

Les enzymes, des biomolécules aux propriétés catalytiques

(à compléter avec votre livre Magnard pages 112 à 115)

Toutes les cellules vivantes réalisent en permanence un grand nombre de réactions chimiques indispensables à leur survie : synthèse de molécules, dégradation de nutriments, production d'énergie, élimination de déchets, etc.

Pourtant, dans les conditions douces du milieu cellulaire (température modérée, pH proche de la neutralité), la plupart de ces réactions seraient **extrêmement lentes** si elles dépendaient uniquement du hasard des collisions entre molécules.

Malgré cela, la vie repose sur une succession rapide et coordonnée de transformations chimiques : le **métabolisme cellulaire**.

Cette rapidité est rendue possible grâce à des **molécules biologiques particulières**, les **enzymes**, qui permettent d'accélérer les réactions tout en contrôlant leur déroulement.

Comment les enzymes, issues de l'expression génétique, permettent-elles aux cellules de catalyser de manière efficace et spécifique les réactions du métabolisme ?

I. Les enzymes, des protéines indispensables au métabolisme cellulaire

Les cellules possèdent un grand nombre d'enzymes, chacune étant spécialisée dans la catalyse d'une réaction particulière du métabolisme.

Le **métabolisme cellulaire** correspond à l'**ensemble des réactions chimiques** qui se déroulent dans la cellule.

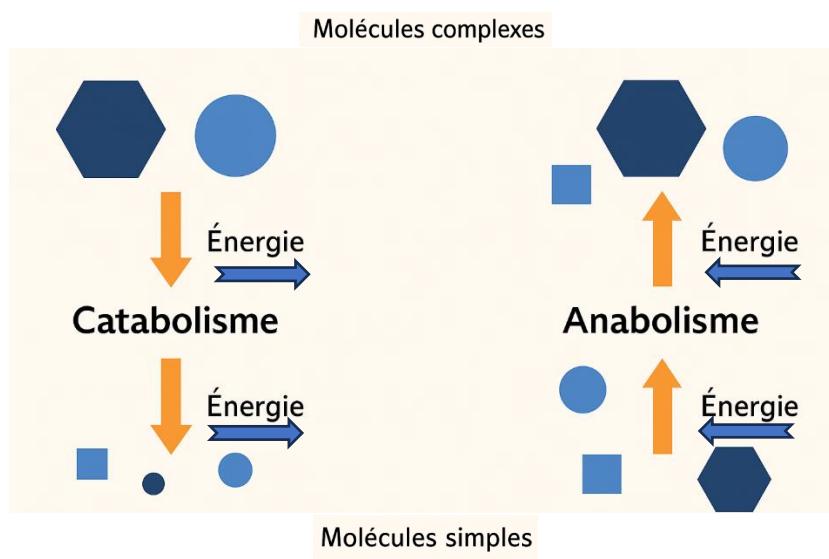
Il comprend des réactions de **synthèse** (anabolisme) et des réactions de **dégradation** (catabolisme).

Une enzyme est une **protéine catalyseur** : elle accélère la vitesse d'une réaction chimique sans être consommée par cette réaction.

Elle agit dans des conditions douces compatibles avec la vie, contrairement à de nombreux catalyseurs chimiques qui nécessitent de hautes températures ou des milieux acides.

Chaque réaction du métabolisme est catalysée par **une enzyme spécifique**.

Ainsi, le fonctionnement coordonné du métabolisme repose sur un grand nombre d'enzymes agissant chacune sur un substrat particulier.



Deux mécanismes du métabolisme cellulaire

Exemple :

La catalase, présente dans presque toutes les cellules, dégrade le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) (une molécule毒ique produite par certaines réactions métaboliques) en eau et dioxygène.

Sans catalase, cette réaction serait beaucoup trop lente, et le peroxyde d'hydrogène s'accumulerait, entraînant la mort de la cellule.

Les enzymes sont donc **indispensables à la vie cellulaire** : elles assurent la rapidité, la spécificité et la régulation des transformations chimiques du métabolisme.

II. La structure tridimensionnelle, clé de la spécificité enzymatique

Les enzymes sont des **protéines**, constituées de longues chaînes d'acides aminés repliées dans l'espace pour former une **structure tridimensionnelle** (structure tertiaire).

Ce repliement crée des régions particulières appelées **sites actifs**, où se déroule la catalyse.

Le **site actif** est la zone de l'enzyme qui interagit directement avec la molécule sur laquelle elle agit, appelée **substrat**.

Il se compose généralement de deux parties :

- une **zone de fixation**, qui reconnaît et se lie spécifiquement au substrat,
- une **zone catalytique**, où la transformation chimique a lieu.

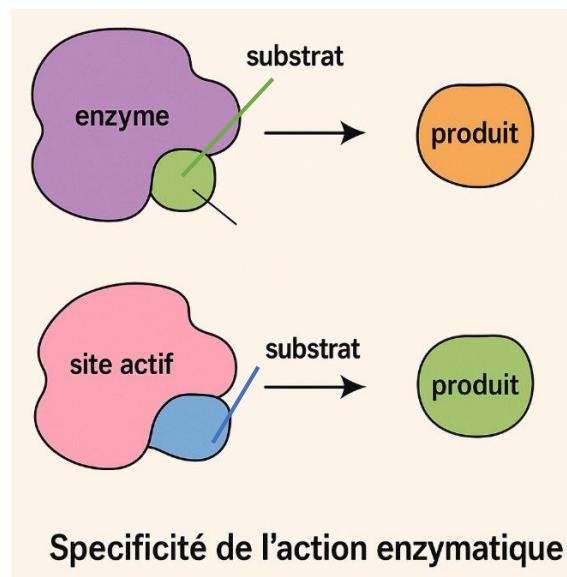
La forme du site actif est **complémentaire** de celle du substrat, ce qui permet leur reconnaissance mutuelle.

On parle souvent du modèle de la **clé et de la serrure**, où le substrat s'insère parfaitement dans le site actif.

Cependant, les observations récentes montrent que l'enzyme peut légèrement se déformer pour s'adapter au substrat : c'est le modèle de **l'ajustement induit**.

Cette complémentarité explique la **spécificité enzymatique**, qui se manifeste à deux niveaux :

- **Spécificité de substrat** : une enzyme ne reconnaît qu'un seul substrat (ou un petit nombre de substrats proches).
- **Spécificité de réaction** : une enzyme ne catalyse qu'un seul type de réaction chimique sur ce substrat.



Exemple :

L'amylase salivaire hydrolyse l'amidon en maltose mais ne peut agir ni sur la cellulose, ni sur les protéines : elle est spécifique de l'amidon et de la réaction d'hydrolyse.

La forme tridimensionnelle de l'enzyme est donc essentielle à son activité.

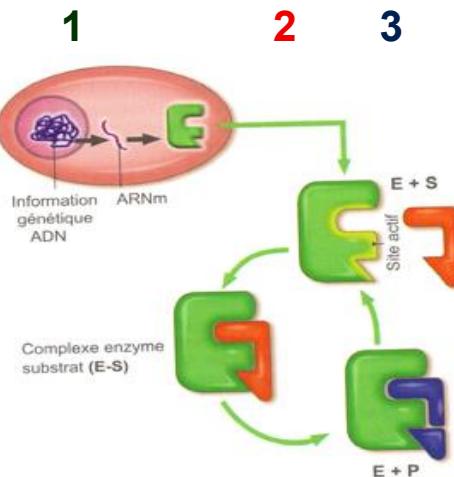
Si elle est modifiée, par exemple sous l'effet d'une température trop élevée ou d'un pH extrême, le site actif perd sa conformation et l'enzyme est dénaturée : elle devient inactive.

III. Le mécanisme de la catalyse enzymatique

Le déroulement d'une réaction enzymatique suit plusieurs étapes successives :

1. **Fixation du substrat** : le substrat se fixe sur le site actif de l'enzyme pour former un **complexe enzyme-substrat**.
2. **Transformation chimique** : le substrat est transformé en un ou plusieurs **produits** au sein du site catalytique.
3. **Libération du produit** : les produits se détachent du site actif, et l'enzyme retrouve sa forme initiale, prête à catalyser une nouvelle réaction.

Le schéma général de la catalyse enzymatique peut s'écrire ainsi : (E : Enzyme ; S : Substrat ; P : Produit)



(Nathan, Ed. 2019, p.115)

Sur le plan énergétique, l'enzyme agit en **abaissant l'énergie d'activation** de la réaction, c'est-à-dire l'énergie minimale nécessaire pour que la réaction démarre.

En abaissant cette barrière énergétique, l'enzyme permet à la réaction de se dérouler beaucoup plus rapidement, sans en modifier le **bilan énergétique**.

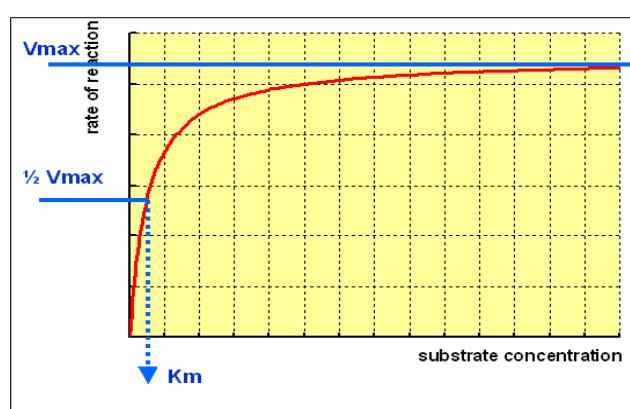
IV. L'étude expérimentale de l'activité enzymatique

L'activité d'une enzyme peut être mesurée en suivant la **formation du produit** ou la **disparition du substrat** au cours du temps.

On obtient alors une courbe représentant la quantité de produit formée en fonction du temps.

Au début de la réaction, la vitesse augmente rapidement : c'est la **vitesse initiale** (v_0).

Cette vitesse peut être déterminée graphiquement en traçant la **tangente à la courbe au temps $t = 0$** .



Le K_m correspond à la valeur de la concentration de substrat pour laquelle la vitesse de réaction enzymatique est égale à la moitié de la vitesse maximale V_{max}

Exemple de vitesse d'activité enzymatique en fonction de la concentration

L'étude expérimentale montre que :

- Lorsque la **concentration en substrat** augmente, la vitesse initiale augmente jusqu'à atteindre un **plateau** : c'est la **saturation enzymatique** (tous les sites actifs sont occupés).
- Lorsque la **concentration en enzyme** augmente, la vitesse initiale augmente proportionnellement, à condition que le substrat soit en excès.

Ces résultats montrent que la vitesse de la réaction dépend du **nombre de rencontres entre enzyme et substrat**, et donc de leurs concentrations respectives.

Des facteurs externes, comme la **température** ou le **pH**, peuvent également influencer la vitesse enzymatique, car ils modifient la conformation de l'enzyme et donc l'efficacité du site actif.

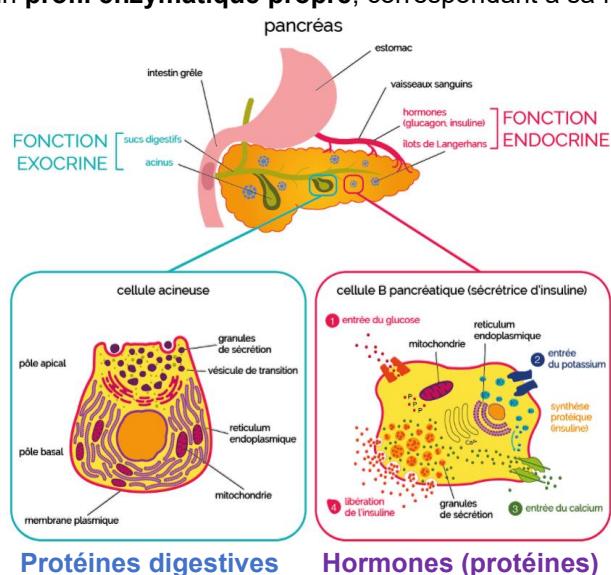
Même si l'étude détaillée de ces paramètres n'est pas exigée dans le programme, ils permettent de comprendre la sensibilité de la catalyse à la structure protéique.

V. Les enzymes, reflet de la spécialisation cellulaire

Les enzymes sont des **produits de l'expression des gènes**.

Chaque gène codant pour une enzyme peut être **exprimé** (le gène est transcrit et traduit) ou **inactif** selon le type cellulaire.

Ainsi, chaque cellule possède un **profil enzymatique propre**, correspondant à sa fonction biologique.



"Liver enzyme diagram.png", Elliott.jd, (CC BY-SA 3.0)

Exemples :

- Les **cellules du foie** expriment des enzymes de détoxication (comme les cytochromes P450).
- Les **cellules musculaires** expriment des enzymes impliquées dans la production d'énergie et la contraction (comme la lactate déshydrogénase).
- Les **neurones** expriment des enzymes nécessaires à la synthèse et à la dégradation des neurotransmetteurs.

L'ensemble des enzymes présentes dans une cellule constitue un **véritable marqueur de spécialisation**.

L'étude des profils enzymatiques permet donc de **comparer différents types cellulaires** et de comprendre leur rôle dans l'organisme.

Conclusion

Les enzymes sont des **biomolécules protéiques** essentielles à la vie.

Elles permettent la réalisation rapide, spécifique et contrôlée des réactions chimiques du métabolisme cellulaire.

Leur **structure tridimensionnelle** leur confère un **site actif** capable de reconnaître un substrat précis et de catalyser une seule réaction.

Issues de l'**expression génétique**, elles constituent un reflet de la **spécialisation cellulaire** et de la diversité fonctionnelle des tissus vivants.

Les enzymes sont les clés de la chimie du vivant : elles traduisent la mise en œuvre du génome au service du métabolisme.