BURHAN

Réactions d'estérification et d'hydrolyse : exercices, application

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/esterification-et-hydrolyse/exercices/application

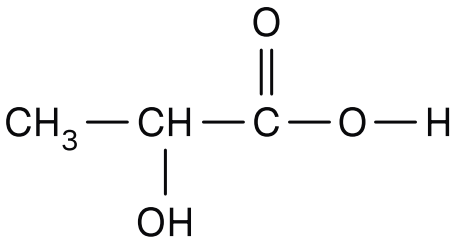
Chapitre	Palier	Exercices
Réactions d'estérification et d'hydrolyse	Application	8

Exercice 1

Groupes de l'acide lactique et familles d'espèces

L'acide lactique se forme dans les muscles pendant un effort intense, et dans le lait qui tourne. Sa formule semi-développée est représentée ci-dessous.

Masses molaires atomiques : $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$.



Formule semi-développée de l'acide lactique.

1.

Nommer les deux groupes caractéristiques présents dans cette molécule et indiquer l'atome de carbone qui porte chacun d'eux.

INDICE

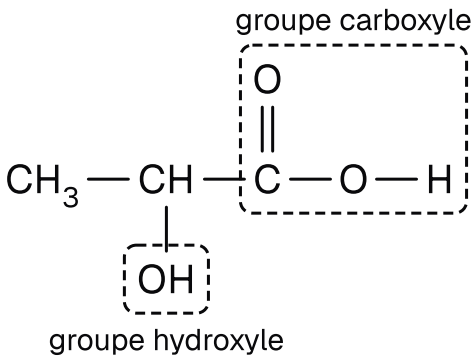
Pour chaque atome d'oxygène, regardez le carbone auquel il est lié et cherchez si ce carbone porte aussi une double liaison avec un oxygène.

CORRIGÉ

Le carbone central, lié au groupe $\mathrm{CH_3}$, porte un groupe $-\mathrm{OH}$ et aucune double liaison avec un oxygène : c'est un **groupe hydroxyle**.

Le carbone de droite est doublement lié à un oxygène et porte aussi un groupe $-\mathrm{OH}$: c'est un **groupe carboxyle**.

L'acide lactique possède donc un groupe hydroxyle et un groupe carboxyle ; ce dernier en fait un acide carboxylique.



Acide lactique : groupe hydroxyle et groupe carboxyle entourés ; formule brute calculée par le moteur.

Formule brute : $\mathrm{C_3H_6O_3}$.

2.

Indiquer la famille de chacune des espèces suivantes :

- (a) $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-OH}$;
- (b) $\mathrm{CH_3-COO-CH_3}$;
- (c) $\mathrm{CH_3-CH_2-CO-O-CO-CH_2-CH_3}$.

INDICE

Dans chaque formule, repérez les atomes d'oxygène et les atomes auxquels ils sont reliés.

CORRIGÉ

- (a) : le groupe $-\mathrm{OH}$ est porté par un carbone sans double liaison avec un oxygène : groupe hydroxyle, c'est un **alcool** (le propan-1-ol) ;
- (b) : le groupe $-\mathrm{COO}-$ est placé entre deux carbones : groupe ester, c'est un **ester** (l'éthanoate de méthyle) ;
- (c) : deux groupes $-\mathrm{CO}-$ sont reliés au même oxygène : groupe anhydride, c'est un **anhydride d'acide**.

Les trois espèces appartiennent à trois familles différentes : alcool, ester et anhydride d'acide.

3.

Écrire la formule brute de l'acide lactique, puis calculer sa masse molaire moléculaire.

INDICE

Comptez les atomes de chaque élément sur la formule dessinée, sans oublier ceux des groupes condensés.

CORRIGÉ

La formule compte 3 atomes de carbone, 6 atomes d'hydrogène et 3 atomes d'oxygène : $\mathrm{C_3H_6O_3}$.
Avec les masses en $\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$:

$$\begin{aligned} M &= 3\times 12{,}0 + 6\times 1{,}0 \\ &\quad + 3\times 16{,}0 \\ &= 90{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}} \end{aligned}$$

La masse molaire moléculaire de l'acide lactique vaut donc $90{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$.

Exercice 2

Nommer trois esters et écrire celui de la pomme

1.

Nommer les esters suivants :

- (a) $\mathrm{H-COO-CH_3}$;
- (b) $\mathrm{CH_3-CH_2-COO-CH_2-CH_3}$;
- (c) $\mathrm{CH_3-COO-CH_2-CH_2-CH_3}$.

INDICE

Séparez la partie qui provient de l'acide de celle qui provient de l'alcool, au niveau de l'oxygène qui ne porte que des liaisons simples.

CORRIGÉ

- (a) : la partie $\mathrm{H-CO-}$ compte un carbone (méthanoate) et le groupe $\mathrm{-CH_3}$ est un méthyle : **méthanoate de méthyle** ;
- (b) : la partie $\mathrm{CH_3-CH_2-CO-}$ compte trois carbones (propanoate) et le groupe $\mathrm{-CH_2-CH_3}$ est un éthyle : **propanoate d'éthyle** ;
- (c) : la partie $\mathrm{CH_3-CO-}$ compte deux carbones (éthanoate) et le groupe à trois carbones est un propyle : **éthanoate de propyle**.

Dans chaque nom, le premier terme provient de l'acide et le second du groupe alkyle de l'alcool.

2.

Écrire la formule semi-développée du butanoate de méthyle, ester à l'odeur de pomme.

INDICE

Le premier terme du nom donne le nombre d'atomes de carbone de la partie acide, carbone du groupe ester compris.

CORRIGÉ

« Butanoate » : la partie acide compte quatre atomes de carbone, $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-CO-}$. « Méthyle » : un groupe $\mathrm{-CH_3}$ est fixé sur l'oxygène simple.

$$\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-COO-CH_3}$$

Cette formule est celle du butanoate de méthyle, qui provient de l'acide butanoïque et du méthanol.

Exercice 3

Acide et alcool du méthanoate de butyle

Le méthanoate de butyle a pour formule semi-développée $\mathrm{H{-}COO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3}$.

Masses molaires atomiques : $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$.

1.

Écrire les formules semi-développées et les noms de l'acide carboxylique et de l'alcool dont dérive cet ester.

INDICE

Coupez la liaison simple entre l'oxygène du groupe ester et la chaîne qui le suit, puis complétez chacun des deux morceaux.

CORRIGÉ

La coupure sépare $\mathrm{H{-}CO{-}}$ et $\mathrm{-CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3}$.

- $\mathrm{H{-}CO{-}}$ complété par $\mathrm{-OH}$ donne $\mathrm{H{-}COOH}$, l'**acide méthanoïque**.
- La chaîne de quatre carbones complétée par $\mathrm{HO{-}}$ donne $\mathrm{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH}$, le **butan-1-ol**.

Le méthanoate de butyle dérive donc de l'acide méthanoïque et du butan-1-ol.

2.

Déterminer la formule brute du méthanoate de butyle et calculer sa masse molaire moléculaire.

INDICE

Additionnez les atomes de chaque élément le long de la formule, puis utilisez les masses molaires atomiques.

CORRIGÉ

La formule compte 5 atomes de carbone, 10 atomes d'hydrogène et 2 atomes d'oxygène : $\mathrm{C_5H_{10}O_2}$. En $\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$:

$$\begin{aligned} M &= 5\times 12{,}0 + 10\times 1{,}0 \\ &\quad + 2\times 16{,}0 \\ &= 102\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}} \end{aligned}$$

La masse molaire moléculaire du méthanoate de butyle vaut $102\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$.

3.

Le butanoate de méthyle $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-COO-CH_3}$ a la même formule brute. Nommer l'acide et l'alcool dont il dérive, puis conclure.

INDICE

Appliquez la même coupure à cette seconde formule et comparez les morceaux obtenus aux précédents.

CORRIGÉ

La coupure donne $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-CO-}$, d'où l'acide butanoïque $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-COOH}$, et $\mathrm{-CH_3}$, d'où le méthanol $\mathrm{CH_3-OH}$.

Les deux esters ont la même formule brute $\mathrm{C_5H_{10}O_2}$, mais leurs acides diffèrent, comme leurs alcools : ce sont deux espèces différentes.

Exercice 4

Équation de formation de l'éthanoate de méthyle

On fait réagir l'acide éthanoïque $\mathrm{CH_3-COOH}$ avec le méthanol $\mathrm{CH_3-OH}$, deux liquides mélangés sans solvant.

1.

Écrire l'équation de la réaction avec des formules semi-développées et nommer l'ester formé.

INDICE

Quelle petite molécule les groupes caractéristiques des deux réactifs libèrent-ils en se liant ?

CORRIGÉ

Le groupe $\mathrm{-OH}$ de l'acide et l'atome H du groupe hydroxyle de l'alcool forment une molécule d'eau :

$$\begin{aligned}&\mathrm{CH_3-COOH_{(\ell)}}\\&\quad+\mathrm{CH_3-OH_{(\ell)}}\\&\rightleftharpoons\mathrm{CH_3-COO-CH_{3(\ell)}}\\&\quad+\mathrm{H_2O_{(\ell)}}\end{aligned}$$

L'ester formé, dont la partie acide compte deux carbones et le groupe alkyle un seul, est l'éthanoate de méthyle.

2.

Vérifier que l'équation conserve les éléments carbone, hydrogène et oxygène.

INDICE

Écrivez la formule brute de chaque espèce, puis additionnez les atomes de chaque membre.

CORRIGÉ

Formules brutes : $\mathrm{C_2H_4O_2}$ et $\mathrm{CH_4O}$ à gauche, $\mathrm{C_3H_6O_2}$ et $\mathrm{H_2O}$ à droite.

- Carbone : $2+1=3$ à gauche, 3 à droite.
- Hydrogène : $4+4=8$ à gauche, $6+2=8$ à droite.
- Oxygène : $2+1=3$ à gauche, $2+1=3$ à droite.

Chaque élément compte le même nombre d'atomes dans les deux membres : l'équation est équilibrée.

3.

Nommer la réaction qui se produit dans le sens inverse de l'équation et indiquer ses réactifs.

INDICE

Lisez l'équation de droite à gauche : quelles espèces réagissent alors ensemble ?

CORRIGÉ

Lue de droite à gauche, l'équation décrit l'**hydrolyse** de l'éthanoate de méthyle : l'ester réagit avec l'eau et redonne l'acide éthanoïque et le méthanol.

L'estérification et l'hydrolyse se produisent toutes deux dans le mélange, chacune défaisant ce que fait l'autre.

Exercice 5

Volumes prélevés, quantités initiales et réactif limitant

Au laboratoire, on prélève à la pipette graduée $V_1 = 12{,}0\,\text{mL}$ d'acide propanoïque et $V_2 = 25{,}0\,\text{mL}$ de butan-1-ol, que l'on verse dans un ballon. L'estérification forme un ester et de l'eau.

Espèce	masse volumique	masse molaire
acide propanoïque	$0{,}990\,\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	$74{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
butan-1-ol	$0{,}810\,\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	$74{,}0\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

1.

Calculer les quantités de matière initiales n_1 d'acide et n_2 d'alcool.

INDICE

Pour un liquide pur, la masse prélevée se déduit du volume et de la masse volumique.

CORRIGÉ

Pour un liquide pur, $n = \dfrac{\rho V}{M}$, avec ρ en $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, V en mL et M en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{0{,}990 \times 12{,}0}{74{,}0}\,\text{mol} \\ &= 0{,}161\,\text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_2 &= \frac{0{,}810 \times 25{,}0}{74{,}0}\,\text{mol} \\ &= 0{,}274\,\text{mol} \end{aligned}$$

Le ballon contient $0{,}161\,\text{mol}$ d'acide propanoïque et $0{,}274\,\text{mol}$ de butan-1-ol.

2.

Dresser le tableau d'avancement de l'estérification, identifier le réactif limitant et donner l'avancement maximal $x_{\max}$.

INDICE

Le réactif limitant est celui qui disparaîtrait le premier si la réaction était totale.

CORRIGÉ

Quantités en mol :

État	acide	alcool	ester	eau
initial	$0{,}161$	$0{,}274$	0	0
en cours	$0{,}161 - x$	$0{,}274 - x$	x	x

Si la réaction était totale, l'acide serait épuisé pour $x = 0{,}161\,\text{mol}$, avant l'alcool :

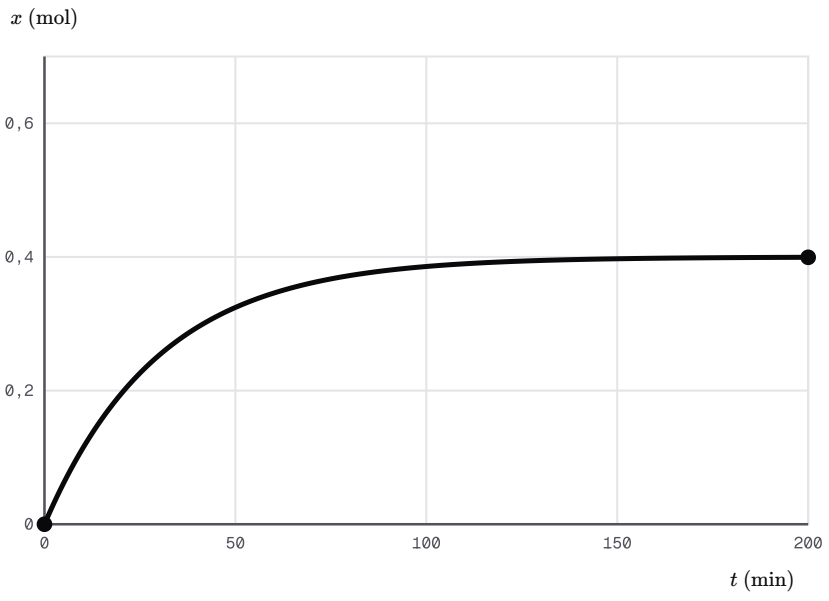
$$x_{\max} = 0{,}161\,\text{mol}$$

L'acide propanoïque est le réactif limitant et l'avancement maximal vaut $0{,}161\,\text{mol}$.

Exercice 6

Lire l'avancement final sur une courbe de suivi

On chauffe à reflux un mélange de $0{,}600\,\text{mol}$ d'acide propanoïque et de $0{,}600\,\text{mol}$ de méthanol, additionné de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. Des prélèvements titrés à différentes dates ont permis de tracer l'avancement x de l'estérification en fonction du temps.



Avancement de l'estérification en fonction du temps : courbe modèle ajustée aux mesures du suivi par titrage.

1.

Dresser le tableau d'avancement et donner l'avancement maximal $x_{\max}$.

INDICE

Le mélange est équimolaire : les deux réactifs seraient épuisés ensemble si la réaction était totale.

CORRIGÉ

Quantités en mol :

État	acide	alcool	ester	eau
initial	$0{,}600$	$0{,}600$	0	0
en cours	$0{,}600 - x$	$0{,}600 - x$	x	x

Les deux réactifs disparaîtraient ensemble pour :

$$x_{\max} = 0{,}600\,\text{mol}$$

L'avancement maximal de cette estérification vaut $0{,}600\,\text{mol}$.

2.

Lire sur la courbe l'avancement final x_f.

INDICE

L'avancement final correspond au palier atteint par la courbe aux grandes dates.

CORRIGÉ

Aux grandes dates, la courbe devient horizontale ; la lecture graphique donne :

$$x_f \approx 0{,}40\,\text{mol}$$

Au-delà d'environ $150\,\text{min}$, l'avancement ne varie plus : l'état final est atteint avec $x_f \approx 0{,}40\,\text{mol}$.

3.

Calculer le taux d'avancement final τ et conclure sur le caractère de la réaction.

INDICE

Comparez l'avancement lu sur la courbe à l'avancement maximal calculé.

CORRIGÉ

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{x_f}{x_{\max}} \\ &\approx \frac{0{,}40\,\text{mol}}{0{,}600\,\text{mol}} \\ &\approx 0{,}67\end{aligned}$$

Comme $\tau < 1$, la réaction est limitée : à l'état final, le mélange contient encore de l'acide et de l'alcool, à côté de l'ester et de l'eau.

Exercice 7

Hydrolyse et quotient de réaction du méthanoate d'éthyle

La constante d'équilibre associée à l'estérification de l'acide méthanoïque par l'éthanol, qui forme le méthanoate d'éthyle et l'eau, vaut $K = 4$.

1.

Calculer la constante d'équilibre K' associée à l'hydrolyse du méthanoate d'éthyle.

INDICE

L'équation de l'hydrolyse échange les réactifs et les produits de l'estérification.

CORRIGÉ

L'équation d'hydrolyse est l'inverse de celle de l'estérification :

$$\begin{aligned} K' &= \frac{1}{K} \\ &= \frac{1}{4} \\ &= 0{,}25 \end{aligned}$$

La constante d'équilibre de l'hydrolyse du méthanoate d'éthyle vaut $K' = 0{,}25$.

2.

Un mélange contient $0{,}240\,\text{mol}$ d'acide méthanoïque, $0{,}300\,\text{mol}$ d'éthanol, $0{,}120\,\text{mol}$ de méthanoate d'éthyle et $0{,}120\,\text{mol}$ d'eau. Calculer le quotient de réaction $Q_{r,i}$ de l'estérification dans cet état.

INDICE

Écrivez le quotient avec les quantités de matière, sans oublier l'eau, qui est un produit de la réaction.

CORRIGÉ

$$\begin{aligned} Q_{r,i} &= \frac{n_{\text{ester}}\, n_{\text{eau}}}{n_{\text{acide}}\, n_{\text{alcool}}} \\ &= \frac{0{,}120 \times 0{,}120}{0{,}240 \times 0{,}300} \\ &= 0{,}200 \end{aligned}$$

Dans l'état décrit, le quotient de réaction de l'estérification vaut $Q_{r,i} = 0{,}200$.

3.

Prévoir le sens d'évolution spontanée de ce mélange.

INDICE

Rappelez le critère d'évolution spontanée, puis comparez les deux valeurs.

CORRIGÉ

Rappel : un système évolue spontanément dans le sens direct lorsque $Q_r < K$. Ici, $Q_{r,i} = 0{,}200$ et $K = 4$, donc $Q_{r,i} < K$.

Le mélange évolue dans le sens direct : il forme du méthanoate d'éthyle et de l'eau jusqu'à ce que son quotient de réaction atteigne 4.

Exercice 8

Effets d'un catalyseur, d'un chauffage et d'un excès d'alcool

On prépare un ester à l'odeur fruitée en mélangeant, à température ambiante, des quantités égales d'acide butanoïque et d'éthanol, sans autre espèce. Le taux d'avancement final vaut alors environ $0{,}67$, mais il n'est atteint qu'après plusieurs mois.

1.

On recommence en ajoutant quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. Prévoir l'effet de cet ajout sur la durée nécessaire pour atteindre l'état final et sur le taux d'avancement final.

INDICE

Demandez-vous quel rôle jouent les ions oxonium apportés par cet acide, et ce qu'un tel rôle peut modifier.

CORRIGÉ

L'acide sulfurique apporte des ions oxonium $\mathrm{H_3O^+}$, qui catalysent l'estérification comme l'hydrolyse. Un catalyseur rend la réaction plus rapide sans changer l'état d'équilibre.

L'état final est atteint plus tôt, mais le taux d'avancement final reste voisin de $0{,}67$.

2.

On chauffe le mélange initial à reflux, sans catalyseur. Prévoir l'effet du chauffage sur la vitesse de la réaction et sur l'état final.

INDICE

Séparez ce que la température change pour la vitesse et ce qu'elle change pour l'équilibre d'une estérification.

CORRIGÉ

Une température plus élevée accélère l'estérification ; pour cette réaction, elle ne change presque pas la composition à l'équilibre. Le réfrigérant du montage à reflux évite toute perte de matière.

L'équilibre est atteint plus tôt, avec un taux d'avancement final pratiquement inchangé, voisin de $0{,}67$.

3.

On mélange cette fois l'acide butanoïque avec un large excès d'éthanol. Prévoir l'effet sur le taux d'avancement final, calculé par rapport à l'acide.

INDICE

Comparez le quotient de réaction de ce nouveau mélange à celui du mélange équimolaire, pour un même avancement.

CORRIGÉ

Pour un même avancement, l'excès d'éthanol augmente le dénominateur du quotient de réaction : Q_r n'atteint la valeur de K que pour un avancement plus grand que celui du mélange équimolaire.

Le taux d'avancement final, rapporté à l'acide limitant, devient donc supérieur à $0{,}67$: le réactif en excès déplace l'équilibre dans le sens direct.