Spécialité : Extraction de la bauxite

Bac S 2016 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Quelle est la réaction, support du titrage, mise en œuvre pour déterminer la concentration de la solution de soude ?

La solution titrée (soude) apporte la base $\mathrm{HO^-}$ du couple $\mathrm{H_2O/HO^-}$; la solution titrante (acide chlorhydrique) apporte l'acide $\mathrm{H_3O^+}$ du couple $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$. L'acide réagit avec la base par transfert d'un ion $\mathrm{H^+}$:

$$\mathrm{H_3O^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)}$$

COMPRENDRE

Les ions $\mathrm{Na^+}$ et $\mathrm{Cl^-}$ sont spectateurs : ils ne figurent pas dans l'équation, mais ils comptent dans la conductivité. L'écart de 14 entre les deux $\mathrm{p}K_a$ assure une réaction totale, condition d'un titrage.

2 En déduire la concentration molaire de l'hydroxyde de sodium dans la solution de soude du procédé Bayer. Puis **Problème** : pour une heure de traitement en continu, quelle masse d'hydroxyde de sodium solide faut-il introduire dans le réacteur pour maintenir la concentration de la soude constante ?

Données utiles $V_B = 5{,}0$ mL de soude diluée 10 fois ; $c_A = 0{,}50\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; bauxite : $10\ \text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ à 50 % d'alumine ; soude : $338\ \text{L}\cdot\text{h}^{-1}$; pertes : 2,5 % ; $M(\text{H}) = 1{,}0$, $M(\text{O}) = 16{,}0$, $M(\text{Na}) = 23{,}0$, $M(\text{Al}) = 27{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Question 2 : concentration de la soude. L'équivalence correspond à la rupture de pente de la courbe. Les deux droites tracées de part et d'autre du minimum se coupent en $V_E \approx 12{,}3$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions de l'équation : $n(\text{HO}^-)_{\text{titré}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versé}}$, soit $c_B\,V_B = c_A\,V_E$.

La solution du procédé est dix fois plus concentrée que la solution titrée :

$$c_0 = 10\,c_B = 10 \times \frac{c_A\,V_E}{V_B} = 10 \times \frac{0{,}50 \times 12{,}3}{5{,}0} = 12\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Problème. L'hydroxyde de sodium à ajouter compense deux postes : celui que la réaction consomme et celui qui part avec les boues. On raisonne sur une heure.

a) Soude consommée par la réaction. Masse d'alumine traitée : $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = \dfrac{50}{100} \times 10 = 5{,}0$ kg.

$M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2 \times 27{,}0 + 3 \times 16{,}0 = 102{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $M(\text{NaOH}) = 23{,}0 + 16{,}0 + 1{,}0 = 40{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

La réaction est quasi totale et l'alumine est le réactif limitant. D'après l'équation, $n(\text{HO}^-)_{\text{consommé}} = 2\,n(\text{Al}_2\text{O}_3)$, et une mole de NaOH apporte une mole de HO^- :

$$m_1 = 2 \times \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3)}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \times M(\text{NaOH}) = 2 \times \frac{5{,}0 \times 10^3}{102{,}0} \times 40{,}0 = 3{,}9 \times 10^3\ \text{g}$$

b) Soude perdue. Masse d'hydroxyde de sodium apportée au réacteur par la solution, de débit $D_V = 338\ \text{L}\cdot\text{h}^{-1}$, pendant $\Delta t = 1$ h :

$$m_u = c_0 \times D_V \times \Delta t \times M(\text{NaOH}) = 12{,}3 \times 338 \times 1 \times 40{,}0 = 1{,}7 \times 10^5\ \text{g}$$

Les pertes représentent 2,5 % de cette masse : $m_2 = \dfrac{2{,}5}{100} \times m_u = 4{,}2 \times 10^3$ g.

c) Bilan. $m = m_1 + m_2 = 3{,}9 + 4{,}2 = 8{,}1$ kg.

Analyse critique.

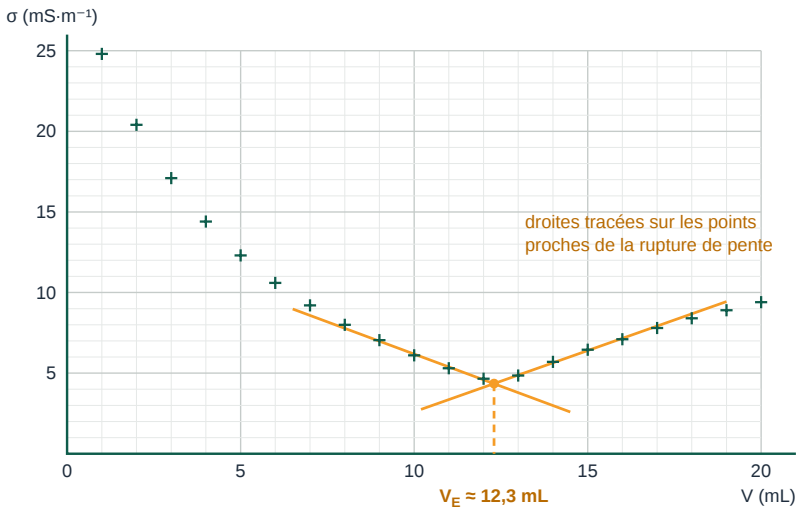
- La solution apporte environ 166 kg de soude par heure pour 3,9 kg consommés, soit plus de 40 fois le nécessaire : c'est bien le « très large excès » annoncé.
- Les pertes dans les boues pèsent autant que la réaction : sans recyclage, il faudrait renouveler les 166 kg chaque heure.
- La première partie de la courbe n'est pas rectiligne, V_E n'est connu qu'à quelques dixièmes de millilitre près. Pour V_E compris entre 12,0 et 12,5 mL, on trouve entre 8,0 et 8,2 kg. Les 2,5 % et les 50 % sont eux-mêmes des estimations : un ordre de grandeur de 8 kg est le résultat raisonnable.

$c_0 = 12\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; il faut introduire $m \approx 8$ kg d'hydroxyde de sodium solide par heure.

PIÈGE
Oublier la dilution au dixième : on trouverait $1{,}2\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et des pertes dix fois trop faibles. Autre oubli fréquent : le coefficient 2 devant HO^- dans l'équation de l'attaque de l'alumine.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_A, V_B et les 2,5 %. Dans les calculs suivants, on garde la valeur non arrondie $c_0 = 12{,}3\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et on n'arrondit qu'à la fin.

MÉTHODE
Résolution de problème : 1) lister les postes à chiffrer ; 2) pour chacun, relation littérale puis calcul ; 3) bilan ; 4) regard critique, en confrontant le résultat à une phrase ou à une donnée des documents.



2 · Graphique du sujet avec la construction de l'équivalence

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{10 \times 0.50 \times 12.3}{5.0} \approx 12.3$$

$$\frac{2 \times 5.0 \times 10^3}{102.0} \times 40.0 \approx 3921.569$$

$$12.3 \times 338 \times 40.0 \approx 166296$$

$$\frac{2.5}{100} \times 166\,296 \approx 4157.4$$

$$3921.6 + 4157.4 \approx 8079$$