

2024

# 2eme Bac Sciences PC

Cours



PR. FATHI Sara

## Introduction générale :

Les plantes chlorophylliennes produisent la matière organique (glucides, lipides et protéines) par la photosynthèse.

Pendant la phase éclairée de la photosynthèse, l'énergie lumineuse captée par les cellules végétales est transformée en une énergie chimique sous forme de molécules d'ATP (Adénosine Triphosphate) selon la réaction suivante :



Au cours de la phase obscure, l'énergie stockée dans les molécules d'ATP est utilisée dans les réactions de synthèse des substances organiques. Les cellules utilisent la matière organique d'une part pour renouveler leurs constituants, et d'autre part pour obtenir l'énergie nécessaire pour leur activité.

Puisque l'énergie utilisée par les cellules vivantes est sous forme d'ATP, il est nécessaire d'extraire l'énergie emmagasinée dans la matière organique pour donner l'ATP, ce dernier peut être utilisé dans tous les phénomènes nécessitant l'énergie, tels que le transport actif, le mouvement et les synthèses cellulaires.

- **Quels sont les phénomènes cellulaires qui permettent d'extraire l'énergie sous forme d'ATP à partir de la matière organique consommée ?**
- **Comment profite la cellule de l'ATP extrait ?**
- **Comment intervient la matière organique dans la construction de la matière vivante ?**

## Chapitre I : Libération de l'énergie emmagasinée dans la matière organique.

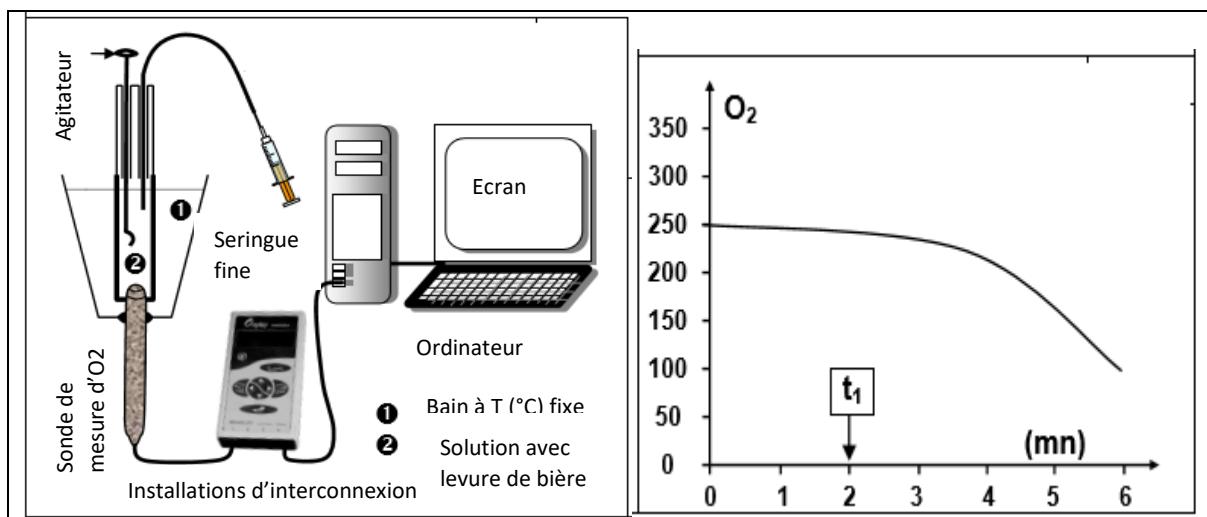
### **I- Détection des types de réactions responsables sur la libération de l'énergie emmagasinée dans la matière organique :**

#### **1- La respiration est un phénomène cellulaire responsable sur la destruction des aliments :**

##### **Figure 1 : Expérience.**

On expose une solution contenant des cellules de levure (10g/l) à l'aération par une pompe pendant 30 heures, on dépose 5ml de cette solution dans un bioréacteur du composé expérimental EXAO (Forme a). On suit l'évolution de la concentration de l'oxygène dissous dans le bioréacteur (2) : La sonde de mesure d'oxygène transmet des signaux électriques aux installations d'interconnexion qui les transforment en données numériques traitées par l'ordinateur qui les traduit en un graphe (Forme 2). On injecte au temps t1 dans le bioréacteur 0,1mL de la solution de glucose d'une concentration de 5%.

Décrivez l'évolution de la concentration d'oxygène dans le bioréacteur avant et après l'addition du glucose. Que déduisez-vous ?



Avant l'addition du glucose, on remarque que le pourcentage d'O<sub>2</sub> est stable, ce dernier diminue dans le milieu directement après l'ajout du glucose. On déduit de ces données que les cellules de levure de bière consomment l'O<sub>2</sub> pour assurer la glycolyse. Donc les cellules de levures respirent.

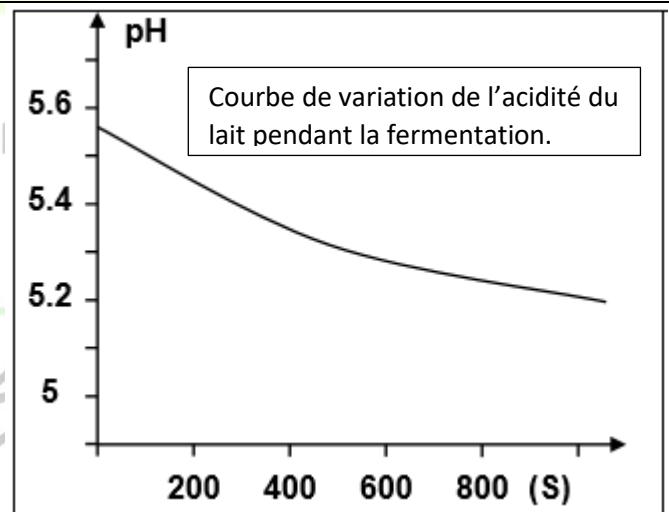
## 2- La fermentation et la destruction des aliments :

### a- La fermentation lactique :

**Figure 2 : La fermentation lactique.**

On déverse un échantillon du lait complet frais dans un bocal de 250 ml de volume. Le bocal doit être entièrement rempli pour chasser l'air (réaction anaérobique). On introduit dans le lait un pH-mètre qu'on lie au dispositif d'EXAO pour suivre le développement de l'acidité du lait pendant la fermentation (transformation du glucose composant le lactose en un acide lactique sans libération de CO<sub>2</sub>). La préparation est conservée pendant 15j à un degré de température adéquat (40°C), par la suite, on suit l'évolution de la valeur de pH grâce au dispositif d'EXAO. Les résultats obtenus sont dressés dans le graphe en face.

- Décrivez l'évolution de la courbe et déduisez la relation qui lie cette évolution à la glycolyse.



Après 15j à un degré de température adéquat (40°C), on observe une diminution de pH, c'est-à-dire, une augmentation de l'acidité du lait.

On déduit que le glucose composant le lactose a été détruit et transformé en un acide lactique en absence d'oxygène. C'est le phénomène de la fermentation lactique.

### b- La fermentation alcoolique :

**Figure 3 : La fermentation alcoolique.**

**- Protocole expérimental :** (Forme a)

- ✓ On dépose une solution de glucose dans une bouteille (5g/l).
- ✓ On cultive la levure dans la solution du glucose.
- ✓ On met la préparation dans l'eau portée à 37°C.

**- Résultats :**

- ✓ Diminution de la quantité de glucose dans le milieu.
- ✓ Libération de CO<sub>2</sub> dans le tube.
- ✓ Légère augmentation de la température.
- ✓ Apparition de l'alcool dans le milieu de culture (On détecte la présence d'alcool dans le milieu par la réaction illustrée dans la forme b).

- A partir de ces données expérimentales, comparez entre la fermentation lactique et la fermentation alcoolique.
- Comparez entre le phénomène de la respiration et celui de la fermentation.

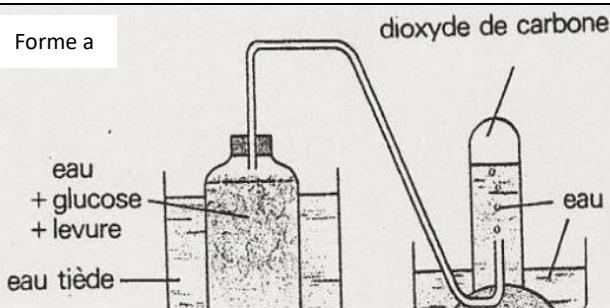
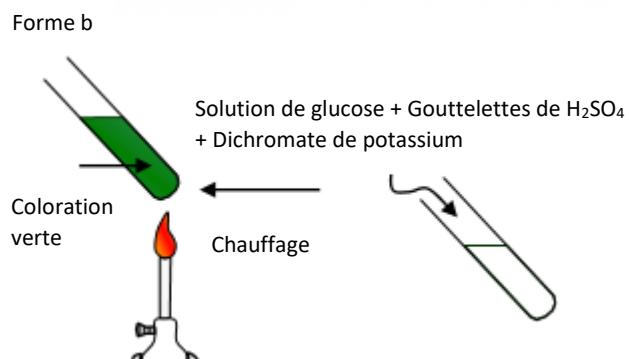


Schéma représentant le montage de la fermentation alcoolique



La coloration verte indique la présence d'alcool

- La fermentation lactique est un mode de fermentation (production d'énergie anaérobiose) qui, en présence de glucides et de bactéries spécifiques (les ferment lactiques), induit la formation d'acide lactique sans dégagement de CO<sub>2</sub> :



- La fermentation alcoolique est un processus biochimique par lequel des sucres (glucides, principalement le glucose) sont transformés en alcool (éthanol) dans un milieu liquide, privé d'air avec dégagement de CO<sub>2</sub> :



**c- Conclusion :**

Les cellules utilisent le glucose comme métabolite énergétique qui peut être convertie par deux méthodes différentes selon les conditions :

- **La respiration :** Dans un milieu aérobiose (riche en O<sub>2</sub>), le glucose est totalement converti en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O qui sont des substances minérales sans aucune valeur énergétique.

- **La fermentation :** Dans un milieu anaérobiose (absence d'O<sub>2</sub>), le glucose est partiellement détruit et converti en des substances organiques conservant l'énergie chimique.

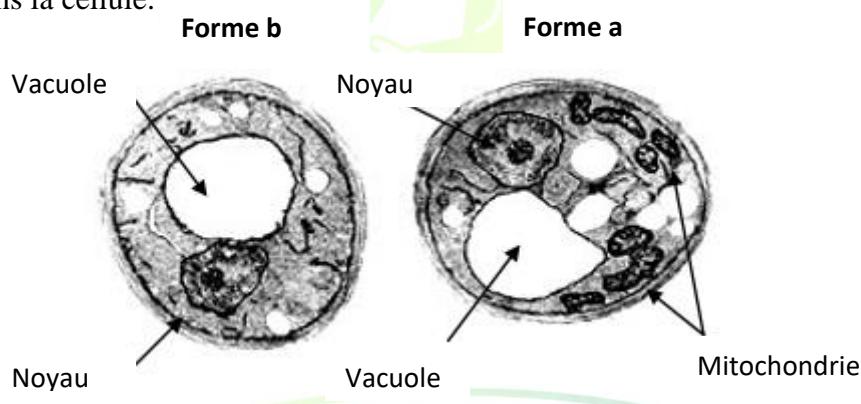
**II- Les phases de la glycolyse au niveau de l'hyaloplasme :**

## 1- Les structures cellulaires intervenant dans la respiration et la fermentation :

**Figure 4 :** Expérience.

- La levure de bière est un champignon microscopique unicellulaire qui peut vivre dans un milieu riche en oxygène (aérobie) comme il peut vivre dans un milieu pauvre en oxygène (anaérobie).
- Lorsque la levure est déposée dans un milieu aérobie contenant du glucose, on remarque qu'après un jour le nombre des levures se multiplient avec une diminution des quantités du glucose et d'O<sub>2</sub> et une augmentation des quantités de CO<sub>2</sub> et d'H<sub>2</sub>O dans le milieu. L'observation microscopique montre que les cellules de levure sont riches en des organites cellulaires appelés mitochondries (Forme a).
- Lorsque la levure est déposée dans un milieu anaérobie contenant du glucose, on remarque après un jour que le nombre des levures a relativement augmenté avec une diminution de la quantité de glucose et une augmentation de la quantité de CO<sub>2</sub> ainsi que la formation de l'éthanol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH dans le milieu. L'observation microscopique montre que les cellules de levure contiennent peu de mitochondries atrophiques (Forme b).

A partir de ces données expérimentales, précisez la relation entre la présence des mitochondries et du CO<sub>2</sub> dans la cellule en montrant le lieu de la fermentation et le la respiration dans la cellule.

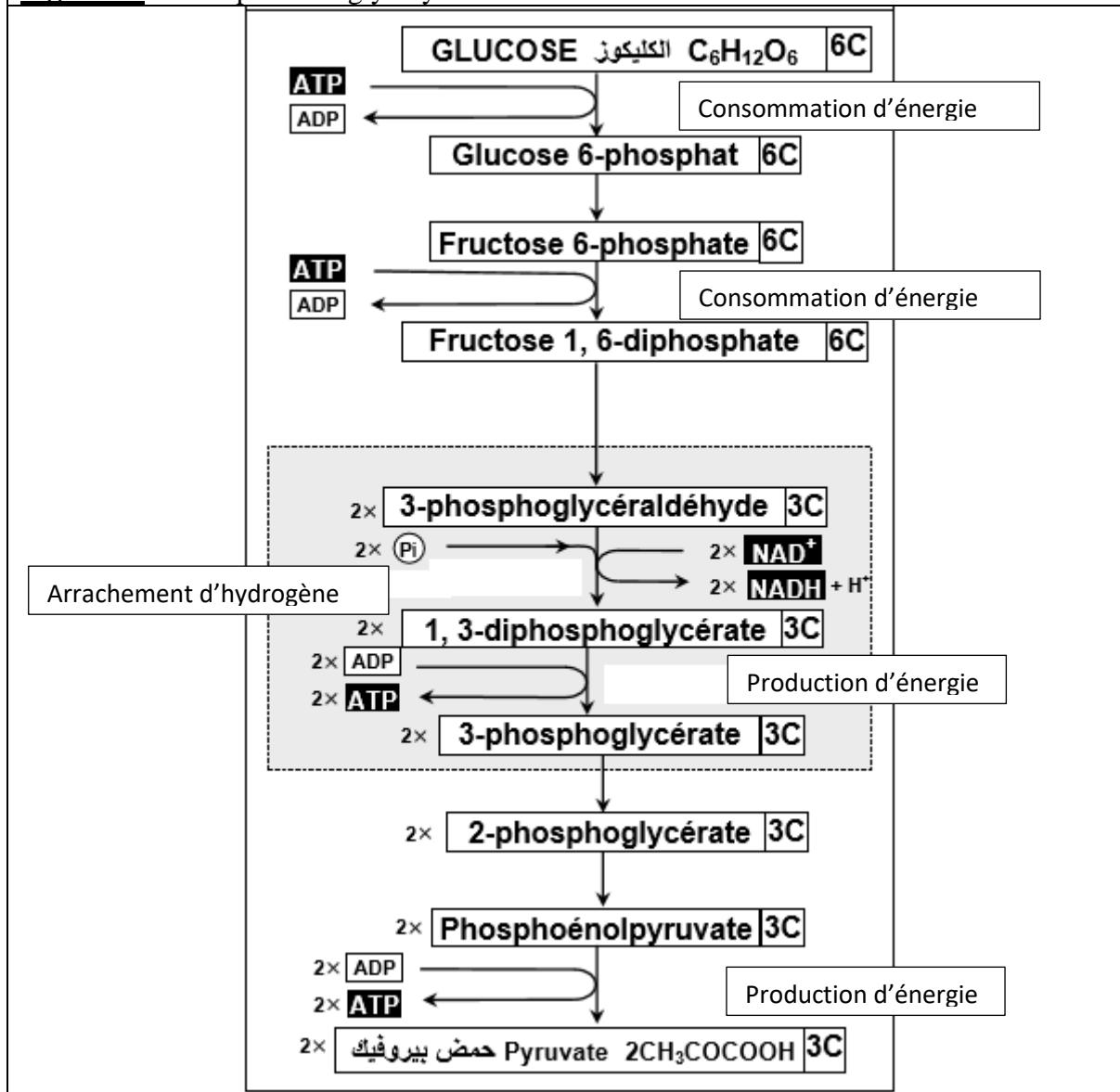


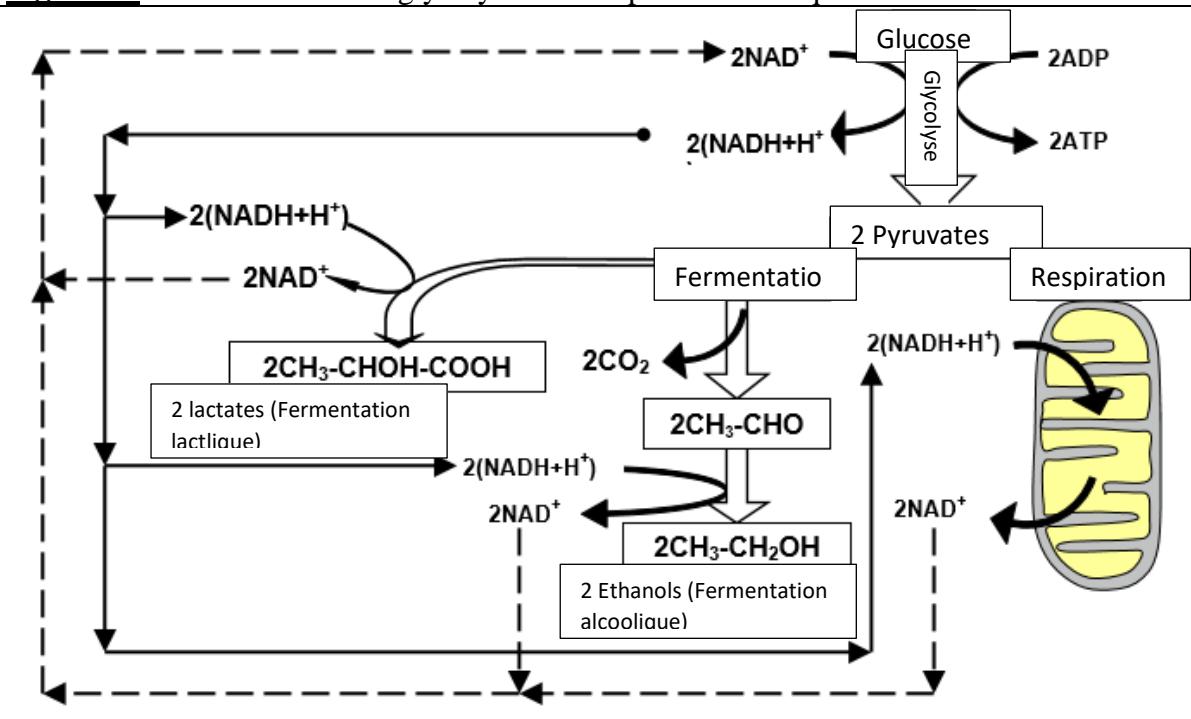
Ces données expérimentales montrent que dans les conditions aérobies, c'est-à-dire le phénomène de la respiration, la glycolyse nécessite la présence des organites cellulaires spécifiques qui sont les mitochondries ; alors que dans les conditions anaérobies, c'est-à-dire le phénomène de la fermentation, la glycolyse ne nécessite pas la présence des mitochondries.

La respiration et la fermentation commencent par une phase commune qui a lieu au niveau de l'hyaloplasme, c'est la glycolyse, les réactions de fermentations se poursuivent au niveau de l'hyaloplasme alors que la respiration nécessite l'intervention des mitochondries.

## 2- Les étapes de la glycolyse :

Les figures 5 et 6 donnent les réactions chimiques de la glycolyse. A partir de ces données extrayez les formes énergétiques issues de la glycolyse.

**Figure 5 :** Les étapes de la glycolyse.

**Figure 6 : La relation entre la glycolyse et la respiration ainsi que la fermentation.**

Au niveau de l'hyaloplasme, la glycolyse s'effectue suivant une chaîne de réactions chimiques catalysées par des enzymes spécifiques. Ces réactions ne consomment pas l'oxygène et se passent en trois phases :

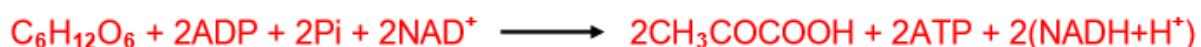
- **La première phase :** Le glucose phosphate est transformé en fructose di-phosphate après la fixation du groupement phosphate issu de l'ATP.
- **La deuxième phase :** Le fructose di-phosphate se divise en deux molécules de sucre tri carbone (2 phosphoglycéraldéhydes), chacune de ces molécules subit un arrachement d'hydrogène (oxydation), par un récepteur d'hydrogène NAD<sup>+</sup> (Nicotinamide adénine di-nucléotide), qui se réduit en NADH,H<sup>+</sup>, en parallèle avec la phosphorylation des deux molécules de phosphoglycéraldéhyde qui se transforment en deux glycérates di-phosphate.



- **La troisième phase :** Les glycérates di-phosphate cèdent leur groupement phosphate à l'ADP, et se transforment ainsi en deux molécules de pyruvates (CH<sub>3</sub>COCOOH) alors que l'ADP se transforme en ATP.

**N.B :** Il est nécessaire de ré-oxyder le NADH,H<sup>+</sup> pour que la glycolyse se poursuit, cette oxydation s'effectue soit pendant la respiration cellulaire en présence d'oxygène, ou pendant la fermentation en absence d'O<sub>2</sub>.

### 3- Le bilan énergétique de la glycolyse :



Le bilan énergétique de la glycolyse est la synthèse de deux molécules d'ATP pour chaque molécule de glucose.

### III- Les oxydations respiratoires et le rôle des mitochondries :

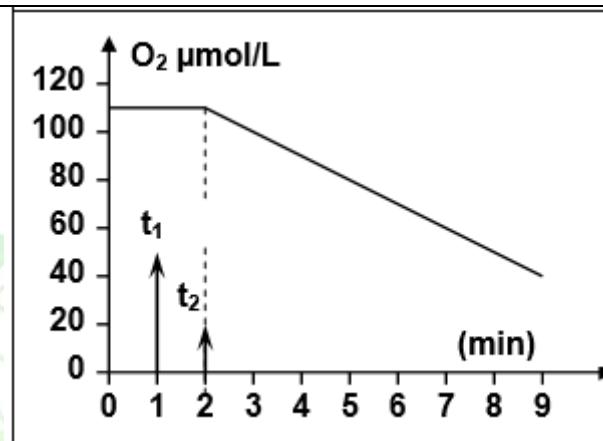
#### 1- Que se passe-t-il au niveau de la mitochondrie ?

**Figure 7 :** Expérience.

On détruit les cellules du foie d'une souris dans une solution tampon de pH =7,4 pour extraire les mitochondries. On expose le mélange à une centrifugation de grande vitesse qui permet d'obtenir un culot de mitochondries. On mélange une partie de ce culot avec une solution tampon adéquate, puis on le dépose dans un bioréacteur du composé expérimental EXAO, puis on suit l'évolution de la concentration du dioxygène sur l'écran de l'ordinateur.

Au temps  $t_1$ , on ajoute au bioréacteur une petite quantité de glucose, et au temps  $t_2$ , on ajoute une petite quantité du pyruvate.

- 1- Analysez la courbe de variation de la concentration d'O<sub>2</sub> en fonction du temps.
- 2- Que signifie la variation de la concentration d'O<sub>2</sub> dans le milieu ?
- 3- Quel est le phénomène physiologique représenté par cette courbe et il a lieu à quel niveau ?
- 4- Que déduisez-vous des réactions qui s'effectuent dans la mitochondrie ?



**La courbe de variation de la concentration d'O<sub>2</sub> en fonction du temps.**

- 1- Avant  $t_1$ , la consommation d'O<sub>2</sub> par les mitochondries est très faible, et après l'ajout du glucose au temps  $t_1$  aucune variation n'a été observée. Alors qu'au temps  $t_2$ , lorsqu'on a ajouté l'acide pyruvique, le pourcentage de la consommation d'O<sub>2</sub> a augmenté.
- 2- La variation de la concentration d'O<sub>2</sub> dans le milieu signifie que les mitochondries l'utilisent pendant leurs activités.
- 3- Les mitochondries consomment l'O<sub>2</sub>, il s'agit donc du phénomène de la respiration cellulaire.
- 4- On déduit que les mitochondries n'utilisent pas directement le glucose, mais elles utilisent le résultat de la glycolyse qui est le pyruvate.

Les réactions chimiques qui interviennent sur le pyruvate en présence d'O<sub>2</sub>, dans la mitochondrie, présentent les oxydations respiratoires, ce sont des réactions aérobies.

#### Définition :

- **Le métabolisme** est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent au sein d'un être vivant pour lui permettre notamment de se maintenir en vie, de se reproduire, de se développer et de répondre aux stimuli de son environnement.

- **Un métabolite** est un composé organique intermédiaire ou issu du métabolisme

### Conclusion :

Le métabolite du glucose subit deux décompositions :

- La première, en dehors de la mitochondrie, au niveau de l'hyaloplasme, elle ne nécessite pas la présence d'O<sub>2</sub>, on l'appelle glycolyse.
- La deuxième, au niveau de la mitochondrie, et nécessite la présence d'O<sub>2</sub>, on l'appelle les oxydations respiratoires. Le pyruvate est le métabolite qui subit les oxydations respiratoires.

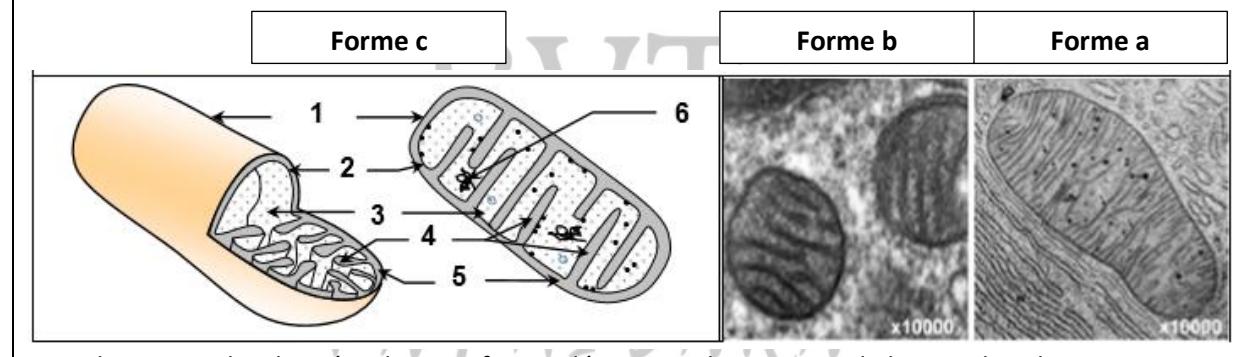
## **2- La structure et les constituants de la mitochondrie :**

### a- L'ultrastructure de la mitochondrie :

**Figure 8 :** L'ultrastructure de la mitochondrie.

La figure montre des photos électronographiques des mitochondries ainsi que des croquis explicatifs de ces organites.

- **Forme a** : Observation électronographie d'une coupe longitudinale d'une mitochondrie.
- **Forme b** : Observation électronographie d'une coupe transversale d'une mitochondrie.
- **Forme c** : Croquis explicatif de l'ultrastructure de la mitochondrie.



Les éléments de la forme c de la figure :

1 : Membrane externe ; 2 : Membrane interne ; 3 : Matrice ; 4 : Crête ; 5 : espace inter membranaire ; 6 : ADN.

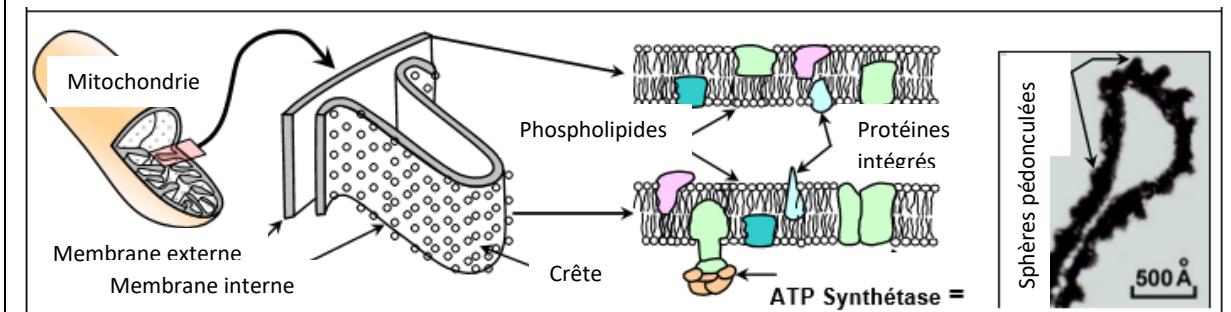
Les mitochondries sont des organites cellulaires constituées d'une double membrane qui entourent une substance incolore appelée matrice, traversée par des ramifications de la membrane interne dites crêtes.

### b- La structure biochimique de la mitochondrie :

**Figure 9 :** Structure biologique de la mitochondrie.

Cette figure présente la structure de la membrane interne de la mitochondrie observée par le microscope électronique, accompagnée d'un croquis explicatif de la structure moléculaire des membranes interne et externe.

Que déduisez-vous de la structure moléculaire des membranes interne et externe de la mitochondrie ?

**Figure 10 :** Composition chimique des mitochondries.

Comparez la composition chimique des membranes interne et externe de la mitochondrie ainsi que la matrice, puis liez entre ces données et la structure de la mitochondrie.

Membrane externe	Membrane interne	Matrice
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Protéines 62%.</li> <li>✓ Lipides 38% d'une nature proche à celle des lipides de la membrane cytoplasmique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Protéines 80%.</li> <li>✓ Lipide 20%, d'une nature différente à celle qu'on trouve dans les lipides de la membrane plasmique.</li> <li>✓ Enzyme participant aux réactions d'oxydoréductions.</li> <li>✓ ATP synthétase.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Petites molécules carboniques.</li> <li>✓ Différents enzymes.</li> <li>✓ Transporteurs d'électrons et de protons.</li> <li>✓ ATP et ADP et P.</li> </ul>

On remarque une différence dans la composition de la membrane interne et externe ainsi que la matrice, cette dernière est riche en des enzymes éliminant l'hydrogène et le carbone ainsi que des transporteurs d'électrons, de protons et d'ATP, alors que la membrane interne est caractérisée par la présence de structures enzymatiques responsables sur la phosphorylation d'ADP en ATP. Ces enzymes entrent dans la composition des sphères pédonculées.

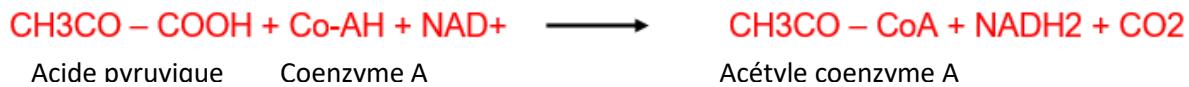
#### IV- Le rôle des oxydations respiratoires dans la production d'ATP : 1- Les réactions du cycle de Krebs et l'oxydation respiratoire :

Au niveau de la mitochondrie, le pyruvate entre dans une chaîne de réactions, en présence d'O<sub>2</sub>, qu'on appelle les oxydations respiratoires. Ces réactions commencent au niveau de la matrice, où le pyruvate est décomposé en des étapes :

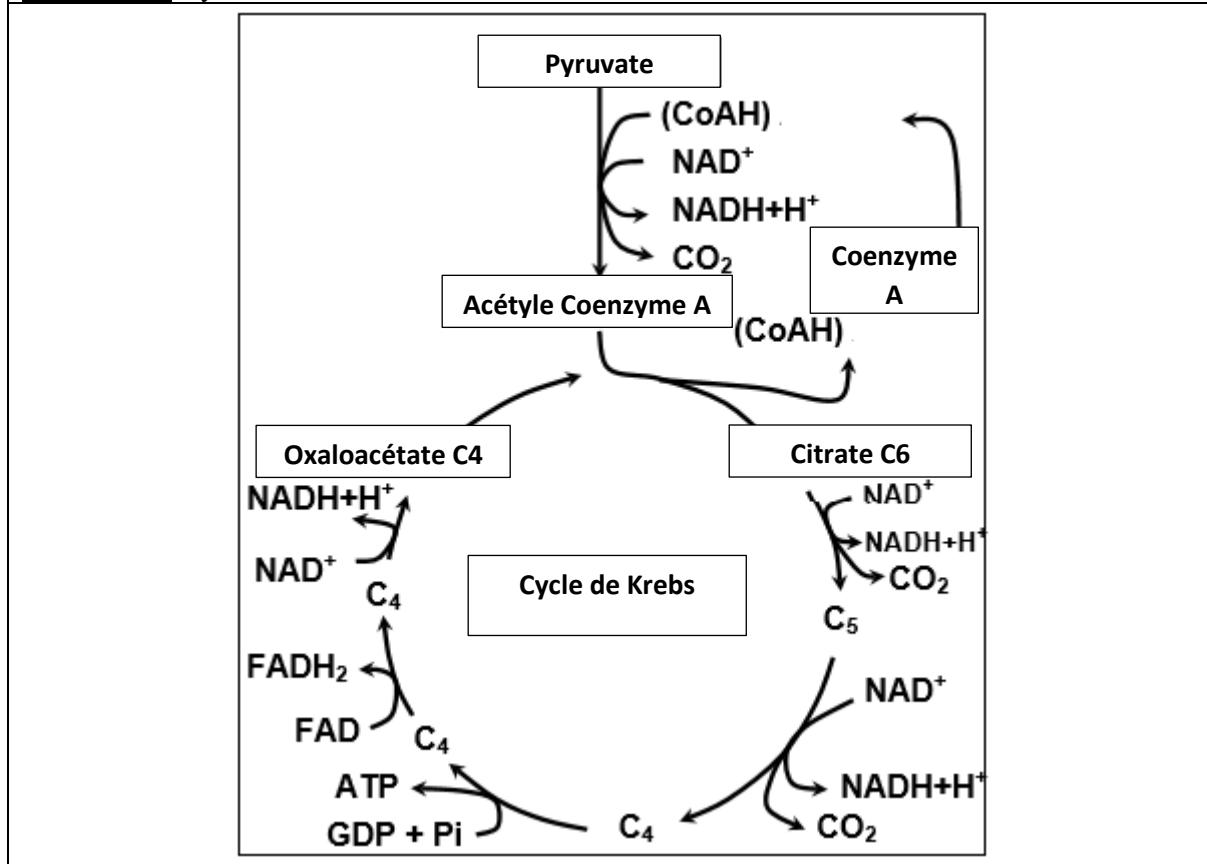
a- 1<sup>ère</sup> étape : Formation de l'acétyl coenzyme A : (Voir la figure 11)

Sous l'effet des enzymes spécifiques, **décarboxylases** (enzymes catalysant les réactions de décarboxylation, au cours desquelles des atomes de carbone du métabolite sont éliminés sous forme de CO<sub>2</sub>) et **déshydrogénases** (enzymes catalysant les réactions de déshydrogénéation

des métabolites, au cours desquelles s'effectue un transfert d'H<sub>2</sub> du métabolite à un transporteur), l'acétyle coenzyme A est formé au niveau de la matrice à partir de l'acide pyruvique :



**Figure 11 :** Cycle de Krebs.



**b- La 2<sup>ème</sup> étape :** Le cycle de Krebs : (Voir la figure 11)

C'est un cycle biochimique, constitué d'une chaîne de réactions de déshydrogénations et de décarboxylations.

- ✓ L'acétyle coenzyme A s'associe à l'oxaloacétate (C<sub>4</sub>), pour donner un citrate (C<sub>6</sub>).
- ✓ Libération du coenzyme A, afin de former un nouvel acétyle coA.
- ✓ Le citrate entre dans des réactions de déshydrogénations et de décarboxylations en présence des décarboxylases et des déshydrogénase pour obtenir à la fin un oxaloacétate qui réagit à nouveau avec l'acétyle coenzyme A.
- ✓ Au cours du cycle de Krebs, il y a une libération du CO<sub>2</sub>, et une réduction des molécules NAD et FAD :



Et une molécule d'ATP est formée à partir de la molécule de GDP (Guanosine diphosphates).

La réaction bilan de la dégradation du pyruvate dans la matrice est :

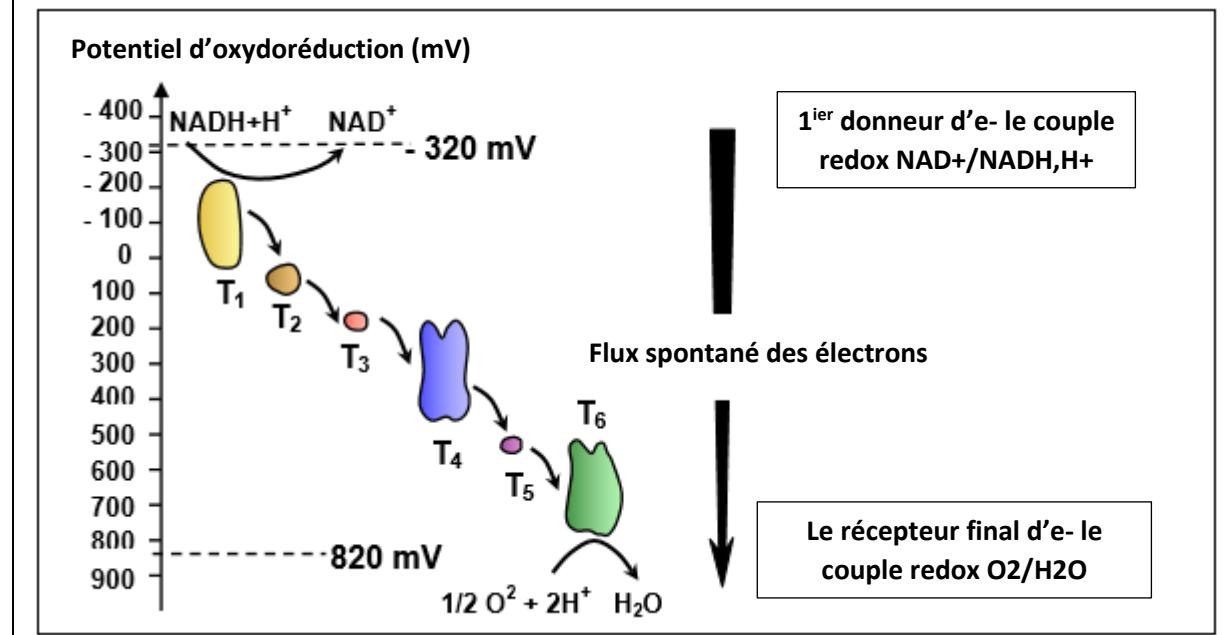


c- La 3<sup>ème</sup> étape : La chaîne de transport des électrons :

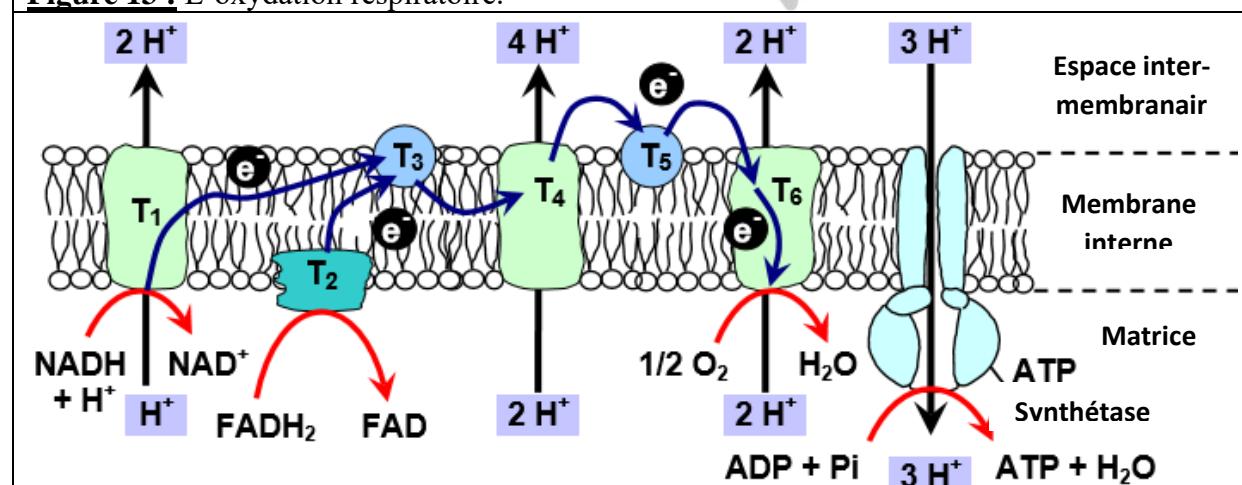
A partir des figures 12 et 13, montrez comment s'effectue l'oxydation respiratoire, puis déterminez son importance dans la formation d'un gradient de protons H<sup>+</sup> de part et d'autre de la membrane interne de la mitochondrie.

**Figure 12 :** Transfert des électrons et des protons au sein de la chaîne respiratoire.

Le transfert des électrons du couple redox NAD<sup>+</sup>/NADH, H<sup>+</sup> au couple redox O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O s'effectue par des réaction d'oxydoréductions, à travers la chaîne respiratoire, d'une façon spontanée conforme à un gradient de potentiel d'oxydoréduction.



**Figure 13 :** L'oxydation respiratoire.



Au cours des réactions d'oxydation du glucose, NAD<sup>+</sup> et FAD<sup>+</sup> sont réduits en NADH,H<sup>+</sup> et FADH,H<sup>+</sup>, donc ce sont des molécules transporteurs d'électrons et de protons, qui doivent retourner à leurs états oxydés.

L'oxydation de ces récepteurs a lieu au niveau de la membrane interne de la mitochondrie, où les protons H<sup>+</sup> sont pompés dans l'espace inter-membranaire, alors que les électrons sont transférés à des transporteurs d'e- situés au niveau de la membrane interne de la mitochondrie formant ainsi **la chaîne respiratoire**.

Le transfert des électrons se fait à partir du premier donneur NAD<sup>+</sup>/NADH,H<sup>+</sup>, vers le dernier récepteur qui est le couple redox O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O. Ce transfert est appelé oxydation respiratoire.

L'oxygène réduit O<sup>2-</sup> réagit avec 2 H<sup>+</sup>, pour former la molécule d'eau, cette opération a lieu à l'intérieur de la matrice mitochondriale.



Pendant le transfert des électrons du premier donneur NADH,H<sup>+</sup> vers le dernier récepteur O<sub>2</sub>, les protons H<sup>+</sup> sont pompés dans l'espace inter-membranaire, ce qui provoque l'augmentation de la concentration d'H<sup>+</sup> dans cet espace, ce qui induit à un gradient de proton H<sup>+</sup> des deux côtés de la membrane interne de la mitochondrie.

## 2- La réduction de l'oxygène et la phosphorylation oxydative :

### a- Données expérimentales :

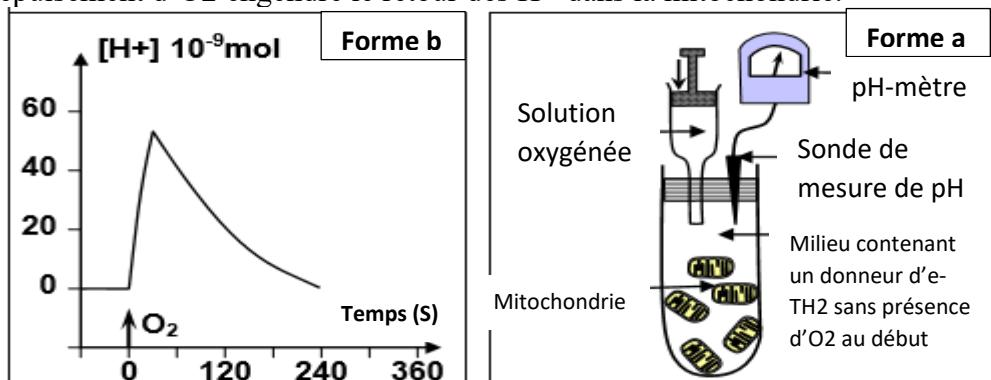
#### - 1<sup>ère</sup> expérience :

**Figure 14 :** La relation entre la réduction d'O<sub>2</sub> et le flux des H<sup>+</sup>.

Des mitochondries ont été déposées sous forme d'une solution en suspension, dans un milieu contenant un donneur de protons et dépourvu d'O<sub>2</sub> (Voir la forme a), avec un suivi de l'évolution de la concentration des protons H<sup>+</sup> dans ce milieu avant et après l'addition d'une solution riche en O<sub>2</sub> (Voir la forme b).

- **L'ajout d'O<sub>2</sub>** : L'oxydation du premier donneur des électrons (TH2), provoque la sortie des protons en dehors de la mitochondrie.

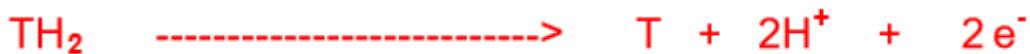
- **L'ajout d'ATP** : Diminution de pH, c'est-à-dire l'augmentation de la concentration des H<sup>+</sup>. L'épuisement d'O<sub>2</sub> engendre le retour des H<sup>+</sup> dans la mitochondrie.



Que déduisez-vous de l'analyse de ces données ?

Avant l'addition d'O<sub>2</sub>, la concentration des protons H<sup>+</sup> dans le milieu était faible (pH élevé), et après l'ajout d'O<sub>2</sub> dans le milieu, on a enregistré une augmentation rapide dans la concentration des H<sup>+</sup> (diminution du pH), celle-ci a diminué par la suite progressivement.

L'augmentation de la concentration des protons H<sup>+</sup> dans le milieu après l'ajout d'O<sub>2</sub>, est dû au transfert des transporteurs TH<sub>2</sub> (c-à-d FADH<sub>2</sub> et NADH<sub>2</sub>) de l'état réduite à l'état oxydée selon la réaction suivante :



La diminution de la concentration des protons H<sup>+</sup> dans le milieu par la suite, est due à l'épuisement d'O<sub>2</sub> au cours de ses réactions avec les protons et les électrons, vu qu'il est considéré comme le récepteur final des protons et des électrons, selon la réaction suivante :



La réaction globale après l'ajout d'O<sub>2</sub> au milieu est :



### - 2<sup>ème</sup> expérience :

Pour déterminer les conditions de la production d'ATP au niveau des sphères pédonculées on effectue les expériences présentées dans la figure 15 :

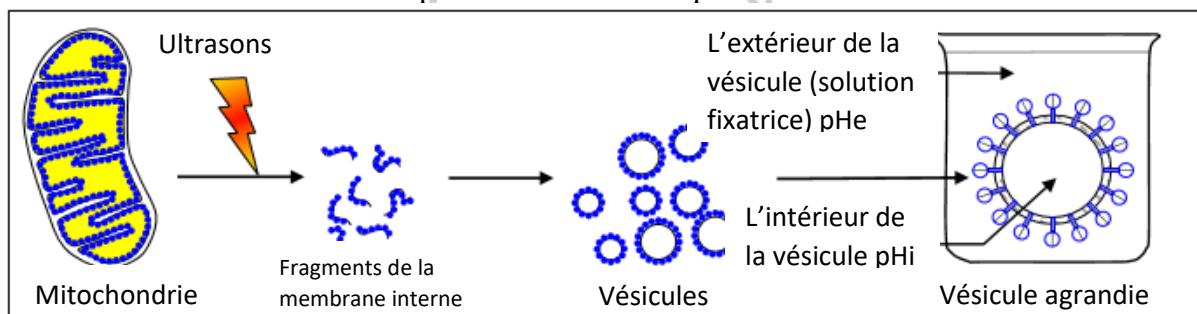
**Figure 15 :** Le rôle des sphères pédonculées (Transport des protons et phosphorylation oxydative d'ATP)

#### **- Expérience a :**

Après leur extraction, des mitochondries sont traitées aux ultrasons, ce qui provoque leur fragmentation, les crêtes de la membrane interne se renverse formant des vésicules fermées, les sphères pédonculées liées à ces vésicules sont orientées vers l'extérieur.

Ces vésicules sont déposées en présence d'ADP et Pi dans des solutions fixatrices de pH différent.

Les données et les résultats sont présentés dans le croquis ci-dessous :



- Si le pH interne (pHi) est inférieur au pH externe (pHe), on observe la phosphorylation d'ADP.

- Si le pH interne (pHi) est égal au pH externe (pHe), on observe l'absence de la phosphorylation d'ADP.

#### **- Expérience b :**

DNP (2,4 dinitrophénol) est une substance soluble dans les lipides, en présence de cette substance la membrane interne de la mitochondrie devient perméable aux protons H<sup>+</sup>, dans ce cas on observe que la réduction d'O<sub>2</sub> s'effectue d'une façon normale alors que la phosphorylation d'ADP est bloquée.

A partir de ces données expérimentales extrayez les conditions de la synthèse d'ATP dans la mitochondrie, puis montrez la relation entre la réduction d'O<sub>2</sub> et la phosphorylation oxydative.

- L'expérience a montre que la phosphorylation d'ADP en ATP s'effectue au niveau des sphères pédonculées (ATP Synthétase). Cette phosphorylation nécessite la présence d'une différence de concentration d'H<sup>+</sup> entre l'espace inter-membranaire et la matrice, La concentration d'H<sup>+</sup> dans l'espace inter-membranaire doit dépasser celle de la matrice.

- L'expérience b montre que la membrane interne de la mitochondrie est indispensable pour la production d'ATP, car elle est responsable sur la différence de la concentration d'H<sup>+</sup> entre l'espace inter-membranaire et la matrice, cette différence de concentration est importante pour la phosphorylation d'ADP en ATP par les sphères pédonculées.

### **b- Conclusion :**

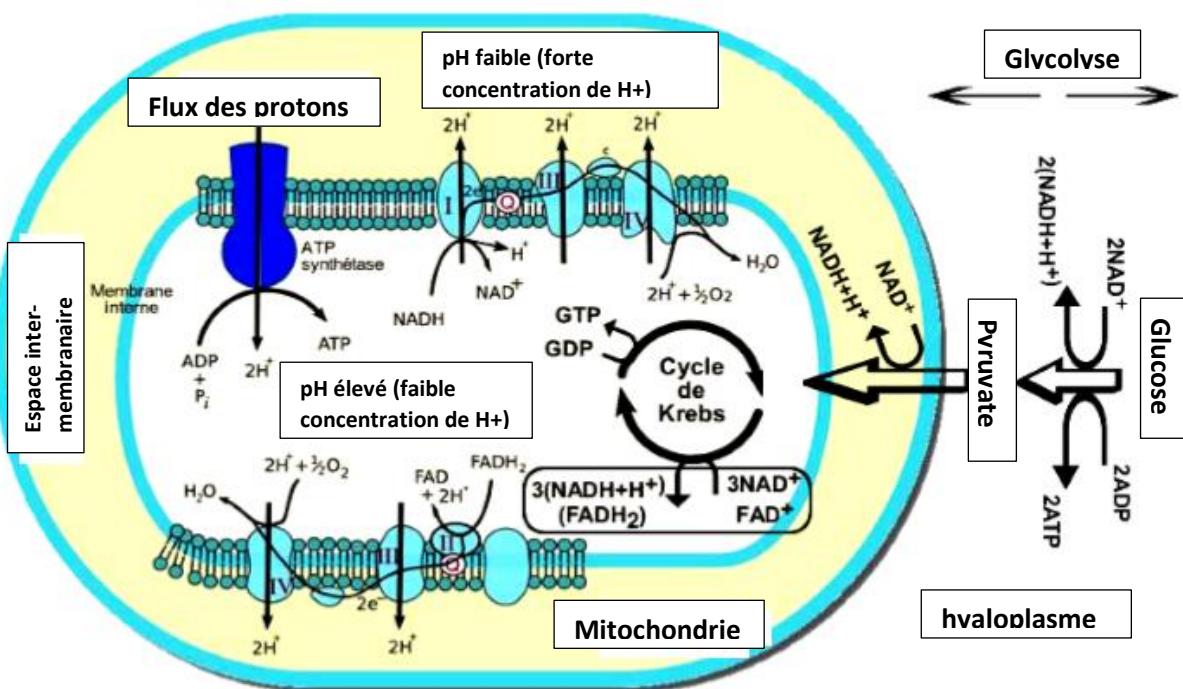
L'oxydation des donneurs d'électrons (FADH<sub>2</sub> et NADH<sub>2</sub>) s'effectue en présence d'un récepteur d'électrons (O<sub>2</sub>), ce qui provoque le dégagement d'H<sup>+</sup> d'où l'augmentation de leur concentration dans l'espace inter-membranaire.

La différence de la concentration des protons H<sup>+</sup> entre l'espace inter-membranaire et la matrice, provoque le flux de ces protons vers la matrice à travers les sphères pédonculées qui profite de cette énergie pour produire l'ATP, par la fixation du groupement phosphate sur la molécule d'ADP. Ce phénomène est appelé **la phosphorylation oxydative**.

### **V- Comparaison entre le bilan énergétique de la respiration et de la fermentation :**

#### **1- Mesure du rendement de la respiration et de la fermentation :**

##### **a- Le rendement énergétique de la respiration :**

**Figure 16 :** Le rendement énergétique de la respiration.

En se basant sur les données de cette figure, précisez le nombre de molécules d'ATP synthétisées à partir de l'oxydation totale d'une molécule de glucose dans le cas de la respiration, sachant que l'oxydation d'une molécule de NADH<sub>2</sub> permet de synthétiser trois molécules d'ATP, et l'oxydation d'une molécule de FADH<sub>2</sub> permet de synthétiser deux molécules d'ATP., et l'oxydation d'une molécule de GDP permet de synthétiser une molécule d'ATP.

L'oxydation complète d'une molécule de glucose donne :

- Pendant la glycolyse on obtient  $2\text{NADH} + \text{H}^+ + 2\text{ATP} + 2\text{pyruvates}$ .
- Au cours du cycle de Krebs, il y a la formation de  $4\text{NADH} + 1\text{FADH}_2 + 1\text{ATP}$  ; donc pour deux molécules de pyruvate issues de la glycolyse, il y a la formation de  $8\text{NADH} + 2\text{FADH}_2 + 2\text{ATP}$ .
- Donc le nombre d'ATP synthétisé lors de la consommation d'une molécule de glucose est :

$$\begin{array}{ccc}
 4 \text{ ATP} & \xleftarrow{\text{---}} & 4 \text{ ATP} \\
 30 \text{ ATP} & \xleftarrow{\text{---}} & 10 (\text{NADH} + \text{H}^+) \\
 4 \text{ ATP} & \xleftarrow{\text{---}} & 2(\text{FADH}_2)
 \end{array}
 \quad \text{Le totale} = 38 \text{ ATP}$$

**N.B :** Théoriquement on obtient 38 ATP, mais en réalité on obtient uniquement 36 ATP car les transporteurs de NADH<sub>2</sub> produite au niveau de l'hvaloplasme n'entre pas à la mitochondrie et sont remplacés par des transporteurs FADH<sub>2</sub> sauf dans le cas des cellules cardiaques et hépatiques où ils sont remplacés par NADH<sub>2</sub>.

### Application :

Calculez le rendement énergétique de la respiration, sachant que l'énergie globale qu'on peut extraire d'une mole de glucose, sous une température de 37°C, en présence d'O<sub>2</sub>, est : 2860 KJ, et que l'hydrolyse d'une mole d'ATP permet la libération d'une énergie égale à 30,5 KJ.

- Puisqu'une mole de glucose donne 38, donc l'énergie libérée par une mole de glucose est :  
 $30,5 \times 38 = 1159 \text{ KJ}$

D'où le rendement énergétique de la respiration est :

$$40,5 \% = 100 \times \frac{1159}{2860}$$

### b- Le rendement énergétique de la fermentation :

Calculez le rendement énergétique de la fermentation sachant que la consommation d'une molécule de glucose dans la fermentation lactique libère uniquement deux molécules d'ATP.

- Le rendement énergétique de la fermentation est :

$$2.13 \% = 100 \times \frac{(2 \times 30.5)}{2860}$$

## 2- Comparaison et explication :

- Au cours de la respiration, le métabolite du glucose est totalement décomposé libérant ainsi la totalité de l'énergie emmagasinée sous forme d'une énergie chimique (1159KJ), et une énergie thermique (1701KJ), avec la formation d'une substance minérale (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O) dépourvu d'énergie.

- Au cours de la fermentation, le métabolite du glucose n'est pas totalement dégradé, donc il ne va libérer qu'une partie d'énergie emmagasinée (167 KJ), comportant une partie sous forme d'énergie chimique (61 KJ) et une partie sous forme d'une énergie thermique (106 KJ), avec une partie organique (acide lactique) qui renferme encore une énergie emmagasinée.

$(2860 - 167) / 2 = 1346,5 \text{ KJ/ Lactate.}$