

## Chapitre 3 : LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES AUX PROPRIÉTÉS CATALYTIQUES

Les enzymes sont des protéines issues de l'expression génétique des cellules. Elles sont indispensables aux réactions et à la vie des cellules. Leurs propriétés permettent par ailleurs des applications dans des domaines très variés.

*Problématique générale* : comment agissent les enzymes ? Quelle est l'importance des enzymes pour les cellules ? Le contenu enzymatique d'une cellule dépend-il de sa spécialisation cellulaire ?

### 1. Les propriétés remarquables des enzymes

#### Activité 9 : les propriétés des enzymes

En comparant les résultats des « digestions » par les deux méthodes en présence d'amylase (expériences) et par l'HCl (document), on en déduit que les **propriétés remarquables des enzymes** sont :

- elles **transforment un « substrat » (amidon) en « produit » (glucose)**,
- elles sont **spécifiques de leur substrat** (l'amylase agit sur l'amidon mais pas sur le saccharose),
- elles ont un **fonctionnement maximal pour une température donnée** (37°C),
- à un **pH optimal** (l'amylase agit à un pH de 7),
- elles **accélèrent (catalysent) les réactions** normalement lentes (l'amylase agit plus vite que l'HCl),
- leur **vitesse de réaction est rapide** (qq secondes à qq min),
- le **froid empêche la réaction** mais **ne dénature pas** l'enzyme,
- la **chaleur dénature** l'enzyme.

#### Bilan:

Les enzymes ont donc des **propriétés précises** (voir correction activité 9) et possèdent également **une double spécificité** : une **spécificité d'action** et une **spécificité de substrat**.

*Remarque* : Cette double spécificité est utilisée pour les classer et les désigner.

Le suffixe « -ase » désigne une enzyme et le nom de l'enzyme désigne la plupart du temps le substrat : amylase → enzyme assurant la transformation de l'amidon. Saccharase → enzyme assurant la transformation du saccharose.

La spécificité d'action permet de les classer dans des catégories. Par ex. l'amylase qui réalise des hydrolyses peut être classée dans la catégorie des **hydrolases** (qui dissocie par l'action de l'eau). Les **synthétases** qui effectuent des liaisons...

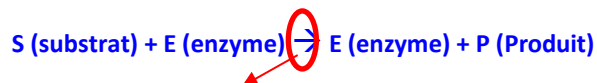
#### Quelques définitions :

**Une enzyme** : une macromolécule de nature protéique (une protéine) ayant des propriétés catalytiques. On parle de biocatalyseur.

**Un catalyseur** : une espèce chimique qui augmente la vitesse de transformation sans figurer dans l'équation de la réaction et sans modifier la composition du système à l'état final.

**Substrat** : molécule dont l'enzyme catalyse la modification.

**Produit** : molécule obtenue après catalyse enzymatique d'un substrat.



Comment expliquer que l'action d'une enzyme est spécifique de son substrat ?

### 2. Le mode d'action des enzymes

#### Activité 10 : le mode d'action des enzymes

##### A. La configuration spatiale des enzymes :

La **séquence des acides aminés** conditionne la configuration spatiale de l'enzyme par suite de l'établissement de diverses liaisons entre les acides aminés plus ou moins voisins. (Ces liaisons sont des liaisons hydrogène, des liaisons ioniques, des ponts disulfures.)

**L'activité d'une enzyme repose sur sa configuration spatiale.**

Une **modification de la configuration spatiale** de la protéine enzymatique peut entraîner une **disparition de l'activité** de l'enzyme.

Des **changements de la structure primaire** peuvent donc **modifier l'activité de l'enzyme** : ces modifications peuvent être dues à des **mutations génétiques**, des **facteurs de l'environnement** (température, pH).

##### B. La spécificité des enzymes :

Par sa **séquence d'acides aminés** (structure primaire), l'enzyme possède une **configuration spatiale** qui régit le **mécanisme de reconnaissance du substrat**.

Le **site actif** de l'enzyme est constitué de cavités dues au repliement de la protéine.

Le **site actif** comprend **un site de reconnaissance au substrat et un site catalytique**.

- Le site de reconnaissance ou site de fixation montre une **complémentarité de forme** avec une portion du substrat.

Ainsi, la **majorité des enzymes ne peut agir que sur un seul substrat**.

- Le site catalytique permet la **réalisation de la réaction**. Une enzyme ne peut **catalyser qu'un seul type de réaction biochimique**.

Les enzymes présentent donc **une double spécificité** : spécificité **liée au substrat en relation avec le site de reconnaissance** et spécificité **d'action en relation avec le site catalytique**.

**L'association entre l'enzyme et son substrat est étroite mais transitoire** : le complexe enzyme-substrat, favorise (catalyse) la transformation par l'enzyme du substrat en produit. Une fois les produits libérés de l'enzyme, celle-ci n'est pas modifiée et peut fixer un nouveau substrat.

### C. La cinétique enzymatique

L'activité d'une enzyme s'évalue en **mesurant la vitesse de la réaction catalysée**.

Au cours d'une réaction enzymatique, la quantité de **substrat** diminue au fur et à mesure de son déroulement, tandis que celle du (ou des) **produit(s)** augmente.

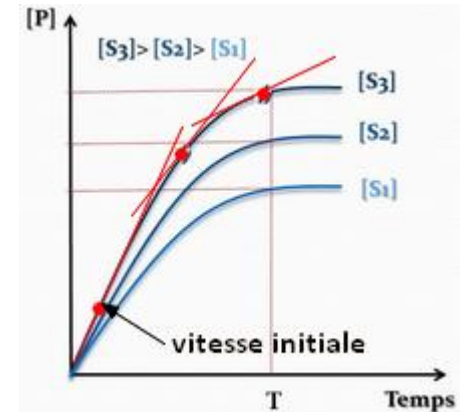
La **vitesse de la réaction** est donc la quantité de substrat transformé ou la quantité de produit apparu par unité de temps.

Quelle que soit la concentration en substrat, on constate toujours que cette vitesse diminue au cours du temps : à chaque instant, elle correspond à la pente (coefficient directeur) de la tangente à la courbe en ce point.

La **vitesse maximale** d'une réaction enzymatique ( $V_{i_{max}}$ ) est donc la **vitesse initiale de la réaction** (= la vitesse dans les premières secondes de la réaction).

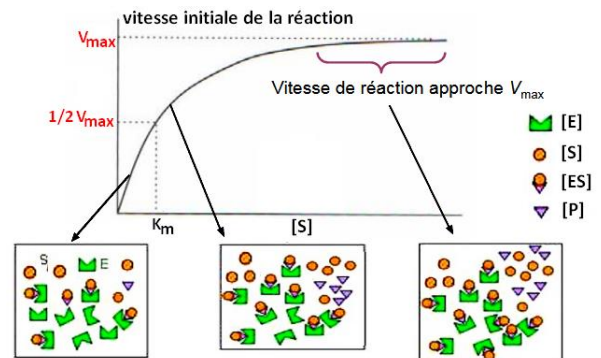
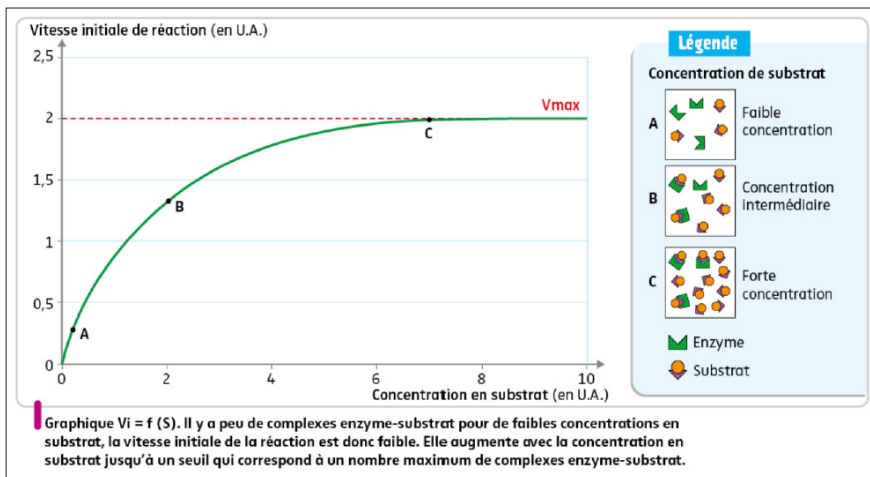
On peut évaluer la vitesse de la réaction par la méthode graphique des tangentes. Pour cela, on réalise un graphique montrant la concentration de produit formé au cours du temps. **La vitesse est alors évaluée par la tangente à l'origine  $V_i$** . Plus la pente de la tangente  $V_i$  est forte, plus la vitesse est importante.

Vitesse initiale de la réaction en fonction de la concentration en substrat



La vitesse de la réaction varie :

- En fonction de la **concentration en substrat**

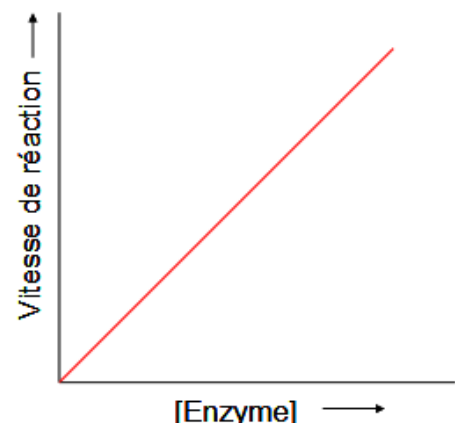


Pour une concentration fixe de l'enzyme, un graphique qui exprime  $V_{i_{max}} = f[S]$  montre une courbe qui présente un **plateau** à partir d'une certaine concentration en substrat élevée. À partir de ce moment, la vitesse de la réaction enzymatique est proche de la **vitesse maximale** ( $V_{max}$ ).

- En fonction de la **concentration en enzyme**

Lorsque la concentration en enzyme est inférieure à celle du substrat, la vitesse de la réaction est proportionnelle à la concentration de l'enzyme : on obtient une **fonction  $V_{i_{max}} = f[E]$  linéaire**.

La vitesse de réaction augmente lorsque la concentration de l'enzyme augmente et ceci est vrai pour n'importe quelle enzyme.



La **vitesse de la réaction** varie selon plusieurs paramètres :

- Elle est **forte au début de la réaction** et diminue avec le temps (moins de substrats présents)
- Elle augmente quand on augmente la concentration en enzymes ou la concentration en substrat, mais à une concentration importante, la vitesse n'augmente plus : c'est la **saturation**.

Il faut donc des quantités raisonnables d'enzyme et de substrat, ce qui suggère la **formation d'un complexe ENZYME – SUBSTRAT** et permet de confirmer que les enzymes se lient au substrat via un **site actif**.

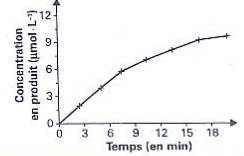
## Méthode

### Calculer la vitesse initiale d'une réaction enzymatique

L'activité d'une enzyme peut être caractérisée par sa vitesse initiale de réaction ( $v_i$ ) : la vitesse à laquelle l'enzyme catalyse la réaction de transformation du substrat en produit, en début de réaction. **Calculer la vitesse initiale de la réaction enzymatique ci-contre.**

#### Doc Concentration en produit formé au cours du temps

Une enzyme est placée au contact de son substrat dans un bécher à  $t = 0$  min.



#### CONSEILS

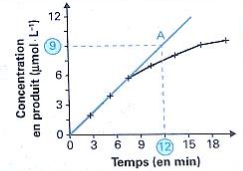
- Étape 1** Tracer la tangente à la courbe au début d'expérience.
- Étape 2** Choisir un point A situé sur cette tangente, par exemple à  $t = 12$  min.
- Étape 3** Calculer la pente de la tangente à l'aide des coordonnées de A.
- Étape 4** Exprimer la vitesse initiale avec les unités adéquates.

#### SOLUTION

**Étape 1** La pente de la tangente à la courbe représente la vitesse de réaction. Elle est maximale en début d'expérience.

**Étapes 2 et 3** La pente de la tangente est donnée par  $y_A/x_A = 9/12 = 0,75$ .

**Étape 4** La vitesse de réaction est égale à  $0,75 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .



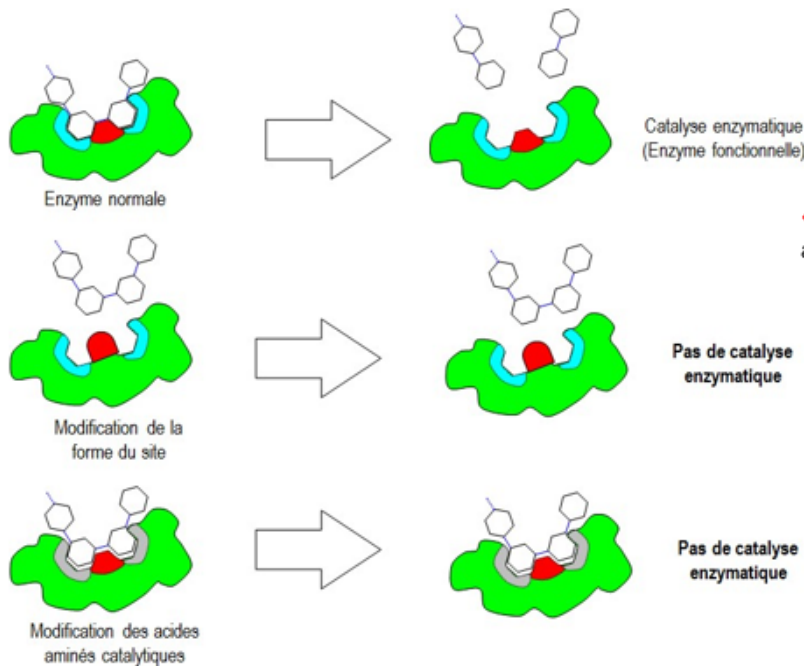
Une vidéo pour mieux comprendre le calcul de la vitesse initiale d'une réaction enzymatique : [https://youtu.be/j\\_Ysv\\_UzVzc](https://youtu.be/j_Ysv_UzVzc)

## D. L'équipement enzymatique est lié au génome

Les enzymes étant des protéines, la séquence polypeptidique (nombre et ordre d'enchaînement d'acides aminés) est déterminée génétiquement. L'équipement enzymatique d'une cellule est donc sous le contrôle de l'expression de l'information génétique. Toute **mutation** entraînant la substitution, la perte, l'ajout d'un (ou plusieurs acides aminés) peut avoir des répercussions à un degré variable sur la configuration spatiale de l'enzyme et donc sur ses propriétés :

- Si la mutation concerne un acide aminé extérieur au site actif, la structure tertiaire de l'enzyme peut être légèrement modifiée et son activité peut être conservée.
- Si la mutation concerne l'un des acides aminés du site actif, généralement l'activité de l'enzyme peut être ralentie ou même stoppée. Parfois, le substrat peut être fixé mais la catalyse n'aura pas lieu.

### Document 4 : L'action des mutations sur le site actif

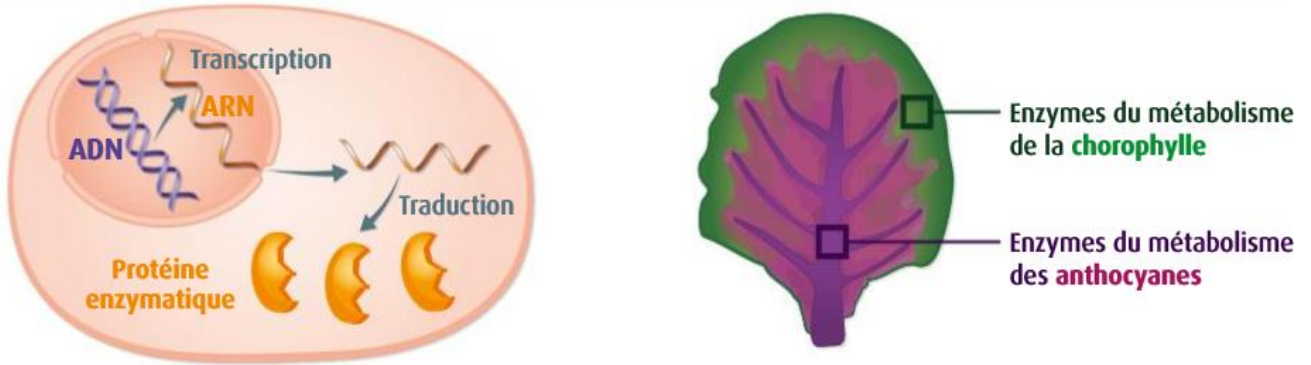


• Les **mutations** peuvent donc affecter soit :

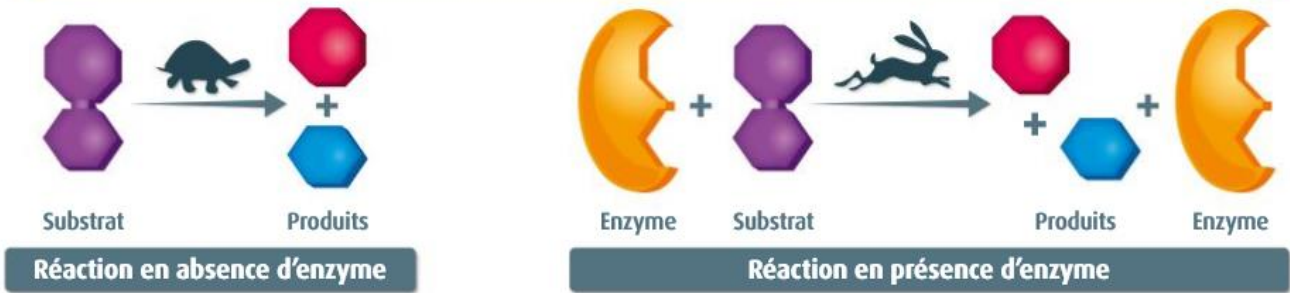
- Les acides aminés structuraux, ce qui implique que le substrat n'est plus reconnu.
- Les acides aminés catalytiques, ce qui fait que le substrat est reconnu (fixation) mais ne peut pas être transformé en produit.



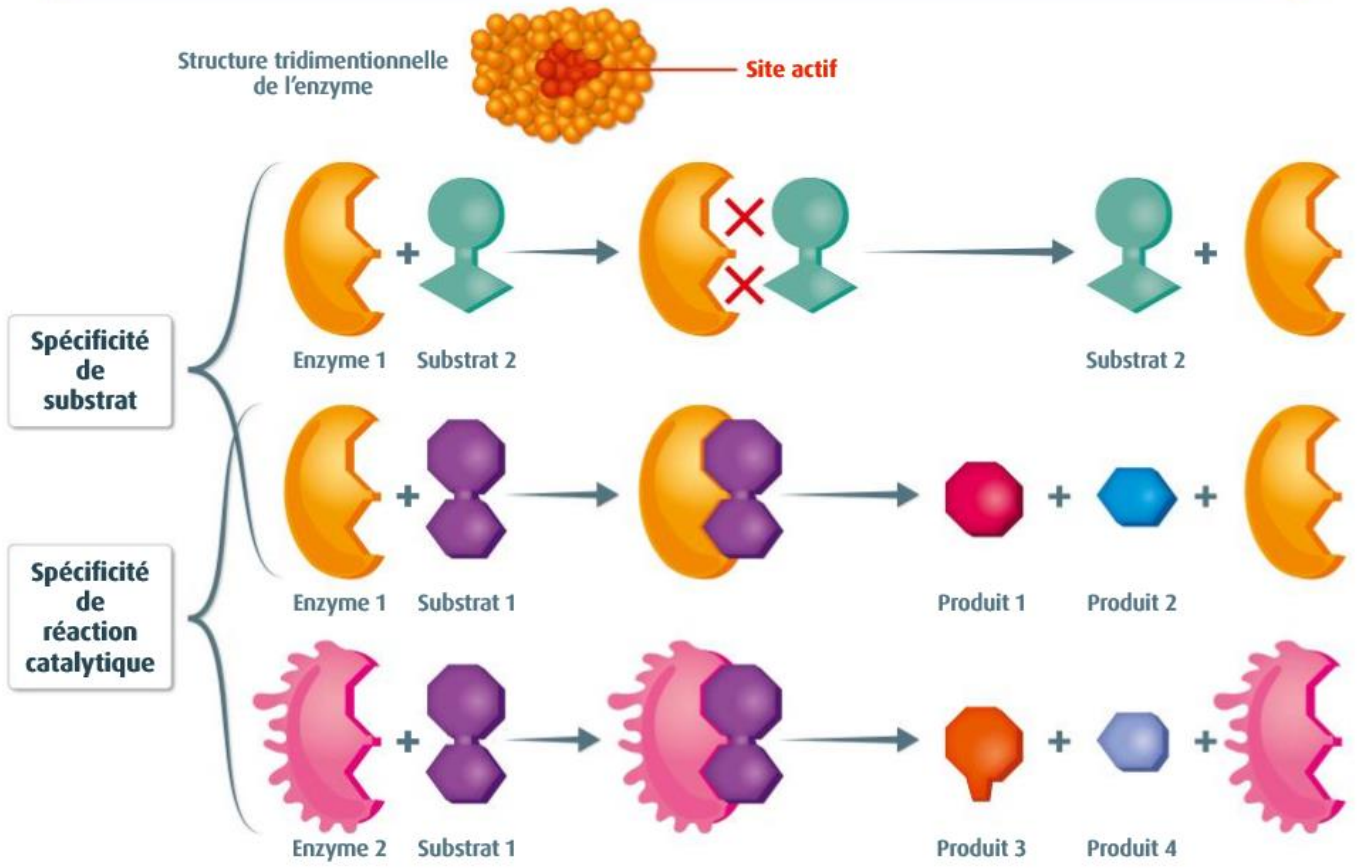
**Une enzyme est une protéine issue de l'expression du patrimoine génétique d'une cellule et un marqueur de la spécialisation cellulaire**

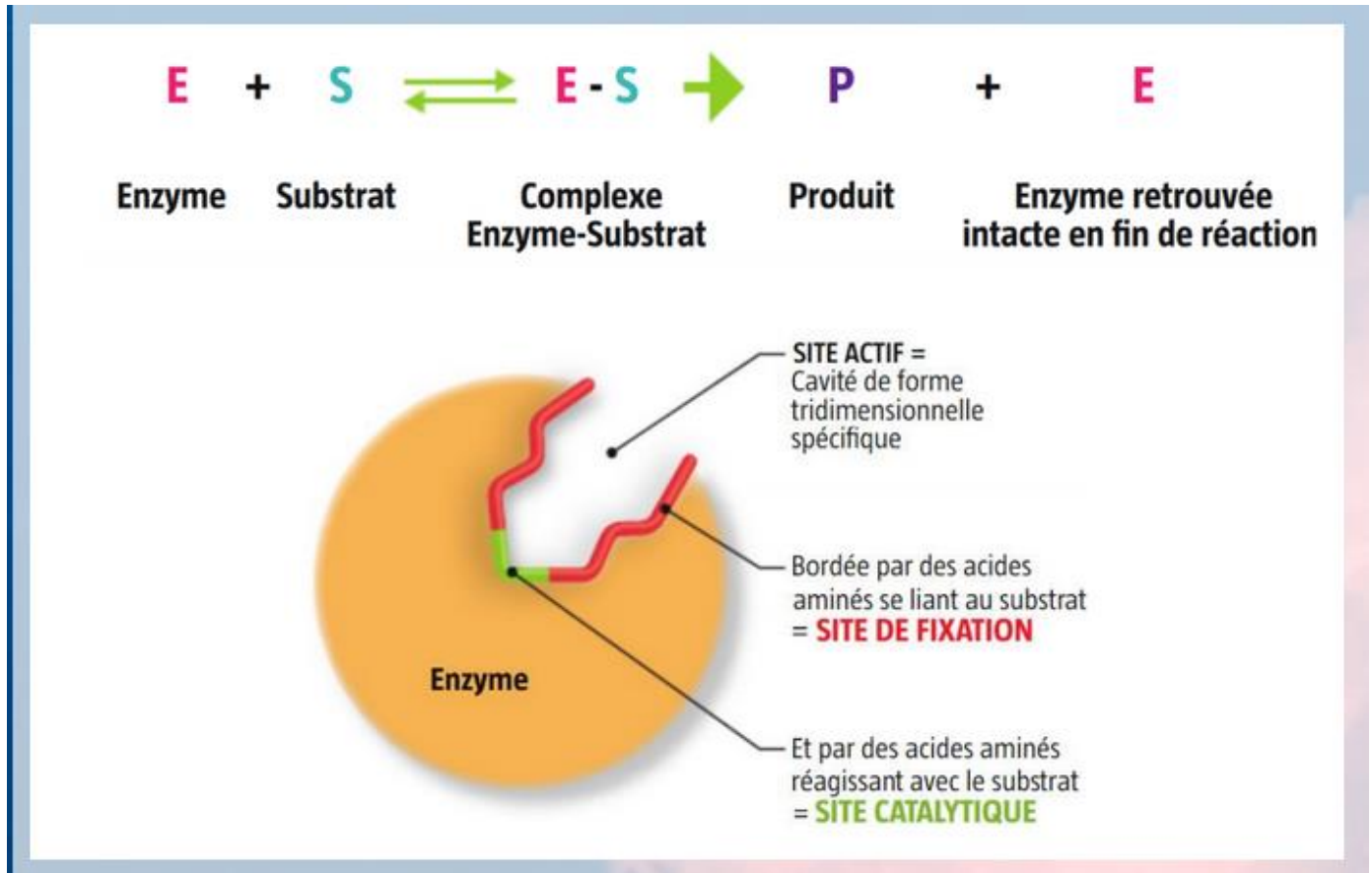


**Une enzyme est un catalyseur de réaction chimique**



**La structure tridimensionnelle de l'enzyme permet une interaction avec un ou des substrats et explique sa double spécificité**





***A connaître !***

**Catalyseur** : espèce chimique qui augmente la vitesse de transformation sans figurer dans l'équation de la réaction et sans modifier la composition du système à l'état final.

**Enzyme** : macromolécule de nature protéique ayant des propriétés catalytiques. On parle de **biocatalyseur**.

**Substrat** : molécule dont l'enzyme catalyse la modification.

**Produit** : molécule obtenue après catalyse enzymatique d'un substrat.

**SITE ACTIF =**

**Site de reconnaissance** : partie du site de fixation de l'enzyme dont les acides aminés réalisent des liaisons faibles avec le substrat =

**Site de catalyse ou site catalytique** : partie du site actif dont les acides aminés sont responsables de la transformation du substrat en produit

**Vitesse de réaction** : quantité de substrat dégradé ou de produit par unité de temps.

**Vitesse initiale de réaction** : vitesse de réaction, en début de réaction