

Département des Troncs Communs Sciences de la Nature
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Biologie cellulaire

Cours 15 : Mitochondries

Année universitaire 2015/2016

Historique

Altman (1890) : découvre dans les cellules des granules très semblables en dimensions et aspects à des bactéries. Il leur donne le nom de bioplastes

Bensley (1932) : isole les mitochondries à partir du foie de cobaye

Palade & Sjostrand (1952 - 1953) : décrivent l'organisation générale des mitochondries

Schatz / Nass (1964 - 1965) : mettent en évidence l'ADN mitochondrial

Liu et al. (1996) : décrivent le rôle des mitochondries dans l'apoptose

Caractéristiques

Organite cytoplasmique à **double membrane**

Se trouve uniquement chez les **eucaryotes**

Caractérise tous les types cellulaires, **sauf les globules rouges**

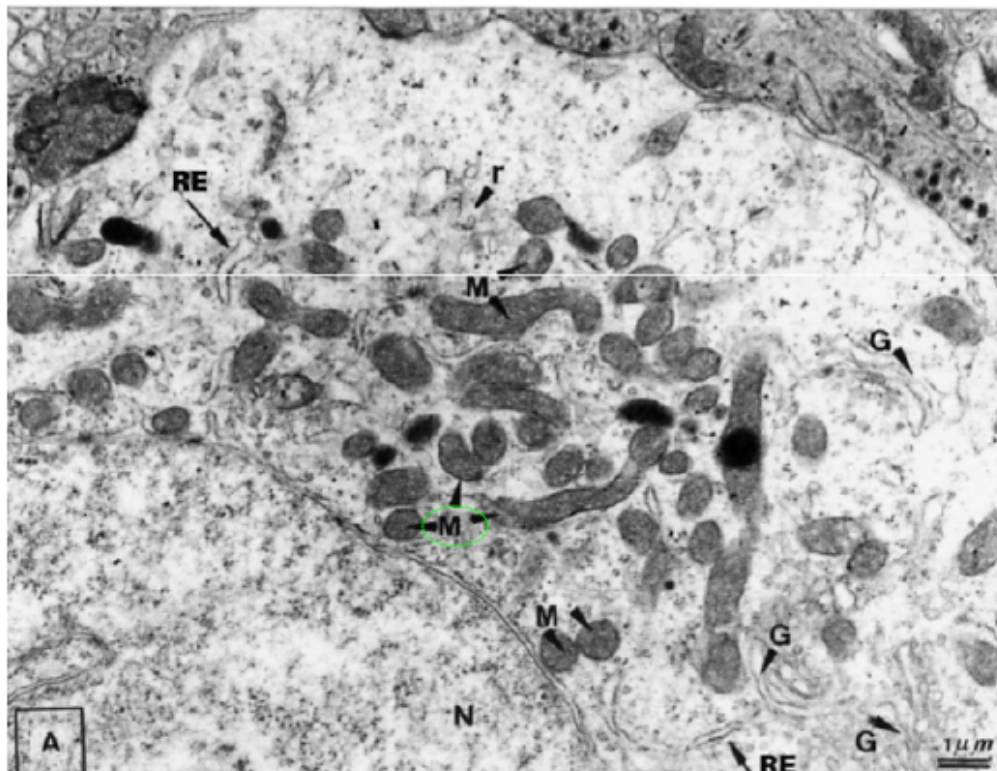
Chaque cellule contient **1000 à 3000 mitochondries selon les types cellulaires**

Source de la production **énergétique** de la cellule

Possède son propre **génom**

Se **déplace** grâce aux interactions avec le cytosquelette

Aspect morphologique en microscopie optique



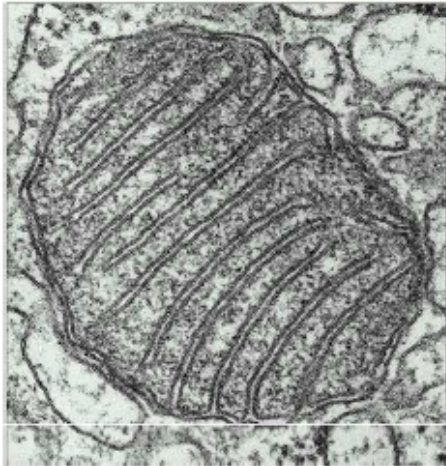
Forme **variable**

- Globulaire = Grec *chondros*
- Filamenteux = Grec *mitos*
d'où le terme *mitochondrie*

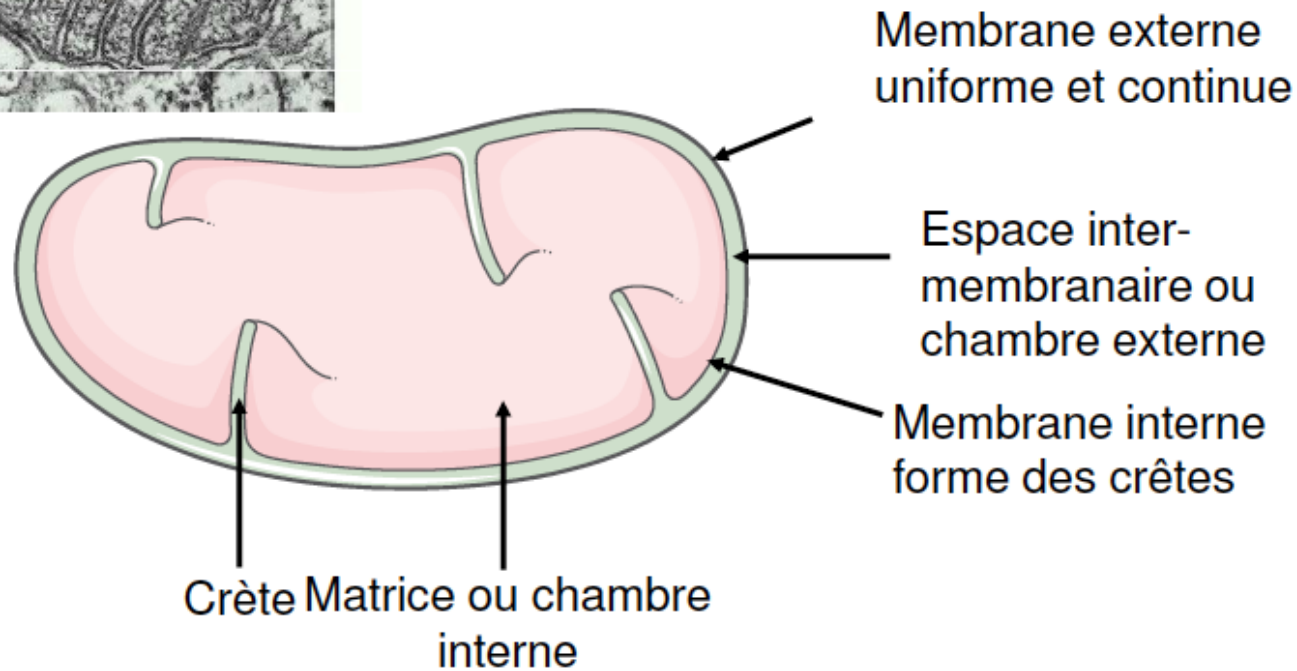
Taille et forme
varient en fonction
du type cellulaire

Cliché de JC
Beauvillain, Inserm
U422, Lille

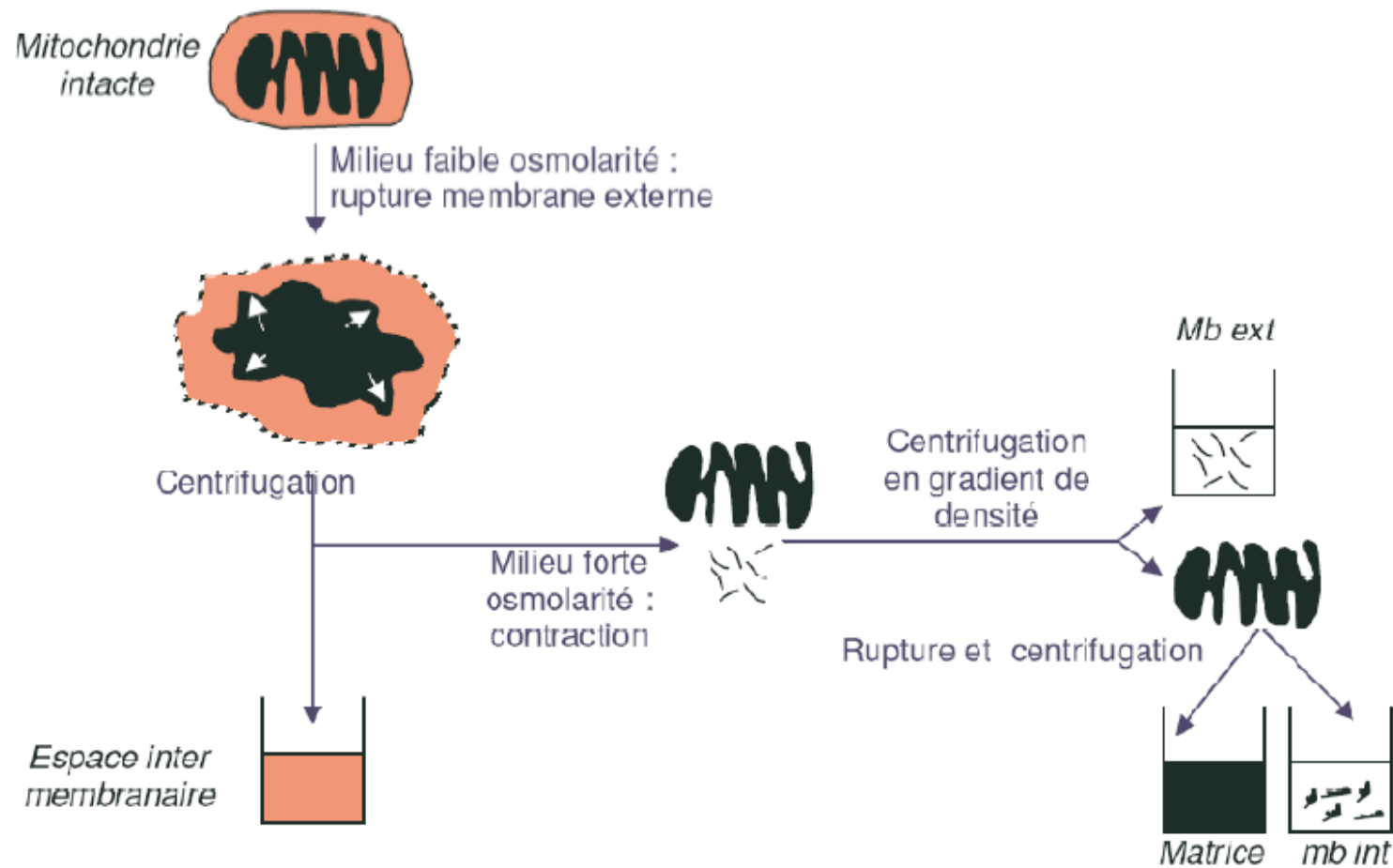
Structure en microscopie électronique



De façon très schématique ...

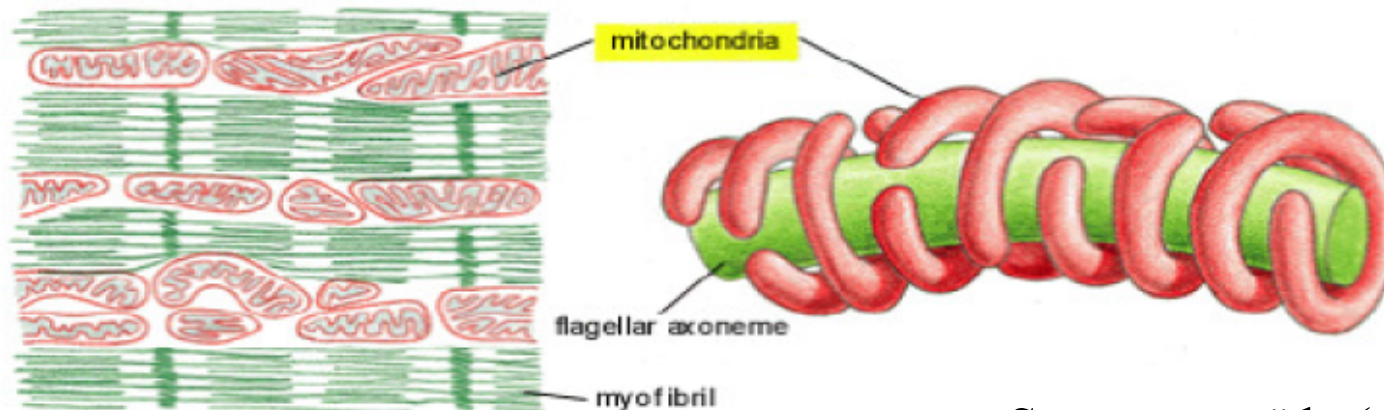


Fractionnement des mitochondries



Localisation

- o Différente en fonction du type cellulaire
- o Correspond aux zones de haute consommation énergétique



Muscle cardiaque

Spermatozoïde (queue)

Membrane externe

C'est une **bicouche lipidique** de 5 à 7 nm d'épaisseur

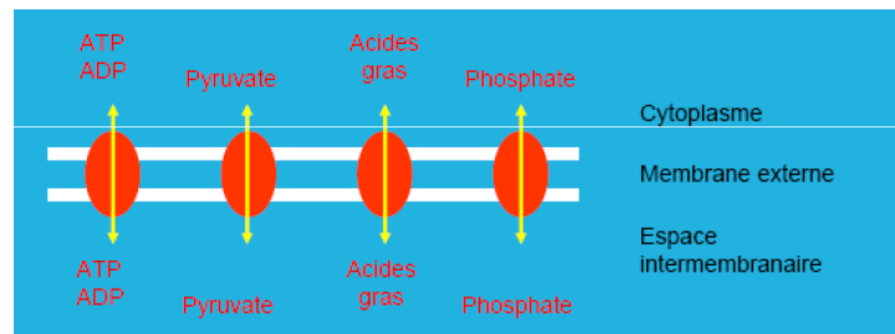
Composition proche de celle de la membrane plasmique

Contient des **protéines (50 à 60%)** et des **lipides (50 à 40%)**

Riche en **porines** : pores volumineux d'un diamètre de 2 à 3 nm

Perméable aux ions et molécules de masse moléculaire inférieure à 10 KDa

Passage **passif** des petites molécules par la porine de la membrane **externe**



Membrane interne

C'est une **bicouche lipidique** de 5 à 6 nm d'épaisseur

Organisation **différente** de celle de la membrane externe (80% de protéines et 20% de lipides)

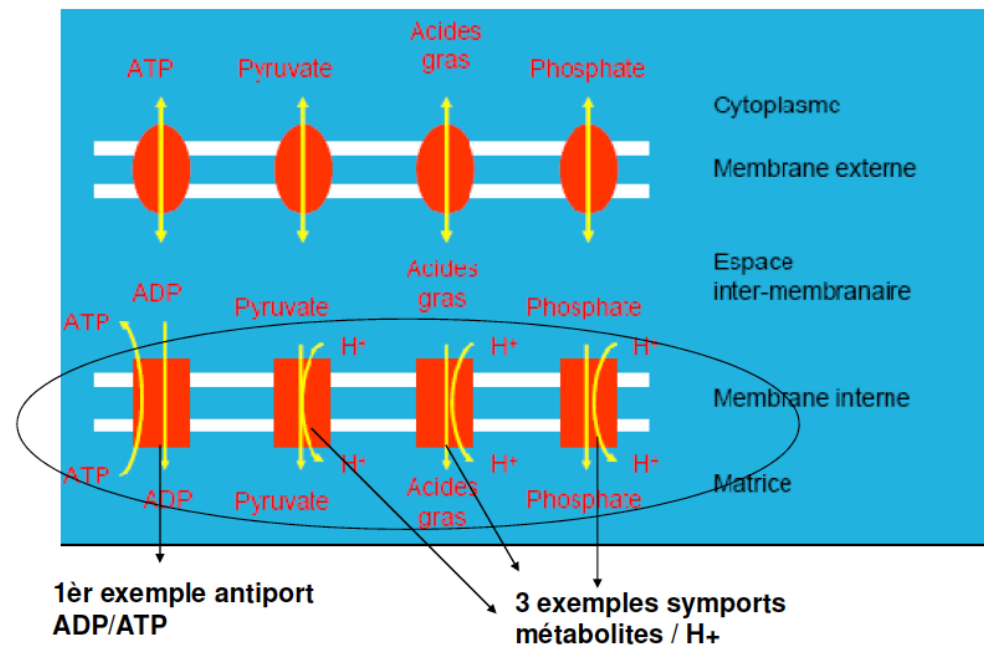
Riche en **diphosphatidylglycérol** (cardiolipine)

Présente des replis complexes appelés **crêtes mitochondriales** projetés dans la **matrice**

Riche en **transporteurs et complexes protéiques enzymatiques**

Faible fluidité (**passage actif**)

Passage **actif** des petites molécules à travers la membrane **interne**



Espace inter membranaire

C'est un **espace dense** d'une épaisseur de 4 à 7 nm

Il contient :

Des **protons H^+** : rôle dans la **phosphorylation**

Des molécules de **cytochrome c** : rôle dans l'**apoptose**

Des molécules de masse **inférieure à 10 KDa**

Matrice mitochondriale

Finement granuleuse (granulations denses et irrégulières)

Elle contient :

Des **mitoribosomes** qui ressemblent aux ribosomes bactériens

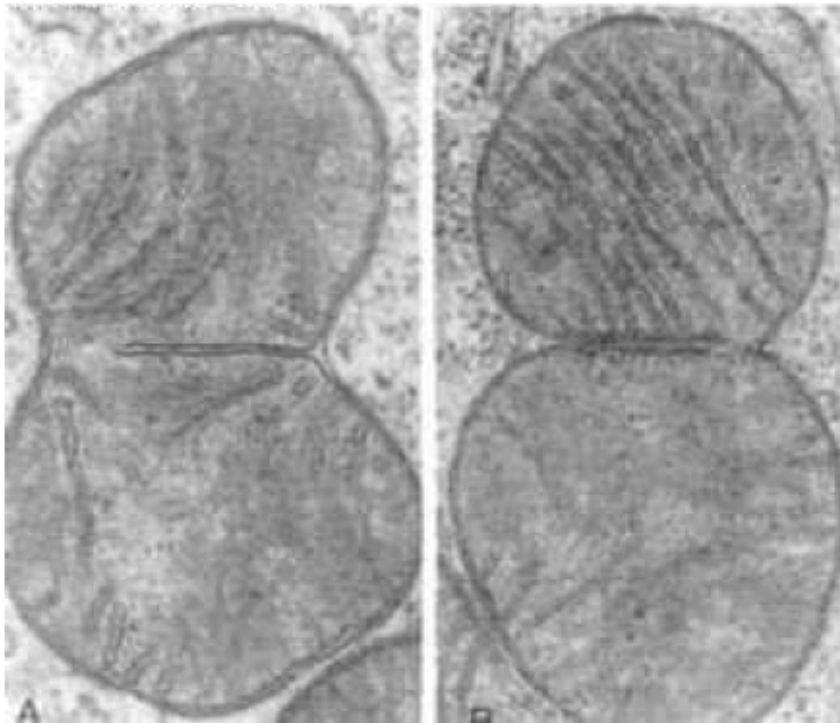
Un **ADN circulaire** (ADNmt = ADN mitochondrial)

De l'**ARN messenger** et de l'**ARN de transfert**

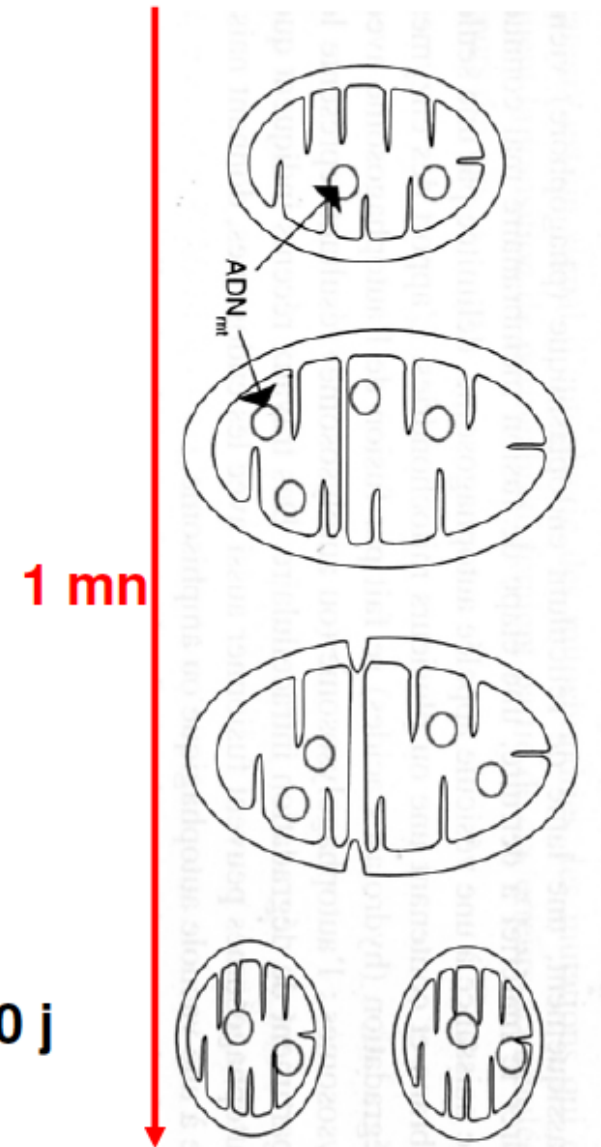
De nombreux **systèmes enzymatiques** :

- Les enzymes établissant une **oxydation du pyruvate**
- Les enzymes de la **β -oxydation des acides gras**
- Les enzymes appartenant au **cycle de Krebs**

LA DIVISION MITOCHONDRIALE



$\frac{1}{2}$ vie d'une mitochondrie = 6 à 10 j



Rôle principal des mitochondries

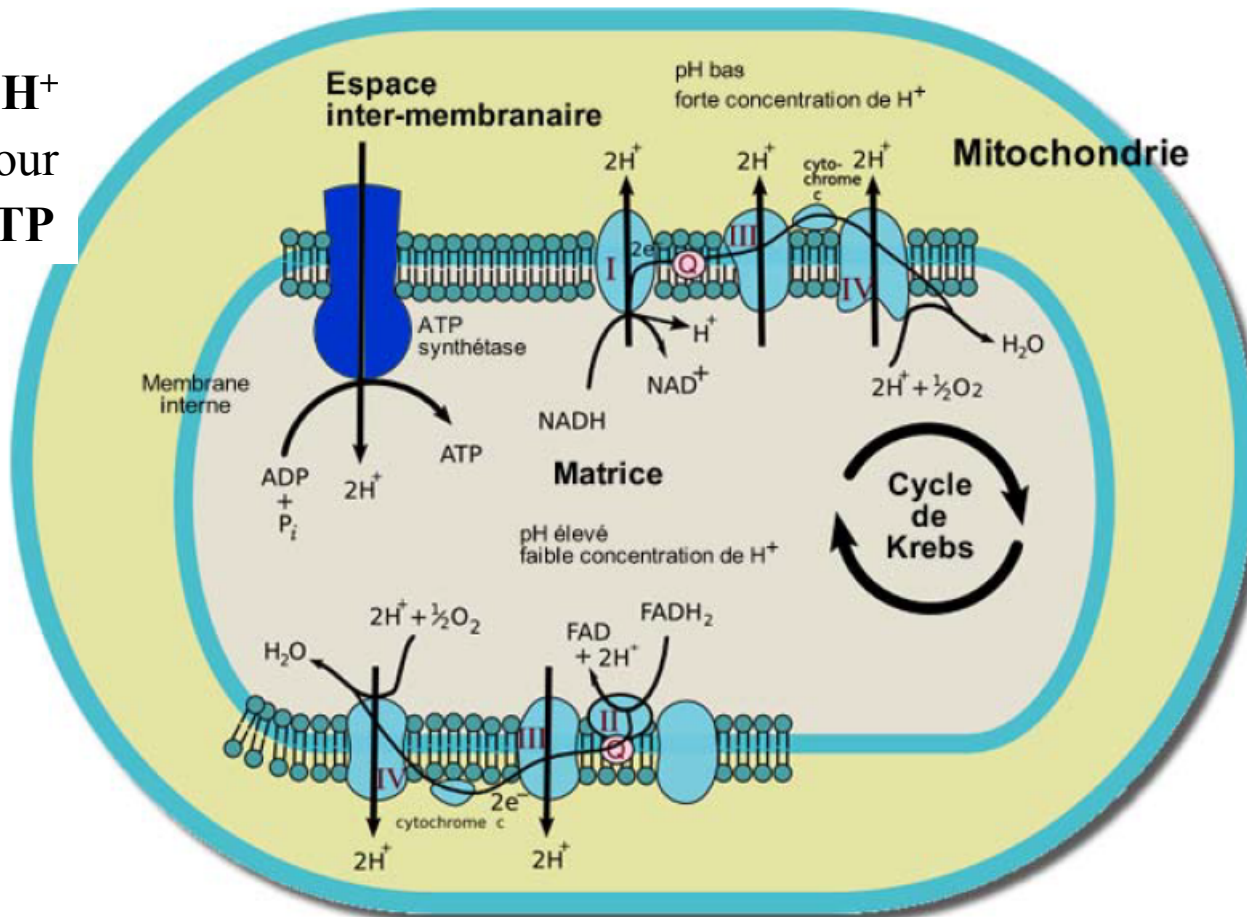
Phosphorylation oxydative

Chaîne respiratoire / ensemble de 5 complexes protéiques dans la membrane interne

Des e^- capturés à partir de molécules donneuses (**NADH** et **FADH₂**) circulent à travers ces **complexes** (réactions d'**oxydo-réduction**) et génèrent de l'énergie (**force électro-motrice**)

L'énergie générée permet d'activer des **pompes à H⁺** qui vont générer un gradient de H⁺ (**force proton-motrice**)

Ce gradient H⁺ est utilisé pour produire l'ATP

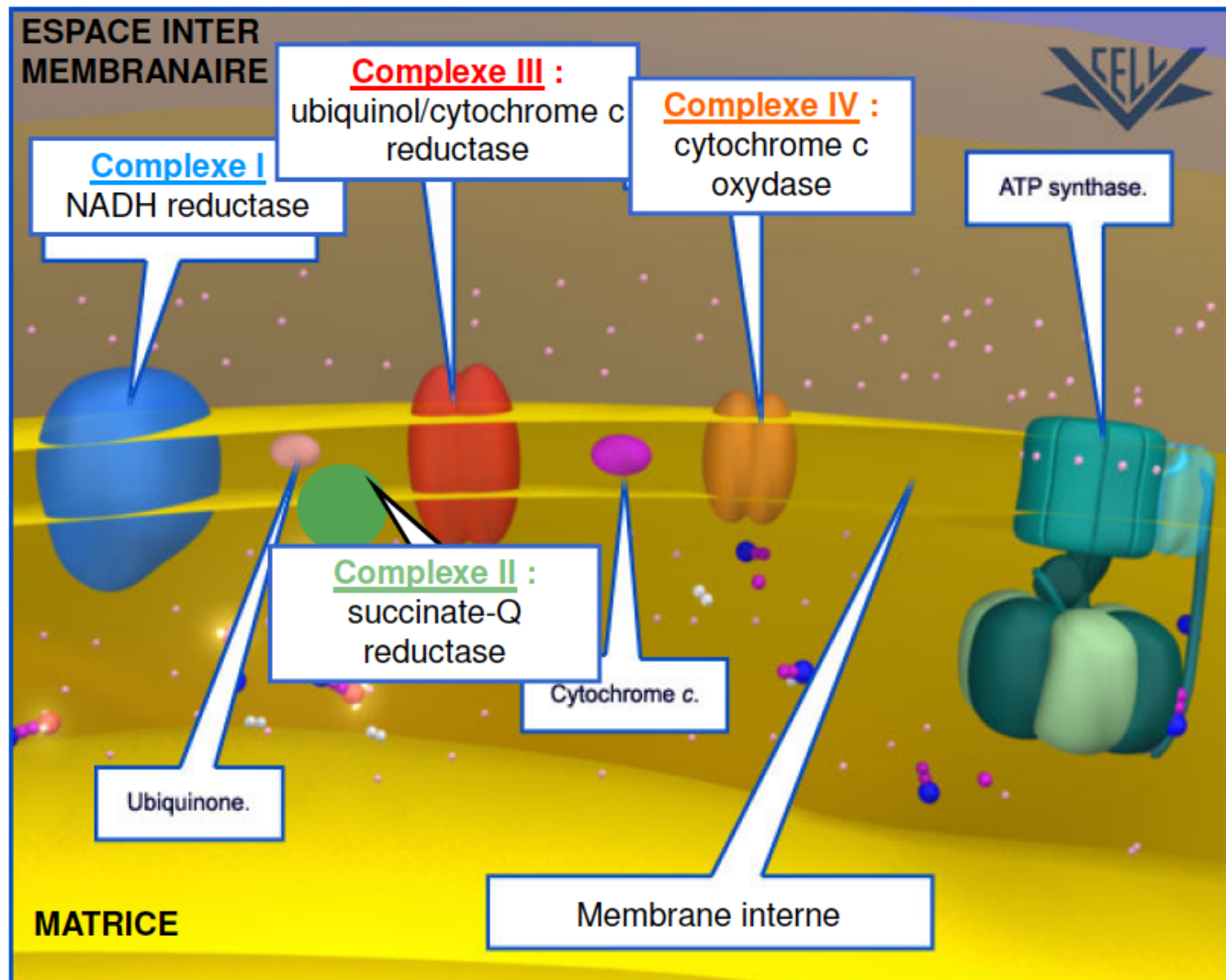


Ce processus est associé à la **consommation d'O₂** et à la **production d'H₂O**

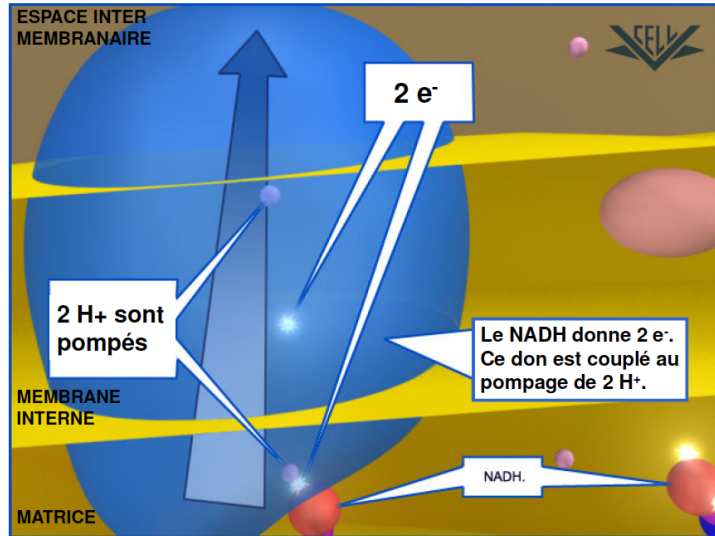
Rôle principal des mitochondries

Phosphorylation oxydative

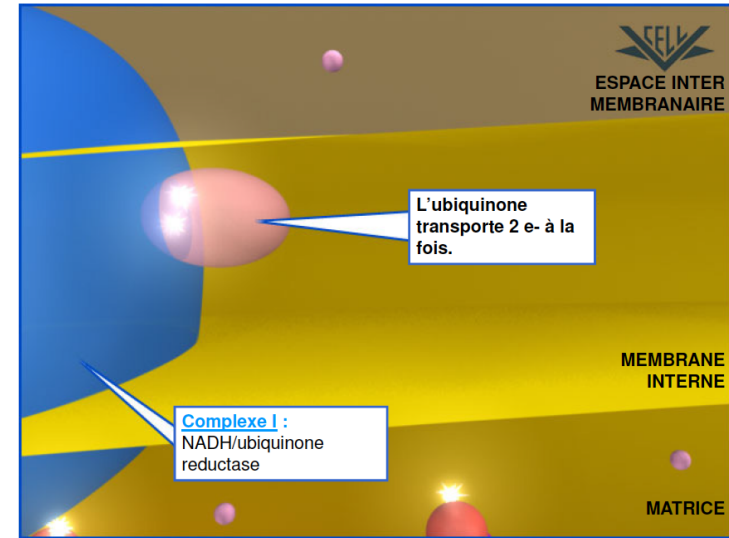
Chaîne respiratoire / 5 complexes protéiques dans la membrane interne de la mitochondrie



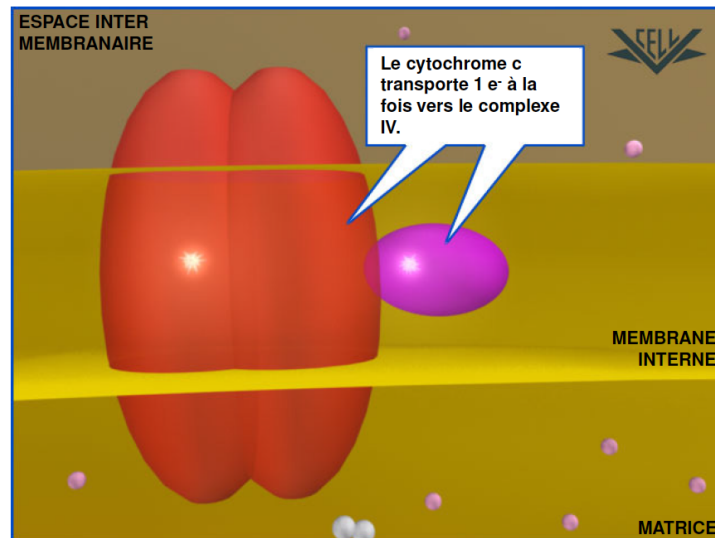
Complexe I



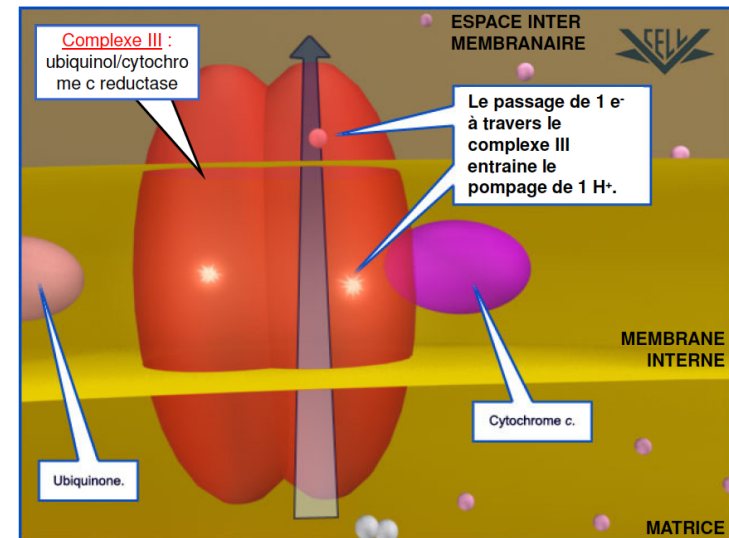
Ubiquinone



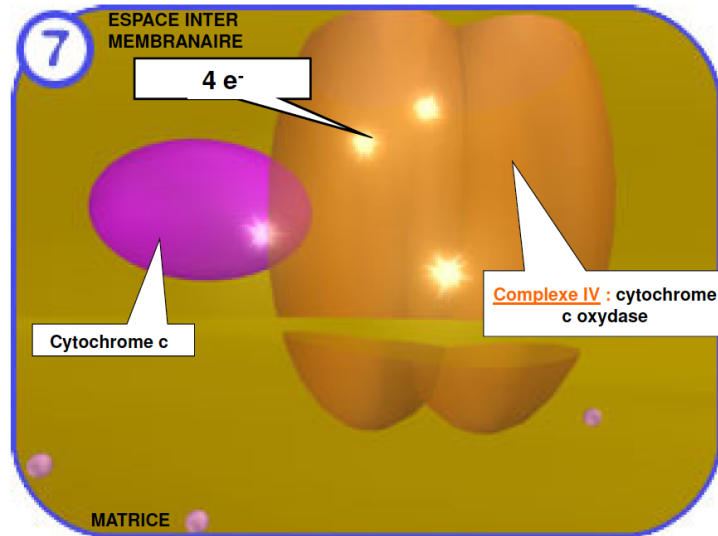
Cytochrome c



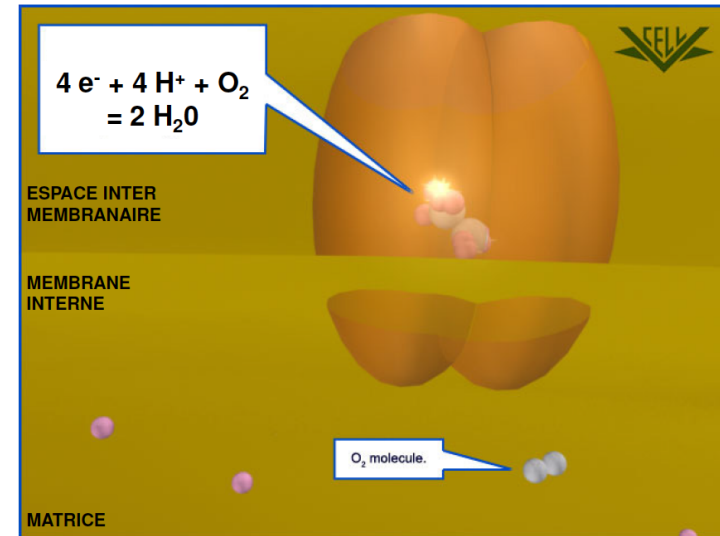
Complexe III



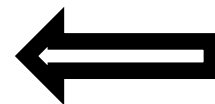
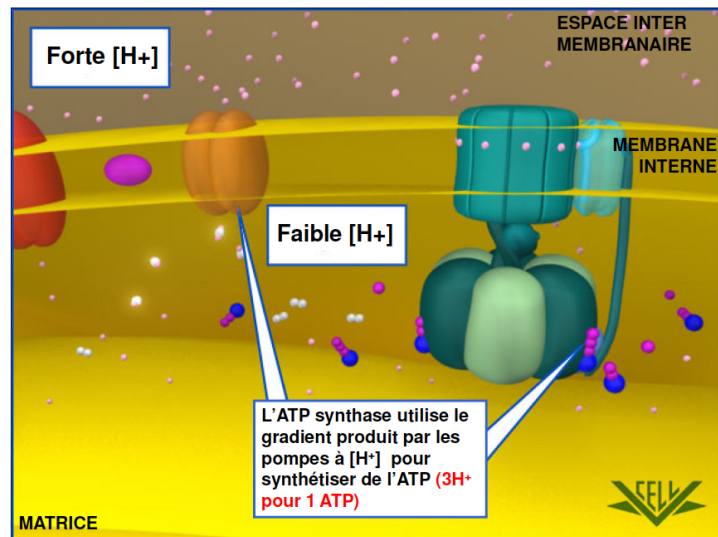
Cytochrome c / Complexe IV



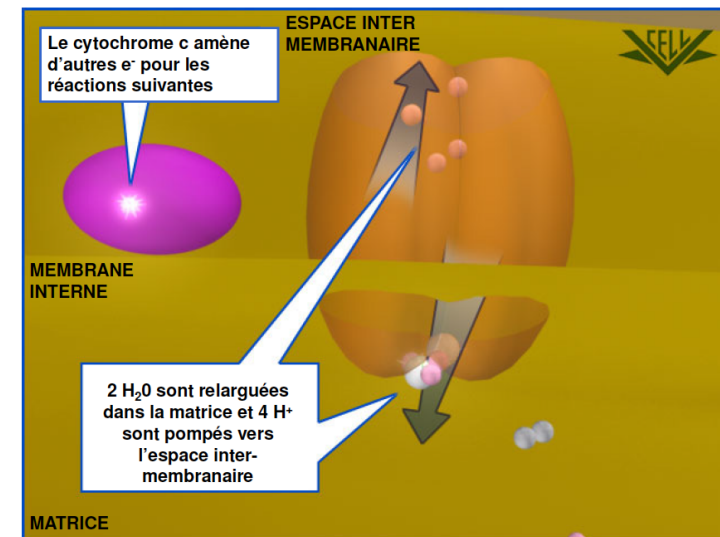
Complexe IV



ATP synthase



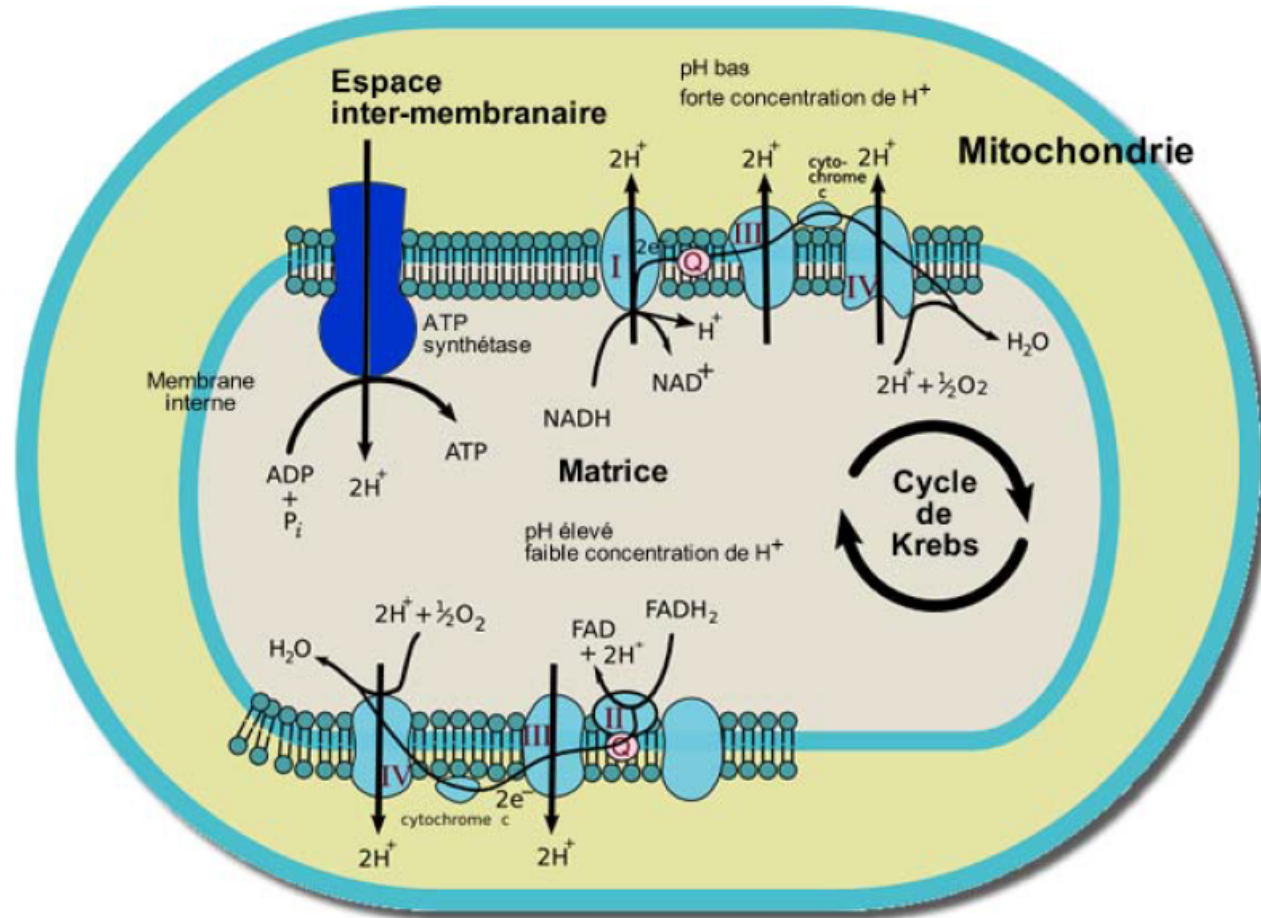
Complexe IV



Rôle principal des mitochondries

Phosphorylation oxydative

Complexe II / molécule donneuse d'électrons : **FADH₂**

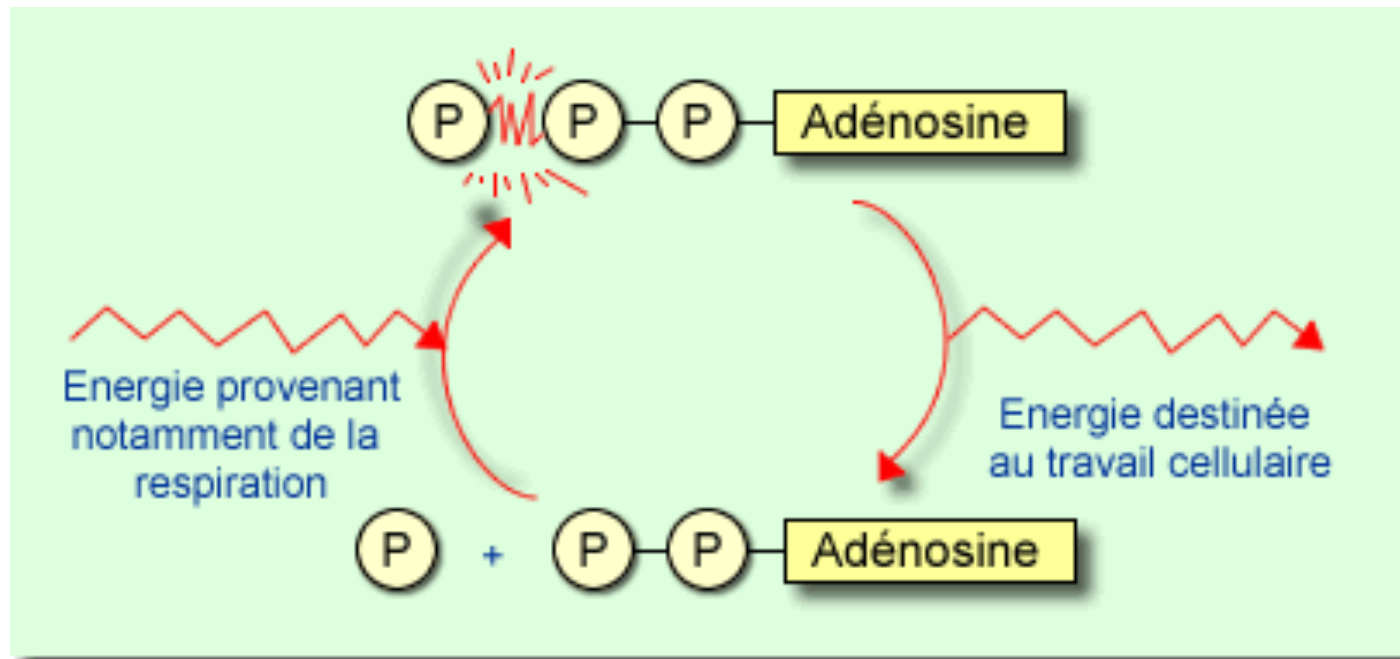
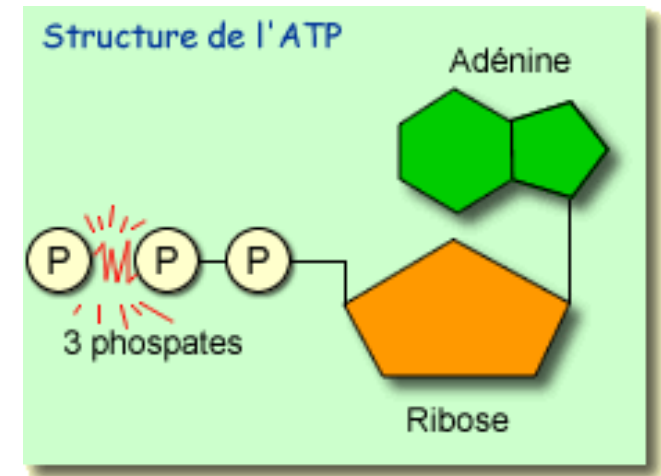


Rôle principal des mitochondries

Phosphorylation oxydative

La **phosphorylation oxydative** (chaîne respiratoire mitochondriale) permet une production de l'**ATP** depuis l'**ADP**

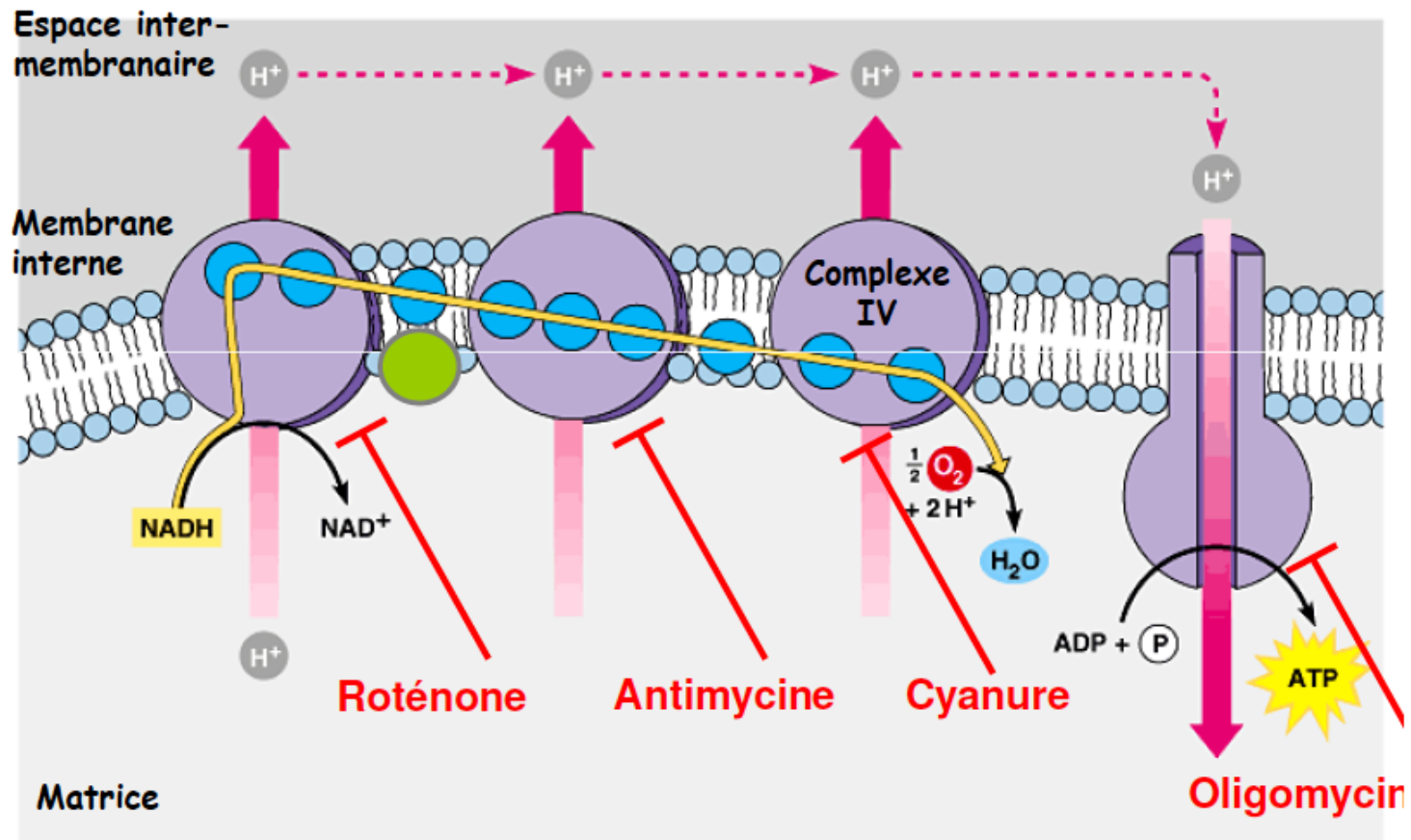
L'**ATP** est une molécule constituée d'**adénine** liée à un **ribose** qui, lui, est attaché à une chaîne de **3 groupements phosphates**



Cycle de l'ATP

Inhibiteurs de la chaîne respiratoire mitochondriale

Les inhibiteurs

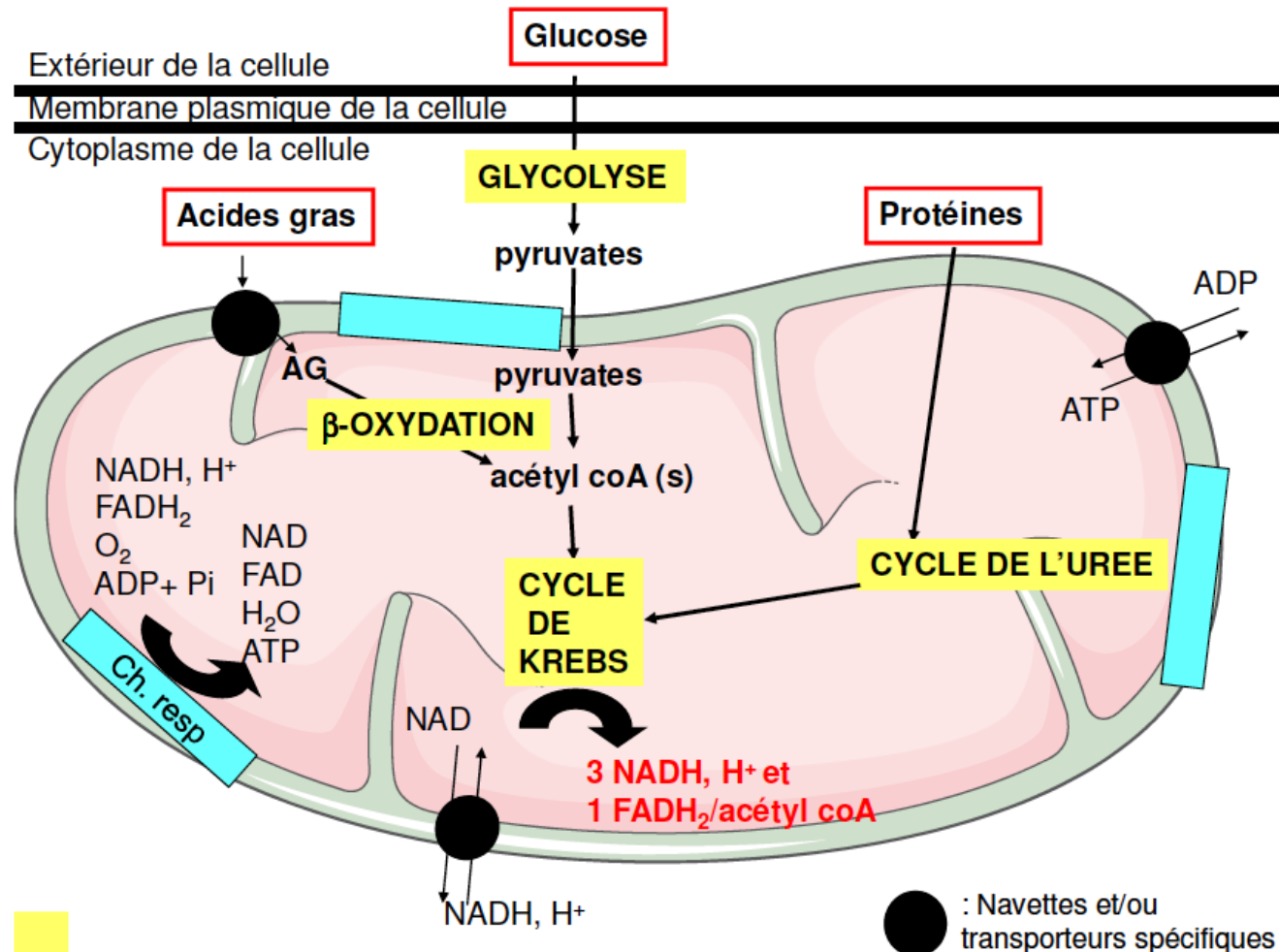


Origine des substrats

NADH et FADH₂

Question : D'où proviennent les substrats NADH et FADH₂ ?

Réponse : Du métabolisme cellulaire : glycolyse, β-oxydation des acides gras et cycle de Krebs



Glycolyse

+

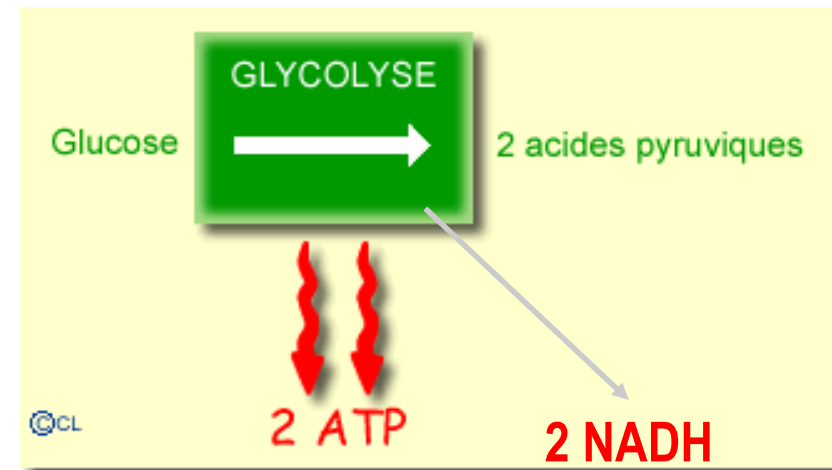
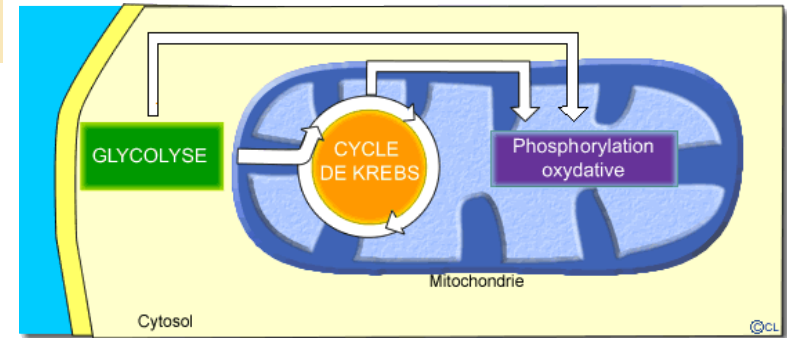
Réaction de transition

La **glycolyse** se déroule dans le **cytoplasme** et comprend une série de **10 étapes**, chacune est catalysée par une **enzyme spécifique**.

La **glycolyse** est une **oxydation ménagée** d'1 molécule de **glucose (C6)** en **2 molécules de pyruvate (C3)**.

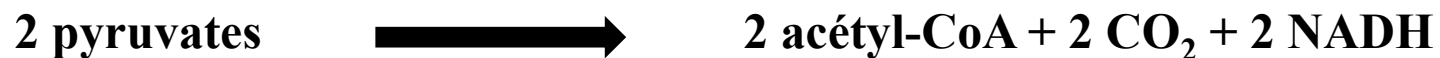
Les **produits nets** de la **glycolyse** :

- 2 pyruvates
- 2 ATP
- 2 NADH



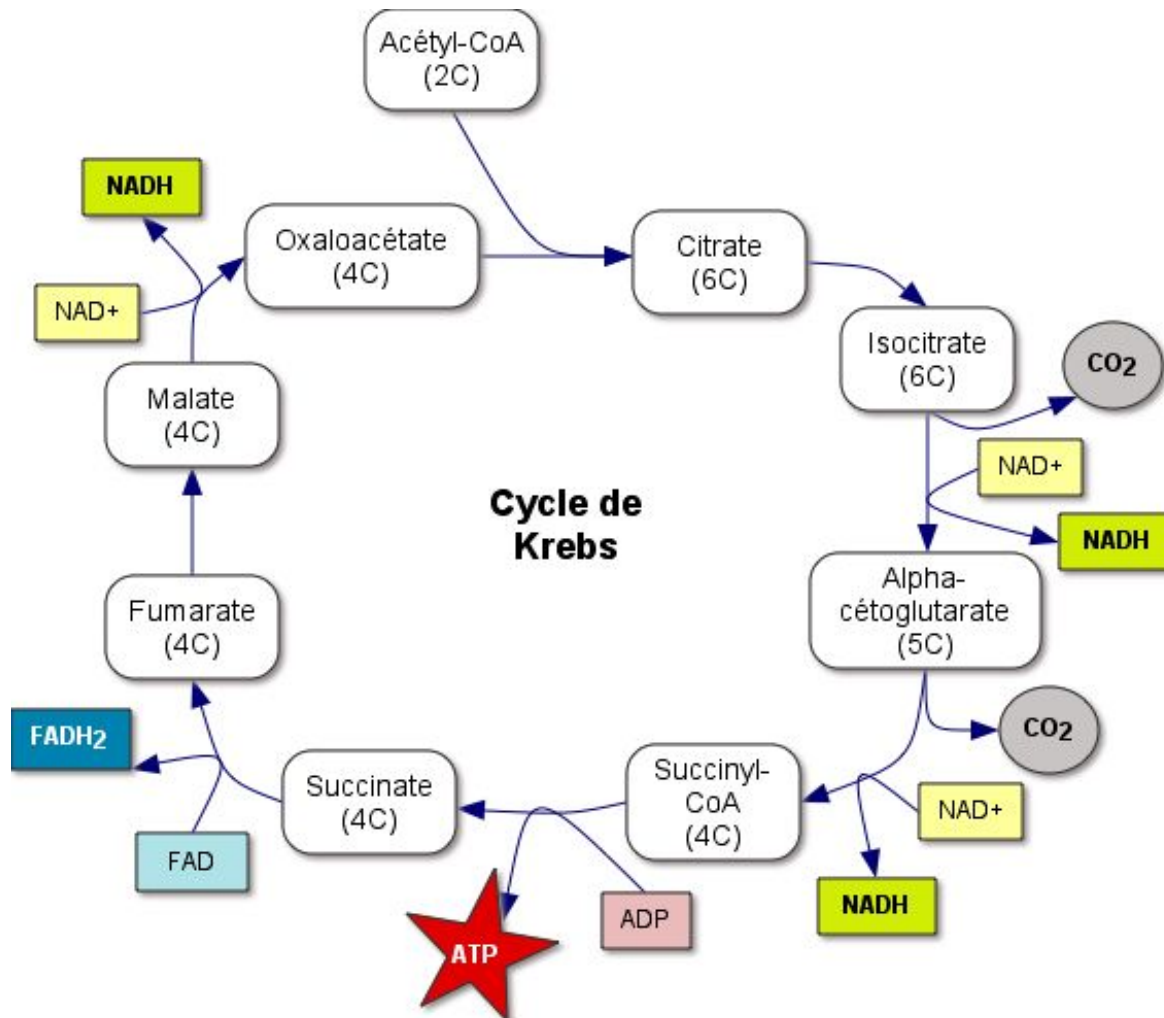
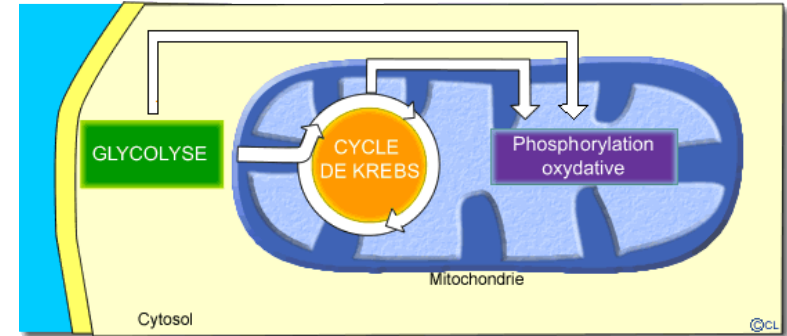
Réaction de transition

Les **2 pyruvates** sont transportés au niveau de la **matrice mitochondriale** et **convertis** en **2 acétyl-CoA (C2)**.



Cycle de Krebs

Au niveau de la **mitochondrie**, les **acétyl-CoA** rentrent dans une **série de réactions** : **cycle de Krebs**



Le **cycle de Krebs** permet de libérer pour les **2 molécules d'acétyl-CoA** :

- 2 ATP
- 4 CO₂
- 6 NADH
- 2 FADH₂

Bilan énergétique net en ATP

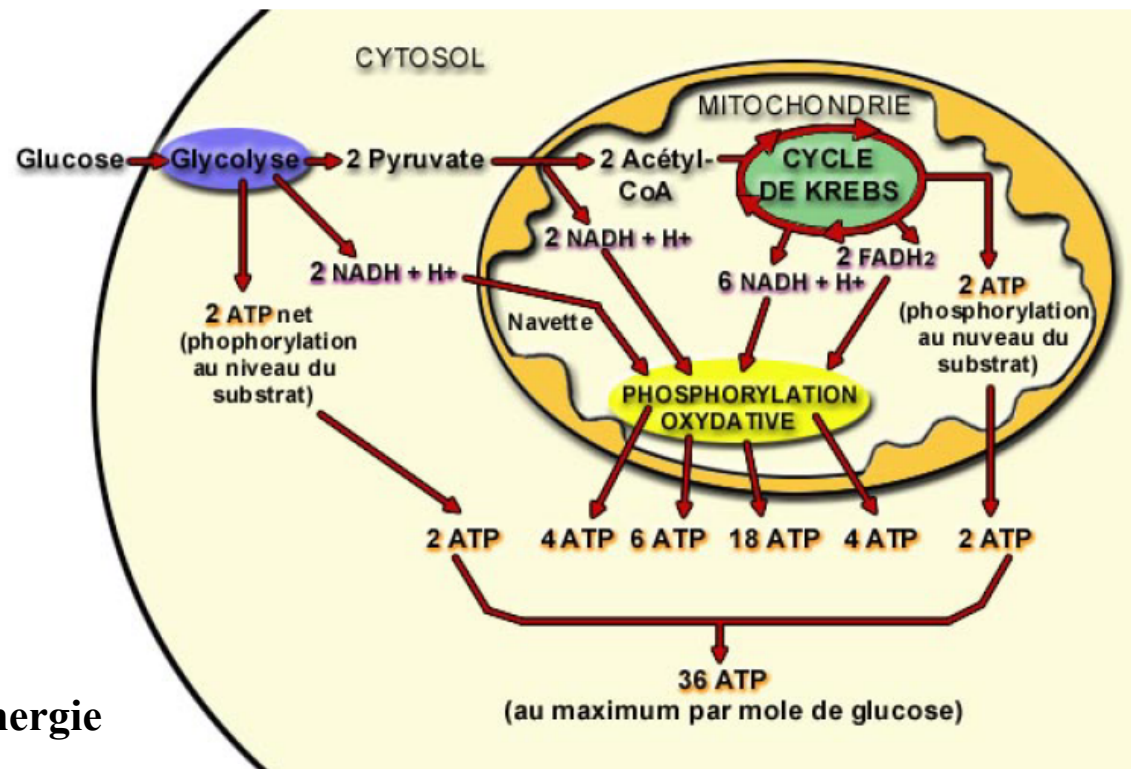
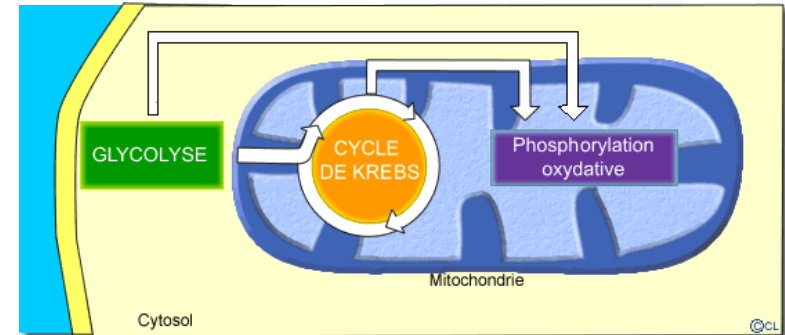
=

36 ATP / mole de glucose

La glycolyse = 2 ATP

Le cycle de Krebs = 2 ATP

La phosphorylation oxydative = 32 ATP



NADH = 10

FADH₂ = 2

CO₂ = 6

1 ATP = 50 Kj d'énergie

Δ_G du glucose = 2871 Kj / mol

Efficacité de la respiration cellulaire dans sa conversion énergétique = $(50 \times 36 / 2871) \times 100 = 63 \%$

Autres rôles des mitochondries

Fonctions de synthèse

Participent, avec le RE à la **biosynthèse des hormones stéroïdiennes** à partir du cholestérol grâce à des **cytochromes P450 mitochondriaux**.

Assurent aussi la **production des précurseurs des acides aminés** non essentiels

Homéostasie calcique

Les mitochondries, avec le RE sont le **principal réservoir de calcium**. **Régulation de la concentration intracellulaire de calcium** (mécanismes mal connus).

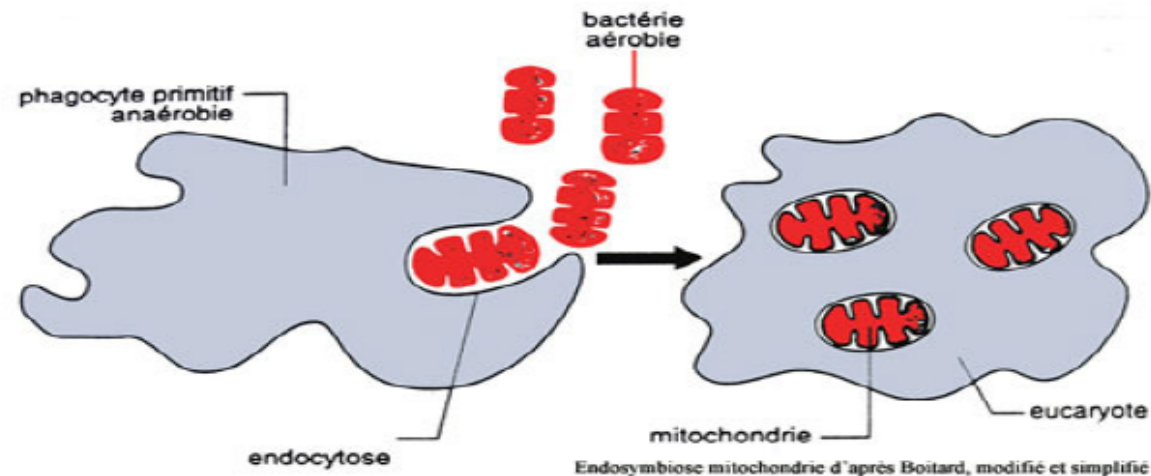
Transport à travers des **canaux ioniques** (échangeurs $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$)

Mitochondries et apoptose (mort cellulaire)

Gonflement des mitochondries, **augmentation massive du calcium cytosolique**, **libération des molécules apoptogènes** mitochondriales (cytochrome c, caspases, etc.)

Théorie endosymbiotique

Origine des mitochondries



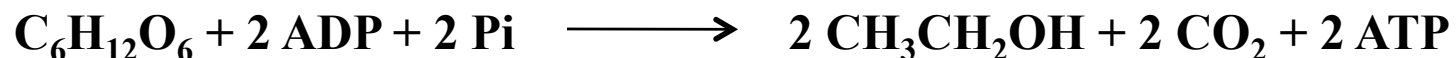
La théorie de *l'endosymbiose* tente d'expliquer l'origine des organites comme les mitochondries et les chloroplastes chez les cellules eucaryotes. La théorie propose que les chloroplastes et les mitochondries ont évolué à partir de certaines formes bactériennes dont les cellules procaryotes ont été phagocytés. Ces cellules eucaryotes et les bactéries piégées à l'intérieur ont formé des relations d'endosymbiose très serrées et durant très longtemps.

Fermentation

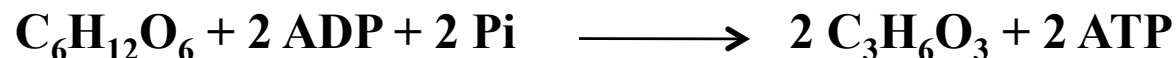
Définition : Processus biologique (catabolisme) se déroulant dans un **milieu privé d'oxygène (anaérobie)**, qui **n'utilise pas de chaîne de transport d'électrons ni de phosphorylation oxydative**

Fonction : Permet de **produire de l'énergie sous forme d'ATP**, mais avec un **rendement plus faible**. Elle est utilisée par un **très grand nombre d'organismes**, depuis la bactérie jusqu'à l'être humain. On distingue plusieurs types :

1- Fermentation éthylique : la réaction utilise du **glucose** et **dégage de l'éthanol**. On en produit des boissons alcooliques et on fabrique du pain



2- Fermentation lactique : **produit de l'acide lactique**, se déroule dans le **muscle** au cours d'un effort intense, concerne aussi la transformation du lait en yaourt



3- Fermentation malolactique : **transforme l'acide malique en acide lactique**. Elle est réalisée par des bactéries et permet de stabiliser les vins de garde

