L'acide butanoïque

Bac 2023 Polynésie Septembre · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Identifier les couples acide/base mis en jeu dans cette transformation chimique.

L'acide butanoïque cède un ion H^+ à l'eau, qui le capte. Les deux couples sont donc :

$C_3H_7COOH\,(aq)$ / $C_3H_7COO^-\,(aq)$ et $H_3O^+\,(aq)$ / $H_2O\,(l)$

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours acide / base, dans cet ordre. Ici l'eau joue le rôle de base : son couple est H_3O^+ / H_2O, pas H_2O / HO^-.

Q2 Compléter à l'aide d'expressions littérales le tableau d'avancement du document réponse.

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 : quand l'avancement vaut x, il disparaît x mol d'acide et il se forme x mol de chaque ion. Les ions sont absents à l'état initial.

Voir le document réponse complété : $n_i - x$ pour l'acide, x pour chacun des deux ions, avec $x = x_{max}$ puis $x = x_f$ sur les deux dernières lignes.

COMPRENDRE
La dernière ligne décrit l'état réellement atteint : la transformation est limitée, donc $x_f < x_{max}$. L'eau est le solvant, toujours en excès.

		$C_3H_7COOH(aq)$ +	$H_2O(l)$	⇄ $C_3H_7COO^-(aq)$ +	$H_3O^+(aq)$
	Avancement	Quantités de matière			
État initial	$x = 0$	n_i	excès	0	0
État intermédiaire	x	$n_i - x$	excès	x	x
État final si réaction totale	$x = x_{max}$	$n_i - x_{max}$	excès	x_{max}	x_{max}
État final observé	$x = x_f$	$n_i - x_f$	excès	x_f	x_f

Q2 · Document réponse complété : en orange, ce que l'élève écrit

Q3 En déduire la relation à l'état final entre $[H_3O^+]_f$ et $[C_3H_7COO^-]_f$.

D'après la dernière ligne du tableau : $n_f(H_3O^+) = n_f(C_3H_7COO^-) = x_f$.

Les deux ions sont dans le même volume V de solution, donc en divisant par V :

$$[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f = \frac{x_f}{V}$$

Q4 En utilisant la loi de Kohlrausch, exprimer la conductivité σ_f à l'état final du mélange 1 en fonction de $[H_3O^+]_f$ et $[C_3H_7COO^-]_f$.

Les seuls ions présents en quantité notable sont $C_3H_7COO^-$ et H_3O^+. La loi de Kohlrausch donne :

$$\sigma_f = \lambda_1 \times [C_3H_7COO^-]_f + \lambda_2 \times [H_3O^+]_f$$

PIÈGE
L'acide butanoïque et l'eau sont des molécules, non chargées : ils ne conduisent pas le courant et n'apparaissent pas dans la somme.

Q5 Pour le mélange 1, vérifier que la concentration des ions H_3O^+ et $C_3H_7COO^-$ à l'état final est égale à $0{,}381\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $\sigma_f = 14{,}70\ \text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$; $\lambda_1 = 3{,}58\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda_2 = 35{,}0\ \text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $1\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

Comme $[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f$ (Q3), la relation de Q4 devient $\sigma_f = (\lambda_1 + \lambda_2) \times [H_3O^+]_f$, d'où :

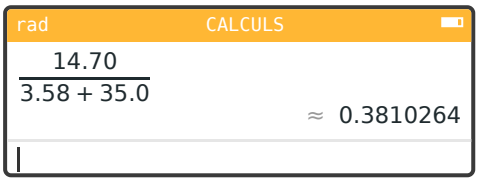
$$[H_3O^+]_f = \frac{\sigma_f}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{14{,}70}{3{,}58 + 35{,}0} = 0{,}381\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$$

$[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f = 0{,}381\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Avec σ en $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ et λ en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, la concentration sort en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, pas en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La conversion en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ doit être écrite.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme λ_1 et λ_2, les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



Q6 Donner l'expression littérale du quotient de réaction $Q_{r,f}$ à l'état final pour le mélange 1, calculer sa valeur, puis commenter.

Données utiles $[H_3O^+]_f = [C_3H_7COO^-]_f = 0{,}381\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $[C_3H_7COOH]_f = 9{,}619\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $C^0 = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{p}K_a = 4{,}82$

L'eau, solvant, n'intervient pas dans le quotient de réaction :

$$Q_{r,f} = \frac{[C_3H_7COO^-]_f \times [H_3O^+]_f}{[C_3H_7COOH]_f \times C^0}$$

Avec les concentrations en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$Q_{r,f} = \frac{0{,}381 \times 10^{-3} \times 0{,}381 \times 10^{-3}}{9{,}619 \times 10^{-3} \times 1} = 1{,}51 \times 10^{-5}$$

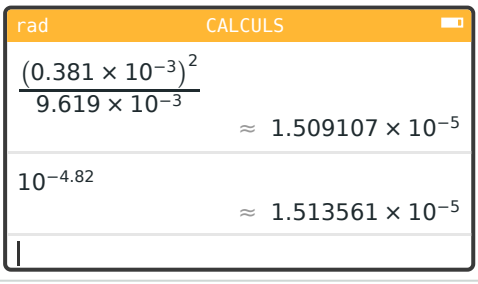
Commentaire : on retrouve la même valeur que pour les mélanges 2 et 3. Le quotient de réaction à l'état final ne dépend pas de la concentration apportée en acide. Il est égal à $K_a = 10^{-\text{p}K_a} = 10^{-4{,}82} = 1{,}51 \times 10^{-5}$: l'état final est un état d'équilibre.

$Q_{r,f} = 1{,}51 \times 10^{-5}$ pour le mélange 1, identique pour les trois mélanges et égal à K_a.

PIÈGE
Laisser les concentrations en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ donne $1{,}51 \times 10^{-2}$: C^0 vaut $1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, tout doit être converti en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

COMPRENDRE
$Q_{r,f}$ n'a pas d'unité : la division par C^0 sert à cela. À l'équilibre, $Q_{r,f} = K$, constante qui ne dépend que de la température.

À LA CALCULATRICE



Q7 Établir que la constante d'équilibre de la réaction de l'acide butanoïque avec l'eau s'écrit $K_a = \dfrac{\left(\frac{x_f}{V}\right)^2}{\left(C - \frac{x_f}{V}\right) \times C^0}$.

À l'équilibre, le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre :

$$K_a = Q_{r,f} = \frac{[\mathrm{C_3H_7COO^-}]_f \times [\mathrm{H_3O^+}]_f}{[\mathrm{C_3H_7COOH}]_f \times C^0}$$

D'après le tableau d'avancement (Q2 et Q3) : $[\mathrm{H_3O^+}]_f = [\mathrm{C_3H_7COO^-}]_f = \dfrac{x_f}{V}$.

Pour l'acide, avec $n_i = C \times V$: $[\mathrm{C_3H_7COOH}]_f = \dfrac{n_i - x_f}{V} = C - \dfrac{x_f}{V}$.

En remplaçant dans l'expression de K_a :

$$\boxed{K_a = \frac{\left(\frac{x_f}{V}\right)^2}{\left(C - \frac{x_f}{V}\right) \times C^0}}$$

MÉTHODE
Pour exprimer une constante d'équilibre avec l'avancement : écrire Q_r à l'équilibre, puis remplacer chaque concentration par la ligne « état final » du tableau divisée par V.

Q8 En déduire que, dans ce cas, le taux d'avancement de la réaction de l'acide butanoïque avec l'eau est proche de 12 %.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V = 1{,}00\ \mathrm{L}$; $K_a = 1{,}51 \times 10^{-5}$ (Q6) ; $C^0 = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

Taux d'avancement final : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$.

Si la réaction était totale, l'acide serait entièrement consommé : $n_i - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = C \times V = 1{,}0 \times 10^{-3} \times 1{,}00 = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$.

Avec $V = 1{,}00\ \mathrm{L}$ et $C^0 = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, la relation de Q7 s'écrit numériquement $K_a = \dfrac{x_f^2}{C - x_f}$, soit :

$$x_f^2 + K_a\, x_f - K_a\, C = 0$$

Discriminant : $\Delta = K_a^2 + 4\, K_a\, C = (1{,}51 \times 10^{-5})^2 + 4 \times 1{,}51 \times 10^{-5} \times 1{,}0 \times 10^{-3} = 6{,}06 \times 10^{-8}$.

$\Delta > 0$: deux solutions, dont une négative, impossible pour un avancement. On garde :

$$x_f = \frac{-K_a + \sqrt{\Delta}}{2} = \frac{-1{,}51 \times 10^{-5} + \sqrt{6{,}06 \times 10^{-8}}}{2} = 1{,}2 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$$

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{1{,}2 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 0{,}12, \text{ soit } 12\ \% \text{ : c'est la valeur annoncée.}$$

PIÈGE
Prendre x_{max} pour x_f, ou garder la racine négative. Un taux de 12 % signifie que l'acide réagit peu avec l'eau : c'est un acide faible.

COMPRENDRE
Vérification : cette solution est le mélange 3 du tableau ($C = 1{,}00\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$), où $x_f = [\mathrm{H_3O^+}]_f \times V = 1{,}15 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$, soit $\tau = 11{,}5\ \%$, proche de 12 %.

À LA CALCULATRICE

