

La bauxite est une roche dont le nom provient du village des Baux-de-Provence où elle a été découverte. Elle contient différents oxydes dont la silice de formule SiO_2 et l'alumine de formule Al_2O_3 utilisée pour la fabrication de l'aluminium. **Elle contient aussi particulièrement des oxydes de fer.**

Le procédé de production industrielle de l'alumine le plus utilisé aujourd'hui est le procédé Bayer. Il fut mis en œuvre dès 1894 par différentes usines situées dans le sud de la France. Il est basé sur l'attaque de la bauxite par de la soude.

Questions préliminaires :

1. Quelle est la réaction, support du titrage, mise en œuvre pour déterminer la concentration de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite ?
2. En déduire la concentration molaire de l'hydroxyde de sodium dans la solution de soude utilisée lors de la mise en œuvre du procédé Bayer.

Problème :

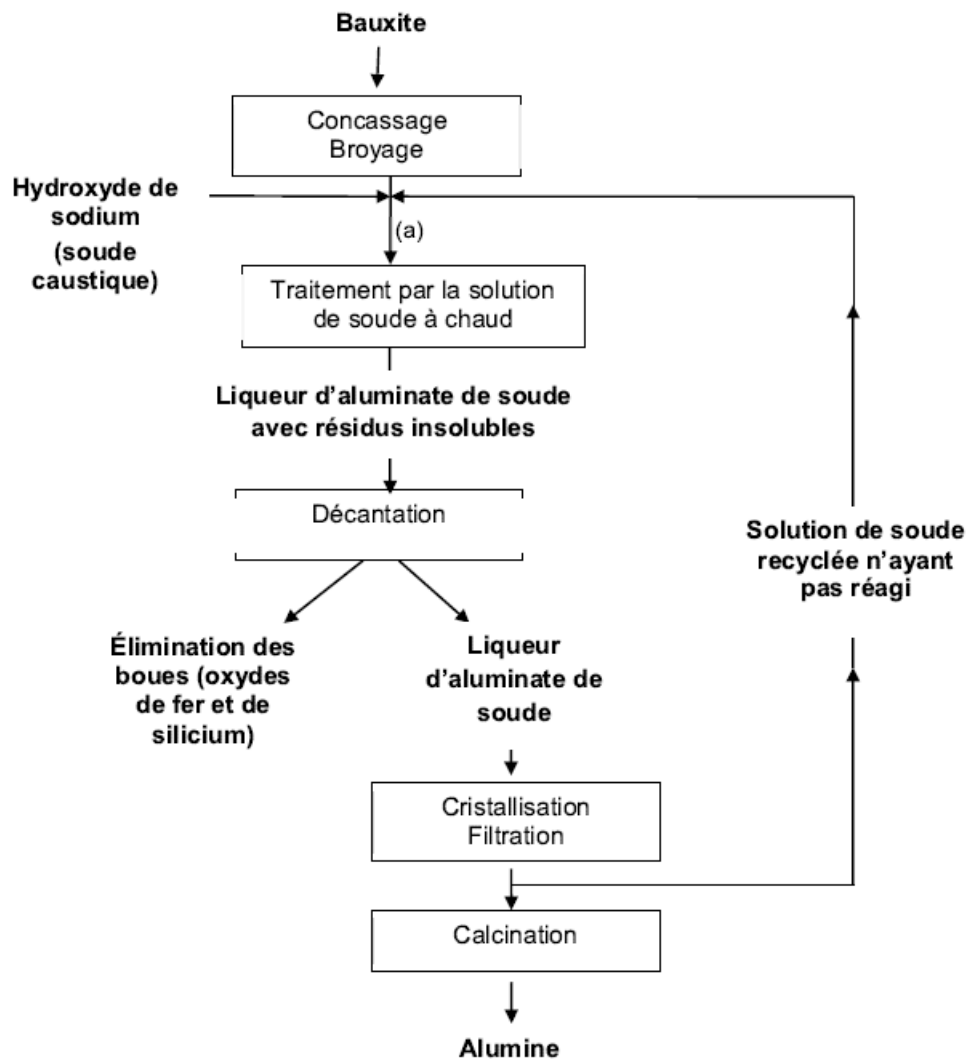
Pour une heure de traitement de bauxite en continu, quelle masse d'hydroxyde de sodium solide faut-il introduire dans le réacteur afin de maintenir la concentration de la soude constante ?

L'analyse des données et des documents ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Une analyse critique des résultats est attendue.

Données :

- L'hydroxyde de sodium est un solide de formule NaOH ;
- Une solution de soude est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$);
- Masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{O}) = 16,0$; $M(\text{Na}) = 23,0$; $M(\text{Al}) = 27,0$;
- pK_a des couples acide/base de l'eau : $\text{pK}_a(\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}) = 0$; $\text{pK}_a(\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-) = 14$.

Schéma du procédé Bayer d'extraction de l'alumine de la bauxite



Après broyage, la bauxite est attaquée à chaud, sous pression, par une solution de soude, ce qui permet d'obtenir une liqueur d'aluminate de soude avec des résidus insolubles en suspension. Cette liqueur est ensuite décantée : les oxydes de fer et de silicium forment une boue rouge, chimiquement inerte, qui est évacuée vers un site de déversement approprié.

La liqueur restante est renvoyée dans des décomposeurs pour précipitation de l'alumine, qui est ensuite récupérée par filtration et calcinée.

La solution de soude non utilisée est renvoyée dans le réacteur dans lequel on rajoute de la soude solide afin de maintenir la concentration en soude constante. Les besoins en soude solide correspondent :

- à la soude nécessaire à la réaction ;
- à la soude perdue lors du procédé notamment dans les boues (estimées à 2,5 % de la masse de soude utilisée pour le traitement de la bauxite).

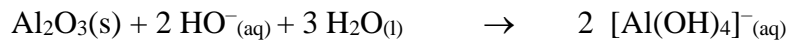
Données techniques du procédé Bayer:

- pourcentage massique en alumine dans la bauxite : 50 % ;
- débit massique de bauxite : 10 kg.h^{-1} ;
- débit volumique de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite: 338 L.h^{-1}
On considère ce débit comme constant au point (a).

Traitement de la bauxite par la solution de soude pour extraire l'alumine

Le minerai est attaqué par une solution de soude ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$) dans un réacteur sous une pression de 10 bars à une température de 250 °C.

La transformation de l'alumine par la solution de soude peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :



Un très large excès de solution de soude dans le réacteur permet de rendre cette réaction quasi-totale.

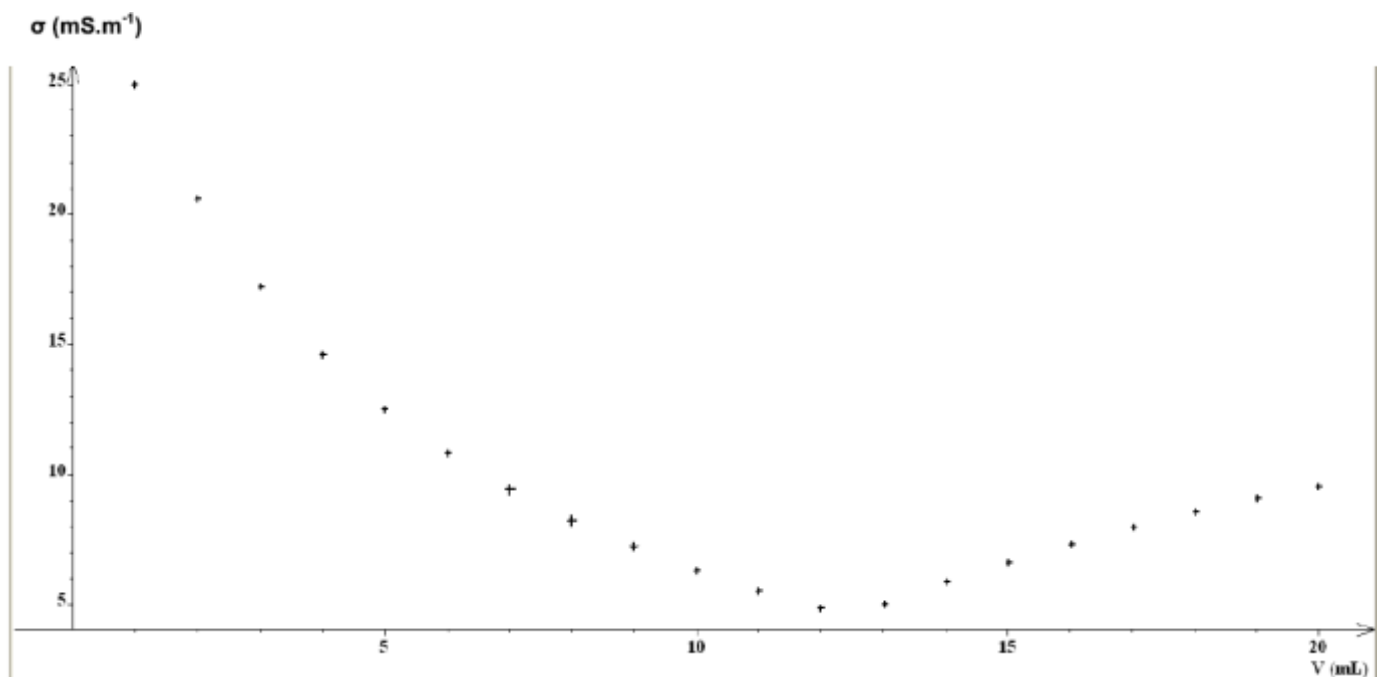
La soude n'ayant pas réagi est recyclée. Afin de conserver une concentration massique en soude constante dans le réacteur, on introduit régulièrement de l'hydroxyde de sodium solide.

Titrage de la solution de soude utilisée pour le traitement de la bauxite

On réalise au préalable une dilution au dixième de la solution de soude utilisée dans le procédé.

Puis on procède au titrage acido-basique, suivi par conductimétrie, d'un volume de 5,0 mL de solution diluée de soude par de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$) de concentration molaire 0,50 mol.L⁻¹.

On obtient le graphique suivant :



B - Suppléments

- 1) Lire la page 134 du livre : « Cycle de vie des matériaux » (Ne pas répondre par écrit aux questions posées, une lecture attentive suffira)
- 2) TP : séparation de l'aluminium (III) dans la bauxite

Le minerai de bauxite contient donc différents oxydes, principalement de l'oxyde d'aluminium (alumine Al_2O_3), de l'oxyde de silicium (silice SiO_2) et des oxydes de fer (nous considérerons uniquement l'hématite Fe_2O_3).

L'objectif est de séparer l'alumine du reste du mélange.

Pour être plus précis, il s'agit d'isoler l'élément aluminium, qui restera, au cours des opérations proposées dans différents états correspondant à ce que l'on appelle le degré d'oxydation (III). Les formes possibles de Al(III) sont : Al_2O_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ et Al^{3+} .

L'addition de soude concentrée provoque des transformations :

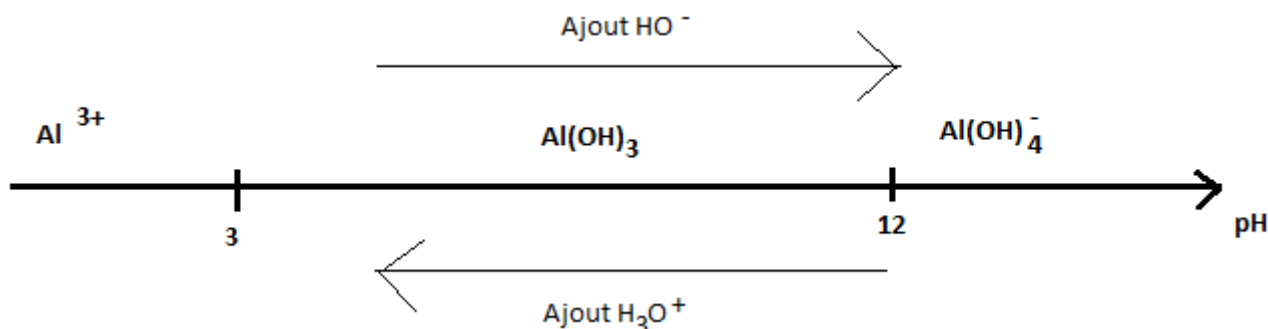
- L'alumine est transformée en hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ puis en ion tétrahydroxyaluminate $\text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq})$ si l'addition est suffisamment poussée.
- L'hématite est transformé en hydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ et la fixation de HO^- autour de l'ion Fe^{3+} s'arrête là, même si l'on rajoute encore de la soude.
- La silice n'est pas modifiée et restera insoluble dans le milieu réalisé.

Nous mélangeons 5g de bauxite et 25 mL de soude ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration $c = 2,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Nous chauffons ($80 \text{ }^\circ\text{C}$) le mélange pendant quelques minutes.

Nous nous trouvons alors dans des conditions telles que nous pouvons considérer que tout l'aluminium initialement présent dans l'échantillon de bauxite est maintenant sous la forme $\text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq})$.

- Comment isoler l'élément aluminium des deux autres principales impuretés (fer et silicium) ? (*proposer un protocole, faites-le valider par le professeur et mettez-le en œuvre*)
- Comment, ayant récupéré la fraction contenant l'aluminium (sous la forme $\text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq})$), pouvons-nous maintenant séparer l'aluminium de la solution dans laquelle il est dissous ? (*Discussions, indications diverses données pendant la séance, tout cela doit vous mener à proposer un protocole*).
- Sécher le solide récupéré, le peser et en déduire le pourcentage massique d'alumine dans l'échantillon de bauxite traité (attention, le solide pesé n'est pas de l'alumine Al_2O_3 , c'est de l'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$).
- *Compte rendu : description et justification des protocoles expérimentaux mis en œuvre, détail des calculs permettant de déterminer le pourcentage massique d'alumine dans la bauxite.*

Donnée :



On considérera que c'est dans la zone de pH allant de 6 à 8 que $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ précipite le plus abondamment.

3) La suite du procédé industriel : réduction électrochimique de l'alumine en aluminium.

Le procédé actuel est basé sur l'électrolyse à 960 °C de l'alumine Al_2O_3 dissoute dans de la cryolithe fondue Na_3AlF_6 . Les cellules comportent une anode consommable en graphite et une cathode en aluminium liquide (voir schéma ci-dessous).

Potentiels standard : $\text{CO}_2/\text{C} : 0,21 \text{ V}$ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al} : - 2,31 \text{ V}$

- 1) Quel est le rôle de la cryolithe ?
- 2) Quels ions résultent de la dissolution de l'alumine ?
- 3) Présenter un schéma détaillé du dispositif d'électrolyse en fonctionnement : sens du courant, réaction aux électrodes, sens de déplacement des ions, etc. (on pourra s'aider du schéma ci-dessous)
- 4) La tension appliquée vaut 4,31 V et l'intensité qui parcourt le circuit 180 kA.
 - a) Le rendement du dispositif vaut 80 %. Quelle est la durée nécessaire pour la production d'1 kg d'aluminium ?
 - b) Quelle est la consommation énergétique correspondante ?

