

Niveau : 1^{ères} CDE

Discipline : PHYSIQUE-
CHIMIE

CÔTE D'IVOIRE – ÉCOLE NUMÉRIQUE



THÈME : CHIMIE ORGANIQUE

TITRE DE LA LEÇON : ESTÉRIFICATION ET HYDROLYSE D'UN ESTER

I. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Des élèves de la classe de 1^{ère} C₂ du Lycée Municipal de Guibéroua organisent une sortie d'étude dans une usine de fabrication de produits cosmétiques. Lors de la visite, le guide leur apprend que certains parfums sont fabriqués à partir de composés d'origine animale ou végétale appelés esters. Emmerveillés et voulant en savoir le procédé, ils décident sous la supervision de leur professeur et du guide, de définir les réactions d'estérification et d'hydrolyse des esters, de connaître leurs caractéristiques, d'expliquer la notion d'équilibre chimique et d'exploiter les équations-bilans de ces réactions.

II. CONTENU DE LA LEÇON

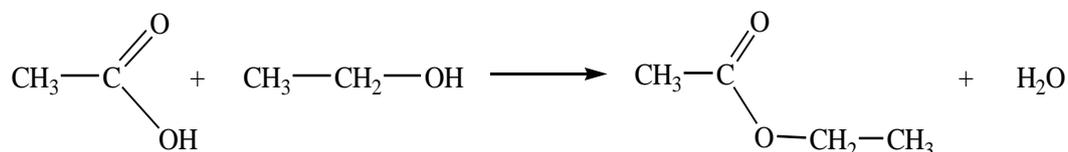
1. Réaction d'estérification

1.1. Définition

La réaction d'estérification est la réaction entre un acide carboxylique et un alcool. Elle conduit à la formation d'un ester et de l'eau.

1.2. Équation de la réaction

Exemple : $R-COOH + R'-OH \longrightarrow R-CO-O-R' + H_2O$



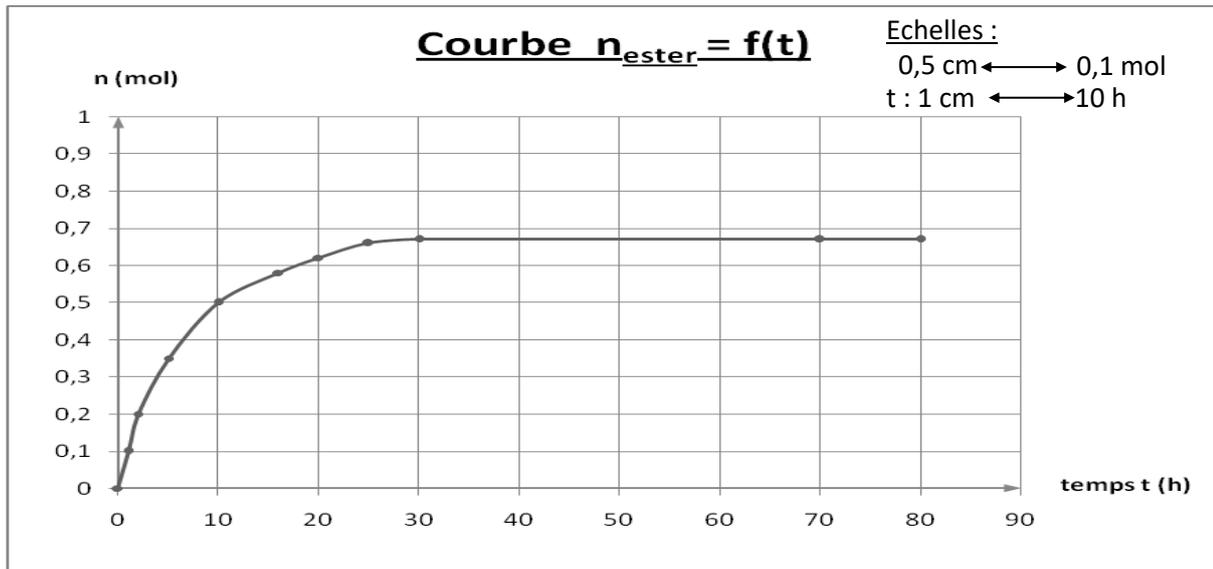
1.3. Courbe de la quantité de matière (n_{ESTER}) d'ester formé en fonction du temps

On mélange de façon équimolaire de l'acide éthanoïque (1 mol) et de l'éthanol (1 mol) en présence d'acide sulfurique concentré. On chauffe le mélange à 100 °C. Par dosage acido-basique, on détermine, à différentes dates, les quantités de matière (n_{ESTER}) d'ester formé. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous :

t (en heure)	acide restant (mol)	alcool restant (mol)	ester formée n_{ester} (mol)	eau formée (mol)
0	1	1	0	0
1	0,9	0,9	0,1	0,1
2	0,8	0,8	0,2	0,2
5	0,65	0,65	0,35	0,35
10	0,5	0,5	0,5	0,5
16	0,42	0,42	0,58	0,58
20	0,38	0,38	0,62	0,62
25	0,34	0,34	0,66	0,66
30	0,33	0,33	0,67	0,67

70	0,33	0,33	0,67	0,67
80	0,33	0,33	0,67	0,67

Trace de la courbe $n_{\text{ESTER}} = f(t)$



La réaction d'estérification est une réaction lente et limitée.

Remarque : Cette réaction ne consomme, ni ne produit de la chaleur : elle est dite athermique.

Conclusion

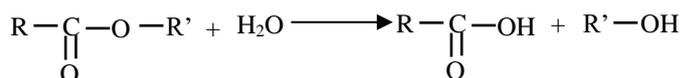
La réaction d'estérification est une réaction lente, limitée et athermique.

2. Réaction d'hydrolyse d'un ester

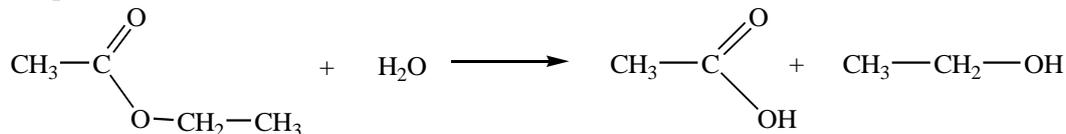
2.1. Définition

La réaction d'hydrolyse d'un ester est la réaction de l'eau sur un ester. On obtient un alcool et un acide carboxylique.

2.2. Équation de la réaction d'hydrolyse



Exemple :



2.3. Tracé de la courbe $n_{\text{ESTER}} = f(t)$

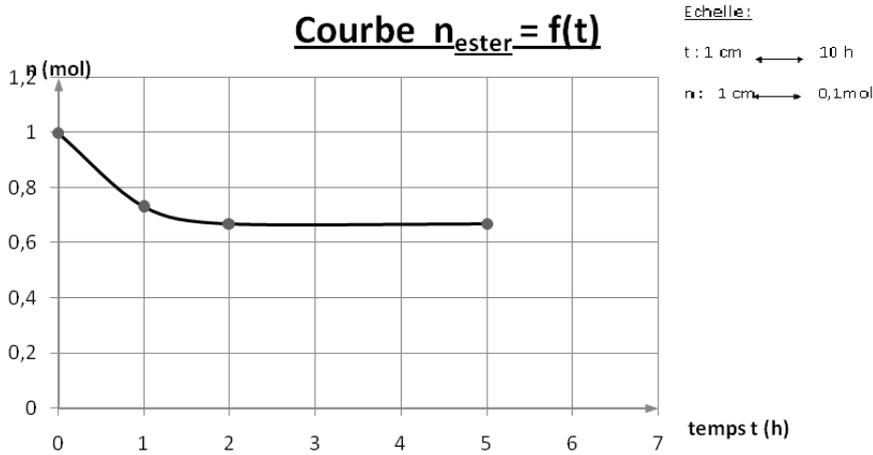
Après addition d'acide sulfurique, on chauffe un mélange constitué d'une mole d'éthanoate d'éthyle et d'une mole d'eau (mélange équimolaire d'éthanoate d'éthyle et d'eau).

A différentes dates, on détermine, par dosage acido-basique, les quantités de matière de l'ester restantes. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Duré et (heures)	Quantité d'ester restante n_{ester} (en mol)	Quantité d'eau restante (mol)	Quantité d'acide formée(en mol)	Quantité d'alcool formée (en mol)
------------------	---	-------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

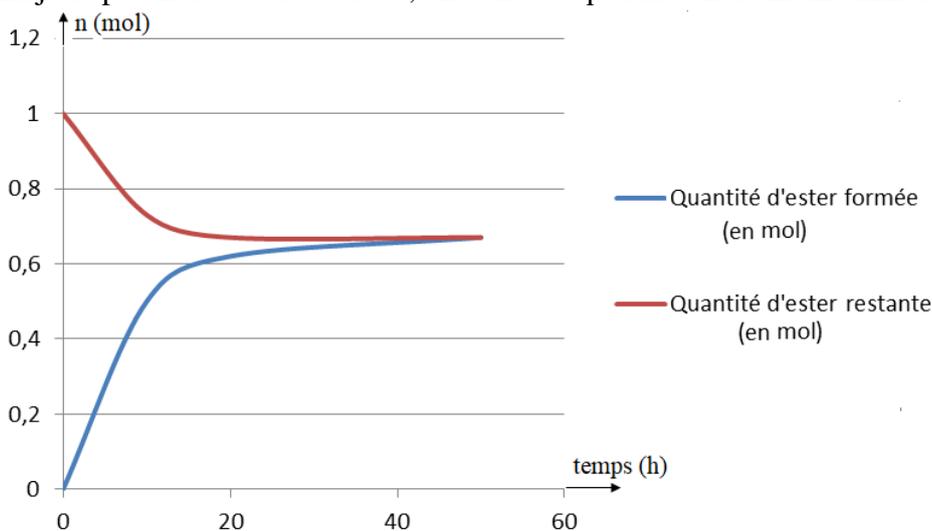
0	1	1	0	0
10	0,73	0,73	0,27	0,27
20	0,67	0,67	0,33	0,33
50	0,67	0,67	0,33	0,33

COURBE $n_{\text{ESTER}} = f(t)$



Conclusion

La réaction d'hydrolyse d'un ester est une réaction lente, réversible, limitée et athermique. En juxtaposant les deux courbes, on constate qu'elles ont la même limite.



Dans ces conditions, on aboutit à un équilibre chimique.

3. Étude de la notion d'équilibre chimique

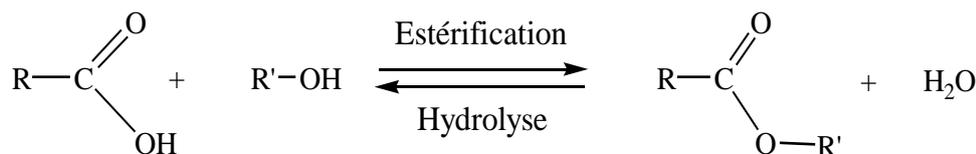
3.1. Réactions réversibles

Les réactions d'estérification et d'hydrolyse d'un ester sont deux réactions qui se déroulent simultanément. En effet, au cours d'une estérification, pendant que l'acide et l'alcool sont transformés en ester et en eau, l'ester et l'eau formés se transforment en acide et en alcool : on dit que ces réactions sont réversibles.

3.2. Équilibre chimique

Au cours des deux réactions, on atteint un moment où les quantités de matière des réactifs et des produits n'évoluent plus (restent constantes) dans le milieu réactionnel. On parle d'équilibre

chimique. Cela se traduit par la double flèche en sens inverse (\rightleftharpoons) dans l'équation-bilan de la réaction.



Activité d'application 1

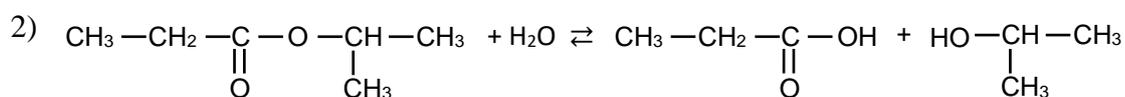
Écris l'équation-bilan de la réaction entre les différentes molécules dans les cas suivants.

- 1) Acide éthanoïque et éthanol
- 2) Propanoate d'isopropyle et l'eau

Tu préciseras le nom de chacune de ces réactions.

Solution

1) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$: réaction d'estérification.



Réaction d'hydrolyse d'un ester.

4. Rendement de l'estérification et de l'hydrolyse

- Cas de l'estérification

Pour un mélange équimolaire d'acide et d'alcool, le rendement de l'estérification est :

$$\rho = \frac{\text{quantité de matière d'ester formé}}{\text{quantité de matière d'acide initial}} = \frac{n_E}{n_o(A)}$$

- Cas de l'hydrolyse d'un ester

Pour un mélange équimolaire d'ester et d'eau, le rendement de l'hydrolyse est :

$$\rho = \frac{\text{nombre de moles d'acide formé}}{\text{nombre de moles d'ester initial}} = \frac{n_A}{n_o(E)}$$

Remarque

Le rendement peut être amélioré par ajout d'un réactif en excès ou par empêchement de la réaction inverse.

Exemple pour l'estérification : enlèvement de l'eau ou distillation de l'ester au fur et à mesure qu'il se forme.

Activité d'application 2

On fait réagir l'acide éthanoïque et le propan-1-ol.

Calcule le rendement de cette réaction chimique sachant qu'un mélange équimolaire d'1 mol de chaque réactif donne 0,67 mol d'ester à l'équilibre chimique.

Solution

$$\rho = \frac{n_E}{n_o(A)} = \frac{0,67}{1} = 0,67 = 67\%$$

Situation d'évaluation

Au cours d'une séance de T.P, ton groupe de travail est désigné pour préparer un ester dont la saveur et l'odeur sont celles de la banane mûre. Cet ester, utilisé pour aromatiser certains sirops, est

l'éthanoate de 3-méthylbutyle. La réaction a lieu dans une ampoule scellée contenant 0,15 mol d'acide carboxylique, 0,45 mol d'alcool et un peu d'acide sulfurique. Le rendement de l'estérification est de 67%. Tu es rapporteur du groupe.

On donne : masses molaires atomiques (en g/mol) : M(C)=12 ; M(H)=1 ; M(O)=16

1-Indique le rôle de l'acide sulfurique.

2-Ecris:

2.1- les formules semi-développées des deux réactifs.

2.2-la formule semi-développée de l'ester.

2.3- l'équation –bilan de la réaction qui a lieu.

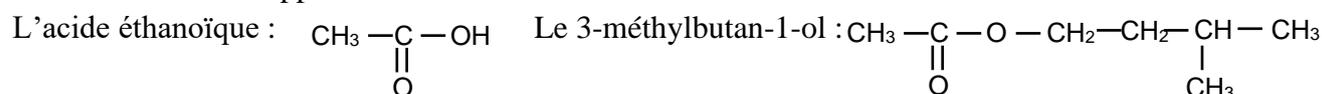
3-Détermine les masses d'ester et d'eau formées à la limite de l'estérification.

Solution

1) L'acide sulfurique est un catalyseur. Il augmente la vitesse de la réaction.

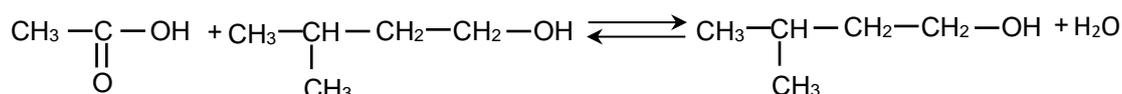
2)

2.1) Formules semi-développées des réactifs.



2.2) Formule de l'ester : $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$

2.3) Équation-bilan de la réaction:



3) Détermination des masses

*Masse d'ester formée

$$\rho = \frac{\text{nombre de moles d'ester formé}}{\text{nombre de moles d'acide initial}} = \frac{n_E}{n_{o(A)}}$$

Quantité de matière de l'ester : $n_E = \rho \cdot n_{o(A)}$

La masse d'ester $m_E = n_E \times M_E = \rho \cdot n_{o(A)} M(\text{ester})$

$M_E = 130 \text{ g/mol}$, la masse molaire moléculaire de l'ester.

A.N. $m_E = 0,67 \times 0,15 \times 130 = 13,1 \text{ g}$

*Masse d'eau formée

Quantité de matière de l'eau : $n_e = \rho \cdot n_{o(A)}$

La masse d'eau $m_e = n_e \times M_e = \rho \cdot n_{o(A)} M(\text{eau})$

$M_e = 18 \text{ g/mol}$, la masse molaire moléculaire de l'eau.

A.N. $m_e = 0,67 \times 0,15 \times 18 = 1,81 \text{ g}$

IV. EXERCICES

Exercice 1

Tu souhaites préparer un ester, l'éthanoate d'éthyle.

1-Nomme les réactifs nécessaires.

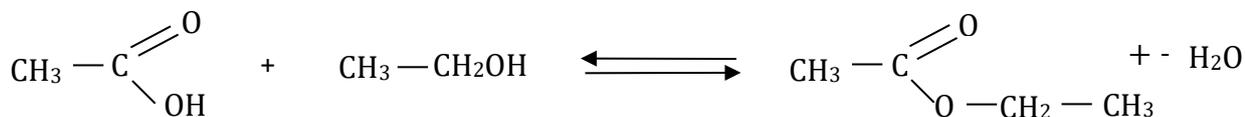
2-Ecris l'équation-bilan de la réaction.

Solution

1- Réactifs nécessaires :

L'acide éthanoïque et l'éthanol

2-Equation-bilan de la réaction



Exercice 2

L'estérification est une réaction chimique.

1) Cette réaction est :

1.1) rapide

1.2) lente

1.3) totale

1.4) limitée

2) Cette réaction est :

2.1) exothermique

2.2) athermique

2.3) endothermique

Pour chacune des affirmations ci-dessus, entoure celle (s) qui est (sont) correcte(s).

Solution

1) Cette réaction est :

1.1) rapide

1.2) lente

1.3) totale

1.4) limitée

2) Cette réaction est :

2.1) exothermique

2.2) athermique

2.3) endothermique

Exercice 3

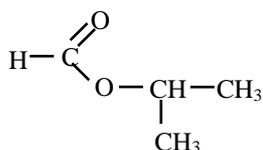
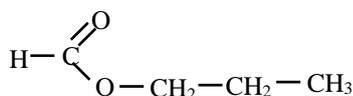
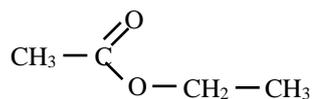
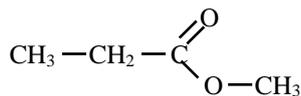
Un ester (E) a pour formule brute $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$.

1. Détermine les diverses formules semi-développées de cet ester.

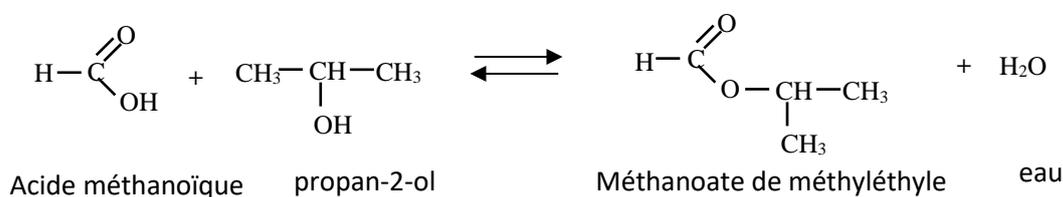
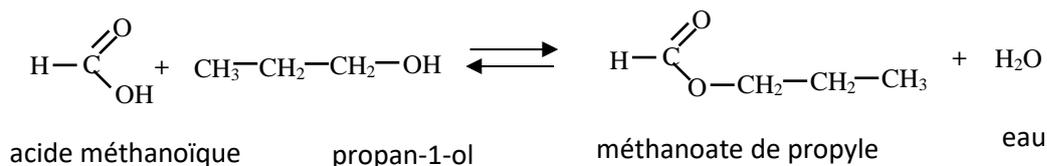
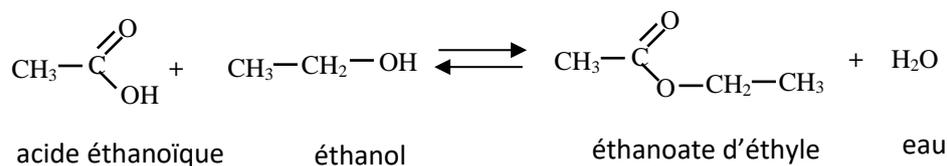
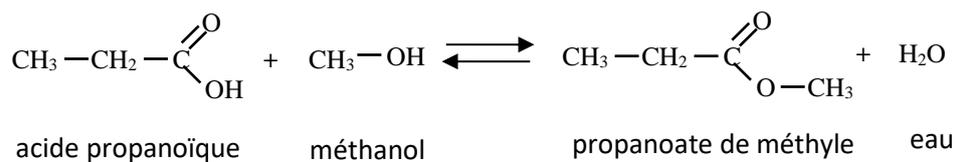
2. Ecris dans chaque cas l'équation-bilan de la réaction d'estérification correspondante et nomme tous les composés mis en jeu.

Solution

1 - Formules semi-développées de l'ester



2- Équation - bilans et noms des composés mis en jeu



Exercice 4

Au cours d'une séance de travaux pratiques, le professeur demande à chaque groupe d'élève de votre classe de réaliser une expérience. Le but est de déterminer le rendement d'une réaction d'hydrolyse à partir d'un mélange non équimolaire et de le comparer à celui d'un mélange équimolaire qui vaut 33 %.

Pour ce faire, un élève de chaque groupe mélange 5 mol d'eau et 1 mol de butanoate d'éthyle. Le mélange est chauffé à 200°C. À l'équilibre chimique, la quantité de matière d'acide présent dans le mélange est de 0,7 mol.

Tu es le rapporteur de ton groupe.

- 1- Donne la formule brute du butanoate d'éthyle
- 2- Écris l'équation-bilan de la réaction d'hydrolyse.
- 3- Détermine le rendement d'hydrolyse.
- 4-

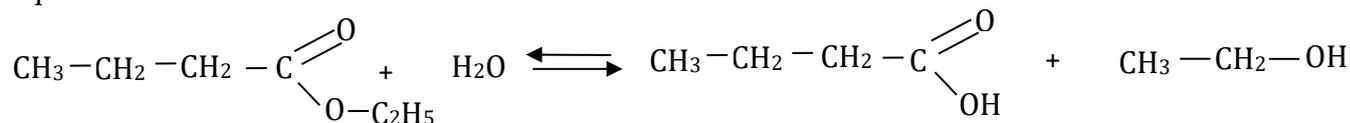
4-1 Compare ce rendement à celui d'un mélange équimolaire d'ester et d'eau.

4-2 Dédus-en une méthode pour améliorer le rendement d'une hydrolyse d'ester.

Solution

1-Formule brute du butanoate d'éthyle : C₆H₁₂O₂.

2. Équation-bilan de la réaction.



t=0	1 mol	5 mol	0 mol	0 mol
t=te	1-x	5-x	x	x

3. Rendement de l'hydrolyse

$$P = \frac{0,7}{1} \times 100 = 70 \%$$

4-

4-1 Ce rendement est supérieur à celui d'un mélange équimolaire.

4-2 On peut donc améliorer le rendement d'une hydrolyse en augmentant la quantité d'eau qui réagit avec l'acide qui devient alors un réactif limitant.

Exercice 5

Au cours d'une séance de TP, le professeur demande à ton groupe de préparer le 2-méthylpropanoate d'éthyle (E). La réaction a lieu dans une ampoule scellée en présence d'un peu d'acide sulfurique à 100°C.

Au départ, vous introduisez dans l'ampoule 0,15 mol d'acide et 0,15 mol d'alcool. La quantité d'ester formée est de 11,6 g.

Tu es le rapporteur du groupe.

1- Ecris la formule semi-développée:

1-1 de l'acide carboxylique (A) et l'alcool (B) utilisés pour préparer l'ester (E) ;

1-2 du 2-méthylpropanoate d'éthyle.

2- Indique le rôle de l'acide sulfurique.

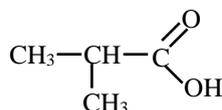
3- Ecris l'équation –bilan de la réaction chimique.

4- Détermine le rendement de l'estérification.

Solution

1- Formules semi-développées:

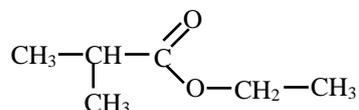
1-1 Formule semi-développée de l'acide carboxylique (A)



Formule semi-développée de l'alcool (B).



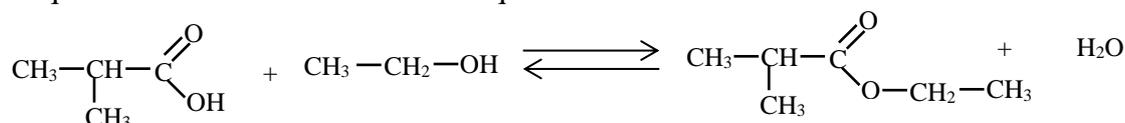
1-2 Formule semi-développée du 2-méthylpropanoate d'éthyle.



2- Rôle de l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique est un catalyseur de la réaction d'estérification, sa présence augmente la vitesse de la réaction chimique.

3- Equation –bilan de la réaction chimique.



4- Le rendement.

$$M(\text{ester}) = (12 \times 6 + 12 + 32) = 116 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$n(\text{ester}) = \frac{m}{M} = \frac{11,6}{116} = 0,1 \text{ mol}$$

$$\rho = \frac{n(\text{ester})}{n(\text{acide})} = \frac{0,1}{0,15} = 0,67 \text{ soit } 67\%$$

IV. DOCUMENTATION

Quelques esters et leur odeur

En chimie, la fonction ester désigne un groupement caractéristique formé d'un atome lié simultanément à un atome d'oxygène par une double liaison et à un groupement alkoxy du type R-COO-R'. Quand l'atome lié est un atome de carbone, on parle d'**esters carboxyliques**. Cependant, ce peut être aussi un atome de soufre (par exemple dans les esters sulfuriques, sulféniques, etc.), d'azote (esters nitriques, etc.), de phosphore (esters phosphoriques, phosphoniques, phosphéniques, etc.), etc.

Les esters carboxyliques sont des dérivés des acides carboxyliques, résultant très généralement de l'action d'un alcool sur ces acides avec élimination d'eau. Les fonctions esters se retrouvent dans de nombreuses molécules biologiques, notamment les triglycérides (corps gras dans le sang par exemple). Les esters carboxyliques ont souvent une odeur agréable et sont souvent à l'origine de l'arôme naturel des fruits. Ils sont aussi beaucoup utilisés pour les arômes synthétiques et dans la parfumerie.

Ester		Odeur
Méthanoate ou Formiate	<u>de méthyle</u>	Éthérée
	<u>d'éthyle</u>	Odeur de <u>rhum</u> , et partiellement des <u>framboises</u>
	<u>de butyle</u>	Fruitée
Éthanoate ou Acétate	<u>de méthyle</u>	Fruitée
	<u>d'éthyle</u>	Dissolvant ou fruitée
	<u>de propyle</u>	<u>Poire</u>
	<u>de butyle</u>	<u>Banane</u> ou <u>pomme</u>
	<u>de pentyle</u>	<u>Poire</u>
	<u>d'hexyle</u>	<u>Poire</u>
	<u>d'heptyle</u>	Florale
	<u>d'octyle</u>	<u>Orange</u>
	<u>delinalyle</u>	<u>Lavande</u> , <u>bergamote</u> ou <u>banane</u>
	<u>de 2-phényléthyle</u>	<u>Rose</u>
	<u>de benzyle</u>	<u>Jasmin</u>

	<u>de vinyle</u>	Fruitée, agréable à faible concentration devient vite âcre et irritante à plus forte concentration
	<u>d'isoamyle</u> ou de 3- méthylbutyle	<u>Banane</u>
	<u>d'isobutyle</u> ou β - méthylpropyle	Fruitée et florale
Propanoate ou Propionate	<u>d'éthyle</u>	<u>Fraise</u>
	<u>de propyle</u>	Fruitée
	<u>de butyle</u>	<u>Pomme</u>
	<u>d'isoamyle</u>	<u>Abricot, ananas</u>
	<u>d'isobutyle</u>	Éthérée
	<u>d'isopropyle</u>	Fruitée
Butanoate ou Butyrate	<u>de méthyle</u>	Pomme
	<u>d'éthyle</u>	<u>Ananas</u>
	<u>d'isoamyle</u>	<u>Pomme</u>
Isopentanoate ou Isovalérate	<u>de méthyle</u>	Fruitée
Salicylate	<u>de méthyle</u>	Thé des bois, Winter-green
	<u>de phényle</u>	Aromatique
	<u>d'hexyle</u>	Azalée
Benzoate	<u>de méthyle</u>	Orientale (très raffinée : « essence de Niobé »)
	<u>d'éthyle</u>	<u>Cerise</u>
	<u>de benzyle</u>	Aromatique