Spécialité : un conservateur alimentaire dans un soda

Bac S 2011 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Représenter l'ampoule à décanter après agitation, en précisant et en justifiant la position et la composition de chaque phase.

Données utiles $\rho(\text{toluène}) = 0{,}867\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $\rho(\text{eau}) = 1{,}000\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; solubilité de l'acide benzoïque : $3{,}4\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans l'eau, $110\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans le toluène

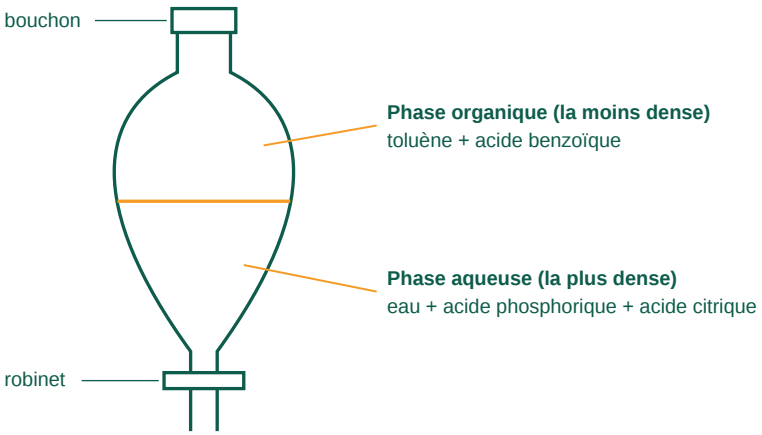
Position : l'eau et le toluène ne sont pas miscibles, il y a donc deux phases. Le toluène est moins dense que l'eau ($0{,}867 < 1{,}000$) : la phase organique surnage, la phase aqueuse est en bas.

Composition : l'acide benzoïque est environ 30 fois plus soluble dans le toluène que dans l'eau, il passe donc dans la phase organique. Les acides phosphorique et citrique, insolubles dans le toluène, restent dans l'eau.

En haut : phase organique (toluène + acide benzoïque). En bas : phase aqueuse (eau, acide phosphorique, acide citrique).

PIÈGE
Placer la phase organique en bas par habitude. La position se justifie toujours par les densités, et la composition par les solubilités : les deux arguments sont attendus.

COMPRENDRE
C'est une extraction liquide-liquide : l'espèce à isoler migre vers le solvant où elle est la plus soluble. Une faible part d'acide benzoïque reste malgré tout dans l'eau.



1.1 · Ampoule à décanter après agitation et décantation

1.2 Écrire l'équation de la réaction entre l'acide benzoïque et les ions hydroxyde HO^-.

L'acide benzoïque cède un ion H^+ à la base HO^- ; les ions sodium Na^+ sont spectateurs.

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

COMPRENDRE
L'ion benzoate formé est insoluble dans le toluène et très soluble dans l'eau ($400\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) : il quitte la phase organique pour la phase aqueuse. C'est le but de cette étape.

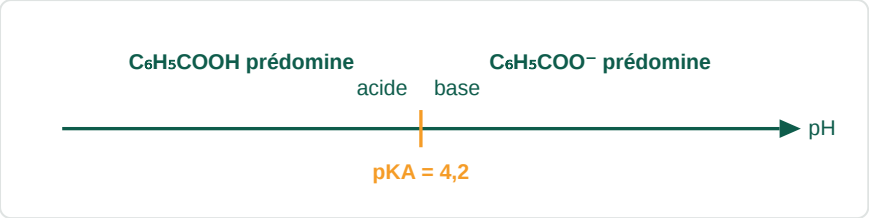
1.3.1 Construire le diagramme de prédominance de l'acide benzoïque et de sa base conjuguée.

Données utiles $\text{p}K_A(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = 4{,}2$

Sur un axe gradué en pH, la frontière est placée à $\text{pH} = \text{p}K_A = 4{,}2$.

Pour $\text{pH} < 4{,}2$, l'acide $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ prédomine ; pour $\text{pH} > 4{,}2$, l'ion benzoate $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ prédomine.

MÉTHODE
L'acide est toujours du côté des pH faibles, la base du côté des pH élevés. À $\text{pH} = \text{p}K_A$, les deux formes ont la même concentration.



1.3.1 · Diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate

1.3.2 Justifier l'apparition des cristaux blancs lorsque le pH est abaissé à environ 3.

Données utiles diagramme de prédominance (1.3.1) ; solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau : $3{,}4\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; l'acide benzoïque est un solide blanc

À $\text{pH} \approx 3 < \text{p}K_A$, c'est la forme acide qui prédomine : les ions benzoate réagissent avec les ions H_3O^+ apportés et redonnent l'acide benzoïque.

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

Or l'acide benzoïque est peu soluble dans l'eau ($3{,}4\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ contre $400\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ pour l'ion benzoate) : la solution est saturée et l'excès précipite.

Les cristaux blancs sont de l'acide benzoïque solide, forme prédominante à $\text{pH} = 3$ et peu soluble dans l'eau.

PIÈGE
S'arrêter à « l'acide prédomine ». Cela n'explique pas un solide : il faut ajouter l'argument de solubilité, qui est dans le tableau de données.

1.3.3 Citer un dispositif efficace utilisé au laboratoire pour récupérer les cristaux.

Une filtration sous pression réduite (filtration sur Büchner) : entonnoir Büchner et papier-filtre sur une fiole à vide reliée à une trompe à eau.

COMPRENDRE
L'aspiration rend la filtration plus rapide qu'une filtration simple et donne un solide mieux essoré, donc plus vite sec avant la pesée.

2.1 Écrire l'équation de la réaction chimique entre l'acide benzoïque et l'eau.

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

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

PIÈGE
Écrire une flèche simple. L'acide benzoïque est un acide faible : sa réaction avec l'eau n'est pas totale, d'où la double flèche et l'existence d'une constante d'équilibre.

2.2 Écrire l'expression littérale de la constante d'équilibre K associée à cette équation et calculer sa valeur.

Données utiles $\text{p}K_A = 4{,}2$

$$K = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]_{\text{éq}} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]_{\text{éq}}}$$

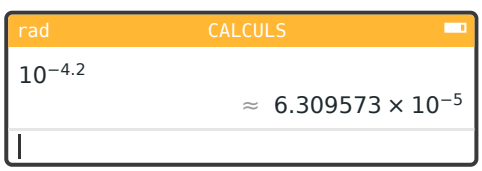
L'eau, solvant, n'apparaît pas dans l'expression. Cette constante est celle de la réaction de l'acide avec l'eau : c'est la constante d'acidité du couple, $K = K_A = 10^{-\text{p}K_A}$.

$K = 10^{-4{,}2}$

$K = K_A = 6{,}3 \times 10^{-5}$

COMPRENDRE
K est sans unité. Le $\text{p}K_A$ a un seul chiffre après la virgule : on garde deux chiffres significatifs. $K \ll 1$ confirme que l'acide est faible.

À LA CALCULATRICE



3.1 Déterminer la concentration C_0 de la solution S_0 préparée.

Données utiles $V_1 = 20{,}0\ \text{mL}$; $C_B = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 17{,}2\ \text{mL}$

Réaction support du titrage :
$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques, ici une mole pour une mole :

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})_{\text{initial}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C_0\,V_1 = C_B\,V_E$$

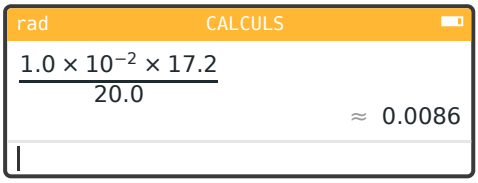
$$C_0 = \frac{C_B\,V_E}{V_1} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2} \times 17{,}2}{20{,}0}$$

$C_0 = 8{,}6 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

COMPRENDRE
Les deux volumes peuvent rester en mL, car seul leur rapport intervient. Deux chiffres significatifs, comme C_B, la donnée la moins précise.

MÉTHODE
Titrage : 1) équation de la réaction support ; 2) relation entre quantités de matière à l'équivalence, avec les nombres stœchiométriques ; 3) expression littérale de la concentration cherchée, puis calcul.

À LA CALCULATRICE



3.2 En déduire la masse m_0 d'acide pur correspondant.

Données utiles $C_0 = 8{,}6 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (3.1) ; $V_0 = 250{,}0\ \text{mL}$; $M = 122\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Tous les cristaux ont été dissous dans la solution S_0, de volume V_0. La quantité d'acide benzoïque qu'elle contient est $n_0 = C_0\,V_0$, d'où :

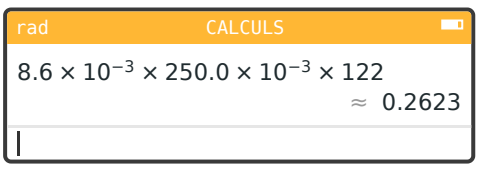
$$m_0 = n_0\,M = C_0\,V_0\,M$$

$m_0 = 8{,}6 \times 10^{-3} \times 250{,}0 \times 10^{-3} \times 122 = 0{,}262\ \text{g}$

$m_0 = 0{,}26\ \text{g}$

PIÈGE
Utiliser $V_1 = 20{,}0\ \text{mL}$: on obtiendrait la masse d'acide dans la prise d'essai, pas dans les cristaux. Penser aussi à convertir V_0 en litres.

À LA CALCULATRICE



3.3 Déterminer le pourcentage d'acide benzoïque pur contenu dans les cristaux extraits de la boisson au cola.

Données utiles $m_0 = 0{,}262\ \text{g}$ (3.2) ; masse des cristaux $m = 0{,}38\ \text{g}$

Le pourcentage massique d'acide pur est le rapport de la masse d'acide benzoïque à la masse des cristaux pesés :

$$p = \frac{m_0}{m} = \frac{0{,}262}{0{,}38} = 0{,}69$$

Les cristaux contiennent environ $69\ \%$ d'acide benzoïque pur.

COMPRENDRE
Le calcul utilise la valeur non arrondie de m_0 ; avec $0{,}26\ \text{g}$ on trouverait $68\ \%$. Les cristaux ne sont donc pas purs : ils contiennent d'autres espèces ou sont encore humides.

À LA CALCULATRICE

