

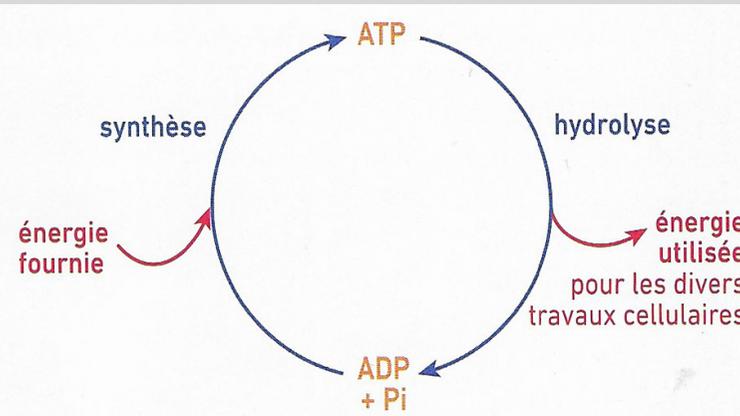
Thème F : Produire le mouvement

**Chapitre F2 :
L'origine de l'ATP nécessaire à la
contraction musculaire**

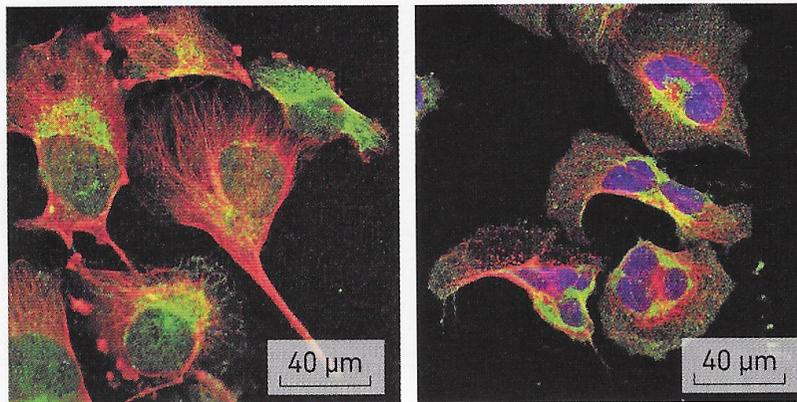
Problématique : Quels mécanismes permettent la production d'ATP ?

I. Les voies métaboliques de production de l'ATP

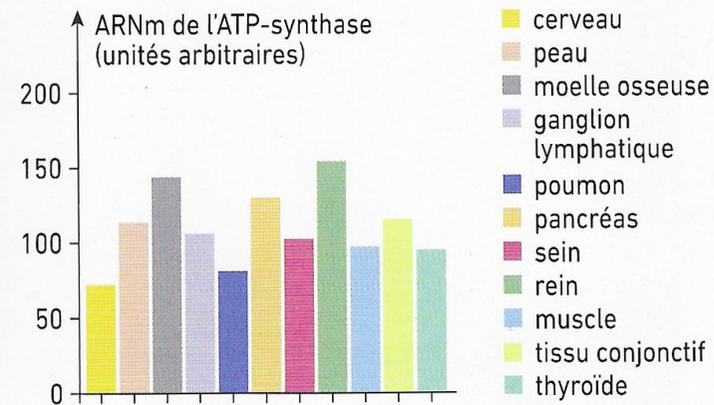
L'ATP* est une petite molécule dont l'hydrolyse en ADP (Adénosine di-phosphate) s'accompagne d'une libération d'énergie : la réaction est exoénergétique*. L'hydrolyse de l'ATP est couplée à des processus endoénergétiques* de la cellule comme la synthèse ou la transformation de molécules, ou encore la réalisation de mouvements (voir p. 408).



Il est possible de rechercher dans les cellules l'activité de l'ATP-synthase*, enzyme qui catalyse la production de l'ATP. En interrogeant une banque de données (comme *ProteinAtlas*), rechercher et mettre en évidence la production d'ATP-synthase dans différents types cellulaires.



A Neurones (à gauche) et cellules osseuses traités par immunofluorescence : la couleur verte traduit la présence d'ATP-synthase.



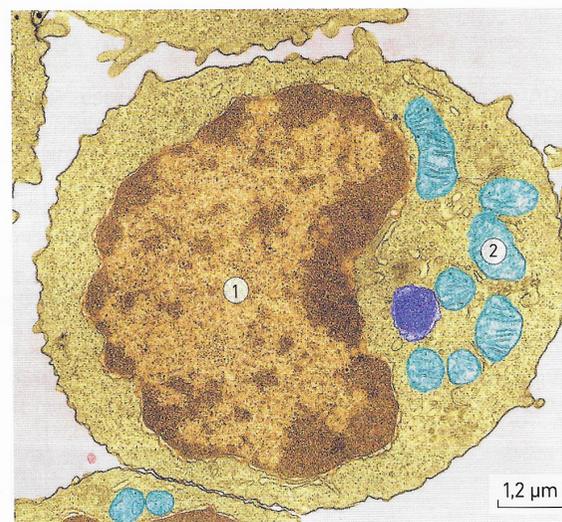
B Expression du gène de l'ATP-synthase dans différents types cellulaires. (*The Human Protein Atlas, proteinatlas.org*).



- Les fibres musculaires sont des cellules dont les besoins en ATP sont particulièrement importants, puisque l'ATP est nécessaire au glissement des myofilaments (voir p. 409). Le cytoplasme de ces cellules présente une organisation remarquable.

- ① sarcomère
- ② mitochondrie

C Portion de cytoplasme d'une fibre musculaire (observation au MET).

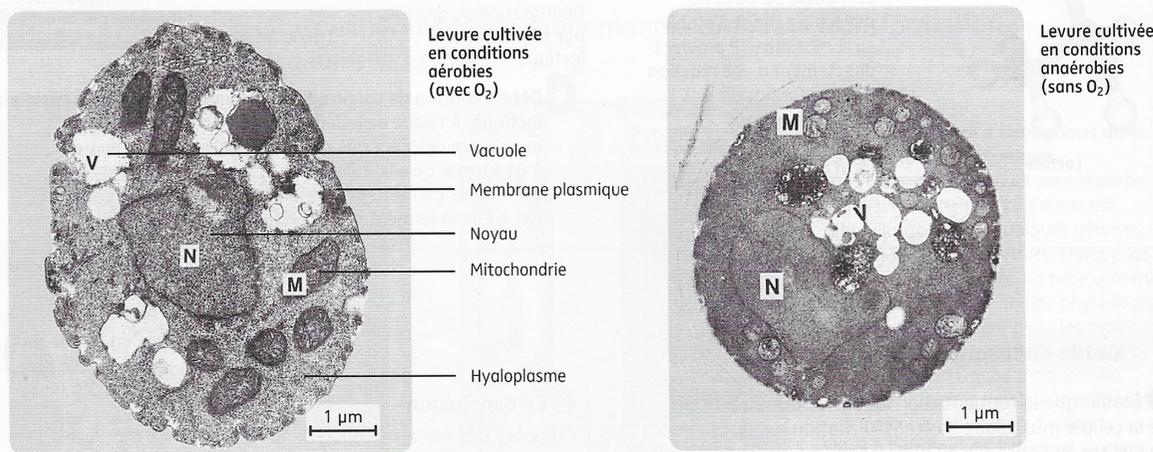


- Les mitochondries* sont des organites qui ont longtemps intrigué les biologistes. Très petites, elles sont en effet très difficiles à observer au microscope optique. Elles peuvent pourtant représenter jusqu'à 25 % de la masse des cellules qui ont des besoins énergétiques importants. Leur rôle dans la **respiration cellulaire*** a donc été suggéré dès le début du xx^e siècle. C'est le microscope électronique qui a révélé la structure des mitochondries.

- ① noyau
- ② mitochondrie

A Lymphocyte humain (observation au MET*).

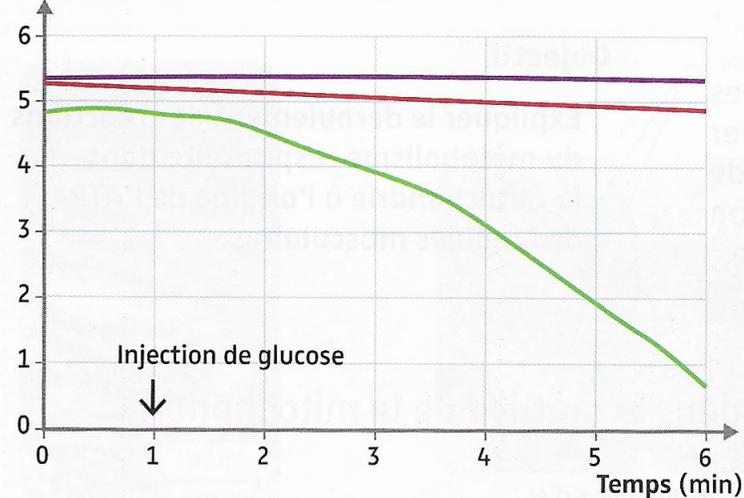
Levures observées en milieu oxygéné ou non oxygéné



Observation de levures sauvages (*Saccharomyces cerevisiae*) dans deux conditions de culture.
L'observation des cellules en microscopie électronique à très fort grossissement ($\times 100\ 000$) permet de décrire leur organisation et d'identifier leurs compartiments.

Expérience avec des levures présentant une mutation

Concentration en dioxygène (mg/L)



Milieu A : eau + sels minéraux

Milieu B : eau + sels minéraux + levures de la souche rho⁺

Milieu C : eau + sels minéraux + levures de la souche rho⁻

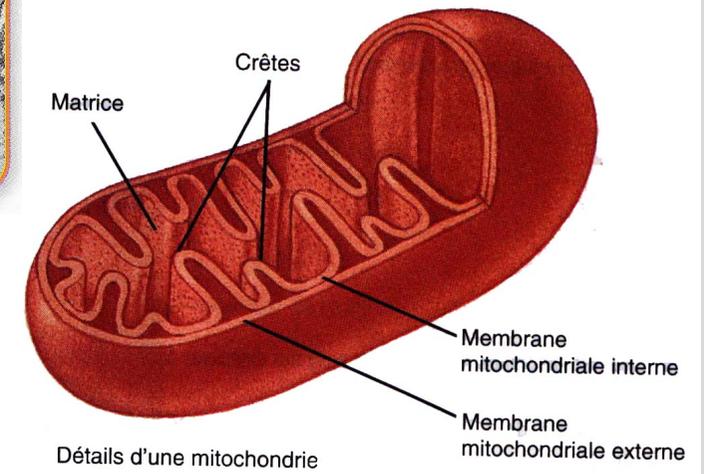
Mesure de la concentration en dioxygène dans des suspensions de levures (*Saccharomyces cerevisiae*).

Les levures de la souche rho⁺ possèdent des mitochondries normales tandis que celles de la souche rho⁻ possèdent des mitochondries atrophiées, donc déficientes, à cause d'une mutation. On mesure à l'aide d'un dispositif ExAO la concentration en dioxygène avant et après l'injection de glucose en solution dans un milieu contenant chacun une des deux souches de levures. Une autre mesure est également réalisée en l'absence de levures.

La mitochondrie



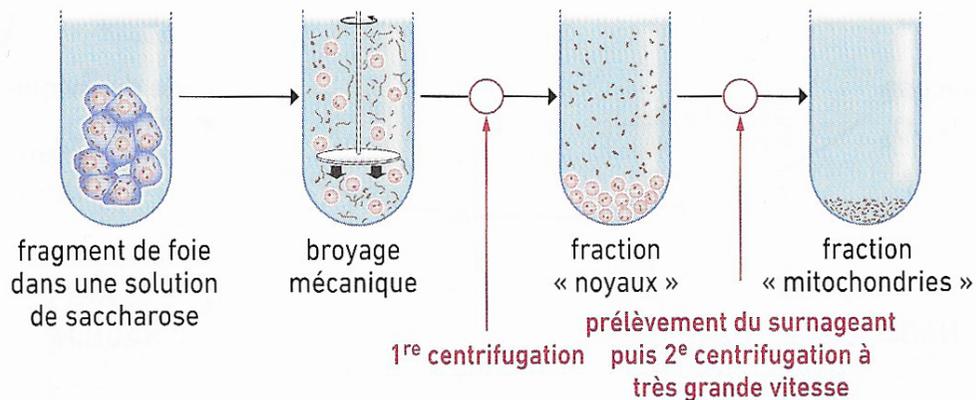
Observation de mitochondries dans une fibre musculaire au MET



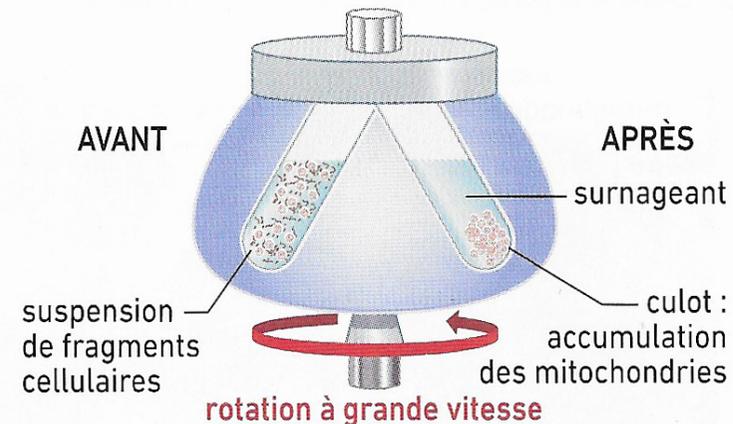
Mise en évidence du rôle des mitochondries

Pour étudier le rôle des mitochondries, il est nécessaire de les isoler. Pour cela, on utilise des cellules particulièrement riches en mitochondries, par exemple des cellules de foie ou de cœur.

Les cellules subissent d'abord un broyage mécanique modéré afin de libérer leurs constituants sans les léser. Le broyat est ensuite centrifugé : la rotation à grande vitesse des tubes contenant les extraits cellulaires permet de séparer les constituants et d'obtenir une fraction riche en mitochondries. L'isolement complet des mitochondries nécessite cependant une centrifugation à très grande vitesse, non réalisable avec une centrifugeuse de lycée.

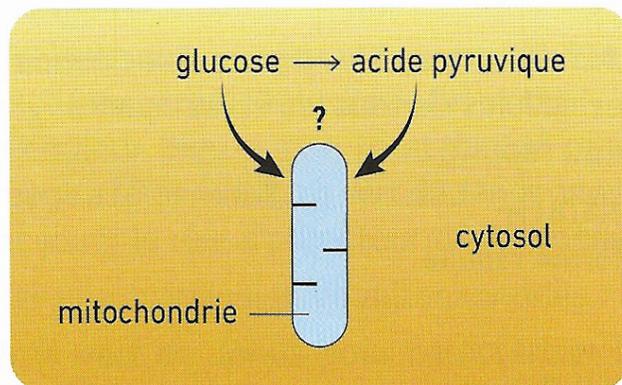


A La préparation de mitochondries isolées.



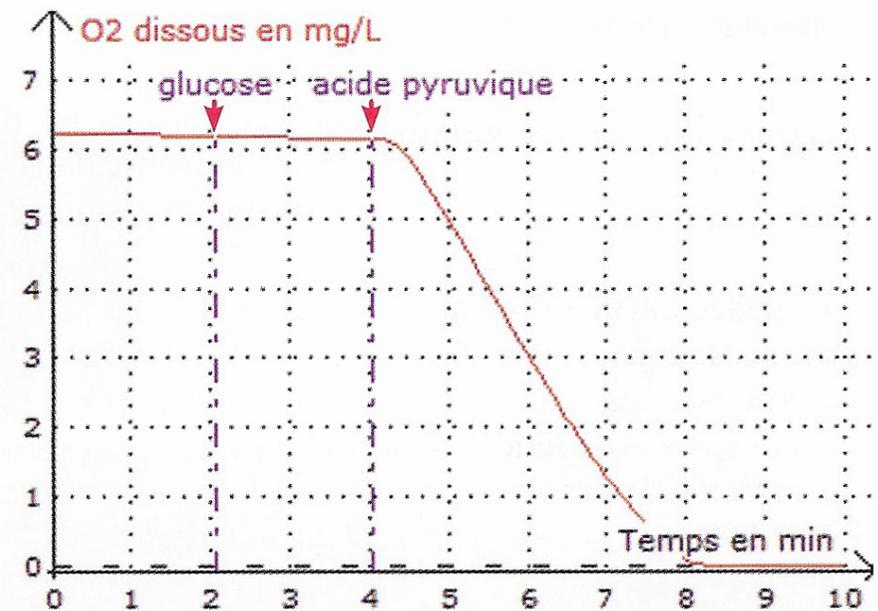
Résultats de l'expérience :

Différentes études et observations suggèrent que la respiration cellulaire se déroule dans les mitochondries, mais qu'une première étape est réalisée dans le cytosol*, en dehors des mitochondries. Lors de cette première étape, une scission et une déshydrogénation du glucose ($C_6H_{12}O_6$) produirait deux molécules d'acide pyruvique ($C_3H_4O_3$).

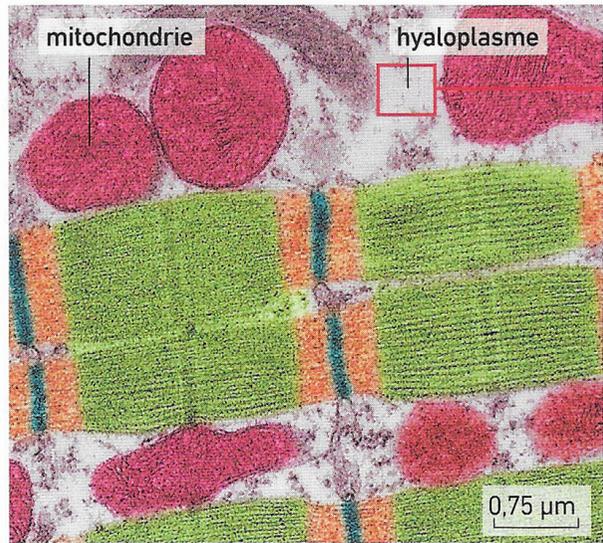


On cherche à vérifier cette hypothèse et à savoir si cette étape est indispensable à la respiration cellulaire. On dispose d'un dispositif ExAO, d'une suspension de mitochondries, de deux solutions que l'on peut injecter : glucose et acide pyruvique.

- Déterminer une stratégie permettant de tester cette hypothèse.
- Mettre en œuvre le protocole, présenter et interpréter le résultat.



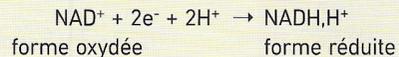
B Évolution de la concentration en dioxygène dans une suspension de mitochondries isolées.



A Première étape : la glycolyse, dans le hyaloplasme (cellule musculaire observée au MET).

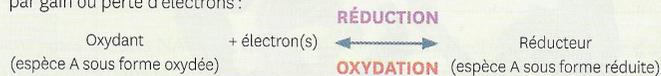
La glycolyse

Souvent qualifié de transporteur d'hydrogène, le NAD^+ (Nicotinamide adénine dinucléotide) est une molécule présente dans le cytoplasme des cellules de tous les êtres vivants. Cette molécule peut être sous une forme oxydée ou réduite :

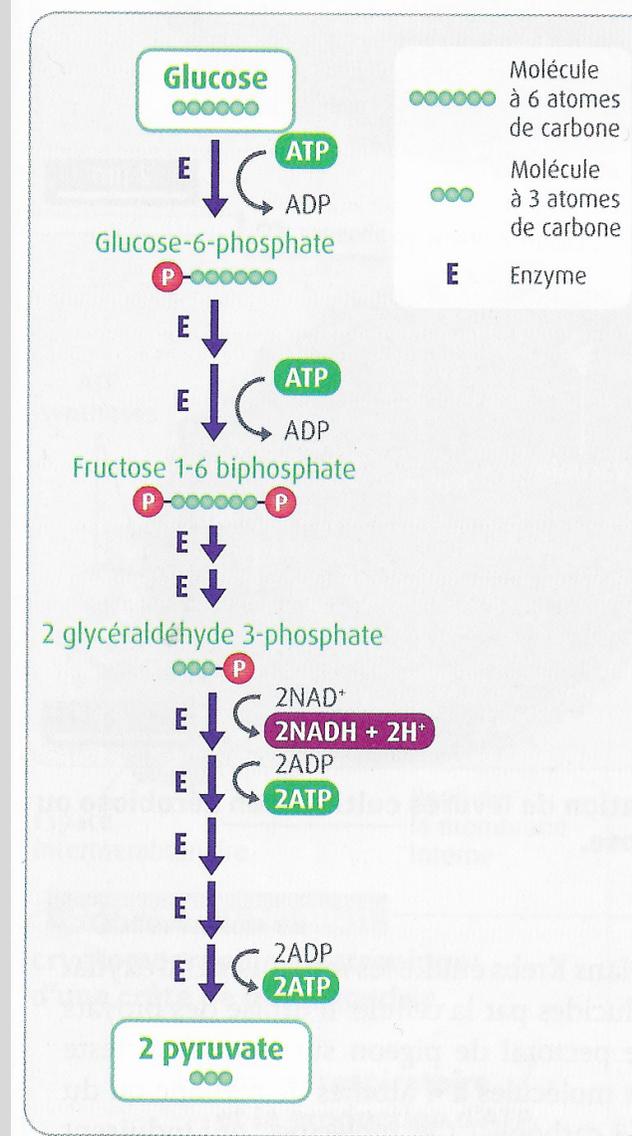


Notions-clé

- Un **oxydant** est une espèce chimique capable de gagner un ou des électrons.
- Un **réducteur** est une espèce chimique capable de céder un ou des électrons.
- Un oxydant et un réducteur forment un **couple** si l'on peut passer de l'un à l'autre par gain ou perte d'électrons :

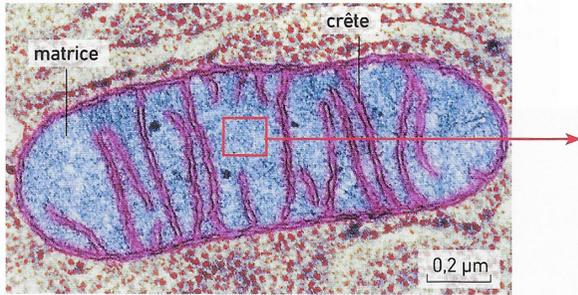


- Une **oxydation** correspond à une perte d'électrons.
- Une **réduction** correspond à un gain d'électrons.



Il s'agit d'une série de transformations chimiques qui se déroulent dans le cytoplasme à partir du glucose. Elle est observée chez presque tous les êtres vivants et constitue la première étape des fermentations et de la respiration. D'un point de vue chimique, elle aboutit à l'oxydation du glucose en deux molécules de pyruvate.

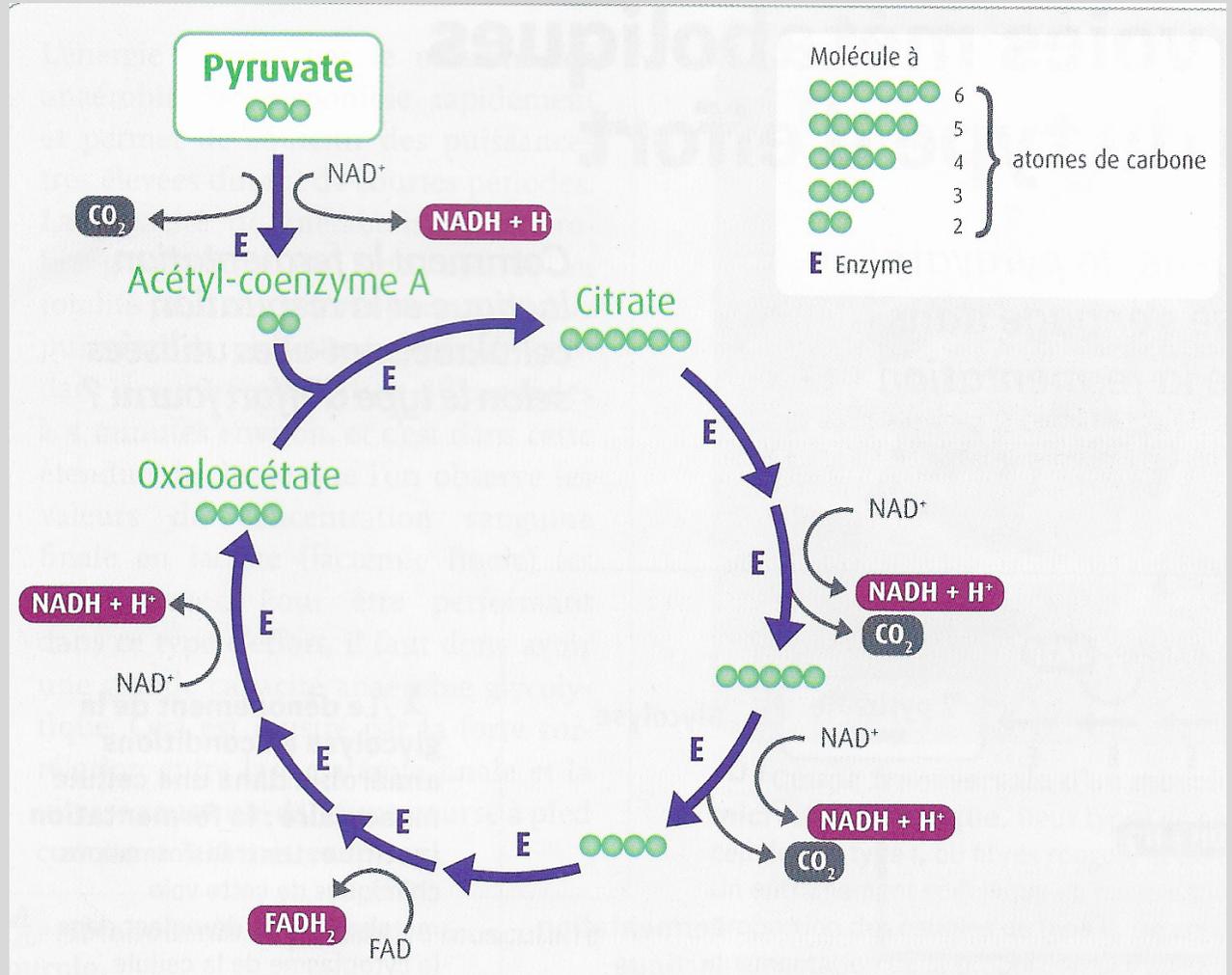
Le cycle de Krebs



Dans le compartiment interne des mitochondries (la matrice), l'acide pyruvique est totalement oxydé au cours d'une série de réactions chimiques appelée cycle de Krebs*.

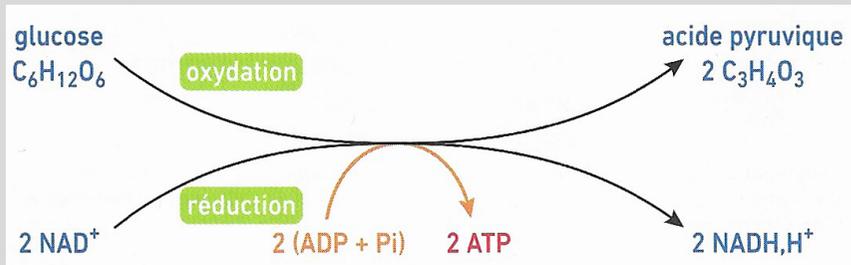
Ce cycle rejette du dioxyde de carbone et génère des NADH, H⁺ ainsi que des molécules d'ATP.

B Deuxième étape : le cycle de Krebs, dans la matrice des mitochondries (observation au MET).

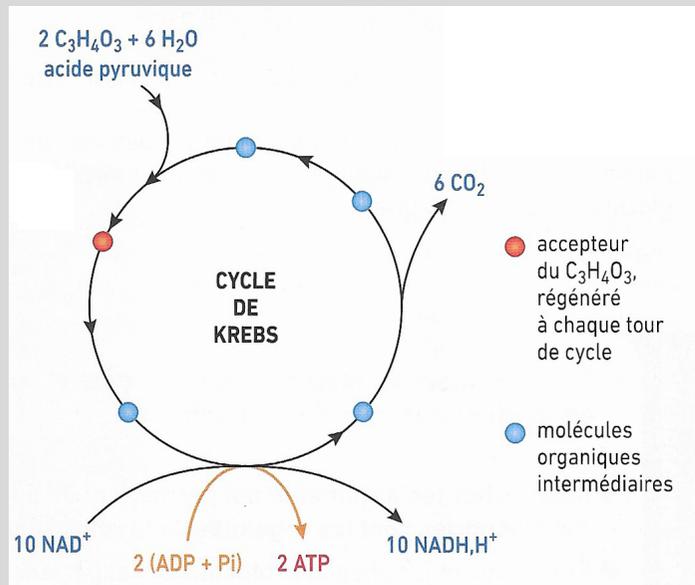


Il se déroule dans la matrice des mitochondries. Le pyruvate est issu de la glycolyse. L'acétyl-coenzyme A issu du pyruvate permet la régénération de l'oxaloacétate (4 atomes de carbone) en citrate (6 atomes de C) à chaque cycle. Les réactions principales du cycle de Krebs sont des décarboxylations (trois molécules de CO_2 libérées par molécule de pyruvate) et la formation de transporteurs d'hydrogène réduits NADH et FADH_2 , qui seront réoxydés grâce à la chaîne respiratoire.

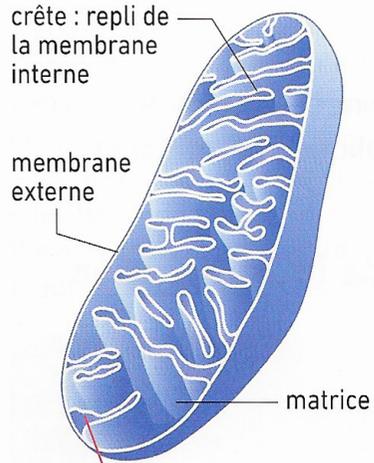
Bilan de la glycolyse :



Bilan du cycle de Krebs :



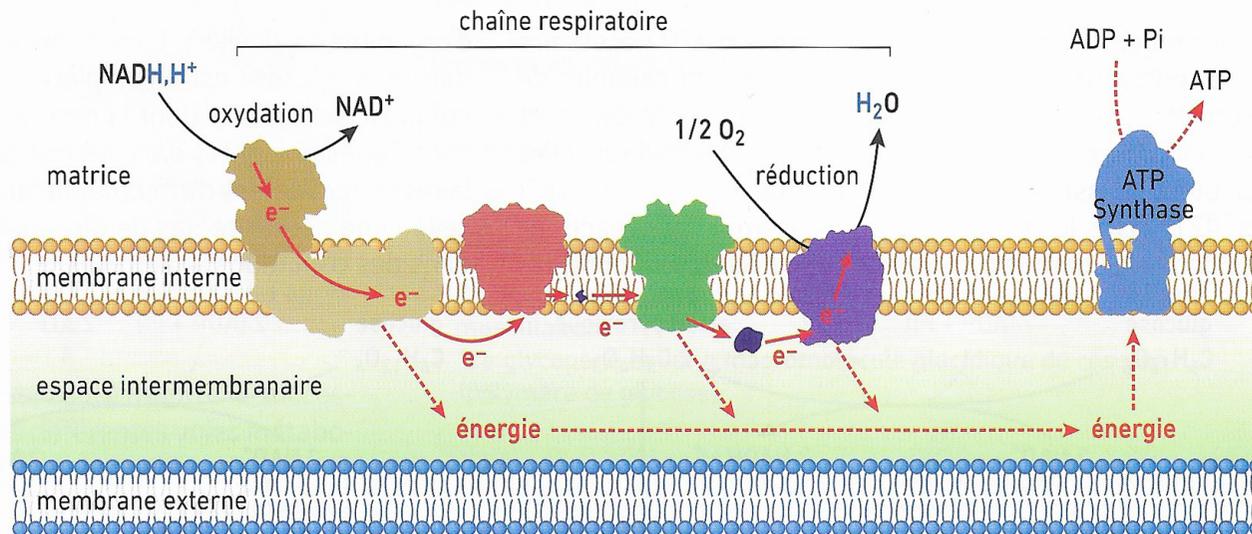
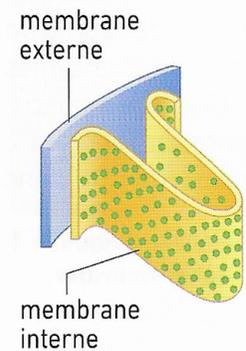
La chaîne respiratoire :



L'observation au microscope électronique montre qu'une mitochondrie possède deux membranes (doc. 1B). Alors que la membrane externe est ordinaire, la membrane interne présente une structure complexe avec de très nombreux replis, appelés crêtes mitochondriales. En outre, la membrane interne est très riche en protéines (80 % de ses constituants, contre 50 % pour la membrane externe).

Un ensemble complexe de molécules enchâssées dans la membrane interne constitue la **chaîne respiratoire***. Ces molécules assurent une ré-oxydation des composés réduits NADH, H^+ produits par la glycolyse et le cycle de Krebs. Chaque transporteur de la chaîne accepte les électrons du transporteur précédent et les transmet au suivant.

Finalement, en bout de chaîne, c'est le dioxygène qui accepte électrons et protons pour former de l'eau. Ces oxydations fournissent à l'ATP synthase l'énergie permettant de produire 32 molécules d'ATP à partir de 12 molécules de NADH, H^+ .



A Troisième étape : les réactions de la chaîne respiratoire dans les crêtes mitochondriales.

La fermentation lactique

