

COURS DE BIOCHIMIE

Dr. LAHOUEL Z

zakia.lahouel@univ-usto.dz

6. Notions de
bioénergétique 6.1.
Types de réaction
chimique 6.2. La
chaîne respiratoire et la
production d'énergie
6.3. Phosphorylation et
réaction
d'oxydoréduction

Chapitre 6 : Notions de bioénergétique

I. Introduction Générale:

La bioénergétique est la science qui étudie les transformations et les échanges d'énergie dans les systèmes biologiques.

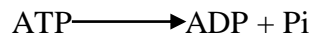
Toutes les cellules vivantes ont besoin d'énergie pour maintenir leurs fonctions vitales : synthèse des molécules, transport actif, mouvement, division cellulaire, etc.

Cette énergie provient des réactions chimiques métaboliques, principalement de l'oxydation des **nutriments** (glucides, lipides, protéines), dont le but est de produire de l'ATP (adénosine triphosphate), la molécule énergétique universelle.

Cette énergie peut être qualifiée de :

- ✚ **Chimique** : celle qui permet de réaliser une réaction chimique dans diverses voies métaboliques.
- ✚ **Mécanique** : celle qui permet de réaliser un mouvement au cours de la contraction musculaire.
- ✚ **Calorifique** : lorsqu'il y a production de chaleur.
- ✚ **Osmotique** : celle qui permet de réaliser des transferts de molécules grâce à un gradient de concentration dans les divers compartiments cellulaires.
- ✚ **Electrique** : celle qui permet de réaliser des transferts de molécules grâce à un gradient ionique géré par des potentiels membranaires.

Les énergies sont interchangeable, rien ne se crée et rien ne se perd. Exemple : **l'énergie chimique** libérée par l'hydrolyse de l'ATP se transforme en **énergie mécanique** (contraction musculaire) :



II. Types de réactions chimiques en biochimie

Les nutriments sont des substances organiques ou minérales directement utilisables par les cellules, sans nécessiter de transformation préalable. Les nutriments organiques proviennent des aliments après leur dégradation par les enzymes digestives.

Les métabolites, quant à eux, sont des molécules issues des réactions enzymatiques internes, servant à la production d'énergie ou à la synthèse d'autres composés chimiques essentiels.

Les réactions chimiques cellulaires impliquent des transferts d'énergie et de matière. Elles se classent selon leur rôle dans le métabolisme :

Comment sont dégradés ces nutriments :

A. Réactions cataboliques

- **Définition** : réactions de dégradation des molécules complexes (glucides, lipides, protéines) en molécules plus simples (CO_2 , H_2O , NH_3).
- **But** : libérer de l'énergie sous forme d'ATP ou de coenzymes réduits (NADH, FADH_2).
- **Exemples** :
 - Glycolyse
 - β -oxydation des acides gras
 - Cycle de Krebs

Énergie libérée = exergonique ($\Delta G < 0$)

Comment sont synthétisés ces nutriments :

B. Réactions anaboliques

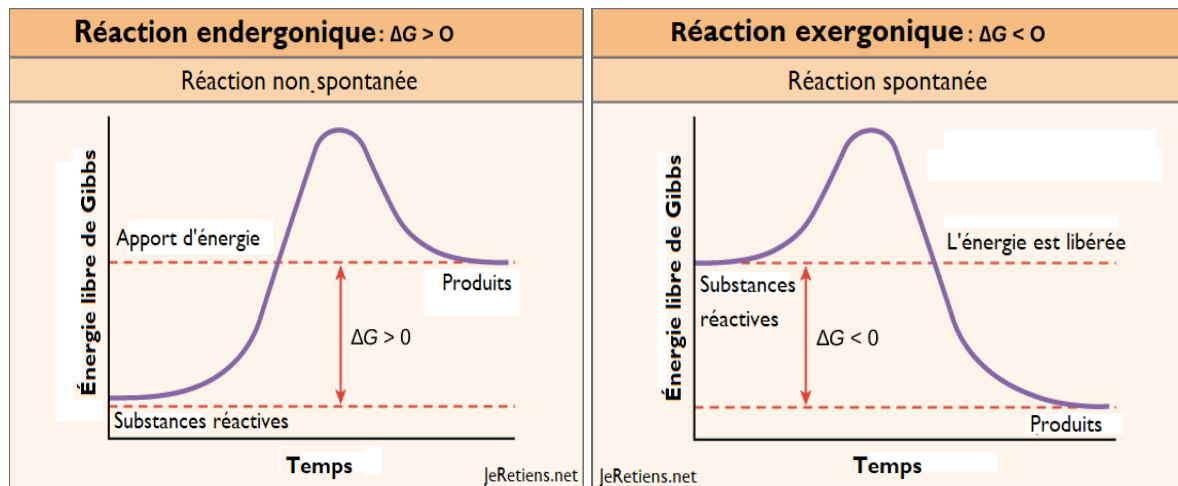
- **Définition** : réactions de synthèse de molécules complexes à partir de précurseurs simples.
- **But** : construire les constituants cellulaires (protéines, lipides, acides nucléiques).
- **Elles nécessitent de l'énergie**, souvent sous forme d'ATP ou de pouvoir réducteur (NADPH).

Énergie consommée = endergonique ($\Delta G > 0$)

Pour comprendre pourquoi certaines réactions se produisent spontanément dans la cellule et d'autres non, on introduit la notion d'**énergie libre de Gibbs**. Elle permet de prédire le **sens et la spontanéité** d'une réaction chimique, et donc de comprendre comment l'énergie circule dans le métabolisme.

L'**énergie libre de Gibbs (G)** correspond à la **partie de l'énergie totale d'un système** qui peut **effectuer un travail utile** à température et pression constantes (conditions biologiques).

La **variation d'énergie libre (ΔG)** indique si une réaction peut **se produire spontanément**



Type de réaction	Signe de ΔG	Signification	Exemple
Exergonique	$\Delta G < 0$	Libère de l'énergie → réaction spontanée	Hydrolyse de l'ATP
Endergonique	$\Delta G > 0$	Nécessite un apport d'énergie → non spontanée	Synthèse de protéines
Équilibre	$\Delta G = 0$	Aucune variation nette	Réaction réversible à l'équilibre

Donc, dans le métabolisme :

- les **réactions cataboliques** → **ΔG négatif** (elles libèrent de l'énergie)
- les **réactions anaboliques** → **ΔG positif** (elles consomment de l'énergie)

C. Réactions de couplage énergétique

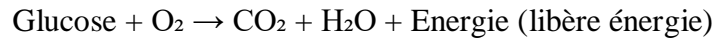
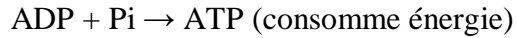
Le **métabolisme** regroupe **toutes les réactions chimiques** qui se déroulent dans une cellule vivante.

Il comprend deux grands volets :

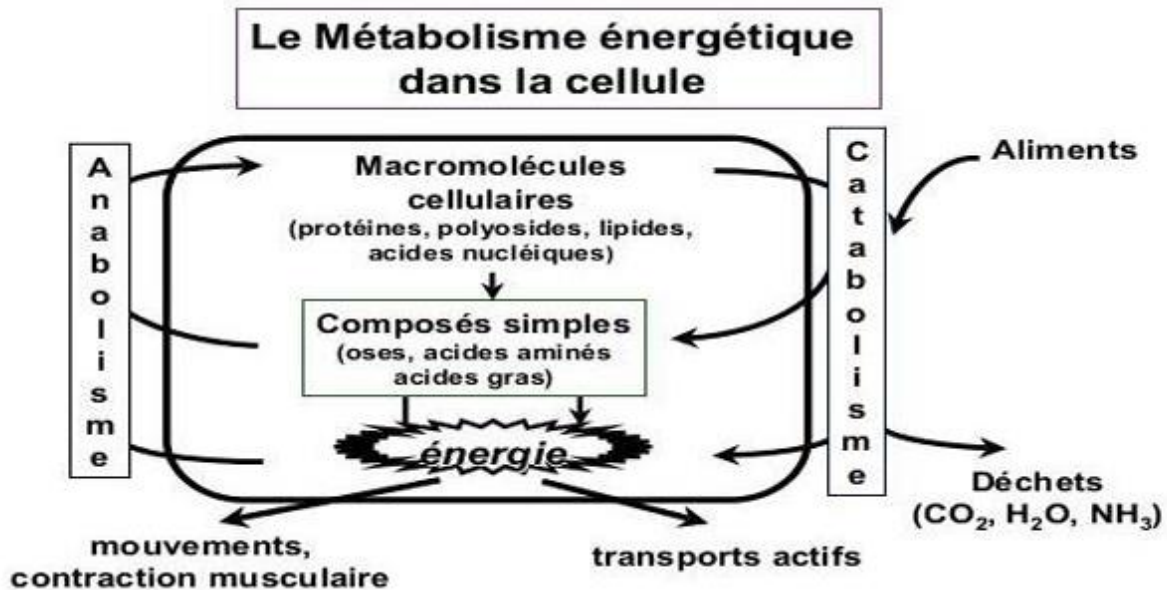
- **Catabolisme** → dégradation des molécules pour **libérer de l'énergie**.
- **Anabolisme** → synthèse de nouvelles molécules en **utilisant de l'énergie**.

Pour que les réactions endergoniques se produisent, elles doivent être **couplées à des réactions exergoniques**, par exemple :

- ☐ l'une **libère de l'énergie** (réaction exergonique),
- ☐ l'autre **en consomme** (réaction endergonique).



La cellule couple ces réactions via des intermédiaires comme l'**ATP**, le **NADH**, le **FADH₂**, etc.



D. Types spécifiques de réactions biochimiques

1. **Oxydoréduction** → transfert d'électrons (voir section 6.3)
2. **Phosphorylation / déphosphorylation**
3. **Hydrolyse**
4. **Condensation / décarboxylation / isomérisation**, etc.

III. La chaîne respiratoire et la production d'énergie

A. Localisation

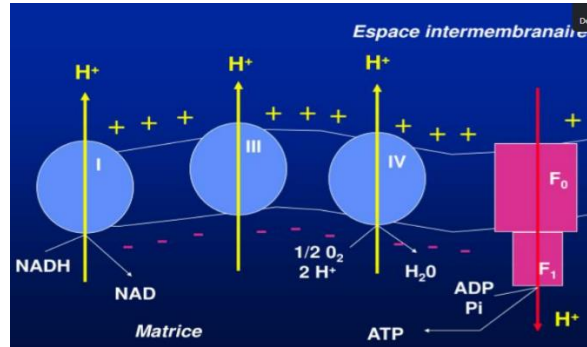
- Située dans la **membrane interne de la mitochondrie** chez les eucaryotes.
- Chez les bactéries, elle se trouve dans la **membrane plasmique**.

B. Rôle

La chaîne respiratoire (ou chaîne de transport d'électrons) permet :

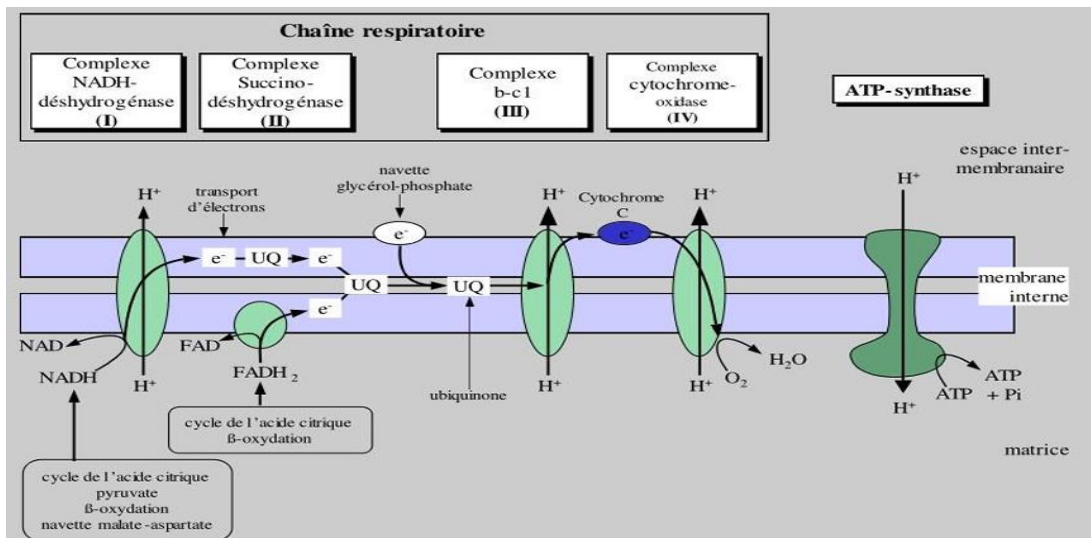
- le **transfert des électrons** issus du **NADH** et du **FADH₂** vers l'oxygène (O_2) ;

- la **production d'ATP** grâce au gradient de protons créé à travers la membrane mitochondriale interne.



C. Les complexes de la chaîne respiratoire

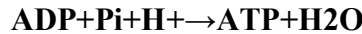
- Complexe I (NADH déshydrogénase)**
 - Transfère les électrons du NADH → Coenzyme Q (ubiquinone)
 - Pompe des protons (H⁺) dans l'espace intermembranaire
- Complexe II (Succinate déshydrogénase)**
 - Transfère les électrons du FADH₂ → Coenzyme Q
 - Ne pompe pas de protons
- Complexe III (Cytochrome bc₁)**
 - Transfère les électrons de CoQ → Cytochrome c
 - Pompe des protons
- Complexe IV (Cytochrome c oxydase)**
 - Transfère les électrons du cytochrome c → O₂
 - Formation de H₂O et pompage de H⁺



D. Gradient de protons et ATP synthase

- Le passage des électrons entraîne un **pompage de H^+** dans l'espace intermembranaire.
- Ce **gradient électrochimique** (différence de pH et de potentiel) représente une **énergie potentielle**.

Les protons retournent dans la matrice mitochondriale via le **Complexe V (ATP synthase)**, qui utilise cette énergie pour **phosphoryler l'ADP en ATP**.



C'est le principe de la **phosphorylation oxydative**.

E. Bilan énergétique global

- **Oxydation complète du glucose :**
 - Glycolyse : 2 ATP + 2 NADH
 - Cycle de Krebs : 2 ATP + 8 NADH + 2 FADH₂
 - Chaîne respiratoire : ≈ 34 ATP**Total : environ 36–38 ATP / molécule de glucose**

Phosphorylation et réactions d'oxydoréduction

A. Phosphorylation

Processus de **transfert d'un groupement phosphate (PO_4^{3-})** à une molécule.

Types :

1. **Phosphorylation au niveau du substrat**
 - Formation directe d'ATP à partir d'un substrat phosphorylé.
 - Exemple : dans la glycolyse
$$1,3\text{-bisphosphoglycérate} + ADP \rightarrow 3\text{-phosphoglycérate} + ATP$$
2. **Phosphorylation oxydative**
 - Formation d'ATP grâce à l'énergie libérée par la chaîne respiratoire.
 - Dépend du gradient de protons mitochondrial.
3. **Phosphorylation photosynthétique (dans les chloroplastes)**
 - Similaire mais dépend de la lumière (photophosphorylation).

B. Réactions d'oxydoréduction

1. Principe

Ce sont des réactions où il y a **transfert d'électrons** :

- **Oxydation** = perte d'électrons
- **Réduction** = gain d'électrons

Elles sont **toujours couplées** : quand une molécule est oxydée, une autre est réduite.

2. Coenzymes intervenants

Les transferts d'électrons se font grâce à des **coenzymes redox** :

Coenzyme	Forme oxydée	Forme réduite	Rôle
NAD ⁺	NAD ⁺	NADH + H ⁺	Transport d'électrons dans le catabolisme
FAD	FAD	FADH ₂	Transport d'électrons dans le cycle de Krebs
NADP ⁺	NADP ⁺	NADPH + H ⁺	Pouvoir réducteur pour l'anabolisme

C. Exemple de réaction d'oxydoréduction



- Le **lactate** est oxydé en **pyruvate**
- Le **NAD⁺** est réduit en **NADH**

D. Importance biologique

- Permet la **production d'énergie** sous forme d'ATP.
- Maintient les **équilibres redox** cellulaires.
- Essentielle pour les cycles métaboliques (Krebs, glycolyse, etc.).