

SC9 . Production d'un hydroxyde à partir d'un minéral, une étape dans l'élaboration d'un métal: de la bauxite à l'aluminium

Abondance de l'élément aluminium dans l'écorce terrestre:

C'est l'élément le plus abondant (8 % en masse) après l'oxygène (47 %) et le silicium (28 %) dans la croûte terrestre. Le fer, qui arrive en quatrième position, ne représente que 5 %.

Extraction industrielle de l'alumine à partir de la bauxite, procédé Bayer:

L'industrie utilise un procédé inventé en 1887 par Bayer. La bauxite est le minéral le plus utilisé pour obtenir de l'alumine ; son nom vient du village des « Baux-de-Provence » où le français Pierre Berthier découvrit ce minéral en 1821. La bauxite contient l'élément aluminium sous forme d'oxyde hydraté $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ (n étant égal à 1, ou 3), également de la silice (SiO_2), de l'oxyde de titane (TiO_2) et de l'oxyde de fer(III), Fe_2O_3 .

Transformations physiques de la bauxite pour augmenter la surface de contact en vue du traitement par la solution d'hydroxyde de sodium.	Bauxite rouge Pourcentage en masse pour une bauxite de l'Hérault : <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td>Al_2O_3 hydraté (composé utile)</td> <td style="text-align: right;">54</td> </tr> <tr> <td>Fe_2O_3</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>SiO_2 (composé gênant*)</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>TiO_2</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td>H_2O</td> <td style="text-align: right;">19</td> </tr> </table>	Al_2O_3 hydraté (composé utile)	54	Fe_2O_3	20	SiO_2 (composé gênant*)	4	TiO_2	3	H_2O	19
	Al_2O_3 hydraté (composé utile)	54									
	Fe_2O_3	20									
SiO_2 (composé gênant*)	4										
TiO_2	3										
H_2O	19										
Concassage											
Broyage Taille des grains inférieure à 0,3 mm.											
Transformation chimique de l'oxyde d'aluminium $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ insoluble en aluminat de sodium soluble ($\text{Na}^+[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^-$), par action d'une solution d'hydroxyde de sodium.	Autoclave à 250 °C et 40 bars Attaque de la bauxite par une solution d'hydroxyde de sodium concentrée.										
	Refroidissement à 100 °C. Décantation, filtration de la suspension. Solution d'aluminat contenant des solides non dissous, (boues rouges composés essentiellement de Fe_2O_3 , TiO_2 et alumino-silicate insoluble).										
Hydrolyse des ions aluminates solubles en hydroxyde d'aluminium(III) insoluble, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$.	Forte dilution de la solution d'aluminat de sodium en bacs de précipitation de 4500 m ³ . L'hydrolyse dure 2 jours environ : l'hydroxyde d'aluminium(III) précipite. Il est nécessaire d'ajouter une amorce d'hydroxyde solide afin de créer des germes de cristallisation.										
	Filtration puis concentration du filtrat (récupération de l'hydroxyde de sodium).										
Décomposition de l'hydroxyde d'aluminium(III) en oxyde anhydre : l'alumine Al_2O_3 .	Calcination à 1000 ou 1200°C										

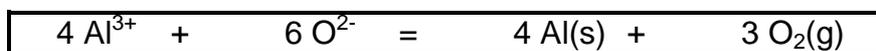
Production d'aluminium par électrolyse de l'alumine, principe:

Il n'est pas possible de réduire l'alumine par des réducteurs industriels tels que le carbone, le monoxyde de carbone ou le dihydrogène car l'aluminium est très réducteur. L'industrie fait appel à la réduction à la cathode d'un électrolyseur, moyen très puissant de réduction.

Mais l'oxyde d'aluminium(III) ne peut pas être réduit en solution aqueuse car l'aluminium est plus réducteur que l'eau et c'est cette dernière qui serait réduite au lieu de l'ion aluminium(III). Par ailleurs, l'oxyde d'aluminium(III) est difficilement *fusible* comme toutes les espèces à structure ionique (ions Al^{3+} et O^{2-}). On s'en sert même comme revêtement réfractaire (température de fusion de 2045°C).

Dans l'industrie, un mélange fondu de plus de 90 % de cryolithe (Na_3AlF_6) et de 7 % d'alumine est électrolysé. Ce mélange est beaucoup plus fusible que l'alumine pure (température de fusion de l'ordre de 1000°C). L'électrolyse de ce mélange ne consomme pratiquement que l'alumine et le carbone de l'anode qui réagit avec le dioxygène formé. On note néanmoins une consommation d'environ 30 kg de cryolithe par tonne d'aluminium.

En simplifiant, l'équation de la réaction correspondant à l'électrolyse peut s'écrire :



Questions sur l'aluminium (recherche documentaire):

- Qui a découvert ce métal et à quelle date?
- Donner les caractéristiques physiques et chimiques de cet élément.
- Quelles sont les utilisations possibles de l'aluminium en tant que métal?
- Rechercher les utilisations possibles d'autres espèces chimiques contenant l'aluminium en tant qu'élément

Questions sur le procédé Bayer:

- Quel est le nom et la formule de l'espèce chimique la plus couramment présente dans la bauxite?
- Indiquer quelles sont les autres espèces chimiques également présentes dans la bauxite et quel est l'aspect physique de ce minerai
- Analyser les différentes étapes de fabrication

Questions sur la production d'aluminium par électrolyse de l'alumine:

- Expliquer ce que l'on observerait à la cathode de l'électrolyseur en cas d'électrolyse d'une solution **aqueuse** d'oxyde d'aluminium.
- Expliquer l'expression: "l'oxyde d'aluminium est difficilement **fusible** comme toutes les espèces à structure ionique."
- Quel moyen utilise l'industrie pour réaliser l'électrolyse de l'alumine?
- Ecrire les $\frac{1}{2}$ équations électroniques des réactions aux électrodes.

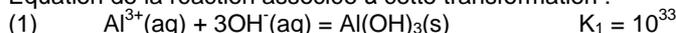
PROTOCOLE

1- Quelques expériences simples pour comprendre le principe de l'extraction de l'alumine à partir du minerai (procédé Bayer):

a) Hydroxyde d'aluminium : étape de précipitation de l'hydrargillite après dissolution de l'alumine en milieu basique

- Verser dans un bécher, 25 mL (prélevés à l'éprouvette) d'une solution de sulfate d'aluminium(III) (de concentration molaire $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$). Verser progressivement environ 3 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$. Un précipité blanc apparaît. C'est de l'hydroxyde d'aluminium qui est insoluble dans l'eau.

Equation de la réaction associée à cette transformation :

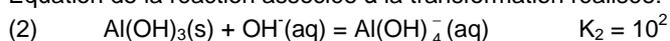


- Filtrer le précipité sur büchner, en réserver une partie (partie A) dans le bécher précédent et laver le reste à l'eau distillée (partie B), l'essorer.

b) Ions aluminate : étape de dissolution de l'hydrargillite en milieu basique

- Dans le bécher précédent, verser un peu de la solution d'hydroxyde de sodium sur la partie A du précipité d'hydroxyde d'aluminium(III) et agiter. Le précipité se dissout.

Equation de la réaction associée à la transformation réalisée:



En réalité les ions aluminate ont pour formule, $[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{-}$. Par souci de simplification, les molécules d'eau ne sont pas écrites dans l'équation de réaction ci-dessus.

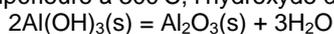
c) Oxyde d'aluminium : étape de calcination

L'industrie utilise cette méthode de décomposition pour extraire l'alumine pure anhydre.

- Introduire, la partie B du précipité dans une coupelle réfractaire et chauffer fortement, pendant au moins 5 minutes, au bec bunsen (suffisamment puissant). On obtient une poudre blanche.

- Après avoir laissé refroidir la poudre, la placer dans un tube à essais et verser un peu de la solution d'hydroxyde de sodium. On constate qu'il n'est pas possible de dissoudre entièrement cette poudre blanche.

A température supérieure à 300°C , l'hydroxyde d'aluminium(III) est transformé en oxyde d'aluminium(III) :



Il faut atteindre des températures élevées (supérieures à 900°C) pour que la déshydratation soit complète et des températures encore plus élevées (supérieures à $1100\text{-}1200^{\circ}\text{C}$) pour que l'alumine formée ne se réhydrate pas au refroidissement en présence de l'air atmosphérique.

2. Obtention d'alumine pure à partir de la bauxite :

a- Première étape : Dissolution en milieu basique de l'alumine

- Prélever une masse m (1g environ) de minerai reconstitué. La placer dans un erlenmeyer. Ajouter 25 mL d'eau. Agiter. Observer.

- Ajouter dans l'erlenmeyer 10 mL de la solution de soude $2,5 \text{ mol/L}$. Placer l'erlenmeyer dans un bain-marie à environ 80°C et chauffer tout en agitant. **Attention aux risques de projection !** Observer et interpréter.

b- Deuxième étape : Elimination des impuretés par décantation puis filtration à chaud

- Laisser reposer quelques instants le contenu de l'erlenmeyer puis transvaser délicatement dans un autre récipient de telle sorte que les dépôts solides ne soient pas entraînés.

- Filtrer rapidement la solution encore chaude.

c- Troisième étape : Régénération de l'alumine par précipitation de l'hydroxyde d'aluminium

La précipitation de l'hydrargillite est accélérée en plaçant le récipient dans la glace et en neutralisant le milieu à l'aide de quelques gouttes d'acide chlorhydrique (le pH doit être compris entre 4 et 9). Laisser décanter et filtrer.

d- Quatrième étape : Calcination de l'alumine

Cette étape ne sera pas mise en œuvre à nouveau.