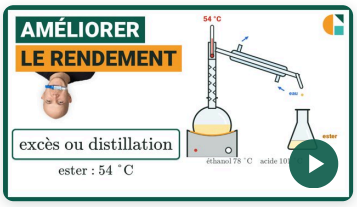
Améliorer le rendement d'une synthèse : excès de réactif, élimination d'un produit

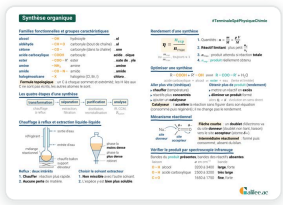
Synthèse organique • Compétence 10 • Terminale spécialité physique-chimie



Vidéo du cours et deux exercices gratuits supplémentaires !

Exercices corrigés pas à pas, sur la page de la compétence.

galilee.ac/V/T9-10



La fiche de cours

Tout le chapitre sur une page.

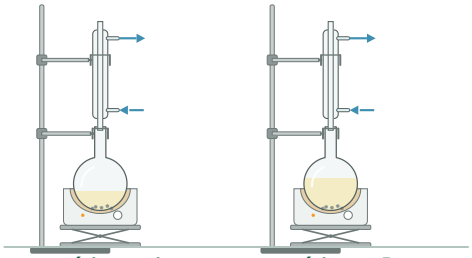
galilee.ac/F/synthese-organique

Exercice 1 — L'arôme de poire en excès d'alcool

L'éthanoate de propyle, à l'odeur de poire, se forme par une transformation limitée :

$$C_2H_4O_2 + C_3H_8O \rightleftarrows C_5H_{10}O_2 + H_2O$$

Expérience A : $0{,}150\ \text{mol}$ d'acide éthanoïque et $0{,}150\ \text{mol}$ de propan-1-ol donnent $0{,}100\ \text{mol}$ d'ester. Expérience B : $0{,}150\ \text{mol}$ d'acide éthanoïque et $0{,}450\ \text{mol}$ de propan-1-ol donnent $0{,}135\ \text{mol}$ d'ester. Données : rendement $\eta = \dfrac{n(\text{ester})}{x_{\max}}$; quotient de réaction $Q_r = \dfrac{n(\text{ester}) \times n(\text{eau})}{n(\text{acide}) \times n(\text{alcool})}$; un système évolue de façon que Q_r se rapproche de K.



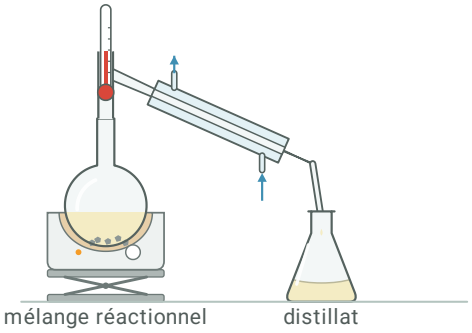
expérience A
mélange équimolaire

expérience B
un réactif en excès

1) Calculer le rendement de l'expérience A.
2) Identifier le réactif limitant de l'expérience B.
3) Calculer le rendement de l'expérience B.
4) Calculer la quantité de matière de réactif limitant qui reste à la fin de l'expérience B.
5) Expliquer pourquoi l'excès d'un réactif augmente le rendement.

Exercice 2 Distiller l'ester

Le méthanoate de méthyle est synthétisé par une transformation limitée, de constante $K = 4{,}0$: acide méthanoïque + méthanol $\rightleftarrows$ méthanoate de méthyle + eau. On distille le mélange pendant la réaction (montage et températures d'ébullition ci-contre). Données : lors d'une distillation, l'espèce de plus basse température d'ébullition se vaporise en premier ; quotient de réaction $Q_r = \dfrac{n(\text{ester}) \times n(\text{eau})}{n(\text{acide}) \times n(\text{alcool})}$; un système évolue de façon que Q_r se rapproche de K.

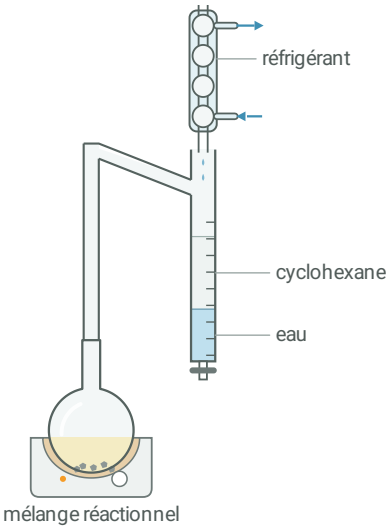


espèce	$\theta_{éb}$
acide méthanoïque	$101\ °C$
méthanol	$65\ °C$
méthanoate de méthyle	$32\ °C$
eau	$100\ °C$

1) Identifier l'espèce qui quitte le ballon en premier.
2) Expliquer l'effet de l'élimination de cette espèce au fur et à mesure de la réaction.
3) Après quelques minutes de distillation, le ballon contient $0{,}30\ \text{mol}$ d'acide, $0{,}30\ \text{mol}$ d'alcool, $0{,}050\ \text{mol}$ d'ester et $0{,}70\ \text{mol}$ d'eau. Calculer le quotient de réaction à cet instant.
4) Prévoir le sens d'évolution du système à cet instant.

Exercice 3 Type bac : l'appareil de Dean-Stark

On chauffe à reflux $0{,}100\ \text{mol}$ d'acide éthanoïque, $0{,}100\ \text{mol}$ de butan-1-ol, du cyclohexane et quelques gouttes d'acide sulfurique. Les vapeurs condensées tombent dans un tube latéral gradué (ci-contre) : l'eau s'y rassemble au fond et ne retourne pas dans le ballon. On y recueille $1{,}60\ \text{mL}$ d'eau.



$$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \text{C}_4\text{H}_{10}\text{O} \rightleftarrows \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Données : $K = 4{,}0$; sans élimination d'eau, un mélange équimolaire s'arrête à un rendement de $67\ \%$; $\rho(\text{eau}) = 1{,}00\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M(\text{eau}) = 18{,}0$; $M(\text{ester}) = 116{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1) Calculer la quantité de matière d'eau recueillie.
2) Calculer le rendement de la synthèse.
3) Calculer la masse d'ester formée.
4) Expliquer comment évolue le quotient de réaction tant que l'eau quitte le ballon.
5) Dire ce que modifie l'acide sulfurique, un catalyseur.

Améliorer le rendement d'une synthèse : excès de réactif, élimination d'un produit

Synthèse organique • Compétence 10 • Terminale spécialité physique-chimie

Exercice 1 L'arôme de poire en excès d'alcool

1) Les deux réactifs sont en même quantité et leurs nombres stœchiométriques valent 1 : $x_{\max} = 0{,}150\ \text{mol}$.

$$\eta_{\text{A}} = \frac{0{,}100}{0{,}150}$$

$$\boxed{\eta_{\text{A}} \approx 0{,}667 = 66{,}7\ \%}$$

2) Les nombres stœchiométriques valent 1 : le réactif limitant est celui dont la quantité de matière est la plus petite, l'acide éthanoïque ($0{,}150\ \text{mol}$ contre $0{,}450\ \text{mol}$).

$$\boxed{\text{l'acide éthanoïque}}$$

3) L'avancement maximal est toujours $x_{\max} = 0{,}150\ \text{mol}$: le rendement se calcule sur le réactif limitant.

$$\eta_{\text{B}} = \frac{0{,}135}{0{,}150}$$

$$\boxed{\eta_{\text{B}} = 0{,}900 = 90{,}0\ \%}$$

4) Chaque mole d'ester formée consomme une mole de réactif limitant :

$$\boxed{n_{\text{restant}} = 0{,}150 - 0{,}135 = 1{,}50 \times 10^{-2}\ \text{mol}}$$

5) Le réactif en excès figure au dénominateur du quotient de réaction $Q_{\text{r}} = \dfrac{n(\text{ester}) \times n(\text{eau})}{n(\text{acide}) \times n(\text{alcool})}$: pour un même avancement, Q_{r} est plus petit. Il atteint K plus tard : le système évolue davantage dans le sens direct. La constante K ne change pas, et l'eau formée reste dans le mélange.

Exercice 2 Distiller l'ester

1) La température d'ébullition la plus basse du tableau est $32\ ^\circ\text{C}$: c'est l'ester (méthanoate de méthyle) qui se vaporise en premier.

$$\boxed{\text{l'ester } (32\ ^\circ\text{C})}$$

2) C'est un produit de la réaction : son élimination empêche la réaction inverse et fait baisser le quotient de réaction. Le système évolue davantage dans le sens direct : le rendement augmente.

$$\boxed{\text{le rendement augmente}}$$

3) Les espèces sont dans le même volume, qui se simplifie ; l'eau n'est pas le solvant, elle figure dans le quotient :

$$Q_{\text{r}} = \frac{n(\text{ester}) \times n(\text{eau})}{n(\text{acide}) \times n(\text{alcool})} = \frac{0{,}050 \times 0{,}70}{0{,}30 \times 0{,}30}$$

$$\boxed{Q_{\text{r}} \approx 0{,}39}$$

4) $Q_{\text{r}} \approx 0{,}39 < K = 4{,}0$: le système évolue dans le sens direct : la synthèse de l'ester se poursuit.

$$\boxed{\text{sens direct}}$$

Exercice 3 Type bac : l'appareil de Dean-Stark

1) La masse d'eau recueillie est $m = \rho \times V = 1{,}00 \times 1{,}60 = 1{,}60$ g.

$$n(\text{eau}) = \frac{1{,}60}{18{,}0}$$

$\boxed{n(\text{eau}) \approx 8{,}89 \times 10^{-2} \text{ mol}}$

2) Chaque mole d'eau formée s'accompagne d'une mole d'ester : l'avancement final est $x_\text{f} \approx 8{,}89 \times 10^{-2}$ mol. Le mélange est équimolaire : $x_\text{max} = 0{,}100$ mol.

$$\eta = \frac{x_\text{f}}{x_\text{max}} = \frac{8{,}89 \times 10^{-2}}{0{,}100}$$

$\boxed{\eta = 0{,}889 = 88{,}9\ \%}$

Sans le tube latéral, ce mélange équimolaire s'arrêterait à $67\ \%$ (pour $K = 4$).

3) Il s'est formé autant d'ester que d'eau :

$$m(\text{ester}) = x_\text{f} \times M(\text{ester}) = 8{,}89 \times 10^{-2} \times 116{,}0$$

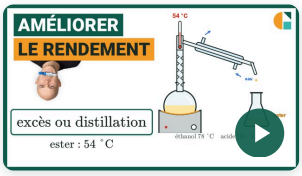
$\boxed{m(\text{ester}) \approx 10{,}3 \text{ g}}$

4) L'eau est un produit : sa quantité figure au numérateur de Q_r. Comme elle quitte le ballon dès qu'elle se forme, Q_r reste inférieur à K et la transformation se poursuit dans le sens direct, bien au-delà de $67\ \%$.

$\boxed{Q_\text{r} < K \text{ : sens direct}}$

5) Un catalyseur augmente la vitesse de la transformation : l'état final est atteint plus tôt. Il ne change ni la constante d'équilibre, ni le rendement final, ni la quantité d'eau formée.

$\boxed{\text{la vitesse seulement}}$



Vidéo du cours et deux exercices gratuits supplémentaires !

Exercices corrigés pas à pas, sur la page de la compétence.

galilee.ac/V/T9-10

Améliorer le rendement d'une synthèse : exercices corrigés PDF (Terminale spécialité physique-chimie). Améliorer le rendement d'une transformation limitée comme l'estérification (K = 4) : introduire un réactif en excès, ou éliminer un produit au fur et à mesure (distillation de l'ester le plus volatil, eau piégée dans un appareil de Dean-Stark). Le quotient de réaction reste alors inférieur à K et le système évolue dans le sens direct. Un catalyseur, lui, accélère la transformation sans changer le rendement. Méthode en vidéo et exercices interactifs corrigés sur galilee.ac.