Étude d'une lessive « multi-usages »

Bac 2025 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

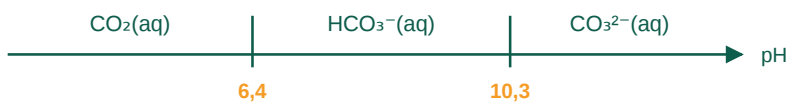
Q1 Représenter le diagramme de prédominance des espèces acide-base des couples associés à $CO_2\,(aq)$.

Données utiles $pK_{A1} = 6{,}4$ pour $CO_2(aq)/HCO_3^-\,(aq)$; $pK_{A2} = 10{,}3$ pour $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}\,(aq)$

Pour un couple, l'acide prédomine si $pH < pK_A$ et la base si $pH > pK_A$. On place donc les deux pK_A sur un axe gradué en pH.

$CO_2\,(aq)$ prédomine pour $pH < 6{,}4$; $HCO_3^-\,(aq)$ pour $6{,}4 < pH < 10{,}3$; $CO_3^{2-}\,(aq)$ pour $pH > 10{,}3$.

PIÈGE
Inverser l'ordre des espèces. L'espèce la plus acide, $CO_2\,(aq)$, se place du côté des pH faibles ; l'ion HCO_3^-, base d'un couple et acide de l'autre, occupe le domaine central.



Q1 · Diagramme de prédominance des espèces associées au dioxyde de carbone dissous

Q2 Identifier, en justifiant, les espèces chimiques associées à chacune des courbes 1, 2 et 3 de la figure 1.

D'après le diagramme de prédominance (Q1) :

- la courbe 1 est proche de 100 % aux pH faibles ($pH < 6{,}4$) : c'est l'espèce la plus acide, $CO_2\,(aq)$;
- la courbe 3 est proche de 100 % aux pH élevés ($pH > 10{,}3$) : c'est l'espèce la plus basique, $CO_3^{2-}\,(aq)$;
- la courbe 2 est majoritaire entre ces deux domaines : c'est l'espèce intermédiaire, $HCO_3^-\,(aq)$.

Courbe 1 : $CO_2\,(aq)$; courbe 2 : $HCO_3^-\,(aq)$; courbe 3 : $CO_3^{2-}\,(aq)$.

Q3 Expliquer, en justifiant, comment retrouver la valeur du pK_{A2} du couple $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}\,(aq)$ à l'aide de la figure 1.

Pour ce couple : $pH = pK_{A2} + \log\dfrac{[CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$.

Quand les deux espèces sont en même proportion, $[CO_3^{2-}] = [HCO_3^-]$, donc $\log(1) = 0$ et $pH = pK_{A2}$.

Sur la figure 1, on repère le point d'intersection des courbes 2 et 3 (proportions de 50 % chacune) et on lit son abscisse.

L'abscisse du point d'intersection des courbes 2 et 3 donne pK_{A2} : on lit $pH \approx 10{,}3$, valeur conforme aux données.

MÉTHODE
Sur un diagramme de distribution, chaque croisement de deux courbes à 50 % donne le pK_A du couple formé par les deux espèces. Ici, le croisement des courbes 1 et 2 donne de même $pK_{A1} = 6{,}4$.

Q4 Écrire l'équation de la réaction entre l'ion carbonate $CO_3^{2-}\,(aq)$ et l'eau. Justifier le caractère basique des ions carbonate dans l'eau.

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

L'ion carbonate capte un ion H^+ cédé par l'eau : c'est une base au sens de Brönsted. La transformation produit des ions hydroxyde HO^-, ce qui rend la solution basique ($pH > 7$).

$CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + HO^-\,(aq)$: l'ion carbonate capte un proton et forme des ions HO^-.

PIÈGE
Écrire la réaction avec H_3O^+ dans les réactifs ou les produits : l'énoncé demande la réaction avec l'eau, qui joue ici le rôle d'acide (couple H_2O/HO^-).

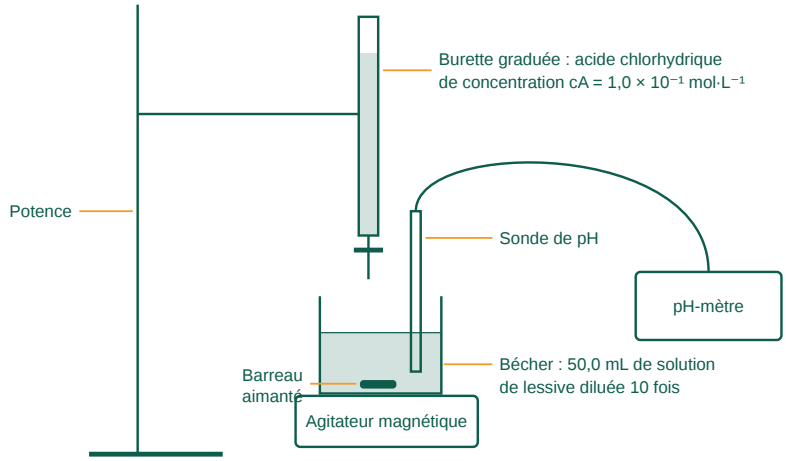
Q5 Réaliser un schéma légendé du dispositif expérimental du titrage pH-métrique.

Données utiles solution titrée : 50,0 mL de solution de lessive diluée ; solution titrante : acide chlorhydrique, $c_A = 1{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Le schéma doit faire apparaître : la burette graduée et son contenu (solution titrante), le bécher et son contenu (solution titrée), la sonde du pH-mètre plongée dans la solution, le pH-mètre et le système d'agitation.

Schéma légendé ci-dessous : burette (acide chlorhydrique), bécher (lessive diluée), sonde reliée au pH-mètre, agitateur magnétique et barreau aimanté.

PIÈGE
Oublier de préciser le contenu de la burette et du bécher, ou oublier le pH-mètre et sa sonde : sans eux, le schéma est celui d'un titrage quelconque.



Q5 · Dispositif du titrage pH-métrique de la solution de lessive diluée

Q6 Préciser, en justifiant, la verrerie à utiliser pour préparer un volume de 100,0 mL de solution de lessive diluée 10 fois.

Données utiles volume de solution fille $V_1 = 100{,}0$ mL ; facteur de dilution $F = 10$

Diluer ne change pas la quantité de soluté prélevée : $c_0\,V_0 = c_1\,V_1$, avec $c_1 = \dfrac{c_0}{F}$.

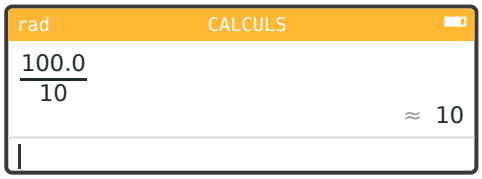
Volume de solution mère à prélever : $V_0 = \dfrac{V_1}{F} = \dfrac{100{,}0}{10} = 10{,}0\ \text{mL}$.

Les volumes doivent être précis : on utilise de la verrerie jaugée.

On prélève $V_0 = 10{,}0$ mL de solution mère avec une pipette jaugée de 10,0 mL et on complète à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge d'une fiole jaugée de 100,0 mL.

PIÈGE
Proposer une éprouvette graduée ou un bécher : ces récipients ne sont pas assez précis. Seule la verrerie jaugée (pipette et fiole) convient pour une dilution.

À LA CALCULATRICE



Q7 Écrire l'équation de la réaction support du titrage entre les ions carbonate et les ions oxonium, jusqu'à la première équivalence.

Les ions carbonate (base) captent un proton cédé par les ions oxonium (acide) apportés par l'acide chlorhydrique. La réaction support d'un titrage est totale : flèche simple.

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

COMPRENDRE
Après la première équivalence, les ions HCO_3^- formés sont titrés à leur tour : $\text{HCO}_3^-\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{CO}_2\,(\text{aq}) + 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$. C'est l'origine du second saut de pH de la figure 2.

Q8 Déterminer le pourcentage en masse de carbonate de sodium Na_2CO_3 présent dans la lessive étudiée. Commenter.

Données utiles $m = 4{,}0$ g de lessive dans $V_{\text{fiole}} = 100{,}0$ mL ; dilution d'un facteur 10 ; prise d'essai $V_c = 50{,}0$ mL ; $c_A = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $M(Na_2CO_3) = 106{,}0$ g · mol^{-1} ; figure 2

Volume à la première équivalence. Il correspond au premier minimum de la courbe dérivée $\frac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V}$: $V_{éq1} = 7{,}5$ mL.

Solution titrée. D'après la réaction de Q7, à la première équivalence, la quantité d'ions oxonium versée est égale à la quantité d'ions carbonate présente au départ : $n(CO_3^{2-})_{\text{titré}} = n(H_3O^+)_{\text{versé}}$, soit $c_c\,V_c = c_A\,V_{éq1}$.

$$c_c = \frac{c_A\,V_{éq1}}{V_c} = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 7{,}5}{50{,}0} = 1{,}5 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

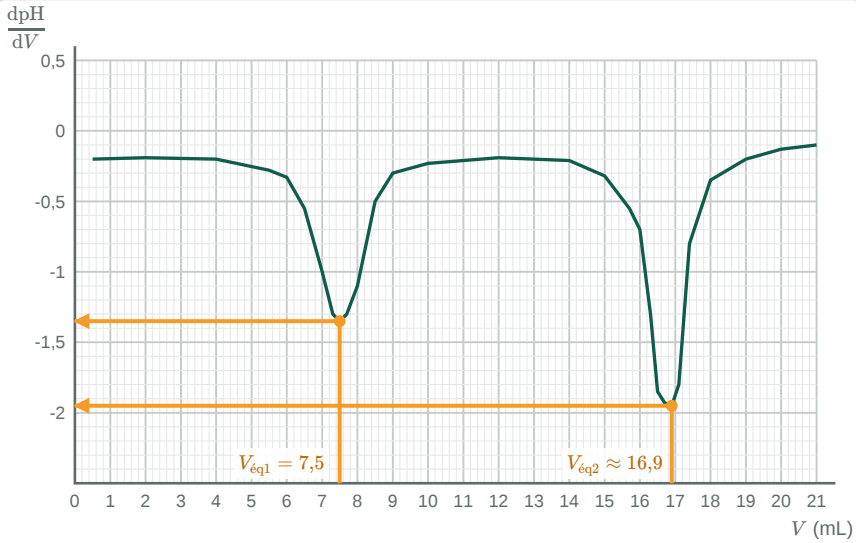
Solution de lessive non diluée. $c = 10\,c_c = 1{,}5 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1}.

Masse de carbonate de sodium. La dissolution $Na_2CO_3\,(s) \longrightarrow 2\,Na^+\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq)$ donne $n(Na_2CO_3) = n(CO_3^{2-}) = c\,V_{\text{fiole}}$, donc :

$$m(Na_2CO_3) = c\,V_{\text{fiole}}\,M = 1{,}5 \times 10^{-1} \times 100{,}0 \times 10^{-3} \times 106{,}0 = 1{,}6\ \text{g}$$

Pourcentage en masse. $w = \frac{m(Na_2CO_3)}{m} = \frac{1{,}59}{4{,}0} = 0{,}40$

La lessive contient environ $40\ \%$ en masse de carbonate de sodium : valeur comprise entre 30 % et 60 %, en accord avec l'indication du fabricant.



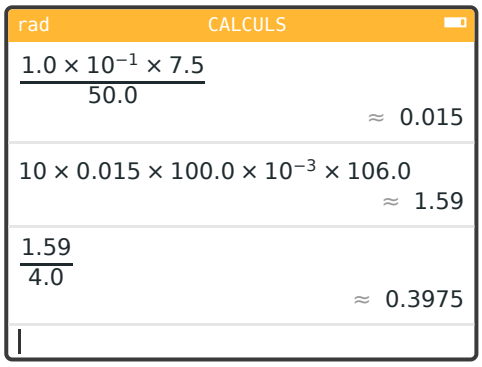
Q8 · Courbe dérivée de la figure 2 (allure) : lecture des volumes aux deux équivalences

PIÈGE
Oublier le facteur 10 de la dilution (on trouverait 4 %), ou rapporter la quantité titrée aux 50,0 mL prélevés au lieu des 100,0 mL de la fiole où les 4,0 g ont été dissous.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m, c_A et $V_{éq1}$, les données les moins précises. On garde $1{,}59$ g dans le calcul intermédiaire et on n'arrondit qu'à la fin.

MÉTHODE
Remonter le protocole à l'envers : équivalence, concentration de la solution titrée, facteur de dilution, quantité dans la fiole, masse, puis pourcentage. Chaque étape tient en une relation.

À LA CALCULATRICE



Q9 Comparer les volumes obtenus à la première et à la seconde équivalence lors du titrage de la lessive. En déduire la nature probable d'autres espèces présentes dans la lessive.

Données utiles pour du carbonate de sodium pur, $V_{éq2} = 2\,V_{éq1}$; $V_{éq1} = 7{,}5$ mL (Q8) ; figure 2

Le second minimum de la courbe dérivée donne $V_{éq2} \approx 16{,}9$ mL.

Or $2\,V_{éq1} = 2 \times 7{,}5 = 15{,}0$ mL : $V_{éq2} > 2\,V_{éq1}$ (rapport $\dfrac{16{,}9}{7{,}5} \approx 2{,}3$).

Entre les deux équivalences, il a fallu verser $16{,}9 - 7{,}5 = 9{,}4$ mL d'acide, soit plus que les $7{,}5$ mL nécessaires pour titrer les seuls ions HCO_3^- issus des ions carbonate. D'autres espèces ont donc consommé des ions H_3O^+.

$V_{éq2} \approx 16{,}9\ \text{mL} > 2\,V_{éq1} = 15{,}0\ \text{mL}$: la lessive contient probablement d'autres espèces basiques, par exemple des ions hydrogénocarbonate HCO_3^-.

COMPRENDRE

Ces bases sont plus faibles que l'ion carbonate : elles ne réagissent qu'après la première équivalence, ce qui est cohérent avec l'hypothèse de l'énoncé (seuls les ions carbonate sont titrés jusqu'à $V_{éq1}$).

À LA CALCULATRICE

