

### **3. Les enzymes, des biomolécules aux propriétés catalytiques**

#### **Introduction**

À l'intérieur des cellules, on trouve un très grand nombre de molécules différentes. La probabilité que deux molécules particulières réagissent pour former un produit donné est donc très faible. Or, ce sont toujours les mêmes réactions avec les mêmes molécules qui se déroulent. De plus, elles ne sont possibles que grâce à l'intervention de molécules particulières, les enzymes.

**Problème à résoudre** : Quel est le rôle des enzymes ? Comment expliquer leurs actions ?

---

#### **I. Les enzymes, des catalyseurs biologiques**

##### **1) Caractéristiques des réactions chimiques**

Les réactions chimiques résultent, en général, de la rencontre de deux molécules appelées "substrats de la réaction". Certains atomes de ces molécules vont réagir les uns avec les autres. Il s'ensuit alors la cassure de l'un ou l'autre des substrats. Ensuite, les atomes de ces molécules déstabilisées se réorganisent pour former de nouvelles molécules appelées "produits de la réaction" :



La probabilité de rencontre et de rupture des molécules dépend, entre autres, de leur vitesse de déplacement et d'agitation de leurs atomes, donc de l'agitation moléculaire. La température est donc un facteur déterminant pour la vitesse des réactions chimiques. Or, la température qui règne dans les cellules est généralement modérée (10°C à 40°C). La plupart du temps, elle n'est pas suffisante pour que les réactions aient lieu.

#### **Remarque :**

Les réactions chimiques s'accompagnent :

\* soit d'une absorption de chaleur : les réactions sont alors dites "endothermiques" (exemple : réactions de synthèse)

\* soit d'une libération de chaleur : elle est alors perdue pour le système. Ce sont les réactions dites "exothermiques" (exemple : réactions d'oxydation).

## **2) Les enzymes, des accélérateurs de réactions chimiques**

*In vitro*, l'amidon peut être hydrolysé rapidement. Pour cela, il doit être placé à 100°C et à pH = 1. Or, de telles conditions sont rarement réunies dans les cellules. Cependant, une enzyme, l'amylase, permet de décomposer ce glucide complexe en un instant, à 37°C et à pH = 7. De plus, la réaction va beaucoup plus vite qu'en l'absence d'enzyme. Ainsi, les enzymes multiplient par ( $10^{12}$ ) la vitesse des réactions sur lesquelles elles interviennent. Enfin, une enzyme agit à faible concentration (de ( $10^{-6}$ ) à ( $10^{-9}$ ) mole/litre). En effet, des rapports de concentration  $[enzyme] / [substrat]$  ralentissent les réactions enzymatiques.

---

## **3. Mécanisme de catalyse enzymatique**

La catalyse enzymatique se déroule en 3 étapes :

\* Dans un premier temps, l'enzyme fixe son substrat, formant un complexe enzyme - substrat ( $E + S \rightarrow E-S$ ). Cette réaction nécessite de l'énergie, mais beaucoup moins que l'énergie d'activation normalement requise pour déstabiliser le substrat.

\* Ensuite, l'enzyme réagit avec le substrat pour former le produit :  $E-S \rightarrow E-P$ . L'enzyme a peu d'affinité pour le produit.

\* Enfin, le complexe enzyme - produit ( $E-P$ ) se dissocie rapidement :  $E-P \rightarrow E + P$ . L'enzyme est ainsi libérée, elle n'est pas consommée. Elle peut fixer une nouvelle molécule de substrat.

Ce mécanisme explique pourquoi les réactions enzymatiques sont rapides et nécessitent de faibles concentrations en enzymes. La présence d'ions  $Ca^{++}$  ou de certains composés organiques riches en énergie, comme la NADP, est parfois indispensable.

## **Remarques :**

Certaines molécules inactivent les enzymes (exemple : urée). La connaissance du mode de fonctionnement des enzymes est à la base de la découverte de nombreux médicaments.

---

## **II. Spécificité des réactions enzymatiques**

### **1) Spécificité de réactions et réactions catalysées**

Parmi toutes les enzymes qui reconnaissent le glucose, la glucose oxydase ne catalyse que son oxydation. La glucose isomérase n'accélère que sa transformation en fructose. En général, une enzyme ne catalyse qu'un seul type de réaction chimique. La nature des réactions accélérées est variée : il peut s'agir de réactions de dégradation, de synthèse ou d'isomérisation. Certaines enzymes transfèrent également des groupements chimiques d'une molécule à une autre (exemples : -SH ou NH<sub>2</sub>).

### **2) Spécificité de substrat**

Parmi toutes les substances susceptibles de réagir, les enzymes ne sont actives que sur certaines d'entre elles. Par exemple, la saccharase est active sur le saccharose mais incapable de décomposer le lactose, un glucide très proche. La lactase, inversement, décompose le lactose mais pas le saccharose. Chaque enzyme est spécifique d'une seule molécule ou d'un seul groupe de composés ayant une structure voisine et beaucoup d'atomes en commun. Son activité est bloquée par des molécules ressemblant au substrat, mais présentant quelques petites différences.

---

## **III. Structure tridimensionnelle des enzymes et activité catalytique**

### **1) Structure des enzymes et spécificité de substrat**

Comme toutes les protéines, les enzymes ont une structure tridimensionnelle. Les mutations ou la chaleur modifient leur forme et, par conséquent, leur activité. L'étude

des modèles 3D montre que les enzymes présentent dans l'espace une sorte de "trou" dont la forme est complémentaire à celle du substrat. Ce dernier fonctionne alors comme "une clé dans une serrure". Si la clé est trop grande ou trop petite, elle ne se fixe pas suffisamment longtemps sur l'enzyme. De plus, cette partie de l'enzyme présente des groupements chimiques complémentaires à ceux du substrat (exemple : groupements  $NH_2$  en face de groupements  $OH$ ). Cette double complémentarité explique la spécificité de substrat. La partie de l'enzyme qui reconnaît le substrat est appelée "site de reconnaissance".

**Remarque :**

Les températures élevées perturbent la forme du site de reconnaissance, ce qui explique que beaucoup d'enzymes ne reconnaissent plus leur substrat à des températures supérieures à  $80^{\circ}C$ . Il en va de même pour l'urée. D'autres composés peuvent également boucher ce site et empêcher la fixation du substrat (exemple : viagra).

**2) Structure des enzymes et spécificité de réaction**

La glucose-oxydase et la glucose-isomérase ont toutes deux le même substrat, le glucose-6-phosphate. Leur structure tridimensionnelle montre que leur site de reconnaissance est constitué des mêmes acides aminés et que leur forme est semblable. Toutefois, les réactions catalysées diffèrent : oxydation du glucose dans un cas, transformation du glucose-6-phosphate en fructose-6-phosphate dans l'autre. La différence s'explique par la présence d'acides aminés différents au niveau du site catalytique. Cette région de l'enzyme est celle qui réagit et assure la catalyse. Tout changement dans cette région modifie soit la vitesse de la réaction, soit le type de réaction accélérée. La composition et la structure du site catalytique des enzymes expliquent leur spécificité de réaction. Les enzymes sont donc des caractéristiques essentielles des organismes.