

SYNTÈSE D'UN CONSERVATEUR

L'acide benzoïque est un conservateur présent dans de nombreuses boissons sans alcool. Son code européen est E 210. Il peut être préparé par synthèse en laboratoire.

Principe de cette synthèse : l'oxydation, en milieu basique et à chaud de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en excès, conduit à la formation d'ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$ et de dioxyde de manganèse MnO_2 (solide brun). Cette transformation est totale.

Après réduction, par l'éthanol, des ions permanganate MnO_4^- excédentaires et élimination du dioxyde de manganèse MnO_2 , on obtient une solution incolore contenant les ions benzoate.

L'addition d'acide chlorhydrique à cette solution permet la cristallisation de l'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ (solide blanc), que l'on recueille après filtration, lavage et séchage.

Certaines aides au calcul comportent des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

1. Questions relatives au protocole expérimental

1.1. Donner, sans justifier, le nom des parties manquantes (verrerie, nom de montage...), notées de ① à ③ dans le texte de l'encadré ci-dessous décrivant le protocole expérimental.

1/ Formation de l'acide benzoïque :

Après avoir versé dans un ballon bicol posé sur un valet et sous la hotte un volume $V_1 = 2,0\text{ mL}$ d'alcool benzylique puis bouché l'ensemble, on ajoute environ 20 mL de soude de concentration 2 mol.L^{-1} à l'aide d'①. On introduit ensuite quelques grains de pierre ponce dans le ballon pour réguler l'ébullition lors du chauffage.

On réalise alors ②, permettant de chauffer le mélange sans perte de matière ni surpression.

Après avoir versé lentement une solution aqueuse de permanganate de potassium dans le ballon, on porte le mélange à ébullition douce pendant 10 minutes environ. On ajoute quelques millilitres d'éthanol afin d'éliminer le réactif en excès, puis on refroidit le ballon et son mélange.

2/ Cristallisation de l'acide benzoïque :

On filtre le mélange obtenu, rapidement, en utilisant ③ et on recueille un filtrat limpide et incolore. Le filtrat est ensuite versé dans un becher et refroidi dans la glace.

On ajoute prudemment $8,0\text{ mL}$ d'acide chlorhydrique concentré goutte à goutte et on observe la formation du précipité blanc d'acide benzoïque. On filtre et on rince avec un peu d'eau bien froide.

On récupère les cristaux d'acide benzoïque sur une coupelle préalablement pesée dont la masse est $m = 140,4\text{ g}$.

On les sèche dans une étuve, puis on pèse l'ensemble et on trouve une masse $m' = 141,8\text{ g}$.

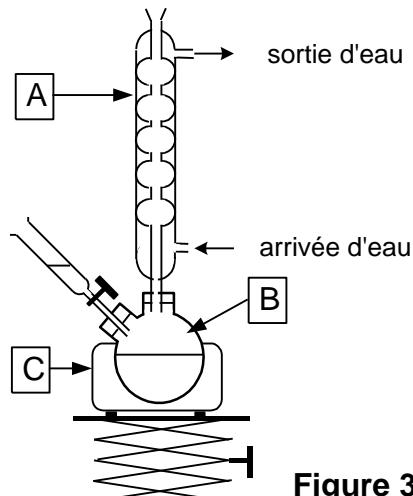


Figure 3

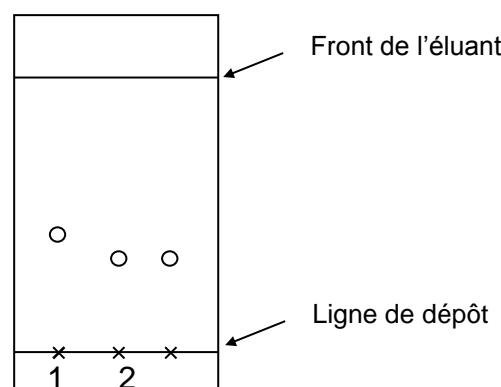
1.2. Nommer sur la copie les éléments du montage de la figure 3 ci-dessus repérés par les lettres A, B et C.

1.3. Afin de caractériser le produit formé, on réalise une chromatographie sur couche mince.

Dans trois tubes à essais, on verse 1 mL d'éluant E ; dans le tube 1 on ajoute une goutte d'alcool benzylique, dans le tube 2 une pointe de spatule du solide obtenu et dans le tube 3 une pointe de spatule d'acide benzoïque pur.

On réalise une chromatographie sur couche mince à partir du contenu des trois tubes et l'éluant E puis on révèle le chromatogramme sous rayonnement UV.

Interpréter le chromatogramme réalisé lors de la synthèse et conclure quant à la nature du solide obtenu.



2. Rendement de la synthèse

Répondre, dans cette seconde partie, en choisissant la bonne réponse. Justifier clairement ce choix (définition, expression littérale et application numérique, tableau d'avancement ...).

Une réponse non justifiée ne sera pas prise en compte.

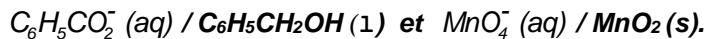
Données :

Nom	Alcool benzylque	Permanganate de potassium	Acide benzoïque
Formule	$C_6H_5CH_2OH$	$KMnO_4$	$C_6H_5CO_2H$
Masse molaire en $g.mol^{-1}$	$M_1 = 108$	$M_2 = 158$	$M_3 = 122$
Masse volumique en $g.mL^{-1}$	$\rho_1 = 1,0$		$\rho_3 = 1,3$

2.1. L'oxydation se fait en milieu basique. L'équation chimique de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre l'alcool benzylque et les ions permanganate s'écrit :



Les couples oxydant / réducteur mis en jeu lors de la synthèse de l'acide benzoïque sont les suivants :



Choisir les deux demi-équations électroniques associées à la transformation décrite ci-dessus.

- a) $C_6H_5CO_2^-(aq) + 4 e^- + 4 H_2O (1) = C_6H_5CH_2OH (1) + 5 HO^-(aq)$
- b) $C_6H_5CO_2^-(aq) + 4 e^- + 5 H^+(aq) = C_6H_5CH_2OH (1) + H_2O (1)$
- c) $MnO_4^-(aq) + 8 H^+(aq) + 5 e^- = Mn^{2+}(aq) + 4 H_2O (1)$
- d) $MnO_4^-(aq) + 3 e^- + 2 H_2O (1) = MnO_2(s) + 4 HO^-(aq)$
- e) $MnO_4^-(aq) + 3 e^- + 4 H^+(aq) = MnO_2(s) + 2 H_2O (1)$

2.2. La quantité n_1 d'alcool benzylque contenue dans la prise d'essai de 2,0 mL vaut :

- a) $n_1 = 1,9 \times 10^{-2} \text{ mol}$;
- b) $n_1 = 5,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$;
- c) $n_1 = 1,9 \times 10^{-5} \text{ mol}$.

Pour toute la suite, on précise que la quantité d'ions permanganate apportée vaut $n_2 = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

2.3. Lors de l'oxydation de l'alcool benzylque, les ions permanganate doivent être introduits en excès.

Choisir la bonne proposition (on pourra s'aider d'un tableau d'évolution du système).

- a) Les ions permanganate ont été introduits en excès.
- b) Les ions permanganate n'ont pas été introduits en excès.

2.4. Lors de la cristallisation, le passage des ions benzoate à l'acide benzoïque se fait selon l'équation chimique : $C_6H_5CO_2^-(aq) + H_3O^+ = C_6H_5CO_2H(s) + H_2O (1)$

La masse théorique maximale m_{\max} d'acide benzoïque qu'il aurait été possible d'obtenir vaut :

- a) $m_{\max} = 1,6 \times 10^{-2} \text{ g}$;
- b) $m_{\max} = 6,6 \text{ g}$;
- c) $m_{\max} = 2,3 \text{ g}$.

2.5. Le rendement r de la synthèse effectuée vaut : a) $r = 21 \%$; b) $r = 61 \%$; c) $r = 88 \%$.

Correction

1. Questions relatives au protocole expérimental

1.1. Formation de l'acide benzoïque : « Après avoir versé dans un ballon bicol posé sur un valet et sous la hotte un volume $V_1 = 2,0$ mL d'alcool benzylique puis bouché l'ensemble, on ajoute environ 20 mL de soude de concentration 2 mol.L⁻¹ à l'aide d'une **éprouvette graduée** ①. On introduit ensuite ...

On réalise alors un **chauffage à reflux** ②, permettant de chauffer le mélange sans perte de matière, si surpression.

Cristallisation de l'acide benzoïque : On filtre le mélange obtenu, rapidement, en utilisant un **dispositif de filtration sous vide** ③.

1.2. **A** : réfrigérant à boules **B** : ballon bicol **C** : chauffe ballon

1.3. Le chromatogramme montre que le tube 2 ne contient qu'une seule espèce chimique (présence d'une seule tache). De plus cette tache est située à la même hauteur que celle de l'acide benzoïque du tube 3. Le solide obtenu est de l'acide benzoïque pur.

2. Rendement de la synthèse

2.1. Couple C₆H₅CO₂⁻ (l) / C₆H₅CH₂OH (l) :

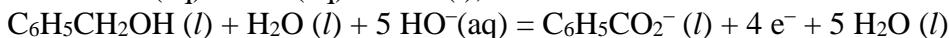
L'alcool benzylique est oxydé en ions benzoate,



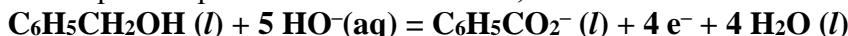
La réaction a lieu en milieu basique, afin de faire disparaître les ions H⁺ on ajoute autant de HO⁻ de part et d'autre du =, qu'il y a de H⁺.



Comme H⁺(aq) + HO⁻(aq) = H₂O (l), il vient

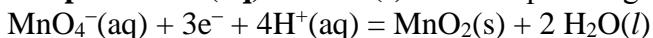


En simplifiant pour les molécules d'eau, on obtient finalement :



Ce qui correspond à la **demi-équation a**).

Couple MnO₄⁻(aq) / MnO₂(s) : L'ion permanganate est réduit en dioxyde de manganèse,



En milieu basique, MnO₄⁻(aq) + 3e⁻ + 4H⁺(aq) + 4HO⁻(aq) = MnO₂(s) + 2 H₂O(l) + 4HO⁻(aq)

soit MnO₄⁻(aq) + 3e⁻ + 4H₂O(l) = MnO₂(s) + 2 H₂O(l) + 4HO⁻(aq)

finalement **MnO₄⁻(aq) + 3e⁻ + 2H₂O(l) = MnO₂(s) + 4HO⁻(aq)**

Ce qui correspond à la **demi-équation d**).

2.2. Quantité n_1 d'alcool benzylique contenue dans la prise d'essai de 2,0 mL vaut :

$$n = \frac{m}{M} \text{ et } \rho = \frac{m}{V} \text{ soit } m = \rho \cdot V, \text{ finalement } n = \frac{\rho \cdot V}{M}$$

$$n = \frac{1,0 \times 2,0}{108} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ mol correspond à la proposition a)}$$

2.3. Déterminons quel réactif est limitant.

Si les ions permanganate constituent le réactif limitant alors $n_2 - 4 x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = \frac{n_2}{4}$

$$\text{alors } x_{\max} = \frac{3,0 \times 10^{-2}}{4} = 0,75 \times 10^{-2} = 7,5 \times 10^{-1} \times 10^{-2} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Si l'alcool benzylique constitue le réactif limitant alors $n_1 - 3 x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = \frac{n_1}{3}$

$$x_{\max} = \frac{1,9 \times 10^{-2}}{3} = 0,63 \times 10^{-2} = 6,3 \times 10^{-1} \times 10^{-2} = 6,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Le réactif limitant est celui qui conduit à la valeur de l'avancement la plus faible. Il s'agit donc de l'alcool benzylique. Dès lors les ions permanganate ne sont pas totalement consommés, ils ont été **introduits en excès**. **La proposition a) est la bonne.**

2.4. D'après l'équation chimique de la réaction d'oxydoréduction qui se produit entre l'alcool benzylique et les ions permanganate, l'alcool benzylique étant le réactif limitant, la transformation étant considérée comme totale, on peut dire que $n_1 = n_{\text{benzoate}}$.

De plus d'après l'équation chimique modélisant le passage des ions benzoate à l'acide benzoïque, on a n_{benzoate}

$$= n_{\text{ac.benzoïque}} = n_3 \quad \text{Ainsi } n_3 = n_1, \quad n_3 = \frac{m_{\text{max}}}{M_3} \quad \text{alors } m_{\text{max}} = n_3 \cdot M_3 \quad \text{ou} \quad \mathbf{m_{\text{max}} = n_1 \cdot M_3}$$

$m_{\text{max}} = 1,9 \times 10^{-2} \times 122 = 2,3 \times 10^2 \times 10^{-2} = 2,3 \text{ g. La proposition c) est correcte.}$

2.5. Rendement $r : r = \frac{\text{masse obtenue}}{\text{masse théorique}}$

Masse d'acide benzoïque effectivement obtenue = masse (coupelle + acide) – masse (coupelle)

$$\mathbf{m_3 = m' - m} \quad m_3 = 141,8 - 140,4 \quad \mathbf{m_3 = 1,4 \text{ g}} \quad \boxed{\text{rendement } r = \frac{m_3}{m_{\text{max}}} = \frac{m' - m}{m_{\text{max}}}}$$

$$r = \frac{141,8 - 140,4}{2,3} = \frac{1,4}{2,3} = 0,61 = 61\%. \text{ La proposition b) est correcte.}$$