

Support destiné aux étudiants de 1^{ère} année de médecine

Biochimie métabolique

Dr.Khebbat Zerargui F.

Bioénergétique et métabolisme



Introduction

Pour vivre les organismes doivent extraire de [l'énergie à partir de la matière environnante](#) et la convertir en d'autres formes d'énergie propres à leur existence

Toute cellule est le siège de [milliers de réactions biochimiques](#) qui mettent en jeu des transferts de matière et d'énergie.

Cet ensemble de réactions s'appelle le métabolisme. Les réactions forment [un réseau de voies très ramifiées](#) le long desquelles les molécules, que l'on appelle des métabolites, sont transformées.

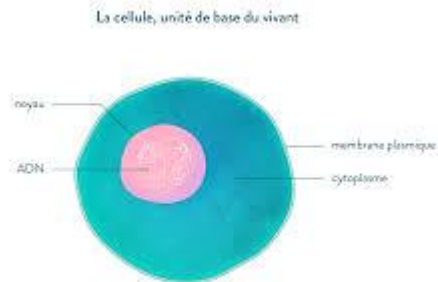
La bioénergétique est une branche de la biochimie qui analyse le flux d'énergie dans les systèmes vivants.

Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent à l'intérieur d'un être vivant pour lui permettre notamment de se maintenir en vie, de se reproduire, de se développer et de répondre aux stimuli de son environnement.

Echange d'énergie

Comment l'énergie est-elle utilisée par les organismes vivants ?

Une cellule



produit
climatise
transporte
communique
détruit

**Toutes ces fonctions nécessitent
de l'énergie**

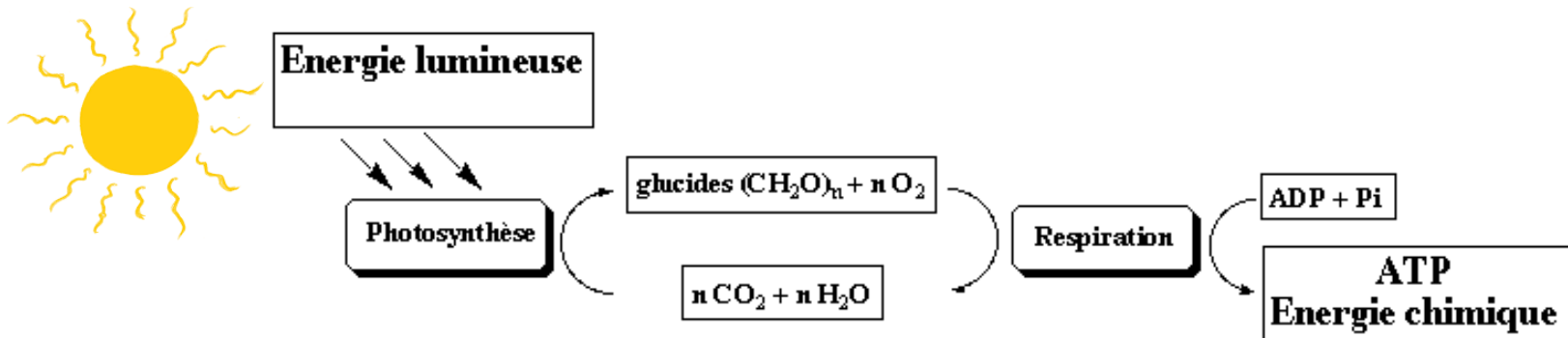
La bioénergétique étudie l'approvisionnement, l'utilisation et les transferts d'énergie dans la cellule.

En conclusion,

la cellule va constamment : capter de l'énergie du milieu extérieur (par exemple l'énergie lumineuse)

céder une partie de cette énergie au milieu extérieur sous forme de chaleur

transformer le "reste" de cette énergie en travaux cellulaires. Quasiment tous les travaux cellulaires résultent d'un mécanisme chimique : le transfert d'un groupement phosphoryle issu d'une molécule, l'adénosine triphosphate ou [ATP](#).



La Digestion

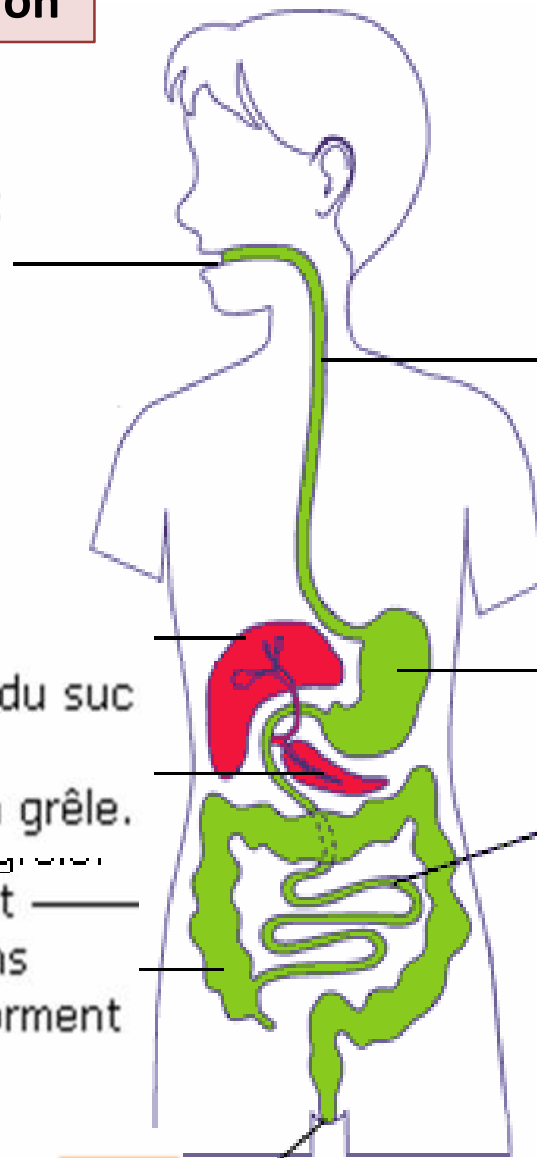
Les aliments entrent par la **bouche**. Ils subissent l'action des dents et de la salive.

Le **foie** produit de la bile, qui est déversée dans l'intestin grêle.

Le **pancréas** produit du suc pancréatique, qui est déversé dans l'intestin grêle.

Les nutriments qui ne sont pas absorbés passent dans le **gros intestin** où se forment les selles...

... qui sont rejetées par l'**anus**.



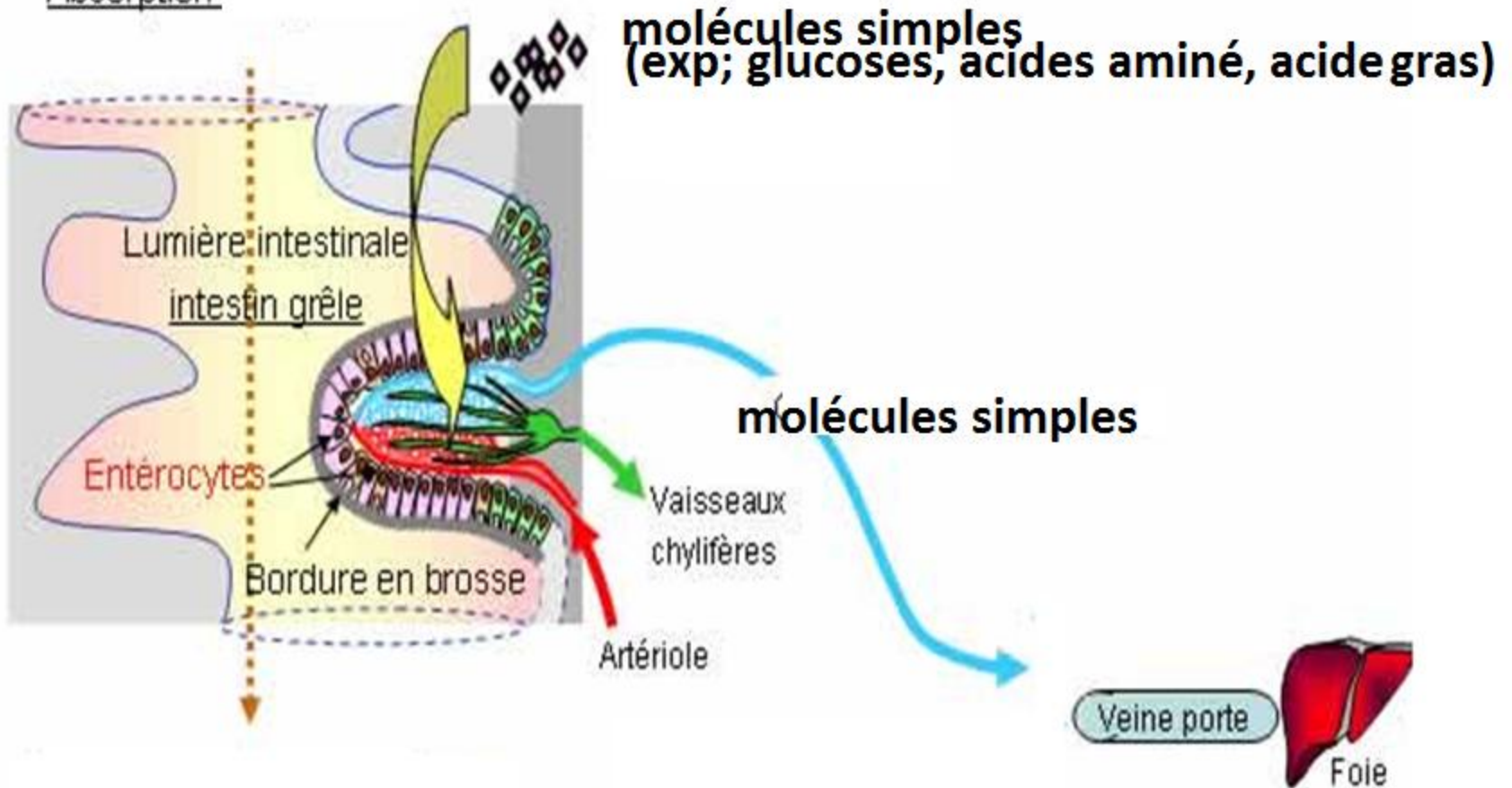
Ils passent dans l'**œsophage**...

... puis dans l'**estomac** où ils sont malaxés et subissent l'action du suc gastrique.

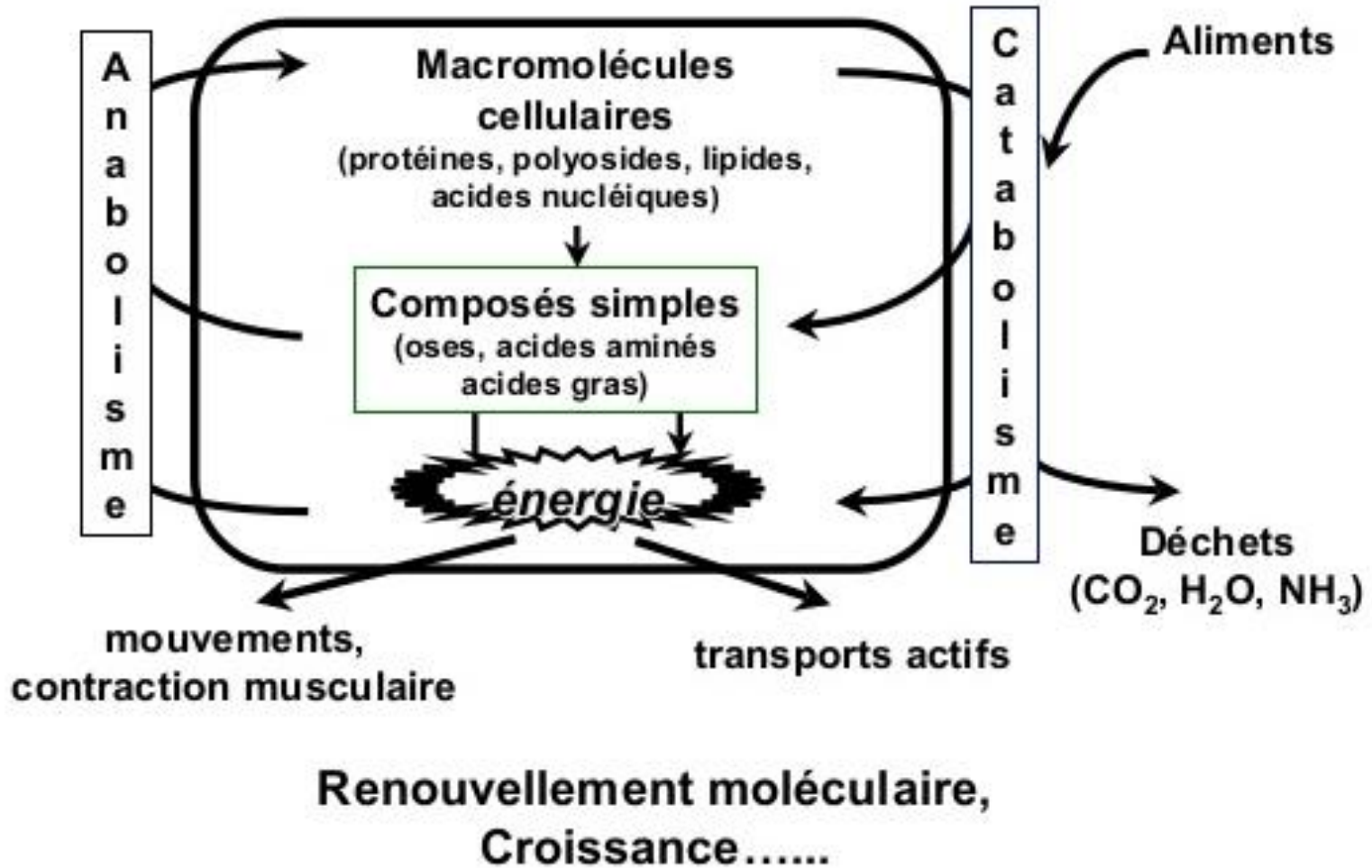
Les aliments progressent dans l'**intestin grêle** où le suc pancréatique et la bile décomposent les aliments en nutriments. Les nutriments passent dans le sang : ils sont absorbés.

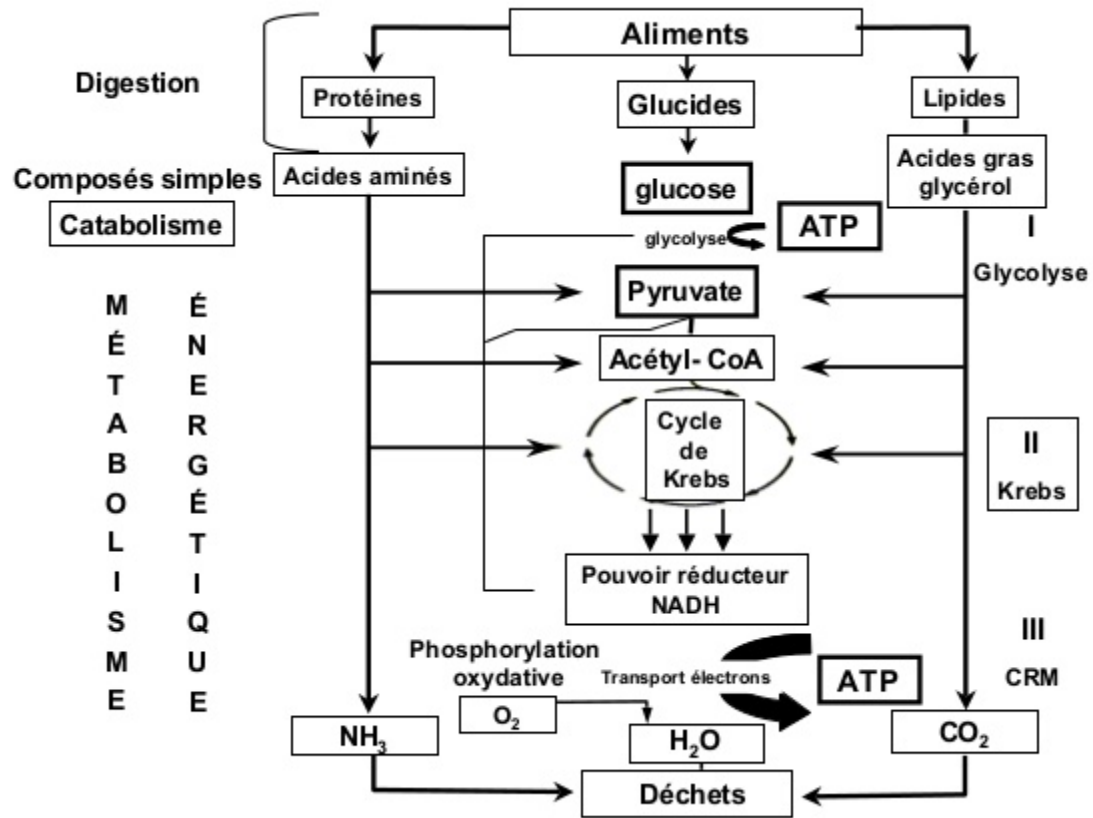
Absorption intestinale

Absorption



Le Métabolisme énergétique dans la cellule





Les aliments, sources d'énergie

Apports alimentaires nécessaires à l'équilibre énergétique chez l'homme

	g/jour	Valeur calorique	J/jour	Cal/jour	% valeur calorique
Protéines	85g (14%)	17 J/g	1440	344	12%
Lipides	95g (16%)	38 J/g	3600	860	30%
Glucides	410g (70%)	17 J/g	6960	1668	58%
Total			12000*	2900*	

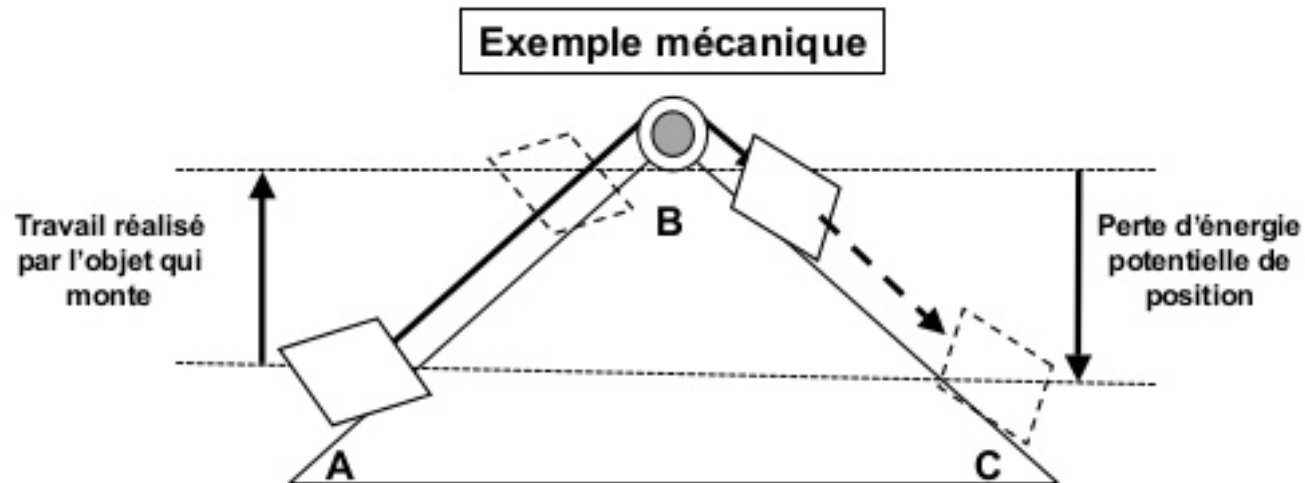
* 1 Cal = 1 Kcal = 4 185 J

Valeur énergétique : 1 g de lipides = 2 g de protéines ou 2 g de glucides

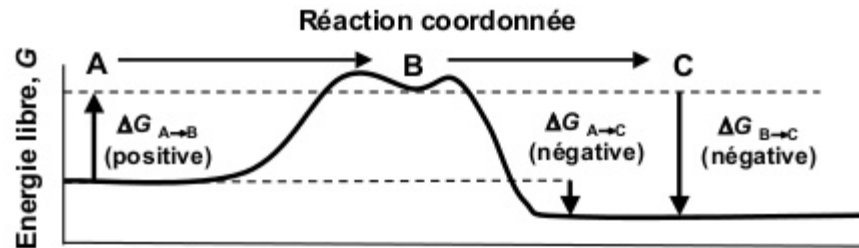
- L'apport alimentaire quotidien dépend :
 - de l'âge,
 - du sexe,
 - de l'activité,
 - de la température ambiante.
- Besoins augmentés lors :
 - de la croissance,
 - de la grossesse.

Bioénergétique

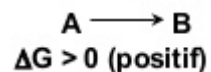
- 1 - Définition : étude des transferts d'énergie dans les cellules vivantes
- 2 - Loi de conservation de l'énergie : l'énergie totale d'un système et de son environnement est constant
- 3 - Énergie libre G : quantité d'énergie contenue dans une molécule susceptible d'être libérée au cours d'une réaction chimique
- 4 - Variation de l'énergie libre = ΔG



Variation d'énergie libre Exemple chimique

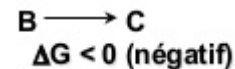


Endergonique



La réaction a besoin d'énergie
pour se faire :
la réaction est endergonique

Exergonique



La réaction libère de l'énergie,
elle se fait spontanément :
la réaction est exergonique

• ΔG dépend :

- de la nature de la réaction
- du pH
- de la température
- des concentrations initiales de A et B
- est additif

En résumé

si : $\Delta G < 0$, réaction spontanée (exergonique)

$\Delta G = 0$, réaction en équilibre énergétique

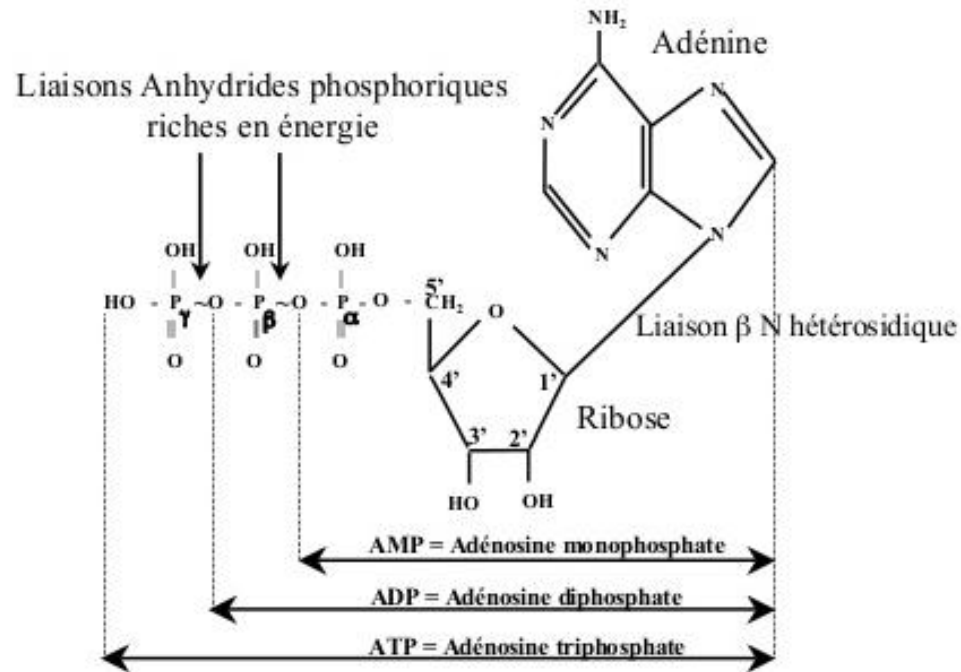
$\Delta G > 0$, réaction ne peut avoir lieu (endergonique), sauf si :

- la réaction $A \rightarrow B$ est couplée à une autre réaction ($B \rightarrow C$) exergonique

$$[(\Delta G (B \rightarrow C) + \Delta G (A \rightarrow B))] < 0$$

- la réaction est couplée à une réaction très exergonique : hydrolyse de l'ATP

L'ATP

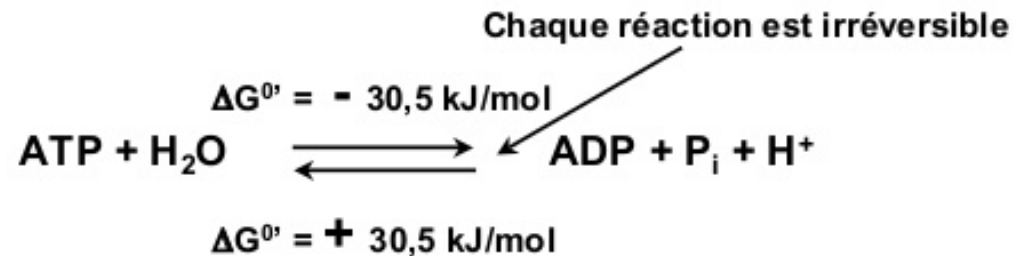


- ATP (10^9 moles/ cellule) = forme de stockage et de transport énergétique de la cellule
- Deux liaisons riches en énergie
- Durée de vie très brève (1 min) : renouvellement rapide
- Consommation au cours d'un exercice violent : 0,5 kg/ min

ATP = source d'énergie

L'ATP est une source d'énergie :

- soit par hydrolyse d'une liaison anhydride d'acide
- soit par transfert d'énergie dans une liaison - P

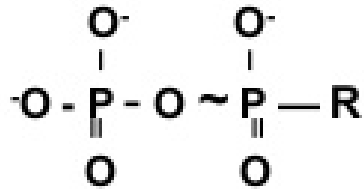


[ATP] + [ADP] = constante,
mais le rapport ATP/ ADP varie en fonction de l'état énergétique
de la cellule

Les 4 types de liaisons riches en énergie

Leur hydrolyse est très exergonique : $\Delta G^0' \approx -35 \text{ kJ/mol}$

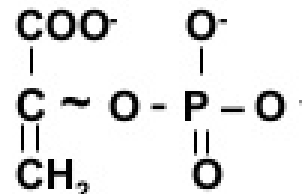
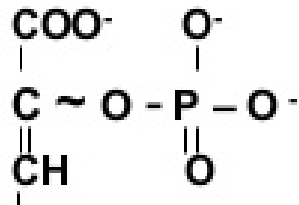
1 - Liaison anhydride phosphorique : ATP



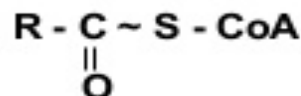
2 - Liaison anhydride d'acide : 1,3 bis phosphoglycérate



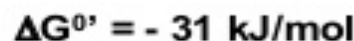
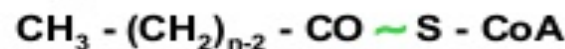
3 - Liaison émol phosphate : Phosphoémol pyruvate (PEP)



4 - Liaison thioester : Acétyl CoA



Acyl CoA



Energies libres standard de l'hydrolyse de composés phosphorylés et de l'acétyl-coenzyme A

Liaison riche en énergie si $\Delta G^{\circ} < - 25 \text{ kJ/mol}$

	ΔG° kJ/mol	
Phosphoénolpyruvate	- 61,9	Riche
1,3-Bisphosphoglycérate (\rightarrow 3-Phosphoglycérate + P_i)	- 49,3	
Créatine phosphate	- 43,0	
PPi (\rightarrow 2 P_i)	- 33,4	
ATP (\rightarrow AMP + PP_i)	- 32,2	
Acétyl-CoA	- 31,4	
ADP (\rightarrow AMP + P_i)	- 30,5	
ATP (\rightarrow ADP + P_i)	- 30,5	
<hr/>		
Glucose-1-phosphate	- 20,9	Non Riche
Fructose-6-phosphate	- 15,9	
AMP (\rightarrow Adénosine + P_i)	- 14,2	
Glucose-6-phosphate	- 13,8	
Glycérol-1-phosphate	- 9,2	

Les réactions d'oxydo-réduction

1 - Notions d'oxydation et de réduction

Oxydation

Gain d'oxygène

Perte d'hydrogène

Perte d'électrons

Réduction

Perte d'oxygène

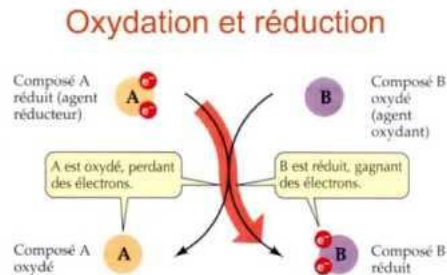
Gain d'hydrogène

Gain d'électrons

2 - Réaction d'oxydo-réduction

Dans une réaction d'oxydo-réduction il y a un couple d'oxydo-réduction constitué de 2 demi-réactions qui sont couplées et réversibles avec:

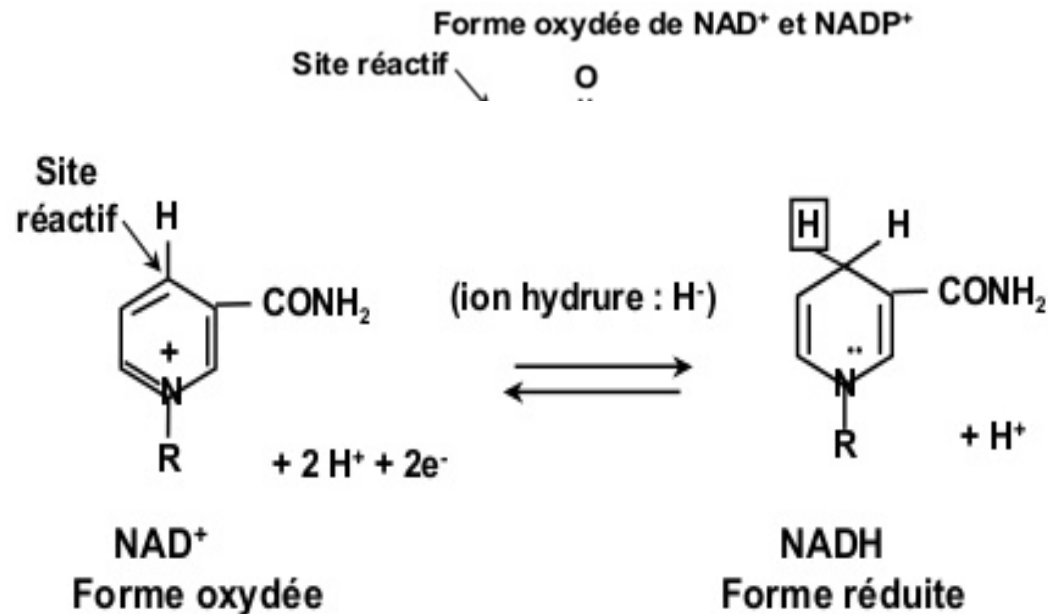
- un réducteur qui fournit des H^+ (et des électrons) et *s'oxyde*
- un oxydant qui capte des H^+ (et des électrons) et *se réduit*



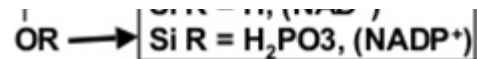
L'oxydation et la réduction sont couplées.
Un composé A est oxydé, et un composé B est réduit dans une réaction d'oxydo-réduction. Dans le processus, A perd des électrons et B en gagne.

TRANSPORTEURS D'ELECTRONS

Nicotinamide Adénine Dinucléotide = NAD⁺
 Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate = NADP

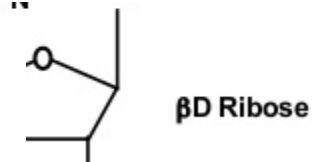
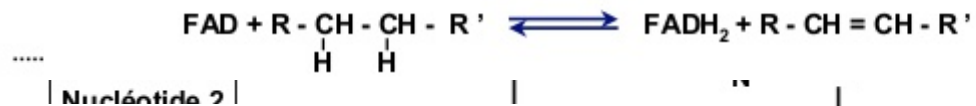
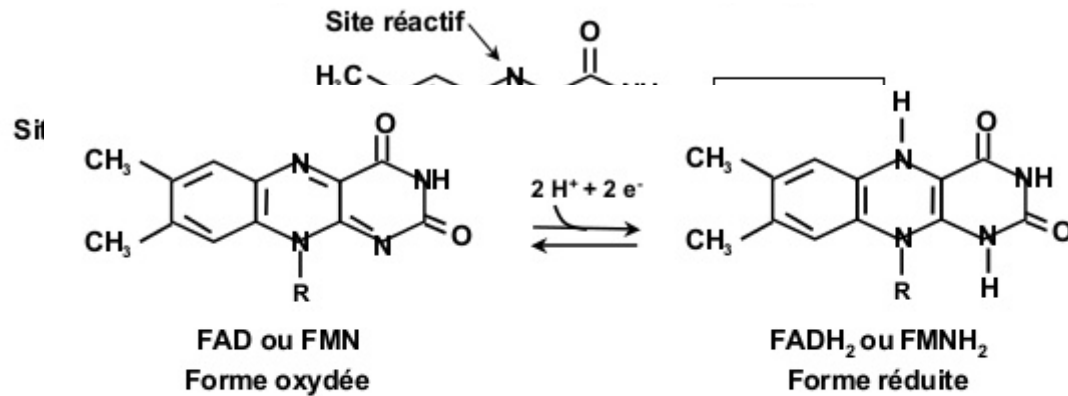


NAD⁺
 Coenzyme des déshydrogénases



- Le NAD⁺ est un coenzyme libre : sa liaison aux enzymes est réversible
- Caractéristiques : - ne traverse pas la membrane mitochondriale
 - d'où 2 pools intracellulaires : $\begin{cases} \text{cytosolique} \\ \text{mitochondrial} \end{cases}$

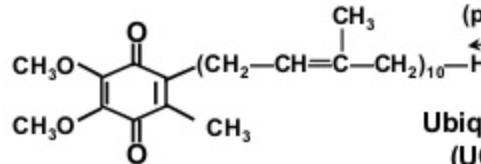
Flavine Mononucléotide (FMN)
Flavine Adénine Dinucléotide (FAD)



- **Caractéristiques :** – coenzymes liés à des flavoprotéines
- enzymes présentes dans la membrane interne de la mitochondrie

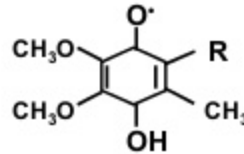
**Coenzyme Q (Q)
(ou Ubiquinone, UQ)**

Forme oxydée

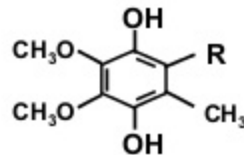


Chaîne très apolaire
(polyisoprénique = R)

Ubiquinone
(UQ, Q)



Semiquinone
(UQH·, QH·)



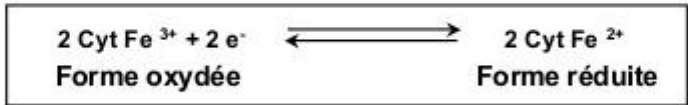
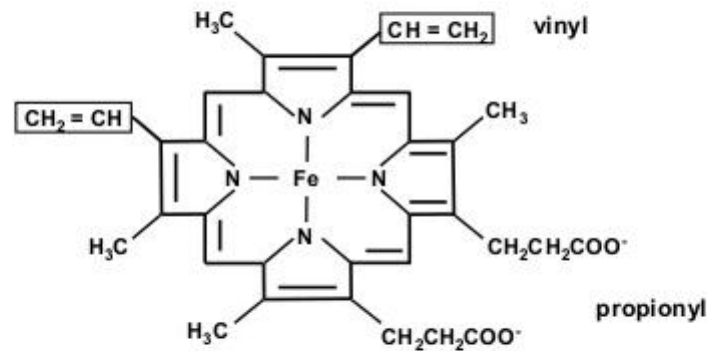
Ubiquinol
(UQH₂, QH₂)

Forme réduite

- Caractéristiques : – coenzyme mobile peut échanger des électrons avec des coenzymes monovalents

**Coenzyme héminique
Les cytochromes**

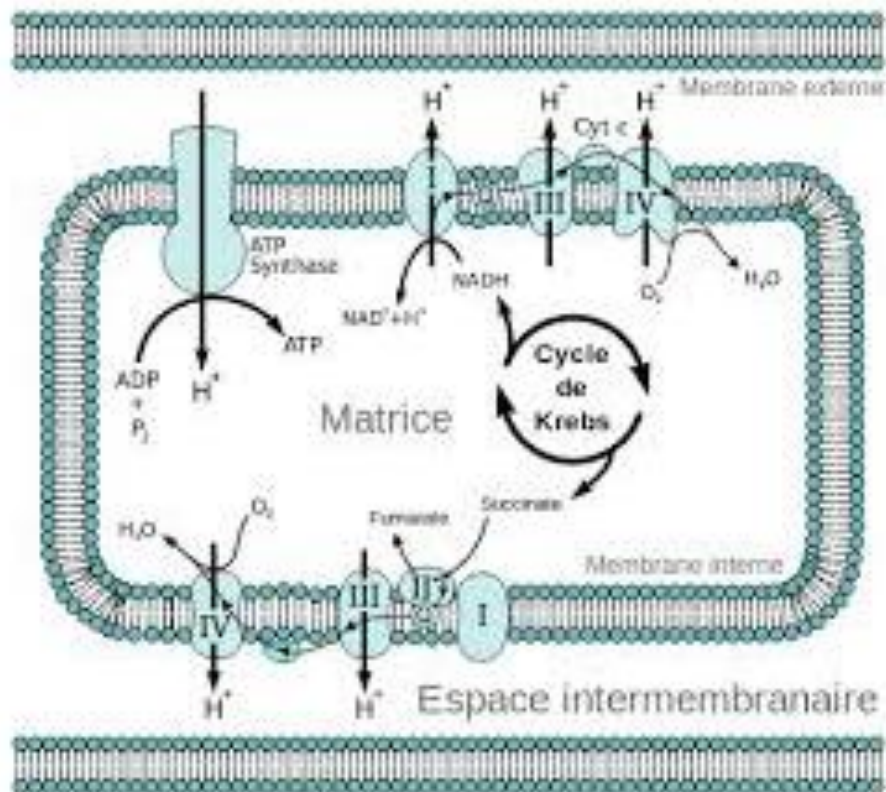
- Hème = Protoporphyrine IX + Fer
(hémoglobine, cytochrome b)
- Noyau tétrapyrrolique

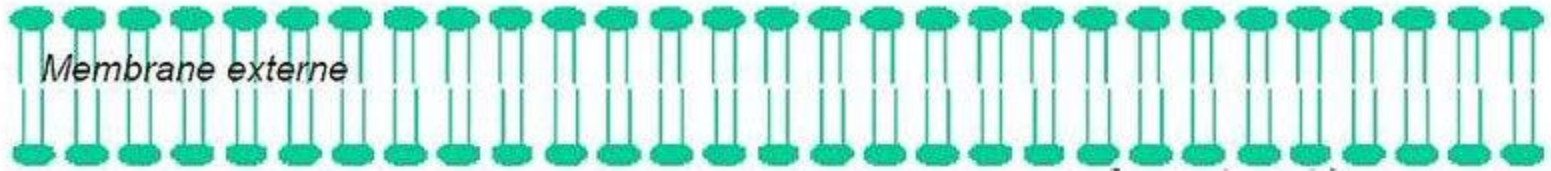


- Caractéristiques : – coenzymes d'oxydo-réduction monovalents
– transporteurs d'électrons

Chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative

La **chaîne respiratoire** correspond à une association de complexes protéiques présents au sein de la membrane interne de la mitochondrie et responsable, avec l'ATP synthétase, de la **phosphorylation oxydative**. Ce processus associe l'oxydation du NADH et du FADH_2 , tous deux produits lors des différentes voies cataboliques de l'organisme (glycolyse, cycle de Krebs, hélice de Lypen...), à la production d'ATP.





Espace intermembranaire

