La lessive de cendre

Bac 2026 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q.1 Définir une espèce chimique basique selon Brönsted.

Une base selon Brönsted est une espèce chimique capable de capter au moins un ion hydrogène H^+.

COMPRENDRE
L'ion carbonate CO_3^{2-} peut capter un H^+ pour donner HCO_3^-, qui peut en capter un second pour donner H_2CO_3 : c'est une dibase.

Q.2 Calculer la concentration en quantité de matière des ions carbonate dans la solution S.

Données utiles $m = 3{,}0$ g ; $V = 100{,}0$ mL ; $M(K_2CO_3) = 138{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Dissolution du solide : $K_2CO_3\,(s) \longrightarrow 2\,K^+\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq)$. Une mole de solide apporte une mole d'ions carbonate, donc la concentration apportée en ions carbonate vaut :

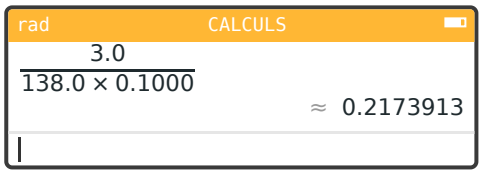
$$C = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \times V} = \frac{3{,}0}{138{,}0 \times 0{,}1000}$$

$C = 0{,}22\ mol \cdot L^{-1}$

PIÈGE
Laisser le volume en mL : il faut $V = 0{,}1000$ L. Et ne pas multiplier par 2 : le coefficient 2 de l'équation de dissolution porte sur K^+, pas sur CO_3^{2-}.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse $m = 3{,}0$ g, qui est la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE



Q.3 Écrire et ajuster l'équation de la réaction acido-basique se produisant entre CO_3^{2-} et H_2O.

La base CO_3^{2-} du couple HCO_3^- / CO_3^{2-} réagit avec l'acide H_2O du couple H_2O / HO^- :

$CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + HO^-\,(aq)$

MÉTHODE
Vérifier la conservation des éléments et celle de la charge : -2 à gauche, $(-1) + (-1) = -2$ à droite. L'eau joue ici le rôle d'acide, elle cède un H^+.

Q.4 Le pH de la solution S est de 11,8. En déduire la concentration en ions hydroxyde HO^- dans la solution S.

Données utiles $pH = 11{,}8$; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$

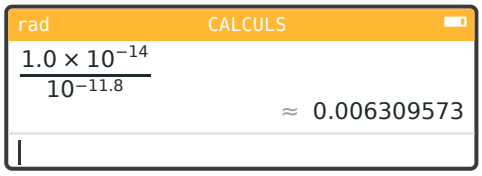
$[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$ avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$, et $K_e = \dfrac{[H_3O^+] \times [HO^-]}{(c^\circ)^2}$, donc :

$$[HO^-] = \frac{K_e \times c^\circ}{10^{-pH}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-14}}{10^{-11{,}8}}$$

$[HO^-] = 6{,}3 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$

PIÈGE
Donner $10^{-11{,}8} = 1{,}6 \times 10^{-12}\ mol \cdot L^{-1}$ comme réponse : c'est la concentration en ions H_3O^+, pas celle des ions HO^-.

À LA CALCULATRICE



Q.5 Comparer la concentration en ions hydroxyde à la concentration apportée en ions carbonate. En déduire que l'ion carbonate est une base faible, permettant d'assimiler la lessive de cendre à une solution d'ions carbonate.

Données utiles $C = 0{,}22\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q.2) ; $[\text{HO}^-] = 6{,}3\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q.4)

$\dfrac{C}{[\text{HO}^-]} = \dfrac{0{,}22}{6{,}3\times10^{-3}} \approx 35$: la concentration en ions hydroxyde est environ 35 fois plus petite que la concentration apportée en ions carbonate.

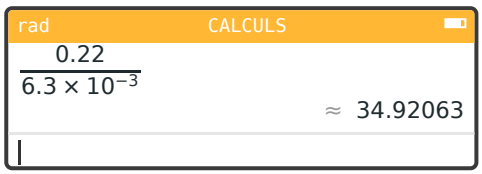
Si la réaction de Q.3 était totale, chaque ion carbonate apporté formerait un ion hydroxyde et on aurait $[\text{HO}^-] = C$. Ce n'est pas le cas : la transformation est très limitée.

$[\text{HO}^-] \ll C$: l'ion carbonate est une **base faible**. Presque tous les ions carbonate restent sous la forme CO_3^{2-}, la lessive est donc assimilable à une solution d'ions carbonate.

COMPRENDRE

Le taux d'avancement final vaut $\dfrac{[\text{HO}^-]}{C} \approx 0{,}03$, soit 3 % : sur cent ions carbonate apportés, seuls trois environ ont réagi avec l'eau.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Écrire les demi-équations des deux couples acide-base mettant en jeu les ions carbonate et du couple H_2O / HO^-, et justifier l'équation support du titrage : $\text{CO}_3^{2-} + 2\,\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\,\text{H}_2\text{O}$.

Demi-équations demandées :

- HCO_3^- / CO_3^{2-} : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ = \text{HCO}_3^-$
- H_2CO_3 / HCO_3^- : $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{CO}_3$
- H_2O / HO^- : $\text{H}_2\text{O} = \text{HO}^- + \text{H}^+$

L'espèce titrante est l'ion H_3O^+ : le couple de l'eau qui intervient dans le titrage est donc H_3O^+ / H_2O, de demi-équation $\text{H}_3\text{O}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$, et non le couple H_2O / HO^- cité par l'énoncé.

Première étape : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

Deuxième étape : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

En additionnant les deux étapes, HCO_3^- se simplifie :

$$\text{CO}_3^{2-}\,(\text{aq}) + 2\,\text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3\,(\text{aq}) + 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

PIÈGE

L'énoncé demande le couple H_2O / HO^-, qui ne permet pas d'obtenir l'équation proposée. Écrire sa demi-équation puisqu'elle est demandée, puis utiliser H_3O^+ / H_2O pour la justification.

COMPRENDRE

Les deux sauts de pH de la courbe correspondent aux deux étapes successives. Le volume V_{eq} donné par le sujet est celui du second saut, quand chaque ion carbonate a capté deux H^+.

Q.7 Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions carbonate de la lessive de cendre S0.

Données utiles $V_1 = 10{,}0$ mL ; $c_A = 5{,}00\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_{eq} = 17{,}0$ mL ; dilution par 10

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation de titrage (1 ion carbonate pour 2 ions oxonium) :

$$n(\text{CO}_3^{2-})_{\text{titré}} = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versé}}}{2} \quad \text{soit} \quad c_1\times V_1 = \frac{c_A\times V_{eq}}{2}$$

$$c_1 = \frac{c_A\times V_{eq}}{2\times V_1} = \frac{5{,}00\times10^{-3}\times17{,}0}{2\times10{,}0} = 4{,}25\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

La solution S1 est obtenue en diluant S0 dix fois : $c_0 = 10\times c_1$.

$$c_0 = 4{,}25\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

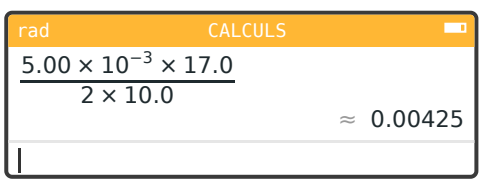
PIÈGE

Oublier le facteur 2 de la stœchiométrie (on trouverait le double), ou s'arrêter à c_1 : la question porte sur S0, dix fois plus concentrée que la solution titrée.

MÉTHODE

Les deux volumes peuvent rester en mL, car seul leur rapport intervient. Trois chiffres significatifs, comme c_A, V_{eq} et V_1.

À LA CALCULATRICE



Q.8 L'eau est qualifiée de dure. Déterminer un encadrement du volume de lessive de cendre à introduire dans la machine à laver pour répondre aux préconisations de l'étiquette. Commenter le résultat obtenu.

Données utiles eau dure : entre $6{,}0 \times 10^{-3}$ mol et $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol ; $c_0 = 4{,}25 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q.7) ; lessive commerciale : entre 50 et 150 mL

La lessive de cendre est assimilée à une solution d'ions carbonate (Q.5), de concentration c_0. La quantité de base apportée par un volume V est $n = c_0 \times V$, donc $V = \dfrac{n}{c_0}$.

$$V_{\text{min}} = \frac{6{,}0 \times 10^{-3}}{4{,}25 \times 10^{-2}} = 0{,}14\ \text{L} \qquad V_{\text{max}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}}{4{,}25 \times 10^{-2}} = 0{,}24\ \text{L}$$

Ce volume est plus grand que celui d'une lessive commerciale (50 à 150 mL), car la lessive de cendre est moins concentrée en espèces basiques. Il reste raisonnable : un à deux verres par lavage.

$0{,}14\ \text{L} \leqslant V \leqslant 0{,}24\ \text{L}$, soit entre 140 mL et 240 mL de lessive de cendre, davantage qu'avec une lessive commerciale.

PIÈGE

Utiliser c_1 au lieu de c_0 : c'est la lessive S0 non diluée que l'on verse dans la machine. Avec c_1, on trouverait des volumes dix fois trop grands, entre 1,4 L et 2,4 L.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme les quantités lues sur l'étiquette.

À LA CALCULATRICE

