

Unité 1 : Consommation de la matière organique et flux d'énergie

Chapitre 1 : Les réactions responsables de la libération de l'énergie de la matière organique au niveau de la cellule

☑ Introduction :

Les cellules vivantes utilisent la matière organique pour libérer l'énergie nécessaire à leurs activités. Cette énergie est stockée sous forme d'ATP (Adénosine triphosphate), une molécule directement utilisable lors des métabolismes cellulaires, qui est renouveler en permanence.

Ce chapitre vise à :

- Connaître les réactions essentielles qui permettent la production de l'ATP au cours de la respiration et de la fermentation.
- Connaître les structures cellulaires responsables de la production de l'ATP.
- Déterminer le bilan énergétique de la respiration et de la fermentation.
- Comparer les rendements énergétiques de la respiration et de la fermentation.

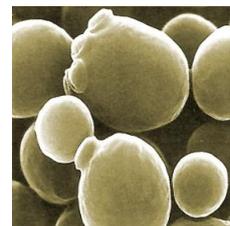
I- Les réactions libératrices de l'énergie cellulaire :

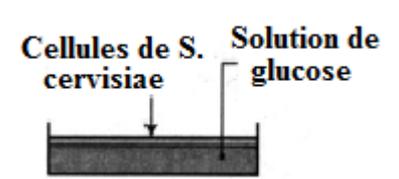
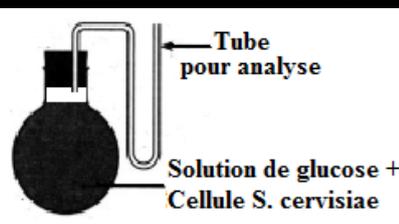
1- Mise en évidence de ces réactions :

Activité 1 :

Les levures sont des champignons unicellulaires non photosynthétiques. Ils tirent leur énergie, comme tous les hétérotrophes, de la matière organique qu'ils dégradent afin de régénérer leurs molécules énergétiques (l'ATP), par un métabolisme respiratoire ou fermentaire.

La *Saccharomyces cerevisiae* est l'un de ces levures qui utilise ces deux voies métaboliques selon les conditions du milieu de vie. Afin de connaître ces voies, on propose les données qui suivent :



Document 1	Milieu de culture 1	Milieu de culture 2
Conditions expérimentales On utilise la même quantité de champignon et de glucose dans les deux milieux	 On note la production du CO ₂ et H ₂ O dans le milieu	 On note la production du CO ₂ et de l'éthylène C ₂ H ₅ OH
Evolution du poids vivant	+0,6 g	+ 0,02 g
Quantité de glucose utilisée par gramme de levure produit	4 g	150 g

1- Comparez les résultats obtenus dans les deux milieux expérimentaux.

2- Sachant que les deux voies en question sont la respiration et la fermentation alcoolique, déduisez la voies énergétique utilisée dans chaque milieu.

(?) Milieu anaérobie est un milieu où il n'y a pas présence d'oxygène sous forme d'O₂. Par opposition au milieu aérobie où il y a présence d'O₂.

Réponses :

1- Dans le premier milieu (milieu aérobie) on remarque une évolution importante du poids de la levure (+ 0,6g) par rapport à la faible augmentation du poids vivant dans le deuxième milieu (anaérobie) qui ne dépasse pas 0,02g.

La quantité de glucose consommée dans le milieu 2 dépasse de beaucoup celle consommée dans le milieu 1 (respectivement 150 g et 4 g).

2- Les champignons du milieu 1 utilisent la respiration cellulaire pour produire l'énergie, car elles se trouvent dans un milieu aérobie ouvert où l'O₂ est disponible et on remarque la production de CO₂ et H₂O spécifique aux réactions respiratoires.

Tandis que les champignons du milieu 2 utilise la fermentation alcoolique car, se trouvant dans un milieu fermé, elles ne disposent pas d'O₂, et on note la production d'éthylène qui est un alcool résultat de la dégradation incomplète du glucose.

Deux processus cellulaires permettent principalement la production d'énergie: il s'agit de la **respiration** et de la **fermentation**.

a. La **respiration** est un phénomène réalisé dans un milieu contenant du dioxygène (milieu aérobie), par la consommation de glucose et la production de dioxyde de carbone (CO₂). Il permet la production d'une grande quantité d'énergie utilisable par la cellule suivant la réaction :



b. La **fermentation** est un phénomène réalisé sans consommation de dioxygène (O₂) lorsque le milieu n'en contient pas (milieu anaérobie) ou dans le cas de certaines levures qui n'ont pas la capacité de respirer. La fermentation permet aussi la consommation de glucose afin de produire une faible quantité d'énergie. On distingue :

- La **fermentation lactique** réalisée, entre autre, par certaines bactéries lactiques et fibres musculaires, aboutit à la production d'acide lactique (CH₃-CHOH-COOH) suivant la réaction :



- La **fermentation alcoolique** permettant la production de dioxyde de carbone et de molécules organiques (l'éthanol CH₃-CH₂OH dans le cas des levures) suivant la réaction :



L'éthanol et l'acide lactique étant deux molécules organiques, elles contiennent de l'énergie potentielle.

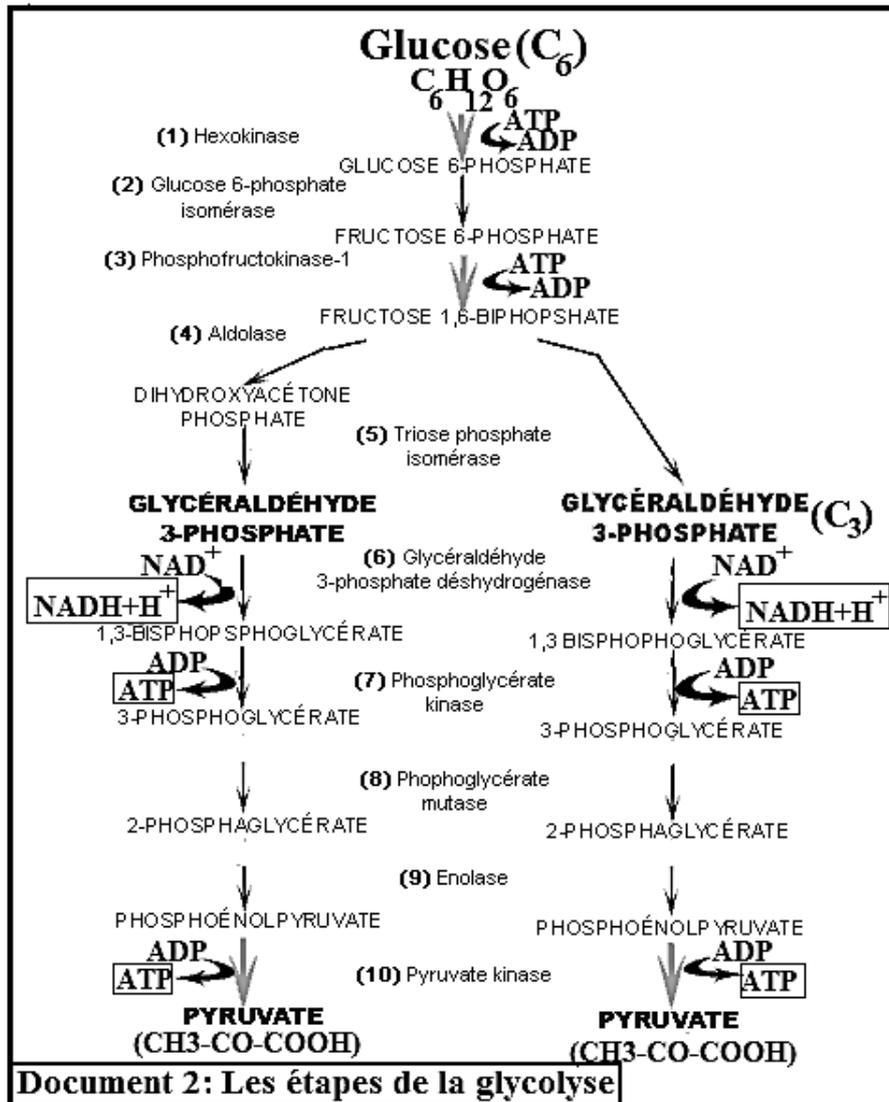
2- La Glycolyse au niveau du hyaloplasme (cytosol des cellules) :

La respiration et la fermentation commencent par la même phase de dégradation du glucose (matière organique) appelé « Glycolyse ».

(?) Le hyaloplasme est le liquide dans lequel baignent les organites à l'intérieur de la cellule.

✎ Activité 2 :

Le document suivant présente les étapes de la glycolyse :



☑ D'après ce document déduisez :

- 1- Le bilan énergétique de la glycolyse.
- 2- La réaction bilan de la glycolyse.

Réponse :

1- Le bilan énergétique est + 2.ATP (+4.ATP – 2.ATP)

2- La réaction bilan de la glycolyse :



Au cours de la glycolyse le glucose ($C_6H_{12}O_6$) absorbé est oxydé en acide pyruvique aussi dit pyruvate ($CH_3-CO-COOH$) en absence de dioxygène.

Ces réactions d'oxydoréduction permettent, pour chaque molécule de glucose consommée la formation de :

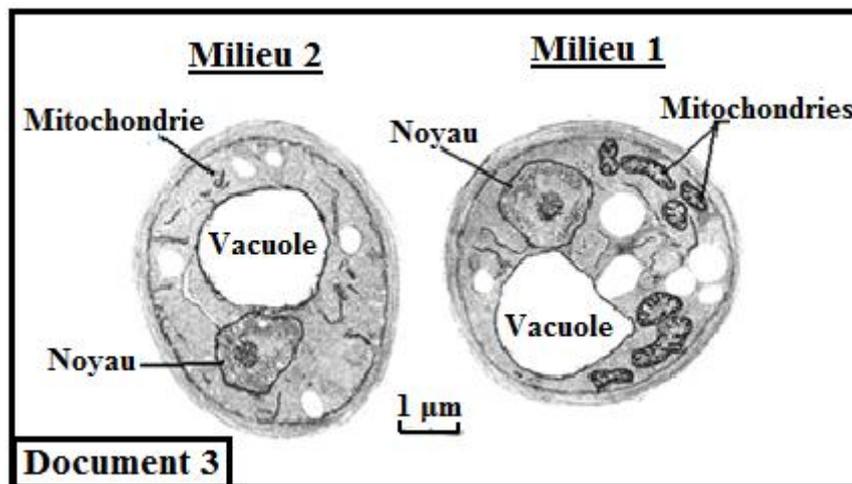
- Deux molécules de pyruvate ($CH_3-CO-COOH$),
- Deux molécules d'ATP suite à la phosphorylation de deux molécules d'ADP en ATP ($ADP + Pi \rightarrow ATP$).
- Deux molécules réduits de ($NADH+H^+$) suite à la réception des électrons et les protons libérés du glucose par les transporteurs NAD^+ ($NAD^+ + 2.H^+ + 2.e^- \rightarrow NADH+H^+$).

On retient le bilan réactionnel de la glycolyse suivant :



Activité 3 :

Le document 3 représente l'image des cellules de *S. cerevisiae* (L'activité 1) :



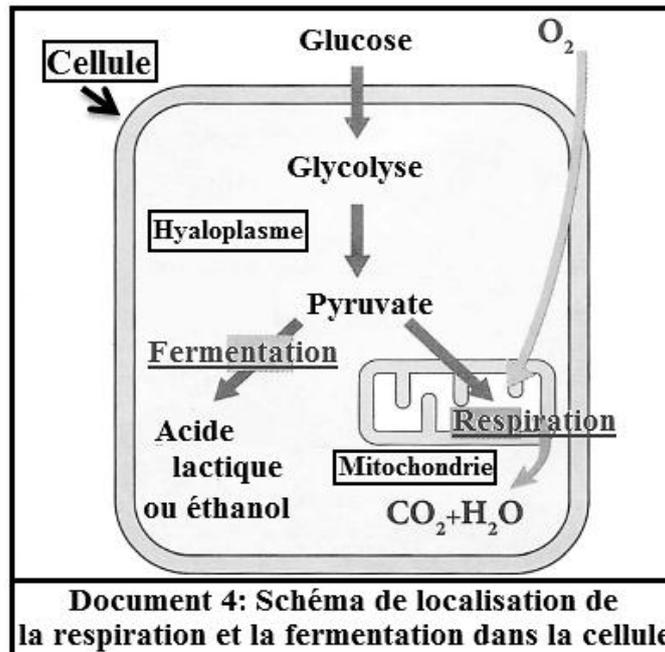
- Comparez l'aspect des deux cellules, puis déduisez l'organe intervenant dans les réactions responsables de la production d'énergie dans les conditions du milieu 1.**

(?) Organite= Chacun des éléments présent dans le cytoplasme d'une cellule (exp : noyau).

Réponse :

Les deux cellules sont formées par les mêmes éléments et ont un aspect semblable, cependant on remarque l'abondance de mitochondrie dans les cellules issues du milieu 1 (aérobie), ces mitochondries ont un volume plus grand que ceux dans les cellules du milieu 2.

On déduit que la mitochondrie est l'organe qui intervient dans les réactions de respiration cellulaire.



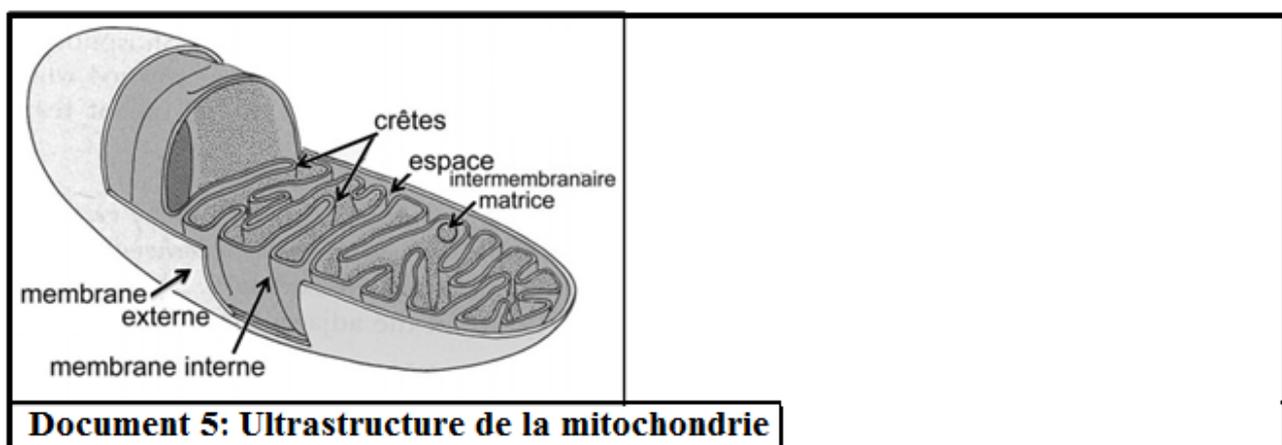
3- Les oxydations respiratoires au niveau de la mitochondrie :

L'oxydation respiratoire est l'ensemble des réactions biochimiques permettant la dégradation de l'acide pyruvique (oxydation). Ces réactions se situent dans la mitochondrie.

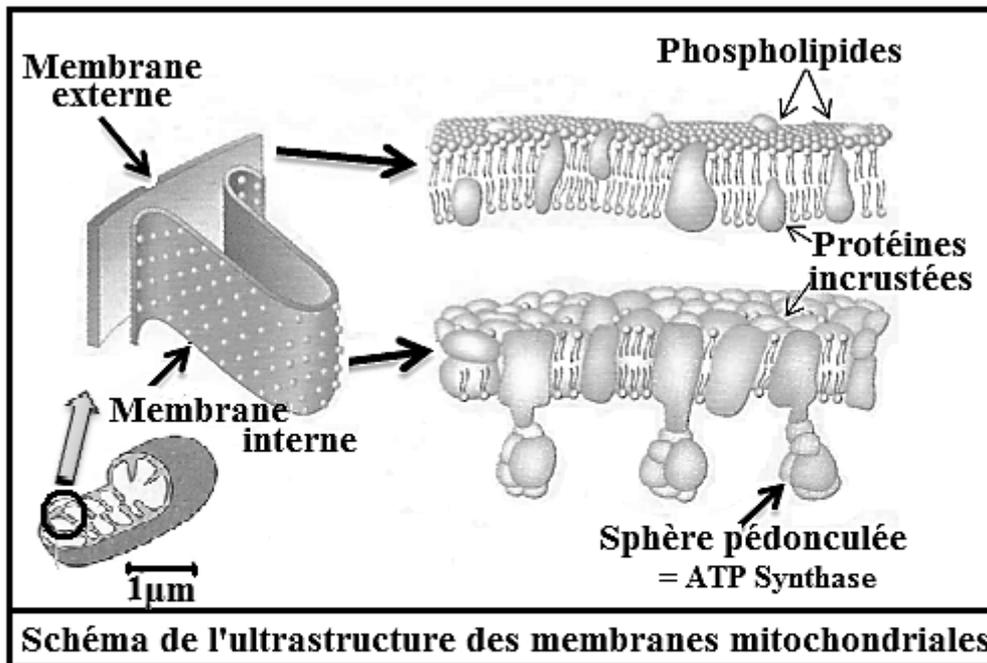
a. La mitochondrie est un organelle cellulaire eucaryote, de forme ovoïde, délimitée du cytoplasme par deux membranes superposées :

- Une membrane externe, où la présence de protéines en forme de canaux permet le passage de molécules;
- Une membrane interne, repliée de telle façon à créer de nombreuses crêtes qui augmentent la surface de la membrane sans augmenter le volume de la mitochondrie. C'est sur cette membrane que sont localisées les chaînes respiratoires et les ATPsynthases. L'espace interne délimité par cette membrane est nommé matrice.

Activité 4 :



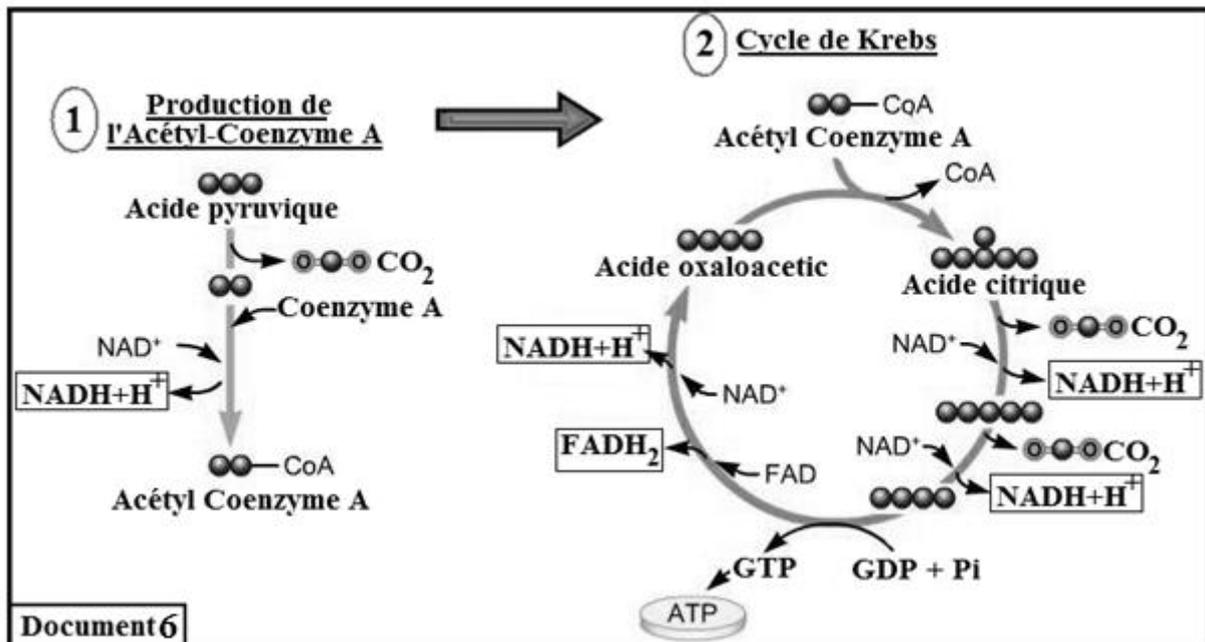
- Dessinez un schéma simplifié d'une mitochondrie.**



La membrane externe a une composition semblable à la membrane plasmique avec 62% de protéines et 38 de lipides.
La membrane interne est composée de 80% de protéines et 20% de lipides, et se caractérise par la présence d'ATP synthase.

b. La dégradation de l'acide pyruvique :

✎ Activité 5 :



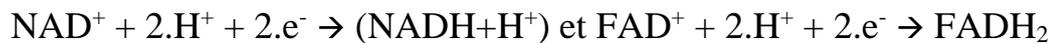
- ☑ Dédisez du document 6 le bilan réactionnel de la dégradation d'un acide pyruvique dans la matrice de la mitochondrie.

La dégradation de l'acide pyruvique se déroule en deux étapes majeures :

- **La Formation de l'acétyl-Coenzyme A :** Cette réaction est catalysée par un complexe multienzymatique permettant la décarboxylation et la déshydrogénation du pyruvate, et fait intervenir un NAD^+ et la coenzyme A (CoA), suivant la réaction :

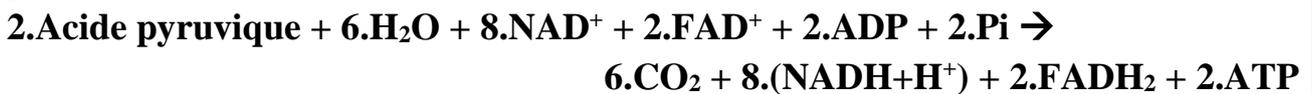


- **Le cycle de Krebs :** L'acétyle va subir une décarboxylation et une oxydation au cours d'un ensemble de réactions chimiques appelé « cycle de Krebs ». Au terme de chaque cycle de Krebs, de nouveaux composés ($\text{NADH} + \text{H}^+$ et FADH_2) réduits apparaissent selon les réactions :



Le CO_2 est libéré et une molécule d'ATP est synthétisée à partir d'une molécule proche, la GTP.

Puisque chaque molécule de glucose forme deux molécules de pyruvate, on retient le bilan réactionnel suivant concernant la dégradation totale que subit le pyruvate dans la matrice mitochondriale :



Les composés réduits conservent une grande quantité d'énergie, ils doivent être réoxydés pour que la production d'ATP perdure, c'est ce qui se produit au niveau de la chaîne respiratoire située sur la membrane interne de la mitochondrie, suite à une série de réaction nommée **phosphorylation oxydative**.

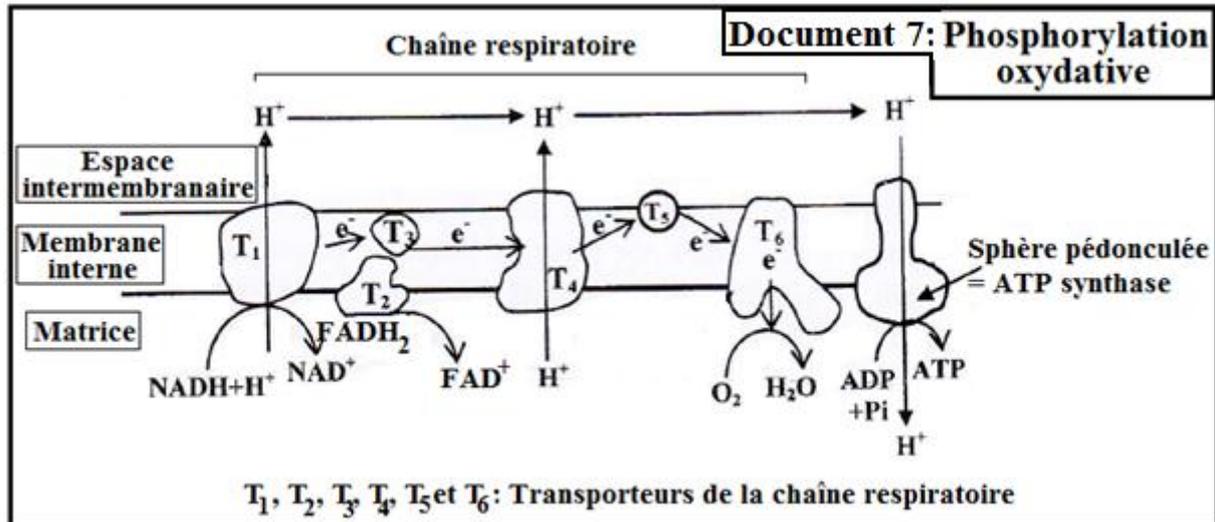
4- La phosphorylation oxydative :

La **chaîne respiratoire** correspond à une association de transporteurs (complexes) protéiques présents au sein de la membrane interne de la mitochondrie, elle est responsable, avec l'ATP synthétase (une pompe ionique appelé aussi ATP synthase), de la phosphorylation oxydative.

L'énergie contenue dans le $\text{NADH} + \text{H}^+$ et le FADH_2 est convertie en ATP dans la mitochondrie. Ces composés réduits cèdent leurs deux électrons à la chaîne respiratoire qui, par une cascade de réactions d'oxydo-réduction, amène ces électrons jusqu'à l'accepteur final, l'oxygène moléculaire.

Les $\text{NADH} + \text{H}^+$ et le FADH_2 cèdent aussi leurs protons H^+ , ces protons sont expulsés de la matrice vers l'espace intermembranaire (au niveau des transporteurs 1 et 4), la membrane interne étant imperméable aux ions H^+ , un gradient de protons se forme de part et d'autre de cette membrane (La matrice devient plus basique et l'espace

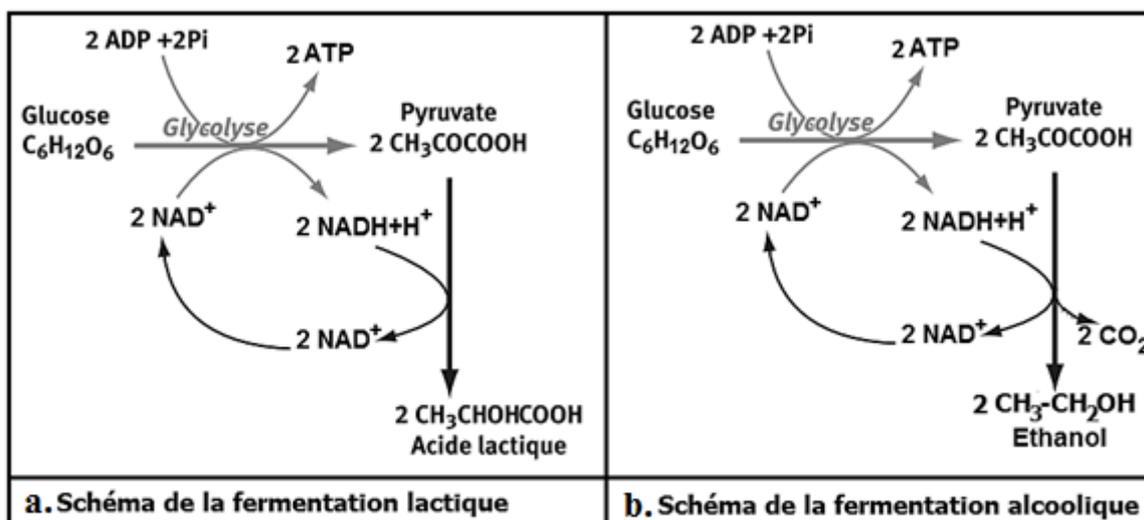
inter-membranaire plus acide). Lorsque les protons retournent vers la matrice par l'ATP synthase, ce dernier catalyse la réaction de **phosphorylation** de l'ADP. L'ATP est ainsi synthétisée suivant la réaction : $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$.



Les protons et les électrons se retrouvent dans la matrice au niveau du dernier complexe de la chaîne respiratoire (T₆), qui capte l'O₂ et catalyse la réaction de sa **réduction** en eau suivant la réaction : $\frac{1}{2} \cdot \text{O}_2 + 2 \cdot \text{H}^+ + 2 \cdot \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$.

5- Les Principales phases de la fermentation :

La fermentation débute par la glycolyse, ensuite l'acide pyruvique produit est transformé différemment selon le type de fermentation, ainsi lors de la fermentation lactique, le pyruvate est réduit en acide lactique dans le cytosol. Et lors de la fermentation alcoolique, le pyruvate est réduit en éthanol dans le cytosol.



Document 8

Ces réactions chimiques permettent la régénération des composés NAD^+ réduits lors de la glycolyse sans production supplémentaire d'énergie, et l'oxydation de la molécule de glucose y est incomplète.

II- Comparaison du bilan énergétique de la respiration et de la fermentation :

1- Calcul du nombre d'ATP et du rendement :

Activité 6 :

Des mesures ont permis de déduire que l'oxydation d'un $\text{NADH}+\text{H}^+$ conduit à la formation de 3.ATP, tandis que celle d'un FADH_2 conduit à la formation de deux ATP.

1- Calculer le nombre d'ATP formée suite à la dégradation d'une molécule de glucose par la voie aérobie (respiration cellulaire).

L'analyse moléculaire a montré que l'oxydation d'une molécule de glucose libérait 2830kJ tandis que l'hydrolyse d'une molécule d'ATP en $\text{ADP}+\text{P}_i$ libérait 30,5kJ.

2- Déterminez le rendement énergétique de la respiration et celui de la fermentation pour une cellule consommant une molécule de glucose.

3- Comparez ces rendements.

(?) **Rendement énergétique** : rapport entre la valeur énergétique produite et la valeur énergétique de la matière consommée pour cette production.

Résultats :

1- Pour chaque molécule de glucose consommée :		Respiration	Fermentation
Lieu dans la cellule	Phénomène s'y déroulant	Quantité d'ATP produite	Quantité d'ATP produite
Cytosol	Glycolyse	2	2
Matrice mitochondriale	Cycle de Krebs	2	-
Membrane interne	Phosphorylation oxydative	34	-
ATP total		38	2

2- Le rendement énergétique de la respiration : $(38 \times 30,5) \cdot 100 / 2830 = 40,95\%$

Le rendement énergétique de la fermentation : $(2 \times 30,5) \cdot 100 / 2830 = 2,15\%$

3- Le **rendement énergétique** est donc plus élevé dans le cas de la respiration (environ 40 %) que dans celui de la fermentation (environ 2 %), mais reste cependant relativement faible, une grande partie de l'énergie chimique des métabolites étant perdue sous forme de chaleur.

2- Schéma de synthèse des réactions libérant l'énergie cellulaire :

