

Introduction Le méthanoate d'éthyle donne à l'ananas son odeur caractéristique qui est un composé organique appartenant à un groupement organique appelé les esters. La réaction qui permet d'obtenir un ester à partir d'un acide carboxylique et un alcool est **estérification**, sa réaction inverse appelé l'**hydrolyse** de l'ester. Comment réalise-t-on ces deux réactions? Quelles sont leur caractéristiques? Et comment contrôler leurs évolutions.



I-Rappel : Nomenclature des alcanes

1- Le alcanes

Les alcanes sont des hydrocarbures saturés.(ils sont constitués par des atomes de carbone et des atomes d'hydrogène liés entre eux par des liaisons simples C-C et C-H).

La formule brute générale des alcanes est : C_nH_{2n+2} (n : entier naturel non nul).

Remarque :

La formule brute indique le nombre et la nature des atomes constituant la molécule.

La formule développée fait apparaître tous les atomes et toutes les liaisons entre les atomes de la molécule.

La formule semi-développée fait apparaître tous les atomes et toutes les liaisons entre les atomes à l'exception des liaisons avec les atomes d'hydrogène.

La formule topologique est une représentation simplifiée dans laquelle la liaison entre les atomes de carbones est représentée par un segment dont chaque extrémité correspond à un atome de carbone

Exemple : Le propane

formule brute	formule plane développée	formule semi développée	représentation topologique
C_3H_8	<pre> H H H | | | H - C - C - C - H | | | H H H </pre>	$CH_3-CH_2-CH_3$	

2- Nomenclature des alcanes:

a) Cas des alcanes à chaîne linéaire:

Le nom d'un **alcane** est formé d'un terme dépendant du nombre d'atomes de carbone dans la chaîne, suivi du suffixe "ane"

Nombre de carbone de l'alcane	Nom de l'alcane	Formule brute C_nH_{2n+2}	Formule semi-développée
1 : méth	méthane	.....	.....
2 : éth	éthane	.....	.....
3 : prop	propane	.....	.....
4 : but	butane	.....	.....
5 : pent	pentane	.....	.....
6 : hex	hexane	.....	.....
7 : hept	heptane	.....	.....
8 : oct	octane	.....	.....

Remarque : Les radicaux alkyles ont pour formule brute : $-C_nH_{2n+1}$

- un radical alkyle dérive d'une molécule d'alcane par perte d'un atome d'hydrogène.
- Le nom d'un radical alkyle s'obtient à partir du nom de l'alcane correspondant (qui a le même nombre d'atomes de carbones) en échangeant la terminaison (**ane**) par (**yle**).

Nombre d'atomes de carbones	L'alcane	Son nom	L'alkyl correspondant	Son nom
1	CH ₄	méthane	-CH ₃	méthyle
2	C ₂ H ₆	éthane	-C ₂ H ₅	éthyle
3	C ₃ H ₈	propane	-C ₃ H ₇	propyle
4	C ₄ H ₁₀	butane	-C ₄ H ₉	butyle

b) Nomenclature des alcanes ramifiés:

Le nom d'un alcane ramifié est déterminé en appliquant la règle suivant :

- On cherche la chaîne carbonée la plus longue (: représente **chaîne carbonée principale**).
- On place en préfixe le nom du **groupe d'alkyle** avec **sa position** puis on complète par le **nom de la chaîne carbonée principale** (= **nom d'alcane linéaire**).
- S'il y a plusieurs **radicaux alkyles**, ils sont placés par ordre alphabétique.
- S'il y a les mêmes radicaux sont répétés, on utilise les préfixes multiplicateur (di , tri , tétra ..etc).

Application 1

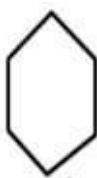
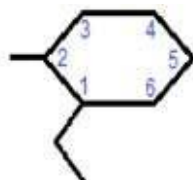
Les alcanes ramifiés	Nomenclature
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	.....
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	.....
$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ | \\ \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$	.....
.....	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$

C- Nomenclature des cycloalcanes

Les **cycloalcanes** sont des hydrocarbures cycliques saturés, dont la formule brute générale est : C_nH_{2n}

Avec $n > 2$: Le nom d'un cycloalcane s'obtient en utilisant le préfixe "**cyclo**" suivi par le nom de l'alcane correspondant.

Application 2



II- Groupe des esters

1) Groupe des alcools

- La molécule d'alcool possède le groupement fonctionnel **-OH** appelé **groupement hydroxyde**
- La formule brute générale des alcools est : **R-OH** avec **R** est un groupe alkyl : **-C_nH_{2n+1}**

❖ Nomenclatures des alcools

Le nom de l'alcool Le nom de l'alcool est obtenu à partir du nom de l'hydrocarbure (alcane) correspondant dans lequel on remplace le « e » final par la terminaison "**ol**", précédée d'un indice indiquant la position du carbone portant le groupe hydroxyle « OH » dans la chaîne principale (on attribuera le plus petit numéro possible au carbone portant ce groupe **OH**)

Application 3

$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{OH} \end{array} $	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$
	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad \quad | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \quad \text{OH} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{OH} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} $

Remarque : On distingue trois classes d'alcools, les alcools primaires, les alcools secondaires et les alcools tertiaires.

Classe de l'alcool	Alcool primaire	Alcool secondaire	Alcool tertiaire
Formule générale	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{R}' \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{R}'' \\ | \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{R}' \end{array} $

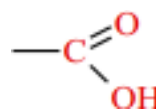
Dans un **alcool primaire**, le carbone fonctionnel est lié à **deux atomes d'hydrogène**.

Dans un **alcool secondaire**, le carbone fonctionnel est lié à un **seul atome d'hydrogène**.

Dans un **alcool tertiaire**, le carbone fonctionnel n'est lié à **aucun atome d'hydrogène**.

3) Groupe des acides carboxyliques :

L'**acide carboxyle** est un composé organique contient le groupement fonctionnel : **-COOH** ou



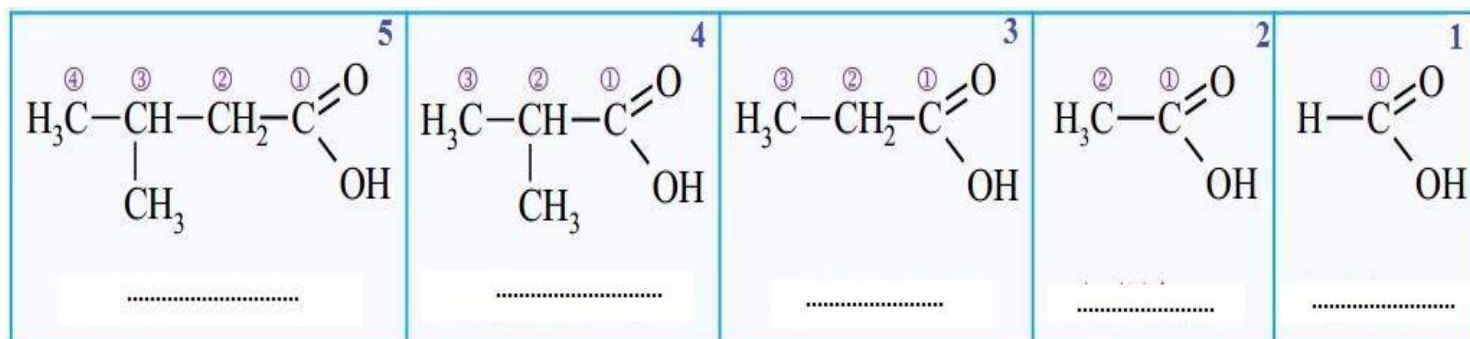
La formule générale d'acide carboxyle est **R-COOH** ou **R-C(=O)OH** ; telle que R est groupe d'alkyle ou atome d'hydrogène

Nomenclature: Le nom de l'acide s'obtient en considérant le nom de l'alcane correspondant dans lequel :

- ✓ On remplace le « e » final par la terminaison **OÏQUE**.
- ✓ On fait alors précéder le nom du composé du mot **acide**.

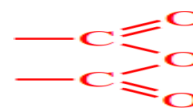
Les règles concernant la position des différents radicaux sont conservées. La numérotation commence par le carbone fonctionnel

Application 3



4) Anhydride d'acide :

Anhydride d'acide est un composé organique contient le groupement fonctionnel :



-Sa formule générale est $\begin{array}{c} \text{R}-\text{C} \\ \diagup \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \diagup \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$; telle que **R** est le groupe d'alkyle ou atome d'hydrogène

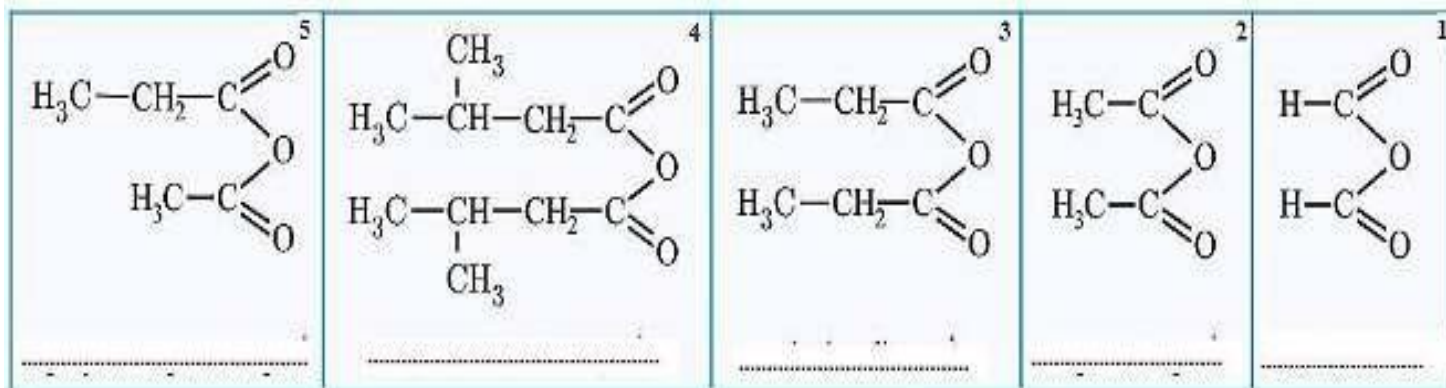
Préparation Le nom anhydride (ou acide sans eau) peut être préparé en éliminant une molécule d'eau entre deux molécules d'acide carboxylique :



Nomenclature. Le nom s'obtient en remplaçant le mot **acide** par le mot **anhydride** dans le nom de l'acide carboxylique correspondant. **Exemple :** L'**acide éthanoïque** correspond l'**anhydride éthanoïque**.

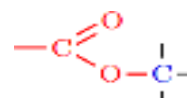
Remarque : Si les deux radicaux hydrocarbonés sont différents, l'anhydride est dit mixte. On l'obtient par élimination d'une molécule d'eau entre deux molécules d'acides différents

Application 4



5) Groupe des esters

L'**ester** est un composé organique contient un groupement fonctionnel :



Sa formule générale est $\begin{array}{c} \text{R}_1-\text{C} \\ \diagup \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O}-\text{R}_2 \end{array}$ ou ; $\text{R}_1 - \text{COO} - \text{R}_2$ Telle que R_2 G H

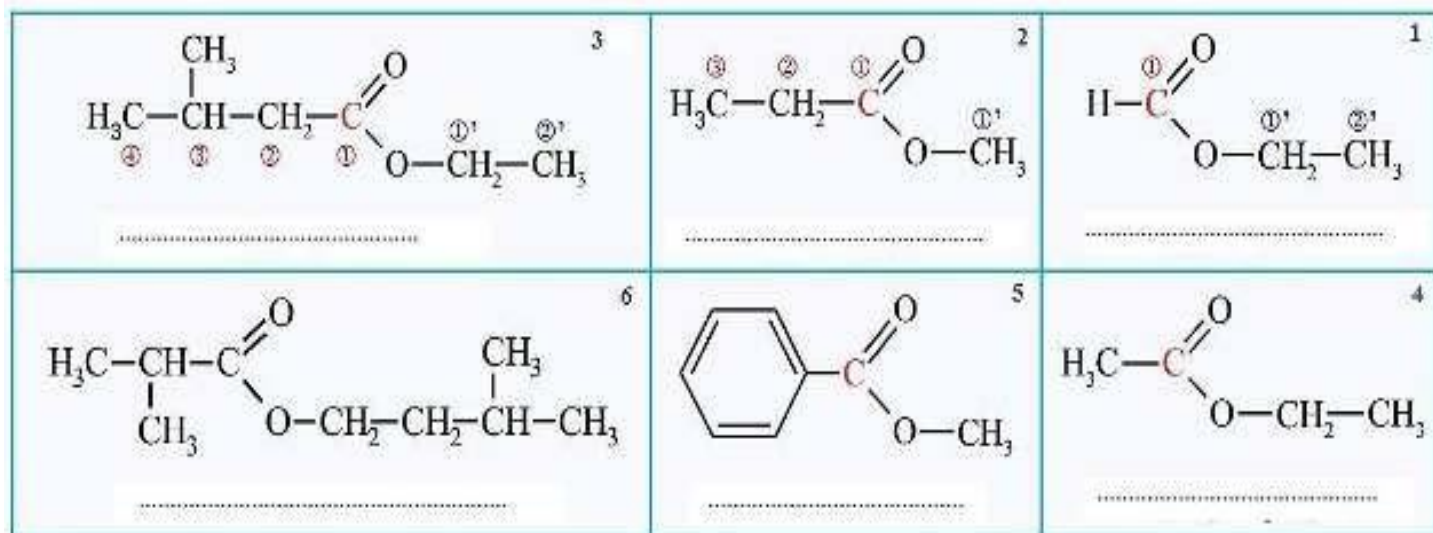
Nomenclature Le nom de l'ester , se compose de deux parties:

-La première partie se dérive du nom de l'acide correspondant en remplaçant la terminaison "oïque" par "oate".

-La deuxième partie c'est le nom du groupe d'alkyle -R₂ lié à l'atome d'oxygène.



Application 5

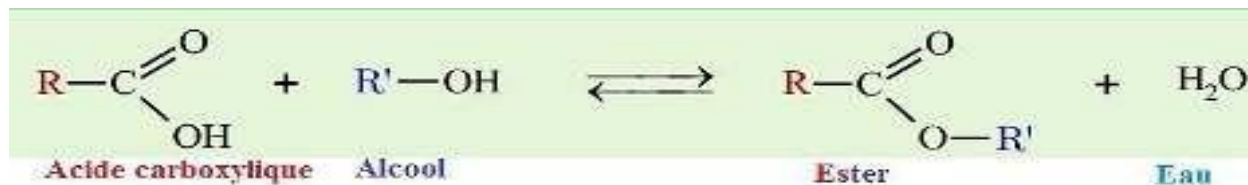


III- Réactions d'estérification et d'hydrolyse.

Les esters sont des composés odorants, que l'on trouve en abondance dans les fruits mûrs (ananas, poire, banane...) et qui entrent souvent dans la composition des huiles essentielles, comme celle de la lavande. Ils sont utilisés dans la fabrication des parfums ou comme aromatisants dans l'industrie alimentaire.

1-La réaction d'estérification

La réaction d'un acide carboxylique avec un alcool conduit à la formation d'ester et d'eau. Cette réaction s'appelle : **estérification**. Son équation s'écrit sous forme :



Remarque : La réaction d'estérification est : limitée ; très lente et athermique. (On utilise deux flèches)

Application 6 En utilisant des formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction dans des cas suivants, et donner les noms des réactifs et des produits.

- 1- Réaction entre l'acide propanoïque avec éthanol.
- 2- Réaction d'estérification qui conduit à la formation de éthanoate -2- méthyle de buthyle

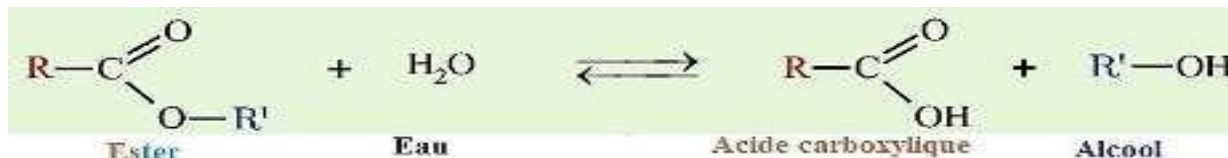
.....

.....

.....

2-La réaction d'hydrolyse

L'hydrolyse d'un ester est la réaction **inverse de l'estérification**. La réaction entre un **ester** et l'**eau** conduit à la formation d'un **acide carboxylique** et d'un **alcool**. Son équation s'écrit sous forme :

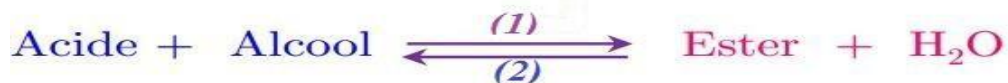


Remarque : La réaction d'hydrolyse est : **limitée ; très lente et athermique**.

Application 7 En utilisant des formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction d'hydrolyse d'éthanoate, et donner les noms des produits formés

3- L'état d'équilibre d'estérification et d'hydrolyse

Les réactions **d'estérification** et **d'hydrolyse** sont l'inverse l'une de l'autre, elles se produisent simultanément. Lorsque leurs vitesses sont égales l'équilibre est atteint. Dans l'état d'équilibre l'acide, l'alcool, l'ester et l'eau coexistent.



(1) : *Estérification*

(2) : *Hydrolyse*

On peut exprimer les constantes de réactions associées à ces deux réactions inverses. Considérons un système chimique de volume V constant à l'équilibre contenant l'acide, l'alcool, l'ester et l'eau.

L'expression de la constante d'équilibre K :

Pour l'estérification on a

Pour l'hydrolyse on a :

⚠ Dans le cas de **l'estérification**, l'eau n'est pas un **solvant** !, il faut impérativement la faire apparaître dans l'expression de la constante d'équilibre.

⚠ La constante d'équilibre **d'estérification** et **d'hydrolyse** est indépendante de température.

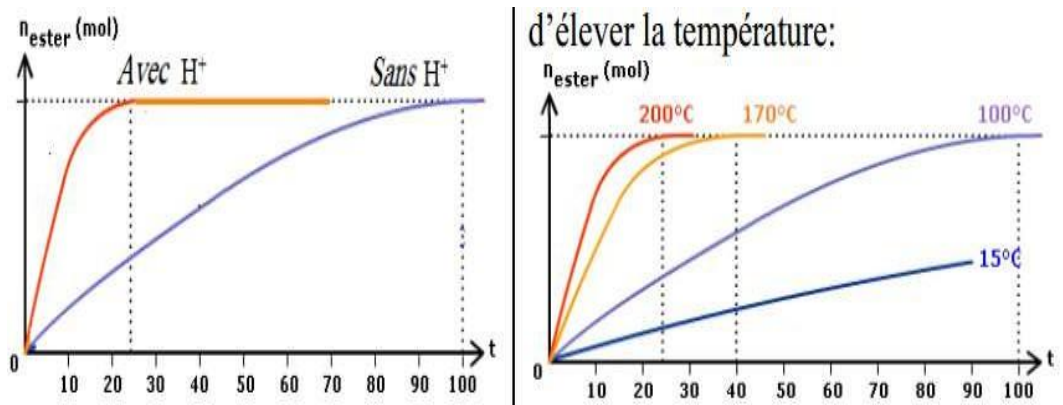
V- Contrôle de la réaction d'estérification et d'hydrolyse

Les réactions d'estérification et d'hydrolyse sont **lentes**. Donc comment peut-on augmenter la vitesse de réaction et la valeur de taux d'avancement finale.

1- Contrôle de la vitesse de réaction

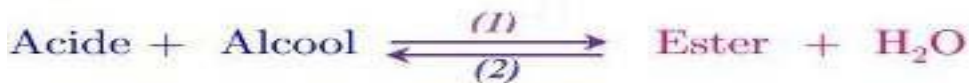
Pour augmenter la **vitesse de réaction** d'une **estérification** ou d'une **hydrolyse**, il est possible :

- d'utiliser un **catalyseur**, qui augmente la vitesse de réaction sans modifier l'état final (il n'apparaît donc pas dans l'équation de réaction).
- d'**élever** la température.



2- Contrôle de l'état final, déplacement d'équilibre

Déplacer l'équilibre c'est faire évoluer le mélange vers un nouvel état d'équilibre où les proportions des constituants sont différentes. On considère le système à l'équilibre $Q_{r,eq} = K$



$$Q_r = \frac{[\text{Ester}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{Acide}][\text{Alcool}]}$$

- **L'utilisation** de l'un des **réactifs en excès** (l'alcool ou bien l'acide) entraîne la **diminution** du quotient de la réaction Q_r , il devient $Q_r < K$ ce qui conduit à l'évolution du système dans le **sens direct** (*sens de l'estérification (1)*).
- **L'élimination** de l'un des **produits** (eau ou bien l'ester) entraîne aussi la **diminution** du quotient de la réaction Q_r , il devient $Q_r < K$ ce qui conduit à l'évolution du système dans le **sens direct** (*sens de l'estérification (1)*)

3- Rendement d'une réaction d'estérification .

Le **rendement de la réaction d'estérification** est le quotient de la quantité de matière d'ester obtenu expérimentalement n_{exp} par celle maximale d'ester attendue n_{max} .

.....

Pour **améliorer le rendement d'estérification** et d'hydrolyse il faut :

- **Utiliser l'un des réactif en excès**, (soit à l'état initial ou à l'état d'équilibre)
- **Éliminer l'un des produits** au cours de sa formation.

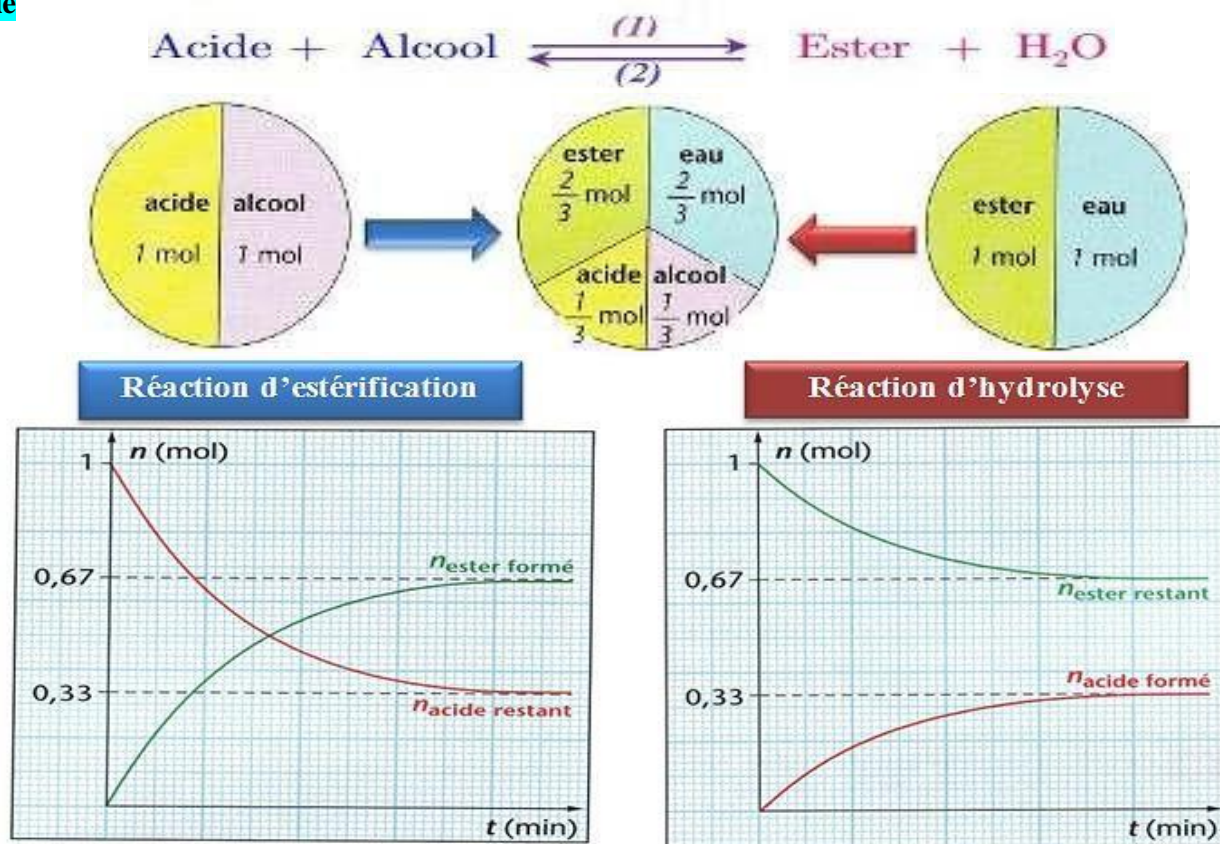
Remarque : si l'on part d'un mélange équimolaire d'acide et d'alcool ou d'ester et d'eau , Le rendement de l'estérification dépend peu du choix de l'acide. **En revanche** il dépend nettement de la classe de l'alcool

67 % pour un alcool primaire

60 % pour un alcool secondaire

5 % pour un alcool tertiaire

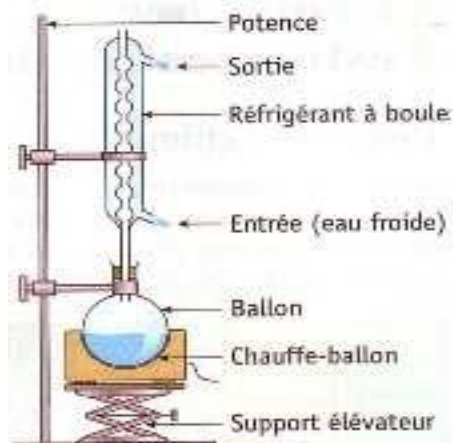
Exemple



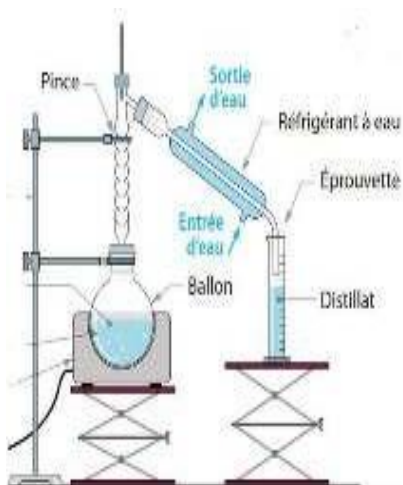
Annexe, de matériels

Pour synthétiser un ester on utilise le chauffage à reflux qui a pour but :

- Le chauffage du mélange réactionnel.
- Eviter de perdre une partie des réactifs et des produits par vaporisation.



L'élimination de l'ester se fait par distillation fractionnée



L'élimination d'eau se fait grâce à un montage dit de Dean-Stark

