

Qu'est-ce que la Chimie Verte

→ Ensemble des principes et des techniques visant à réduire ou éliminer l'usage ou la formation de substances dangereuses et/ou toxiques dans la conception, la production et l'utilisation des produits chimiques.

= nouveau mode de pensée

Chimie traditionnelle vs. Chimie Verte

Analyse des circonstances

- *Gestion des déchets produits pour réguler l'exposition*

Analyse du système intrinsèque

- *L'objectif est de ne pas créer le danger*
- Conception (« design ») moléculaire
- Capacité réduite à présenter du danger
- Sécurité du produit en cas d'accident



But du cours : *pensée critique*

Les 12 principes de la *Chimie Verte* :

1. Éviter les déchets,
2. Maximiser l'économie d'atomes,
3. Concevoir des synthèses chimiques moins dangereuses,
4. Concevoir des produits chimiques plus sûrs,
5. Utiliser des solvants et des conditions de réaction plus sûrs,
6. Augmenter l'efficacité énergétique,
7. Utiliser des matières premières renouvelables,
8. Éviter d'utiliser des dérivés chimiques,
9. Utiliser des catalyseurs, pas des réactifs stœchiométriques,
10. Concevoir des produits chimiques qui se dégradent après utilisation,
11. Analyser en continu pour éviter la pollution inutile,
12. Limiter les risques d'accidents.



7 principes de la *Chimie verte* d'intérêt particulier en chimie organique :

1. Éviter les déchets
2. Maximiser l'économie d'atomes
3. Concevoir des synthèses chimiques moins dangereuses
6. Augmenter l'efficacité énergétique
7. Utiliser des matières premières renouvelables
8. Éviter d'utiliser des dérivés chimiques

→ 9. Utiliser des catalyseurs



Les catalyseurs sont des activateurs de réactions, essentiels pour lier les atomes dans la synthèse de produits chimiques. Ils ne sont pas consommés et se trouvent inchangés à la fin de la réaction.

Comment évaluer le caractère éco-compatible d'une réaction ?

Amont	Réaction	Aval
<i>Produits de départ</i>	<i>Sécurité</i>	<i>Recyclage des réactifs</i>
<i>Réactifs</i>	<i>Économie d'atomes</i>	<i>Devenir des produits</i>
<i>Solvants</i>	<i>Efficacité (rendement)</i>	<i>Déchets (recyclables?)</i>
	<i>Paramètres énergétiques</i>	<i>Solvants</i>

– Pas d'équation magique intégrant chaque composante...
mais différents indicateurs comme :

- le rendement de la réaction

$$\text{Rendement} = \frac{\text{masse obtenue du produit}}{\text{masse attendue du produit}}$$

- le facteur **E** (Environnemental)

$$\mathbf{E} = \frac{\text{masse des déchets}}{\text{masse de produit}}$$

... pour une réaction donnée.

1. La Catalyse

« CHIM. Corps qui catalyse. 2. Fig. Élément qui provoque une réaction par sa seule présence ou par son intervention. » *Petit Larousse*

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.

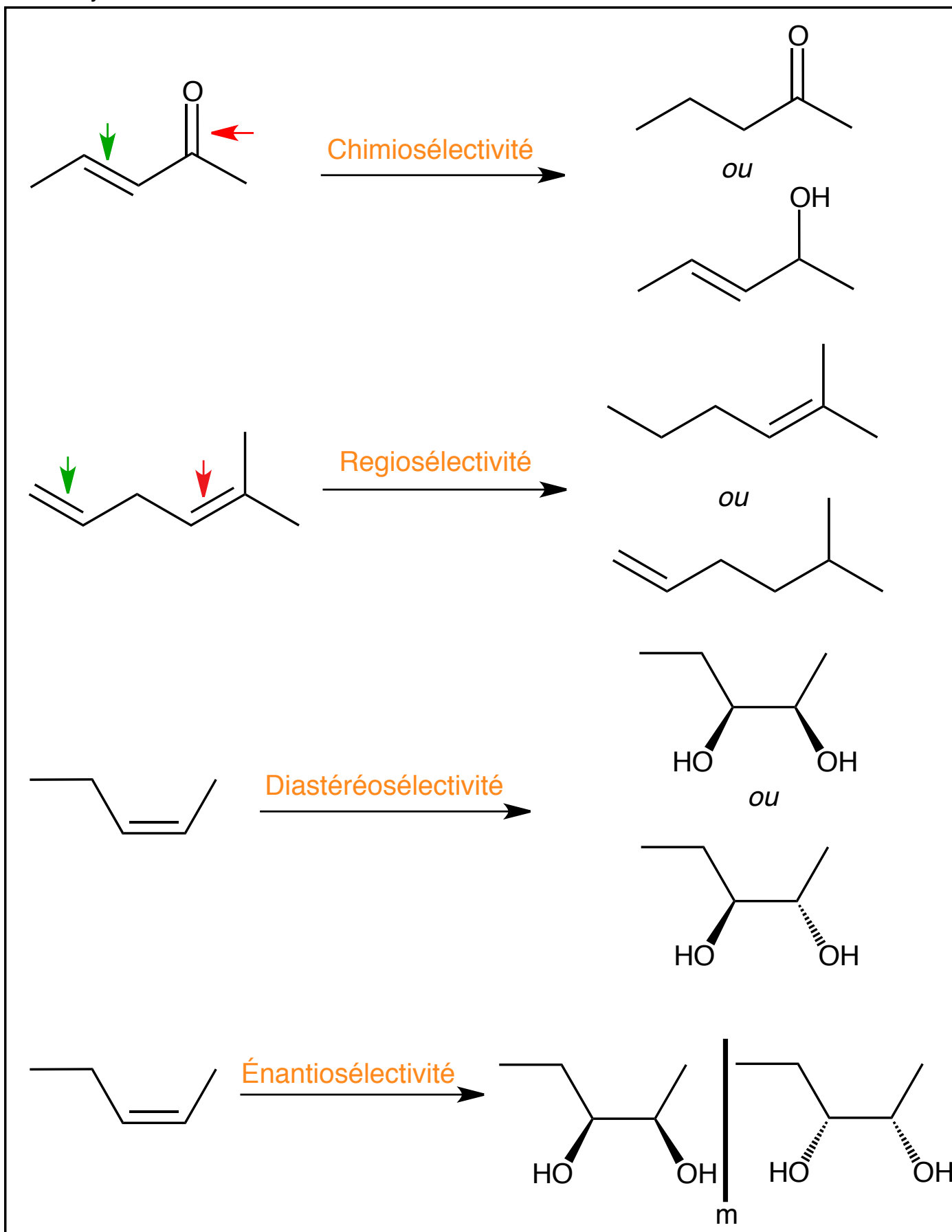
- ⇒ Réduit les quantités de déchets par rapports aux réactions stœchiométriques (effet de premier degré)
- ⇒ Apporte la sélectivité dans la réaction (effet de second degré)

Chimiosélectivité

Regiosélectivité

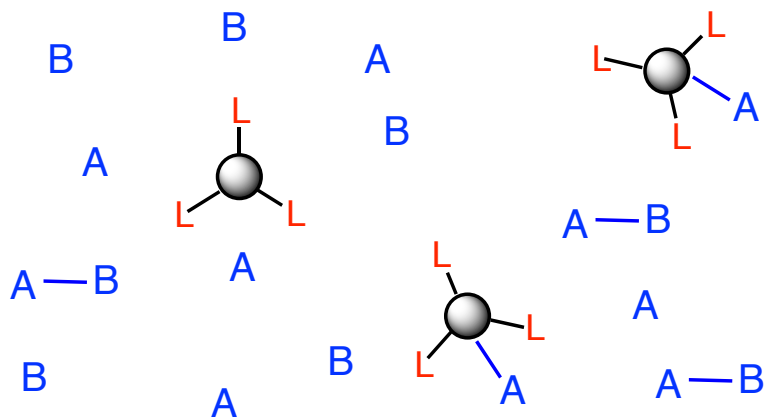
Diastéréosélectivité

Énantiosélectivité



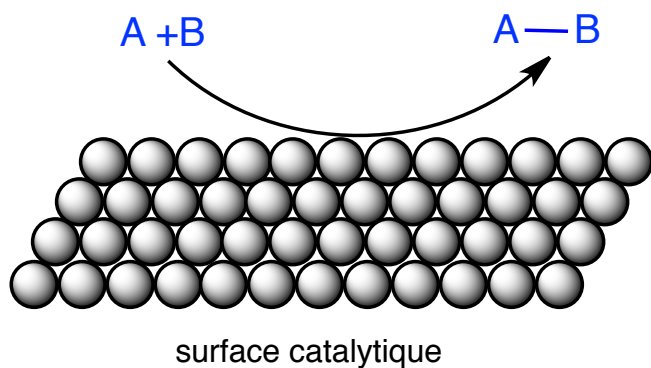
Types de catalyse

Catalyse homogène



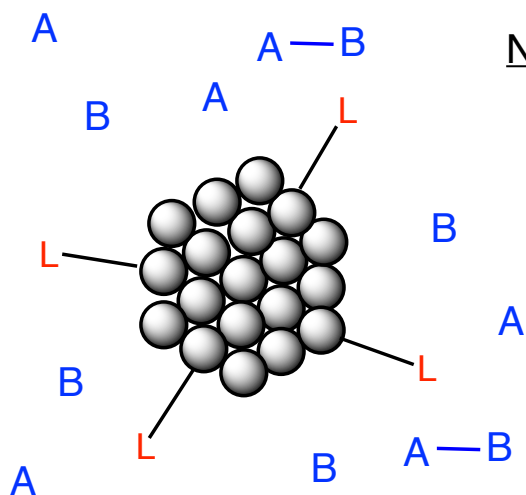
Utilisée lorsqu'une grande sélectivité est nécessaire

Catalyse hétérogène



Représente environ 95 % des procédés industriels

Nanoparticules



Allie les avantages des deux catalyses précédemment citées

2. La biocatalyse

- Réactions de conditions douces (pH + temp. physiologiques)
- Catalyseurs compatibles pour l'environnement (enzymes)
- Solvants compatibles pour l'environnement (eau)
- Chimio-, Régio- et Stéréosélectivités élevées
- Minimise les étapes de protection/déprotection

2. La biocatalyse

a) Nature et fonction des enzymes chez les organismes vivants

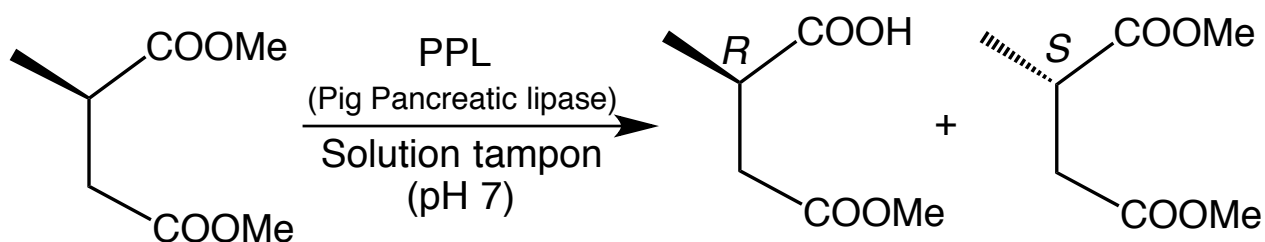
- Les enzymes sont des protéines douées de propriétés de catalyseurs des réactions biochimiques métaboliques.
- Pour chaque enzyme, une réaction chimique associée et le plus souvent un substrat caractéristique.
- Six classes d'enzymes, correspondant à six grandes catégories de réactions :

1. Oxydoréduction	→	Oxydoréductases
2. Transfert de groupements	→	Transférases
3. Hydrolyses	→	Hydrolases
4. Coupure de liaisons	→	Lyases
5. Isomérisation	→	Isomérases, synthétases
6. Couplage	→	Ligases

2. La biocatalyse

b) Utilisation des enzymes pour la chimie organique

- ➔ Pour l'accès à la chiralité : les enzymes sont constituées d'acides aminés chiraux, et sont des elles-mêmes chirales. Une application importante de la catalyse enzymatique en chimie organique est donc l'accès à la chiralité par dédoublement enzymatique de mélanges racémiques.



$$ee = \frac{[|S| + |R|]}{[|S| - |R|]}$$

⇒ Régio- et Énantiosélectivité

2. La biocatalyse

b) Utilisation des enzymes pour la chimie organique

→ Pour la synthèse sélective de molécules complexes :

- réactions **hydrolytiques** (lipases, estérases, phosphatases, ...)
- réaction de **réduction**
- réaction d'**oxydation** (peroxydases, oxygénases)
- réaction de **couplage C–C**
- réaction d'**addition** et d'élimination
- réaction d'**halogénéation** et de **déhalogénéation**

De nombreuses enzymes appartenant principalement à la classe des hydrolases et la classe des oxydo-réductases ont été employées pour des applications en chimie organique.