Une synthèse non totale, l'estérification

Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q.1 Choisir, parmi les trois montages proposés, un montage adapté à la synthèse de l'ester. Indiquer l'intérêt de l'élément 1 et celui de l'élément 2 sur ce montage.

Le protocole demande un chauffage à reflux : le réfrigérant à eau doit être vertical, placé au-dessus du ballon. C'est le cas du montage 2.

Élément 1 : le chauffe-ballon. Il élève la température du mélange ; la température étant un facteur cinétique, la transformation est plus rapide.

Élément 2 : le réfrigérant à eau (à boules). Les vapeurs s'y liquéfient et retombent dans le ballon : on chauffe sans perdre de matière.

Montage 2 : l'élément 1 chauffe pour accélérer la transformation, l'élément 2 condense les vapeurs pour éviter les pertes de matière.

PIÈGE
Nommer les éléments ne suffit pas : la question porte sur leur intérêt. Il faut dire « accélérer » pour le chauffage et « éviter les pertes » pour le réfrigérant.

COMPRENDRE
Le montage 1 est une distillation : les vapeurs condensées partent dans l'erlenmeyer au lieu de revenir dans le ballon. Le montage 3 comporte un tube latéral qui recueille une partie du liquide condensé.

Q.2 Indiquer le rôle de l'acide sulfurique et l'intérêt de son ajout.

L'acide sulfurique ne figure pas dans l'équation de la réaction : il n'est ni un réactif ni un produit. Il joue le rôle de catalyseur.

Son ajout augmente la vitesse de la transformation : l'état final est atteint en moins de temps.

L'acide sulfurique est un catalyseur : il accélère l'estérification sans apparaître dans son équation.

PIÈGE
Un catalyseur ne change pas l'état final : le taux d'avancement à l'équilibre et la masse d'ester obtenue restent les mêmes, seule la durée diminue.

Q.3 Calculer la masse d'ester qui serait obtenue si la réaction était totale.

Données utiles $n_0 = 0{,}150$ mol d'acide et autant d'alcool ; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Les nombres stœchiométriques valent tous 1 et les réactifs sont introduits en même quantité n_0 : le mélange est stœchiométrique. Si la réaction était totale, $n_0 - x_{max} = 0$, donc $x_{max} = n_0 = 0{,}150$ mol et $n_{ester,max} = x_{max} = n_0$.

Masse molaire de l'ester $\mathrm{CH_3COOC_2H_5}$, de formule brute $\mathrm{C_4H_8O_2}$:

$$M_{ester} = 4 \times 12{,}0 + 8 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 88{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$$

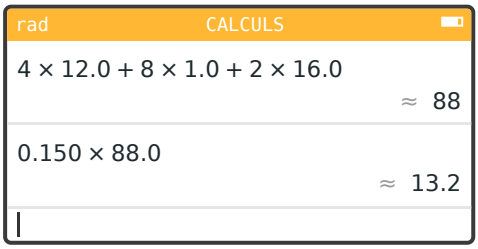
$$m_{max} = n_0 \times M_{ester} = 0{,}150 \times 88{,}0$$

$$\boxed{m_{max} = 13{,}2\ \mathrm{g}}$$

PIÈGE
Se tromper en comptant les atomes de l'ester : $\mathrm{CH_3COOC_2H_5}$ contient 4 C, 8 H et 2 O.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme $0{,}150$ mol et $88{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



Q.4 Rappeler la définition du taux d'avancement τ, puis montrer que la constante d'équilibre s'écrit $K = \dfrac{\tau^2}{(1-\tau)^2}$.

Données utiles $Q_r = \dfrac{n_{ester} \times n_{eau}}{n_{acide} \times n_{alcool}}$; $x_{max} = n_0$ (Q.3)

Le taux d'avancement final est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$.

Pour un avancement x, le tableau d'avancement donne $n_{acide} = n_{alcool} = n_0 - x$ et $n_{ester} = n_{eau} = x$.

À l'état final, le système est à l'équilibre : $Q_{r,éq} = K$, soit

$$K = \frac{x_f \times x_f}{(n_0 - x_f) \times (n_0 - x_f)} = \frac{x_f^2}{(n_0 - x_f)^2}$$

Comme $x_{max} = n_0$, on a $x_f = \tau\, n_0$:

$$K = \frac{\tau^2 n_0^2}{(n_0 - \tau\, n_0)^2} = \frac{\tau^2 n_0^2}{n_0^2(1-\tau)^2}$$

$\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$ et, après simplification par n_0^2, $K = \dfrac{\tau^2}{(1-\tau)^2}$

PIÈGE
Oublier de dire que $Q_r = K$ seulement à l'équilibre, ou ne pas justifier $x_{max} = n_0$.

MÉTHODE
Pour relier K à τ : exprimer les quantités finales avec x_f, écrire $Q_{r,éq} = K$, puis remplacer x_f par $\tau\, x_{max}$. La quantité initiale se simplifie quand le mélange est stœchiométrique.

Q.5 Choisir, en justifiant, parmi les deux solutions τ_1 et τ_2, le taux d'avancement final réel de la réaction.

Données utiles $K = 4{,}0$; $\tau_1 = 0{,}67$; $\tau_2 = 2{,}0$

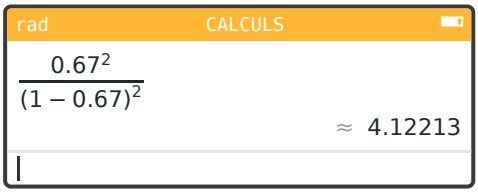
L'avancement final ne peut pas dépasser l'avancement maximal : $x_f \leqslant x_{max}$, donc $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} \leqslant 1$.

La solution $\tau_2 = 2{,}0$ est supérieure à 1 : elle n'a pas de sens chimique (la quantité d'acide restante $n_0(1-\tau)$ serait négative).

$\tau = \tau_1 = 0{,}67$: la transformation n'est pas totale.

COMPRENDRE
Vérification : avec $\tau_1 = 0{,}67$, on retrouve $K \approx 4$ (4,1 à cause de l'arrondi de $2/3$). Les deux racines vérifient l'équation ; seule la chimie permet de trancher.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Déterminer la masse d'ester réellement produite lors de cette synthèse.

Données utiles $\tau = 0{,}67$ (Q.5) ; $n_0 = 0{,}150$ mol ; $M_{ester} = 88{,}0$ g · mol^{-1} (Q.3)

À l'état final, $n_{ester} = x_f = \tau \times x_{max} = \tau \times n_0$.

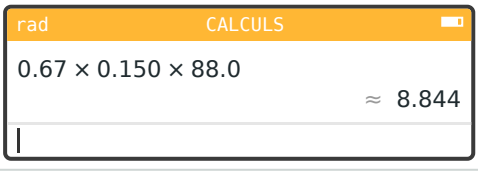
$$m_{ester} = \tau \times n_0 \times M_{ester} = 0{,}67 \times 0{,}150 \times 88{,}0$$

$m_{ester} = 8{,}8$ g

PIÈGE
Donner 13,2 g, la masse maximale : la réaction s'arrête à l'équilibre, bien avant la disparition des réactifs.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, car $\tau = 0{,}67$ n'en a que deux. On peut aussi écrire $m_{ester} = \tau \times m_{max}$ avec $m_{max} = 13{,}2$ g (Q.3).

À LA CALCULATRICE



Q.7 Proposer deux modifications des paramètres expérimentaux permettant d'augmenter le rendement de cette estérification.

Première modification : introduire l'un des deux réactifs (l'acide ou l'alcool) en large excès. L'excès augmente le dénominateur de Q_r : l'équilibre est atteint pour un avancement plus grand, le réactif limitant est davantage consommé.

Seconde modification : éliminer l'un des produits au fur et à mesure de sa formation, par exemple l'eau avec le montage 3. Q_r reste alors inférieur à K et la transformation se poursuit dans le sens direct.

Mettre un réactif en excès ; retirer l'eau (ou l'ester) du milieu au cours de la synthèse.

PIÈGE
Proposer d'ajouter du catalyseur ou de chauffer plus longtemps : ces choix jouent sur la durée de la synthèse, pas sur le rendement une fois l'équilibre atteint.

COMPRENDRE
Tant que $Q_r < K$, le système évolue dans le sens direct. Augmenter le dénominateur de Q_r ou diminuer son numérateur repousse l'équilibre vers la formation d'ester.