



Les compétences à acquérir...

- Exploiter des règles de nomenclature fournies pour nommer une espèce chimique ou représenter l'entité associée.
- Représenter des formules topologiques d'isomères de constitution, à partir d'une formule brute ou semi-développée.
- Formule topologique.
- Familles fonctionnelles : esters, amines, amides et halogénoalcanes.
- Identifier le motif d'un polymère à partir de sa formule.
- Citer des polymères naturels et synthétiques et des utilisations courantes des polymères.
- Identifier dans un protocole, les opérations réalisées pour optimiser la vitesse de formation d'un produit.
- Justifier l'augmentation du rendement d'une synthèse par introduction d'un excès d'un réactif ou par élimination d'un produit du milieu réactionnel.



I- Structure et propriétés de molécules organiques:

1- Nomenclature de quelques familles fonctionnelles :

Une **famille fonctionnelle** regroupe l'ensemble des molécules possédant le **même**... groupe caractéristique parfois complété par une **position**... particulière de ce groupe.
Les molécules d'une même famille fonctionnelle possèdent des propriétés chimiques **proches**.....

GROUPE CARACTÉRISTIQUE	NOM DE LA FAMILLE	FORMULE GÉNÉRALE	NOMENCLATURE	EXEMPLE	Remarques
groupe hydroxyle: 	Alcool	$R-OH$	Alcan- n-ol	$CH_3-CH_2-\overset{\overset{OH}{ }}{\underset{\underset{H}{ }}{C}}-CH_3$ Butan- 2-ol	Toujours noter la position du groupe hydroxyle
groupe carbonyle 	Aldéhyde	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-H \end{array}$	Alcan al	$CH_3-CH_2-\underset{\underset{CH_3}{ }}{CH}-\overset{\overset{H}{ }}{C}=O$ 2-méthyl butanal	Le groupe carbonyle est toujours au début de la chaîne
	Cétone	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-R' \end{array}$	Alcan- n-one	$CH_3-\overset{\overset{O}{ }}{C}-CH_2-CH_3$ Butan- 2-one	Toujours noter la position du groupe carbonyle
groupe carboxyle 	Acide carboxylique	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-OH \end{array}$	Acide alcan oïque	$CH_3-C(=O)OH$ Acide éthan oïque	Le groupe carboxyle est toujours en début de chaîne
double liaison 	Alcène	$C=C$	Alcan- n-ène		Le numéro de la double liaison correspond au 1 ^{er} carbone

2- Nomenclature des esters, des amines et des amides : Une nouvelle représentation

Cette année, de nouvelles familles sont abordées :

Famille fonctionnelle	Groupe Ester	Groupe Amine	Groupe Amide	Halogénoalcane	
Groupe caractéristique				-F	-Cl
				-Br	-I
Suffixe ou préfixe	... oate de ... yle	amine*	amide*	fluoro ; chloro ; bromo ; iodo	
Nomenclature	Leur nom est constitué de deux termes : - le premier dérive du nom de l'acide carboxylique correspondant à la chaîne carbonée liée à l'atome de carbone du groupe caractéristique. La terminaison -oïque est remplacée par -oate. - le second terme correspond au groupe alkyle lié à l'atome d'oxygène du groupe caractéristique.	Nom officiel obtenu en remplaçant le « e » final de l'alcane dont il dérive par le suffixe « amine ». Une nomenclature plus courante consiste à ajouter le suffixe amine au nom du radical alkyle — R après avoir supprimé le « e » final. Si l'atome d'azote, en plus d'être lié à la chaîne principale, est aussi lié à un ou des groupes alkyles, le nom est précédé de la mention N-alkyl ou N,N-alkyl.	Nom officiel obtenu en remplaçant le « e » final de l'alcane dont il dérive par le suffixe « amide ». Si l'atome d'azote, en plus d'être lié à la chaîne principale, est aussi lié à un ou des groupes alkyles, le nom est précédé de la mention N-alkyl ou N,N-alkyl.	Nom de l'alcane précédé du préfixe fluoro, chloro, bromo ou iodo, précédé de l'indice de position de ce groupe dans la chaîne carbonée, suivi d'un tiret.	

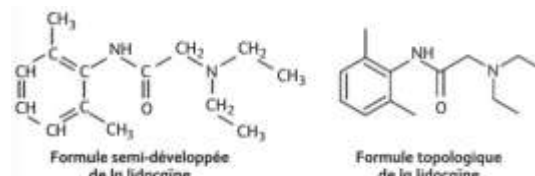
3- Représentation des molécules : Une nouvelle représentation la formule topologique

Prenons le cas de l'acide 3-méthylbutanoïque

Formule Brute	Formule développée	Formule semi-développée	Formule topologique
$C_5H_{10}O_2$			

Formule topologique : La formule topologique est un mode de représentation simplifié des molécules organiques :

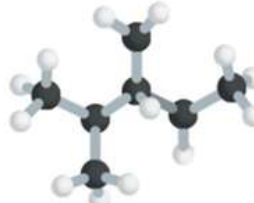
- Les atomes de carbone et d'hydrogène ne sont représentés à l'exception de ceux liés à un hétéroatome (O, N, ...).
- Les liaisons covalentes sont représentées par des traits formant des lignes « brisées »



Exemples :

Nom	Formule semi-développée	Formule topologique
propane	$CH_3-CH_2-CH_3$	
3-méthylbutanoate de 2-méthylpropyle	$CH_3-CH(CH_3)-CH_2-C(=O)-O-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$	
3-méthylpentan-2-amine	$CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH(NH_2)-CH_3$	
N-méthylbutanamide	$CH_3-CH_2-CH_2-C(=O)-NH-CH_3$	
3-chloro-4-éthylheptane	$CH_3-CH_2-CH(Cl)-CH(CH_2CH_3)-CH_2-CH_2-CH_3$	

4- Des chaînes carbonées très diverses :

Chaîne carbonée saturée Lorsque les atomes de carbone ne forment entre eux que des liaisons simples.  Carbones tétraogonaux et tétraédriques	Chaîne carbonée insaturée Lorsqu'au moins deux atomes de carbone voisins sont liés par une double liaison. 	Chaîne ramifiée Lorsqu'un carbone est lié à au moins 3 carbones. 
Chaîne linéaire Lorsqu'un carbone est lié à d'autres carbones sans faire de ramifications.  Molécule d'octane (linéaire saturée)	Chaîne cyclique La chaîne se referme sur elle-même et forme un cycle. 	

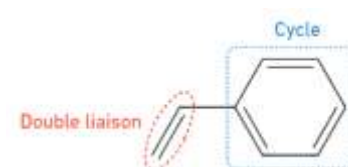
Remarque :

- Le **squelette carboné** représente *l'enchaînement* des atomes de carbone constituant la molécule organique.

5- Squelettes carbonés saturés, insaturés, cycliques :

Une molécule qui possède au moins une **liaison multiple** (double ou triple) entre deux atomes de carbone possède un **squelette carboné** *insaturé*.....

Une molécule qui comporte un **cycle** d'atomes de carbone possède un **squelette carboné** *cyclique*....



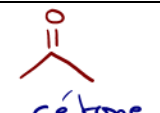
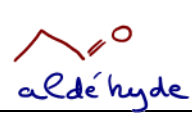
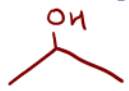
Le styrène possède un squelette carboné *insaturé et cyclique*.....

6- Isomérisie de constitution :

Des **isomères de constitutions** sont des molécules de même formule brute mais de **formules semi-développées** *différentes*

On distingue **l'isomérisie de constitution** de *squelette*, de *fonction* ou de *position*.....

Exemple :

Le butane et le méthylpropane sont des isomères de constitution de squelette : Leurs squelettes sont <i>différents</i> ...	C_4H_{10}		
La propanone et le propanal sont des isomères de constitution de fonction : Ils ne possèdent pas la même <i>fonction</i>	C_3H_6O		
Le propan-1-ol et le propan-2-ol sont des isomères de constitution de position : Le groupe <i>hydroxyle</i> n'est pas à la même <i>position</i> sur la chaîne carbonée.	C_3H_8O		

7- Les polymères :

Un **polymère** est une *macromolécule* constituée de l'enchaînement répété d'un ensemble d'atomes identiques appelée *monomère* : le polymère est obtenu à partir d'un très grand nombre de molécules identiques appelées *monomère*, reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Exercice :

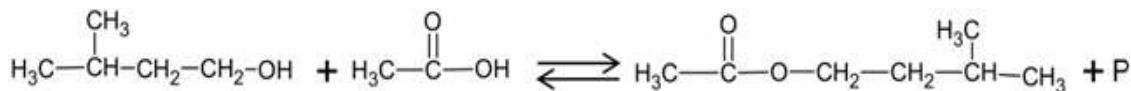
Ecrire l'équation de la réaction de formation du polyéthylène



- La transformation qui permet de passer du **monomère au polymère** se nomme une **polymérisation**
- Le nombre de motif n est appelé le **degré de polymérisation**

II- Optimisation d'une synthèse organique:

Synthèse d'un ester : Estérification



3-méthylbutan-1-ol + acide propanoïque $\rightleftharpoons$ éthanoate de 3-méthylbutyle + eau

Dans un ballon on introduit $V_1 = 22,0 \text{ mL}$ de l'alcool,
 $V_2 = 15,0 \text{ mL}$ de l'acide carboxylique pur et 10 gouttes d'acide sulfurique concentré, ainsi que quelques grains de pierre ponce.
La masse d'ester obtenue est $m_B = 19,7 \text{ g}$.

Espèce chimique	Masse molaire en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$	Densité
l'alcool	88,2	0,81
l'acide carboxylique	60,0	1,05
ester	130,2	0,87

Cette transformation est **lente**..... et **non totale**.....

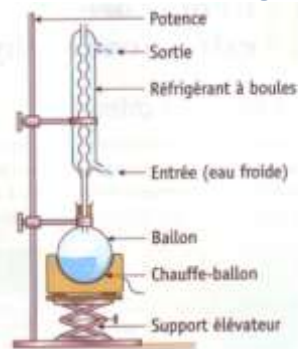
Comment accélérer la vitesse de réaction et/ou augmenter le rendement de cette transformation ?

1- Contrôle de la vitesse de la réaction:

Pour augmenter la vitesse de formation d'un produit, on peut :

- **Chauffer**..... le milieu réactionnel avec un montage de chauffage à reflux ; **T° facteur cinétique**
- utiliser un **catalyseur** : Un **catalyseur** est une espèce qui augmente la vitesse d'une transformation, sans figurer dans l'équation de la réaction et sans modifier la composition du système à l'état final.
- **Augmenter**..... la concentration des réactifs en solution.
- modifier l'état de division des réactifs, la nature du solvant qui, en favorisant **les contacts** entre les espèces qui réagissent, permettent également une diminution de la durée de la transformation

Remarque : Un montage à reflux

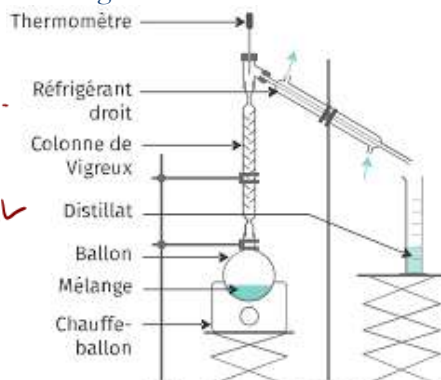


• Un montage à reflux permet de chauffer un mélange réactionnel sans perte de matière

• Un montage distillation permet d'éliminer le produit le plus volatil

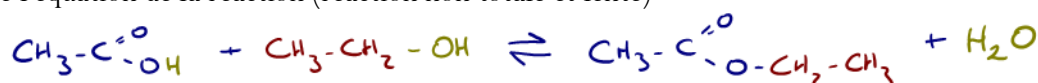
Estérification : c'est l'ester qui est éliminé

Montage distillation



Exemple :

On synthétise un ester l'éthanoate d'éthyle en faisant réagir l'acide éthanoïque avec l'éthanol
Ecrire l'équation de la réaction (réaction non totale et lente)



- L'état final est atteint en 155h à 20°C et seulement 28h à 70°C
- En présence d'acide sulfurique H_2SO_4 , qui catalyse la réaction, on atteint l'état final en seulement 8h à 70°C

2- Augmentation du rendement :

Le **rendement** est un des critères permettant d'apprécier l'efficacité d'une synthèse.

Il est défini **pour un produit** par

$$\eta = \frac{m_{\text{produit}}^{\text{formée (expérimentale)}}}{m_{\text{produit}}^{\text{maximale}}} \times 100$$

↗
c'est

ou $\eta = \frac{m_{\text{produit}}^{\text{f}} / n_{\text{produit}}^{\text{f}}}{m_{\text{produit}}^{\text{ma}} / n_{\text{produit}}^{\text{ma}}}$ avec $\eta = \frac{m_{\text{produit}}^{\text{f}}}{m_{\text{produit}}^{\text{ma}}} \times 100$

et η s'exprime en %

L'augmentation du rendement d'une synthèse peut être assurée par :

- L'introduction d'un **réactif en excès**
- L'élimination d'un **produit** du mélange réactionnel **au fur et à mesure**

Raisonnement à connaître :

La synthèse du méthanol est réalisée à partir du bromométhane en présence de l'ion hydroxyde

Equation de la réaction :



Expression de la constante d'équilibre

$$K(T) = Q_{r,\text{eq}} = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]_{\text{eq}} \times [\text{Br}^-]_{\text{eq}}}{[\text{CH}_3\text{-Br}]_{\text{eq}} \times [\text{HO}^-]_{\text{eq}}}$$

- Si le réactif HO^- est ajouté alors le $Q_r \neq K(T)$. Q_r a **diminué** donc $Q_r < K(T)$. Le système chimique évolue dans le sens **direct**... c'est-à-dire vers la formation du **méthanol**.
Le rendement **augmente**.

- Si l'ion Ag^+ est introduit au mélange réactionnel, il réagit avec l'ion Br^- pour former du bromure d'argent AgBr(s) . Q_r a **diminué** ($[\text{Br}^-] \downarrow$) donc $Q_r < K(T)$. Le système chimique évolue dans le sens **direct**... c'est-à-dire vers la formation du **méthanol**.

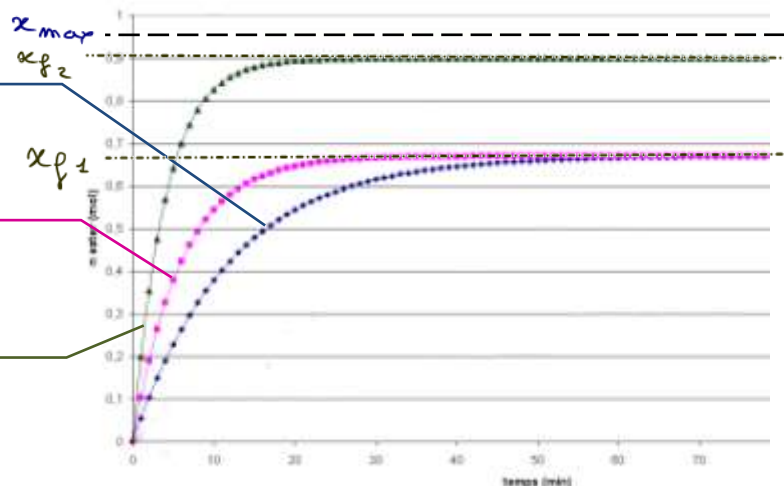
Exercice à savoir refaire : Calculer le rendement de l'estérification précédente sur la feuille en face

En résumé :

la réaction est lente et non totale $x_f < x_{\text{max}}$

la réaction est plus rapide sans modification de l'état final : montage à reflux

la réaction est plus rapide avec modification de l'état final : montage à distillation



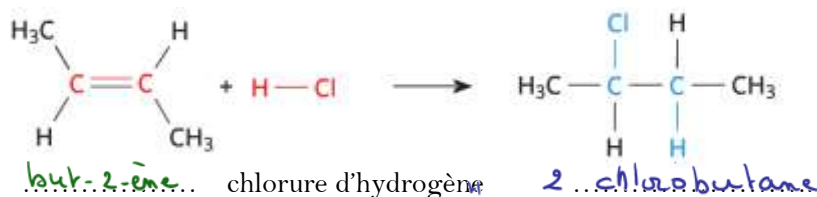
III- Principales catégories de réactions :

Les synthèses mettent en jeu 5 grands types de réactions : oxydo-réduction, acide-base, addition, élimination et substitution.

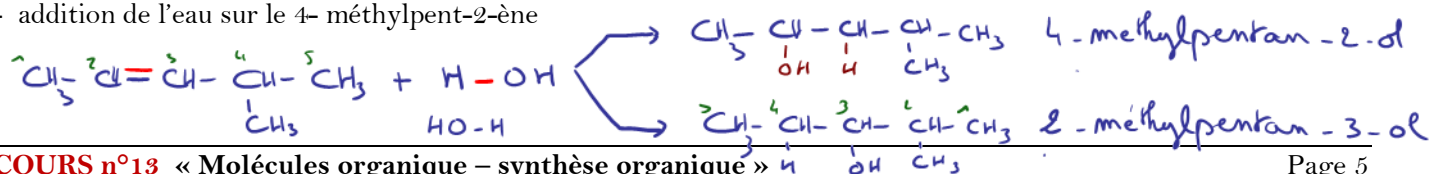
1- Réaction d'addition :

Une addition est définie comme une réaction au cours de laquelle un atome ou un groupe d'atome viennent se **fixer** sur des atomes initialement liés par une **double ou une triple liaison sans départ** d'autres groupes d'atome

Exemple : addition du chlorure d'hydrogène sur un alcène (but-2-ène). Les liaisons rompues sont en rouge, les liaisons formées en bleu.



- addition de l'eau sur le 4-méthylpent-2-ène



2- Réaction de substitution

Une **substitution** est une réaction au cours de laquelle un atome ou groupe d'atomes est **remplacé** par un autre atome ou groupe d'atome.

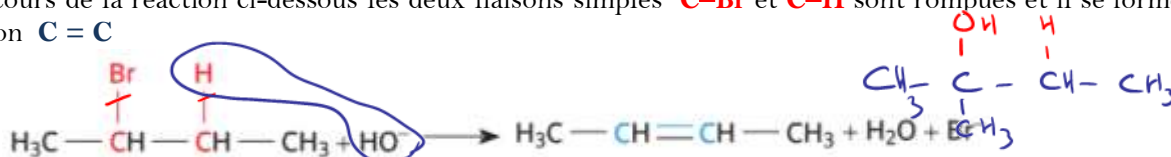
Exemple : substitution d'un atome de chlore par un groupe -OH. En rouge la liaison rompue, en bleu la liaison formée.



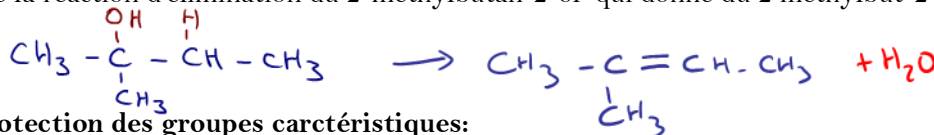
3 Réaction d'élimination

Une réaction d'**élimination** est définie comme une réaction chimique au cours de laquelle deux atomes ou **groupes d'atomes** voisins sont **retirés** d'une molécule **sans arrivée** d'autres groupes d'atomes. Entre les 2 atomes porteurs de ces groupes d'atomes se forme une **liaison multiple**.

Exemples : Au cours de la réaction ci-dessous les deux liaisons simples **C-Br** et **C-H** sont rompues et il se forme une double liaison **C = C**



Ecrire la réaction d'élimination du 2-méthylbutan-2-ol qui donne du 2-méthylbut-2-ène et de l'eau.

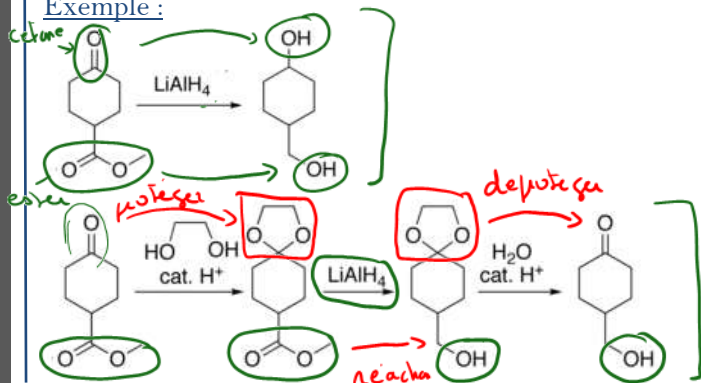


3- Protection des groupes caractéristiques:

Lorsqu'une molécule possède plusieurs groupes fonctionnels / caractéristiques, il est parfois nécessaire, au cours d'une synthèse, de protéger les fonctions / groupes caractéristiques que l'on ne souhaite pas modifier.

Cette stratégie de synthèse est appelée **protection - transformation - déprotection**

Exemple :



En présence du tétrahydruroaluminate LiAlH_4 , les fonctions **cétone**... et **ester**... sont réduites **indifféremment** en fonction **alcool**.

Si l'on ne veut réduire que la fonction **ester**, il faut **protéger** la fonction **cétone**, faire **réagir** LiAlH_4 pour réduire la fonction **ester**... et enfin **déprotéger** la fonction **cétone**...

IV- Synthèse écoresponsable :

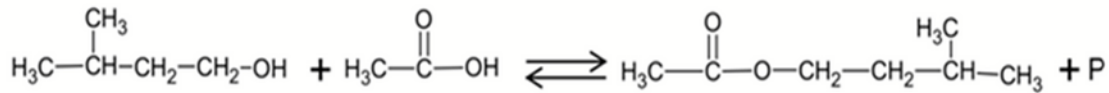
Dans un souci écologique, les industries chimiques s'orientent vers des synthèses écoresponsables : celles-ci doivent utiliser des procédés chimiques qui réduisent ou éliminent l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses.

Ce type de synthèse doit respecter les 12 principes de la chimie verte énoncés par les chimistes américains Paul Anastas et John C. Warner en 1998. Quatre d'entre eux sont détaillés ci-dessous :

- ♦ Le principe d'**économie d'atomes** qui consiste à maximiser le nombre d'atomes de réactifs intégrés dans le produit de la synthèse. On diminue ainsi la quantité de sous-produits et donc la pollution.
- ♦ L'utilisation de **catalyseurs** qui permet de diminuer la consommation d'énergie, d'augmenter la sélectivité des réactions et de diminuer les quantités de réactifs.
- ♦ Les réactifs doivent être les moins toxiques possible pour que les synthèses soient **les moins nocives possible** pour l'environnement.
- ♦ Les **solvants verts** sont faiblement toxiques, facilement récupérables et recyclables. Ils doivent cependant permettre de maintenir les caractéristiques de la réaction telles que les vitesses de réaction et les rendements.



Synthèse d'un ester : Estérification



3-méthylbutan-1-ol + acide...propanoïque $\Rightarrow$ éthanoate de 3-méthylbutyl...eau

Dans un ballon on introduit $V_1 = 22,0 \text{ mL}$ de l'alcool,
 $V_2 = 15,0 \text{ mL}$ de l'acide carboxylique pur et 10 gouttes d'acide
 sulfurique concentré, ainsi que quelques grains de pierre ponce.
 La masse d'ester obtenue est $m_B = 19,7 \text{ g}$.

Espèce chimique	Masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	Densité
l'alcool	88,2	0,81
l'acide carboxylique	60,0	1,05
ester	130,2	0,87

Réaction : alcool + acide $\rightleftharpoons$ ester + eau

Brouillon $\left\{ \begin{array}{l} r = \frac{m_{\text{ester}}^{\text{exp}}}{m_{\text{ester}}^{\text{théo}}} \times 100 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ des 2 réactifs sont des corps purs} \\ \bullet \text{ on ne pas parler de } [\text{ }]; \\ \bullet \text{ d'eau n'est pas 1 solvant mais} \\ \bullet \text{ un produit de la réaction.} \end{array} \right.$
 Donc $[\text{eau}]_f$
 Pour trouver $m_{\text{ester}}^{\text{théo}}$: $m_{\text{al}}^i ; m_{\text{ac}}^i \xrightarrow[\text{totale}]{\text{réaction}} x_{\text{max}} \rightarrow m_{\text{ester}}^f \rightarrow m_{\text{ester}}^{\text{théo}}$

1- Calcul des quantités initiales des réactifs :

Calcul de la quantité initiale
d'alcool m_{al}^i

$$d_{\text{al}} = \frac{\rho_{\text{al}}}{\rho_{\text{eau}}} \Rightarrow \rho_{\text{al}} = d_{\text{al}} \times \rho_{\text{eau}}$$

avec $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ g/mL}$
 $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg/L}$

$$\text{De plus } \rho_{\text{al}} = \frac{m_{\text{al}}}{V_1} = \frac{m_{\text{al}}^i \times \rho_{\text{al}}}{V_1}$$

$$\text{Donc } \frac{m_{\text{al}}^i \times \rho_{\text{al}}}{V_1} = d_{\text{al}} \times \rho_{\text{eau}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{al}}^i = \frac{d_{\text{al}} \times \rho_{\text{eau}} \times V_1}{\rho_{\text{al}}} = \frac{0,81 \times 1,0 \times 22,0}{88,2}$$

$$m_{\text{al}}^i = 0,20 \text{ mol}$$

Calcul de la quantité initiale
d'acide m_{ac}^i

$$d_{\text{a}} = \frac{\rho_{\text{ac}}}{\rho_{\text{eau}}} \Rightarrow \rho_{\text{ac}} = d_{\text{ac}} \times \rho_{\text{eau}}$$

avec $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ g/mL}$
 $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg/L}$

$$\text{De plus } \rho_{\text{ac}} = \frac{m_{\text{ac}}}{V_2} = \frac{m_{\text{ac}}^i \times \rho_{\text{ac}}}{V_2}$$

$$\text{Donc } \frac{m_{\text{ac}}^i \times \rho_{\text{ac}}}{V_2} = d_{\text{ac}} \times \rho_{\text{eau}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{ac}}^i = \frac{d_{\text{ac}} \times \rho_{\text{eau}} \times V_2}{\rho_{\text{ac}}} = \frac{1,05 \times 1,0 \times 15,0}{60,0}$$

$$m_{\text{ac}}^i = 0,26 \text{ mol}$$

Si la réaction est totale : $x_f = x_{\text{max}}$

$$\begin{cases} m_{\text{al}}^f = m_{\text{al}}^i - x_{\text{max}} = 0 \\ m_{\text{ac}}^f = m_{\text{ac}}^i - x_{\text{max}} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{\text{max}} = m_{\text{al}}^i = 0,20 \text{ mol} \\ x_{\text{max}} = m_{\text{ac}}^i = 0,26 \text{ mol} \end{cases}$$

$$\text{donc } x_{\text{max}} = 0,20 \text{ mol}$$

Calcul de la masse d'ester théorique

$$m_{\text{ester}}^f = x_{\text{max}} = \frac{m_{\text{ester}}^{\text{théo}}}{\rho_{\text{ester}}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{ester}}^{\text{théo}} = m_{\text{ester}}^f \times \rho_{\text{ester}} = 0,20 \times 130,2 = 26 \text{ g}$$

Calcul du rendement r

$$r = \frac{m_{\text{ester}}^{\text{obtenue}}}{m_{\text{ester}}^{\text{théo}}} \times 100 = \frac{19,7}{26} \times 100 = 75\%$$