

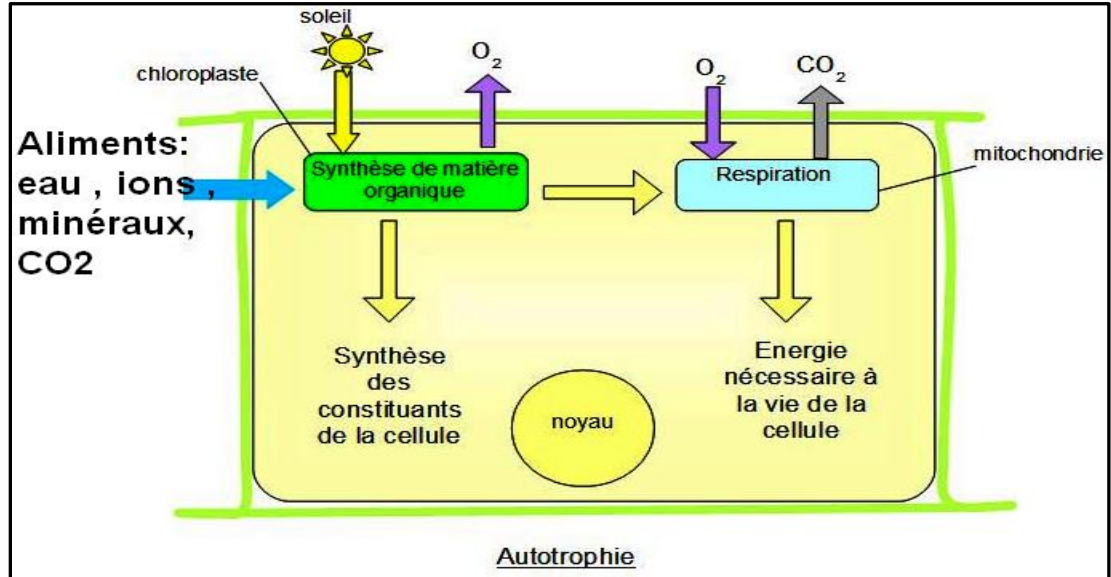
Unité 1

La consommation de matière organique et le flux d'énergie

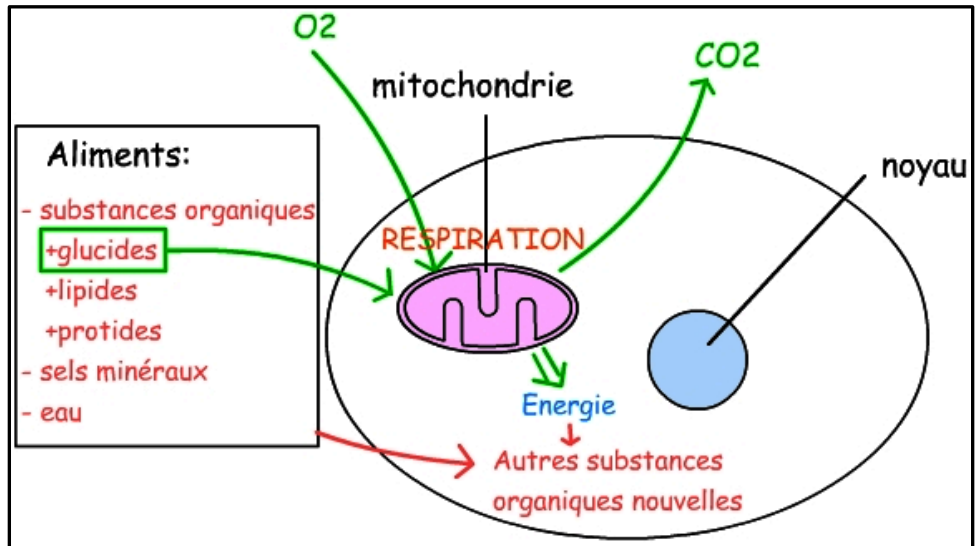
Introduction :

- Un organisme **autotrophe** est un organisme capable de générer sa propre matière organique (ex : glucose) à partir d'éléments minéraux (ex : H₂O). Il utilise pour cela l'énergie lumineuse pour réaliser la photosynthèse.
 $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{lumière} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$

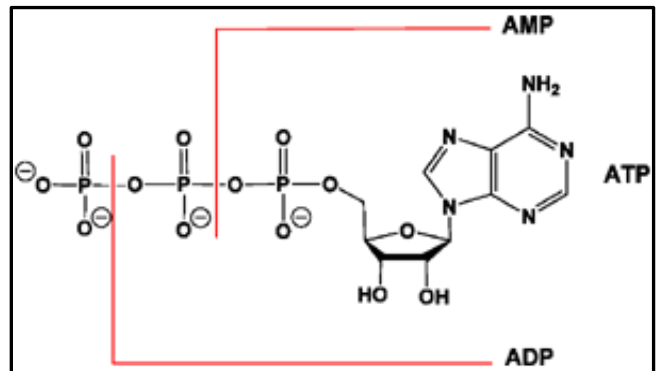
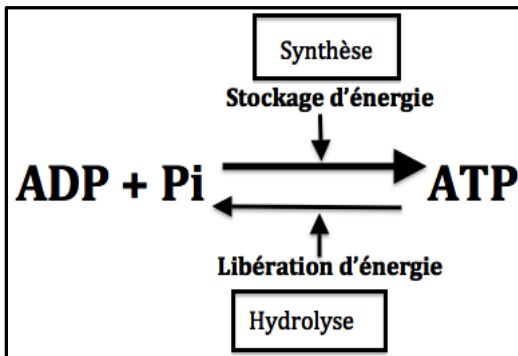
Lycée EL-WAHDA



- Un organisme **Hétérotrophe** est un organisme incapable de générer sa propre matière organique : il doit se nourrir de constituants organiques préexistants pour produire l'énergie (ATP) indispensable à l'activité cellulaire



- La molécule d'ATP (adénosine triphosphate) est une forme de stockage temporaire de l'énergie dans la cellule. L'énergie cellulaire ne peut être utilisée que sous forme d'ATP.



Cours 1

Réactions responsables de la libération de l'énergie emmagasinée dans la matière organique

Introduction

- ◆ Les cellules sont le siège de nombreuses réactions chimiques qui leur permettent de croître et de se diviser.
- ◆ Certaines de ces réactions nécessitent de l'énergie libérée par l'hydrolyse de molécules comme l'ATP. Cette molécule est produite au cours de réactions chimiques comme la respiration

Quelles sont les réactions métaboliques produisant l'énergie ?

Quels ils sont les organites cellulaires intervenant à la production d'énergie ?

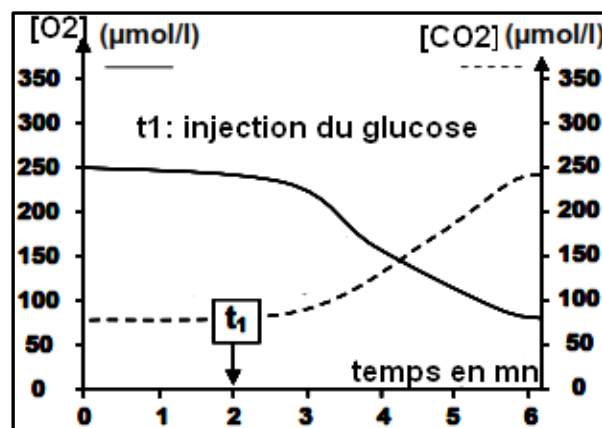
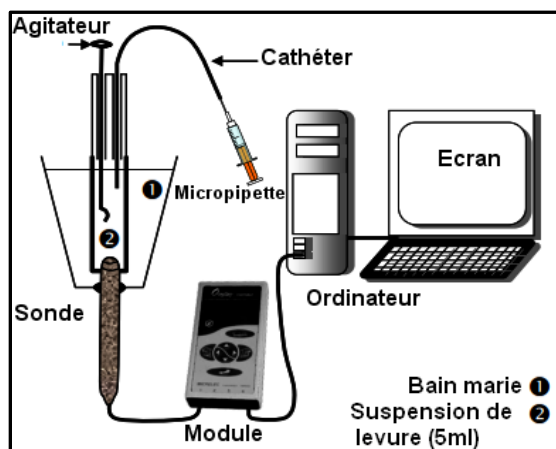
Quelles sont les voies métaboliques utilisées pour produire de l'énergie ?

I- La mise en évidence des réactions produisant d'énergie

1- Données expérimentales

a - Expérience 1

Doc1 : On place dans un bioréacteur du dispositif EXAO (**figure 1/ doc 1**) une solution de levures bien oxygénées de concentration connue (10 g.L^{-1}) et une sonde réglable pour mesurer le dioxygène et le dioxyde de carbone. On ferme le bioréacteur et on met en route l'agitateur de façon que la solution soit toujours bien homogène et oxygénée. On relie la sonde à son interface (module) et cette dernière à un ordinateur. On démarre les mesures puis, au bout de 3 min (à t_1), on injecte un millilitre de solution de glucose à 5 g.L^{-1} **la figure 2** donne les résultats obtenus.



- 1- Décrire la variation de CO_2 et d' O_2 avant et après l'addition (injection) du glucose ?
- 2- Expliquer les résultats obtenus ? conclure ?

Réponses :

1- avant l'injection de glucose les concentrations de dioxygène et de dioxyde de carbone étaient stables en ($[\text{O}_2] = 250 \mu\text{mol/l}$ et $[\text{CO}_2] = 75 \mu\text{mol/l}$) mais directement après l'addition de glucose à la solution on voit une diminution progressive de la concentration de dioxygène jusqu'à qu'elle se stabilise en $80 \mu\text{mol/l}$. Alors que la concentration de dioxyde de carbone augmente progressivement jusqu'à qu'elle se stabilise en $235 \mu\text{mol/l}$

2- ✓ on peut expliquer la variation des concentrations de dioxygène et de dioxyde de carbone par la consommation de dioxygène et le rejet de dioxyde de carbone par les levures au cours de la dégradation de glucose.

✓ On peut expliquer la stabilité des concentrations de dioxygène et de dioxyde de carbone par la dégradation totale de glucose par les levures.

On conclut donc que : les levures consomment le dioxygène pour dégrader le glucose avec le rejet de dioxyde de carbone. C'est le phénomène de la respiration cellulaire.

b – Expérience 2

Doc 2 : ♦ Des levures sont mises en culture dans un milieu glucosé. Le flacon, complètement rempli, est bouché et le tube à dégagement ne permet pas un renouvellement en dioxygène à partir de l'air ambiant **Fig1**. Très rapidement, le dioxygène présent initialement est épuisé et la suspension de levures fermente : on observe effectivement un bouillonnement.

Quelques observations :

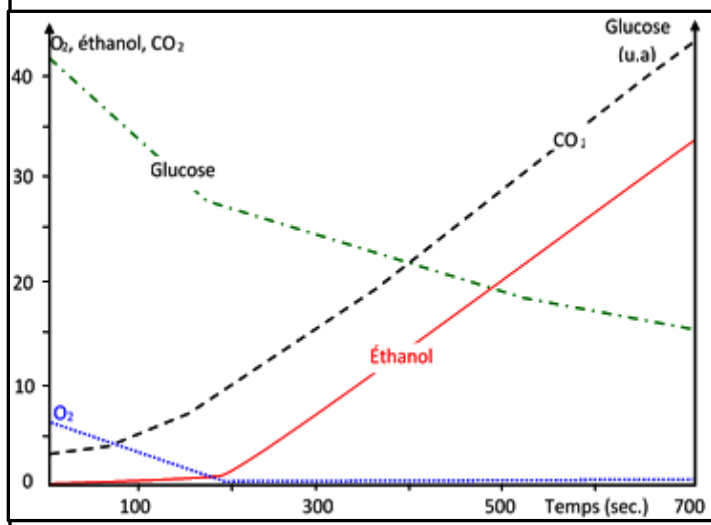
✓ Il est possible de recueillir dans l'éprouvette le gaz dégagé par la culture de levures. Un test à l'eau de chaux montre qu'il contient du dioxyde de carbone.

✓ Si l'on dispose un alcootest à la place du tube à dégagement, le test donne un résultat positif, alors qu'il est négatif au début de l'expérience.

1- Que déduisez-vous

♦ On a utilisé un montage semblable à celui présenté Doc1 mais on ajoute une troisième sonde mesurant la concentration en éthanol dans le milieu.

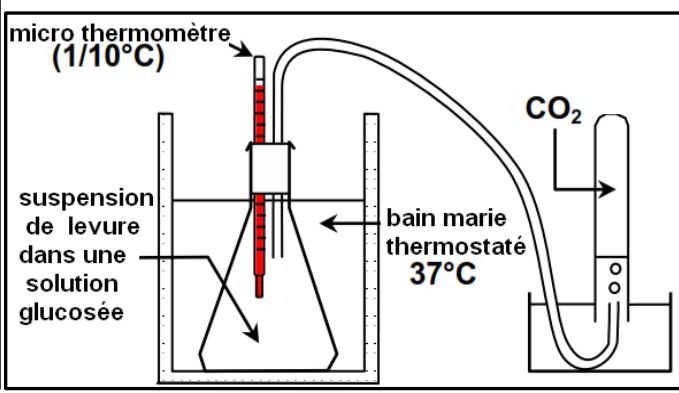
- Avant qu'on démarre la mesure, on introduit dans la suspension 0,2 mL de solution glucosée à 200 g/L. Les résultats obtenus sont mentionnés dans la Fig 2



2- Analyser les résultats obtenus ?

3- Expliquer les résultats obtenus et déduire ?

4- donner une conclusion de ces données expérimentales



Réponses :

1- en absence de dioxygène les levures consomment le glucose et produisent l'éthanol avec libère le dioxyde de carbone

Donc les levures sont capables d'utiliser le glucose comme source d'énergie en absence de dioxygène (milieu anaérobie) il s'agit de la **fermentation** cellulaire

2- Au début de l'expérience la quantité d'oxygène est très faible. Et elle diminue progressivement jus qu'elle s'annule après 200 s. en parallèle la quantité de dioxyde de carbone augmentent tout la langue de l'expérience sans ablier que la quantité d'éthanol commence a augmenté dès le 200s de l'expérience.

3- ✓ La diminution de la quantité d'oxygène dans le milieu indique que les levures les utilisent pour oxyder le glucose

✓ Directement après la disparition de dioxygène, les levures produisent l'éthanol dans le milieu et libèrent le CO₂ dans le milieu

On peut conclure que : en absence d'O₂ (milieu anaérobie) les levures dégradent le glucose et le convertissent en éthanol. Il s'agit de la **fermentation**. Puisque il y a production de l'alcool (éthanol) il s'agit bien de la **fermentation alcoolique**.

Il existe deux voies métaboliques principales :

- ♦ La respiration cellulaire en milieu aérobie (milieu où il y a présence d'oxygène) ;
- ♦ La fermentation cellulaire en milieu anaérobie (milieu dépourvu d'oxygène).

Remarque

Certaines cellules, les bactéries lactiques mais aussi les cellules musculaires (voir après) sont capables de réaliser une fermentation dite lactique. Dans ce cas, la dégradation du glucose produit de l'acide lactique.

Bilan

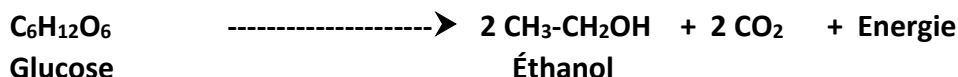
Il existe deux voies métaboliques qui fournissent l'énergie nécessaire à la cellule à partir de la matière organique (glucose dans notre cas) pour fonctionner sont connues :

- Une voie aérobie (avec O₂) appelée la respiration.



- Une voie anaérobie (sans O₂) appelée la fermentation

- fermentation alcoolique :



- fermentation lactique :



Question : Quelle forme prend l'énergie dans la cellule ? Où se déroulent ces voies métaboliques ?

En quoi sont-elles différentes l'une de l'autre ?

II- La glycolyse

1- Où se déroulent les voies métaboliques (respiration et fermentation)

a- Etudes des résultats des expériences.

Doc 3 Des cultures de levures sont réalisées en absence de dioxygène dans des milieux contenant une faible quantité de glucose marqué au carbone 14.

Des prélèvements effectués à différents temps permettent de détecter et d'identifier les molécules radioactives présentes dans les compartiments intracellulaire ou extracellulaire.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

Fig : 1	Absence de dioxygène		Présence de dioxygène	
	Milieu extracellulaire	Milieu intracellulaire	Milieu extracellulaire	Milieu intracellulaire
t ₀	G ⁺⁺⁺⁺		G ⁺⁺⁺⁺	
t ₁	G ⁺⁺	G ⁺⁺	G ⁺⁺	G ⁺⁺
t ₂		P ⁺⁺⁺⁺		P ⁺⁺⁺⁺

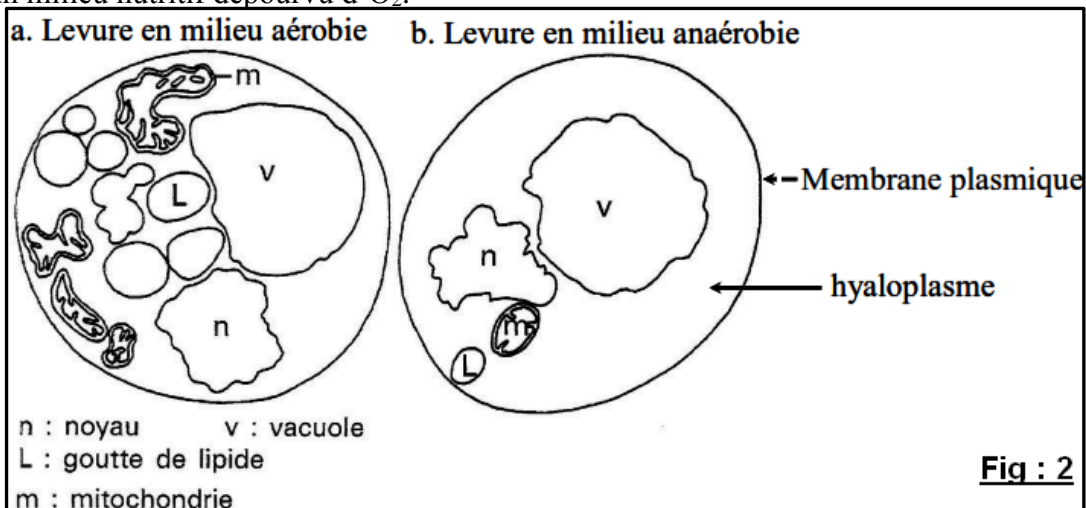
- G : Glucose (C₆H₁₂O₆)

- P : Acide pyruvique ou pyruvate (CH₃COCOOH)

- le nombre de « + » est proportionnel à la quantité de molécules radioactives présentes dans le milieu

1- Analyser et interpréter les résultats obtenus

La Fig 2 : représente les électrographies des cellules de levure cultivées sur un milieu nutritif riche en O_2 , et sur un milieu nutritif dépourvu d' O_2 .



2- montrer les différences cruciales entre les deux électrographies ?

3- énoncer une hypothèse pour expliquer ces différences ?

b- Réponse

1 - Le glucose entre du milieu extracellulaire au milieu intracellulaire soit en absence ou en présence de dioxygène.

- Le glucose se transforme en pyruvate dans le cytoplasme (milieu intracellulaire) des cellules et plus précisément dans le **hyaloplasme**.

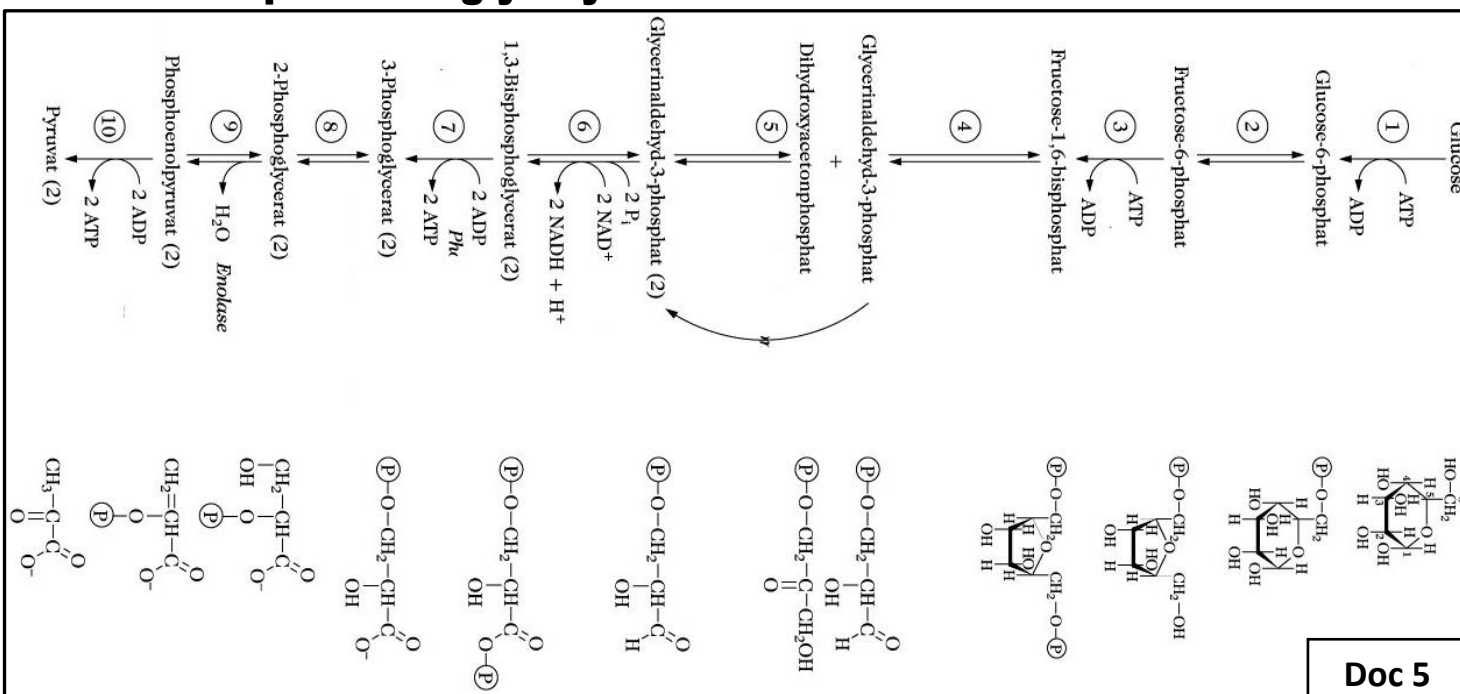
► La transformation du glucose en pyruvate est un processus commun à la respiration et la fermentation. Cette transformation ne demande pas de dioxygène On appelle ce processus : **glycolyse**

2 - La cellule cultivée dans le milieu aérobie à plusieurs mitochondries en comparaison à celle cultivée dans le milieu anaérobie

- Les mitochondries des levures en milieu aérobie ont un volume très important avec des crêtes bien développées au contraire avec celles cultivée dans le milieu anaérobie

3- peut être que les mitochondries sont les structures responsables de la respiration cellulaire.

2- Les étapes de la glycolyse



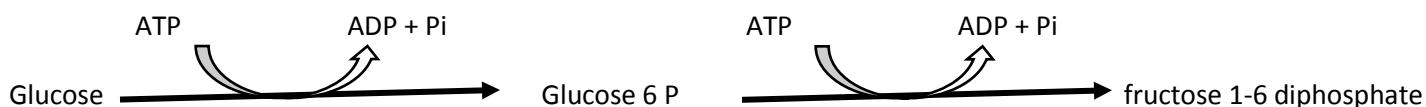
- 1- Dans quel compartiment cellulaire se déroule la glycolyse ?
- 2- Déterminez à partir du document les étapes principales de la glycolyse
- 3- Quel est le bilan de la glycolyse pour une molécule de glucose consommée
- 4- Justifiez la qualification de “la glycolyse” de “dégradation anaérobie”.
- 5- A partir des réponses précédentes, proposer une définition et une équation bilan de la glycolyse.

Réponses

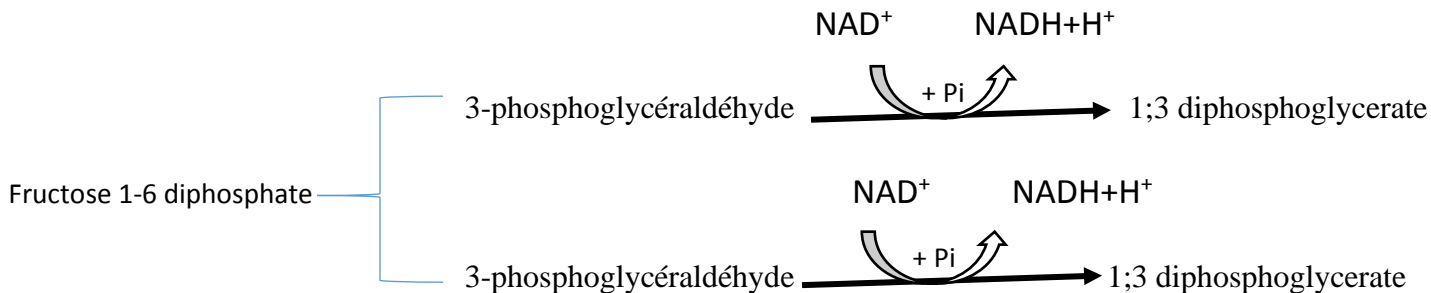
1- La glycolyse se déroule dans l'hyaloplasme

2- La glycolyse se réalise essentiellement en trois étapes successives :

♦ **Étape 1** : c'est une étape consommatrice d'énergie en hydrolysant d'ATP. Elle se caractérise par la fixation d'une groupe phosphatée sur le glucose à la fin on obtiendra un fructose 1-6 diphosphate et 2 molécules de ADP



♦ **Étape 2** : il y a un clivage de fructose 1-6 diphosphate en deux trioses phosphates (glyceraldéhyde -3-phosphate = 3-phosphoglyceraldéhyde) qui est a leur tour se convertir en 1,3-diphosphoglycérate, molécule riche en énergie. cette réaction s'accompagne par la réduction de la molécule NAD^+ en $\text{NADH} + \text{H}^+$ ET l'addition de phosphate



♦ **Étape 3** : chaque molécule de 1;3 diphosphoglycerate est se converti en **en acide pyruvique cela s'accompagne** avec la production énergie (4 ATP)

3- Pour une molécule de glucose consommée, il y a formation de :

- deux molécules de pyruvate ;
- deux molécules d'ATP ;
- deux molécules de coenzymes réduits NADH, H^+

4- La transformation de glucose en pyruvate ne nécessite pas de dioxygène c'est pourquoi la glycolyse est un phénomène anaérobie

5- La glycolyse est une suite de réactions catalysée par une ensemble d'enzymes. Elle permet la dégradation une molécule de glucose en deux molécules d'acide pyruvique. Elle a lieu dans l'hyaloplasme de la cellule.

C'est une étape commune à la respiration et à la fermentation.

L'équation globale de la glycolyse :



Question

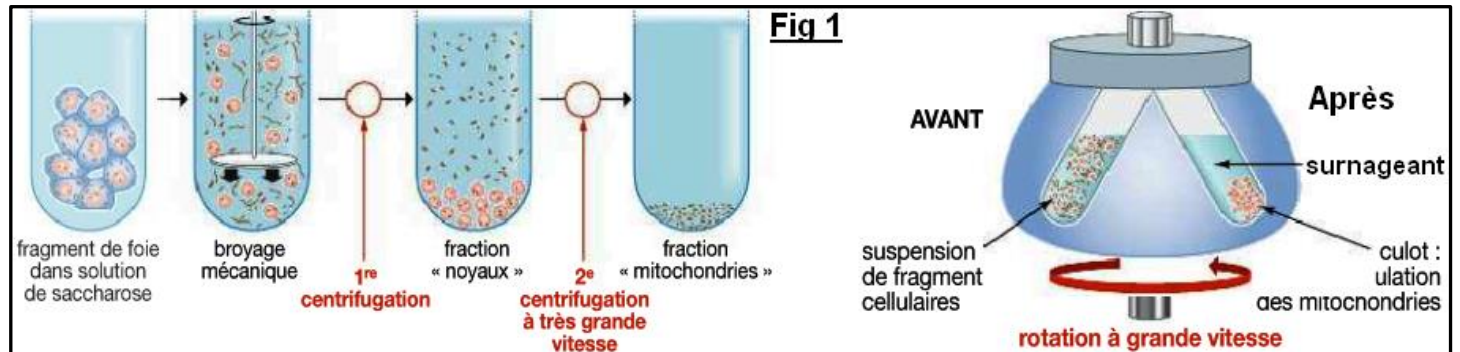
Que devient le pyruvate dans la matrice mitochondriale ?

III- Oxydation respiratoire et le rôle de la mitochondrie

1- Que se passe-il dans la mitochondrie

a- Etudes des résultats des expériences

Doc 6 : 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 du foie. Les cellules subissent d'abord un broyage mécanique modéré afin de libérer les constituants sans trop les léser. Le broyat est ensuite centrifugé : la rotation à grande vitesse des tubes contenant les extraits cellulaires permet de séparer les constituants cellulaires et d'obtenir une fraction riche en mitochondries. L'isolement réel des mitochondries nécessite cependant une centrifugation à très grande vitesse (Fig 1).



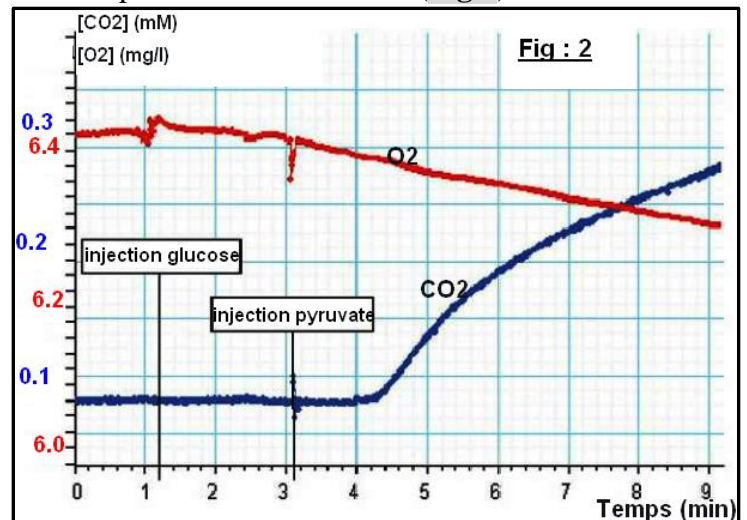
On prépare un extrait contenant des mitochondries isolées et on mesure les concentrations en dioxygène et en dioxyde de carbone de cette suspension dans des conditions expérimentales suivantes (Fig 2).

- À t_0 : Des mitochondries sont placées dans une solution riche en dioxygène
- À t_1 : On ajoute du glucose à la solution des mitochondries
- À t_2 : On ajoute du pyruvate

Le diagramme de la figure 2 représente les résultats obtenus

Remarque : Le pyruvate est la forme ionique de l'acide pyruvique.

- 1- Analyse les résultats obtenus et déduire (Fig 2) ?
- 2- proposer une hypothèse permettant d'expliquer ces résultats ?



Réponses

- 1-
 - ♦ La concentration du dioxygène et du dioxyde de carbone restent constante avant et après l'ajout du glucose.
 - Les mitochondries n'utilisent pas le glucose comme substrat.
 - ♦ L'ajout de pyruvate provoque une diminution de la concentration de dioxygène et l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone dans le milieu.
 - Le pyruvate est bien le substrat des mitochondries (en présence de dioxygène)

On déduit que les mitochondries utilisent l'acide pyruvique comme métabolite énergétique et non pas le glucose.

2- Hypothèse : La cellule absorberait le glucose et le transformerait en pyruvate dans le hyaloplasme. Seul le pyruvate serait absorbé par la mitochondrie.

Pour vérifier l'hypothèse on va étudier les résultats expérimentaux suivants.

Doc : 7 (le même procédé expérimental de la document 3) Des cultures de levures sont réalisées en présence ou en absence de dioxygène dans des milieux contenant une faible quantité de glucose marqué au carbone 14. Des prélèvements effectués à différents temps permettent de détecter et d'identifier les molécules radioactives présentes dans les compartiments intracellulaire ou extracellulaire.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

temps	Milieu externe	Milieu aérobie		Milieu anaérobie	G : glucose P : acide pyruvique K : acides cycle de Krebs E : alcool éthanol + : radio activité faible ++ : radio activité moyenne ++++ : radio activité forte
		Hyaloplasme	Mitochondrie	Hyaloplasme	
t0	G++++				
t1	G++	G++		G++	
t2	G+	P+++		P++++	
t3		P++	P+++		
t4			P++, K++	P++ , E++	
t5			K+++	E++++	

1- On se basant sur les résultats obtenu éprouver l'hypothèse énoncé précédemment ?

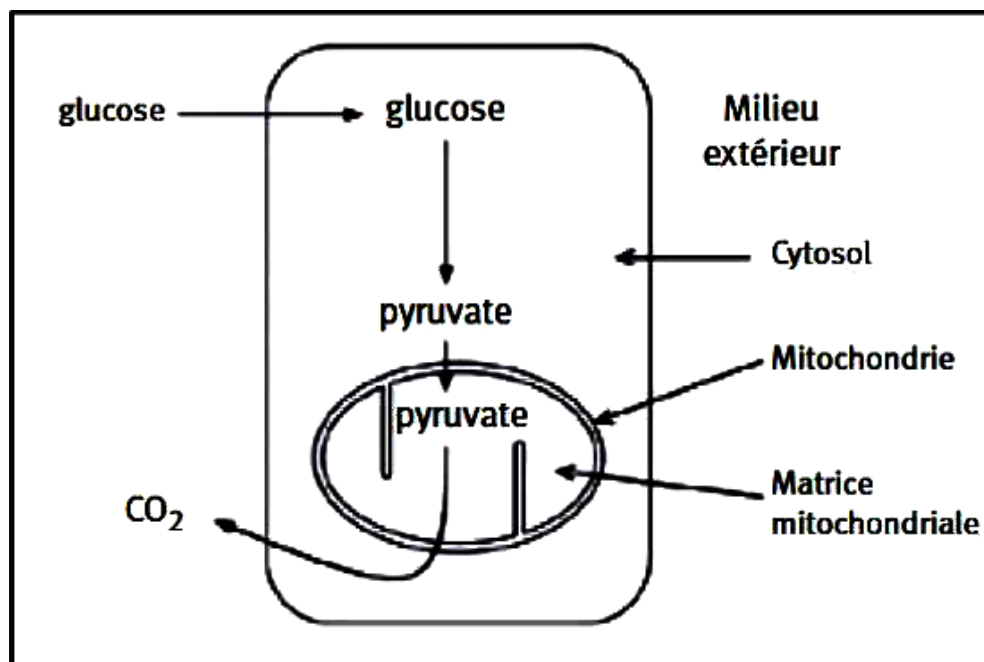
2- par un schéma simple et légendé montrer le parcours et le destin du glucose dans un milieu aérobie ?

Réponses

1- On observe dans le document qu'il n'y a que du glucose dans le milieu externe au temps T0, le taux de glucose du milieu extérieur diminue et on en voit apparaître dans l'hyaloplasme. Cela signifie que le glucose est entré dans les cellules. Au temps T2, il n'y a plus de glucose dans l'hyaloplasme, la radioactivité se retrouve dans les molécules de pyruvate. Le glucose a été transformé en pyruvate dans l'hyaloplasme (**la glycolyse**). Puis on observe qu'il apparaît, progressivement, du pyruvate dans la matrice mitochondriale. L'hypothèse précédente est confirmée.

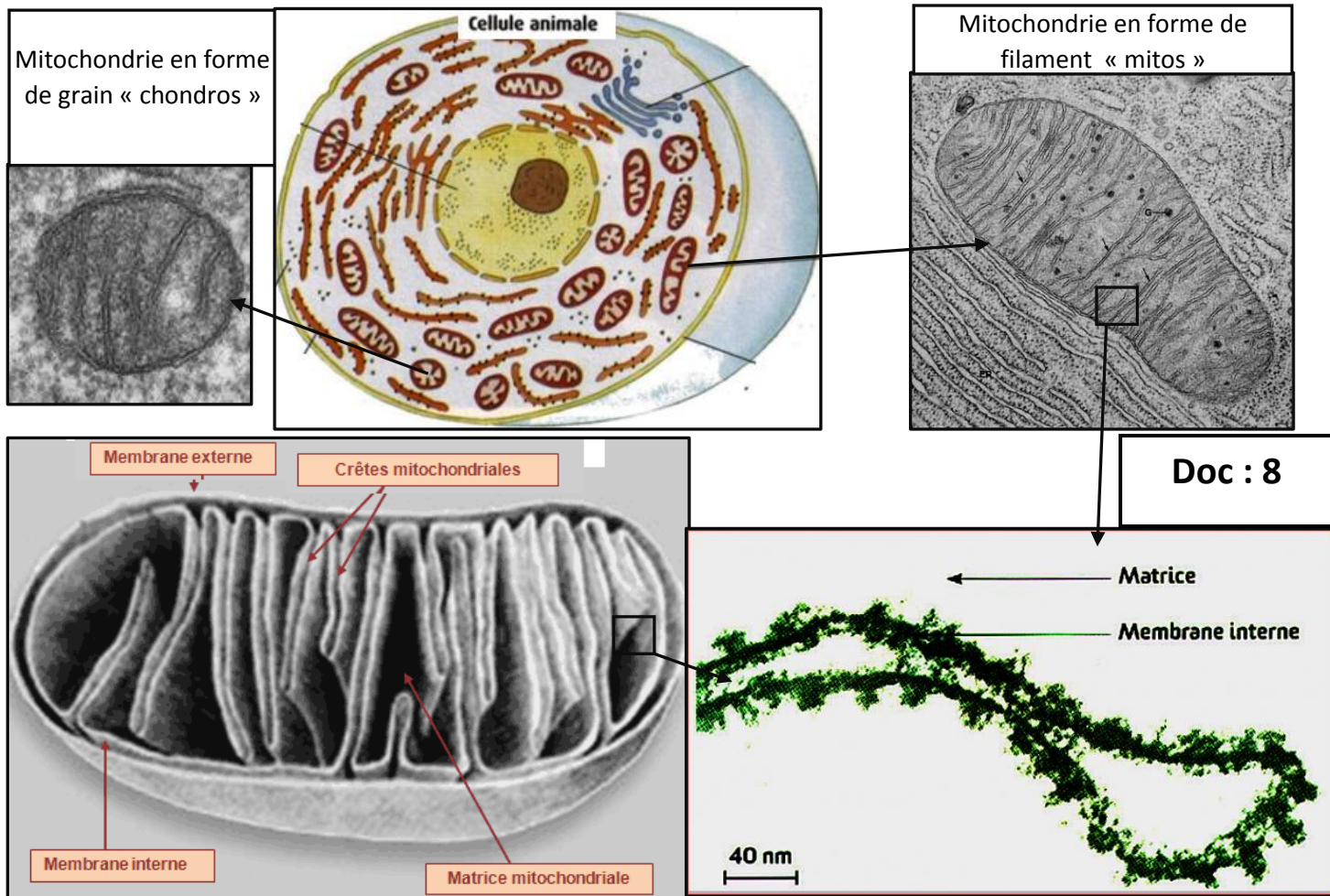
Au temps T3 et T4, la radioactivité est retrouvée dans les molécules de dioxyde de carbone émises dans le milieu extérieur.

2 -



b- Structure et Ultrastructure et composition chimique de la mitochondrie

- Structure et Ultrastructure



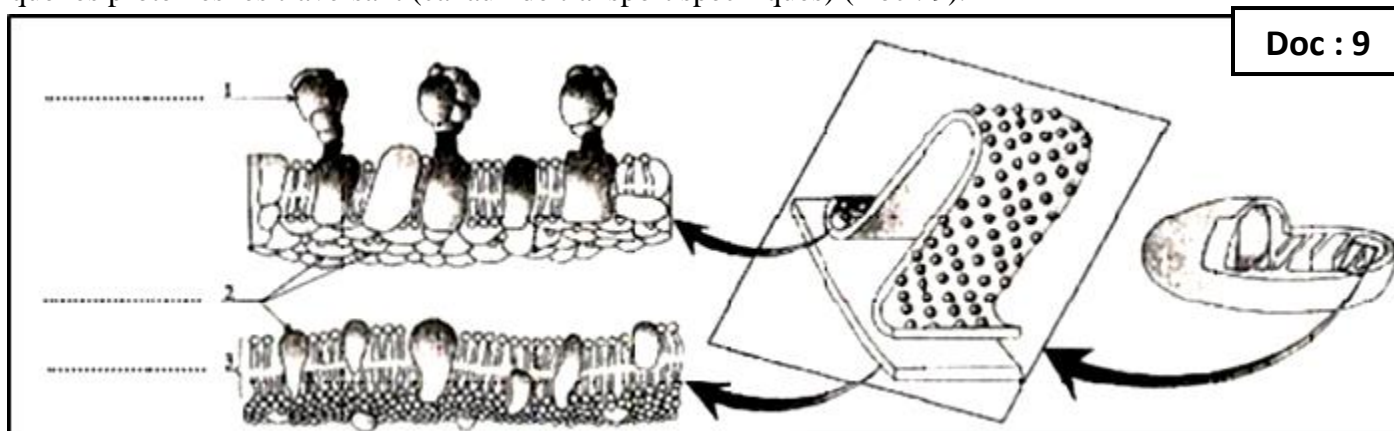
- 1- Faites un dessin d'observation du document ci-contre en y plaçant les annotations suivantes : membrane externe, membrane interne, replis de la membrane interne ou crêtes, matrice (intérieur de la mitochondrie).
- 2- Décrire cet organe

Réponse :

- 1- Dessin de la mitochondrie
- 2- Les mitochondries sont des organites clos délimités par deux membranes : la membrane externe et la membrane interne qui présente des replis complexes appelés crêtes mitochondriales projetés dans la matrice. Entre ces deux membranes se trouve l'espace intermembranaire. La membrane interne limite la matrice à l'intérieur.

- **Structure moléculaire des membranes mitochondriale**

Agrandissement d'une coupe montrant le double feuillet phospholipidique constituant chaque membrane, ainsi que les protéines les traversant (canaux de transport spécifiques) (Doc : 9).



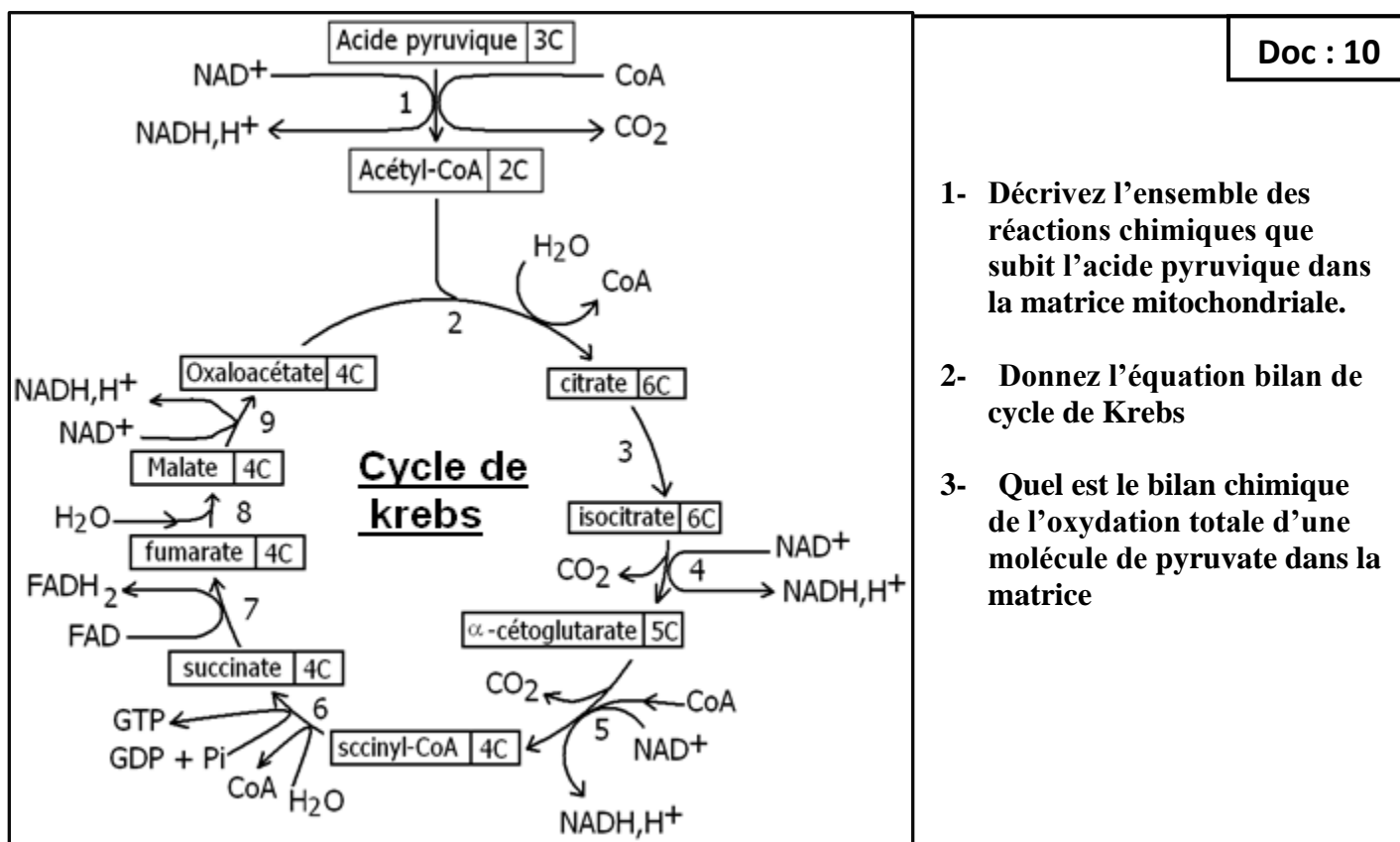
• composition chimique de la mitochondrie

Matrice mitochondrial	Membrane mitochondrie externe	Membrane mitochondrie interne
- Présence de pyruvate, d'ATP, d'ADP et de Pi. - Des composés oxydés (R') ou réduits (R'H ₂) - Enzymes d'oxydation de molécules carbonées (production de CO ₂). - Complexes d'oxydoréduction. (déshydrogénases).	- Lipides (40%) - Protéines (60%) - Protéines similaires à celles de la membrane plasmique.	- Lipides (20%) - Protéines (80%) - Enzyme participant dans des réactions d'oxydoréduction - ATPsynthétase
	- Très permeable	- Perméabilité sélective

D'après le tableau on peut dire que La membrane interne est caractérisée par sa richesse en protéines et en enzymes (et porte des sphères pédonculées tournées vers la matrice)

IV- Rôle des oxydations respiratoires dans la production d'ATP

1- Réactions de la dégradation d'acide pyruvique.

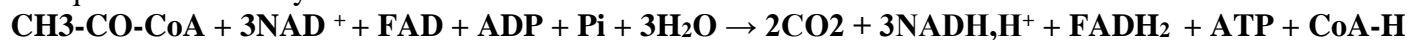


Réponses

Dans la matrice, le pyruvate issu de la glycolyse va subir un ensemble de réactions chimiques qu'on peut résumer en deux étapes :

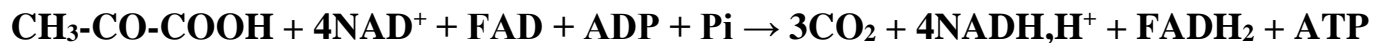
- ♦ **Étape 1** : l'acide pyruvique subit une décarboxylation (enlèvement de CO₂) et une déshydrogénation (enlèvement de H⁺) dont le résultat est un groupement **acétyle** CH₃CO qui se fixe sur un composé appelé **Coenzyme A** pour donner l'**acétyle coenzyme A**
- ♦ **Étape 2** : l'acétyle coenzyme a se fixe sur un corps en C₄ (Oxaloacétate) pour donner un corps en C₆ (Citrate). Ce dernier subit un ensemble de réactions de décarboxylation et de déshydrogénation constituant le **cycle de KREBS**.

2- Equation bilan de cycle de Krebs :



3- Pour une molécule d'acide pyruvique consommée, il y a eu production de

- 4NADH,H⁺
- 1FADH₂
- 1ATP
- 3CO₂



☛ **Question :** Comment sont réoxydés les coenzymes réduits pour que le phénomène perdure ?

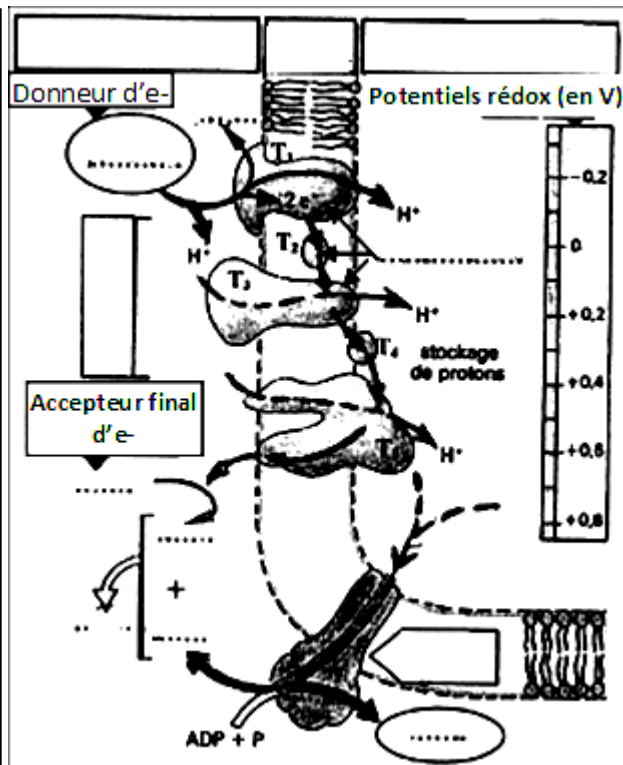
2- Le devenir de FADH²⁺, NADH et O₂

Doc 11 On met des mitochondrie dans un milieu riche en O₂ radioactif, ADP, Pi, NADH;H⁺, FADH₂ on obtient : H₂O*, ATP, FAD⁺, NAD⁺.

- 1- Qui est le destin d'O₂ absorbé dans la respiration ? donner l'équation de cette réaction
- 2- Qui est l'origine d'H⁺ entrant dans cette équation ?
- 3- Donner les équations aboutissant à la formation de FAD⁺, NAD⁺ ?

Pour savoir comment se former l'ATP ainsi le destin de (H⁺) et (e⁻) on a réalisé expériences et des études qui nous permet de réaliser le schéma ci-contre :

- 4- Compléter le schéma ?
- 5- Déterminer le parcours d'(e⁻) et des protons H⁺ arrachées de NADH;H⁺, FADH₂ ?
- 6- Déterminer l'accepteur final des électrons ?
- 7- Qui est le résultat de transport des électrons de NADH;H⁺ et de FADH₂ vers O₂ ?



Réponse :

1- Puisque l'eau obtenue a un oxygène radioactif on peut dire que (O₂) participe à la formation de l'eau selon l'équation suivante : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

2- l'origine d'H⁺ entrant dans cette équation c'est l'oxydation de NADH;H⁺, FADH₂

3- les équations :

- ♦ $\text{NADH;H}^+ \Rightarrow \text{NAD}^+ + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- ♦ $\text{FADH}_2 \Rightarrow \text{FAD}^+ + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

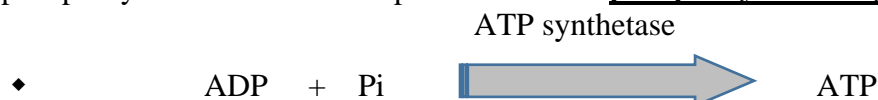
5- ♦ les NADH;H⁺, FADH₂ (=Les transporteurs d'électrons = coenzymes réduits) on s'oxydants cèdent leurs deux électrons à un système de transporteurs qui, par une cascade de réactions d'oxydo-réduction, amène ces électrons jusqu'à l'accepteur final, l'oxygène moléculaire

6- ♦ l'accepteur final d'e⁻ est l'oxygène moléculaire

♦ L'équation : $1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \Rightarrow \text{O}^{-2}$

7- ♦ Au cours de transfert d'e-, des protons sont expulsés (de la matrice) vers l'espace intermembranaire (au niveau des complexes I, III et IV) ce qui crée, de part et d'autre de la membrane interne, un gradient électrochimique d'ions H⁺ qui contient l'énergie d'oxydation. Il est constitué d'un gradient de pH (la matrice devient plus basique) et d'un gradient de charges (la face matricielle de la membrane interne est chargée négativement).

♦ Pour régler cette situation les protons devaient retourner à la matrice mitochondriale. Ce retour ne peut se produire qu'au niveau de passages spécifiques constitués par l'ATP synthase (sphère à pédoncule) : elle laisse passer sélectivement les protons, en synthétisant de l'ATP à partir d'ADP et de Pi. Cette réaction est catalysée par un enzyme dont le nom du complexe (l'ATP synthase). Le couplage de réactions d'oxydoréduction et de phosphorylation donne à cette phase le nom de **phosphorylation oxydative**.



NB: l'oxydation du NADH ;H⁺ produisait environ 3 ATP, et que celui du FADH² générait environ 2 ATP

Bilan de l'oxydation complète du glucose

L'oxydation du glucose en 6 CO₂ implique les voies ou réactions métaboliques suivantes :

♦ *Glycolyse,*

L'étape de la glycolyse est un préalable à la réalisation du cycle de Krebs. En effet, le glucose est le métabolite le plus abondant disponible pour la cellule mais il ne pénètre pas dans la mitochondrie : il doit au préalable être transformé en acide pyruvique qui peut entrer dans la mitochondrie et « alimenter » le cycle de Krebs.

♦ Transformation du *pyruvate en acétylCoA* (libération de 2 CO₂),

♦ *Cycle de Krebs* (libération de 4 CO₂)

✓ Le cycle de Krebs (et dans une moindre mesure la glycolyse) produisent de grandes quantités de transporteurs réduits R'H₂.

✓ La chaîne respiratoire régénère les transporteurs d'H à l'état oxydé, ce qui permet l'entretien du cycle de Krebs et de la glycolyse.

✓ Le CO₂ rejeté au cours de la respiration provient des réactions de décarboxylations et de déshydrogénations réalisées au cours du cycle de Krebs.

Le CO₂ est « ce qui reste » des métabolites organiques et qui ne sera pas ultérieurement utilisé : il est donc rejeté.

♦ *Phosphorylations Oxydatives.*

✓ Le O₂ intervient au cours des réactions d'oxydation des transporteurs réduits R'H₂ réalisées par la chaîne respiratoire : c'est l'accepteur final des électrons et des H. Sans O₂, l'ensemble des réactions de la respiration serait rapidement bloqué en amont.

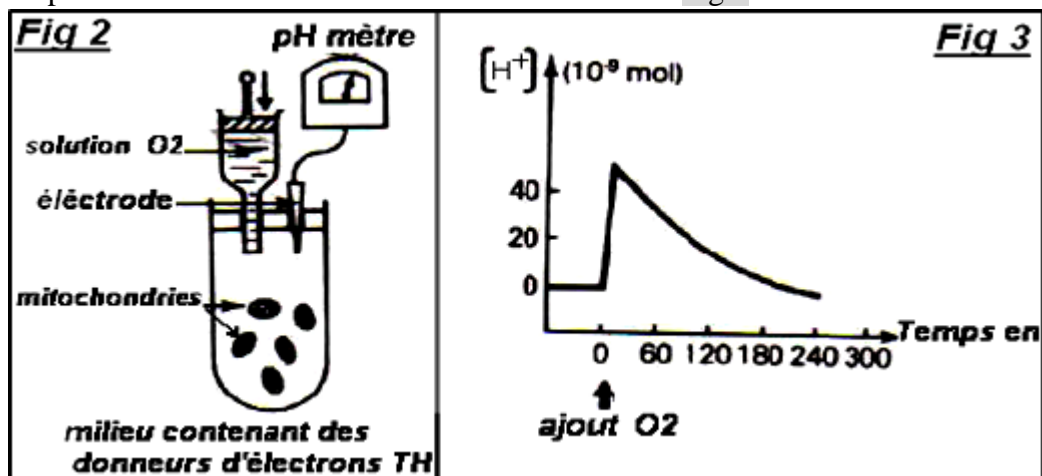
✓ De l'ATP est produit au cours de chacune des trois grandes étapes de la respiration. Cependant, ce sont les réactions d'oxydation des transporteurs réduits R'H₂ réalisées par la chaîne respiratoire qui produisent la plus grande quantité d'ATP.

3- Les conditions permettant la réoxydation des coenzymes et la synthèse d'ATP

Doc 12 : Pour identifier les conditions permettant la synthèse d'ATP on réalise 3 expériences

Expérience 1 :

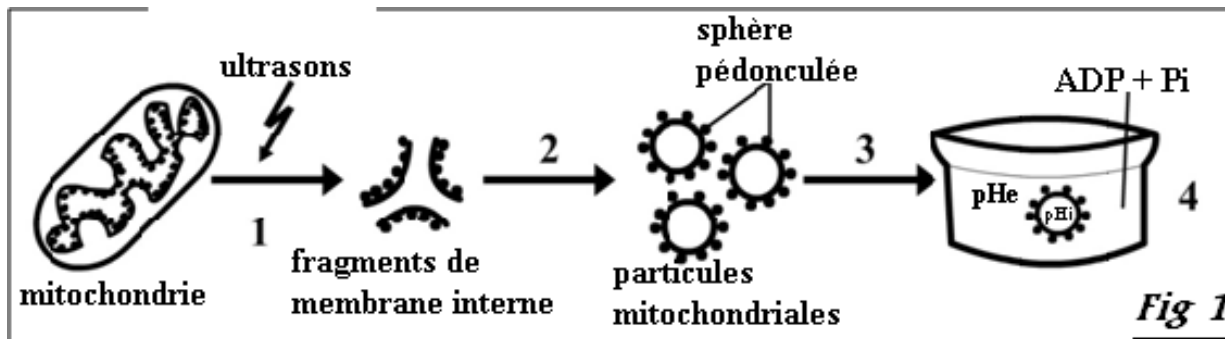
Une solution enrichie en mitochondries et coenzymes réduits (NADH, H^+) est contenue dans un milieu confiné dépourvu de dioxygène. En injectant une solution de O_2 (pulses) Fig 2, on étudie son influence sur la concentration en protons du milieu extérieur. On obtient la courbe Fig 3.



1- Analyser et Expliquer les résultats obtenus ?

Expérience 2 :

On traite des mitochondries aux ultrasons. Ce traitement aux ultrasons fragmente la membrane interne des mitochondries et des particules submitochondriales, petites vésicules de 100 nm de diamètre, se forment. On observe que cette membrane interne est recouverte de sphères pédonculées. Ces dernières ne sont plus au contact de la matrice mais au contact d'un milieu expérimental qui contient du dioxygène, des coenzymes réduits RH_2 , de l'ADP et du phosphate inorganique P_i (Fig 1).



On fait varier le pH du milieu extérieur (pHe) des vésicules mitochondriales et on mesure la quantité d'ATP synthétisé. Les résultats sont représentés par le tableau ci-dessous.

Expérience	C	B	A
Conditions expérimentales			
Résultats	Pas de synthèse d'ATP	Pas de synthèse d'ATP	synthèse d'ATP

2- A partir des résultats expérimentaux, identifiez les conditions permettant la synthèse d'ATP ?

Réponse :

1- ♦ D'après la figure 1 du document 12, on observe qu'avant l'injection d'O₂, la concentration des protons H⁺ est nulle, mais après son injection il y a une augmentation rapide de la concentration en H⁺ jusqu'à une valeur de 45.10⁹ mol/l. pour diminuer ensuite progressivement jusqu'à sa valeur initiale après 4 minutes.

♦ L'augmentation de la concentration de H⁺ dans la solution directement après l'injection d'O₂ s'explique par la sortie de H⁺ résultant de l'oxydation des donneurs d'électrons NADH, H⁺, des mitochondries à travers leur membrane interne.

2- ♦ - Expérience A : Quand pHe > pHi il y a une synthèse d'ATP après l'addition de ADP et Pi

- Expérience B : Quand on élimine les pédoncules de leur sphères il y a pas de production d'ATP malgré que le pHe > pHi

- Expérience C : Quand pHe = pHi il y a pas de production d'ATP

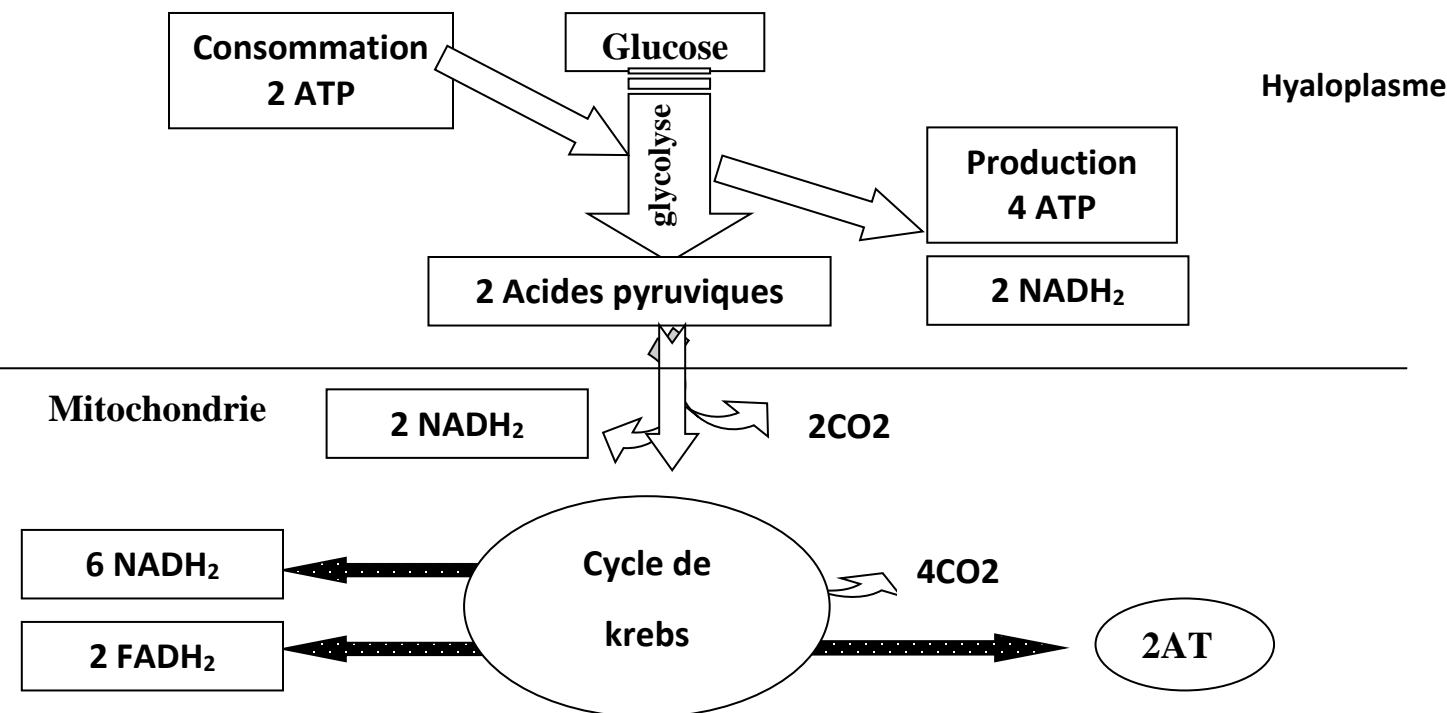
► Les conditions permettant la synthèse d'ATP :

✓ La présence d'ADP et de Pi

✓ Un pH extravésiculaire plus important que le pH de l'intérieur des vésicules (pHi < pHe). Or le pH dépend de la concentration de protons du milieu (plus la concentration de protons est faible, plus le pH est élevé). Dans notre cas, pHe > pHi . Il y aura donc une tendance des protons à sortir des vésicules.

✓ La présence des sphères pédonculées

4- Bilan énergétique de la respiration



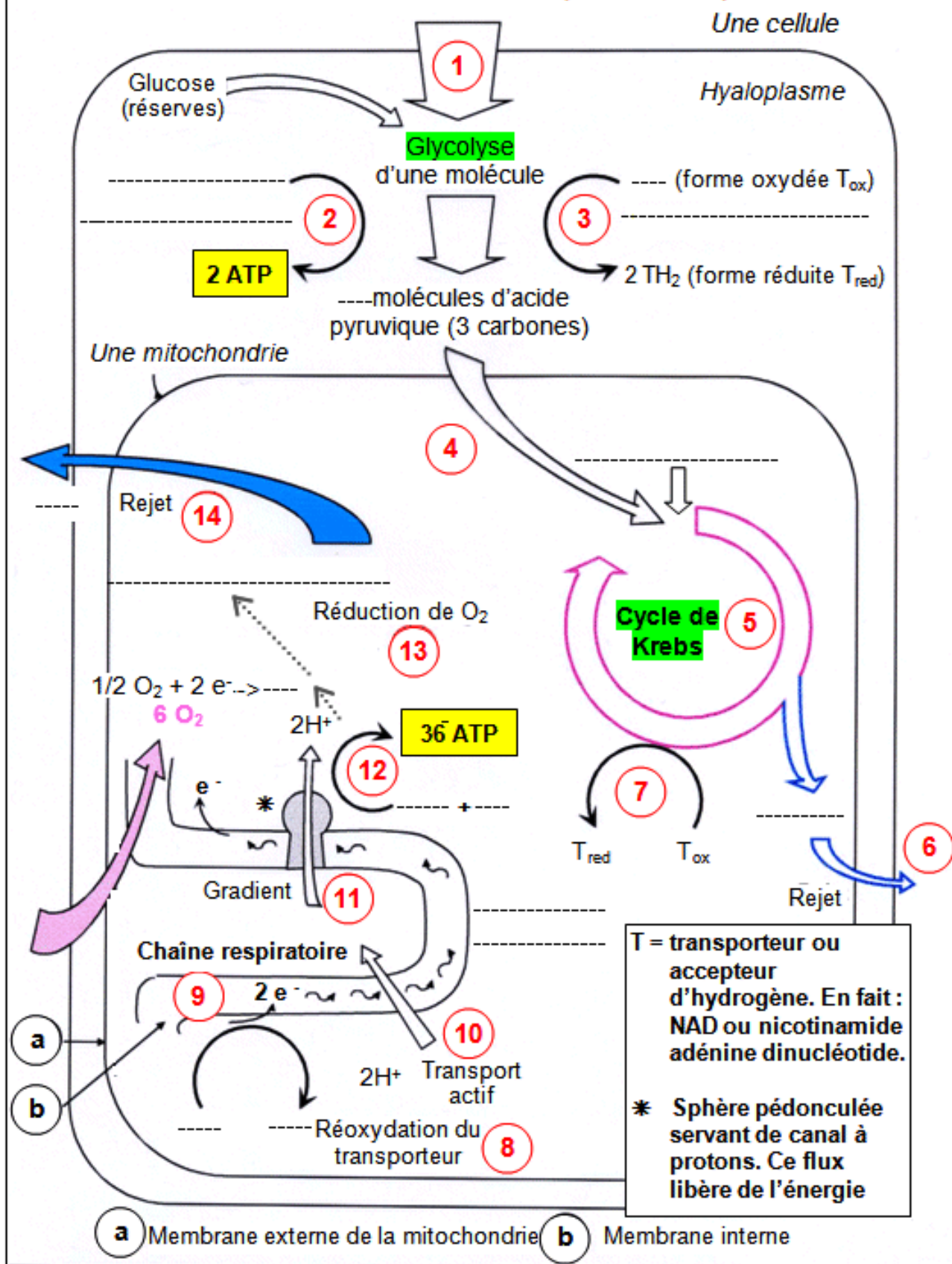
Equation bilan de la respiration cellulaire



Le bilan énergétique du catabolisme d'une molécule de glucose est tantôt de 36 ATP et tantôt de 38 ATP.

Les voies du catabolisme du glucose dans la cellule

1 molécule de GLUCOSE (6 carbones)

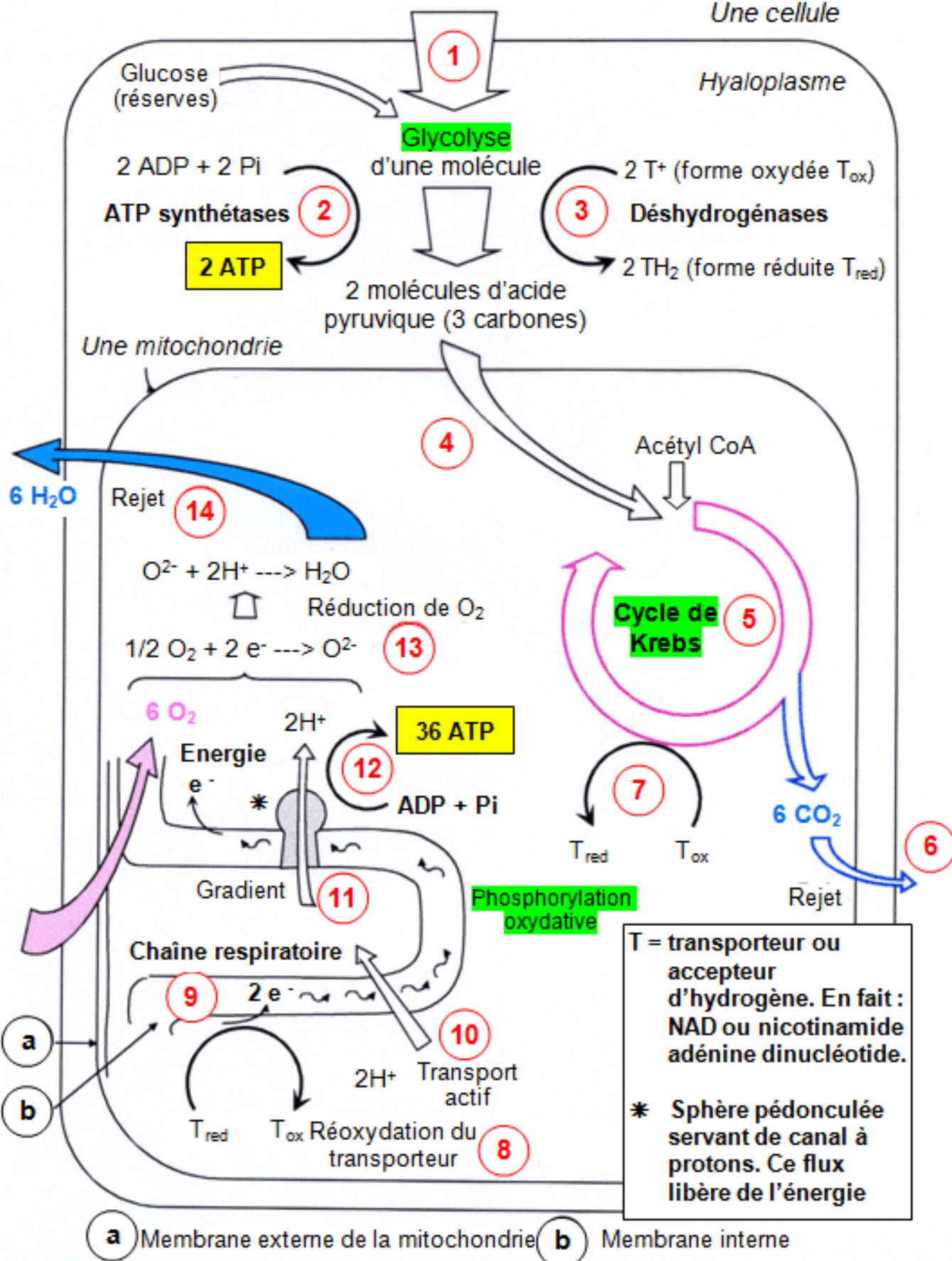


Les voies du catabolisme du glucose dans la cellule

1 molécule de GLUCOSE (6 carbones)

Une cellule

Hyaloplasme



NB : Les différentes navettes

Les molécules de NADH produites dans le cytosol passent facilement à travers la membrane externe de la mitochondrie qui est très perméable. Ceci n'est pas le cas de la membrane interne, obligeant le NADH à transmettre ses électrons riches en énergie à d'autres molécules de transfert, différentes selon la navette.

a) La navette malate-aspartate

Les électrons riches en énergie sont ici transférés à l'oxaloacétate pour former le malate qui passera dans la matrice mitochondriale où il retransmettra ses électrons au NAD⁺ afin de reformer le NADH.

La production d'ATP sera donc ici la même que pour les molécules de NADH produites dans la matrice.

Cette navette est plus particulièrement présente au niveau du cœur et du foie

b) La navette glycérol 3-phosphate

Les électrons riches en énergie sont ici transférés au glycérol 3-phosphate qui retransmettra ses électrons au FADH₂.

La production d'ATP sera donc ici inférieure aux molécules de NADH produites dans la matrice. Cette navette est plus particulièrement présente au niveau des muscles squelettiques et du cerveau.

La respiration est-elle notre seule source d'énergie ?**V- La fermentation : une autre voie de production d'ATP**

La synthèse d'ATP par la cellule est assurée par ses oxydations aérobies, c'est-à-dire grâce à la respiration. Mais certaines cellules vivent en absence d'oxygène et peuvent également oxyder leurs molécules organiques pour produire de l'énergie : c'est la fermentation.

Comment se déroule-t-elle ? En quoi est-elle différente de la respiration ?

La fermentation commence par la glycolyse, exactement la même réaction que dans la respiration. Mais les deux pyruvates produits par la glycolyse vont être dégradés partiellement dans une réaction qui ne nécessite pas d'oxygène.

Il existe plusieurs types de fermentations, dont :

- La fermentation alcoolique
- La fermentation lactique

1- La fermentation alcoolique (Fig 1)

La fermentation alcoolique, aussi dite éthanolique, réalisée par les levures consiste en :

- La glycolyse : production de 2 pyruvates, de 2 ATP et de 2 R'H₂.
- La transformation des deux pyruvates en 2 éthanol et 2 CO₂ grâce à l'utilisation des composés R'H₂ produits par la glycolyse

La fermentation alcoolique permet ainsi de produire 2 ATP pour un glucose, au lieu de 36 ATP pour la respiration

**2- La fermentation lactique (Fig 2)**

La fermentation lactique réalisée, par les cellules musculaires ou les bactéries du yaourt, consiste en

- La glycolyse : production de 2 pyruvates, de 2 ATP et de 2 R'H₂.
- La transformation des deux pyruvates en 2 lactates grâce aux composés R'H₂ produits par la glycolyse.

La fermentation lactique permet ainsi de produire 2 ATP pour un glucose, au lieu de 36 ATP pour la respiration



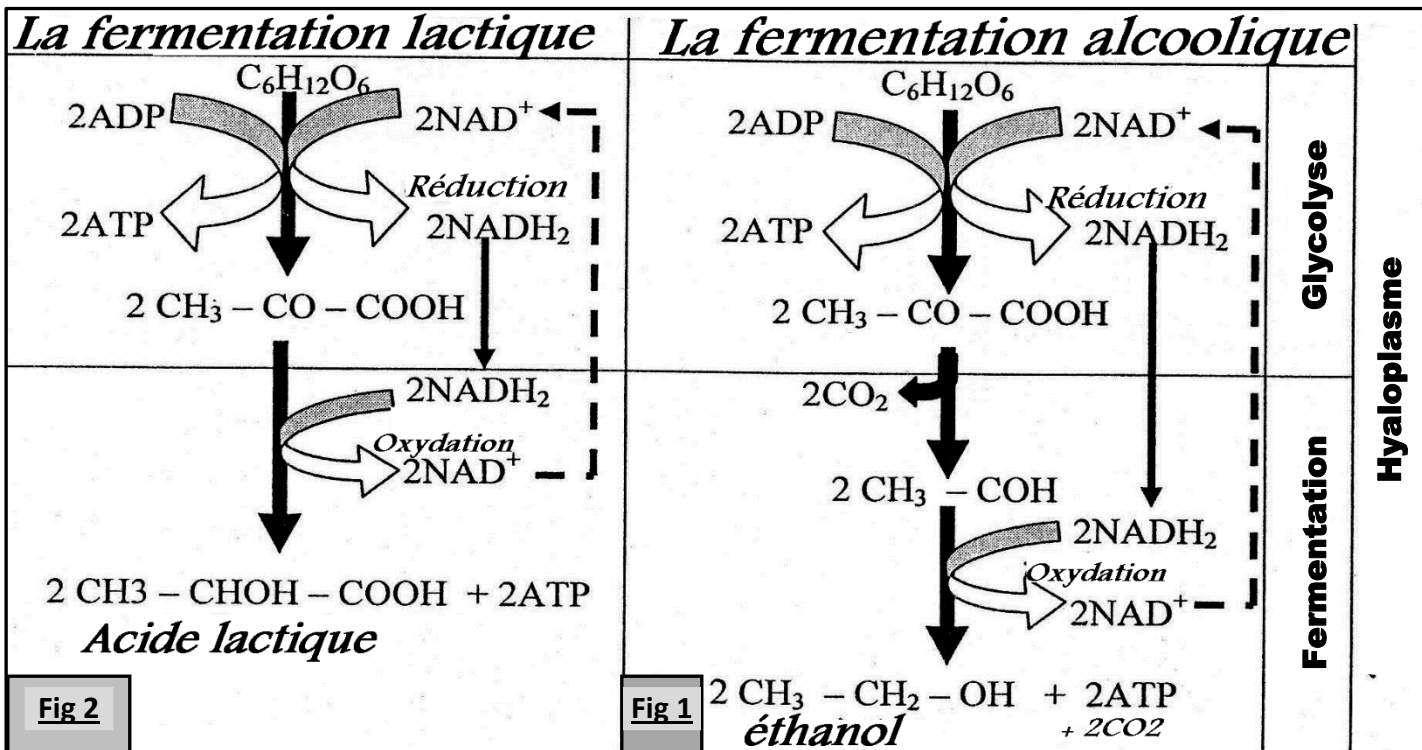
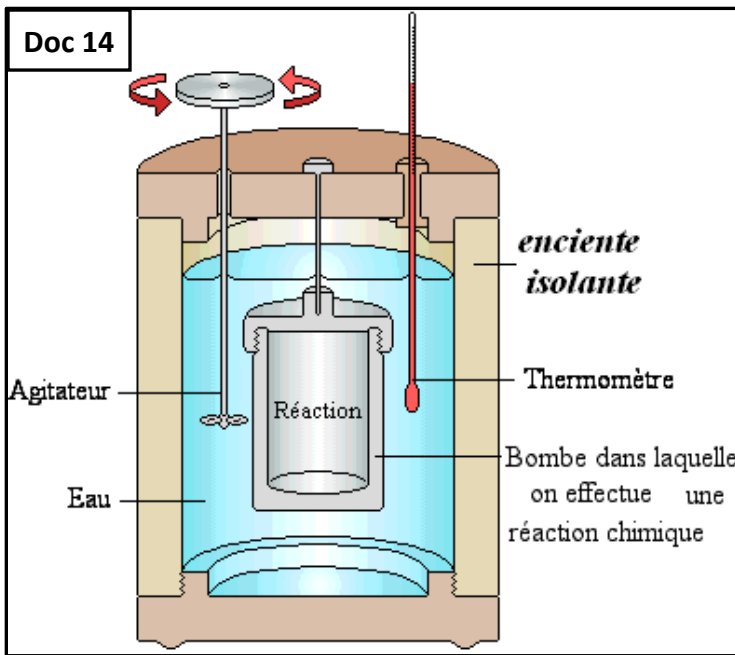


Fig 2

Fig 1

3- Comparaison du rendement énergétique de la respiration et de la fermentation



La valeur énergétique des molécules organiques peut être déterminée très précisément avec un calorimètre (schéma ci-contre) : grâce à cet appareil, on peut mesurer la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une quantité connue de matière.

Ainsi, il est établi que la combustion complète **d'une mole de glucose libère 2 840 kJ**.

La quantité d'énergie chimique investie dans l'ATP varie suivant les conditions : l'hydrolyse **d'une mole d'ATP peut en effet libérer 30,5 kJ** dans les conditions standard.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{quantité d'énergie sous forme d'ATP}}{\text{quantité d'énergie chimique potentielle du glucose}}$$

Métabolisme	Respiration cellulaire	fermentation
Nombre de molécules d'ATP formées par molécule de glucose	38	2
Quantité d'énergie extraite à partir d'une molécule de glucose (kJ)	$38 \times 30,5 = 1159\text{kJ}$	$2 \times 30,5 = 61\text{kJ}$
Rendement	$(1159 \times 100) / 2840 = 40,8\%$	$(61 \times 100) / 2840 = 2,14\%$

Le rendement de la respiration est nettement supérieur à celui de la fermentation car la dégradation du substrat organique est complète alors qu'elle est partielle au cours de la fermentation, le résidu carboné contenant encore de l'énergie chimique potentielle.

Toute l'énergie chimique potentielle contenue dans une molécule de glucose n'est cependant pas convertie en ATP, même lors de la respiration : près de 50 % de cette énergie, dans le cas de la respiration, est dissipée sous forme de chaleur (ou de déchets organiques (contenant encore une énergie potentielle cas de la fermentation)).

Fin

Lycée EL-WAHDA