

## L'évolution de l'industrie de l'alumine

PAR AIMÉ RAMUZ, Dr. Ingénieur-Chimiste, Lausanne

Aucune industrie métallurgique n'a pris au cours de ce début du vingtième siècle, toutes proportions gardées, un développement aussi considérable que celui dont ont bénéficié les métaux légers Aluminium et Magnésium, tout spécialement l'Aluminium.

Les statistiques publiées et présentant le plus de garanties possible d'exactitude nous fournissent les renseignements suivants :

Alors que la production d'Aluminium des différentes usines en exploitation pendant l'année 1939

atteignait un total de	665 000 tonnes,
pour passer en 1940 à	809 000 tonnes,
et en 1941 à	1 092 000 tonnes,
celle de 1944 devait	
approcher de	2 000 000 de tonnes.

Une crise était consécutive à la fin des hostilités; il fallait écouler les stocks constitués par les Etats-Unis et le Canada. Certaines usines, placées dans des conditions économiques de production acceptables en temps de guerre, où le prix de revient ne joue qu'un rôle secondaire, furent désaffectées.

Mais dès l'année 1946, une certaine pénurie d'Aluminium se faisait sentir, aussi bien aux Etats-Unis qu'en Angleterre, ce qui fait que de nouvelles installations de production étaient mises en construction, que ce soit en Grande-Bretagne ou aux Indes. De telle manière que la capacité de production actuelle des usines d'Aluminium du monde est estimée à 2 000 000 tonnes par an, chiffre qui sera encore augmenté à partir de 1948.

Il peut paraître surprenant que ce soient les pays du Nord Amérique qui aient pris brusquement la tête de la production de l'Aluminium. Ils étaient toutefois les mieux placés pour le faire, spécialement en ce qui concerne les ressources massives d'énergie hydro-électrique nécessaires pour transformer en métal les quantités d'alumine calcinée anhydre, d'un tonnage double de celui de l'Aluminium produit. Puis aussi le potentiel industriel des U.S.A. et du Canada était seul capable de faire sortir de terre des usines comportant un matériel

chimique (pour la production de l'alumine) et électrique (pour celle du métal) d'une telle importance.

Car au point de vue minerais, il est nécessaire de considérer que les pays de l'Europe, en bordure de la Méditerranée, sont certainement mieux placés que les Etats-Unis pour ce qui est de la production d'un minerai à haute teneur en alumine, à proximité immédiate des voies ferrées et des usines de traitement chimique des bauxites. Facteur extrêmement important dès qu'il s'agit de minerais, surtout quand il faut, en minerai, quatre fois le poids du métal produit.

Dans ces conditions, il est absolument certain que des pays comme la France, la Yougoslavie, l'Italie, devraient être en état de prendre une place bien plus importante comme producteurs d'Aluminium, pays auxquels il y a lieu d'ajouter la Suisse: bien que ce pays ne possède pas de gisements de bauxites ou de minerais riches en alumine, il dispose d'énergie électrique à des conditions de prix intéressantes et ses possibilités peuvent être encore accrues.

Toutefois, ce développement ne peut être réalisé que pour autant que ces pays arrivent à réduire leur prix de revient de l'Aluminium, qui est actuellement plus élevé que celui des Etats-Unis. Non point que celui-ci atteigne les chiffres mis en avant par certains offices intéressés pour jeter la confusion dans l'industrie européenne, chiffres qui ne comportent souvent, ni le prix du courant, ni celui des transports, qui étaient pris en charge par le Gouvernement américain pendant les hostilités.

Et, pour réduire ces prix de revient, il est nécessaire, avant toutes choses, que les usines de production d'alumine puissent produire, dans une même enceinte, des quantités beaucoup plus importantes d'alumine que celles actuellement en cause. Puis aussi que la bauxite soit mise sur le quai des usines à des prix de revient sensiblement inférieurs.

C'est chose possible, à la condition de pouvoir, à la mine, modifier les méthodes d'extraction (qui doivent devenir entièrement mécaniques), puis aussi en attaquant des gisements sans se préoccuper de la

composition des bauxites qu'ils comportent et sans soumettre celles-ci à un «*scheidlage*», à des vérifications en cours d'extraction, à des rebutages et à l'abandon, dans les couches, de parties trop riches en silice.

En effet, chacun sait que la presque totalité des usines de production d'alumine, actuellement en exploitation, fabriquent l'alumine calcinée anhydre (intermédiaire indispensable pour la production de l'Aluminium) par l'application des procédés BAYER ou BAYER amélioré. Ces procédés exigent une bauxite pauvre en silice. Il y a quelques années encore, les usines de production d'alumine exigeaient une bauxite à 3 % de silice (maximum admis 3,5 %). Actuellement, elles ont porté la limite de rebutage à 4 ou 4,5 %.

A l'inverse de ces nécessités industrielles imposées par les procédés mis en œuvre dès l'origine de l'industrie de l'alumine calcinée anhydre, la nature a constitué une bonne partie des gisements méditerranéens et de la Hongrie en bauxites riches en silice, c'est-à-dire ayant une teneur en  $\text{SiO}_2$  supérieure à ces 4,5 %. Par ailleurs, il est très fréquent que des gisements de bauxites ferrugineuses non siliceuses comportent des parties importantes en bauxites riches en silice. Tout ceci limite les tonnages de minerais en réserve pour la production intensive de l'alumine.

Il était donc nécessaire de rechercher et d'envisager des procédés qui permettent de traiter, avec des prix de revient aussi avantageux que ceux obtenus avec les procédés BAYER, toutes les bauxites, quelle que soit leur teneur en silice.

Ces procédés existent actuellement, et nous avons l'occasion de vérifier leur fonctionnement, la qualité de l'alumine obtenue, tout en comblant certaines lacunes, que nous avons constatées lorsque nous nous mettions à l'ouvrage.

La presque totalité de ces procédés nouveaux permettant le traitement, aussi bien des bauxites siliceuses que non siliceuses, est basée sur la production préliminaire d'une combinaison alcalino-terreuse, laquelle est ensuite décomposée pour permettre la séparation de l'alumine, avec ou sans récupération du fer.

Or, lorsque nous avons voulu procéder à la vérification scientifique des procédés connus à ce jour, nous avons dû constater qu'il n'existait pratiquement pas de méthode d'analyse rigoureuse des aluminates alcalino-terreux.

Ce problème est assez complexe, surtout lorsqu'il s'agit d'aluminates préparés par réaction à l'état solide, puisqu'il exige la séparation (en vue du dosage) de l'alumine et du métal alcalino-terreux non combinés, d'avec ces deux éléments combinés entre eux à l'état d'aluminate.

La méthode générale consiste à séparer l'alcalino-terreux non combiné par dissolution au moyen d'un réactif approprié, à doser l'alumine libre

sous forme de résidu insoluble dans les acides (on sait, en effet, que l'alumine fortement calcinée devient chimiquement inerte et ne se dissout plus dans les acides même concentrés) et à doser finalement, en solution, l'alumine et l'alcalino-terreux combinés, suivant une méthode classique.

Nos recherches ont tout spécialement porté sur la mise au point d'une méthode d'analyse des aluminates de calcium. Nous la résumerons ci-après :

Le produit à analyser (0,1 à 0,2 g.) convenablement broyé et homogénéisé (ceci le plus rapidement possible pour éviter que la chaux vive que peut contenir la masse n'absorbe le gaz carbonique de l'air) est traité 15 minutes à l'ébullition par une liqueur alcaline (contenant par litre 125 g. de carbonate de sodium et 4 g. de soude caustique) et 100 cm<sup>3</sup> d'eau. On filtre, lave rapidement le résidu à l'eau distillée bouillante. Ce résidu est repris et attaqué 5 minutes à l'ébullition par 50 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique 1 : 2. On filtre. Le résidu sur le filtre est constitué par de l'alumine exempte de chaux. Il pourrait sembler, à première vue, plus rapide de traiter directement le produit par l'acide chlorhydrique. Mais il est difficile d'éliminer toute la chaux par simple traitement acide et nous avons constaté que le résidu d'alumine obtenu dans ces conditions contient encore jusqu'à 1 % de chaux. Après avoir séparé l'alumine non combinée, on réunit les filtrats et les eaux de lavage, on évapore si nécessaire, on acidifie pour détruire l'excès de carbonate de sodium et on précipite l'alumine par la 8-oxyquinoléine en solution ammoniacale : on obtient ainsi l'alumine combinée. Dans le filtrat on dose la chaux totale par précipitation à l'oxalate d'ammonium. D'autre part, sur une prise d'essai différente, on dose la chaux non combinée par la méthode au phénol de KONARZEWSKI et LUCASZEWIEZ<sup>1</sup>. On obtient la chaux combinée par différence entre la chaux totale et la chaux libre.

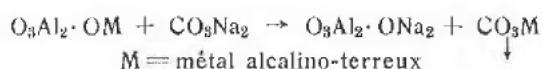
Cette méthode nous a donné des résultats très satisfaisants notamment dans l'étude de la formation d'aluminate de calcium et a permis de préciser les conditions de formation de ces aluminates tant à partir d'alumine pure qu'à partir de bauxite et, soit de chaux vive, soit de carbonate de calcium, par réaction à l'état solide.

C'est l'aluminate mono-calciqque qui se forme le premier à une température d'environ 955° C. C'est le seul aluminate qui se forme à cette température et ceci, quelles que soient les quantités de chaux introduites dans le mélange initial. La vitesse de réaction est, du reste, assez faible à cette température. Elle augmente avec l'élévation de celle-ci. Il est d'autre part intéressant de noter que la réaction débute à une température plus basse et qu'elle est beaucoup plus rapide, si l'on part d'alumine amorphe ou de

<sup>1</sup> KONARZEWSKI et LUCASZEWIEZ, *Zement* 21, 533 (1932).

gel d'alumine, au lieu de partir d'hydrate d'alumine cristallisé  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

De nombreux procédés d'obtention de l'alumine sont basés sur ces réactions à l'état solide. Le principe de ces procédés est le suivant : On chauffe à une température déterminée, inférieure à la température de fusion de chacun des composants ainsi que du composé formé, un mélange de bauxite et de chaux ou de bauxite et de carbonate de calcium, dans des proportions déterminées. On transforme ensuite l'aluminate alcalino-terreux formé en aluminate de sodium, par une double décomposition avec du carbonate de sodium suivant l'équation :



Il suffira ensuite de précipiter l'alumine de la solution d'aluminate de sodium par une méthode classique.

Parmi les brevets utilisant ce processus, nous citerons un brevet de la Société des Usines électriques et chimiques de la *Lonza* à Waldshut (Baden)<sup>2</sup> basé sur la cuisson au four à moufle d'un mélange de bauxite et de carbonate de calcium, à une température d'environ 1200° et en milieu oxydant. La masse cuite est lessivée par une solution de carbonate de sodium. La solution d'aluminate de sodium obtenue est ensuite débarrassée de la silice et de l'excès de carbonate de sodium qu'elle contient par une addition de chaux vive.

La Société *Dyckerhoff Portland-Zement Werke AG.* a déposé un brevet<sup>3</sup> suivant lequel la cuisson de bauxite et de chaux est faite à 1400—1500° C. La particularité du procédé réside dans le mode de lessivage de la masse cuite, qui est effectué par une liqueur de soude, en présence de quantités importantes de matières déjà lessivées, ce qui permet l'obtention d'aluminate de sodium exempt de silice.

Nous citerons enfin un brevet français ayant pour objet :

« Procédé et dispositifs pour le traitement des bauxites, en particulier des bauxites siliceuses et ferrugineuses. »<sup>4</sup>

Ce procédé est basé sur la formation d'aluminate mono-calciqne : il consiste à chauffer au four rotatif, à une température d'environ 1000° C un mélange de bauxite et chaux ou bauxite et carbonate de calcium correspondant aux proportions 0,5—0,6 de CaO pour 1 de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Lors de ce traitement, l'oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  contenu dans la bauxite est transformé en oxyde magnétique  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . A la sortie du four, la masse cuite est précipitée dans de l'eau froide ou dans une solution appropriée pour éviter la suroxydation

de l'oxyde magnétique formé. Cet oxyde sera ensuite séparé au moyen d'un séparateur magnétique, par exemple. L'aluminate de calcium est transformé en aluminate de sodium par action de carbonate de sodium en solution et cet aluminate de sodium est, à son tour, transformé en alumine par les procédés habituels.

Ce procédé présente l'avantage de permettre la récupération du fer contenu dans la bauxite. (Les bauxites ferrugineuses contiennent en moyenne entre 20 et 25 % d'oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .) D'autre part, étant donné la température de réaction relativement basse (environ 1000° C), il permet l'utilisation de toutes les bauxites car, à cette température moyenne, l'aluminate mono-calciqne se forme seul, à l'exclusion de silicates ou almino-silicates de calcium dont la température de formation par réaction à l'état solide est nettement plus élevée.

D'autre part, à partir de l'année 1942, les Américains, devant les difficultés presque insurmontables des importations de minerais étrangers, ont cherché et appliqué des procédés nouveaux pour traiter les minerais indigènes, riches en silice. Certains de ces procédés ont dû être abandonnés à la fin de la guerre, en raison du prix de revient beaucoup trop élevé qu'ils permettaient d'obtenir.

Nous citerons rapidement, parmi ces procédés, le procédé de traitement des argiles par l'acide sulfurique<sup>5</sup>, un procédé combiné de traitement des bauxites siliceuses<sup>6</sup>, qui consiste à traiter d'abord la bauxite suivant le processus BAYER, puis à reprendre les boues rouges résiduelles pour les calciner à une température de 800—900° C environ avec du carbonate de sodium et du calcaire. La masse clinkérisée est lessivée par l'eau : l'aluminate de sodium formé se dissout.

Citons enfin un procédé de préparation à partir de l'alun de potassium<sup>7</sup>. On lessive le minerai broyé et calciné avec une solution d'acide sulfurique et de sulfate de potassium. La solution après filtration, est soumise à la cristallisation et laisse déposer des cristaux d'alun à 24  $\text{H}_2\text{O}$  ; ces cristaux sont déshydratés puis calcinés au four rotatif. Le produit obtenu est finalement lessivé pour dissoudre  $\text{SO}_4\text{K}_2$  et séparer  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Signalons pour terminer, que, depuis une trentaine d'années, on a publié, dans tous les pays, des centaines de brevets relatifs à l'obtention de l'alumine, et ceci, par les voies les plus diverses. Nous nous sommes borné dans cet exposé, à citer quelques brevets qui nous ont paru particulièrement intéressants,

<sup>2</sup> WALTHALL, MILLER, STRIPLIN, Trans. Amer. Inst. Chem. Eng. 41, 55 (1945).

<sup>3</sup> GOULD, Ind. Eng. Chem. (Ind. Ed.) 37, 797 (1945).

<sup>4</sup> BAROCH, HACKWOOD et KNICKERBOCKER, Bur. Min. Rep. Invest. 3845 (1946).

<sup>5</sup> DRP 638 879, 24. II. 1936.

<sup>6</sup> B.F. 871 474, 10. IV. 1941, 15. I. 1942.

<sup>7</sup> B.F. 909 556, 2. III. 1945, 2. VI. 1946.

du fait même qu'ils montrent que l'industrie de l'alumine cherche et cherchera de plus en plus à s'orienter vers des procédés permettant l'utilisation de toutes les bauxites siliceuses ou non siliceuses, sans distinction. Cette évolution de l'industrie de l'alumine permettra, d'autre part, une extraction du minerai

beaucoup plus rationnelle et entièrement mécanique. Il semble, dès maintenant, que cette évolution ne pourra qu'abaisser le prix de revient de l'alumine, donc de l'Aluminium, métal qui est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans l'économie mondiale de demain.