

## CH4 : LES ENZYMES, DES BIOMOLÉCULES AUX PROPRIÉTÉS CATALYTIQUES

## I- Les propriétés remarquables des enzymes

1. Les enzymes sont des **biocatalyseurs**

C'est-à-dire des substances qui, même à faible dose, **accélèrent une réaction chimique** (Une seule enzyme peut transformer 10 à 1 000 molécules par seconde. La durée d'une réaction est de l'ordre de  $10^{-3}$  s). Voir comparaison hydrolyse de l'amidon par l'amylase ou par l'HCl : avec l'HCl la réaction est possible mais beaucoup plus lente.

Toutes les enzymes sont des **protéines** (sauf les ribozymes = ARN catalytiques), produites par la cellule elle-même (voir cours sur la « synthèse protéique »). Elles interviennent dans des réactions de dégradation ou de synthèse.

## 2. Ces biocatalyseurs n'agissent que dans certaines conditions

- de **température** : elles présentent un optimum d'activité pour une température donnée, généralement celle du milieu intracellulaire. Chez l'Homme, environ 37°C.

Elles sont **inactives** à basse température mais **retrouvent leurs propriétés** si la température redevient convenable.

Par contre, elles sont **dénaturées** à la chaleur et **perdent définitivement leurs propriétés**.

*Remarque* : La colonisation des milieux extrêmes par les êtres vivants est possible parce que leurs enzymes peuvent fonctionner à des températures normalement incompatibles avec la vie. C'est le cas des **bactéries thermophiles** : La bactérie *Thermus aquaticus* est connue pour sa haute résistance thermique de son ADN polymérase et elle est utilisée pour la réaction de polymérisation en chaîne en génie biologique. Les bactéries thermophiles peuvent vivre et se multiplier entre 50° et 70°C.

- de **pH** : l'activité de l'enzyme varie avec les conditions du pH du milieu. Là également existe un optimum d'activité pour un pH donné.

Ex. l'amylase salivaire : pH = 6,9 / la pepsine, une enzyme de l'estomac : pH = 2 / la trypsine, une enzyme pancréatique : pH = 8.

## 3. Ces biocatalyseurs ont une double spécificité

- On appelle **substrat** une molécule dont l'enzyme catalyse la transformation. Chaque enzyme a une **spécificité pour un substrat et un seul**.

Ex. : l'**amidon** est le substrat de l'amylase car elle peut le transformer en sucres réducteurs. Le saccharose n'est pas le substrat de l'amylase. A chaque substrat donc son enzyme spécifique.

- Les enzymes ont également une **spécificité d'action** : elles ne réalisent qu'un seul type de réaction chimique

Ex. : l'amylase salivaire réalise des **hydrolyses** (coupure des liaisons chimiques à l'aide de la molécule d'eau) mais pas des oxydations ou des décarboxylations etc.

*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...

## II- Leur activité est liée à leur configuration spatiale

## 1. La cinétique enzymatique

## 1.1. En fonction de la concentration en substrat (voir TP6(2) : action de la catalase)

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 enzymatique** (ou cinétique enzymatique) peut s'apprécier par la quantité de produit **[P]** formée au cours du temps (voir ci-contre) ou par la quantité de substrat **[S]** qui disparaît au cours du temps.

Cette vitesse peut être connue par le calcul du **coefficient directeur** (= la pente) de la courbe après avoir tracé la **tangente** à cette courbe.

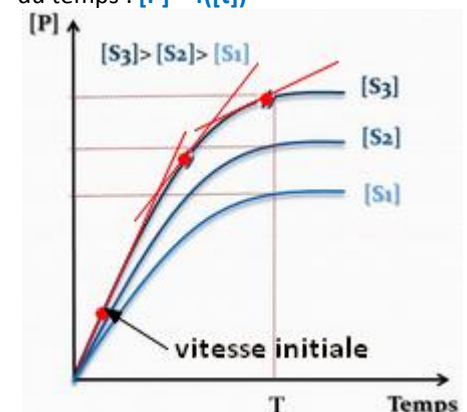
On constate que

- La **vitesse initiale\*** de la réaction augmente en fonction de la concentration en substrat :  $[S1] < [S2] < [S3] \rightarrow a1 < a2 < a3$  ( $a$  = le coefficient directeur)

On appelle **vitesse initiale** ( $V_i$ ) de la réaction la vitesse d'action de l'enzyme pendant **les premières secondes**.

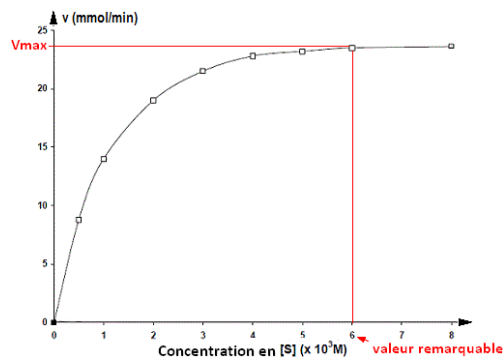
- Mais, quelle que soit la concentration en substrat, cette **vitesse diminue au cours du temps** : la valeur du coefficient directeur décroît.

Quantité de produit formé en fonction du temps :  $[P] = f([t])$



Pour une concentration fixe de l'enzyme, on peut tracer un graphique qui exprime  $V_i = f[S]$ . Le graphique obtenu montre 2 parties :

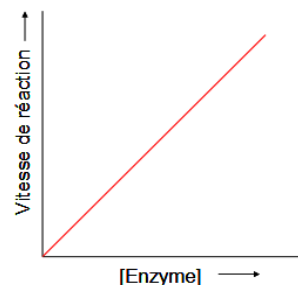
- Une première partie où la fonction est croissante : la vitesse de la réaction augmente avec la concentration du substrat.
- À partir d'une « valeur remarquable » correspondant à une certaine concentration en substrat, la fonction est constante, la **vitesse maximale** de la réaction enzymatique a été atteinte (*symbolisée par un « plateau »*). *Autrement dit, si à partir de cette concentration on continue d'ajouter du substrat, la vitesse n'augmentera pas.*



### 1.2. En fonction de la concentration en enzyme (pas étudié en classe)

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  $V = f([E])$  **linéaire**.

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



### 2. La liaison enzyme-substrat : la notion de site actif

Les enzymes sont des **protéines** de forme généralement **globulaire**. On note une **complémentarité de forme** entre une partie de la molécule de substrat et une zone de l'enzyme appelée le **site actif**, une sorte de « loge » dans laquelle se fixe transitoirement le substrat. Cette complémentarité très étroite entre le substrat et certains **acides aminés** du site actif, explique la **spécificité de substrat** et **d'action** des enzymes.

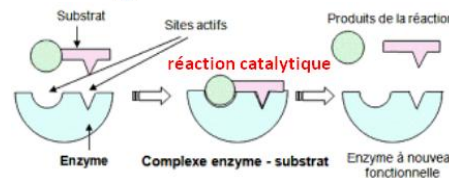
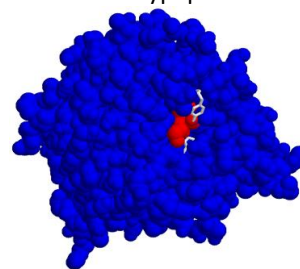
Le **site actif** se compose de quelques acides aminés :

- Certains sont impliqués dans la reconnaissance et la **fixation** du substrat en établissant des liaisons électrochimiques ;
- D'autres sont impliqués dans la **réaction catalytique**.

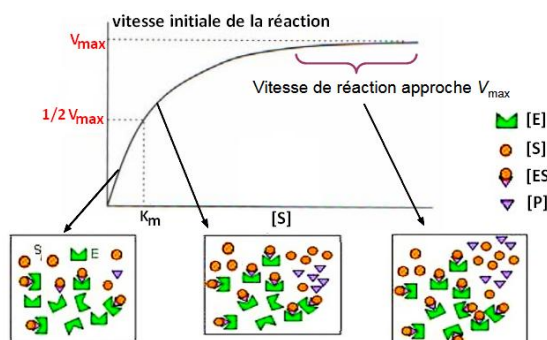
Remarque : la chaleur modifie définitivement la configuration spatiale de l'enzyme qui perd ses propriétés d'autant plus que le site actif est touché. De même si le pH est très différent du pH optimal, la concentration en H<sup>+</sup> modifie les liaisons chimiques → la configuration spatiale de l'enzyme est modifiée.

Ainsi, la **vitesse maximale de la réaction** est atteinte lorsque toutes les molécules d'enzyme ont fixé le substrat. On dit que **l'enzyme est saturée**.

Le complexe enzyme substrat dans le cas de la carboxypeptidase



Rq : l'enzyme retrouve son état initial



### III- L'équipement enzymatique est lié au génome

Les enzymes étant des protéines et on sait que la séquence polypeptidique (nombre, nature 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 encore 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 (*cas de la carboxypeptidase*).