

Bioénergétique

Le métabolisme bioénergétique a pour fonction de produire de l'énergie chimique sous forme d'ATP.

Les organites mis en jeu sont :

- **Les mitochondries** : présentes dans toutes les cellules eucaryotes, animales et végétales. Elles produisent de l'ATP en aérobie à partir du catabolisme oxydatif des glucides, des lipides ou des acides aminés.
 - **Métabolisme respiratoire.**
- **Les chloroplastes** : présents uniquement dans les cellules végétales. Ils convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique (ATP).
 - **Photochimie.**

I. Structure et fonctions des mitochondries

Les mitochondries sont de petits organites (environ 1 micromètre de longueur) essentiels dans les processus énergétiques cellulaires.

L'ensemble des réactions qui fournit de l'énergie au sein de la mitochondrie constitue la respiration cellulaire.

Les mitochondries sont formées d'une membrane externe, d'une membrane interne avec de nombreux replis ou crêtes et d'une matrice qui est l'espace entre les replis de la membrane interne.

Elles contiennent de nombreuses enzymes et possèdent leur propre A.D.N. (A.D.N.mitochondrial).

Elles peuvent se multiplier en fonction des besoins énergétiques de la cellule.

I.1. Mobilité des mitochondries

Les mitochondries sont immobiles dans certaines régions du cytosol où elles répondent à un besoin local en énergie.

- **Entérocyte :**

Il présente un besoin d'énergie pour le fonctionnement des transporteurs actifs localisés sur les microvillosités apicales et sur la lame basale.

- **Spermatozoïde :**

Il présente un besoin d'énergie pour le fonctionnement de l'appareil propulseur.

Dans d'autres cellules, les mitochondries peuvent être mobiles dans le cytosol. Cette mobilité s'observe notamment au cours de la mitose. Lors de la division cellulaire, 2 lots quasi identiques de mitochondries se disposent de chaque côté du faisceau mitotique = partage équitable du chondriome entre les 2 cellules filles.

I.2. Distribution intracellulaire des mitochondries :

La répartition des mitochondries dans le cytosol est le plus souvent uniforme. Certaines cellules spécialisées échappent à cette règle (Exemple : entérocyte et spermatozoïde).

I.3. Composition chimique et organisation de l'enveloppe mitochondriale

- **La membrane externe :**

Elle est riche en protéines intégrées (3500 par μm^2 > membrane plasmique). Cela permet une grande perméabilité car nombreuses de ces protéines sont des transporteurs de molécules entre le cytosol et la matrice :

- des porines (pore aqueux) : transport passif de petites molécules ($<10^3$ Da : pyruvate, acides gras, Pi, H^+ , etc.
- des complexes spécifiques de transfert des protéines dans les régions d'accolement des 2 membranes

L'espace intermembranaire est le lieu de transit obligatoire pour toutes les petites molécules ($<10^3$ Da) qui traversent la membrane via les porines.

- **Membrane interne :**

- Elle est constituée de Protéines : 70% et lipides : 30%.
- La présence d'un lipide, le cardiolipide, qui s'oppose au passage d'ions à travers la membrane crée une forte imperméabilité aux ions (notamment aux protons).
- Elle est 2 fois plus riche en protéines que la membrane externe.
- Des perméases (transport actif) et des canaux ioniques permettent le transport d'ATP, d'ADP, de pyruvate, d'acides gras, de Pi, Na, K, Ca, etc.
- 4 complexes métalloprotéiques (constitués entre autre de protéines Fe – S) coopèrent pour constituer la chaîne des transporteurs d'électrons.

- Les 4 complexes métallopoteiques :

- I : NADH déshydrogénase (= face matricielle de la membrane)
- II : Succinate déshydrogénase (= face matricielle de la membrane)
- III : cytochromes b – c1.
- IV : oxydase terminale = cytochrome C oxydase

Les complexes I et II catalysent l'oxydation dans la membrane du NADH et du succinate respectivement. Les électrons ainsi libérés sont transmis à la chaîne de transport d'électrons.

- La membrane interne contient également :

- des Ubiquinones, molécules lipophiles de petite taille et très mobiles. Elles jouent un rôle primordial au sein de la chaîne de transporteurs d'électrons ;
- de l'ATP synthase, responsables de la production d'ATP dans la matrice par phosphorylation oxydative. Ils se concentrent dans les crêtes. Leur fonctionnement est couplé au fonctionnement de la chaîne de transporteurs d'électrons.

• **Le métabolisme intramitochondrial (dans la matrice) :**

Les mitochondries sont la principale source d'énergie des cellules eucaryotes animales. Elles sont le site d'un catabolisme aérobie : l'oxydation des molécules (glucides, acides aminés, et lipides) en présence d'oxygène et conduisent à la production de CO₂, d'H₂O et d'énergie (ATP).



- **Métabolisme respiratoire :**

- Production d'acétylcoenzyme A ;
- Cycle de Krebs ;
- Transfert des électrons sur la chaîne des transporteurs ;
- Production d'ATP.

Les étapes 1 et 2 aboutissent à la production de pouvoir réducteur (molécules réductrices portant des électrons de haute énergie). Ces molécules se ré-oxydent en cédant les électrons à la chaîne des transporteurs de la membrane interne (étape 3). Ce transfert au sein de la membrane est à l'origine de la production d'ATP dans la matrice (étape 4).

✓ **Les étapes 1 et 2 dans les cellules animales:**

Selon les cellules, l'acétylcoenzyme A est produite dans la matrice mitochondriale à partir :

- de pyruvate. Cette conversion produit du gaz carbonique et du pouvoir réducteur sous forme de NADH.

- d'acides gras à courte chaîne carbonée. Cette conversion est une oxydation des acides gras en présence d'oxygène, dite β -oxydation des acides gras. Elle produit des pouvoirs réducteurs sous forme de NADH et FADH.

Le pyruvate et les acides gras proviennent du cytosol :

- Le pyruvate y est produit à partir de molécules simples telles que le glucose ou des acides aminés. La voie de conversion du glucose en pyruvate est appelée glycolyse et se caractérise notamment par un besoin important en énergie (ATP).
Le glucose et les acides aminés entrent dans la cellule par des transporteurs actifs ou par endocytose.
- Les acides gras à courte chaîne carbonée sont quant à eux produits dans les peroxysomes à partir d'acides gras à longue chaîne carbonée puis sont exportés.

Dans la matrice mitochondriale, l'acétylcoenzyme A entre dans un métabolisme oxydatif producteur de gaz carbonique et de pouvoir réducteur sous forme de NADH et de FADH. Ce métabolisme est appelé cycle de Krebs.

✓ **Etape 3 et 4 : la chaîne de transporteurs d'électrons et la production d'ATP :**
= Respiration cytochromique.

- Côté matrice : oxydation du pouvoir réducteur :
 - **Le complexe I** : NADH déshydrogénase catalyse l'oxydation du NADH matriciel.



- **Le complexe II** : Succinate déshydrogénase catalyse l'oxydation du FADH₂ matriciel.



- Ces électrons sont ainsi à l'origine d'une chaîne de réactions d'oxydoréduction au sein de la membrane interne, mettant en jeu successivement l'ubiquinone, le complexe III, le cytochrome C puis le complexe IV. En fin de chaîne, l'oxygène soluble dans la matrice est l'accepteur final des électrons.

- Au fonctionnement des complexes I, III et IV est associé un transfert de protons de la matrice vers l'espace intermembranaire. Ce transfert se fait contre le gradient préexistant de protons entre l'espace intermembranaire (pH acide) et la matrice (pH alcalin) et nécessite donc de l'énergie.
→ une partie de l'énergie des électrons est utilisée pour ces transferts actifs de protons.
- Ce transfert contribue ainsi à accroître le volume du gradient de protons entre l'espace intermembranaire et la matrice. Mais des protons retournent dans la matrice en empruntant le canal transmembranaire des ATP synthases. Celles-ci prélèvent alors une partie de l'énergie cinétique des protons, dite énergie de dissipation, pour catalyser la production d'ATP dans la matrice.
- Les complexes I, III et IV sont dits phosphorylants car leur fonctionnement contribue à l'établissement d'un gradient de H^+ .
- L'ATP est ensuite transféré dans le cytosol pour servir au métabolisme cellulaire général.
- Le CO_2 et le H_2O produits par la respiration quittent les mitochondries en traversant passivement les 2 membranes mitochondriales.

II. Ultrastructure et fonction des chloroplastes :

Ils produisent de la chlorophylle, pigment à l'origine de la photosynthèse. Ce pigment confine ainsi la couleur verte à de nombreux végétaux, allant des algues du phytoplancton aux plantes vertes terrestres (feuilles, tiges et fruits immatures).

Les chloroplastes des plantes ont une forme ovoïde et une dimension de l'ordre de 3 – 4 μm de diamètre pour 2 – 3 μm d'épaisseur.

✓ Constante ultrastructurale :

- Délimitation par une double membrane = enveloppe chloroplastique
- La substance fondamentale est appelée stroma : pH alcalin, riche en protéines, en sucres, en acides aminés (rôle majeur dans la nutrition azotée), en ions Mg^{2+} (pour la chlorophylle) et en P_i .

✓ Propriétés des membranes chloroplastiques :

- Délimitation d'un espace intermembranaire d'épaisseur constante : pas d'accolement membranaire.
- Les membranes interne et externe ont peu de protéines ; leur équipement pigmentaire est également des plus réduits (présence de caroténoïdes mais pas de chlorophylles).
- La membrane externe est très perméable aux petites molécules par le biais de porines définissant de larges pores aqueux.

- La membrane interne, au contraire, est la barrière de perméabilité du chloroplaste. Elle régule ainsi les échanges entre le cytosol et le stroma par le biais de transporteurs et de pompes ioniques (H^+ , etc) consommateurs d'énergie (ATP).

- **Les membranes thylakoïdales :**

Ce sont des complexes riches en protéines :

- des transporteurs d'électrons,
- des ATP synthases
- et des complexes supra moléculaires protéo-pigmentaires, appelés photosystème.

Photosystème = association protéique d'acides (chlorophylle et caroténoïde).

✓ **La fonction majeure du chloroplaste : la photosynthèse :**

- **Réaction bilan de la photosynthèse :**

Respiration (\Rightarrow) = catabolisme aérobie

Photosynthèse (\Leftarrow) = anabolisme



- 2 types de photosystèmes co-existent sur la membrane des thylakoïdes, les photosystèmes I et II. Ils absorbent les photons et convertissent leur énergie en énergie chimique (photochimie).
- L'oxydation de l'eau libère $2 e^-$ au sein de la membrane et contribue à un flux d'électrons des PS II vers les PS I. Ces électrons sont utilisés ensuite pour la réduction de $NADP^+$ en NADPH : production de pouvoir réducteur.
- Ce transfert d'électrons s'accompagne d'un flux de protons à travers la membrane thylakoïdale qui est à l'origine de synthèse de l'ATP.