

Terminale Spécialité Physique-Chimie	Thème : Constitution et transformations de la matière	M.KUNST-MEDICA MAJ 07/2024	
Chapitre 15 : Synthèse organique (optimisation d'une synthèse)		Cours livre p 194 à 198	

Objectifs et trame du chapitre (6 séances)

I. Les différentes formules

Cours (15 minutes)

II. Squelette carboné

Cours (15 minutes)

III. Nommer des molécules

Activité Jeu 15.1 : Associer un nom à une formule topologique (1 séance)

Capacités visées par l'activité et les exercices :

- 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.

IV. Isomérisation de constitution

Cours (15 minutes)

V. Les polymères

Activité documentaire n°15.2 : Les polymères, matériaux incontournables (1 séance)

Capacités visées :

- Identifier le motif d'un polymère à partir de sa formule.
- Citer des polymères naturels et synthétiques et des utilisations courantes des polymères.

VI. Optimisation d'une synthèse

Activité expérimentale n°15.3 : Augmenter un rendement (2 séances)

Capacités visées :

- 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.
- Mettre en œuvre un protocole de synthèse pour étudier l'influence de la modification des conditions expérimentales sur le rendement ou la vitesse.

VII. Stratégie de synthèse.

Activité expérimentale n°15.4 : Synthèse conduisant à la modification d'un groupe caractéristique (2 séances)

Capacités visées :

- Mettre en œuvre un protocole de synthèse conduisant à la modification d'un groupe caractéristique ou d'une chaîne carbonée.
- Discuter l'impact environnemental d'une synthèse et proposer des améliorations à l'aide des données fournies, par exemple en termes d'énergie, de formation et valorisation de sous-produits et de choix des réactifs et des solvants.

Capacités visées :

- Élaborer une séquence réactionnelle de synthèse d'une espèce à partir d'une banque de réactions.
- Identifier des réactions d'oxydo-réduction, acide-base, de substitution, d'addition, d'élimination.
- Identifier des étapes de protection / déprotection et justifier leur intérêt, à partir d'une banque de réaction.

Synthèse des activités :

Vidéo : Bilan de cours sur les molécules organiques (Stella)

<https://www.youtube.com/watch?v=FtIkbXV9pKU>



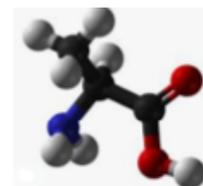
Vidéo : Bilan de cours sur les synthèses organiques (Stella)

<https://www.youtube.com/watch?v=f2-U4HnqU7M>



I. Les différentes formules

Nous travaillerons dans ce paragraphe avec le même exemple : l'alanine dont le modèle moléculaire est le suivant :



1 - Formule brute

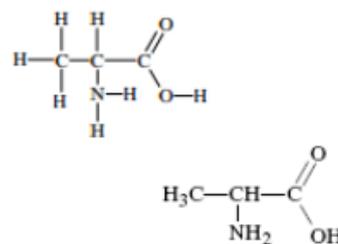
On énumère les éléments présents dans l'entité en indiquant en quelle quantité ils sont présents. Cette formule n'a aucun intérêt, si ce n'est de permettre un calcul rapide de la masse molaire.



2 - Formules semi-développée et développée

Ces formules permettent de voir l'essentiel de la structure de la molécule. La formule semi-développée regroupe les atomes d'hydrogène sur l'atome qui les porte.

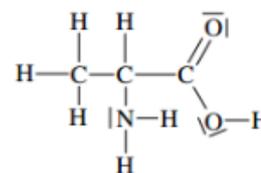
Remarque : La formule développée n'est quasiment jamais utilisée car elle a tendance à être plus confuse que la formule semi-développée sans apporter d'information supplémentaire.



3 - Représentation de Lewis

Elle est identique à la formule développée, mais les doublets non-liants sont représentés par des tirets.

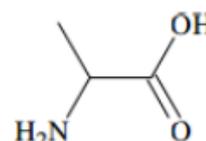
La visualisation des doublets non-liants permet de connaître la géométrie de la molécule.



4 - Formule topologique

C'est la formule la plus utilisée pour les molécules organiques. Ne figurent dans cette formule, ni les C, ni les H portés par les C. On représente donc seulement : toutes les liaisons sauf C-H et tous les autres atomes.

Attention : Pour une question de clarté, il est nécessaire de faire figurer un angle entre deux liaisons C-C. Sinon, il est impossible de savoir si un trait représente une ou plusieurs liaisons C-C.



II. Squelette carboné

Le squelette carboné (appelé aussi chaîne carbonée) correspond à l'enchaînement des atomes de carbone constituant une molécule organique.

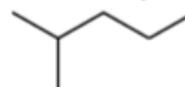
1 – Squelette carboné saturé

Le squelette carboné est dit **saturé** lorsque tous les carbones ont **quatre liaisons simples**.

Exemples : Hexane :



2-méthylpentane :



2 – Squelette carboné insaturé

Le squelette carboné est dit **insaturé** lorsque qu'il y a une **liaison multiple** ou un **cycle**.

Exemples :

Cyclohexane :



Hex-2-ène :



Benzène :



III. Nommer des molécules

1 – Nomenclature d'une molécule organique

préfixe(s) radical suffixe

Indique la nature et la position d'éventuelles ramifications de la chaîne carbonée ou de groupes caractéristiques secondaires

Indique le nombre d'atomes de carbone de la chaîne principale

Indique la nature et la position du groupe caractéristique principal et donc la famille chimique

2 – Nomenclature d'une chaîne carbonée

Longueur d'une chaîne :

Nb de carbone	Chaîne plus longue	Gp alkyles
1	méth	n° - méthyl ...
2	éth	n° - éthyl ...
3	prop	n° - propyl ...
4	but	n° - butyl ...
5	pent	n° - pentyl ...
6	hex	n° - hexyl ...
7	hept	n° - heptyl ...
8	oct	n° - octyl ...

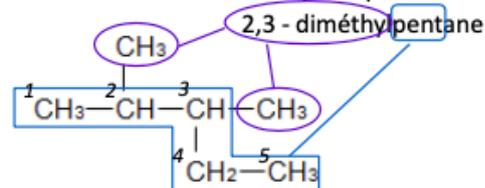
Suffixe de la chaîne carbonée principale :

Alcane	liaisons simples entre C	... ane
Alcène	une double liaison entre C	... n°- ène

Quelques règles :

- On repère la chaîne linéaire la plus longue.
- On nomme les groupes alkyles (ramifications).
- On numérote la chaîne principale de façon à ce que les atomes qui portent les groupes alkyles aient les numéros les plus petits possibles.
- Lorsque le même groupe apparaît plusieurs fois, on lui ajoute le préfixe multiplicatif di, tri, tétra ...
- Les noms des substituants sont classés par ordre alphabétique, sans tenir compte du préfixe multiplicatif. Ils sont précédés du numéro de leur position sur la chaîne carbonée principale.

Exemple :



Famille	Groupe fonctionnel	Représentation	Formule	Préfixe (si 2 gp)	Suffixe
Alcool	Hydroxyle	$\text{R}-\text{O}-\text{H}$	$\text{R}-\text{OH}$	n° - hydroxy -	... n° - ol
Aldéhyde	Carbonyle	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	$\text{R}-\text{CHO}$... al
Cétone		$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}'$	$\text{R}-\text{CO}-\text{R}'$	n° - oxo -	... n° - one
Acide carboxylique	Carboxyle	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	$\text{R}-\text{COOH}$		Acide ... oïque
Ester	Ester	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}'$	$\text{R}-\text{COO}-\text{R}'$... oate de ... yle
Amine	Amine	$\text{R}-\text{N}\begin{matrix} \text{R}' \\ \\ \text{R}'' \end{matrix}$	$\text{R}-\text{NH}_2$ ou $\text{R}-\text{N}\begin{matrix} \text{R}' \\ \\ \text{R}'' \end{matrix}$ ou $\text{R}-\text{NH}-\text{R}'$	n° - amino -	... n° - amine
Amide	Amide	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-\text{R}'$	$\text{R}-\text{CO}-\text{NH}_2$ ou $\text{R}'-\text{CO}-\text{N}\begin{matrix} \text{R} \\ \\ \text{R}'' \end{matrix}$ ou $\text{R}-\text{CO}-\text{NH}-\text{R}'$... amide
Halogénoalcanes	Fluorure / chlorure / bromure / iodure	$\text{R}-\text{X}$	$\text{R}-\text{F}$ ou $\text{R}-\text{Cl}$ ou $\text{R}-\text{Br}$ ou $\text{R}-\text{I}$	n° - fluoro / chloro / bromo / iodo	/

- ☑ Pour les fonctions aldéhyde, acide carboxylique, ester et amide on prendra toujours le carbone portant le groupe comme le premier de la chaîne.
- ☑ Si un groupe alkyle est porté par un atome d'azote (provenant d'une amine ou d'une amide), il sera précédé de la lettre N (et non par un numéro).
- ☑ Le nom d'un ester comporte deux termes : le premier, avec la terminaison -oate désigne la chaîne carbonée R-C, numérotée à partir de C ; le second, avec la terminaison -yle est le nom du groupe alkyle R', numéroté à partir de l'atome de carbone lié à l'atome d'oxygène O.
- ☑ Si deux fonctions sont présentes dans une même molécule, il faudra utiliser le préfixe et non le suffixe pour l'une des deux fonctions.

IV. Isomérisation de constitution

Deux corps sont isomères s'ils ont **même formule brute** mais des structures différentes. Si la formule **semi-développée est différente** on parle d'**isomères de constitution**.

Des isomères de constitution peuvent différer de plusieurs manières. Par exemple à partir de la molécule $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$, on peut obtenir les molécules suivantes :

Butanol : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$

Butan-2-ol : $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

2-méthylpropan-2-ol : $\text{CH}_3-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)_2$

Méthoxypropane : $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

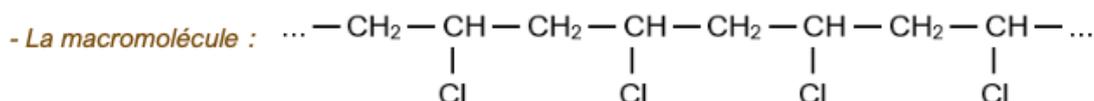
V. Les polymères

Un polymère est un ensemble de très grosses molécules appelées **macromolécules**. Ces dernières sont constituées d'un **motif** qui se répètent un grand nombre de fois.

Le **motif** est appelé **monomère** et peut facilement être repéré dans la formule d'une macromolécule.

Le **nombre de motif** est quand à lui noté **n** et appelé **indice de polymérisation**

Un exemple : Le PVC (PolyChlorure de Vinyle) :



VI. Optimisation d'une synthèse

1 - Vitesse

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

- chauffer le milieu réactionnel (avec un montage à reflux afin d'éviter les pertes) ;
- utiliser un catalyseur ;
- augmenter la concentration des réactifs.

2 - Rendement

Calculer un rendement : $\eta = \frac{n_{\text{produit exp}}}{n_{\text{produit max}}} = \frac{m_{\text{produit exp}}}{m_{\text{produit max}}}$ (le rendement ne peut bien entendu pas être supérieur à 1...)

Conclusion : Pour augmenter un rendement, on peut :

- Éliminer un produit (par distillation par exemple)
- Mettre un réactif en excès (en général le réactif le moins cher...)

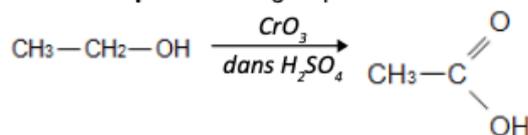
VII. Stratégie de synthèse.

Une synthèse est un ensemble de réactions chimiques et de traitements que l'on effectue afin d'isoler une molécule en particulier.

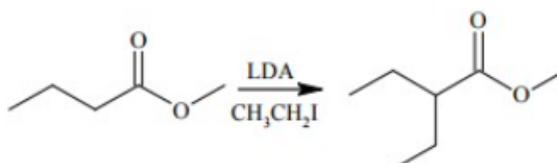
1 – Modification de molécules

Lors des synthèses, les transformations d'une molécule peuvent concerner ses groupes caractéristiques, sa chaîne carbonée ou encore les deux à la fois.

- **Modification de groupe caractéristique** : seul le groupe fonctionnel de la molécule est modifié :



- **Modification de chaîne** : la chaîne carbonée de la molécule est modifiée :



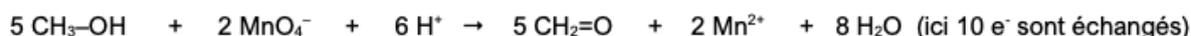
Parfois, pour modifier la chaîne carbonée, ce qui est plus difficile à faire qu'un changement de groupe, il est nécessaire de passer par une modification du groupe fonctionnel.

2 - Catégories de réactions

A partir du XIX^{ème} siècle, les chimistes organiciens ont développé un large éventail de réactions qui peuvent être classées selon le type de transformation que subit la molécule :

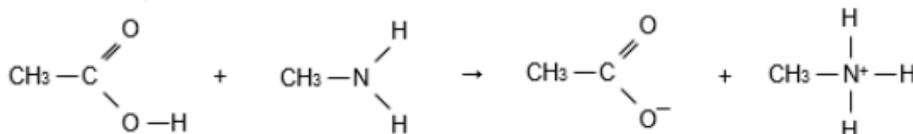
a – Réaction d'oxydoréduction

Des électrons sont nécessaires au passage d'une molécule à une autre. Par exemple, l'oxydation du méthanol en méthanal par l'ion permanganate :



b – Réaction acide base

De nombreuses espèces organiques sont acides (les acides carboxyliques) ou basiques (les amines) et donc les échanges de protons sont fréquents :



c – Réaction de substitution

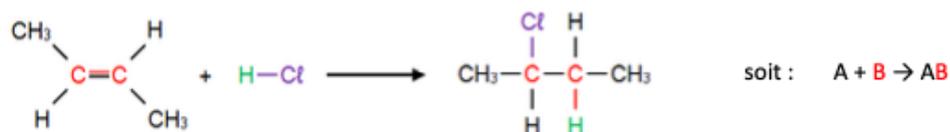
Une substitution est une réaction chimique au cours de laquelle un groupe d'atomes (groupe sortant) est remplacé par un autre (groupe entrant).



Au cours de la réaction de substitution ci-dessus, la rupture de la liaison $\text{C}-\text{Cl}$ permet le départ du groupe sortant Cl^- ; la formation de la liaison $\text{C}-\text{OH}$ permet quant à elle l'arrivée du groupe entrant HO^- .

d – Réaction d'addition

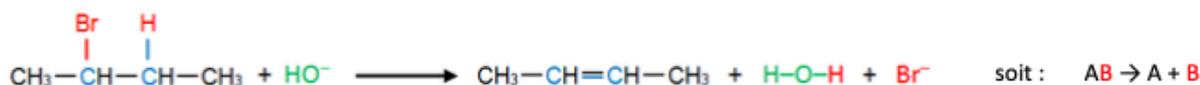
Une addition est définie comme une réaction chimique au cours de laquelle deux groupes d'atomes viennent se fixer sur les atomes initialement liés par une double ou triple liaison sans départ d'autres groupes d'atomes.



Au cours de l'addition ci-dessus, il y a rupture d'une liaison double $\text{C}=\text{C}$ et d'une liaison $\text{H}-\text{Cl}$. Il y a également formation de deux liaisons simples $\text{C}-\text{Cl}$ et $\text{C}-\text{H}$.

e – Réaction d'élimination

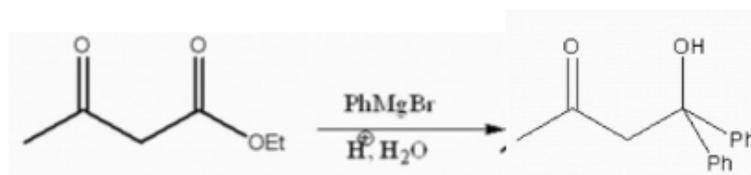
Une élimination est définie comme une réaction chimique au cours de laquelle deux groupes d'atomes portés par des atomes voisins sont retirés d'une molécule sans arrivée d'autres groupes d'atomes. Il se forme alors une liaison multiple. Au cours de la réaction ci-dessous, les deux liaisons simples $\text{C}-\text{Br}$ et $\text{C}-\text{H}$ sont rompues et une liaison double $\text{C}=\text{C}$ est formée.



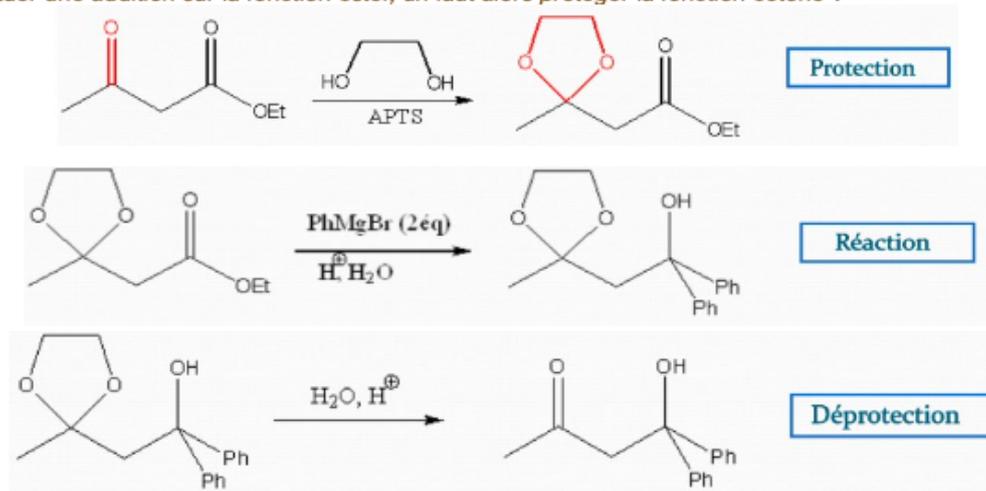
2 – Protection d'une fonction

Pour les molécules polyfonctionnelles, plusieurs groupes peuvent réagir pour donner des produits non désirés. Pour éviter ce problème, on peut, dans certains cas, adopter la stratégie de « protection d'une fonction » : on modifie le groupe que l'on souhaite protéger (**protection**) pour qu'il ne réagisse pas avec le réactif non chimiosélectif, puis, en fin de réaction, on le régénère (**déprotection**).

Exemple :



Pour effectuer une addition sur la fonction ester, un faut alors protéger la fonction cétone :



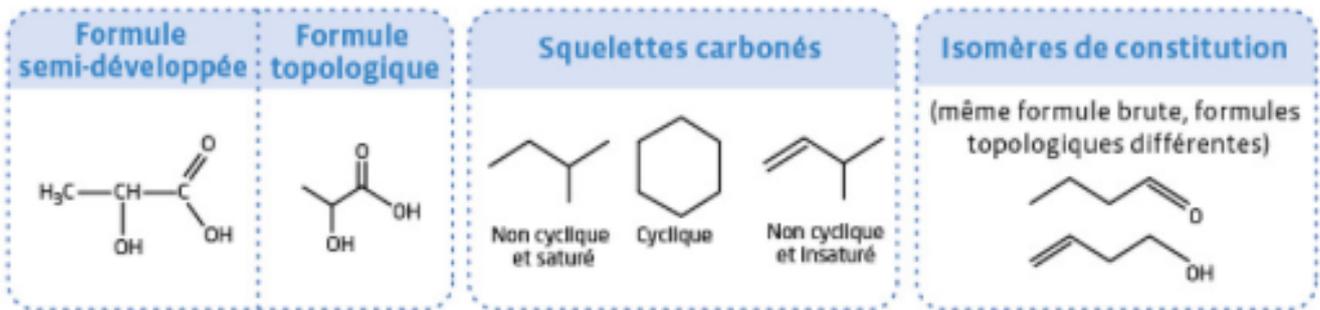
Les groupements protecteurs doivent être peu onéreux, non-toxiques et stables vis-à-vis des nombreuses conditions réactionnelles et des méthodes de purification.

L'industrie chimique se préoccupe de manière croissante des conséquences environnementales de ses activités (enfin, en théorie...). Pour cela, le chimiste veille à :

- Limiter la consommation de matière première (meilleur rendement possible) ;
- Économie d'énergie (catalyse) ;
- Choix des matières premières et du solvant (tirées des plantes plutôt que du pétrole, non toxiques, peu dangereuses) ;
- Limiter les rejets ou utiliser les sous-produits des réactions ;

L'essentiel

Diversité des structures organiques

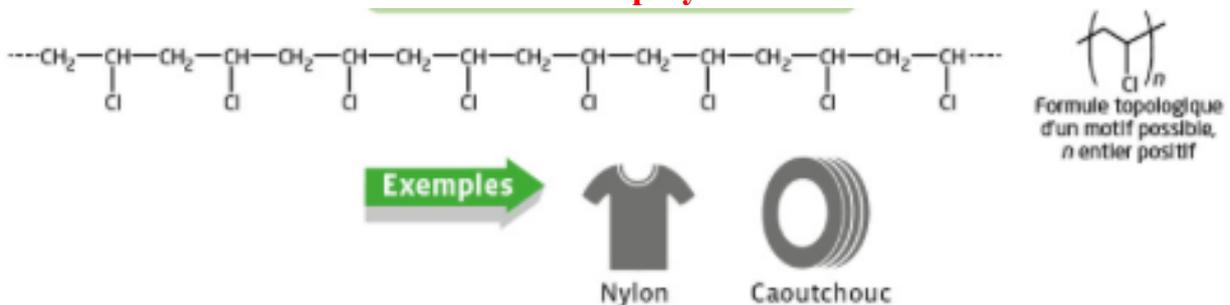


Familles fonctionnelles

Familles fonctionnelles vues en classe de Première : alcools, aldéhydes, cétones, acides carboxyliques.

Famille fonctionnelle	Halogénoalcane	Amine	Ester	Amide
Groupe caractéristique				
Nom	2-bromo-2-méthylbutane	2-méthylpropan-1-amine	Éthanoate de méthyle	Éthanamide

Matériau polymère



Optimiser une synthèse



Réactifs \longrightarrow P
Produit d'intérêt

Rendement : $r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}}$

 m_{exp} ← Masse de P obtenue expérimentalement
 m_{max} ← Masse maximale de P qui aurait pu être obtenu

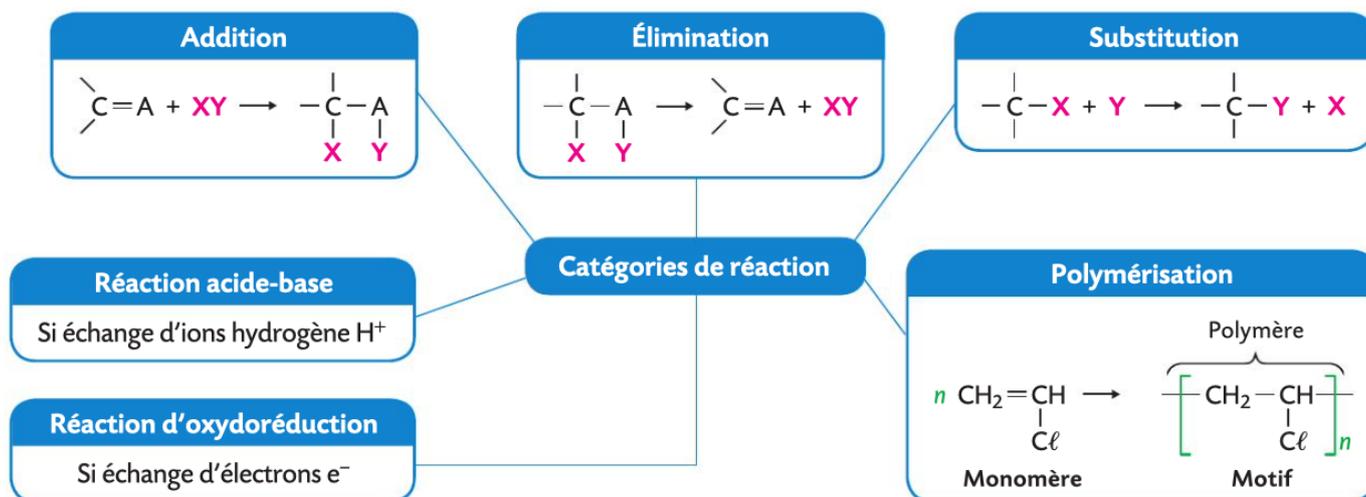
Augmenter le rendement

- Introduire un réactif en excès
- Éliminer un produit du mélange réactionnel

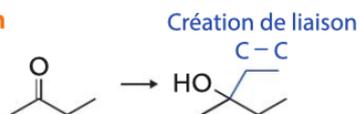
Augmenter la vitesse

- Modifier un facteur cinétique
- Ajouter un catalyseur adapté

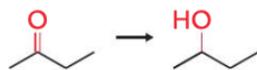
La stratégie de synthèse



• Modification de chaîne



• Modification de groupe



• Protection / déprotection de fonction :

- transformer temporairement un groupe caractéristique en un autre moins réactif ;
- une réaction de déprotection doit exister.
- Pour établir la **stratégie de synthèse** d'une espèce, savoir utiliser la **Fiche 9 p. 460**.
- Critères de **comparaison de deux synthèses** : rendement, écoresponsabilité (matière première, solvants, énergie, vitesse de formation, etc.).