

Chapitre : les enzymes, des biomolécules aux propriétés catalytiques

Parmi les protéines issues de l'expression génétique, certaines sont des enzymes. L'étude de la réplication a montré l'importance de l'ADN polymérase pour doubler la quantité d'ADN.

Problématique : En quoi les enzymes issues de l'expression génétique sont elles indispensables à la vie cellulaire et sont elles des marqueurs de spécialisation des cellules ?

I. Les enzymes dans les cellules

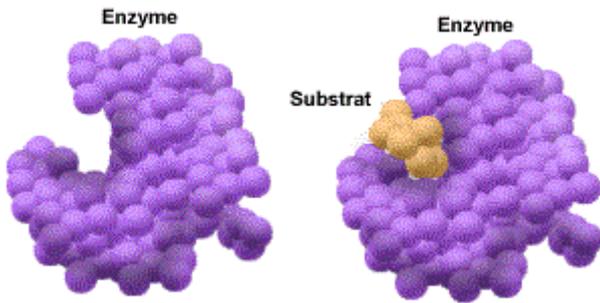
A. Les enzymes, des catalyseurs biologiques

Une enzyme permet à une réaction de se réaliser beaucoup plus rapidement : c'est donc un catalyseur. Elle agit dans des conditions de vie cellulaire : une enzyme est donc un catalyseur biologique.

Une enzyme agit sur une molécule que l'on qualifie de substrat. Elle permet sa transformation en une autre molécule appelée produit.

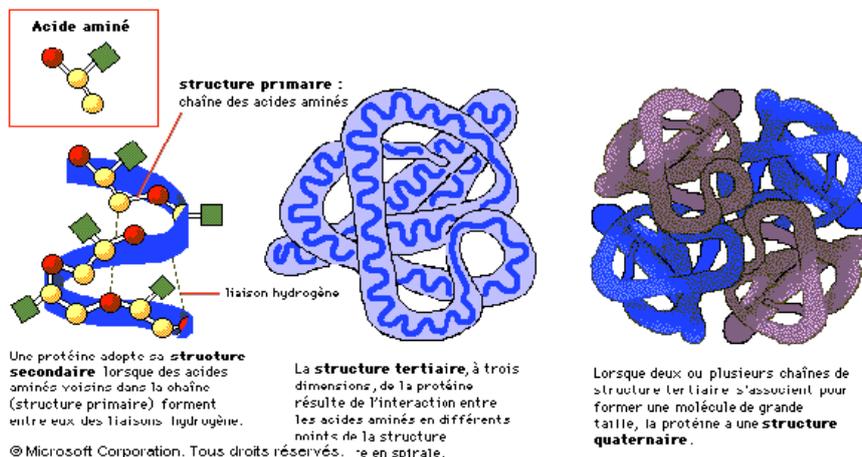
image d'une équation enzymatique

Représentation schématique d'une enzyme et du complexe enzymatique (substrat et enzyme).



Bilan : Les enzymes sont des protéines qui accélèrent des réactions chimiques qui se produiraient naturellement sans elles mais dans des temps beaucoup plus long. Elles sont actives à des températures compatibles avec la vie, ce sont des catalyseurs biologiques. Elles fixent le substrat et catalyse sa réaction. La zone de fixation est le site actif. Elles assurent le métabolisme d'une cellule, donc son fonctionnement.

Presque toutes les enzymes sont des protéines. Elles sont donc constituées d'un enchaînement d'acides aminés qui sont organisés en structure primaire grâce aux liaisons peptidiques. Puis grâce aux liaisons faibles entre les acides aminés, l'enzyme acquiert sa structure tertiaire en 3D. La forme d'une enzyme est donc directement liée à sa séquence d'acides aminés.



Structure en 3D déterminée par la structure primaire de la protéine (séquence d'acides aminés) repliée grâce aux attractions entre acides aminés éloignés.

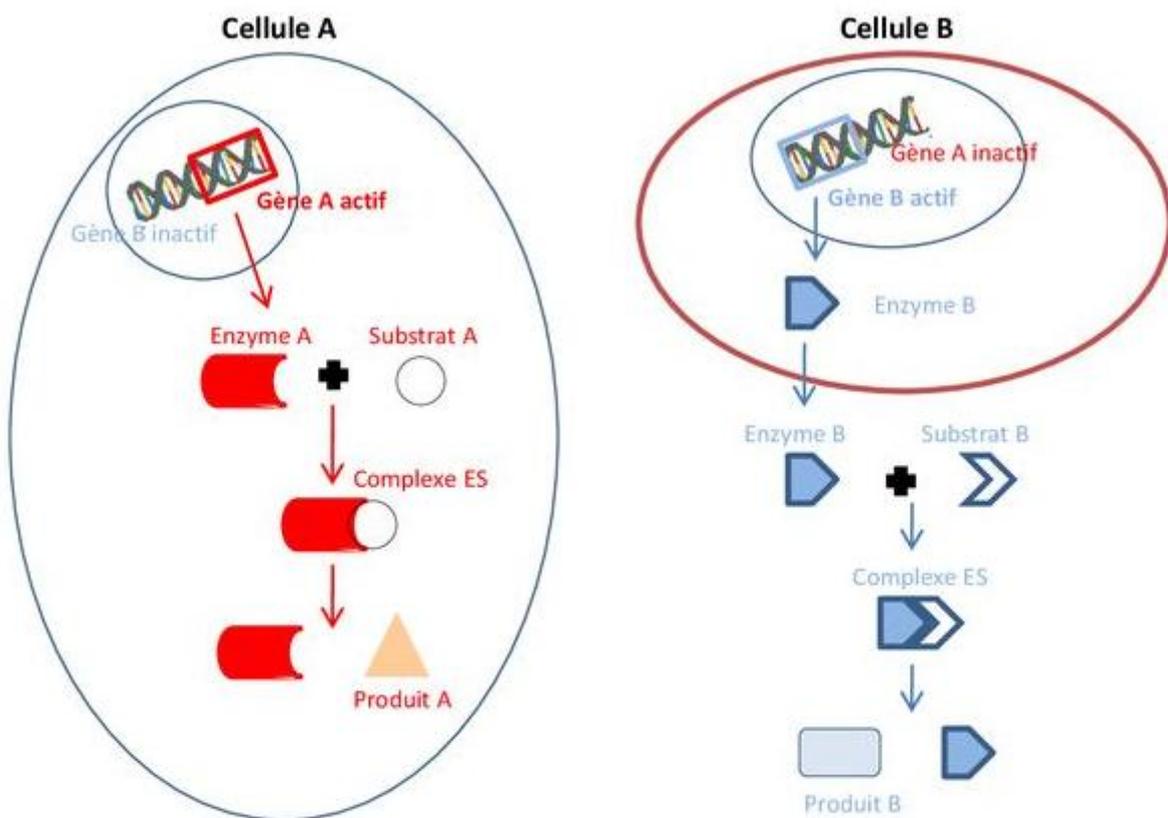
Réaction enzymatique en animation

B. Spécialisation cellulaire par son équipement enzymatique

Bien qu'ayant les mêmes gènes, ils ne s'expriment pas tous dans toutes les cellules d'un même organisme : seules certaines protéines sont fabriquées dans chaque cellule. Une cellule n'exprime alors que les gènes codant pour des enzymes dont elle a besoin pour remplir sa fonction. Les enzymes présentes dans une cellule constituent son équipement enzymatique.

Certaines enzymes sont présentes dans toutes les cellules et ne participent pas à la spécificité de la cellule, c'est le cas des ARN polymérase, utiles quel que soit le métabolisme de la cellule. En revanche, d'autres ne sont présentes que dans certains types cellulaires, dévolues à une fonction particulière de la cellule. L'équipement enzymatique d'une cellule caractérise donc sa spécialisation et donc la spécificité de sa fonction.

Équipement enzymatique de deux cellules spécialisées.



Exemple :

La tyrosinase présente dans les cellules épidermiques permet la synthèse intracellulaire de mélanine (pigment à l'origine de la coloration de la peau)

Exemple :

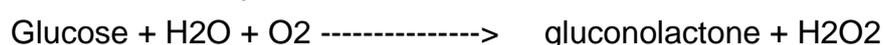
L'amylase pancréatique produite par les cellules pancréatiques permet de digérer l'amidon extracellulaire en maltose

II. Vitesse de réaction enzymatique

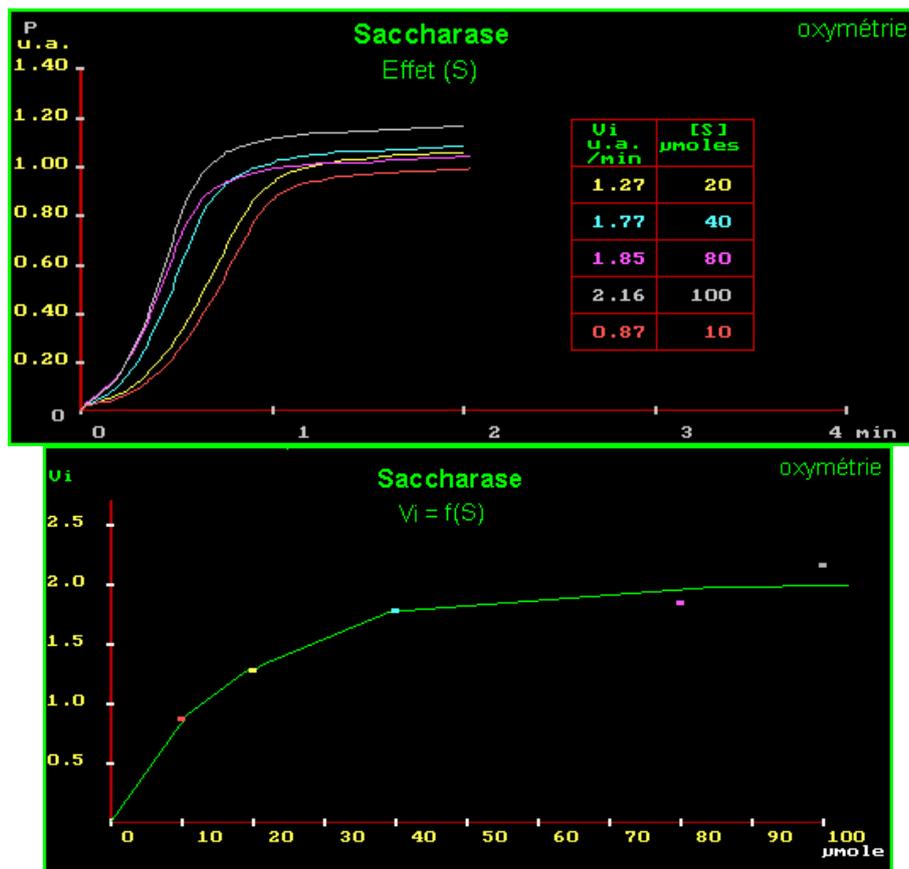
Quels sont les facteurs influençant la vitesse de réaction d'une enzyme ?

De nombreux facteurs peuvent modifier la vitesse d'une réaction enzymatique (qui peut aller jusqu'à des millions de réactions par minute) :

Glucose - oxydase



Cette réaction chimique est catalysée par une enzyme, la glucose oxydase. La consommation de dioxygène peut être détectée par la sonde oxymétrique lors de l'expérience pour suivre la réaction enzymatique.



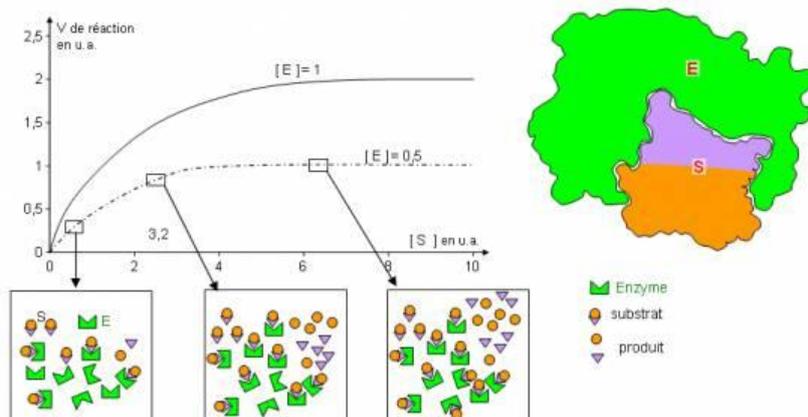
Graphique de la quantité de produits formés en fonction de la concentration en substrat (à gauche) pour une concentration constante d'enzyme. A partir de ces résultats la vitesse de réaction enzymatique est calculée pour chaque concentration et est reportée sur le graphique de droite : graphique de la vitesse de réaction enzymatique en fonction des concentrations en substrat pour une concentration d'enzymes fixe.

Bilan : Plus on augmente la concentration de substrat, plus la vitesse de réaction va augmenter jusqu'à ce que toutes les enzymes soient occupés, on parle de saturation enzymatique. La seule façon d'augmenter la vitesse de réaction lorsqu'il y a saturation des enzymes est d'augmenter la concentration d'enzyme. Lorsque la concentration de produit est trop élevée, la vitesse de réaction diminue comme dans toute réaction chimique. La vitesse de réaction d'une enzyme dépend de la quantité de substrat à disposition et de la quantité d'enzyme.

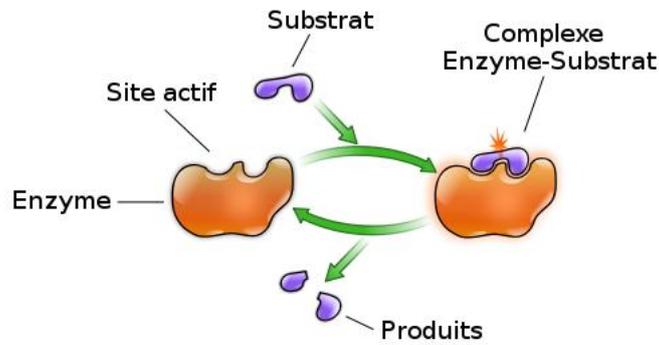
Elle permet de montrer que la réaction nécessite une enzyme mais que celle-ci est conservée intacte à la fin de la réaction et peut servir à nouveau sur une autre substrat. La réaction enzymatique peut alors s'écrire sous la forme :



où S : substrat, E : enzyme, P: Produit, ES : complexe enzyme substrat.



Graphique de la vitesse de réaction en fonction de la concentration en substrat et pour deux concentrations enzymatiques différentes (E=0.5 et E=1)



III. La double spécificité des enzymes

Problématique : comment les enzymes reconnaissent-elles leur substrat parmi d'autres et comment déterminent-elles la réaction biochimique à réaliser ?

TP la double spécificité des enzymes

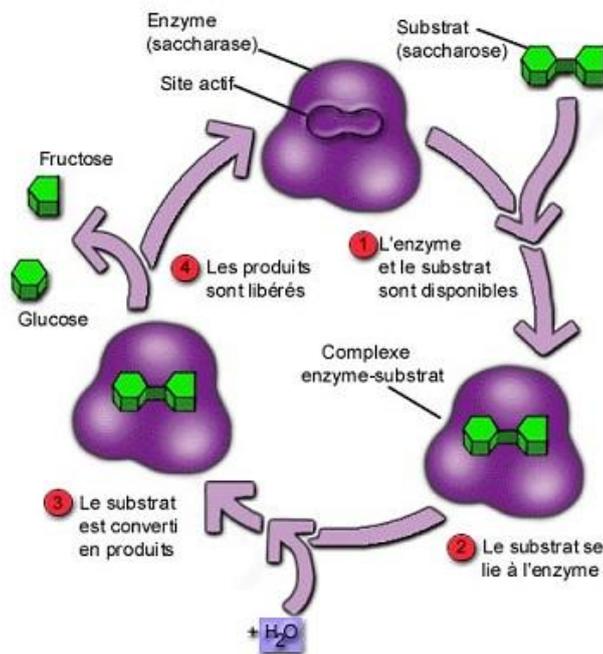
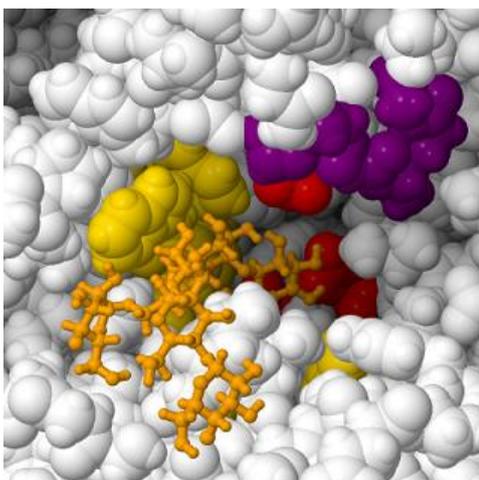


Schéma du complexe enzyme substrat.

Les modalités de l'action des enzymes reposent sur la formation du complexe enzyme-substrat. Ce complexe résulte de la fixation temporaire de l'enzyme sur le substrat. Une fois la réaction terminée le complexe se dissocie et l'enzyme intacte est disponible pour une nouvelle réaction. Ce complexe peut être rapproché de l'idée de clé et de serrure.

La formation du complexe a lieu à un niveau précis de l'enzyme : le site actif qui peut être divisé en deux parties :

- le site de reconnaissance, responsable de la spécificité de substrat de l'enzyme. Il correspond au lieu d'attache.
- le site catalytique responsable de la spécificité d'action de l'enzyme. Il correspond au lieu de la réaction.

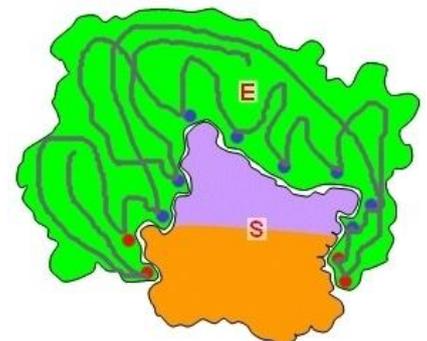


site actif de l'amylase : Les études cristallographiques ont par ailleurs prouvé l'existence d'une boucle mobile sur l'une des bordures du site actif (acides aminés 305 à 310). Cette boucle serait impliquée dans la libération du maltose produit par l'hydrolyse de l'amidon.

Détail du site actif dans lequel se trouve une dextrine limite résiduelle (en orange). Les trois acides aminés catalytiques sont représentés en rouge, la boucle mobile en violet et quelques acides aminés aromatiques (du site de fixation) impliqués dans la liaison au substrat en jaune.

schéma interprétatif à droite : les acides aminés qui confèrent la spécificité de substrat (site de fixation) et la spécificité de la réaction (site catalytique).

Remarque : les enzymes ont en général un nom se terminant en "ase", et qui dépend du substrat qu'elles transforment. Par exemple, les protéases digèrent les protéines, les lipases digèrent les lipides ou les gras, les DNases morcellent l'ADN, la lactate déshydrogénase agit sur le lactate etc.



- Enzyme
- substrat
- produit
- aa du site de fixation (aa50, aa500 ..)
- aa du site catalytique (aa150, aa 235 ...)
- repliement de la protéine

Bilan : Un substrat est une molécule dont l'enzyme catalyse la transformation en produit. Une enzyme a une double spécificité :

- **Spécificité de substrat :** une enzyme ne reconnait qu'une seule molécule, son substrat. Elle ne peut pas réagir avec d'autres. Cette spécificité de substrat est déterminée par la conformation spatiale de la zone de reconnaissance et de fixation du substrat : le site actif.
le site actif a une forme complémentaire d'une partie de la molécule de substrat. Cette forme est due à la conformation spatiale de l'enzyme elle même déterminée par sa séquence primaire en acides aminés. Certains acides aminés du site actif sont impliqués dans la reconnaissance spécifique.
- **Spécificité d'action :** chaque enzyme ne catalyse qu'un seul type de réaction chimique avec un seul substrat. Cette réaction spécifique est déterminée par la présence de quelques acides aminés particuliers dans le site actif, capables d'induire la réaction sur le substrat. La encore, la fonction de l'enzyme dépend de ses acides aminés.

Un même substrat peut agir avec différentes enzymes : ex la tyrosine. Ces enzymes catalyseront des réactions différentes bien qu'ayant le même substrat. les produits obtenus seront donc différents.

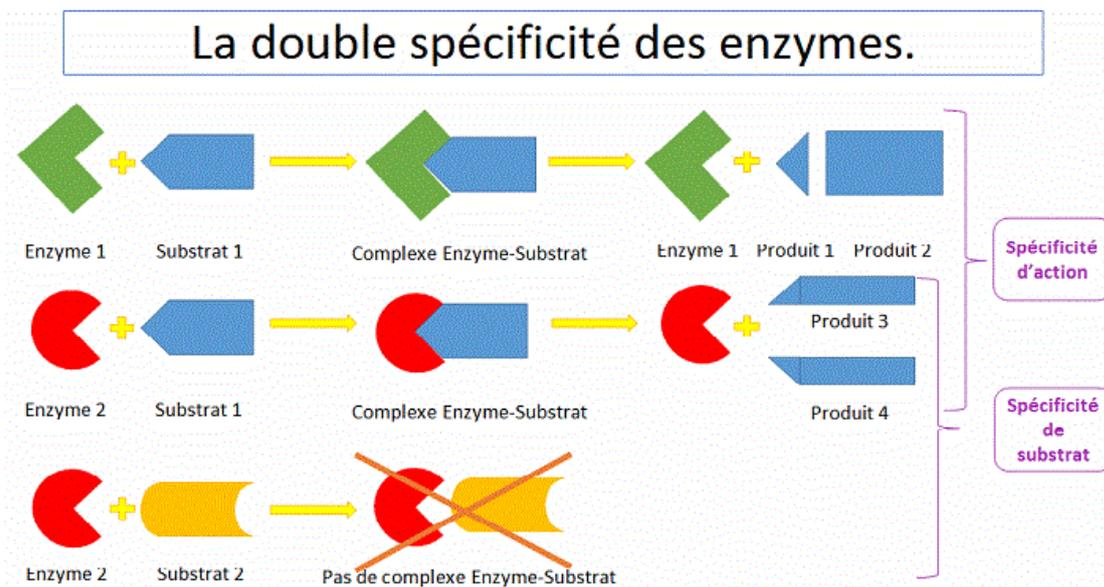


schéma bilan

Les enzymes, des protéines actives dans la catalyse :

