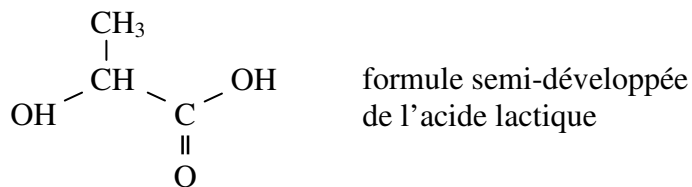


L'acide lactique à la base de composés « verts »

L'acide lactique ou acide 2-hydroxypropanoïque est un acide carboxylique de formule brute $C_3H_6O_3$.



On le trouve dans le lait mais aussi dans le vin et dans certains fruits et légumes. Obtenu industriellement via des transformations chimiques de réactifs issus de la pétrochimie, l'acide lactique peut également être produit par fermentation à partir de sucres d'origine naturelle. Il est utilisé dans l'industrie alimentaire comme additif (E270) mais aussi en cosmétique et en tant que détergent.

Le but de l'exercice est d'étudier l'acide lactique et les réactions qui l'impliquent en tant que réactif dans des synthèses écoresponsables.

Données

Couple acide-base : H_3O^+ / H_2O

Règles de nomenclature dans le cas de composés polyfonctionnels à chaîne non ramifiée :

- dans un premier temps, on identifie la chaîne principale et le groupe caractéristique principal (cf. tableau 1) puis on numérote la chaîne pour que le carbone fonctionnel ait le plus petit indice possible.
- Ensuite, on nomme l'espèce en remplaçant le « e » final de l'alcane correspondant (cf. tableau 2) par le suffixe correspondant au groupe principal et en ajoutant le préfixe du groupe secondaire. On précise si besoin l'indice de position du groupe caractéristique.

Tableau 1

suffixes et préfixes utilisés pour désigner quelques groupes importants. Les groupes présentés dans ce tableau sont rangés dans l'ordre décroissant de priorité.

fonction	formule	préfixe : groupe secondaire	suffixe : groupe principal
acide carboxylique	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	carboxy-	acide ... oïque
ester	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{O}-\text{C} \end{array}$... yle-oxycarbonyl-	... oate de ... yle
aldéhyde	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	formyl- ou oxo-	-al
cétone	$\begin{array}{c} -\text{C}- \\ \\ \text{O} \end{array}$	oxo-	-one
alcool	-OH	hydroxy-	-ol

Tableau 2

nomenclature des alcanes

nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5	6
nom	méthane	éthane	propane	butane	pentane	hexane

1 Etude du caractère acide de l'acide lactique

Le nom de cette molécule en nomenclature officielle est acide 2-hydroxypropanoïque.

- 1.1 Exploiter les règles de nomenclature fournies dans les données pour justifier son nom.
- 1.2 Donner le schéma de Lewis de l'acide lactique. Sur celle-ci, identifier, en l'entourant, l'atome d'hydrogène responsable de l'acidité de la molécule.
- 1.3 Ecrire la formule semi-développée de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

On notera, par la suite, HA l'acide lactique et A^- l'ion lactate. La valeur du pH d'un lait est égale à 6,4.

Donnée la valeur de la concentration standard c° est égale à $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

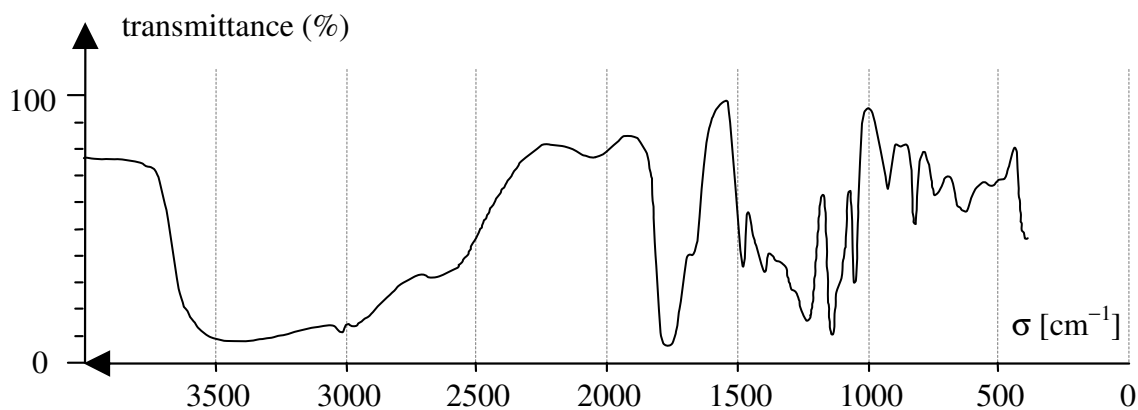
- 1.4 Pour ce lait, calculer la valeur de la concentration en ion oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$
- 1.5 Etablir l'équation de réaction de l'acide lactique (HA) avec l'eau. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide HA / A^- .
- 1.6 A partir de l'expression de la constante d'acidité K_A du couple HA / A^- , retrouver la relation :

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}} \right)$$

Donnée la valeur du $\text{p}K_A$ du couple HA / A^- est égale à 3,9.

- 1.7 Calculer, à partir de la relation de la question 6, le rapport $\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}$ dans ce lait dont la valeur du pH est égale à 6,4. En déduire l'espèce prédominante.
- 1.8 Tracer le diagramme de prédominance du couple HA / A^- .
- 1.9 A l'aide du diagramme de prédominance, vérifier que l'espèce prédominante pour ce lait est en accord avec la réponse à la question 7.

On donne ci-dessous le spectre infrarouge de la molécule d'acide lactique (figure 2).



Donnée table spectroscopique infrarouge simplifiée

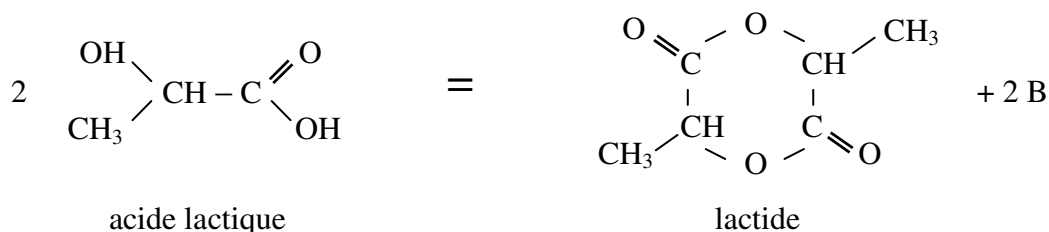
liaison	nombre d'onde (cm^{-1})	intensité
O – H alcool libre	3500 - 3700	forte, fine
O – H alcool lié	3200 - 3400	forte, large
O – H acide carboxylique	2500 - 3200	forte à moyenne, large

C = O ester	1700 - 1740	forte
C = O amide	1650 - 1740	forte
C = O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	forte
C = O acide carboxylique	1680 - 1710	forte

1.10 Utiliser le spectre de la figure 2 et la table spectroscopique infrarouge simplifiée afin de justifier la présence de deux liaisons caractéristiques de la molécule d'acide lactique.

2 La synthèse du lactide

Issu de l'acide lactique, le lactide est d'origine naturelle et renouvelable. L'équation de synthèse du lactide est donnée ci-dessous :



2.1 Identifier, en justifiant, la molécule notée B produite lors de la réaction.

2.2 Ecrire la formule topologique de la molécule de lactide.

2.3 Sur cette formule topologique, entourer et nommer la fonction chimique présente dans la molécule de lactide.

3 L'acide lactique : réactif de la synthèse du lactate d'éthyle

Document 1 synthèse d'un solvant agrosourcé : le lactate d'éthyle

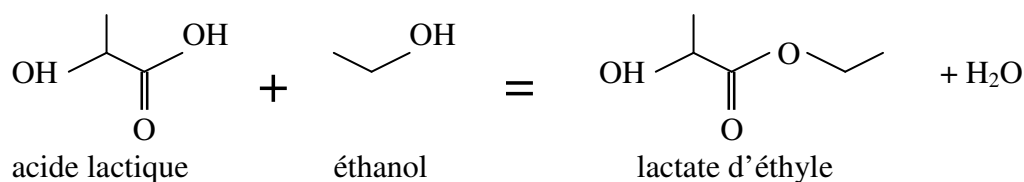
Les solvants constituent une classe de substances largement utilisées dans de nombreux secteurs économiques où ils jouent des rôles divers. Ce sont des liquides capables de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres composés sans engendrer de modifications chimiques. Cependant, les solvants traditionnels sont généralement des composés organiques volatils, nocifs pour la santé et pour l'environnement. Dans ce contexte, de nouveaux solvants, non toxiques et biodégradables, sont apparus sur le marché.

Le lactate d'éthyle est l'un de ces solvants agrosourcés. Il est produit par estérification de l'acide lactique avec l'éthanol (produit par fermentation de sucres). Un problème majeur de cette réaction est qu'elle est équilibrée. Pour obtenir un rendement correct, il est donc nécessaire de déplacer l'équilibre. Ceci est notamment possible en utilisant un excès d'éthanol.

Une autre solution est d'ajouter au milieu réactionnel un solvant insoluble dans l'eau dans lequel le lactate d'éthyle est plus soluble que dans la phase de départ (acide lactique, éthanol).

D'après <https://patents.google.com/patent/WO2011107712A1/fr>

Le lactate d'éthyle est synthétisé par action de l'éthanol sur l'acide lactique. L'eau constitue un sous-produit de la réaction. L'équation de la réaction est donnée ci-dessous :



Cette estérification est réalisée selon deux modes opératoires :

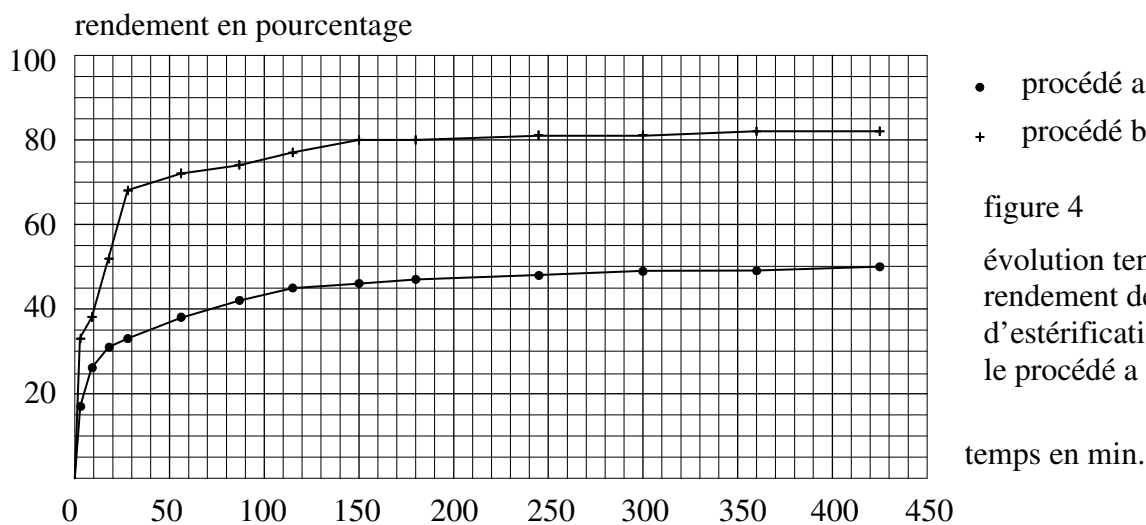
Procédé a

La synthèse de lactate d'éthyle est réalisée dans un ballon équipé d'un réfrigérant. Les quantités suivantes de réactifs sont introduites dans le réacteur : 66,7 g d'éthanol et 39,1 g d'acide lactique. 0,33 g d'acide sulfurique est ajouté aux réactifs. Le milieu réactionnel est agité au moyen d'un agitateur magnétique et porté à la température de 80 °C. Le rendement en lactate d'éthyle en fonction de la durée de la réaction est représenté sur la figure 4.

Procédé b

La synthèse de lactate d'éthyle est réalisée de la même manière que pour le procédé a mais en ajoutant un solvant d'extraction aux réactifs. Le rendement en lactate d'éthyle en fonction de la durée de la réaction est représenté sur la figure 4.

On obtient les résultats suivants :



Données

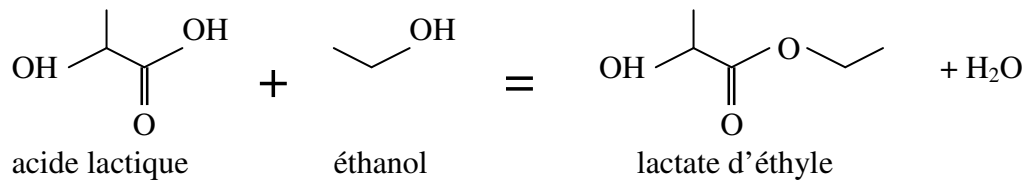
Caractéristiques physiques de quelques espèces chimiques

	acide lactique	éthanol	lactate d'éthyle
masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	90,0	46,0	118
masse volumique ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,25	0,789	1,03

Solubilités dans le solvant d'extraction utilisé lors de la synthèse du lactate d'éthyle

	acide lactique	éthanol	lactate d'éthyle	eau
Solubilité dans le solvant d'extraction ajouté dans le procédé b	insoluble	insoluble	soluble	insoluble

- 3.1 Vérifier par calcul que l'éthanol est en excès dans les procédés a et b décrits précédemment.
- 3.2 Calculer la masse de lactate d'éthyle m_{lac} que l'on pourrait obtenir si la transformation chimique était totale.
- 3.3 En utilisant la figure 4, comparer les rendements obtenus par les deux procédés et indiquer le procédé le plus efficace.
- 3.4 Donner l'expression du quotient de la réaction Q_r d'estérification étudiée.



- 3.5 Le lactate d'éthyle étant plus soluble dans le solvant introduit dans le procédé b que dans la phase de départ (acide lactique, éthanol), justifier que l'ajout d'un solvant lors de la synthèse du lactate d'éthyle permet de déplacer l'équilibre de la réaction d'estérification.

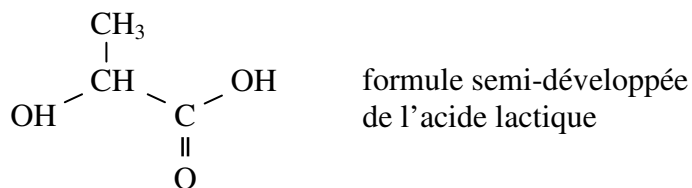
Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

- 3.6 Certains solvants organiques sont nocifs pour la santé et dangereux pour l'environnement : ils peuvent dégrader la qualité de l'air ou encore contaminer les nappes phréatiques, les eaux de surface et les sols.
 28 millions de tonnes de solvants organiques sont produits chaque année. Évaluer le volume d'éthanol nécessaire à la substitution de 80 % en masse des solvants organiques par des solvants agrosourcés.
 On fera l'hypothèse que la totalité du solvant agrosourcé produit est du lactate d'éthyle obtenu par le procédé b décrit précédemment. Comparer cette valeur au volume d'éthanol produit annuellement dans le monde : 120 milliards de litres.

Corrigé

L'acide lactique à la base de composés « verts »

L'acide lactique ou acide 2-hydroxypropanoïque est un acide carboxylique de formule brute $C_3H_6O_3$.



On le trouve dans le lait mais aussi dans le vin et dans certains fruits et légumes. Obtenu industriellement via des transformations chimiques de réactifs issus de la pétrochimie, l'acide lactique peut également être produit par fermentation à partir de sucres d'origine naturelle. Il est utilisé dans l'industrie alimentaire comme additif (E270) mais aussi en cosmétique et en tant que détergent.

Le but de l'exercice est d'étudier l'acide lactique et les réactions qui l'impliquent en tant que réactif dans des synthèses écoresponsables.

Données

Couple acide-base : H_3O^+ / H_2O

Règles de nomenclature dans le cas de composés polyfonctionnels à chaîne non ramifiée :

- dans un premier temps, on identifie la chaîne principale et le groupe caractéristique principal (cf. tableau 1) puis on numérote la chaîne pour que le carbone fonctionnel ait le plus petit indice possible.
- Ensuite, on nomme l'espèce en remplaçant le « e » final de l'alcane correspondant (cf. tableau 2) par le suffixe correspondant au groupe principal et en ajoutant le préfixe du groupe secondaire. On précise si besoin l'indice de position du groupe caractéristique.

Tableau 1

suffixes et préfixes utilisés pour désigner quelques groupes importants. Les groupes présentés dans ce tableau sont rangés dans l'ordre décroissant de priorité.

fonction	formule	préfixe : groupe secondaire	suffixe : groupe principal
acide carboxylique	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	carboxy-	acide ... oïque
ester	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{O}-\text{C} \end{array}$... yle-oxycarbonyl-	... oate de ... yle
aldéhyde	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	formyl- ou oxo-	-al
cétone	$\begin{array}{c} -\text{C}- \\ \\ \text{O} \end{array}$	oxo-	-one
alcool	-OH	hydroxy-	-ol

Tableau 2

nomenclature des alcanes

nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5	6
----------------------------	---	---	---	---	---	---

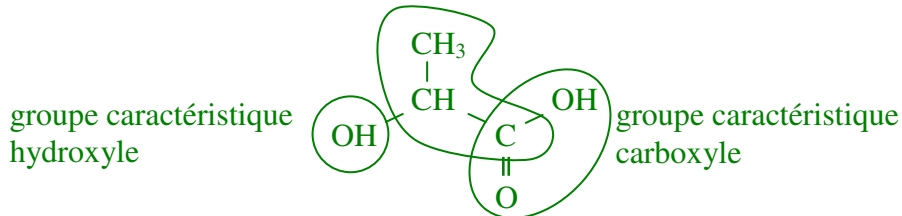
nom	méthane	éthane	propane	butane	pentane	hexane
-----	---------	--------	---------	--------	---------	--------

1 Etude du caractère acide de l'acide lactique

Le nom de cette molécule en nomenclature officielle est acide 2-hydroxypropanoïque.

1.1 Exploiter les règles de nomenclature fournies dans les données pour justifier son nom.

chaîne carbonée la + longue contenant les groupes caractéristiques : 3 atomes de C
nom de l'alcane à squelette carboné linéaire comportant le même nombre de C : propan

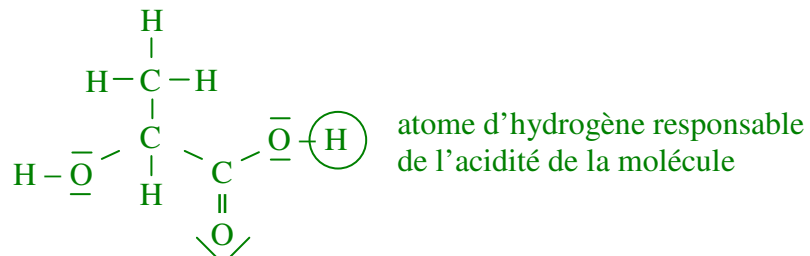


la molécule possède 2 groupes caractéristiques : carboxyle et hydroxyle
le tableau 1 désigne le groupe carboxyle comme étant prioritaire
le groupe carboxyle sera nommé avec le suffixe acide ... oïque d'un groupe principal
le groupe hydroxyle sera nommé avec le préfixe hydroxy- d'un groupe secondaire (positionné sur le 2ème C)

acide 2-hydroxypropanoïque

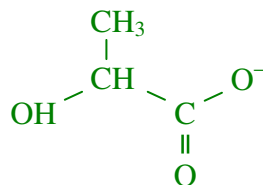
1.2 Donner le schéma de Lewis de l'acide lactique. Sur celle-ci, identifier, en l'entourant, l'atome d'hydrogène responsable de l'acidité de la molécule.

schéma de Lewis des atomes O, H, C : $\underset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{O}}}$ $\underset{\cdot}{\text{H}}$ $\underset{\cdot}{\underset{\cdot}{\text{C}}}$



1.3 Ecrire la formule semi-développée de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

l'acide lactique va perdre atome d'hydrogène responsable de l'acidité de la molécule pour former la base conjuguée



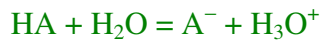
On notera, par la suite, HA l'acide lactique et A^- l'ion lactate. La valeur du pH d'un lait est égale à 6,4.

Donnée la valeur de la concentration standard c° est égale à $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

1.4 Pour ce lait, calculer la valeur de la concentration en ion oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c^\circ * 10^{-\text{pH}} = 1 * 10^{-6,4} = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$$

- 1.5 Etablir l'équation de réaction de l'acide lactique (HA) avec l'eau. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide HA / A^- .



$$K_A = \frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}} * [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}} * c^\circ}$$

- 1.6 A partir de l'expression de la constante d'acidité K_A du couple HA / A^- , retrouver la relation :

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} \right)$$

$$K_A = \frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}} * [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}} * c^\circ}$$

$$\log(K_A) = \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}} * [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}} * c^\circ} \right)$$

$$\log(K_A) = \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} \right) + \log \left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{c^\circ} \right)$$

$$-\text{p}K_A = \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} \right) - \text{pH}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} \right)$$

Donnée la valeur du $\text{p}K_A$ du couple HA / A^- est égale à 3,9.

- 1.7 Calculer, à partir de la relation de la question 6, le rapport $\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}}$ dans ce lait dont la valeur du pH est égale à 6,4. En déduire l'espèce prédominante.

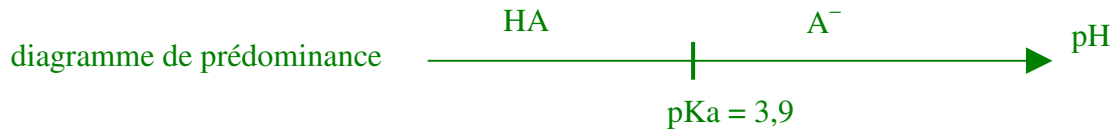
$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} \right)$$

$$\text{pH} - \text{p}K_A = \log \left(\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} \right)$$

$$10^{\text{pH} - \text{p}K_A} = \frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}}$$

$$\frac{[\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{HA}]_{\text{éq}}} = 10^{6,4 - 3,9} = 10^{2,5} = 3,2 \cdot 10^2$$

1.8 Tracer le diagramme de prédominance du couple HA / A⁻.



1.9 A l'aide du diagramme de prédominance, vérifier que l'espèce prédominante pour ce lait est en accord avec la réponse à la question 7.

$$\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}} = 3,2 \cdot 10^2$$

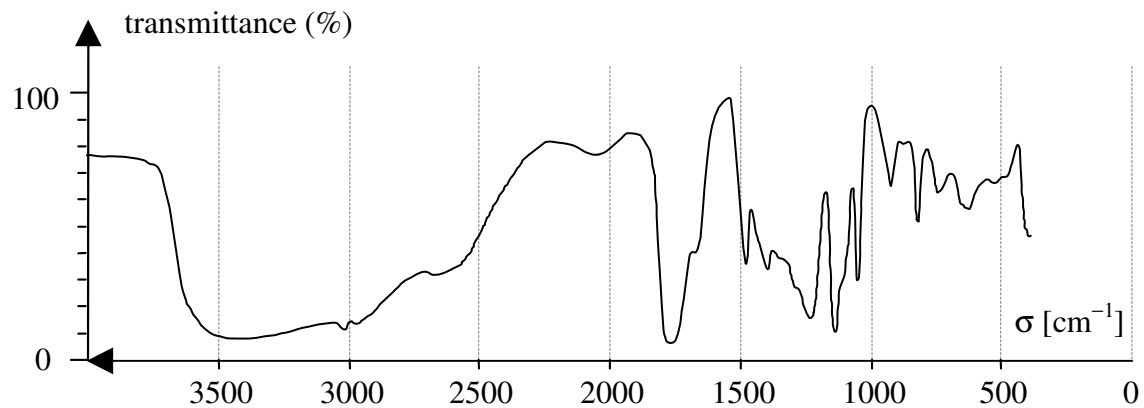
$$\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}} > 1$$

$$[A^-]_{\text{éq}} > [HA]_{\text{éq}}$$

à pH = 6,4 c'est l'espèce A⁻ qui prédomine



On donne ci-dessous le spectre infrarouge de la molécule d'acide lactique (figure 2).



Donnée table spectroscopique infrarouge simplifiée

liaison	nombre d'onde (cm ⁻¹)	intensité
O – H alcool libre	3500 - 3700	forte, fine
O – H alcool lié	3200 - 3400	forte, large
O – H acide carboxylique	2500 - 3200	forte à moyenne, large
C = O ester	1700 - 1740	forte
C = O amide	1650 - 1740	forte
C = O aldéhyde et cétone	1650 - 1730	forte
C = O acide carboxylique	1680 - 1710	forte

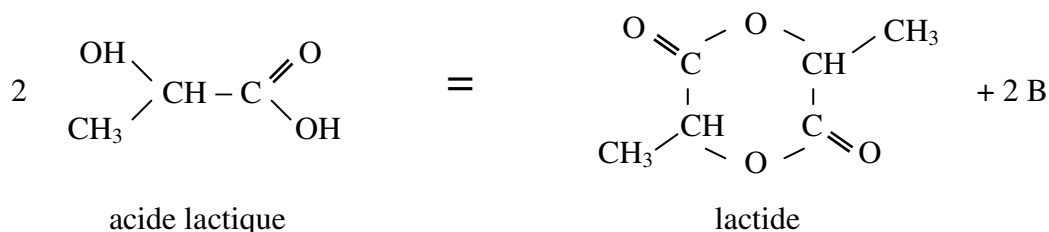
1.10 Utiliser le spectre de la figure 2 et la table spectroscopique infrarouge simplifiée afin de justifier la présence de deux liaisons caractéristiques de la molécule d'acide lactique.

le spectre IR de la molécule présente une forte bande d'absorption de nombre d'onde égal à 1750 cm^{-1} attribuable à la liaison $\text{C} = \text{O}$ dans un acide carboxylique

le spectre IR de la molécule présente une large bande d'absorption de nombre d'onde compris entre 2500 et 3600 cm^{-1} attribuable à la liaison $\text{O} - \text{H}$ dans un acide carboxylique et un alcool

2 La synthèse du lactide

Issu de l'acide lactique, le lactide est d'origine naturelle et renouvelable. L'équation de synthèse du lactide est donnée ci-dessous :



2.1 Identifier, en justifiant, la molécule notée B produite lors de la réaction.

les réactifs possèdent 6 C, 12 H et 6 O

le produit « lactide » possède 6 C, 8 H et 4 O

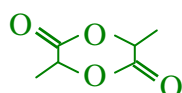
les deux molécules B possèdent donc 4 H et 2 O

il s'agit probablement de deux molécules d'eau

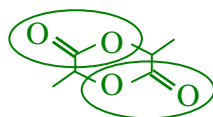
(c'est une réaction de condensation interne et cyclisation, avec élimination d'eau)

2.2 Ecrire la formule topologique de la molécule de lactide.

la formule topologique est semblable à la formule semi-développée mais les atomes de carbone et les atomes d'hydrogène liés à ces atomes de carbone ne sont pas représentés



2.3 Sur cette formule topologique, entourer et nommer la fonction chimique présente dans la molécule de lactide.



2 groupes caractéristiques « ester » qui donnent à la molécule les propriétés d'un « ester »

remarque « fonction chimique » devrait être remplacé par « groupe caractéristique »

3 L'acide lactique : réactif de la synthèse du lactate d'éthyle

Document 1 synthèse d'un solvant agrosourcé : le lactate d'éthyle

Les solvants constituent une classe de substances largement utilisées dans de nombreux secteurs économiques où ils jouent des rôles divers. Ce sont des liquides capables de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres composés sans engendrer de modifications chimiques. Cependant, les solvants traditionnels sont généralement des composés organiques volatils, nocifs pour la santé et pour l'environnement. Dans ce contexte, de nouveaux solvants, non toxiques et biodégradables, sont apparus

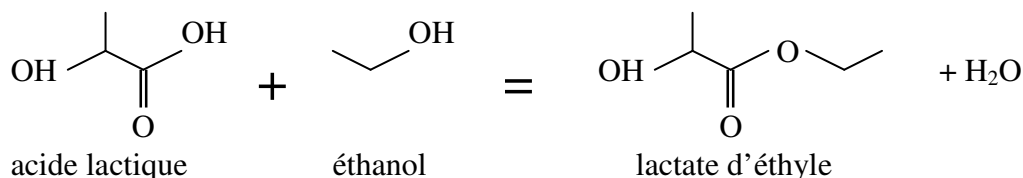
sur le marché.

Le lactate d'éthyle est l'un de ces solvants agrosourcés. Il est produit par estérification de l'acide lactique avec l'éthanol (produit par fermentation de sucres). Un problème majeur de cette réaction est qu'elle est équilibrée. Pour obtenir un rendement correct, il est donc nécessaire de déplacer l'équilibre. Ceci est notamment possible en utilisant un excès d'éthanol.

Une autre solution est d'ajouter au milieu réactionnel un solvant insoluble dans l'eau dans lequel le lactate d'éthyle est plus soluble que dans la phase de départ (acide lactique, éthanol).

D'après <https://patents.google.com/patent/WO2011107712A1/fr>

Le lactate d'éthyle est synthétisé par action de l'éthanol sur l'acide lactique. L'eau constitue un sous-produit de la réaction. L'équation de la réaction est donnée ci-dessous :



Cette estérification est réalisée selon deux modes opératoires :

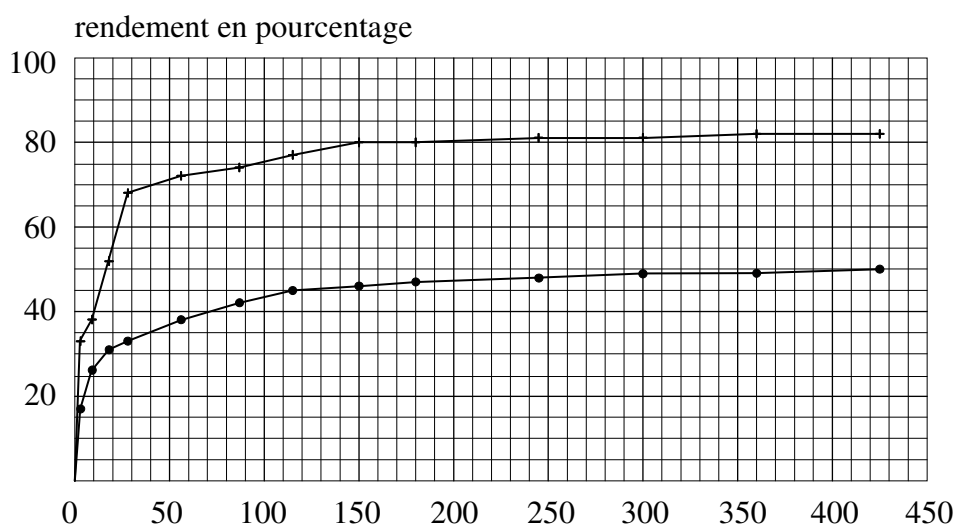
Procédé a

La synthèse de lactate d'éthyle est réalisée dans un ballon équipé d'un réfrigérant. Les quantités suivantes de réactifs sont introduites dans le réacteur : 66,7 g d'éthanol et 39,1 g d'acide lactique. 0,33 g d'acide sulfurique est ajouté aux réactifs. Le milieu réactionnel est agité au moyen d'un agitateur magnétique et porté à la température de 80 °C. Le rendement en lactate d'éthyle en fonction de la durée de la réaction est représenté sur la figure 4.

Procédé b

La synthèse de lactate d'éthyle est réalisée de la même manière que pour le procédé a mais en ajoutant un solvant d'extraction aux réactifs. Le rendement en lactate d'éthyle en fonction de la durée de la réaction est représenté sur la figure 4.

On obtient les résultats suivants :



- procédé a
- + procédé b

figure 4

évolution temporelle du rendement de la réaction d'estérification suivant le procédé a ou b

Données

Caractéristiques physiques de quelques espèces chimiques

	acide lactique	éthanol	lactate d'éthyle

masse molaire (g.mol ⁻¹)	90,0	46,0	118
masse volumique (g.cm ⁻³)	1,25	0,789	1,03

Solubilités dans le solvant d'extraction utilisé lors de la synthèse du lactate d'éthyle

	acide lactique	éthanol	lactate d'éthyle	eau
Solubilité dans le solvant d'extraction ajouté dans le procédé b	insoluble	insoluble	soluble	insoluble

3.1 Vérifier par calcul que l'éthanol est en excès dans les procédés a et b décrits précédemment.

quantités initiales :

$$n_{iA}(\text{éthanol}) = m_A(\text{éthanol}) / M(\text{éthanol}) = 66,7 / 46,0 = 1,45 \text{ mol.}$$

$$n_{iA}(\text{acide lactique}) = m_A(\text{al}) / M(\text{al}) = 39,1 / 90,0 = 0,434 \text{ mol.}$$

réactif limitant (cas a) :

(1 coefficient stœchiométrique de l'éthanol dans l'équation de réaction)

(1 coefficient stœchiométrique de l'acide lactique dans l'équation de réaction)

$$\frac{n_{iA}(\text{éthanol})}{1} > \frac{n_{iA}(\text{al})}{1}$$

conclusion :

l'acide lactique est le réactif limitant donc l'éthanol est en excès

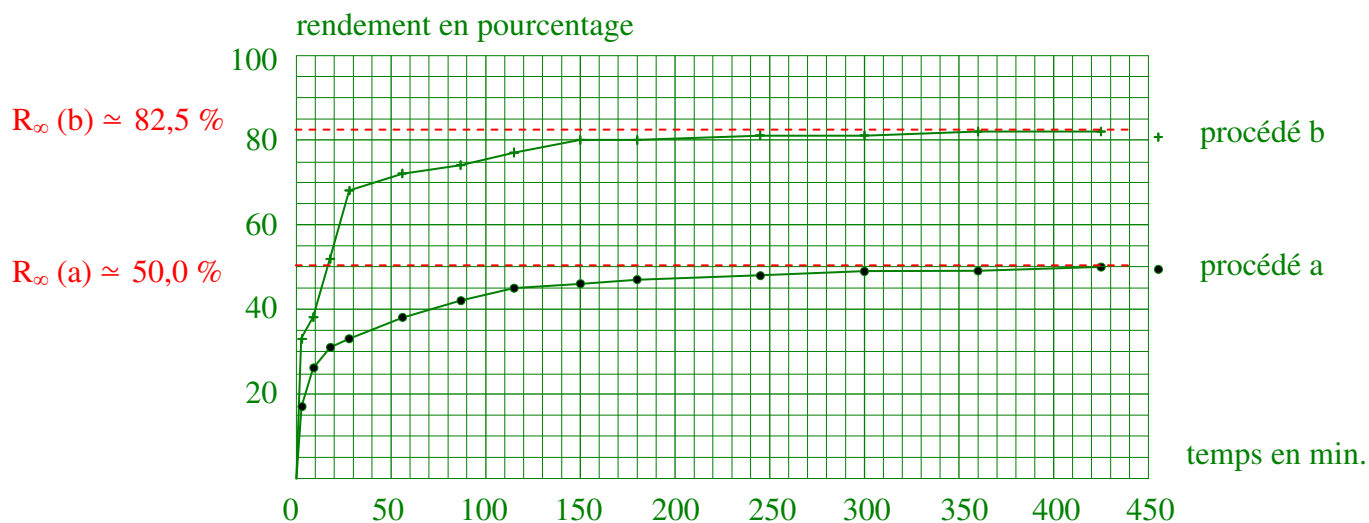
3.2 Calculer la masse de lactate d'éthyle m_{lac} que l'on pourrait obtenir si la transformation chimique était totale.

$$x_{\max} = \min \left(\frac{n_{iA}(\text{éthanol})}{1}, \frac{n_{iA}(\text{al})}{1} \right) = 0,434 \text{ mol.}$$

$$n_{\max}(\text{lac}) = x_{\max} = 0,434 \text{ mol.}$$

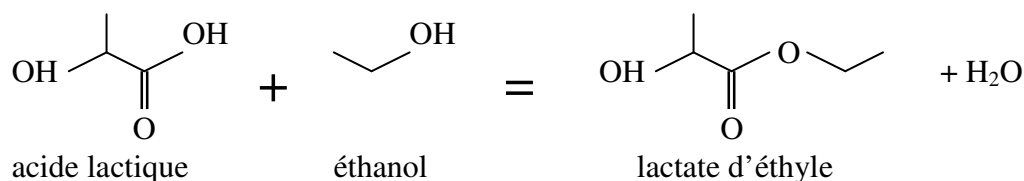
$$m_{\max}(\text{lac}) = n_{\max}(\text{lac}) * M(\text{lac}) = 0,434 * 118 = 51,2 \text{ g}$$

3.3 En utilisant la figure 4, comparer les rendements obtenus par les deux procédés et indiquer le procédé le plus efficace.



le rendement obtenu avec le procédé b est supérieur à celui obtenu avec le procédé a
le procédé b est donc plus efficace

3.4 Donner l'expression du quotient de la réaction Q_r d'estérification étudiée.



$$Q_r = \frac{[\text{lac}] * c^\circ}{[\text{éthanol}] * [\text{aa}]} \quad \text{aa : acide lactique ; lac : lactate d'éthyle}$$

3.5 Le lactate d'éthyle étant plus soluble dans le solvant introduit dans le procédé b que dans la phase de départ (acide lactique, éthanol), justifier que l'ajout d'un solvant lors de la synthèse du lactate d'éthyle permet de déplacer l'équilibre de la réaction d'estérification.

le lactate d'éthyle est la seule espèce chimique soluble dans le solvant introduit dans le procédé b
le solvant introduit dans le procédé b est un solvant d'extraction c'est à dire qu'il est non miscible avec le mélange réactionnel (acide lactique, éthanol, acide sulfurique)

ainsi lorsque le lactate d'éthyle est formé, il est aussitôt extrait du mélange réactionnel et sa concentration dans le mélange réactionnel (siège de la réaction non totale) demeure constamment plus faible que dans le procédé a

ainsi $[\text{lac}]_b < [\text{lac}]_a$

si $[\text{lac}]_{b \text{ éq}} \searrow$ alors $[\text{éthanol}]_{\text{éq}} * [\text{aa}]_{\text{éq}} \searrow$ car $K(T)$ constant

la transformation élimine plus de réactifs

le mélange a évolué vers un nouvel état d'équilibre où les proportions des constituants sont différentes : on a déplacé l'équilibre

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

3.6 Certains solvants organiques sont nocifs pour la santé et dangereux pour l'environnement : ils peuvent dégrader la qualité de l'air ou encore contaminer les nappes phréatiques, les eaux de surface et les sols.

28 millions de tonnes de solvants organiques sont produits chaque année. Évaluer le volume d'éthanol nécessaire à la substitution de 80 % en masse des solvants organiques par des solvants agrosourcés.

On fera l'hypothèse que la totalité du solvant agrosourcé produit est du lactate d'éthyle obtenu par le procédé b décrit précédemment. Comparer cette valeur au volume d'éthanol produit annuellement dans le monde : 120 milliards de litres.

masse de lactate, obtenu par le procédé b, nécessaire pour remplacer 80 % des 28 millions de tonnes de solvants organiques

$$m(\text{lac}) = 0,80 * m(\text{solvant}) = 0,80 * 28.10^6 = 22.10^6 \text{ tonnes} (= 2,2.10^{13} \text{ g})$$

quantité de lactate correspondante

$$n(\text{lac}) = m(\text{lac}) / M(\text{lac}) = 2,2.10^{13} / 118 = 1,86.10^{11} \text{ mol.}$$

quantité d'éthanol nécessaire pour fabriquer cette quantité de lactate (compte-tenu du rendement)

$$n(\text{éthanol}) = n(\text{lac}) / \eta = 1,86.10^{11} / 0,825 = 2,25.10^{11} \text{ mol.}$$

masse d'éthanol correspondante

$$m(\text{éthanol}) = n(\text{éthanol}) * M(\text{éthanol}) = 2,25.10^{11} * 46,0 = 1,04.10^{13} \text{ g}$$

volume d'éthanol correspondant

$$V(\text{éthanol}) = m(\text{éthanol}) / \rho(\text{éthanol}) = 1,04.10^{13} / 0,789 = 1,31.10^{13} \text{ cm}^3 (= 1,31.10^{10} \text{ L})$$

il faudrait 13,1 milliards de litres d'éthanol, c'est à dire environ 10% de la production mondiale de cet alcool pour remplacer 80 % des solvants organiques