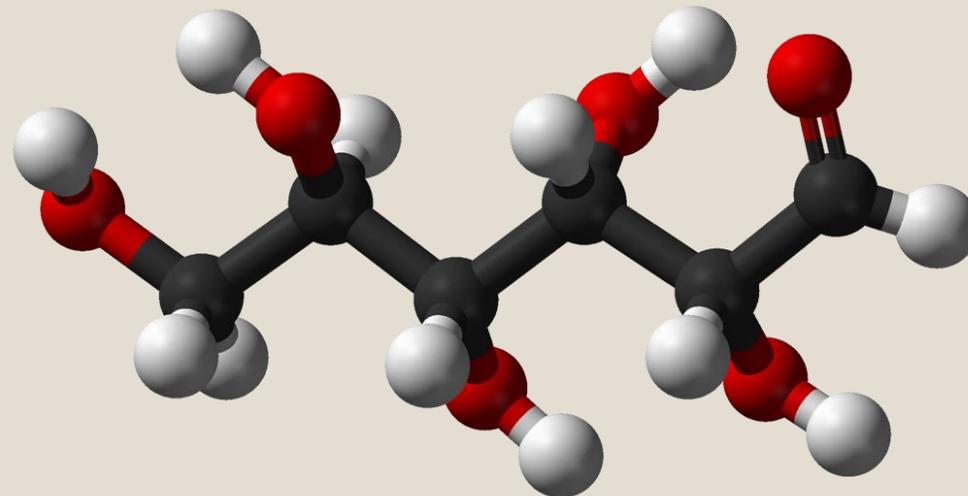




**CHAPITRE 2 : LA PRODUCTION
D'ÉNERGIE GRÂCE À LA
FERMENTATION ET LA
RESPIRATION**

Introduction :

- Nous avons vu que les végétaux sont capables de produire des molécules organiques grâce à la photosynthèse. L'activité des cellules nécessite de l'énergie.
- Toutes les cellules eucaryotes puisent l'énergie nécessaire à leur métabolisme dans l'oxydation de molécules organiques telles que le glucose.
- Nous pouvons nous demander comment cette énergie est créée ?



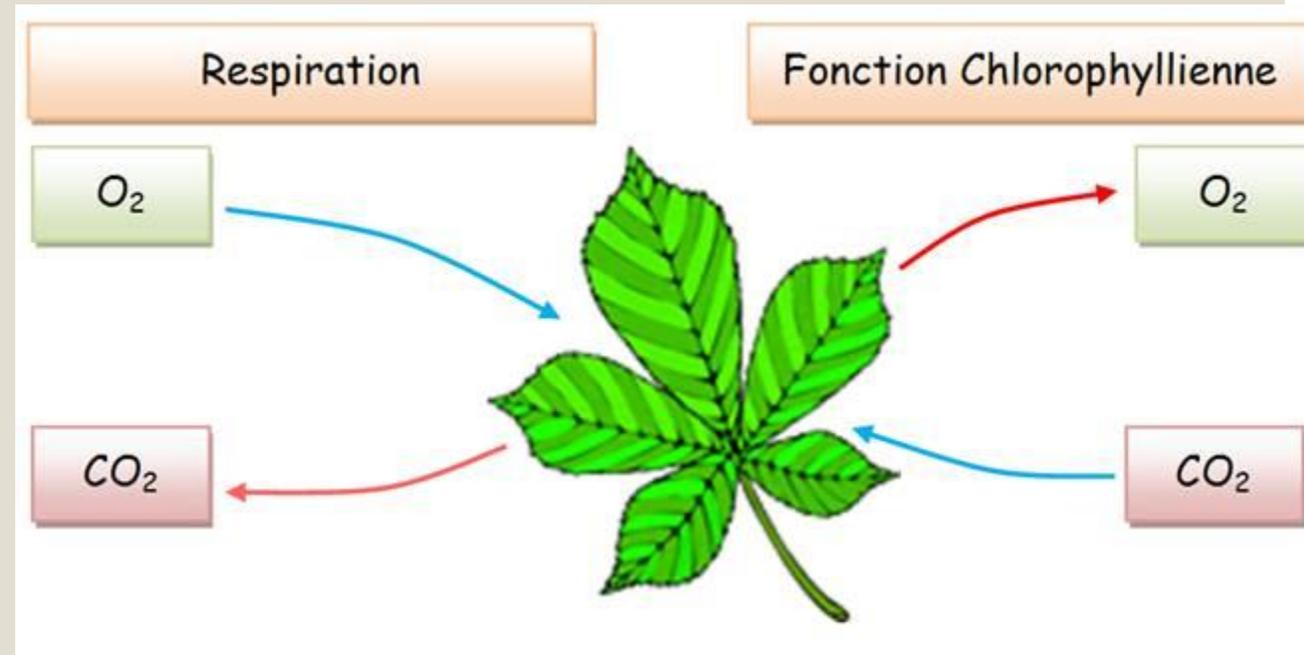
I. La respiration cellulaire, la voie privilégié pour la production d'ATP

A. L'importance du dioxygène

En aérobiose, c'est-à-dire en présence de dioxygène, la plupart des cellules oxydent totalement le glucose en dioxyde de carbone : c'est la respiration cellulaire.



- La plupart des cellules eucaryotes respirent, y compris les cellules végétales.
- A la lumière les cellules végétales respirent, mais les échanges gazeux sont masqués par ceux de la photosynthèse qui sont plus importants.



Expérience	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4
Cubes de navets	Navet non ébouillanté	Navet non ébouillanté	Navet ébouillanté	Navet ébouillanté
Glucose (2,5 g)	Pas de glucose	Glucose	Pas de glucose	Glucose
Résultats				
Couleur du bleu de méthylène	Décoloration	Décoloration plus rapide	Pas de décoloration	Pas de décoloration

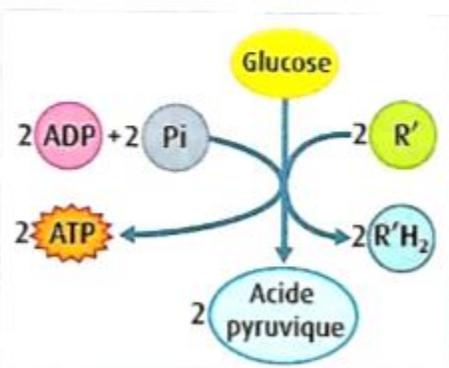
3 Mise en évidence d'une voie d'oxydation cytoplasmique du glucose

HISTOIRE DES SCIENCES

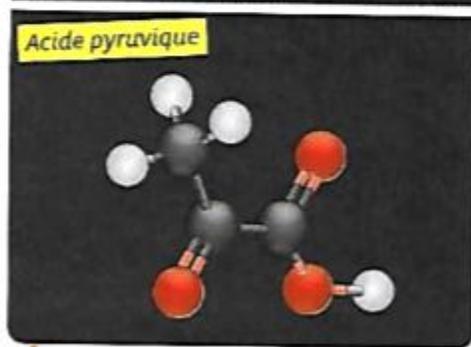
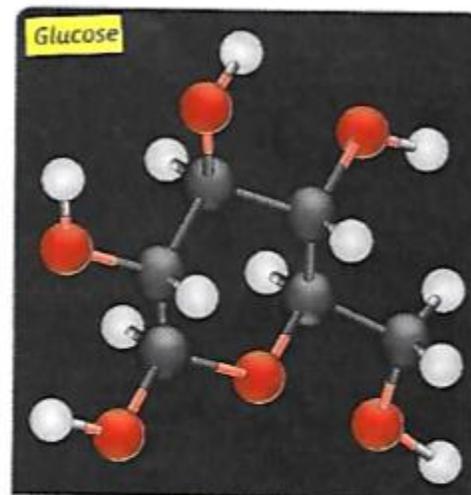
La **glycolyse** est une voie cytoplasmique d'oxydation du glucose commune à la respiration et à la fermentation. Elle a été élucidée après plus de 40 ans de recherches. Le chimiste Eduard Buchner, qui étudiait la fermentation, constata que « la complexité de la levure n'est pas indispensable à ce processus ». Il émit l'hypothèse que « le ferment actif n'est qu'une substance dissoute, sans doute une protéine » qu'il baptisa la « zymase ». La « zymase » s'est révélée être un mélange de protéines ayant une activité catalytique, ou enzymes. Il fut montré en 1905 que les extraits acellulaires permettant la glycolyse doivent également contenir du phosphate inorganique, de l'ATP, de l'ADP et un oxydant R'. Otto Meyerhof contribua finalement à élucider

les 9 étapes de la glycolyse.

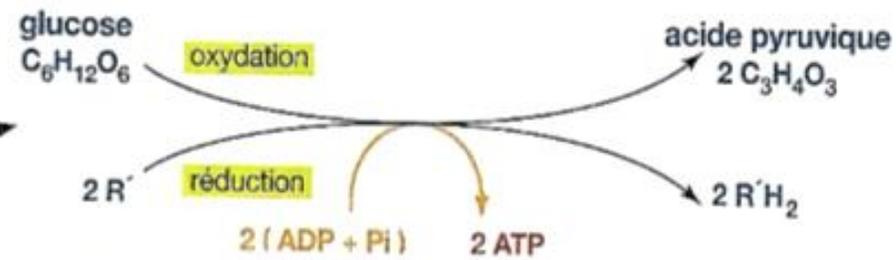
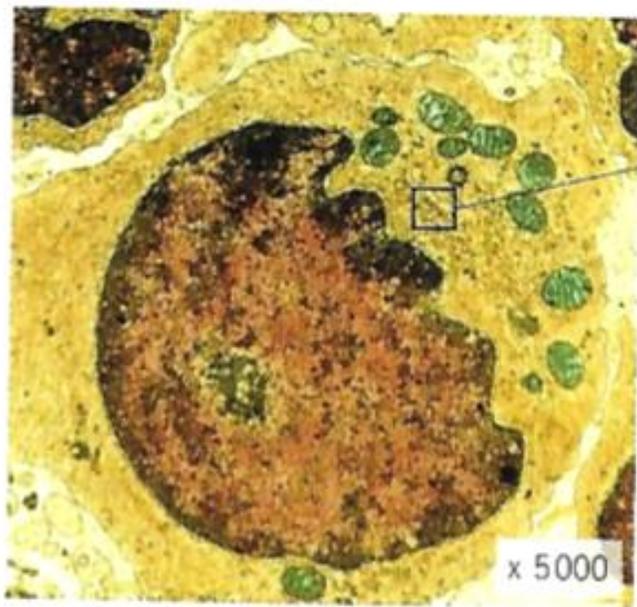
L'oxydation d'une molécule de glucose lors de la glycolyse produit 2 molécules d'acide pyruvique. Elle est couplée à la réduction de 2 composés R' en R'H₂ (chimiquement proches de R et RH₂ qui interviennent dans la photosynthèse, voir p. 20) et à la phosphorylation de 2 molécules d'ADP.



4 Le bilan chimique de la glycolyse.



5 La molécule de glucose et la molécule d'acide pyruvique.



Dans le **hyaloplasme**, la molécule de glucose est progressivement convertie en deux molécules d'acide pyruvique : cette succession de réactions chimiques s'appelle la **glycolyse**. Globalement, deux événements importants se produisent :

- le glucose est oxydé en acide pyruvique grâce à la réduction d'un composé (noté ici R') ;
- l'énergie libérée par cette oxydation permet la synthèse de deux molécules d'**ATP** (ADP, Pi et ATP sont présentés *page 40*).

Doc. 1 Première étape : la glycolyse dans le hyaloplasme.

- La respiration débute par la glycolyse, c'est une voie réactionnelle qui se déroule dans le cytoplasme (hyaloplasme). La glycolyse correspond à une oxydation partielle du glucose en acide pyruvique, couplée à la synthèse de deux molécules d'ATP et de composés réduits notés R'H₂.



B. La mitochondrie, le lieu indispensable pour la respiration cellulaire

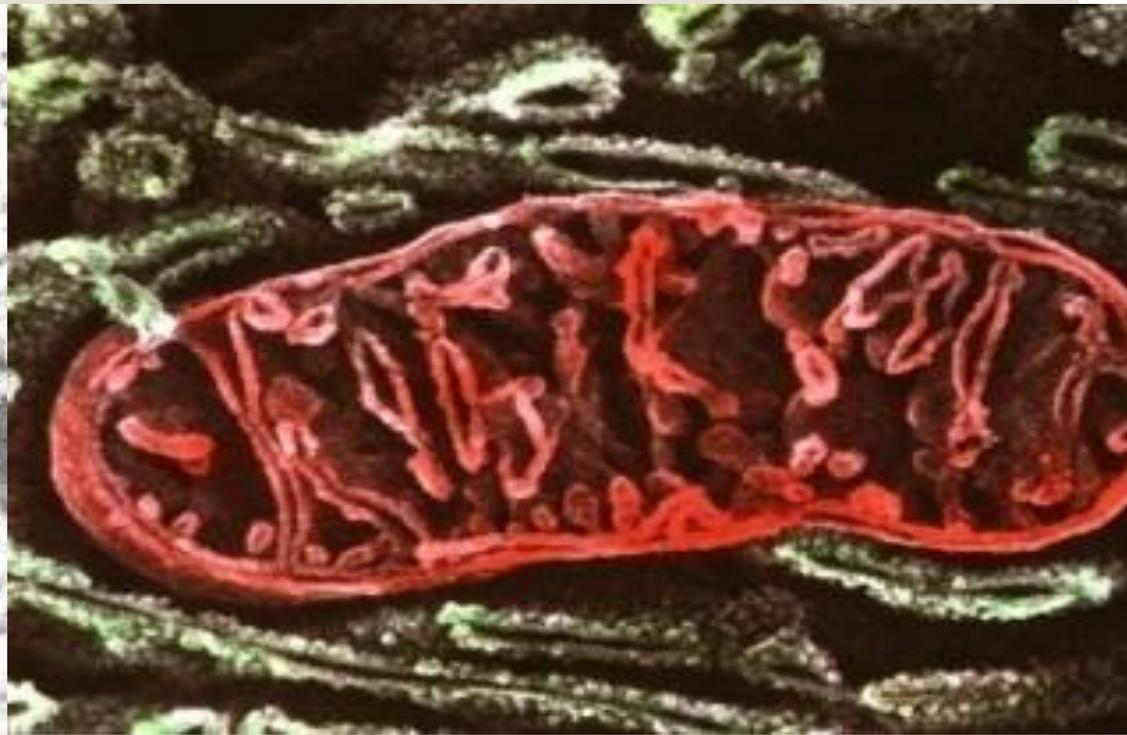
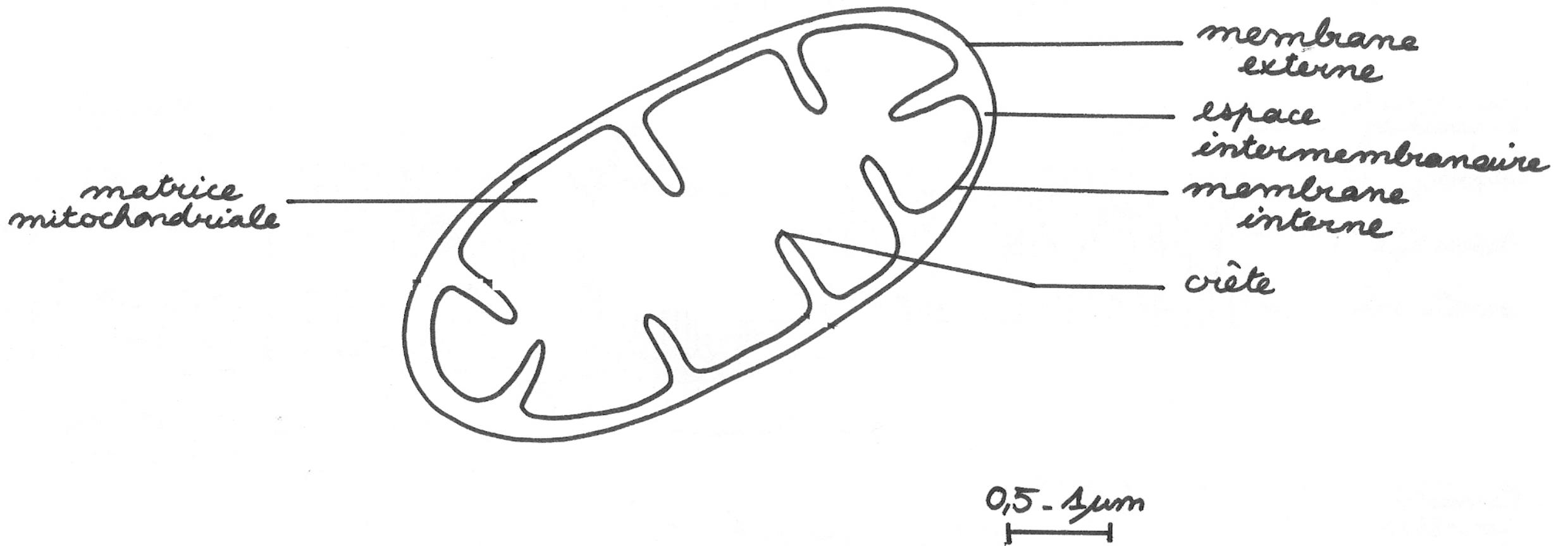
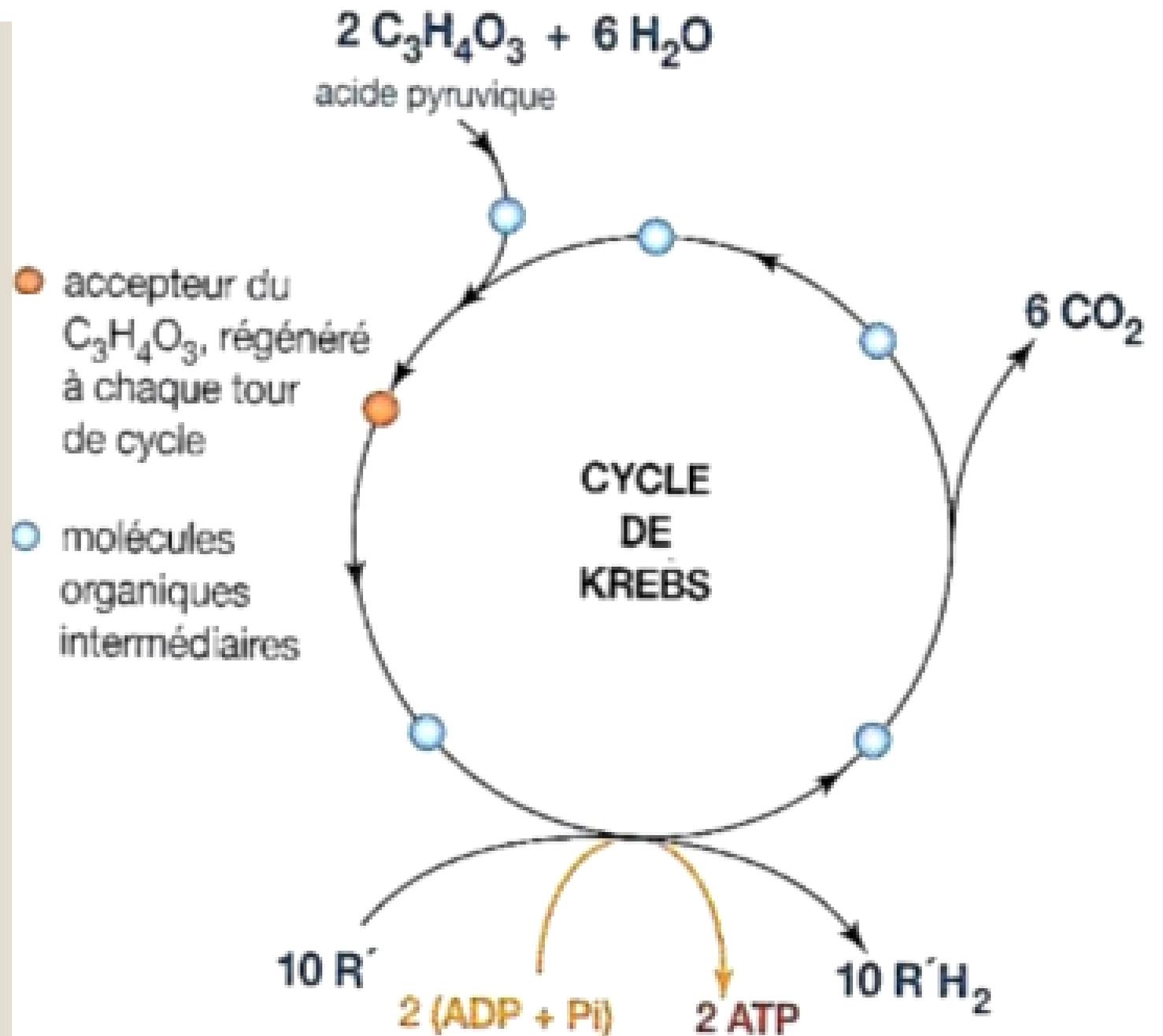
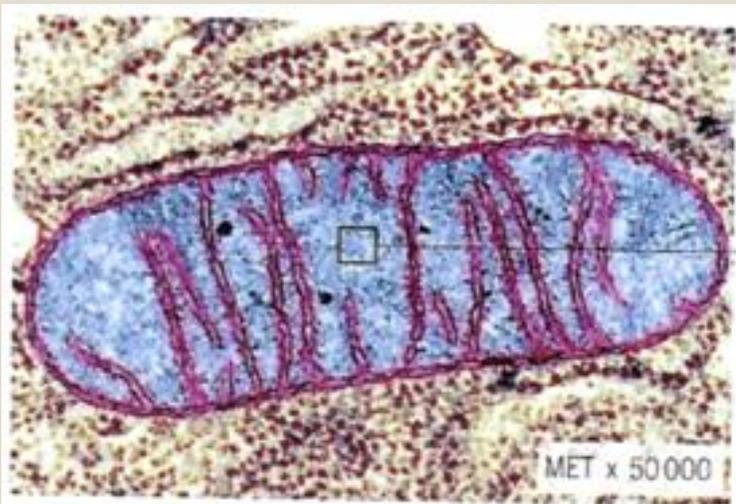


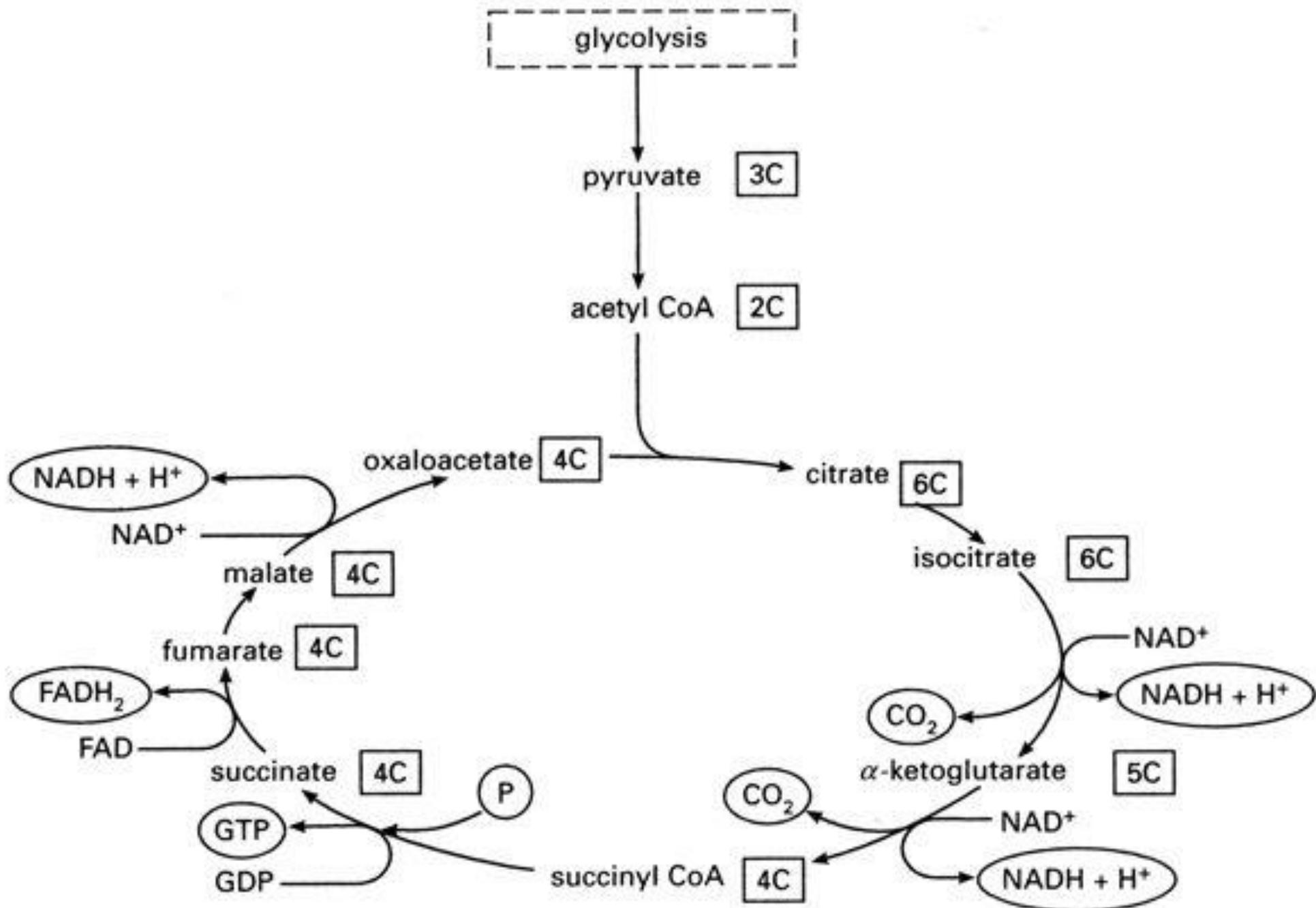
Schéma d'une mitochondrie

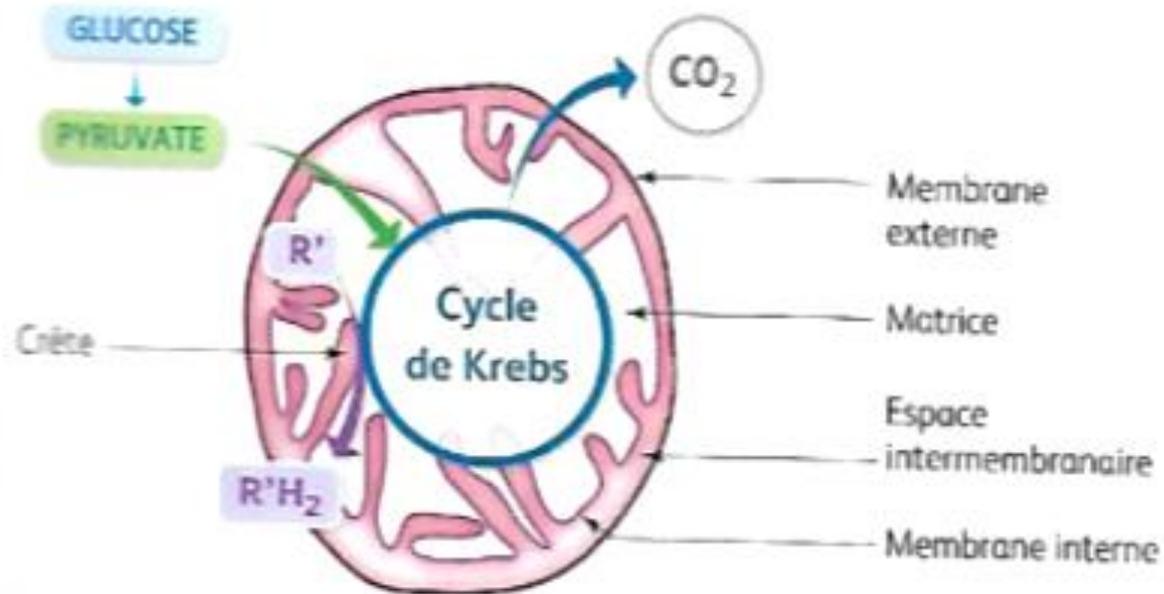


La mitochondrie est un organite qui mesure 1 μm et qui est délimité par 2 membranes : une membrane externe et une membrane interne (avec des crêtes). Entre ces deux membranes on retrouve l'espace intermembranaire. L'intérieur de la mitochondrie est constitué de la matrice mitochondriale.

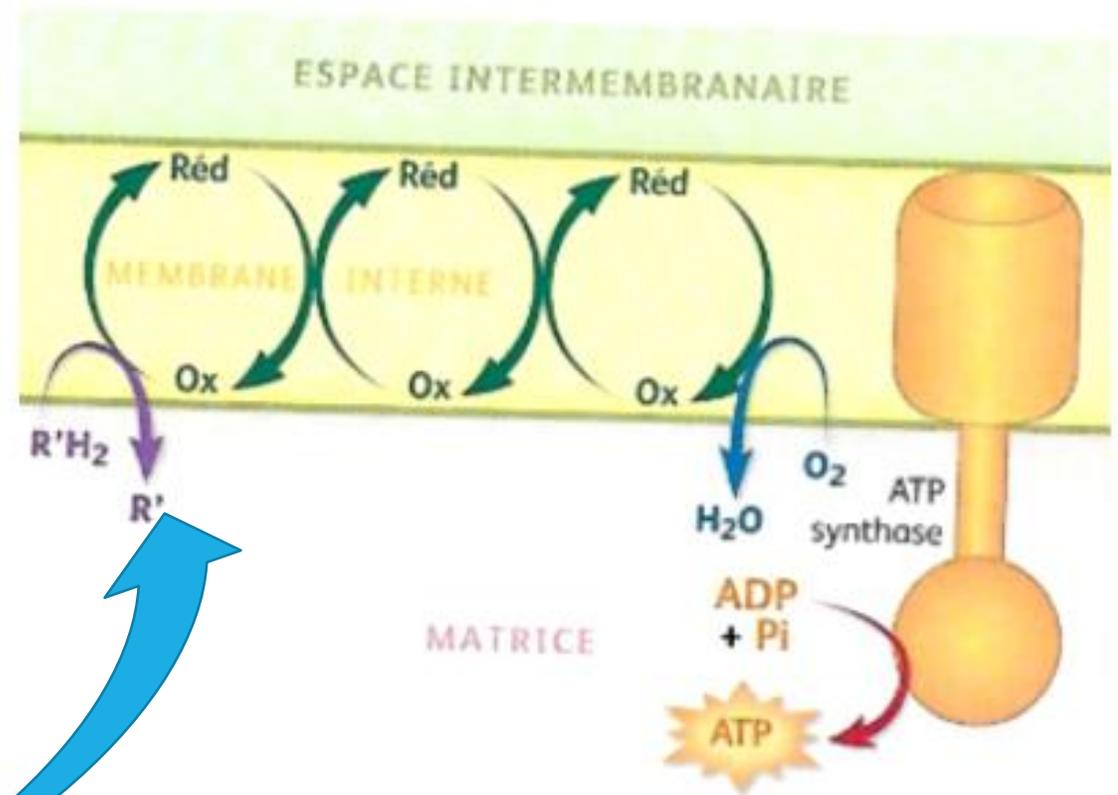
- C'est dans la matrice que l'acide pyruvique est progressivement oxydé en CO_2 grâce au cycle de Krebs. Le cycle permet la production de $\text{R}'\text{H}_2$ et d'ATP.



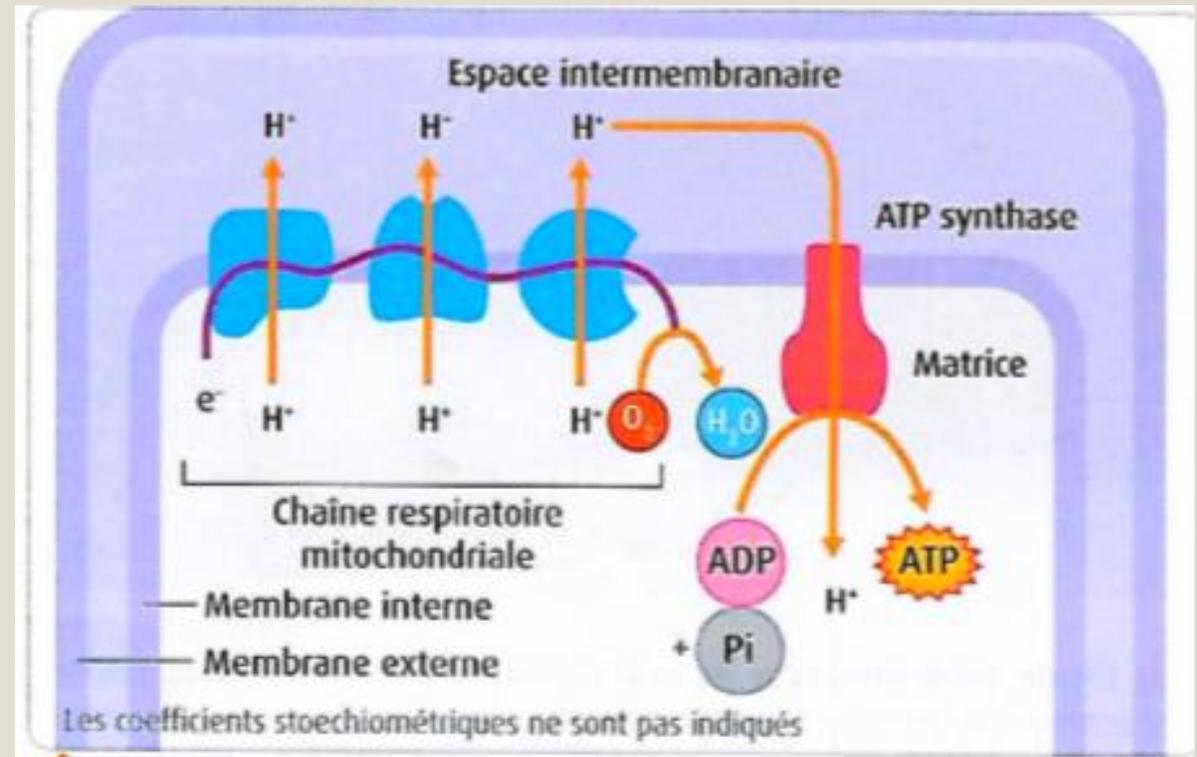
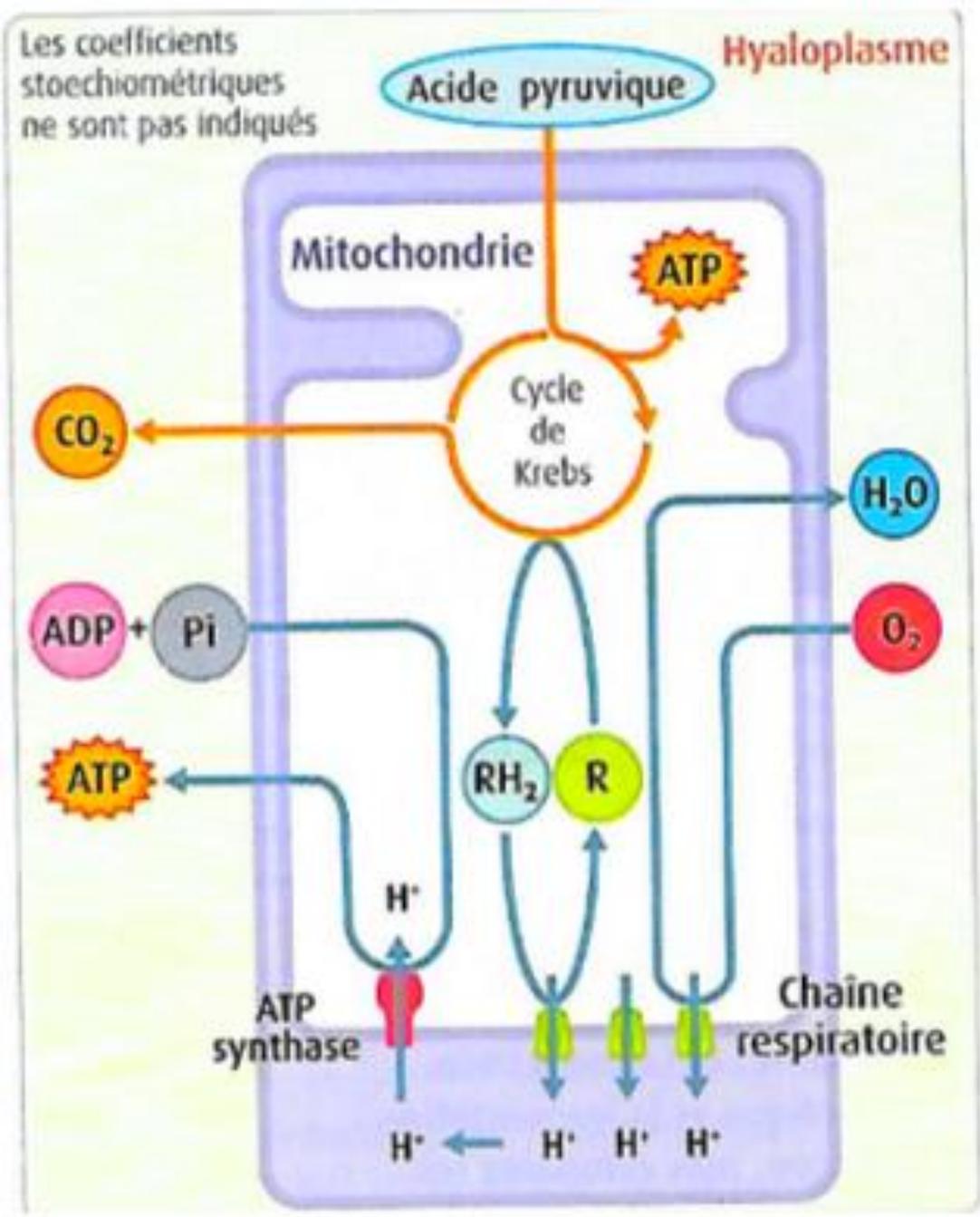




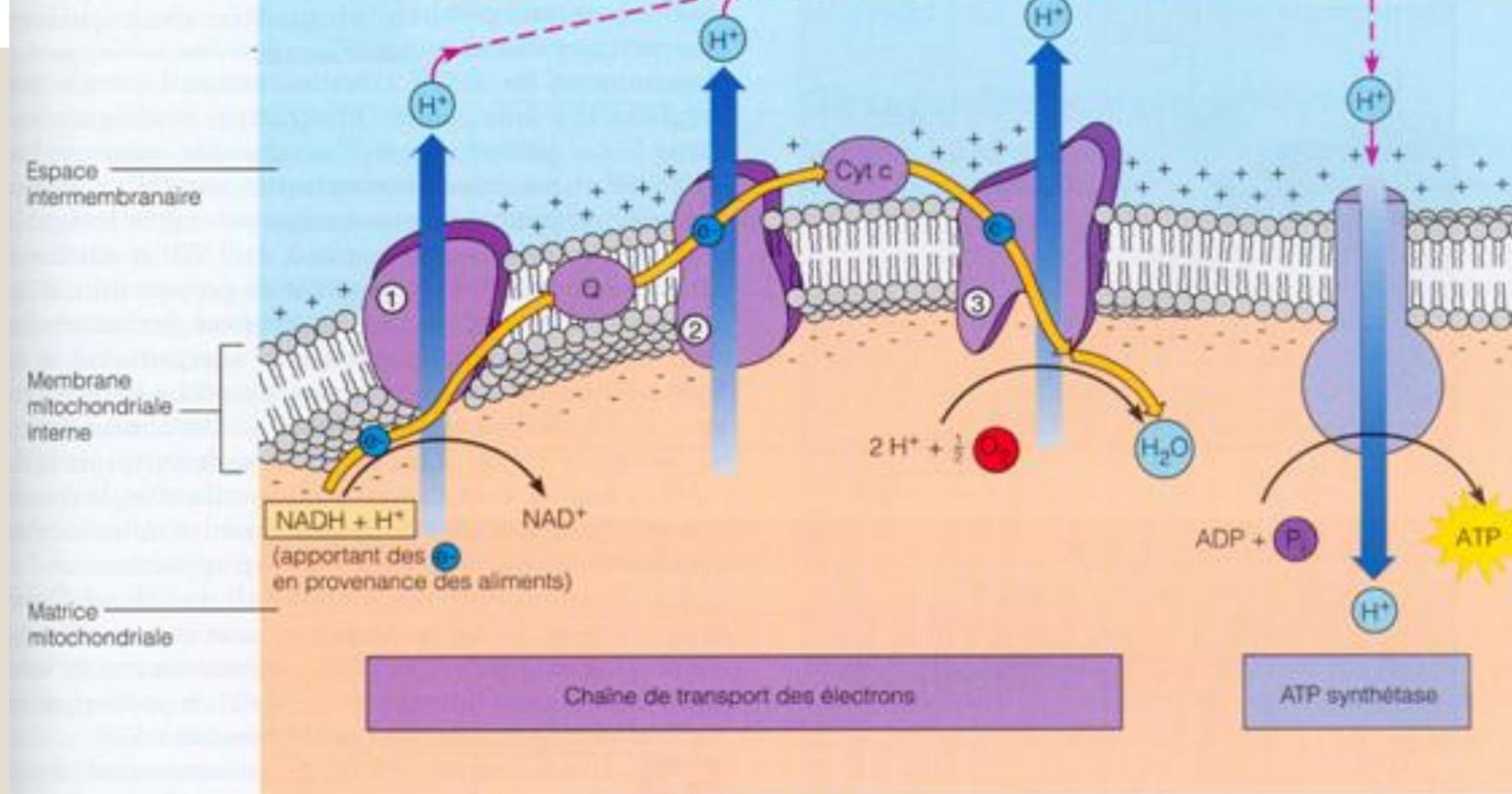
2 Localisation du cycle de Krebs dans la matrice mitochondriale.



1 Le fonctionnement de la chaîne respiratoire.



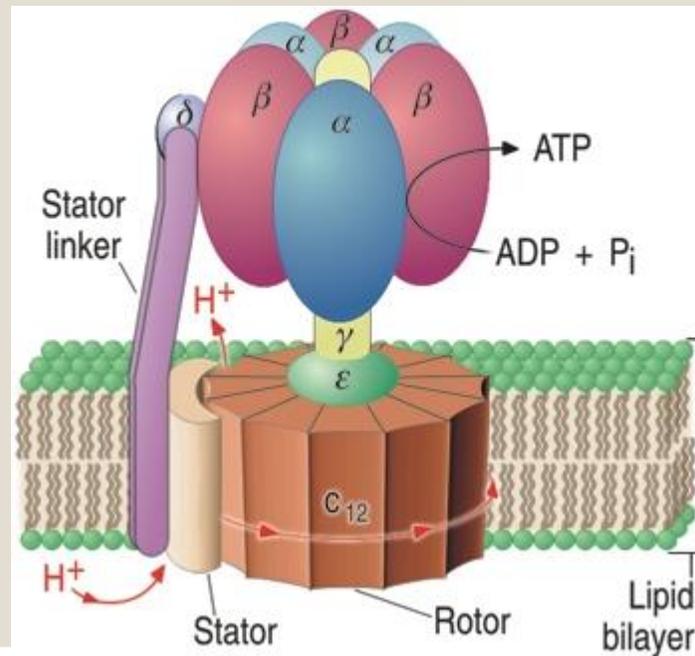
7 La synthèse d'ATP. L'énergie du flux d'électrons dans la chaîne respiratoire permet d'expulser des protons dans l'espace intermembranaire. Ces protons rejoignent la matrice en actionnant une ATP-synthase similaire à celle de la membrane des thylacoïdes, ce qui permet la synthèse d'ATP à partir d'ADP et Pi . En plus des 2 ATP produits pendant la glycolyse, la respiration permet ainsi de produire 36 ATP par molécule de glucose.



- Les composés $R'H_2$ du cycle de Krebs et de la glycolyse vont donner leurs électrons à des accepteurs d'électrons qui sont sur la membrane interne de la mitochondrie au niveau des crêtes mitochondriales. Les électrons sont transmis de proche en proche à des oxydants de la chaîne respiratoire. L'accepteur final d'électrons est le dioxygène qui est réduit en eau.
- Le flux d'électrons permet le passage d' H^+ dans l'espace intermembranaire. Le retour des protons dans la matrice se fait grâce à l'ATP synthase. Ce retour permet la formation d'ATP.
- Une molécule de glucose permet de produire 38 molécules d'ATP (2 glycolyse + 36 respiration mitochondriale)

Vidéo de la chaîne d'électrons dans la mitochondrie

- <https://www.youtube.com/watch?v=TLCnrUWwtrA>

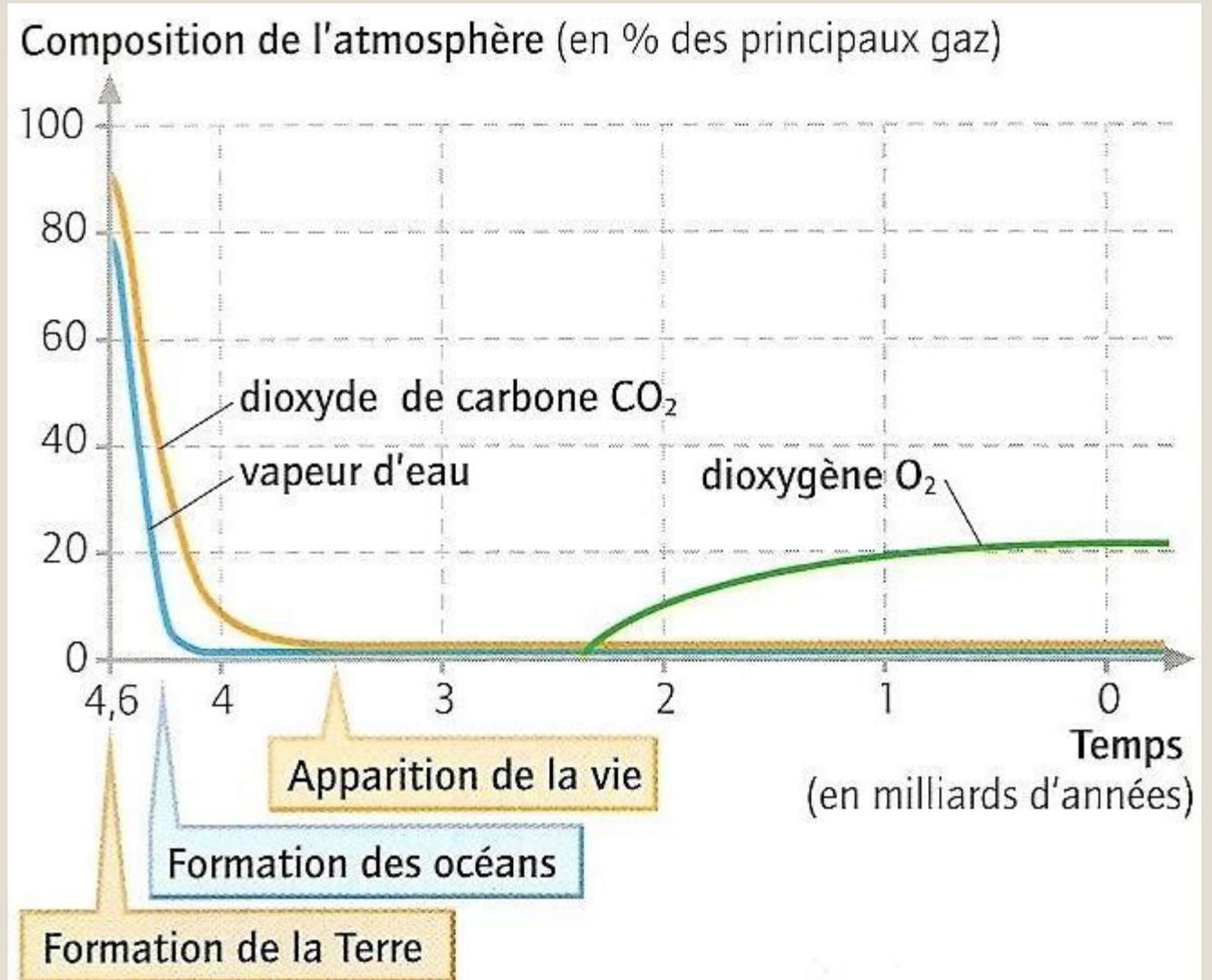


II. La fermentation, la seconde voie pour la production d'ATP

A. La fermentation alcoolique

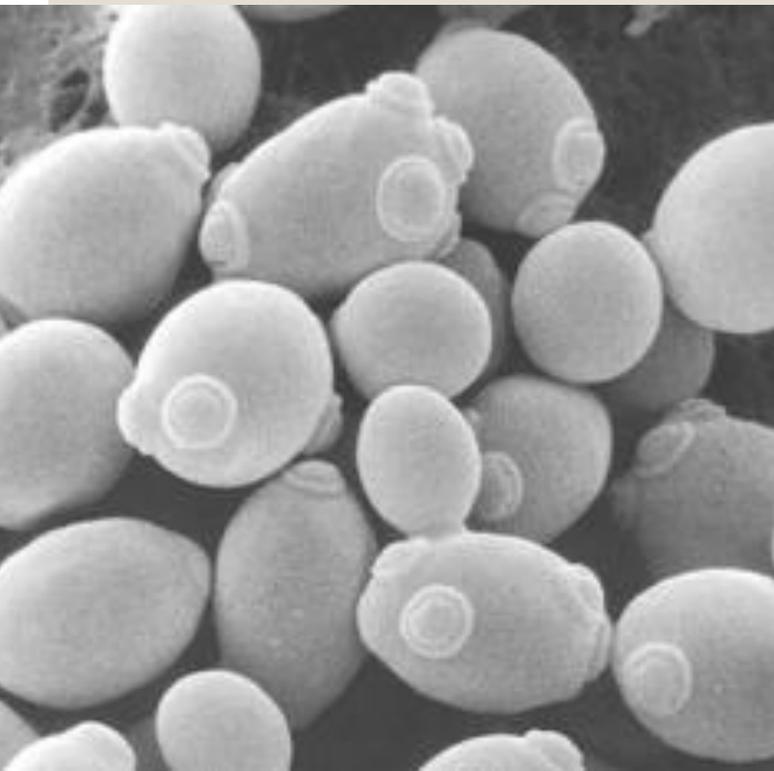
La respiration n'est pas indispensable à la vie. La vie a existé sur Terre bien avant que l'atmosphère ou l'eau ne soit enrichie en O_2 .

Il existe donc d'autres voies pour produire de l'énergie.



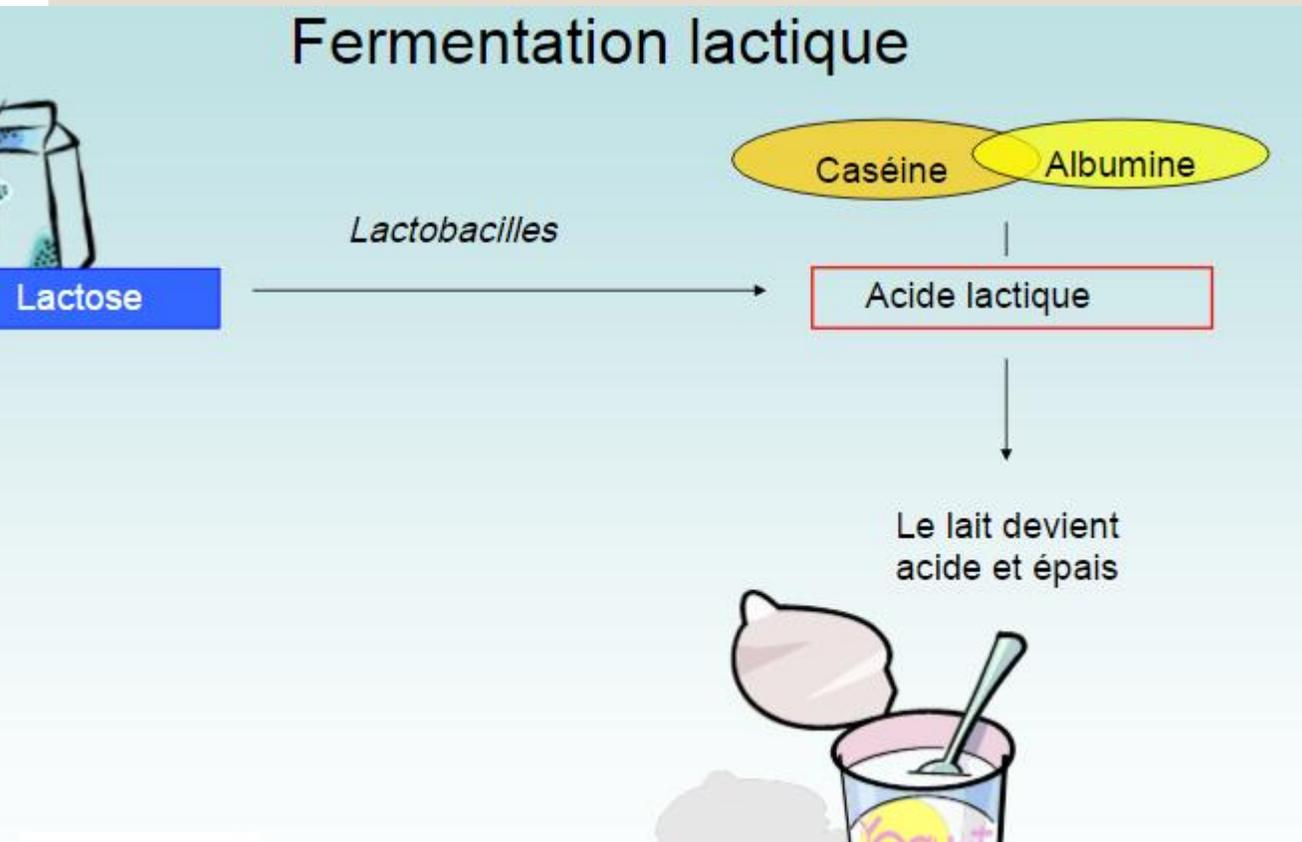
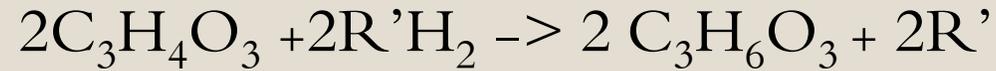
- En anaérobiose, c'est-à-dire en absence de dioxygène, certaines cellules oxydent le glucose de façon incomplète : on parle de fermentation. Toutes les étapes se déroulent dans le cytoplasme.
- La première étape de la fermentation est aussi la glycolyse. (2ATP produit)

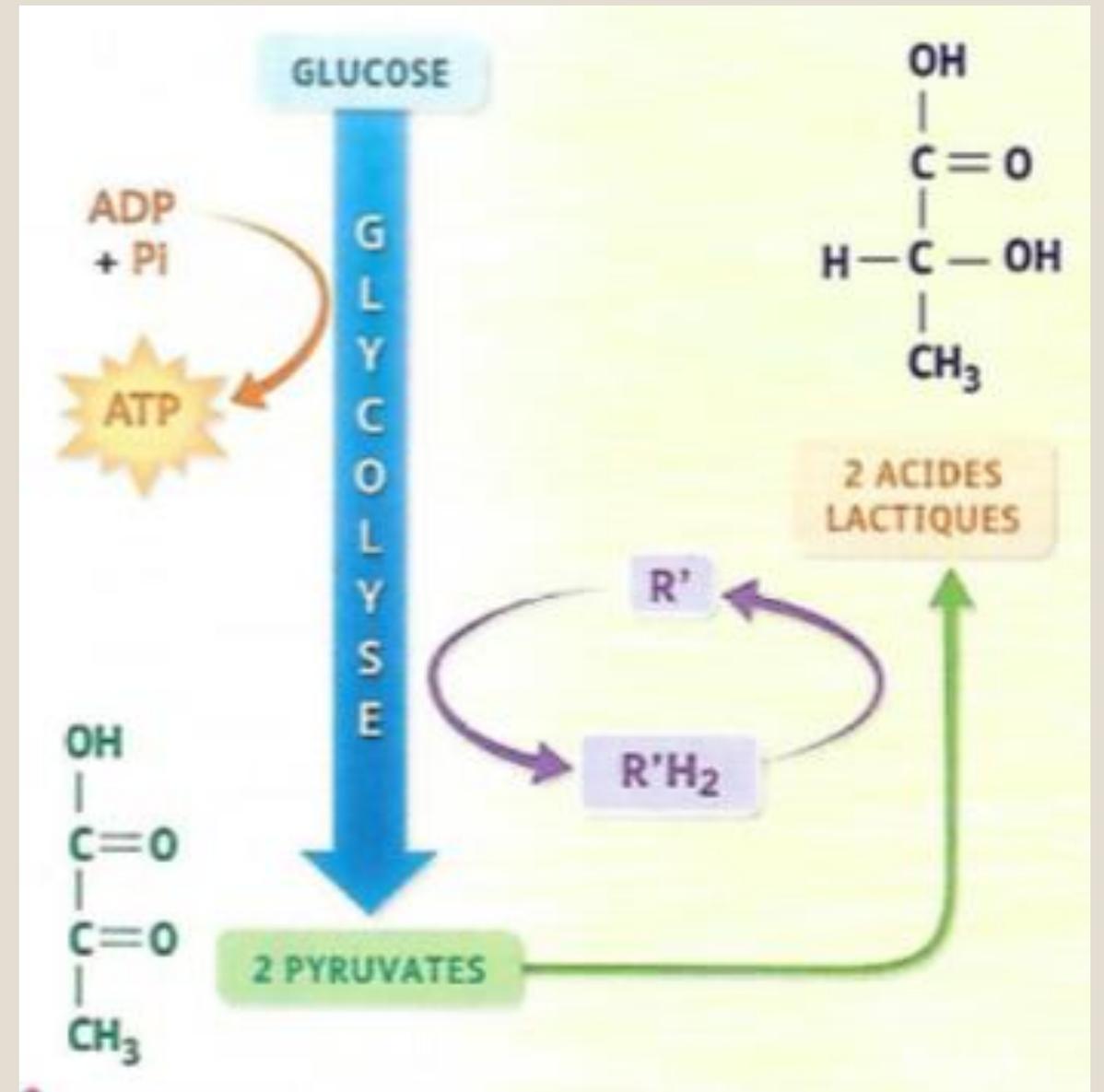
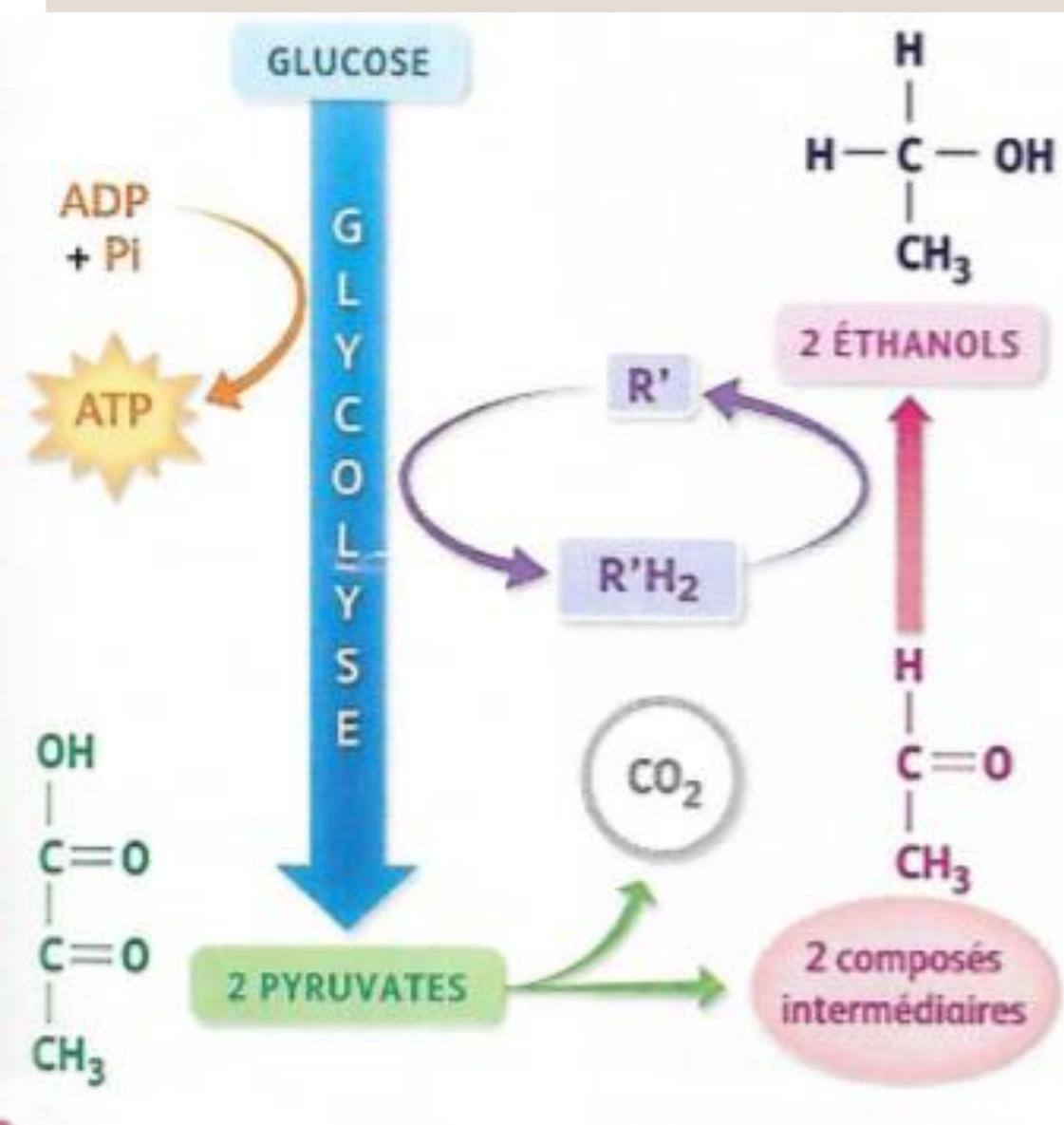
- Les levures de boulanger réalisent une fermentation alcoolique (éthylique).
- L'acide pyruvique issu de la glycolyse est partiellement dégradé en éthanol et CO₂. Cela produit des composés R' qui seront utilisés pour de future glycolyse. La deuxième étape est indispensable car elle entretient la glycolyse.



B. La fermentation lactique

Les bactéries lactiques réalisent la fermentation lactique ou les cellules musculaires. L'acide pyruvique est réduit en acide lactique et cela produit aussi des composés R'.





C. Un rendement faible pour la fermentation

Au cours des fermentations, seule la glycolyse permet la production d'ATP. Les étapes qui permettent la régénération des composés R' ne produisent pas d'ATP.

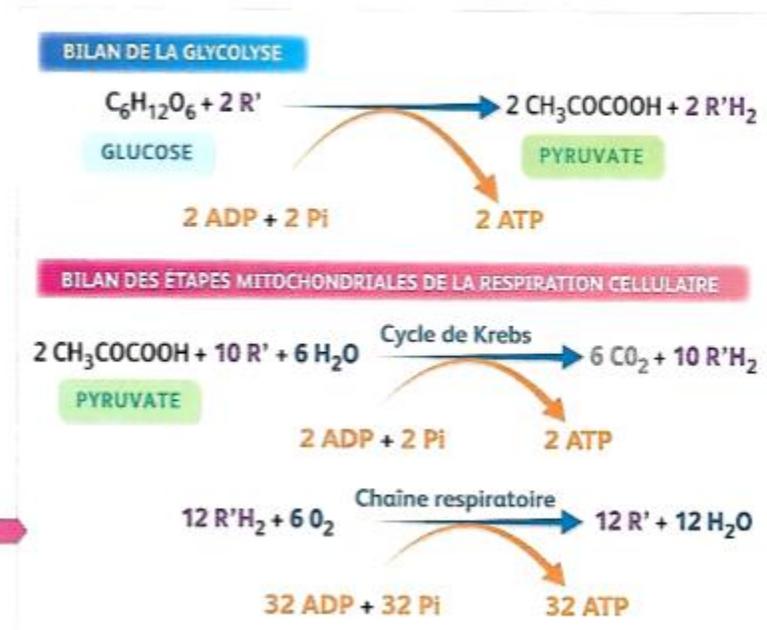
L'oxydation incomplète d'une molécule de glucose en anaérobiose permet donc de produire seulement 2 ATP.

3 Comparaison des rendements énergétiques

On compare le nombre de molécules d'ATP synthétisées par molécule de glucose dégradée dans le cas de la respiration et dans le cas de la fermentation afin d'établir le **rendement énergétique**.

Le glucose possède une énergie chimique de 2 840 kJ par mole et l'ATP de 30,5 kJ par mole.

La production d'ATP lors des différentes étapes.
Il n'y a aucune production d'ATP lors de la transformation du pyruvate en éthanol ou en acide lactique.



III. Comparaison respiration / fermentation

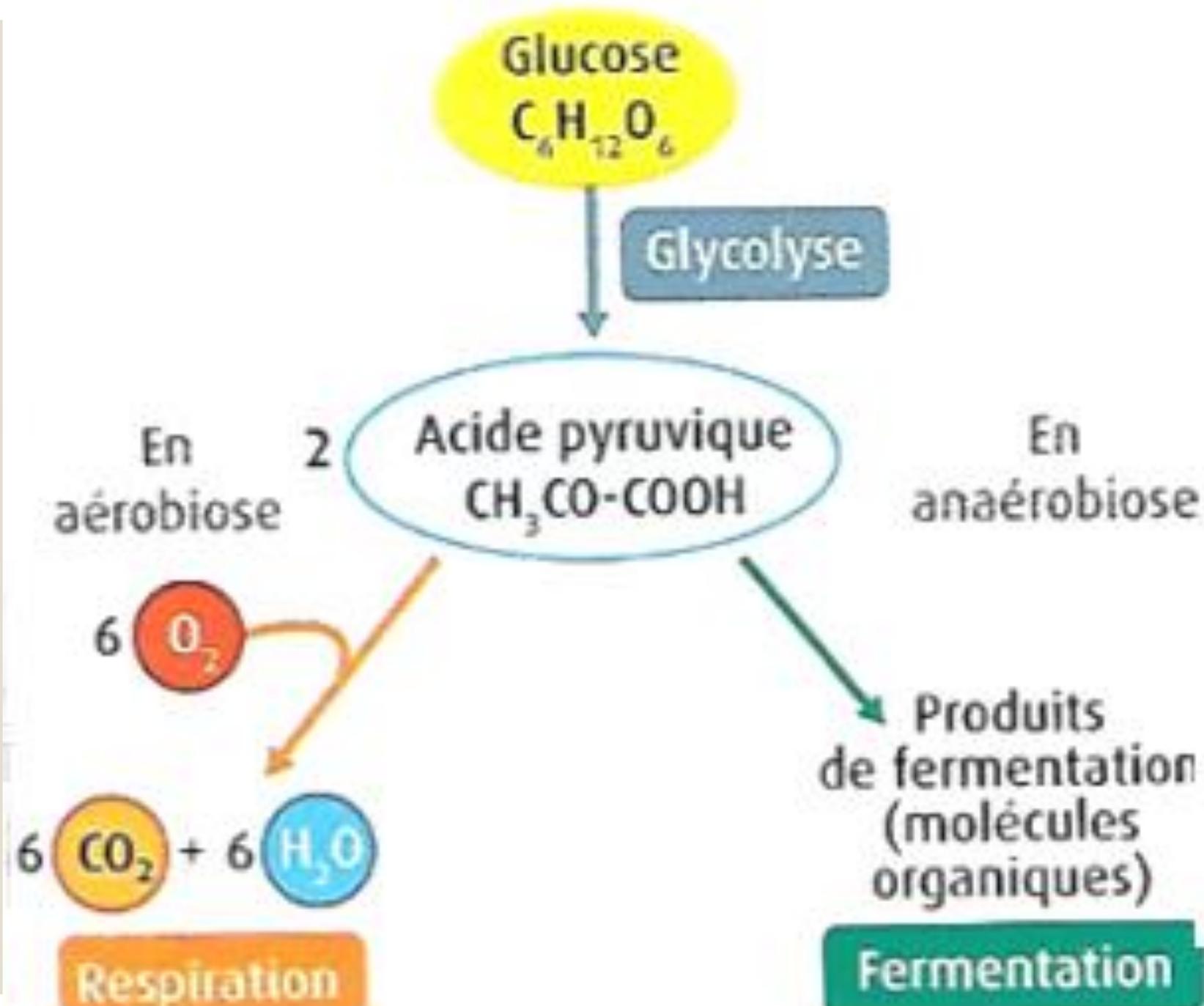
En aérobiose, le rendement énergétique est de 40%, en anaérobiose le rendement énergétique est de 2%

R'H₂ formé	Respiration	Fermentation
Lors de la glycolyse	2	2
Lors du cycle de Krebs	10	
Total	12	2

ATP Formé		Respiration	Fermentation
Lors de la glycolyse	Localisation	Cytoplasme, matrice	Cytoplasme
	Quantité	4	2
A partir du R'H2	Localisation	ATP synthase mitochondriale	cytoplasme
	Quantité	34	0
Total		38	2

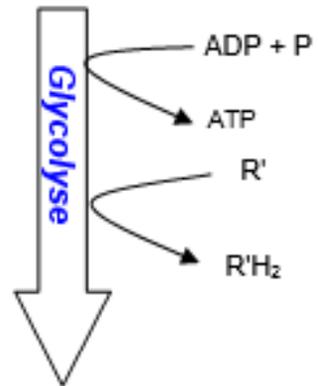
Conclusion :

- La plupart des cellules eucaryotes (y compris les cellules chlorophylliennes) respirent : à l'aide de dioxygène, elles oxydent la matière organique en matière minérale. La mitochondrie joue un rôle majeur dans la respiration cellulaire.
- L'oxydation du glucose comprend la glycolyse (dans le cytoplasme) puis le cycle de Krebs (dans la mitochondrie) : dans leur ensemble, ces réactions produisent du CO_2 et des composés réduits $\text{R}'\text{H}_2$.
- La chaîne respiratoire mitochondriale permet la réoxydation des composés réduits ainsi que la réduction du dioxygène en eau. Certaines cellules eucaryotes réalisent une fermentation. L'utilisation fermentaire d'une molécule de glucose produit beaucoup moins d'ATP que lors de la respiration.

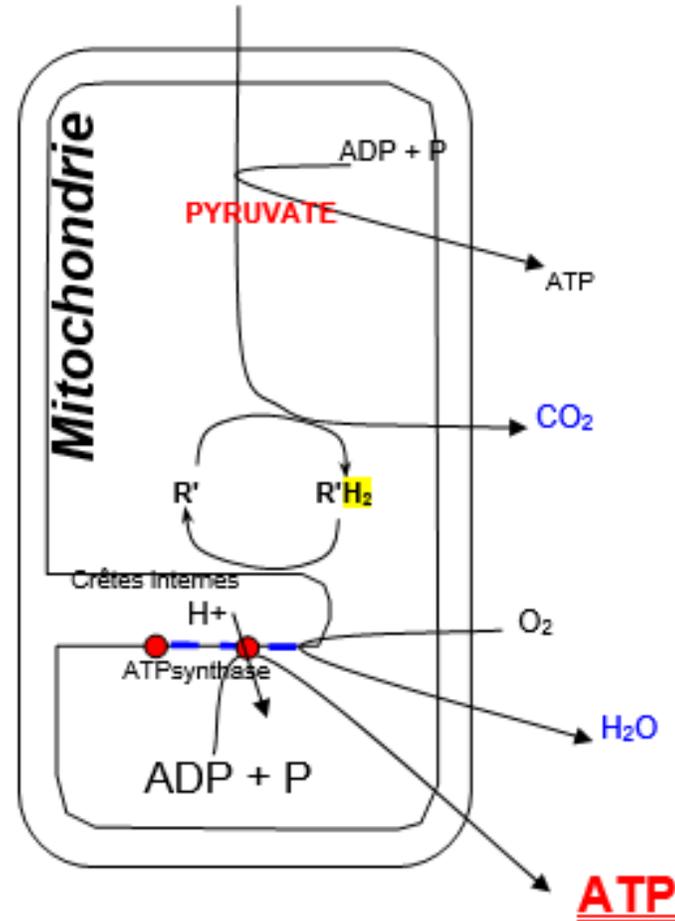


cytoplasme

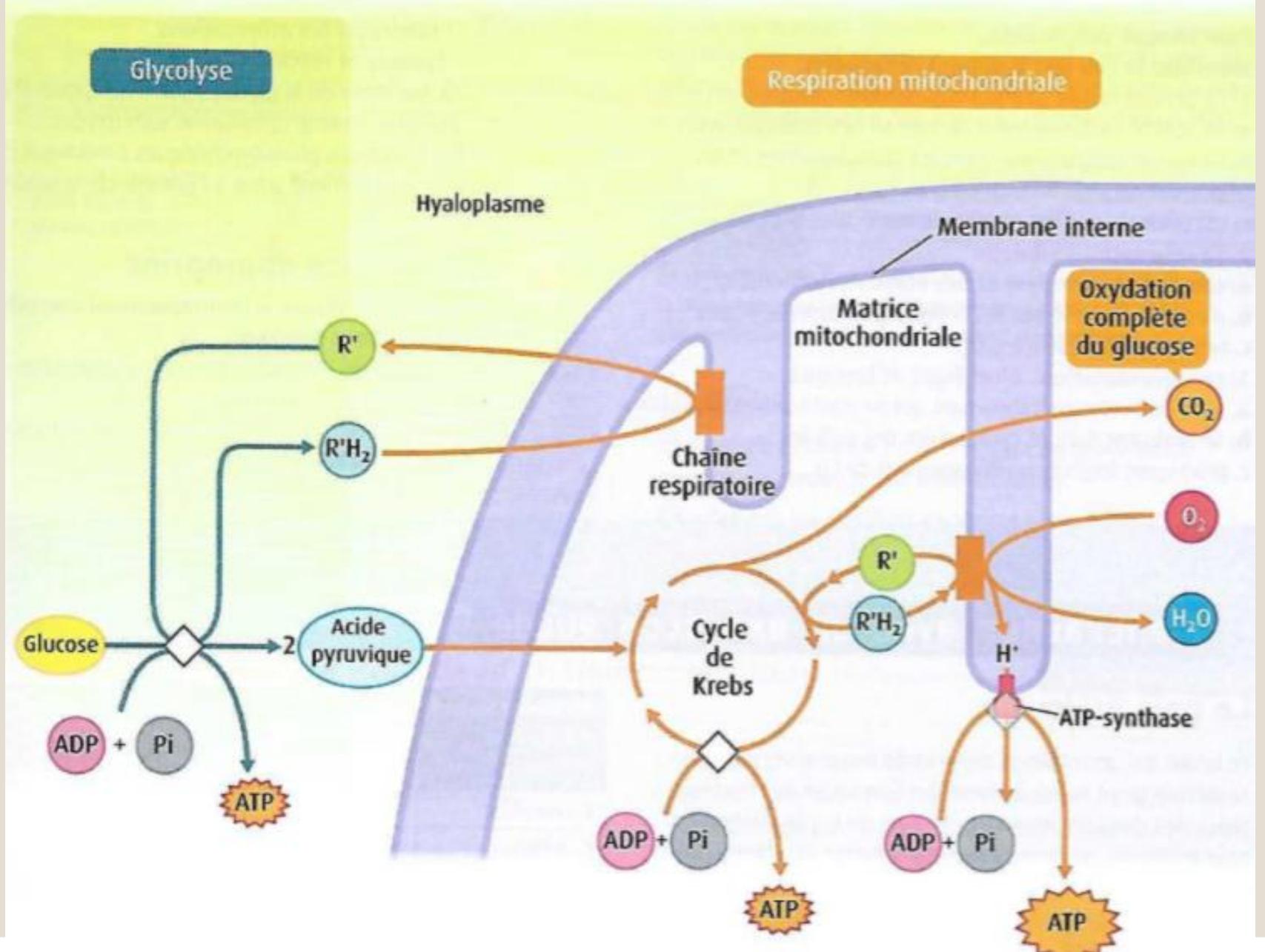
GLUCOSE



PYRUVATE



Glycolyse, respiration et production d'ATP en conditions aérobie



Glycolyse, fermentation et production d'ATP en conditions anaérobies

