdes par rapport au poids des convois, ce qui serait irréalisable au point de vue économique.

La traction électrique a résolu ce problème d'une façon parfaite en permettant d'utiliser comme poids adhérent le poids du convoi lui-même, en totalité ou en partie : pour cela, il a suffi de placer les moteurs électriques sur les essieux des voitures. La puissance totale du train peut avoir une valeur aussi élevée qu'on le juge utile : cette puissance, ainsi que l'effort de traction qu'on se propose d'obtenir, dé-