

Enzymologie (Partie 1)

I – Introduction :

L'enzymologie en biochimie c'est :

- L'étude des propriétés structurales et fonctionnelles des enzymes
- L'étude des vitesses des réactions catalysées par les enzymes (cinétique enzymatique)

Au sein de la cellule, toute une multitude de réactions chimiques ont lieu et doivent :

- Se **dérouler rapidement** tout en étant compatibles avec les besoins de la cellule
- TOUJOURS obtenir, à partir d'un composé, le même composé final (**spécificité de la réaction**) pour éviter l'accumulation de produits secondaires.

Les enzymes permettent le **contrôle de ces deux paramètres** : le **temps** (=rapidité de la réaction) et la **spécificité ++**

Les enzymes ont des rôles :

- ❖ **Physiologiques** : elles sont impliquées dans les transformations métaboliques et leurs régulations.
- ❖ **Pathologiques** : beaucoup de pathologies sont liées à un déficit ou un dysfonctionnement des enzymes.
- ❖ **Pharmacologiques** : les enzymes sont la cible de nombreuses classes de médicaments (ex : enzyme de conversion de l'angiotensine dans l'HTA). Il existe aussi **l'enzymothérapie** (on donne des enzymes purifiées aux patients pour combler un déficit en enzymes).

II – Généralités sur les enzymes :

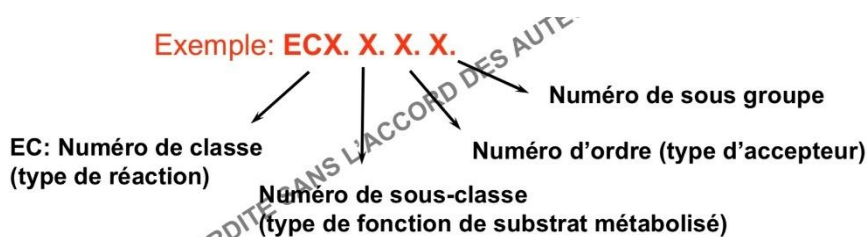
Les enzymes sont des protéines, donc leur synthèse est déterminée génétiquement. On dit que ce sont des **catalyseurs biologiques** (notions détaillée plus loin). Ainsi, les enzymes :

- ✚ Agissent à des **concentrations très faibles**
- ✚ **Augmentent la vitesse** des réactions chimiques
- ✚ **Ne modifient pas** le résultat de la réaction chimique
- ✚ A la fin de la réaction, les enzymes retrouvent leur **structure d'origine, inchangée** (on peut donc les utiliser un grand nombre de fois !)

Attention : Certaines enzymes ne SONT PAS des protéines, comme les ribozymes par exemple !

Comment nomme-t-on les enzymes ?

Pour nommer les enzymes, on parle de classification enzymatique. Cette classification a été proposée en 1961 par l'Union Internationale de Biochimie, se basant sur le type de réaction catalysée. Chaque enzyme est **représentée par 4 chiffres**, chacun d'eux ayant une signification :



- 1^{er} chiffre = type de réaction dans laquelle l'enzyme est impliquée.
- 2^{ème} chiffre = numéro de classe (fonction du substrat)
- 3^{ème} chiffre = numéro d'ordre (type de récepteur)
- 4^{ème} chiffre = sous-groupe

Les enzymes sont classés en 6 grandes familles en fonction des réactions catalysées (correspond au 1^{er} chiffre) :

	Classes	Type de réactions catalysées
1	Oxydo-réductases	Réactions d'oxydoréduction
2	Transférases	Transfert de groupements fonctionnels
3	Hydrolases	Réaction d'hydrolyse
4	Lyases	Addition de groupes sur double liaison ou élimination de groupe pour former une double liaison
5	Isomérases	Transfert de groupes à l'intérieur d'une molécule
6	Ligases	Formation de liaison C-C, C-S, C-O ou C-N Nécessite la fourniture d'énergie (ATP)

10

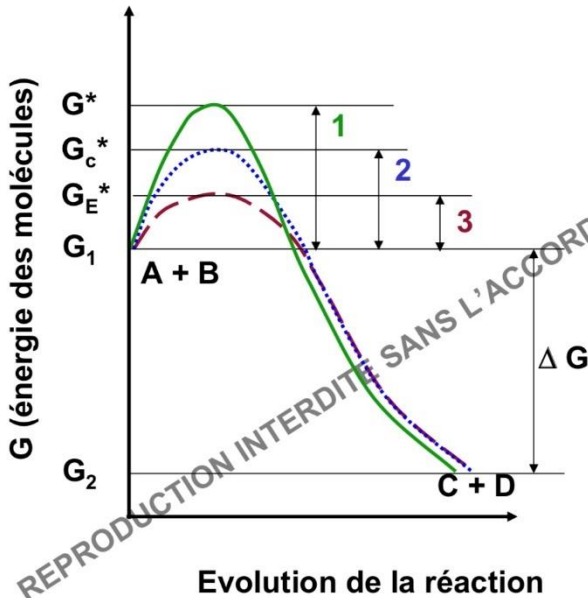
Qui sont les intervenants de la réaction enzymatique ?

Le substrat	Molécule qui entre en réaction pour être transformée en produit grâce à l'action de l'enzyme.
Le produit	Molécule produite au cours d'une réaction catalysée par une enzyme.
Le ligand	Corps chimique qui présente une liaison spécifique avec une protéine (Récepteurs, enzymes ...)
Les cofacteurs	<p>Composés chimiques nécessaires au déroulement de certaines réactions enzymatiques. Ils peuvent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transporter un substrat - Accepter un produit - Participer à la structure active de l'enzyme. <p>En effet, certaines enzymes ne peuvent pas fonctionner sans leurs cofacteurs ; sans eux, la réaction ne peut pas avoir lieu. On distingue alors :</p> <p>Apoenzyme = Partie protéique de l'enzyme → enzyme inactive car sans son cofacteur)</p> <p>Holoenzyme = Enzyme associée à son cofacteur → active</p>

III – La catalyse c’est quoi ?

Si une réaction est thermodynamiquement possible, cela ne signifie pas forcément qu’elle se fait dans des temps compatibles avec la cellule. On va donc rajouter des catalyseurs (=mes enzymes) pour augmenter la vitesse d’une réaction.

Cette vitesse peut être augmentée de plusieurs millions de fois !!



Sur ce schéma, on considère les substrats A + B qui vont donner les produits C + D

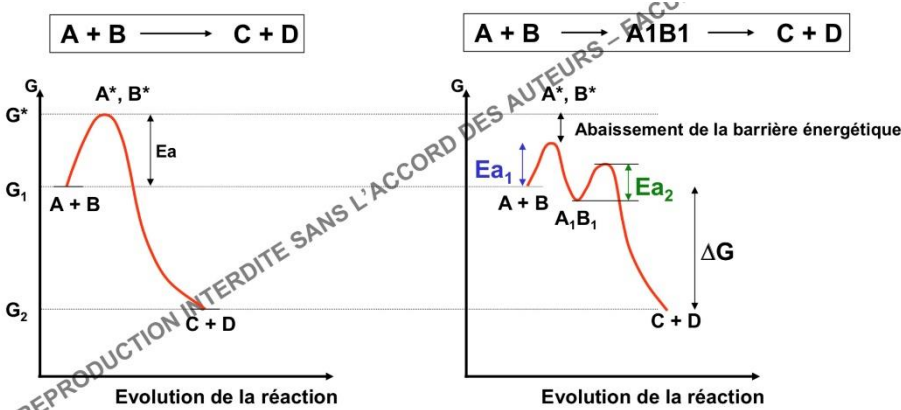
- 1) Réaction sans catalyseur
- 2) Réaction avec un catalyseur chimique
- 3) Réaction avec une enzyme

On voit que la différence d'énergie entre les substrats A+B et l'état énergétique maximal (sommet de la courbe) diminue quand on ajoute un catalyseur chimique, et diminue encore plus quand on ajoute une enzyme.

Ce qu'on appelle « l'état d'énergie maximale » se nomme en réalité **l'Energie d'activation**.

L'énergie d'activation Ea :

- ➔ Variation d'énergie entre les substrats de départ et cet état de transition fortement énergétique, très instable.
- ➔ **Barrière énergétique ++**
- ➔ **Les enzymes vont baisser cette barrière énergétique** ➔ la réaction se fait plus rapidement (3 sur le schéma)
- ➔ La baisse de cette barrière peut se faire soit de **manière directe** (schéma au-dessus), soit de manière **indirecte, des intermédiaires de réaction** (schéma en-dessous)



Ea = Ea₁ + Ea₂

A gauche, on passe par un intermédiaire A1B1 qui a une énergie inférieure aux substrats de départ.

Chaque réaction a une Ea, donc on fait la somme de Ea1 et Ea2 pour connaître l'énergie d'activation totale .

Les Règles de la Catalyse : +++

- ❖ Un catalyseur ne **provoque JAMAIS** une réaction chimique.
- ❖ Un catalyseur ne **rend jamais possible** une réaction thermodynamiquement impossible ($\Delta G > 0$).
- ❖ Un catalyseur **augmente** la vitesse d'une réaction.
- ❖ Un catalyseur permet d'atteindre plus rapidement l'équilibre (pour une réaction réversible) sans le modifier.
- ❖ Un catalyseur se retrouve toujours **inchangé** en fin de réaction.
- ❖ Un catalyseur agit toujours à très **faible concentration** et sert un **grand nombre de fois**.

IV – La spécificité des enzymes :

On distingue deux types de spécificités : la spécificité de **substrat** et la spécificité de **réaction**.

A) La spécificité de substrat :

Ça correspond au fait que l'on doit avoir la bonne liaison au bon endroit (relation structure/activité). Cela pose néanmoins deux problèmes :

- Problème de conformation : l'interaction entre l'enzyme et le substrat est-elle possible (accès possible) ?
- Problème chimique : la réaction est-elle possible ?

Une enzyme n'intervient pas sur un substrat donné **mais sur une famille de substrat** ++

B) La spécificité de réaction

Ça correspond au fait qu'une enzyme n'est capable catalyser qu'un seul type de réaction ; cela va dépendre du fonctionnement de l'enzyme et de l'environnement réactionnel (localisation cellulaire).

⚡ La spécificité étroite ou absolue

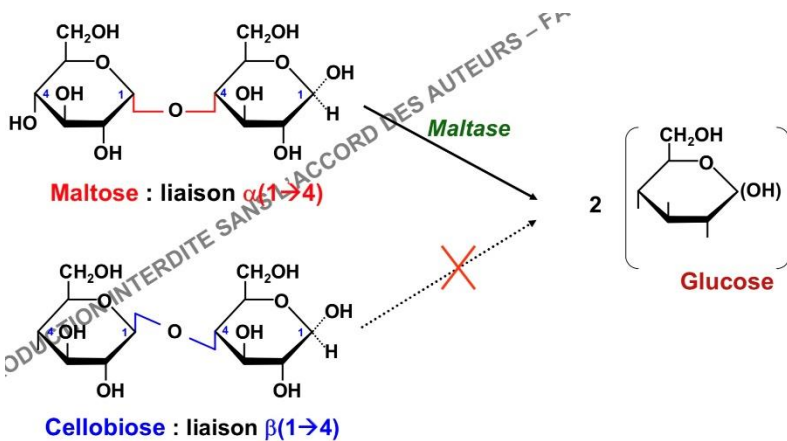
Vis-à-vis d'un seul isomère	Vis-à-vis d'une seule forme optiquement active
<p>Fumarate (dérivé trans)</p> <p>Maléate (dérivé cis)</p> <p>Malate</p> <p>Enzyme: Fumarase</p>	<p>Pyruvate</p> <p>L-lactate</p> <p>Enzyme: LDH</p>
<p>La maléate et la fumarate ont des conformations CIS/TRANS différentes.</p> <p>La Fumarase ne reconnaît QUE la fumarate (dérivé TRANS)</p>	<p>La Lactate Déshydrogénase permet la conversion du pyruvate en l'énantiomère L-Lactate.</p> <p>Rappel Chimie O : les formes L et D dévient la lumière de façon différente, c'est pour ça qu'on parle de forme optiquement active.</p>

La spécificité de liaison/de groupement :

Spécificité où seule une liaison, placée dans un environnement défini, est impliquée. On ne reconnaît pas juste la liaison mais aussi son environnement.

Ex : la chymotrypsine (endopeptidase) coupe les liaisons peptidiques à droite de la phénylalanine. Hors, en présence de proline en aval de mon AA, mon enzyme ne pourra pas fonctionner ; l'environnement de ma liaison influe bien sur l'action de mon enzyme.

La spécificité de groupement



Ex : la maltase reconnaît de façon spécifique la liaison de type alpha du maltose. Elle va alors agir sur le maltose (et non le cellobiose qui a une liaison bêta) et permettre la conversion du maltose en glucose.

La spécificité large ou moins stricte

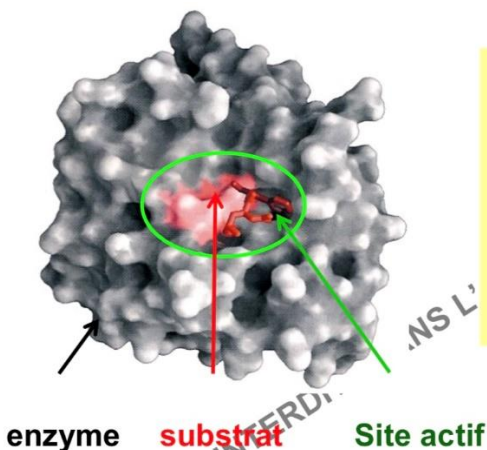
Ex : les lipases vont hydrolyser les TG pour donner des AG et du glucose, sans tenir compte des groupements latéraux : elles ont une action beaucoup plus large car n'importe quelle lipase hydrolyse n'importe quel TG.

V – Structure des enzymes :

L'activité catalytique d'une enzyme est assurée par son site actif, qui ne représente qu'une faible portion ; c'est une sorte de niche dans laquelle va venir se fixer le substrat pour être transformé en produit.

Mais du coup, plus précisément, c'est quoi le site actif ?

A) Le site actif



Le site actif (SA) à une double fonction : RECONNAITRE et TRANSFORMER le substrat. Il présente donc des sous-sites :

- Sites de reconnaissance
- Sites catalytique

Pour que la reconnaissance et la transformation se fassent, on doit avoir une parfaite complémentarité du substrat et de l'enzyme. **La spécificité de ma réaction enzymatique est liée à ce degré de complémentarité (plus la complémentarité est importante, plus ma réaction est spécifique).**

On retrouve différents AA au niveau du SA, qui n'ont pas tous les mêmes fonctions :

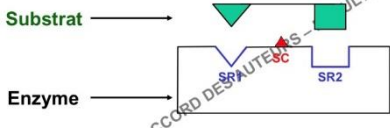
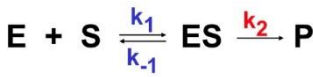
Les AA indifférents	<ul style="list-style-type: none"> • Comme leur nom l'indique, ils n'interviennent pas dans la réaction enzymatique. • Ils sont en nombre variable. • Ils sont localisés aux extrémités N-Ter et C-Ter de la protéine.
Les AA de conformation	<ul style="list-style-type: none"> • Ils n'interviennent pas non plus dans la réaction enzymatique. • Permettent de maintenir l'enzyme dans sa forme réactionnelle.
Les AA auxiliaires	<ul style="list-style-type: none"> • Proche du SA mais n'interagissent pas pour autant avec le substrat → n'interviennent pas dans la réaction enzymatique. • Assurent la flexibilité du SA.
Les AA de contact	<ul style="list-style-type: none"> • Ils sont en interaction directe avec le substrat. • Ils ne sont pas nombreux (<10) : Arg, Asp, Cys, Glu, Lys, His, Ser, Tyr, Thr. • Ils ne sont pas forcément proches dans la structure primaire de la protéine ++.

B) Les propriétés du site actif :

- Le SA est une **crevasse/une niche à la périphérie de l'enzyme**, formée par les groupements des chaînes latérales des AA de contact.
- Il occupe une **faible part du volume total** d'une enzyme
- Il constitue un **micro-environnement unique hydrophobe** → l'association étroite entre le substrat et le SA implique que l'eau y est généralement exclue (sauf si elle est le substrat de la réaction).

C) Formation du complexe Enzyme-Substrat :

- La formation du complexe ES est le point de départ de la réaction.
- Le substrat s'associe au SA de l'enzyme par de multiples **interactions de faible niveau énergétique ++.**
- Le site de reconnaissance/fixation peut être multiple (on peut avoir des sous-sites) :



Ici, au niveau de l'enzyme, on voit deux sous sites de reconnaissance SR1 et SR2 (en bleu) et un site catalytique (petit triangle rouge).

- Les enzymes, en baissant l'Ea vont stabiliser la transformation du substrat dans son état de transition → état dans lequel les enzymes sont parfaitement complémentaires au substrat (revu plus tard).

Pour justifier cette interaction, deux modèles ont été décrit :

<p>Le modèle Clé-Serrure de Fischer</p>	<p>Hypothèse selon laquelle l'interaction entre l'enzyme et le substrat peut être comparée à celle entre une clé et une serrure.</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> </div> <p>Ce modèle a été abandonné ... Pourquoi ?</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ L'enzyme n'est pas une structure figée. ➔ Une molécule ayant une structure comparable au substrat peut se fixer à sa place, mais on obtiendra un produit différent. ➔ Certaines enzymes ont besoin de plusieurs molécules pour être actives... Or avec ce modèle, le substrat ne devrait pas avoir besoin d'un autre facteur pour être transformé.
<p>Le modèle de l'ajustement induit de Koshland</p>	<p>Hypothèse selon laquelle l'interaction entre le substrat et l'enzyme est optimale quand le substrat est dans son état de transition. Quand il y a interaction, il y a changement de structure du substrat ET de conformation de l'enzyme ++.</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> </div>

	<p><i>On peut imaginer un gant dans lequel on essaie de glisser une main → il y a à la fois une modification de conformation de la main et du gant, pour que le main puisse rentrer dedans.</i></p>
--	---

En résumé : *(really important to understand)*

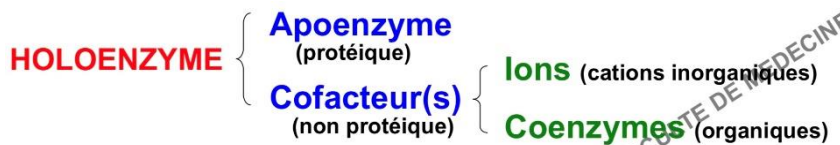
- ☛ L'enzyme n'est pas une structure figée → elle peut changer de conformation en fonction des situations grâce à l'intervention des différents AA.
- ☛ Quand il y a association entre le substrat et l'enzyme, l'enzyme passe d'une conformation **ouverte** à une conformation **fermée** qui permet la catalyse.

VI – Les cofacteurs :

Rappel : certaines enzymes ne peuvent pas fonctionner seules (apoenzyme) et ont besoin d'un cofacteur. Il est **INDISPENSABLE** pour que l'enzyme soit active et que la réaction puisse se faire (holoenzymes = enzyme + cofacteur).



Le même cofacteur peut être associé à différents types d'enzymes, **PAR CONTRE** une apoenzyme donnée va reconnaître de façon spécifique le cofacteur dont elle a besoin pour fonctionner ++



On a deux types de cofacteurs :

- **Des ions métalliques** (cations divalents) : Mg⁺⁺, Cu⁺⁺, Mn⁺⁺
- **Des coenzymes** (molécules organiques et non protéiques) : NAD⁺, NADP⁺, FAD, TPP...

Ça sert à quoi les cofacteurs ?

Les cofacteurs ont plusieurs rôles ++ :

- Participer à la structure de l'enzyme
- Transporter un substrat
- Accepter un produit formé (les ions métalliques ne peuvent pas faire ça)

VII – Et si on parlait un peu plus des coenzymes ?

A) Généralités sur les coenzymes :

- ❖ Ce sont des cofacteurs indispensables à la catalyse enzymatique d'une enzyme qui nécessite un coenzyme pour fonctionner (*déjà dit milles fois donc notion trèèèès importante*).

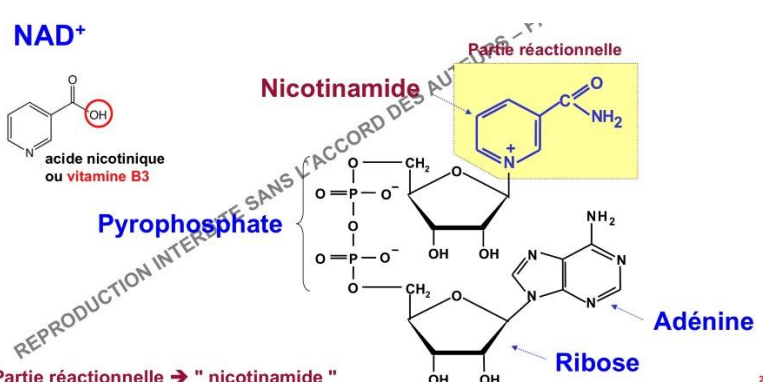
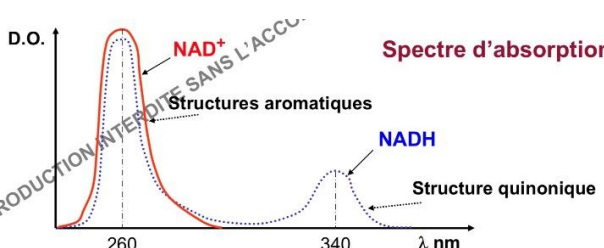
- ❖ Tout comme les enzymes, les coenzymes **retrouvent leur forme d'origine à la fin de la réaction. Cela explique qu'un couple enzyme/coenzyme peut participer à un grand nombre de réactions successives.**
- ❖ Ce sont des molécules biologiques complexes synthétisées à partir d'intermédiaires métaboliques.
- ❖ Leur synthèse n'est pas entièrement possible par notre organisme, donc **une partie de la molécule du coenzyme doit être apportée par l'alimentation ; via les vitamines :**

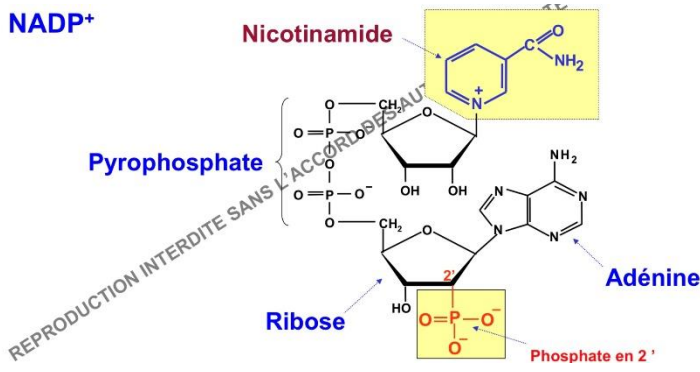
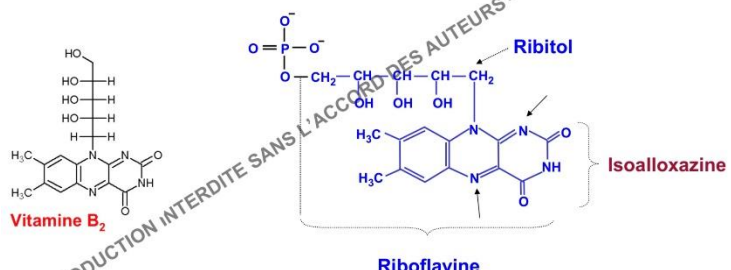
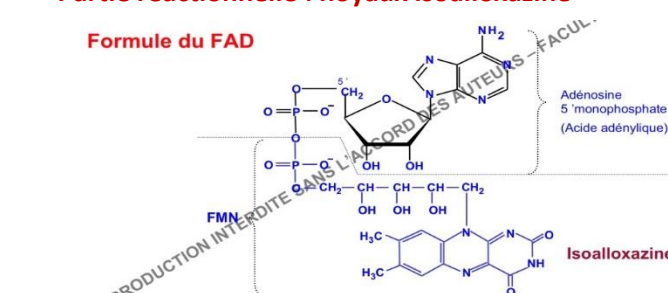
Vitamine	Nom de la Vitamine	Coenzyme obtenu	Rôles du coenzyme
Vitamine B3	Nicotinamide	NAD/NADP	Métabolisme glucidique, lipidique, protidique
Vitamine B5	Acide Pantothénique	Coenzyme A	Métabolisme des acides gras constituant du Coenzyme A
Vitamine B6	Pyridoxine	Pyridoxal Phosphate	Métabolisme des acides aminés
Vitamine B2	Riboflavine	FMN/FAD	Métabolisme énergétique, métabolisme des AA
Vitamine B1	Thiamine	Thiamine Pyrophosphate (TPP)	Assimilation des glucides, métabolisme des AA
Vitamine H	Biotine	Biotine	Métabolisme des AA, métabolisme des corps gras, NGG

On distingue les **coenzymes stœchiométriques** et les **coenzymes catalytiques** :

Coenzymes stœchiométriques/co-substrats	Coenzymes catalytiques/prosthétiques
<p>Ils sont liés à l'apoenzyme par des liaisons faibles de type électrostatique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cette liaison est renouvelée à chaque réaction : on parle de coenzymes libres car se dissocient de l'enzyme après chaque réaction. - La concentration en coenzyme est voisine de celle en substrat. - Energie mise en jeu enzyme-coenzyme de même ordre qu'enzyme-substrat - Interviennent comme transporteur (d'électrons, d'H⁺, de groupements ...) <p>Ex : NAD⁺, NADP⁺, CoA-SH</p>	<p>Ils sont liés à l'apoenzyme par des liaisons fortes de type covalente :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La liaison est irréversible : on parle de coenzymes liés (ne se dissocient jamais). - La concentration en coenzyme est voisine de celle en enzyme. - Interviennent comme activateur (implication au niveau du site catalytique des enzymes) <p>Ex : FAD, Pyridoxal Phosphate</p>

B) Les Coenzymes d'oxydo-réduction :

<p><u>Coenzymes pyridiniques</u></p> <p>= NAD et NADP</p>	<p>Nicotinamide Adénine Dinucléotide (NAD⁺)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte 2 e- et un H⁺ (soit un H- ou hydrure) - Impliqué dans les réactions d'oxydation (voies cataboliques), surtout mitochondriales - Proviens de la vit B3 - NAD⁺ (oxydée) → azote quaternaire du noyau pyridine - NADH (réduite) → azote tertiaire - Partie réactionnelle : cycle nicotinamide  <p>NAD⁺</p> <p>acide nicotinique ou vitamine B3</p> <p>Nicotinamide</p> <p>Pyrophosphate</p> <p>Adénine</p> <p>Ribose</p> <p>Partie réactionnelle → " nicotinamide "</p> <p>28</p> <p><u>Réactivité :</u> NAD⁺ + H₂ ⇌ NADH+H⁺</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fonctionne surtout à l'état oxydé donc le rapport [NAD⁺] / [NADH+H⁺] > 1. • La réoxydation de NADH se fait soit en aérobie (CRM) soit en anaérobie (fermentation lactique). <p><u>Spectre d'absorption :</u></p> <p>Permet de distinguer la forme oxydé NAD⁺ de la forme réduite NADH (elles n'ont pas les mêmes propriétés physiques).</p>  <p>Spectre d'absorption</p> <p>Structure aromatique</p> <p>Structure quinonique</p> <p>260</p> <p>340</p> <p>λ nm</p> <p>NAD → 1 seul pic à 260 nm</p> <p>NADH → 2 pics : un à 260 nm et l'autre à 340 nm</p>
	<p>Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate (NADP⁺)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte 2 e- et un H⁺ (soit un H-) - Impliqué dans les réactions de réduction (voies anaboliques), surtout cytoplasmique. - Proviens de la Vit B3 - Diffère par le Groupe Phosphate estérifié sur l'hydroxyle en 2' du ribose relié à l'adénine

		<p>- Partie réactionnelle : cycle nicotinamide</p> <p>NADP⁺</p>  <p>Réactivité : $\text{NADP}^+ + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{NADPH} + \text{H}^+$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fonctionne surtout à l'état réduit donc le rapport $[\text{NADPH} + \text{H}^+] / [\text{NADP}] > 1$. • La réduction du NADP⁺ se fait au niveau de la VPP ou par oxydation cytoplasmique de l'isocitrate. <p><i>On peut passer du NAD au NADP en utilisant un ATP et une transphosphatase qui vient phosphoryler le NAD → on libère du NADP et un ADP.</i></p>
<p>Coenzymes flaviniques</p> <p>= FMN et FAD</p>	<p>Flavine MonoNucléotide (FMN)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte 2 atomes d'Hydrogène - Impliqué dans les réactions d'oxydo-réduction - Peu abondant, provient de la Vit B2 - Réactivité : $\text{FMN} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{FMH}_2$ - Partie réactionnelle : noyau isoalloxazine <p>Formule du FMN</p>  <p>Riboflavine = Ribitol + isoalloxazine</p>
	<p>Flavine Adénine Dinucléotide (FAD)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte 2 atomes d'Hydrogène - Impliqué dans les réactions d'oxydo-réduction - Peu abondant, provient de la Vit B2 - Réactivité : $\text{FAD} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{FADH}_2$ - Partie réactionnelle : noyaux isoalloxazine <p>Formule du FAD</p> 

	<p>On différencie deux types de flavoprotéines :</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Flavoprotéines oxydables → peuvent transférer les hydrogènes qu'elles transportent directement sur l'oxygène → peroxydes d'hydrogène (cytoplasme) ❖ Flavoprotéines non auto-oxydable → sont dans la MIM et sont associées au transporteurs d'e- de la CRM.
--	---	---

<p><u>Coenzymes hématiniques</u></p>	<p>Cytochrome C (Cyt C)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transport d'un e- à la fois : changement de valence : Fe³⁺ (forme oxydée) et Fe²⁺ (forme réduite). - Famille des métallo porphyrine - Partie réactionnelle : noyau porphyrine avec un atome de fer Fe au milieu <div style="text-align: center;"> <p>L'atome de fer est lié à 4 atomes d'azote du noyau porphyrine</p> <p>Rôle du Cytochrome C</p> $\text{Fe}^{2+} \xrightarrow{+e^-} \text{Fe}^{3+}$ <p>Réduit Oxydé</p> <p>Transporteur d'électrons de la chaîne respiratoire par changement de valence de l'atome de Fer ; 1 électron à la fois</p> </div>
--------------------------------------	------------------------------------	---

<p><u>Coenzymes Quinoniques</u></p>	<p>Coenzyme Q (Coe Q)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transport d'e- - Liposoluble au niveau de la membrane cellulaire - Partie réactionnelle : ubiquinone/anneau quinonique(cyclique) <div style="text-align: center;"> <p>Chaîne polyisoprénique (n = ~10)</p> </div> <p>Coe Q → Ubiquinone → forme oxydée Coe QH₂ → Ubiquinol → forme réduite</p>
-------------------------------------	----------------------------------	---



Récap : on a plusieurs coenzymes d'oxydo-réduction :

- Coenzymes Pyridiniques → NAD⁺ et NADP⁺
- Coenzymes Flaviniques → FAD et FMN
- Coenzymes Héminiques → Cytochrome C
- Coenzymes Quinoniques → Coenzyme Q

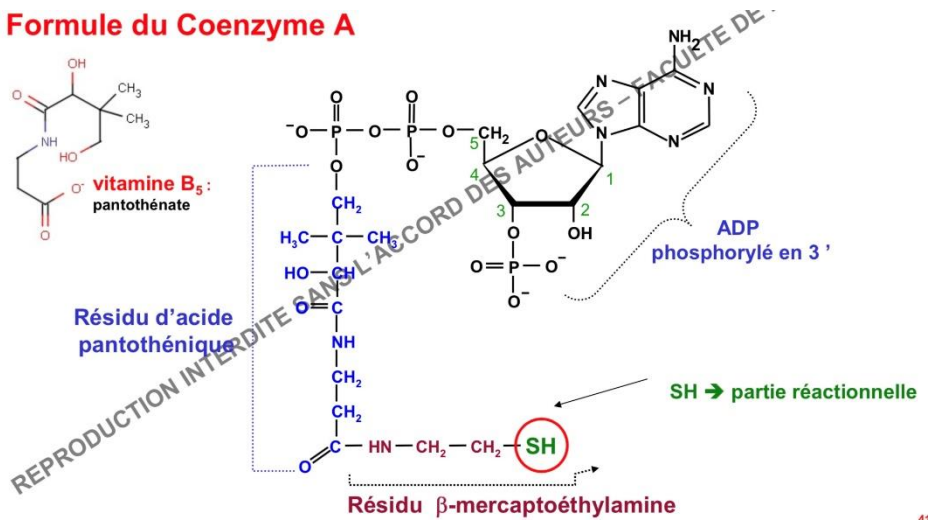
C) Les Coenzymes de réaction de transfert de groupement :

<p>Thiamine Pyrophosphate (TPP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte le groupement acyl - Provient de la Vit B1 - Coenzyme catalytique - Participe aux réactions de décarboxylation oxydative des acides α-cétoniques (pyruvate) → fait partie de la PDH - Fonctionne avec l'acide lipoïque - Partie réactionnelle : soufre du noyau thiazole <div style="text-align: center;"> <p>noyau pyrimidique Noyau thiazole pyrophosphate</p> <p>THIAMINE ou vitamine B₁</p> <p>vitamine B₁</p> </div>
<p>Acide Lipoïque</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transport du groupement acyl du TPP (le TPP lui donne l'acyl) - Coenzyme catalytique - Participe aussi aux réactions de décarboxylation oxydative des acides α-cétoniques → fait partie du complexe multienzymatique de la PDH - Coenzyme solidement fixé à l'apoenzyme grâce à la terminaison COO qui permet la formation d'une liaison amide avec la lysine de l'apoenzyme. - Partie réactionnelle : noyau 1,2 di-thiol <div style="text-align: center;"> <p>Noyau 1,2-dithiol</p> <p>Permet la formation d'une liaison amide avec le groupe ε-aminé d'une lysine de l'apoenzyme</p> <p>Apoenzyme</p> <p>lysine</p> <p>Ac lipoïque</p> </div>

Coenzyme A

- Transport d'acétyl/acyl
- Fait aussi partie du complexe de la PDH
- Provient de la Vit B5
- Possède un ADP phosphorylé en 3'
- **Partie réactionnelle : groupe SH (Coa-SH)**

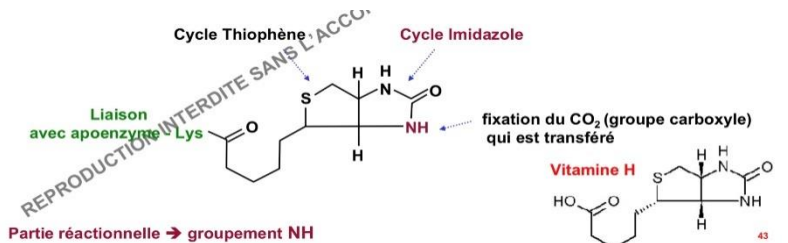
Formule du Coenzyme A



Le complexe multienzymatique de la PDH est très détaillé dans le cours du Cycle de Krebs et de la Pyruvate Déshydrogénase donc je ne le détaille pas ici <3

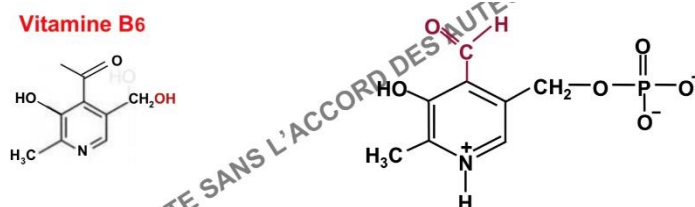
Biotine

- Intervient dans les réactions de **carboxylation** (coenzymes des carboxylases), **d'isomérisation**, de **transport de groupement méthyls** et de **réduction** de radicaux formyls ou hydroxyméthyls.
- Provient de la Vit H
- Coenzyme catalytique
- **Partie réactionnelle : groupement NH**



Pyridoxal Phosphate

- Coenzymes des **transférases** et des **décarboxylases**
- Provient de la Vit B6
- **Partie réactionnelle : fonction aldéhyde sur le carbone 4**



Fin de la Première Partie

