

**Le flux d'énergie chez les Êtres Vivants  
La respiration et la fermentation des cellules**

***Table des matières***

**Introduction.....p.2**

**I. Dégradation des métabolites énergétiques.....p.4**

    I.1 Les rendements énergétiques.....p.4

    I.2 Le schéma de synthèse sur la respiration et la fermentation.....p.5

**II.La glycolyse dans le cytoplasme.....p.6**

**III.Les mitochondries = usines de la respiration cellulaire.....p.7**

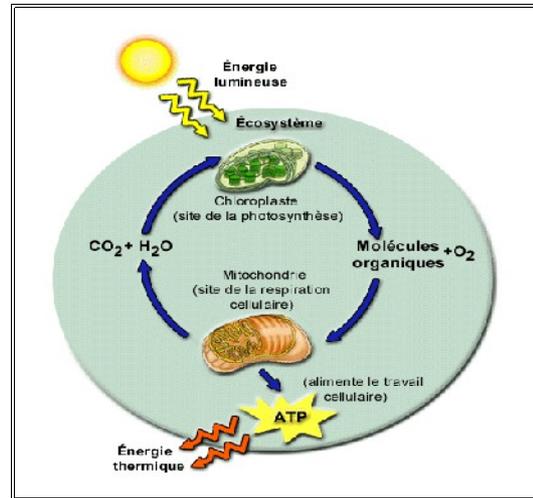
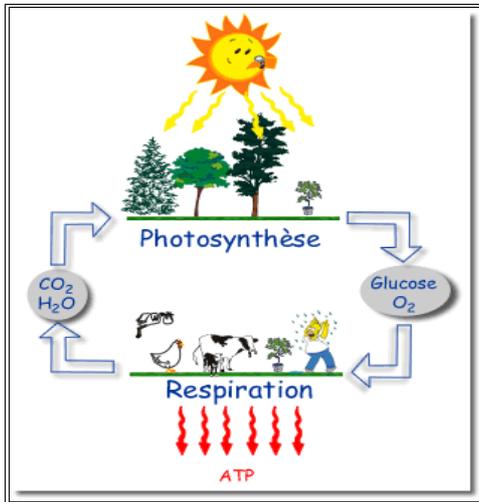
    III.1 La structure des mitochondries.....p.8

    III.2 La mitochondrie = lieu de production d'ATP.....p.10

**IV. Les fermentations.....p.14**

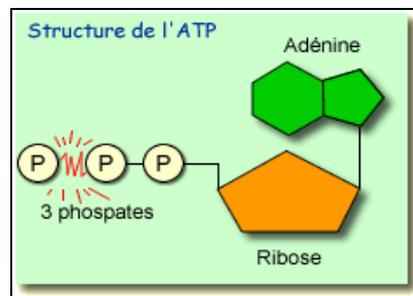
## Introduction

La dépense d'énergie des cellules est assurée par la molécule d'ATP (Adénosine Tri-Phosphate) Cette molécule particulière se compose de liaisons à forte énergie; lorsque celle-ci se cassent il y a une libération d'énergie. Les molécules peuvent se déplacer à n'importe quel endroit du cytoplasme de la cellule.

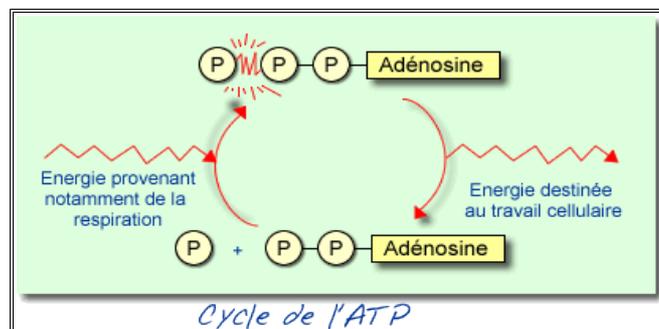


### Structure de l'Adénosine TriPhosphate :

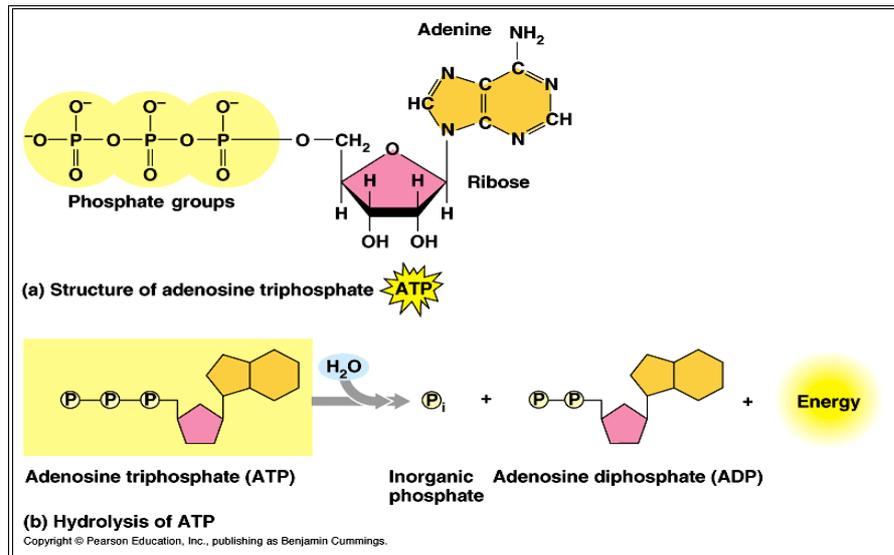
Elle se compose de 3 phosphates, d'un sucre pentose (un ribose) et d'une base azotée (l'adénine) La liaison entre le 2ème et le 3ème phosphate est une liaison à forte énergie.



Dans les cellules, il y a des réactions chimiques effectuées par les enzymes. Ces enzymes utilisent l'énergie des molécules d'ATP pour pouvoir travailler. La liaison à forte énergie se casse et libère un phosphate inorganique (minéral) et produit un ADP (Adénosine DiPhosphate)

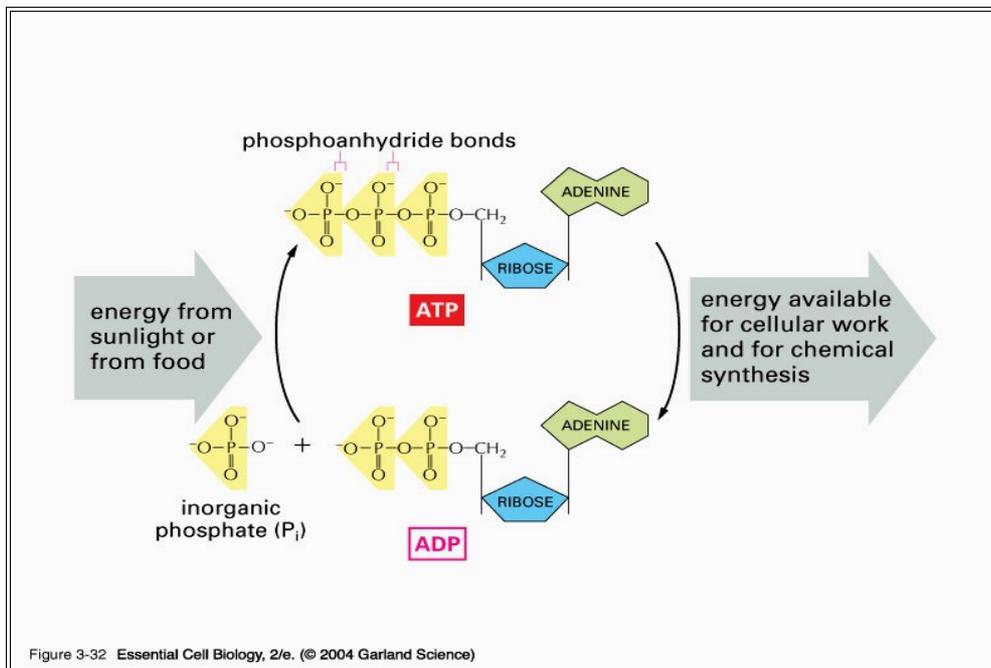


Pour effectuer l'hydrolyse de l'ATP, il faut une molécule d'eau (comme toutes les hydrolyses)



Cette molécule d'ATP est une petite molécule, capable de se déplacer facilement dans toute la cellule (énergie locale) Cette énergie est directement utilisable par la cellule.

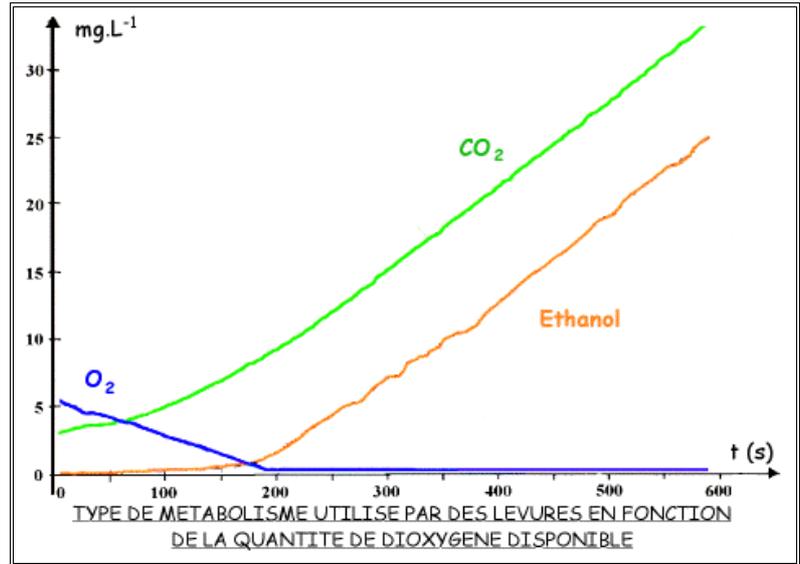
**Le renouvellement de l'ATP** se fait en reformant la liaison de forte énergie entre l'ADP et le phosphate inorganique. Pour cela, il faut apporter de l'énergie qui provient de la respiration ou de la fermentation (par la lumière pour la photosynthèse) Cette énergie est apportée par les nutriments organiques (glucides, lipides et protides) Ces nutriments sont appelés **les métabolites**.





On place des levures dans un milieu à forte concentration en glucoses. On donne une quantité limitée d'oxygène dans le milieu et on observe les résultats sur le graphique suivant.

Qu'observez-vous ? Comment expliquez-vous ces résultats ?

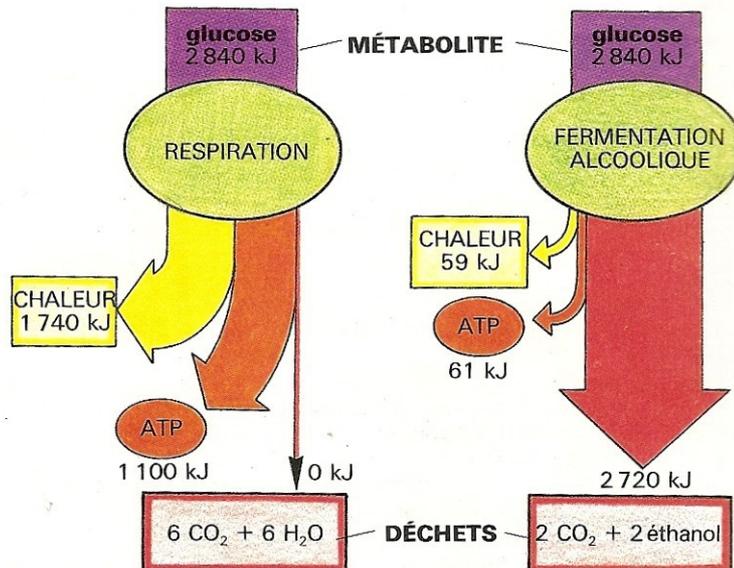


## I.2 Le schéma de synthèse sur la respiration et la fermentation

Conditions expérimentales	aérobies	anaérobies
Masse de glucose consommé (G)	0,098 g	45 g
Masse de levure formée (L)	0,024 g	0,255 g
Rapport G/L	4	176

1 Quelques résultats obtenus par Pasteur (« Etudes sur la bière », 1861). Quelle culture montre le meilleur rendement de production ? (Rendement de production = levure produite/glucose consommé.)

2 Respiration et fermentation représentent deux voies différentes pour renouveler l'ATP par libération de l'énergie des métabolites. Quelle relation pouvez-vous établir entre ce schéma et les résultats de la figure 1 ?



énergie des déchets  
 $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$  : 0 kJ/mole  
 éthanol : 1360 kJ/mole

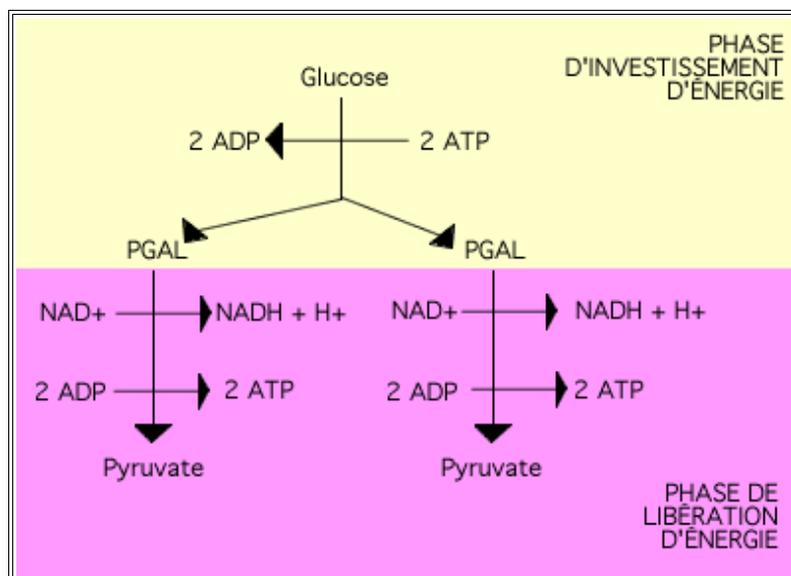
## II. La glycolyse dans le cytoplasme

La glycolyse est une réaction chimique commune aux 2 phénomènes, la respiration et la fermentation. Elle correspond à l'oxydation d'un sucre à 6 carbones (un hexose) comme le glucose.

Les acides aminés, les acides gras peuvent aussi participer à la respiration.

Le glucose est le métabolite énergétique de base, celui qui apporte le maximum d'énergie lors de sa dégradation.

Avec ou sans oxygène, il est possible de dégrader cette molécule de glucose. C'est la glycolyse, elle se déroule dans le cytoplasme (pas besoin de mitochondrie)

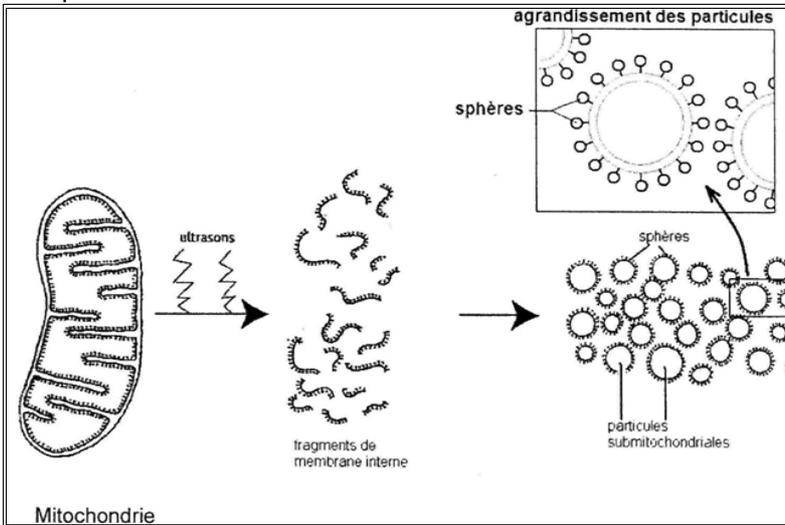


- Le glucose se décompose en 2 acides phosphoglycéraldéhydes (PGAL) Cette première réaction consomme 2 molécules d'ATP.
- Ces 2 molécules PGAL se transforment en acides pyruviques (pyruvates) et produisent alors 4 ATP et 2 transporteurs d'électrons (NAD<sup>+</sup>)
- Le bilan en ATP est alors la production de **2 ATP** (4 ATP - 2 ATP = 2 ATP)
- Le bilan en transporteurs est alors la production de **2 NAD<sup>+</sup>**
- Cette réaction chimique est possible grâce à **une enzyme déshydrogénase.**

### III. Les mitochondries = usines de la respiration cellulaire

C'est un organe cellulaire qui se trouve dans les cellules eucaryotes et qui est à l'origine de la production d'ATP lors de la respiration.

Expériences :



#### Expérience 1

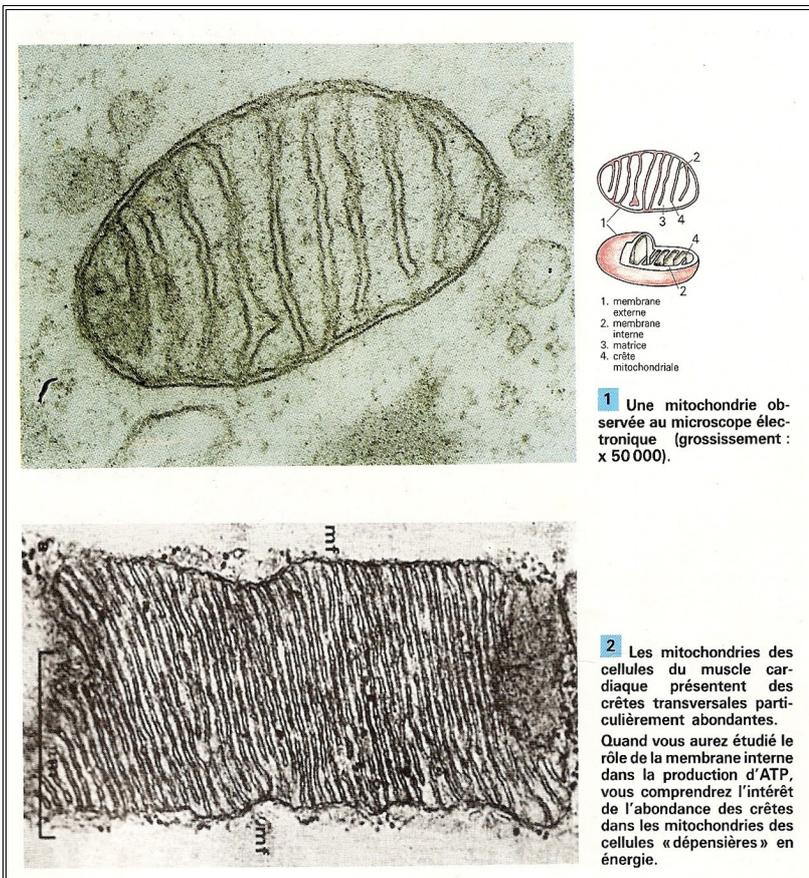
Il est possible de fabriquer des particules submitochondriales (membranes internes de mitochondries) Elles portent des sphères pédonculées sur leurs surfaces.

Si on place un pH acide dans ces sphères, on observe la production d'ATP.

Comment pouvez-vous expliquer cela ?

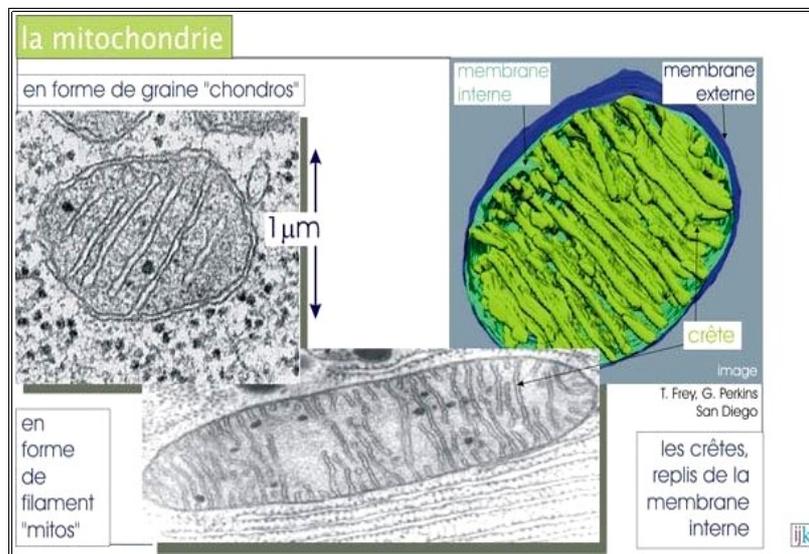
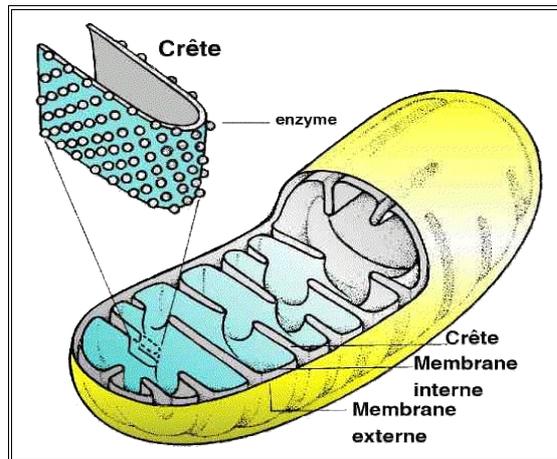
#### Expérience 2

L'image 1 montre une mitochondrie observée au microscope électronique. Quelles sont les structures que vous pouvez observer sur cette photographies ?



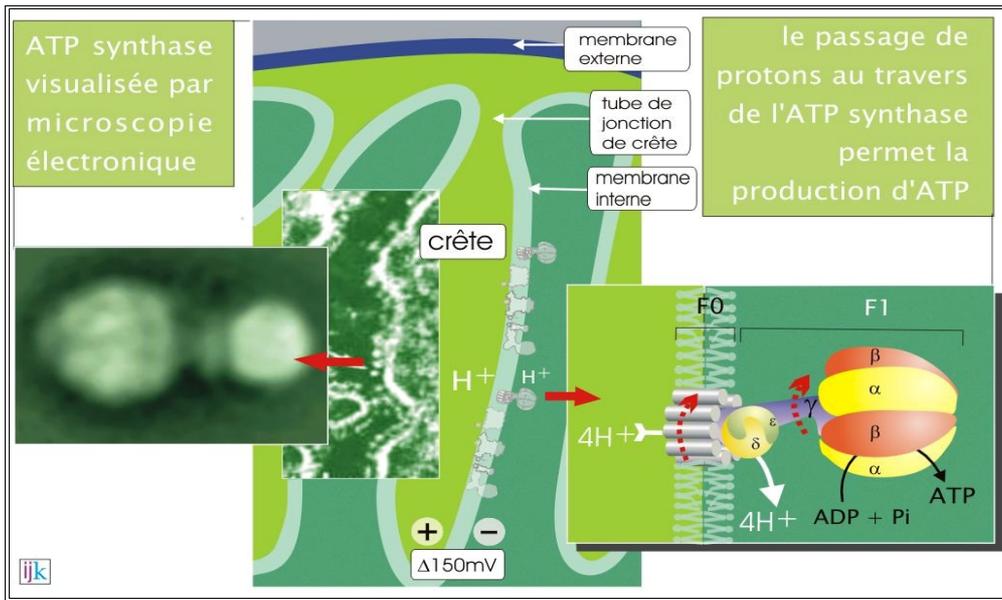
L'image 2 présente la mitochondrie d'une cellule de muscle cardiaque. Que pouvez-vous dire sur sa structure ? Justifiez.

### III.1 La structure des mitochondries

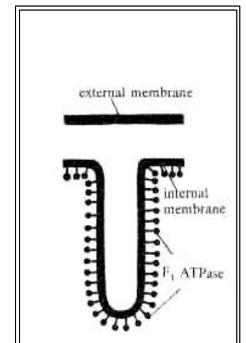


L'intérieur de la mitochondrie est la matrice. Dans cette matrice, il y a des enzymes, des transporteurs, mais pas de glucoses.

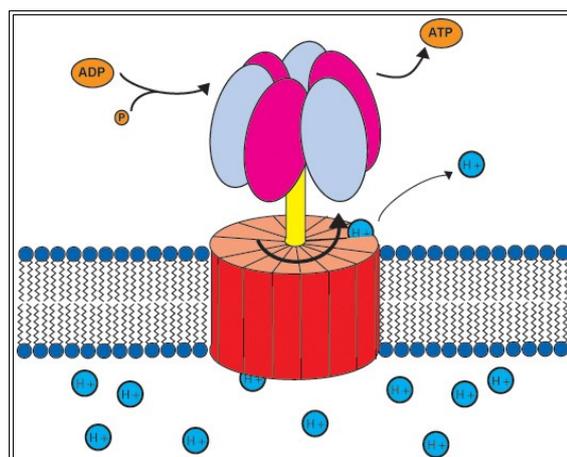
Dans les mitochondries, il existe un ADN mitochondrial. Cet ADN permet le bon fonctionnement de la mitochondrie.



Sur les crêtes de la mitochondrie, il existe des enzymes ATPsynthases. Les crêtes de la membrane interne permet d'augmenter la surface de cette membrane et donc d'augmenter le nombre d'ATPsynthases.



Plus une mitochondrie a de crêtes, plus elle est capable de fabriquer d'énergie.

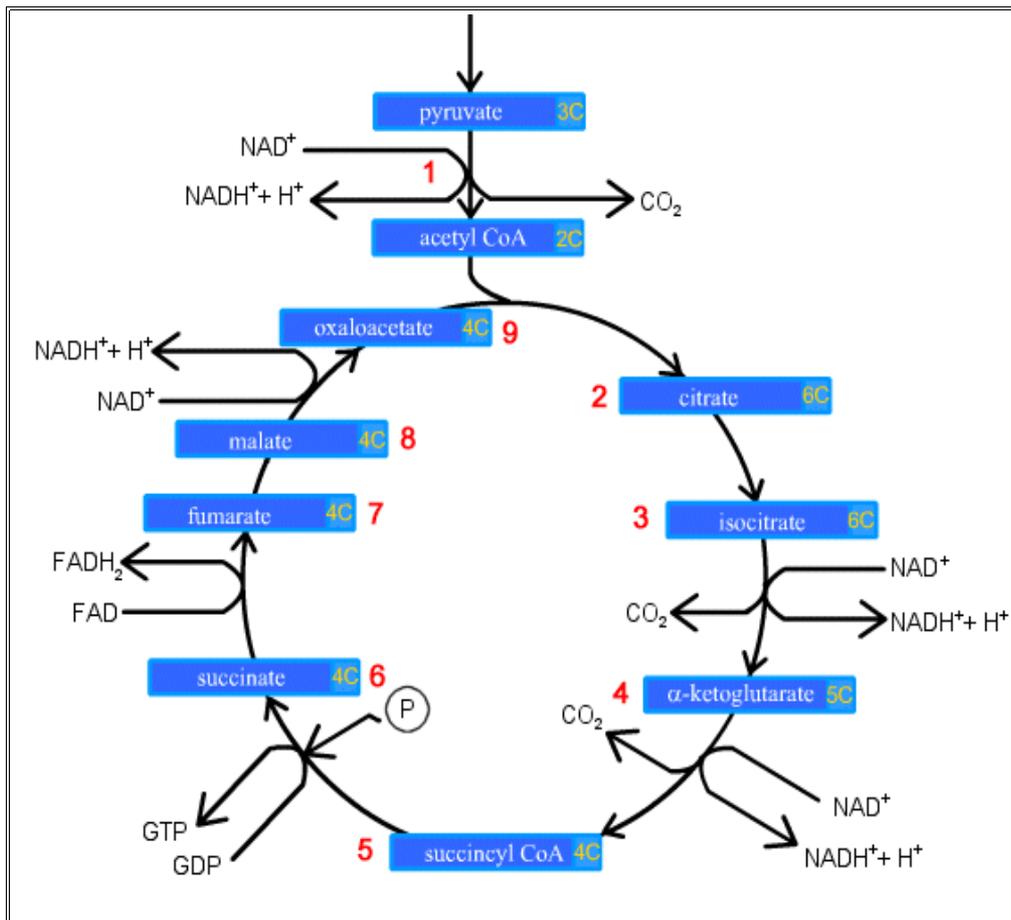


### III.2 La mitochondrie = lieu de production d'ATP

- La dégradation des métabolites dans la matrice (le cycle de KREBS)

L'acide pyruvique est une molécule qui peut traverser la membrane des mitochondries (ce n'est pas possible pour la molécule de glucose)

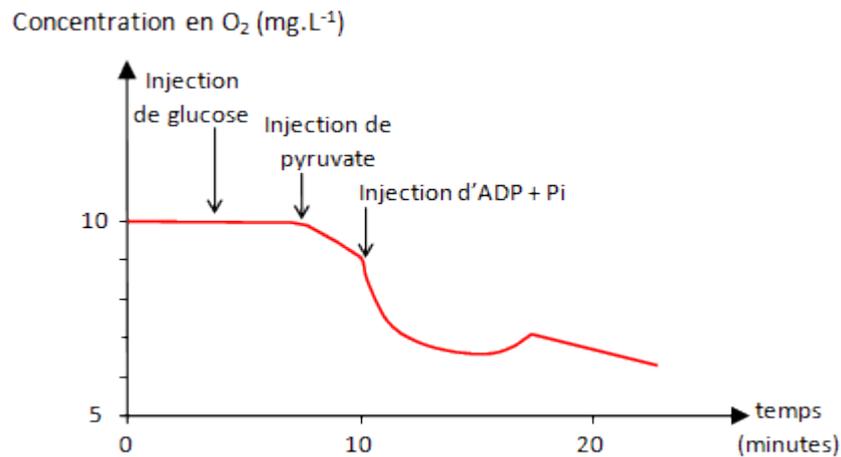
- ✓ L'acide pyruvique grâce au Coenzyme-A se transforme en acétyl CoA (molécule organique à 2 carbones) Cela permet de libérer 2 protons, 2 électrons et 1 CO<sub>2</sub>. C'est possible grâce à 2 enzymes (une déshydrogénase et une décarboxylase)
- ✓ L'acétyl CoA s'associe à une molécule à 4 carbones pour synthétiser une nouvelle molécule à 6 carbones (l'acide citrique)
- ✓ L'acide citrique est le point de départ du cycle de KREBS.
- ✓ Pour 1 tour de cycle, il y a la production d'un ATP (= 1GTP) et la libération de 2 CO<sub>2</sub>, de 8 protons et 8 électrons.



Exercices :

**Document 1** : Consommation de dioxygène par des mitochondries isolées

Des mitochondries sont isolées à partir de cellules animales. A l'aide d'un système ExAO (expérimentation assistée par ordinateur), on suit la concentration en dioxygène du milieu dans les conditions expérimentales suivantes :



Document 1

- Comment évolue la concentration d'oxygène avant l'injection de glucose ?
- Comment évolue la concentration d'oxygène après l'injection de glucose ?
- Comment évolue la concentration d'oxygène après l'injection de pyruvate ?
- Comment évolue la concentration d'oxygène après l'injection d'ADP et Pi ?

➤ Le tableau bilan de la production d'ATP pour une molécule de glucose

– Bilan de la glycolyse :

- x 2 NADH, H<sup>+</sup>
- x 2 ATP

– Bilan pour 2 acides pyruviques :

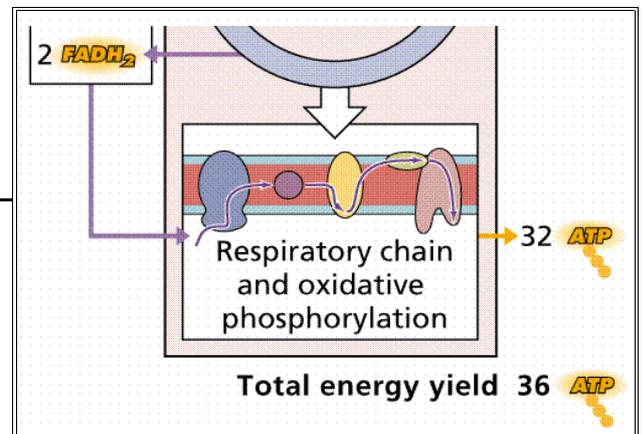
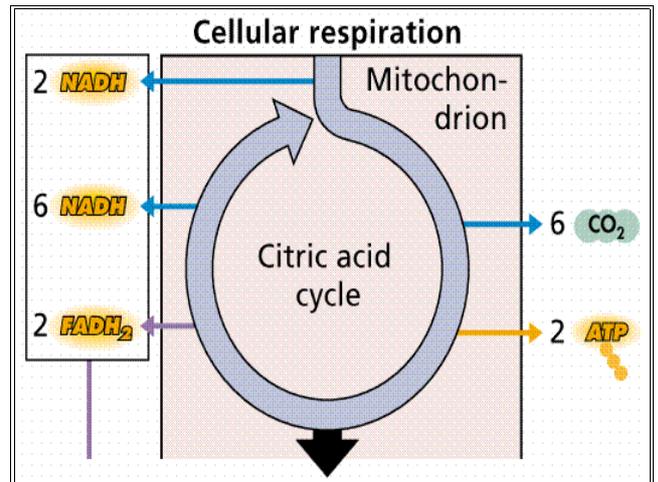
- x 2 CO<sub>2</sub>
- x 2 NADH, H<sup>+</sup>

– Bilan pour 2 tours de cycles de Krebs :

- x 4 CO<sub>2</sub>
- x 6 NADH, H<sup>+</sup>
- x 2 FADH<sub>2</sub>
- x 2 ATP

Total

- x 6 CO<sub>2</sub>
- x 10 NADH, H<sup>+</sup>
- x 2 FADH<sub>2</sub>
- x 4 ATP



➔ Quel est le devenir des transporteurs NADH, H<sup>+</sup> et 2 FADH<sub>2</sub> ?

**Les électrons** sont pris en charge par les transporteurs de la membrane interne de la mitochondrie. Le potentiel d'oxydoréduction des transporteurs augmentent, les électrons sont transférés spontanément d'un transporteur à un autre.

**Les protons**, grâce à ce transfert d'électrons, peuvent passer dans le milieu intermembranaire. La concentrations en H<sup>+</sup> augmente, le pH diminue. Une différence de concentration se crée entre la matrice et le milieu intermembranaire. Les protons diffusent alors vers la matrice en passant par les ATP synthases. Ce passage fournit de l'énergie pour la synthèse d'ATP.

**L'accepteur final est le dioxygène** qui captent les électrons et les protons pour former une molécule d'eau.

Pour 1 NADH, H<sup>+</sup>, il y a la possibilité de synthétiser environ 3 ATP.

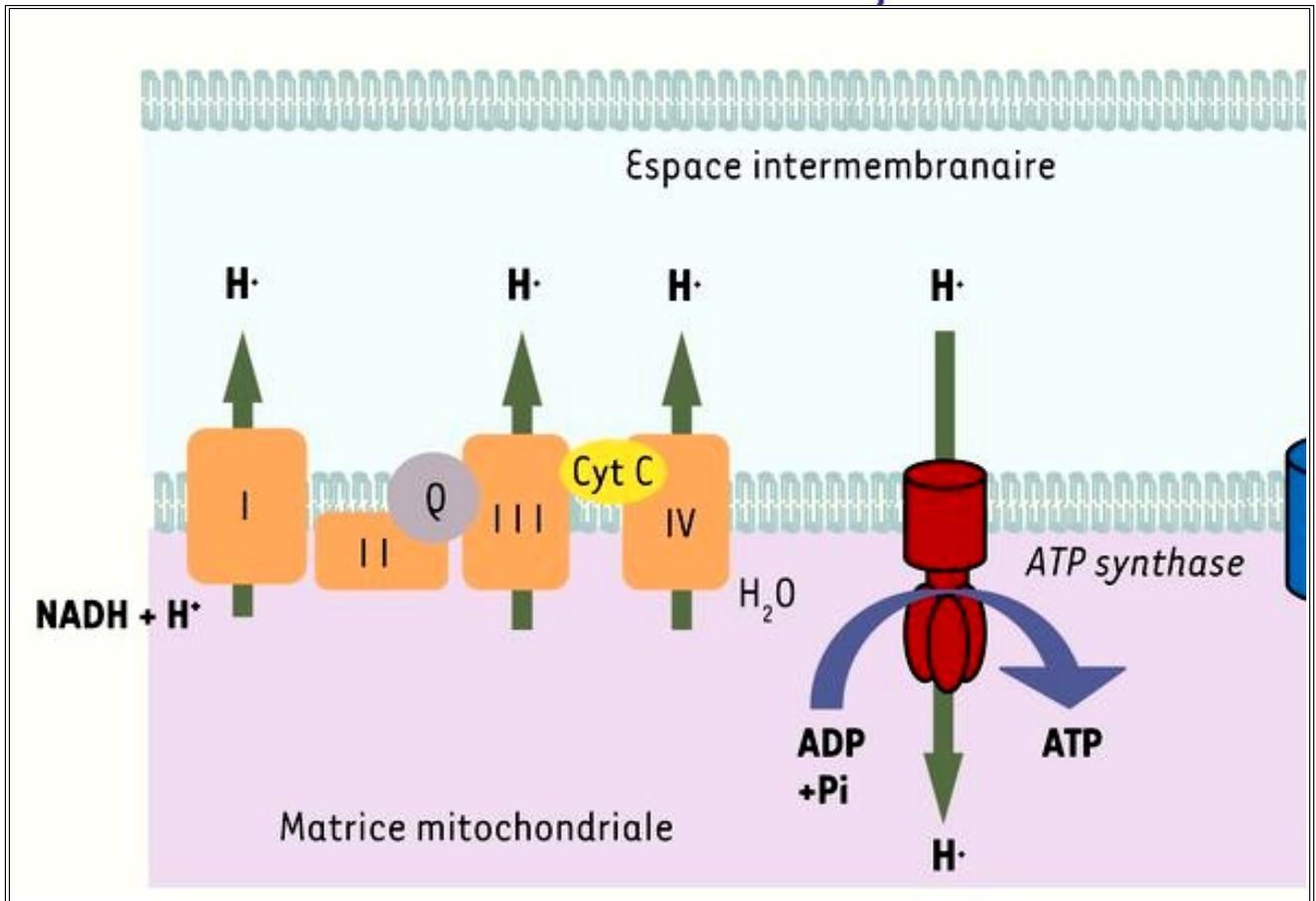
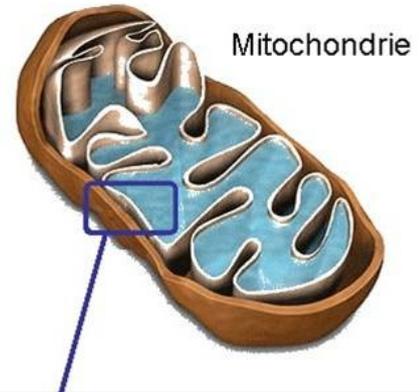
Pour 1 FADH<sub>2</sub>, il y a la possibilité de synthétiser environ 2 ATP.

DONC la total d'ATP ⇒ 30 ATP + 4 ATP + 4 ATP = **38 ATP pour une molécule de glucose**

**En réalité, la production d'ATP peut varier de 36 à 38 ATP pour 1 glucose (à cause des transporteurs)**

➤ Le rôle fondamental de la chaîne respiratoire

Les transporteurs d'électrons sont situés sur la membrane interne de la mitochondrie. Cette structure s'appelle **la chaîne respiratoire**.



- Représentez sur ce schéma, avec un stylo rouge, le passage des électrons le long de la chaîne respiratoire.
- Placez l'accepteur final dans la matrice et la molécule obtenue après avoir capté les électrons et les protons.
- L'accepteur final est le dioxygène :



## IV. Les fermentations

Certaines cellules, certains microorganismes n'ont pas de mitochondries. Ils ne sont pas capables d'utiliser le dioxygène ou le dioxygène est insuffisant dans le milieu.

Ils utilisent le glucose en milieu anaérobie. Le rendement énergétique est plus faible que celui de la respiration.

Il existe 2 types de fermentations :

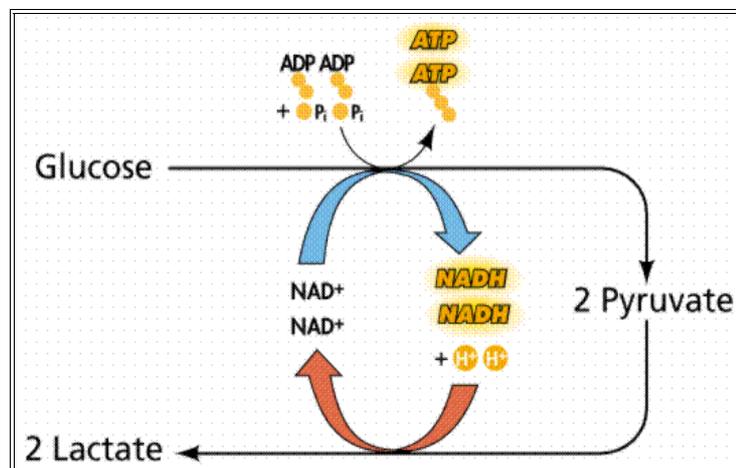
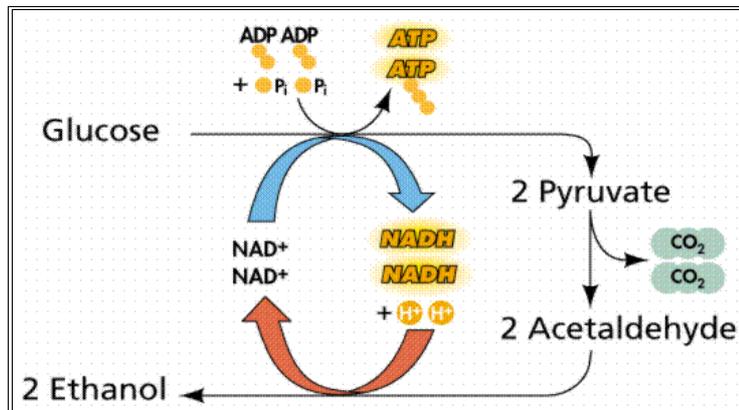
- la fermentation alcoolique
- la fermentation lactique

**Dans la fermentation alcoolique**, il y a d'abord une décarboxylation qui produit de l'éthanol qui va accepter les électrons et les protons.

**Dans la fermentation lactique**, l'accepteur d'électrons est l'acide pyruvique lui-même produisant ainsi de l'acide lactique.

L'éthanol et l'acide lactique sont des molécules organiques (donc elles possèdent encore dans leurs liaisons de l'énergie non libérée) Il n'y a pas besoin de mitochondries.

Le rendement de la respiration à partir d'un seul métabolite (1 glucose) est d'environ 38%, alors que celui de la fermentation est beaucoup plus faible. Il est de 2%



En résumé...

