Étude de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium

Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1 Calculer la masse m_0 d'acide benzoïque à peser pour préparer la solution S_0. La solution est-elle saturée ?

Données utiles $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_0 = 100\ \text{mL}$; $M_3 = 122\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; solubilité $s = 2{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

$m_0 = n_0 \times M_3 = C_0 \times V_0 \times M_3$

$m_0 = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3} \times 122 = 0{,}12\ \text{g}$

Concentration en masse de la solution : $t_0 = \dfrac{m_0}{V_0} = \dfrac{0{,}122}{100 \times 10^{-3}} = 1{,}2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

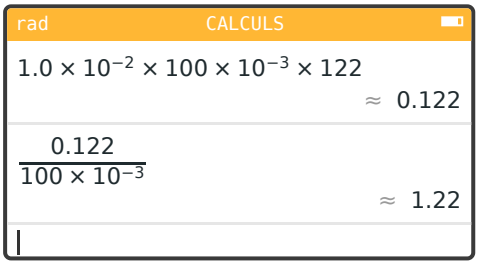
$t_0 < s$: on est en dessous de la masse maximale que l'on peut dissoudre par litre.

$m_0 = 0{,}12\ \text{g}$; la solution S_0 n'est pas saturée ($1{,}2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1} < 2{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).

PIÈGE
Comparer directement m_0 (en g) à la solubilité (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). Il faut d'abord ramener la masse dissoute à un litre de solution, ou calculer la masse maximale soluble dans 100 mL (0,24 g).

COMPRENDRE
C_0 est donnée avec deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux, soit $0{,}12$ g et non $0{,}122$ g.

À LA CALCULATRICE



A.2 Écrire l'équation de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.

L'acide benzoïque cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base (couple $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$).

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq})$$

COMPRENDRE
La double flèche s'impose : le pH mesuré (3,1) est supérieur à $-\log C_0 = 2{,}0$, donc l'acide n'a pas entièrement réagi. La transformation est limitée.

A.3 Tracer le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate et préciser l'espèce prédominante dans la solution S_0.

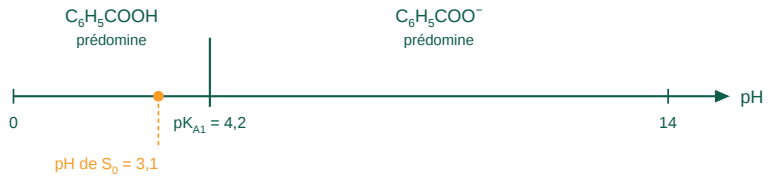
Données utiles $\text{p}K_{A1} = 4{,}2$; pH de S_0 : 3,1

Pour $\text{pH} < \text{p}K_{A1}$, la forme acide $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ prédomine ; pour $\text{pH} > \text{p}K_{A1}$, c'est la forme basique $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ (voir le diagramme).

Dans S_0 : $\text{pH} = 3{,}1 < \text{p}K_{A1} = 4{,}2$.

L'espèce prédominante dans S_0 est l'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$.

MÉTHODE
Sur un axe de pH, placer le $\text{p}K_A$ du couple, l'acide à gauche, la base à droite, puis situer le pH de la solution. La frontière correspond à $[\text{acide}] = [\text{base}]$.



A.3 · Diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate

A.4 Compléter le tableau d'avancement de l'annexe en fonction de C_0, V_0 et $x_{éq}$, avancement à l'état d'équilibre.

Quantité initiale d'acide benzoïque : $n_0 = C_0 V_0$. L'eau est le solvant, en large excès. Les nombres stœchiométriques valent tous 1.

À l'équilibre : $n(\mathrm{C_6H_5COOH}) = C_0V_0 - x_{éq}$; $n(\mathrm{C_6H_5COO^-}) = n(\mathrm{H_3O^+}) = x_{éq}$ (tableau complété en annexe).

PIÈGE
Écrire C_0 au lieu de C_0V_0 dans la première case : le tableau est en quantités de matière (mol), pas en concentrations.

Équation de la réaction		$C_6H_5COOH(aq)$ + $H_2O(l)$ ⇄ $C_6H_5COO^-(aq)$ + $H_3O^+(aq)$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	$C_0\ V_0$	solvant	0	0
État final (à l'équilibre)	$x_{éq}$	$C_0\ V_0 - x_{éq}$	solvant	$x_{éq}$	$x_{éq}$

A.4 · Annexe à rendre avec la copie : tableau d'avancement complété

A.5 Calculer l'avancement maximal x_{max}.

Données utiles $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_0 = 100$ mL

L'avancement maximal est celui d'une transformation totale. L'eau étant en excès, l'acide benzoïque serait alors entièrement consommé :

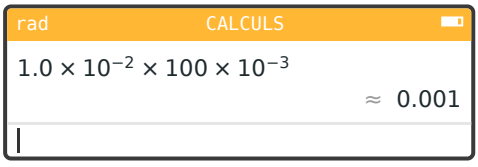
$C_0V_0 - x_{max} = 0$, donc $x_{max} = C_0V_0$

$x_{max} = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3}$

$x_{max} = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$

COMPRENDRE
x_{max} est une valeur théorique, calculée comme si la réaction allait jusqu'au bout. L'avancement réellement atteint, $x_{éq}$, se déduit du pH mesuré.

À LA CALCULATRICE



A.6 Montrer que le taux d'avancement final s'écrit $\tau = \dfrac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}{C_0}$, puis le calculer. Ce résultat est-il en accord avec la réponse à la question A.3 ?

Données utiles pH de S_0 : 3,1 ; $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $x_{max} = C_0V_0$ (A.5)

Par définition : $\tau = \dfrac{x_{éq}}{x_{max}}$.

D'après le tableau, $x_{éq} = n(\mathrm{H_3O^+})_{éq} = [\mathrm{H_3O^+}]_{éq} \times V_0$, et $x_{max} = C_0V_0$. Donc :

$$\tau = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} \times V_0}{C_0 \times V_0} = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}{C_0}$$

Avec $[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$ et $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$:

$$\tau = \frac{10^{-3{,}1}}{1{,}0 \times 10^{-2}} = 0{,}079$$

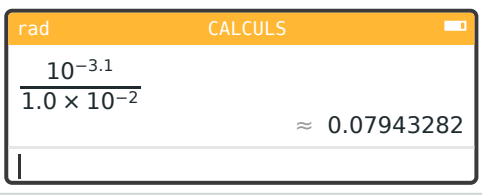
$\tau < 1$: la transformation est limitée. Moins de 8 % de l'acide introduit est devenu ion benzoate ; plus de 92 % reste sous forme $\mathrm{C_6H_5COOH}$.

$\tau = 0{,}079$, soit 7,9 % : l'acide benzoïque reste très majoritaire, en accord avec la question A.3.

PIÈGE
Oublier la seconde partie de la question. Le calcul de τ ne suffit pas : il faut relier explicitement la faible valeur trouvée à la prédominance de la forme acide.

MÉTHODE
Pour un acide seul dans l'eau, un taux d'avancement très inférieur à 1 caractérise un acide faible. Un acide fort donnerait $\tau = 1$, soit $\mathrm{pH} = -\log C_0$.

À LA CALCULATRICE



B.1.1 Au vu du mode opératoire, sur quels facteurs cinétiques se base-t-on pour réaliser plus rapidement cette synthèse ?

- La **température** : le mélange est porté à ébullition. Plus la température est élevée, plus la transformation est rapide.
- La **concentration des réactifs** : le permanganate de potassium est introduit en excès. Plus un réactif est concentré, plus la transformation est rapide.

Deux facteurs cinétiques : la température et la concentration des réactifs.

PIÈGE
Citer la pierre ponce : elle régule l'ébullition, ce n'est ni un catalyseur ni un facteur cinétique.

B.1.2 Préciser les avantages du chauffage à reflux du mélange réactionnel.

Chauffer à ébullition accélère la transformation. Les vapeurs qui s'élèvent se liquéfient au contact du réfrigérant à boules, parcouru par de l'eau froide, et retombent dans le ballon.

Le chauffage à reflux accélère la transformation sans perte de matière (ni réactifs, ni produits, ni solvant).

COMPRENDRE
Le réfrigérant reste ouvert en haut : le montage n'est jamais fermé, sinon la pression augmenterait dangereusement pendant le chauffage.

B.2.1 Déterminer la quantité de matière n_1 d'alcool benzylique contenue dans la prise d'essai de 2,0 mL.

Données utiles $V_1 = 2{,}0$ mL ; $\rho_1 = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M_1 = 108\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

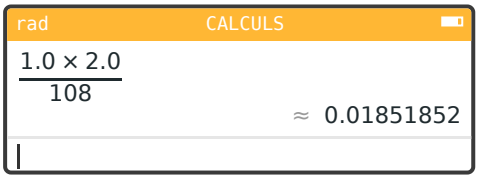
L'alcool benzylique est un liquide pur : $m_1 = \rho_1 \times V_1$, d'où

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1 \times V_1}{M_1} = \frac{1{,}0 \times 2{,}0}{108}$$

$n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

PIÈGE
Utiliser $n = C \times V$: l'alcool benzylique est un liquide pur, pas une solution. On passe par la masse volumique, ici en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ avec un volume en mL.

À LA CALCULATRICE



B.2.2 Calculer la quantité de matière théorique d'acide benzoïque que l'on pourrait obtenir si la transformation était totale, l'alcool benzylique étant le réactif limitant.

Données utiles $n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}$ mol (B.2.1)

Oxydation : 3 mol d'alcool benzylique donnent 3 mol d'ions benzoate. L'alcool étant limitant et entièrement consommé : $n(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2^-) = \frac{3}{3} n_1 = n_1$.

Cristallisation supposée totale : 1 mol d'ions benzoate donne 1 mol d'acide benzoïque, donc $n_{\text{th}} = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2^-) = n_1$.

$n_{\text{th}} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

MÉTHODE
Pour une synthèse en plusieurs étapes, suivre la matière d'une équation à l'autre avec les nombres stœchiométriques du réactif limitant et du produit de chaque étape.

B.2.3 En déduire le rendement r de la synthèse effectuée.

Données utiles $m = 140{,}4$ g (coupelle vide) ; $m' = 141{,}8$ g ; $M_3 = 122\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n_{\text{th}} = 1{,}85 \times 10^{-2}$ mol (B.2.2, valeur non arrondie)

Masse d'acide benzoïque obtenue : $m_{\text{exp}} = m' - m = 141{,}8 - 140{,}4 = 1{,}4$ g.

Masse théorique : $m_{\text{th}} = n_{\text{th}} \times M_3 = 1{,}85 \times 10^{-2} \times 122 = 2{,}3$ g.

$$r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{th}}} = \frac{1{,}4}{2{,}26} = 0{,}62$$

$r = 0{,}62$, soit $62\ \%$

PIÈGE

Prendre $m' = 141{,}8$ g comme masse de produit : la coupelle est comprise. Autre erreur : arrondir trop tôt, car $1{,}4 \div 2{,}3$ donne 61 % au lieu de 62 %.

COMPRENDRE

Le rendement est inférieur à 100 % : pertes lors des deux filtrations et du rinçage, acide benzoïque resté dissous dans le filtrat (sa solubilité n'est pas nulle).

À LA CALCULATRICE

