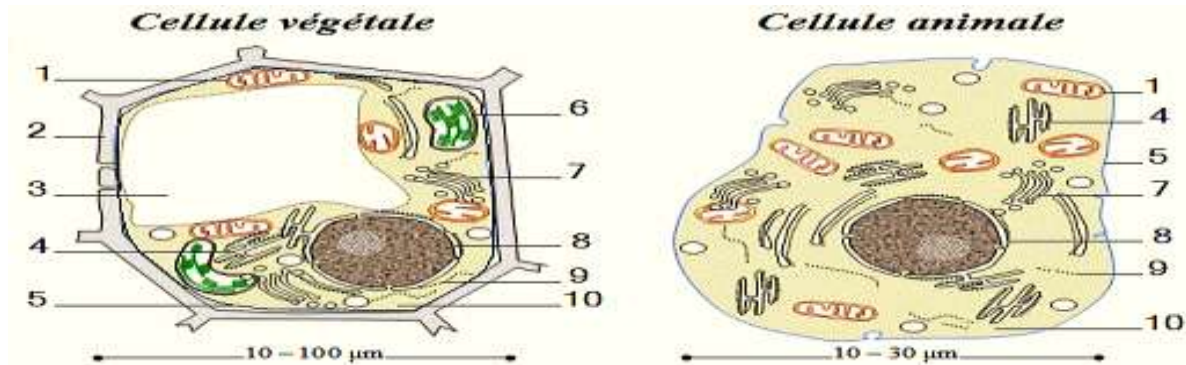


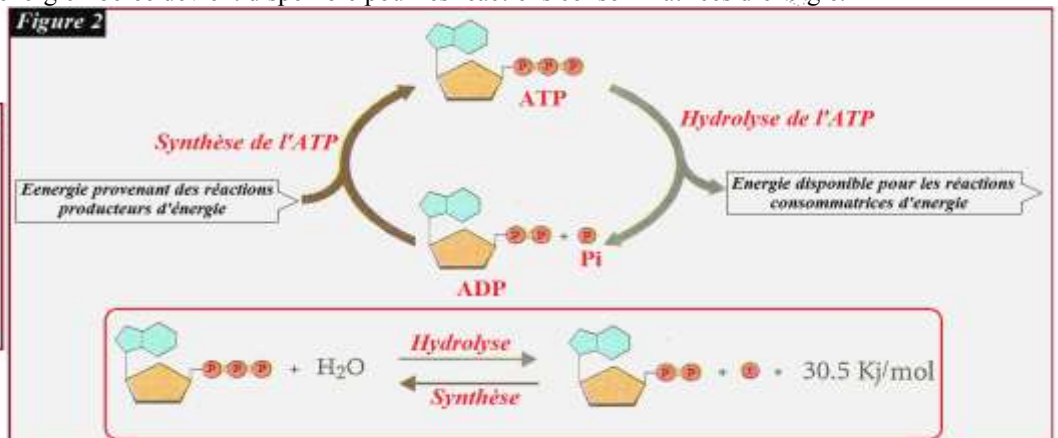
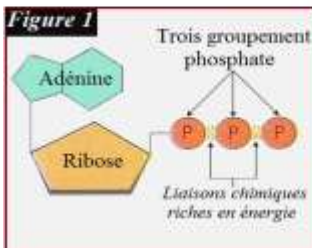
**Document 1:**

- Tous les organismes sont composés de cellules, en effet la cellule est l'unité structurale fondamentale de tous les êtres vivants. Une cellule est constituée d'un cytoplasme limité par une membrane appelée membrane cytoplasmique. Dans le cytoplasme on trouve généralement un noyau et d'autres constituants de la cellule appelés organites cellulaires (comme la mitochondrie, le réticulum, l'appareil de Golgi...).
- La figure suivante représente la structure d'une cellule végétale et celle d'une cellule animale.



**Document 2:**

- L'ATP (Adénosine triphosphate) est une molécule universelle riche en énergie (elle a été mise en évidence dans toutes les cellules animales, végétales et bactériennes).
- L'ATP est formée d'une molécule d'adénosine liée à trois groupements phosphates (figure 1). La molécule d'adénosine est composée d'un pentose (le ribose) et d'une base organique azotée (l'adénine).
- Deux réactions chimiques réversibles caractérisent l'ATP (figure 2):
  - ✓ La synthèse de l'ATP par phosphorylation de l'ADP (Adénosine diphosphate). Il s'agit d'une réaction catalysée par l'enzyme ATPsynthase, et qui nécessite un apport important d'énergie qui sera stockée dans la molécule d'ATP.
  - ✓ L'hydrolyse de l'ATP : cette réaction catalysée par l'enzyme ATPase libère l'énergie chimique stockée dans la molécule d'ATP. L'énergie libérée devient disponible pour les réactions consommatrices d'énergie.



**Document 3:**

❖ Pour mettre en évidence les voies métaboliques qui permettent aux cellules d'avoir l'énergie nécessaire aux différentes activités cellulaires, on propose l'étude des résultats de quelques expériences :

➤ **Première expérience:** La levure de bière est un champignon formé d'une seule cellule ovoïde, elle s'observe facilement au microscope (figure 1). On réalise une manipulation dont les étapes sont les suivantes :

- ✓ On place des levures dans un milieu de culture aéré (oxygéné) mais dépourvue de nutriments pendant deux jours, le but est que les cellules consomment tous les réserves cytoplasmiques.
- ✓ Le milieu de culture (qui contient des cellules de en levures suspension) est placé dans un montage EXAO qui permet la mesure des concentrations d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> dans le milieu de culture (figure 2).
- ✓ Au temps t, on injecte dans le milieu de culture une solution de glucose à 50 g/l
- ✓ La figure 3 montre le graphique qui apparait sur l'écran de l'ordinateur lié au montage EXAO.

1. À partir des données du graphique de la figure 3, décrivez la variation des concentrations de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub>.

✓ D'autres mesures ont montré qu'à la fin de cette première expérience : la quantité du glucose a diminué; la température du milieu de culture a augmenté; la masse de la levure a considérablement augmenté et il y a plus d'eau produite que d'eau consommée.

2. Interprétez ces résultats.

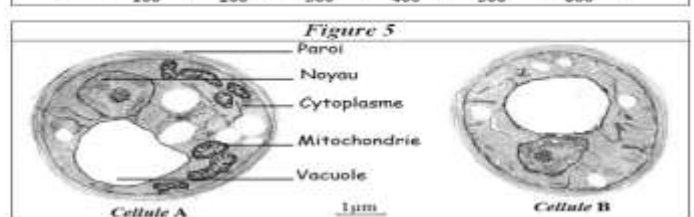
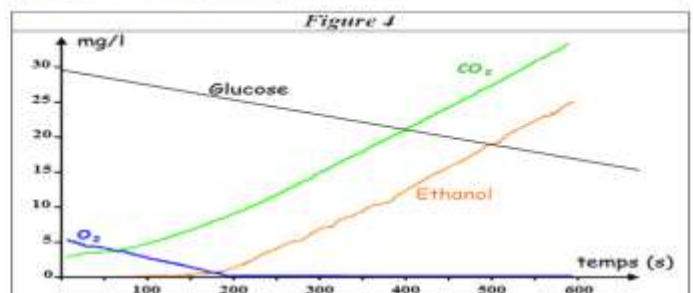
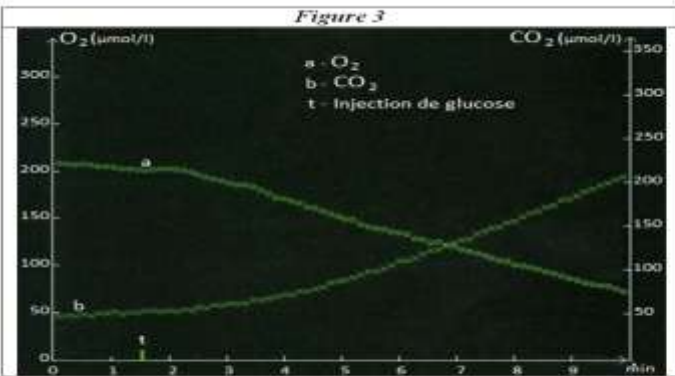
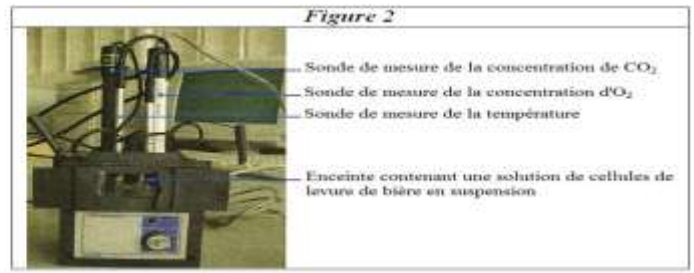
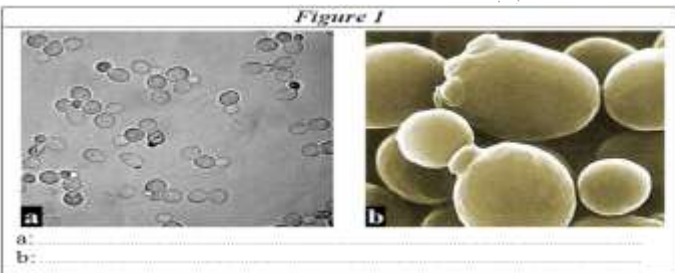
3. À partir des données précédentes, déterminez la voie métabolique utilisée par les cellules de la levure de bière pour obtenir l'énergie nécessaire à leur développement dans cette première expérience.

➤ **Deuxième expérience:** On place une suspension de cellules de levure de bière dans un récipient hermétique avec du glucose et très peu d'O<sub>2</sub>. Un montage EXAO permet de mesurer les différents produits présents dans le récipient. Les résultats de cette deuxième expérience sont présentés par le graphique de la figure 4 (L'éthanol est un alcool qui provient de la décomposition du glucose). D'autre part, des mesures effectuées au début et à la fin de l'expérience ont montré une légère augmentation de la masse des levures.

4. Analysez et interprétez les données de la figure 4. Déduisez la ou les voies métaboliques utilisées par les cellules de la levure de bière dans cette deuxième expérience.

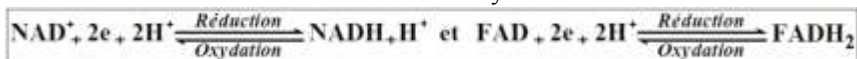
➤ **Troisième expérience:** La figure 5 montre l'observation au microscope électronique d'une cellule de levure de bière ayant séjourné dans un milieu aérobie (cellule A), et d'une autre ayant séjourné dans un milieu anaérobie (cellule B).

5. À partir de la comparaison de la cellule A avec la cellule B, déterminez l'organe cellulaire qui peut être impliqué dans la production d'énergie en milieu aérobie.



**Document 4:**

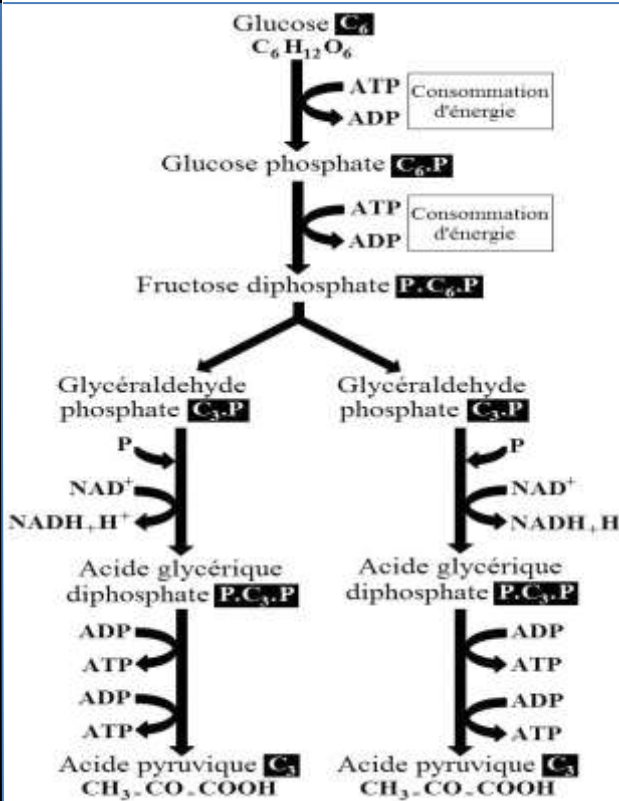
➤ Les couples redox NAD<sup>+</sup>/NADH, H<sup>+</sup> et FAD/FADH<sub>2</sub> jouent un rôle important dans les réactions de libération de l'énergie emmagasinée dans les substances organiques. Ce sont des transporteurs d'énergie sous forme d'électron e<sup>-</sup> et de protons H<sup>+</sup>, ainsi ces molécules passent continuellement de la forme réduite à la forme oxydée et l'inverse selon les réactions suivantes:



Pour simplifier on écrit ces réactions comme suit :



Document 5:



**Première étape :** Formation du fructose diphosphate avec consommation d'énergie.

Le glucose fixe un groupement phosphate issue de l'hydrolyse d'une molécule d'ATP et devient glucose phosphate. Ce dernier fixe lui aussi un groupement phosphate issue de l'hydrolyse d'une molécule d'ATP et se transforme en fructose diphosphate.

**Deuxième étape :** Formation de l'acide glycérique diphosphate.

La molécule du fructose diphosphate se scinde en deux molécules d'un sucre en  $C_3$  appelé glyceraldéhyde phosphate. Chaque molécule de ce sucre fixe un groupement phosphate et subit une oxydation, elle libère des  $e^-$  et de  $H^+$  qui sont fixés par une molécule de  $NAD^+$ , celle-ci est réduite en  $NADH, H^+$ . A la suite de ces réaction le glyceraldéhyde phosphate se transforme en acide glycérique diphosphate.

**Troisième étape :** Synthèse de l'ATP et formation de l'acide pyruvique

Chaque molécule l'acide glycérique diphosphate cède ses deux groupements phosphates à deux molécules d'ADP. Il en résulte la synthèse de quatre molécules d'ATP et la transformation de l'acide glycérique diphosphate en acide pyruvique.

Document 6:

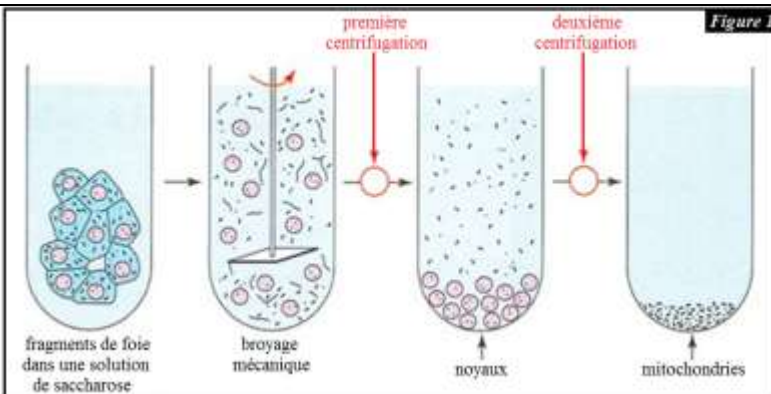
❖ Pour mettre en évidence le rôle des mitochondries dans la respiration cellulaire, on propose les données suivantes :

➤ **Première donnée :** La figure 1 représente les étapes de l'isolement des mitochondries à partir de cellules animales :

✓ Un broyage mécanique permet la séparation des différents constituants des cellules d'un fragment de foie placé dans une solution de glucose.

✓ Une première centrifugation (5 min à 900 G) permet d'isoler les noyaux.

✓ Une deuxième centrifugation (10 min à 10 000 G) permet d'isoler les mitochondries.

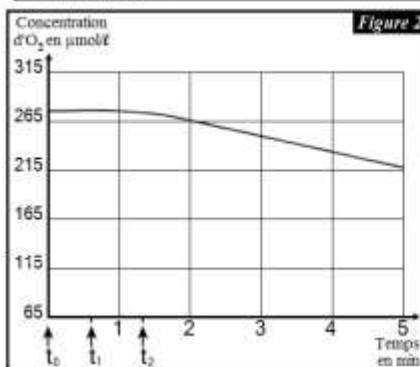


➤ **Deuxième donnée :** On réalise une expérience dont les étapes sont les suivantes :

✓ Au temps  $t_0$ , une suspension de mitochondries (isolées à partir de cellules de foie) est placée dans l'enceinte riche en  $O_2$  d'un réacteur Biocell (appareil permettant la réalisation des expériences de biologie cellulaire).

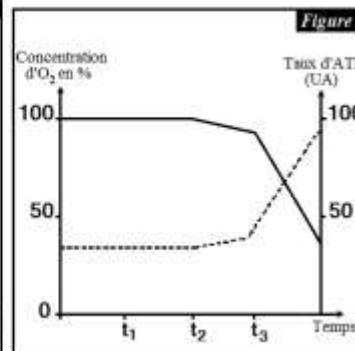
✓ On ajoute du glucose à la suspension au temps  $t_1$  et de l'acide pyruvique au temps  $t_2$ .

✓ On suit l'évolution de la concentration d' $O_2$  sur l'écran d'un ordinateur relié au réacteur Biocell. Les résultats sont traduits par le graphe de la figure 2.



1. À partir du graphe de la figure 2, décrivez l'évolution de la concentration d' $O_2$ , puis déduisez la nature du métabolite énergétique utilisé par les mitochondries.

➤ **Troisième donnée :** On place une suspension de mitochondries dans une solution nutritive riche en  $O_2$ . On ajoute à la solution, du glucose au temps  $t_1$ , de l'acide pyruvique au temps  $t_2$  et l'ADP + Pi au temps  $t_3$ . Le graphe de la figure 3 présente l'évolution de la concentration d' $O_2$  et de l'ATP tout au long de cette expérience.



2. Déterminez le rôle des mitochondries dans la respiration cellulaire à partir de l'analyse des données de la figure 3.

Document 7:

Figure 1: Mitochondrie observée au microscope électronique

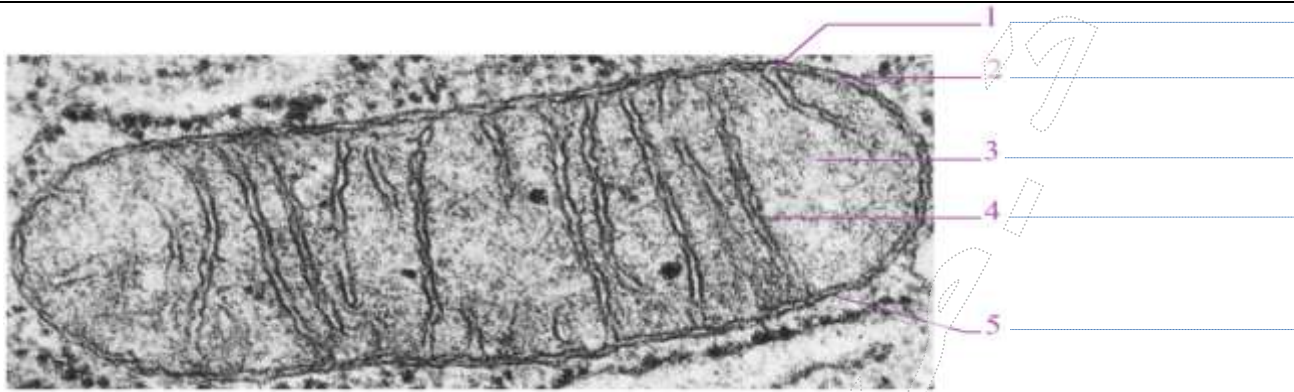


Figure 2: Structure moléculaire des membranes de la mitochondrie

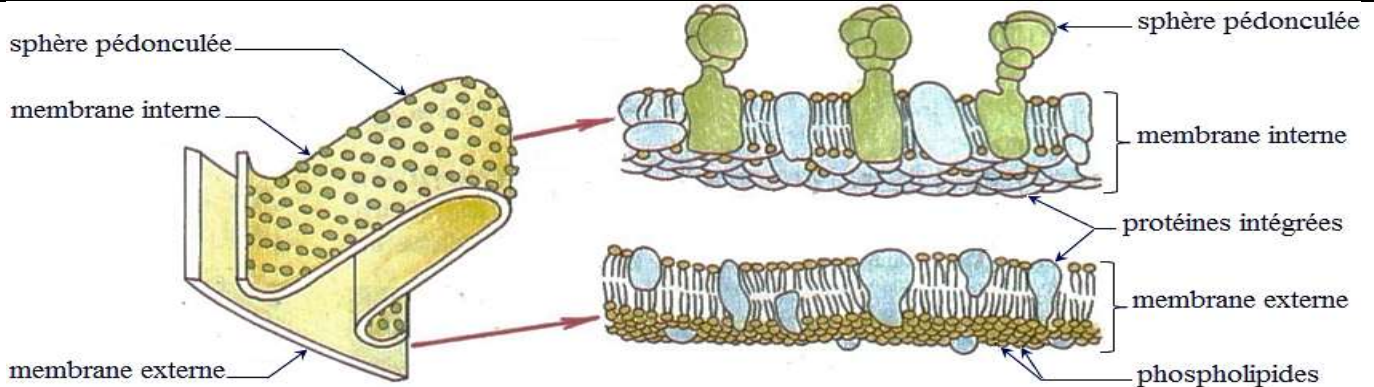


Figure 3: Quelques caractéristiques de la mitochondrie

Parties de la mitochondrie	Quelques caractéristiques
Membrane externe	- Composée de 40% à 50% de lipides et de 50% à 60% de protéines. - Structure comparable à celle de la membrane cytoplasmique.
Membrane interne	- Grande surface grâce aux crêtes. - Composée de 20% de lipides et 80% de protéines parmi lesquelles : + des complexes enzymatiques et des transporteurs d'e <sup>-</sup> qui forment la chaîne respiratoire ; + les sphères pédonculées qui jouent le rôle d'ATP synthétases.
Matrice	- Absence du glucose et présence de l'acide pyruvique, de l'ATP, de l'ADP et du Pi. - Présence des transporteurs des e <sup>-</sup> et des H <sup>+</sup> (Les couples NAD <sup>+</sup> /NADH <sub>4</sub> H <sup>+</sup> et FAD/FADH <sub>2</sub> ). - Présence d'enzymes variées comme les décarboxylases et les déshydrogénases. + Les décarboxylases catalysent la décarboxylation : réaction chimique au cours de laquelle une molécule de CO <sub>2</sub> est libérée à partir d'une molécule organique portant un groupement carboxyle COOH. + Les déshydrogénases catalysent la déshydrogénation : réaction d'oxydation d'une substance organique par enlèvement d'un ou plusieurs H <sup>+</sup> qui seront fixés par un accepteur (comme le NAD <sup>+</sup> ou le FAD).

Document 8:

❖ Pour déterminer le devenir de l'acide pyruvique (pyruvate) au niveau des mitochondries, on cultive des cellules animales dans un milieu riche en O<sub>2</sub> et contenant du glucose marqué par le carbone radioactif <sup>14</sup>C.

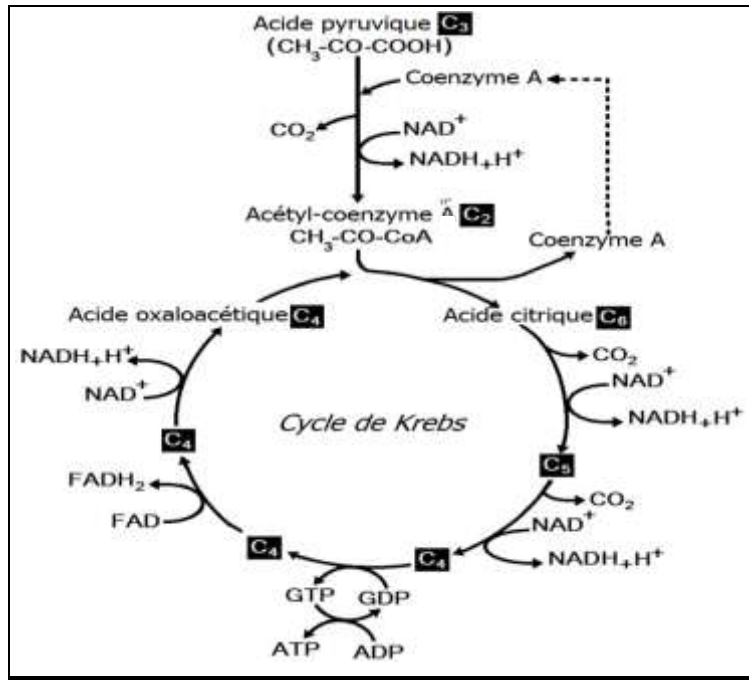
L'observation d'échantillons de cellules cultivées à différents temps a mis en évidence l'apparition de nouvelles substances radioactives. Le tableau ci-contre montre la localisation et la concentration de ces substances radioactives en fonction du temps.

1. Déterminer le devenir du pyruvate au niveau des mitochondries à partir de l'analyse des données du tableau.

Temps	Milieu extracellulaire	Milieu intracellulaire	
		Cytoplasme	Mitochondrie
T <sub>0</sub>	G <sup>+++</sup>		
T <sub>1</sub>	G <sup>+</sup>	G <sup>++</sup>	
T <sub>2</sub>		a.P <sup>+++</sup>	a.P <sup>+</sup>
T <sub>3</sub>			a.P <sup>+++</sup> et a.K <sup>+</sup>
T <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> <sup>+</sup>		a.K <sup>+++</sup>

- G : glucose  
- a.P : acide pyruvique ou pyruvate  
- a.K : acides du cycle de Krebs  
Le nombre de «+» est proportionnel à la quantité de molécules radioactives présentes dans le milieu.

Document 9:



Document 11:

❖ Pour mettre en évidence le rôle des sphères pédonculées dans la respiration, on réalise l'expérience présentée par la figure 1: des mitochondries isolées sont soumises à l'action d'ultrasons, elles se découpent et des fragments de leur membrane interne se retournent et forment des particules submetochondriales, il s'agit de vésicules dont les sphères pédonculées sont orientées vers l'extérieur. On place ces particules submetochondriales dans des milieux variés ; la figure 2 présente les conditions de cette expérience et les résultats obtenus.

1. À partir de l'analyse des données de la figure 2, déterminez le rôle des particules submetochondriales mis en évidence par cette expérience.

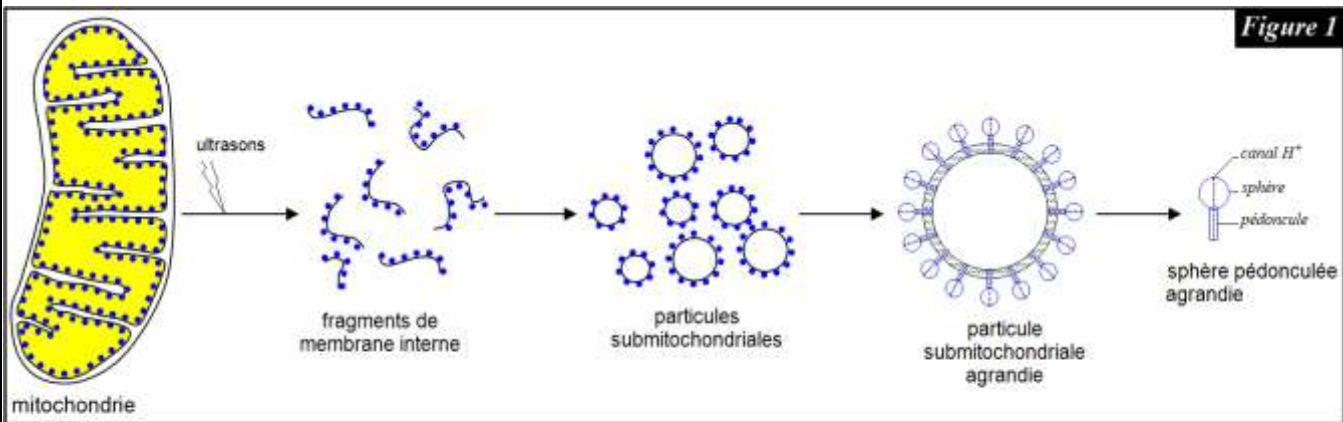


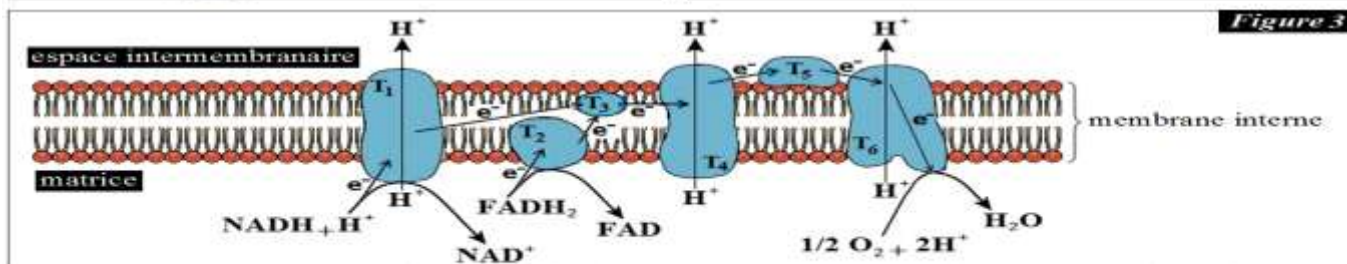
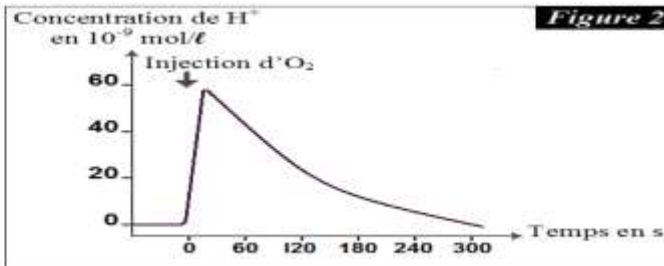
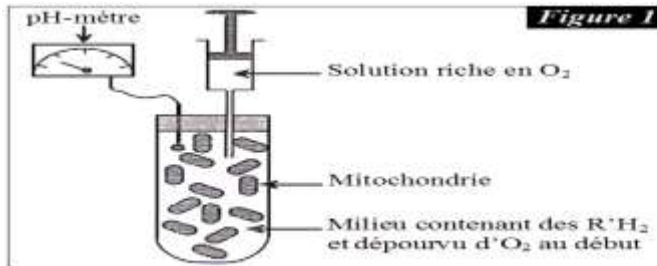
Figure 2	milieu 1	milieu 2	milieu 3	milieu 4
conditions expérimentales	ADP + Pi pHi = 4 pHe = 8	particule submetochondriale sans sphère pédonculée ADP + Pi pHi = 4 pHe = 8	ADP + Pi pHi = 7 pHe = 7	FCCP ADP + Pi pHi = 4 pHe = 8
résultats	synthèse de l'ATP	pas de synthèse de l'ATP	pas de synthèse de l'ATP	pas de synthèse de l'ATP

- pHi : pH à l'intérieur des particules submetochondriales (représente le pH dans l'espace intermembranaire).
- pHe : pH à l'extérieur des particules submetochondriales (représente le pH dans la matrice).
- ❖ La membrane interne des mitochondries est imperméable aux H<sup>+</sup>, ces derniers ne peuvent passer de l'espace intermembranaire à la matrice qu'à travers des canaux situés dans les sphères pédonculées.
- ❖ le FCCP est substance qui rend la membrane interne des mitochondries perméable aux H<sup>+</sup>.

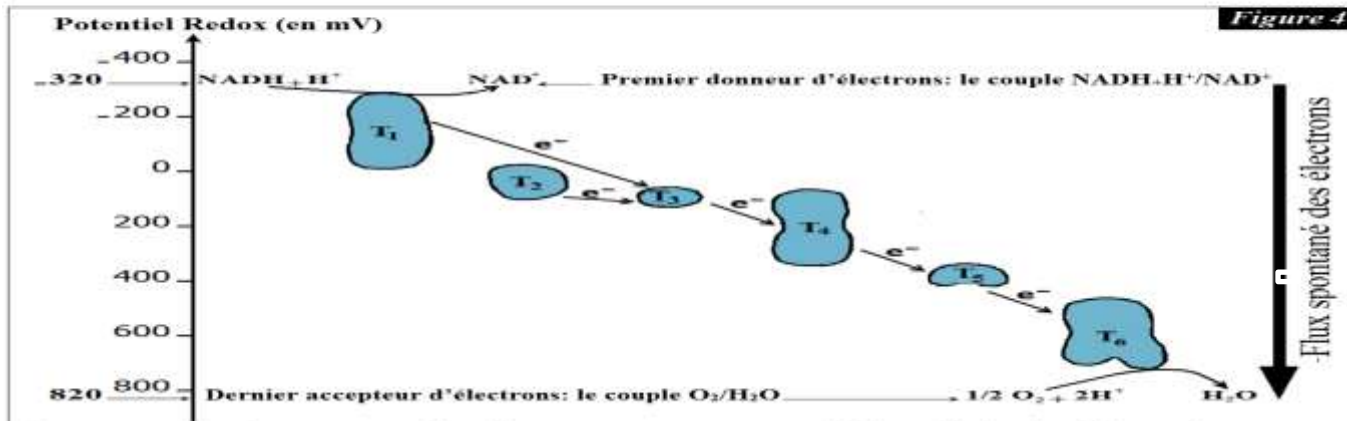
Document 10:

❖ Pour mettre en évidence le rôle de la chaîne respiratoire dans la respiration cellulaire, on propose les données suivantes:  
 ➤ **Première donnée** : On réalise l'expérience illustrée par la figure 1. On place une suspension de mitochondries dans un milieu dépourvu d'O<sub>2</sub> et contenant des R'H<sub>2</sub> (donneurs d'e<sup>-</sup> et de H<sup>+</sup>). On suit l'évolution de la concentration de H<sup>+</sup> dans le milieu avant et après l'injection d'une solution riche en O<sub>2</sub>, les résultats sont présentés par le graphe de la figure 2.

1. Décrivez l'évolution de la concentration de H<sup>+</sup> dans le milieu avant et après l'injection d'O<sub>2</sub>.
- **Deuxième donnée** : Les figure 3 et 4 montrent le devenir des e<sup>-</sup> et des H<sup>+</sup> cédés par les transporteurs réduits R'H<sub>2</sub> (NADH<sub>2</sub> et FADH<sub>2</sub>) au niveau de la chaîne respiratoire constituée des transporteurs T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> et T<sub>6</sub>.
2. Déterminez le ou les rôles des protéines de la chaîne respiratoire à partir de l'analyse des données des figures 3 et 4.
3. Expliquez l'augmentation rapide de la concentration de H<sup>+</sup> après l'injection d'O<sub>2</sub> (figure 2).

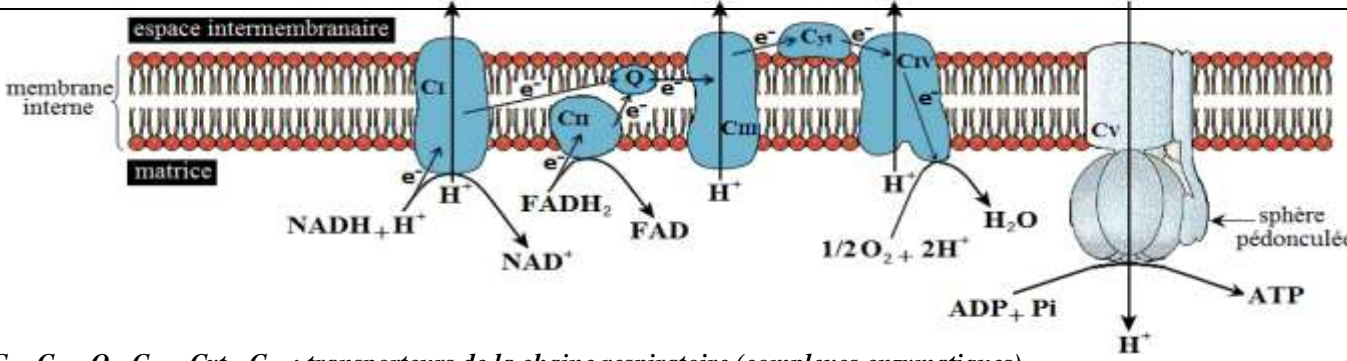


- T<sub>1</sub> - Complexe I (C<sub>I</sub>) : permet la réoxydation de NADH-H<sup>+</sup> et transporte des protons de la matrice vers l'espace intermembranaire.
- T<sub>2</sub> - Complexe II (C<sub>II</sub>) : permet la réoxydation de FADH<sub>2</sub>.
- T<sub>3</sub> - Coenzyme Q : transporte les électrons depuis le complexe I et le complexe II vers le complexe III.
- T<sub>4</sub> - Complexe III (C<sub>III</sub>) : transporte les électrons vers le cytochrome C et les protons de la matrice vers l'espace intermembranaire.
- T<sub>5</sub> - Cytochrome C : transporte les électrons depuis le complexe III vers le complexe IV.
- T<sub>6</sub> - Complexe IV (C<sub>IV</sub>) : transporte des protons de la matrice vers l'espace intermembranaire.



Remarque : le flux spontané des électrons est accompagné d'une libération d'énergie

Document 12:



C<sub>I</sub> - C<sub>II</sub> - Q - C<sub>III</sub> - Cyt - C<sub>IV</sub> : transporteurs de la chaîne respiratoire (complexes enzymatiques)  
 C<sub>V</sub> : sphère pédonculée

**Document 13:**

❖ Pour déterminer le bilan énergétique de la respiration cellulaire, on propose les données suivantes :

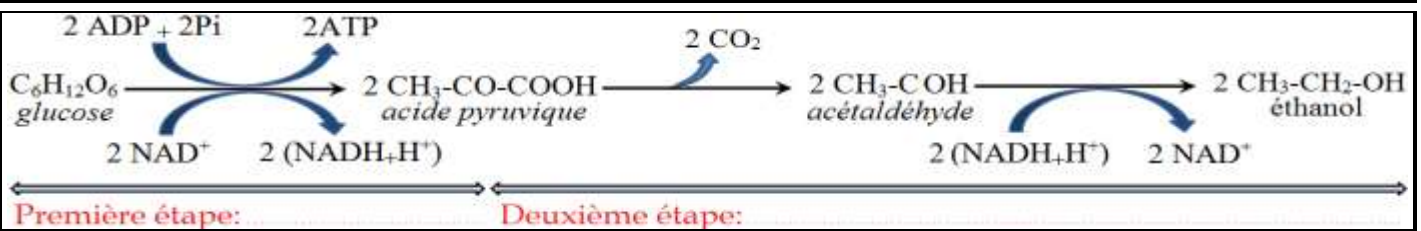
➤ **Première donnée :** au cours de la phosphorylation oxydative, la réoxydation d'une molécule de  $\text{NADH}_2\text{H}^+$  permet la synthèse de trois molécules d'ATP, alors que la réoxydation d'une molécule de  $\text{FADH}_2$  permet la synthèse de deux molécules d'ATP.

➤ **Deuxième donnée :** Les molécules de  $\text{NADH}_2\text{H}$  produites dans le hyaloplasme lors de la glycolyse 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  $\text{NADH}_2\text{H}^+$  à transmettre ses électrons riches en énergie à d'autres molécules de transfert, différentes selon la navette :

- ✓ **La navette malate-aspartate :** Les électrons de  $\text{NADH}_2\text{H}$  sont transférés à une substance appelée l'oxaloacétate pour former ce qu'on appelle le malate, ce dernier passe dans la matrice où il retransmet ses électrons au  $\text{NAD}^+$  afin de reformer le  $\text{NADH}_2\text{H}^+$ . Cette navette est plus particulièrement présente au niveau du cœur et du foie
- ✓ **La navette glycérol 3-phosphate :** Les électrons de  $\text{NADH}_2\text{H}^+$  sont transférés au glycérol 3-phosphate qui retransmet ses électrons au FAD pour former le  $\text{FADH}_2$ . Cette navette est plus particulièrement présente au niveau des muscles squelettiques et du cerveau.

1. À partir des données précédentes et de vos acquis, déterminez le bilan énergétique de la respiration cellulaire (calculez le nombre de molécules d'ATP synthétisées au cours de la respiration cellulaire lors de la consommation d'une molécule de glucose).

**Document 14:**



**Document 15:**

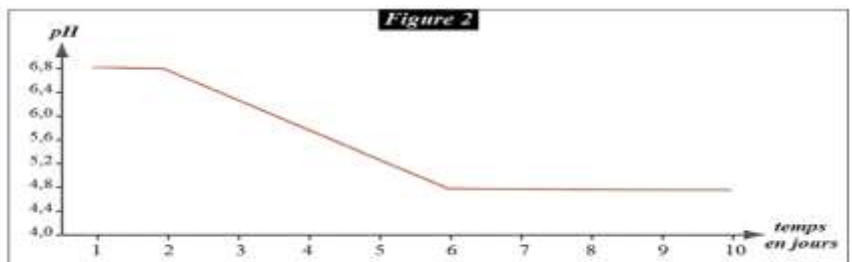
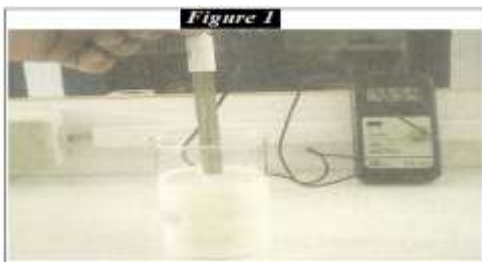
On met 125 ml du lait frais dans un becher et on mesure le pH du lait quotidiennement pendant 10 jours avec un pH-mètre (figure 1), les résultats sont traduits par le graphe de la figure 2.

1. Décrivez l'évolution du pH du lait à partir du graphe de la figure 2.

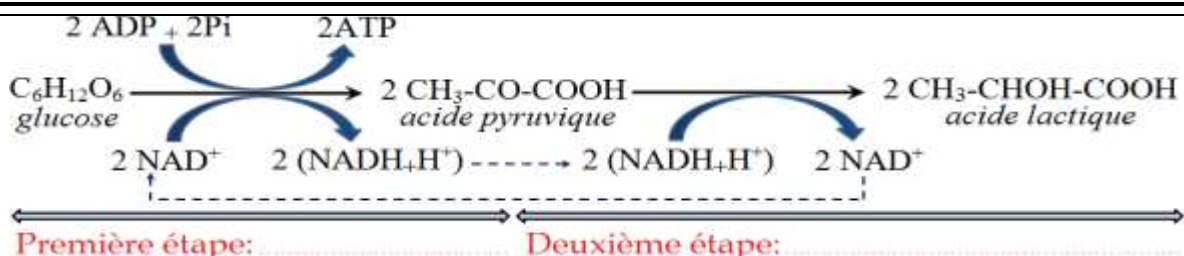
Pour expliquer l'évolution du pH du lait, on propose les données suivantes :

- le lait contient le lactose, c'est un diholoside formé par l'union d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose.
- à la fin de l'expérience, on note un changement de l'aspect du lait (figure 3) ; il devient un yaourt (lait caillé), d'autre part l'analyse chimique de ce yaourt met en évidence la présence d'une substance acide qui est l'acide lactique.
- le lait frais contient des bactéries appelées les lactobacilles (figure 4), ces bactéries ont la capacité de former l'acide lactique à partir du glucose.

2. A partir des données précédentes, expliquez l'évolution de l'acidité du lait présentée par le graphe de la figure 2.



**Document 16:**



**Document 17:**

Des mesures calorimétriques variées ont permis de calculer l'énergie globale que l'on peut extraire d'une mole de glucose à 37°C :

- l'oxydation complète d'une mole de glucose en présence d'O<sub>2</sub> dans une chambre calorimétrique libère 2840 kJ ;
- l'oxydation d'une mole de glucose en absence d'O<sub>2</sub> dans une chambre calorimétrique libère 140 kJ ;
- l'énergie contenue dans les déchets minéraux (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O) est 0 kJ ;
- l'énergie emmagasinée dans une mole de l'éthanol est 1360 kJ ;
- l'hydrolyse d'une mole d'ATP libère 30,5 kJ.

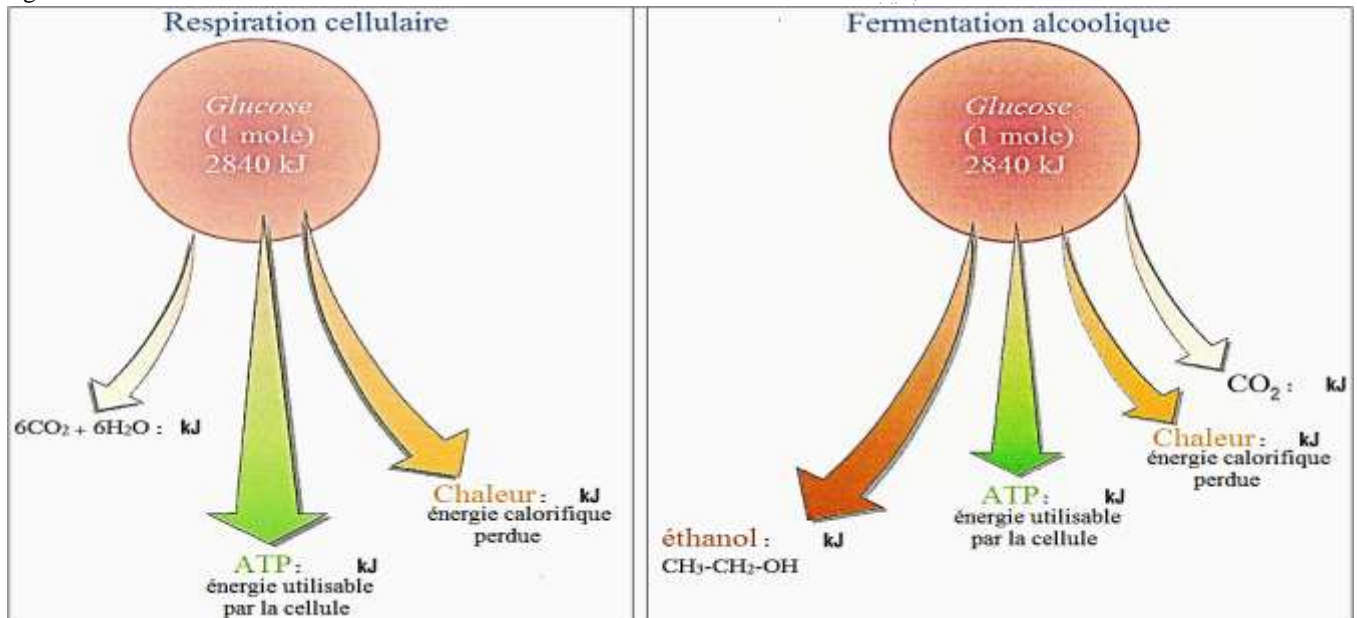
1. Calculez le rendement énergétique de la respiration et de la fermentation alcoolique. Le rendement énergétique est le % que représente l'énergie produite sous forme d'ATP par rapport avec la quantité globale de l'énergie emmagasinée dans le glucose ; on calcule le rendement énergétique en utilisant la formule suivante :

$r = \frac{e}{E} \times 100$	<p><i>r</i> : rendement énergétique en %  <i>e</i> : énergie contenue dans le nombre d'ATP issu de la respiration et de la fermentation  <i>E</i> : énergie globale emmagasinée dans une mole de glucose</p>
------------------------------	--

2. Comparez le rendement de la respiration avec celui de la fermentation, puis expliquez la différence constatée.

Au des réactions métaboliques de la respiration et de la fermentation, une partie de l'énergie contenue dans les métabolites organiques est dissipée (perdue) sous forme de chaleur

3. Calculez la quantité d'énergie perdue sous forme de chaleur au cours de la respiration et la fermentation, puis complétez la figure ci-dessous.



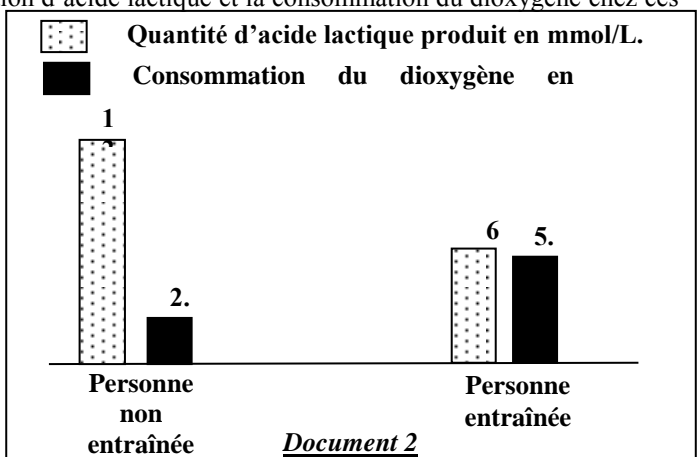
**Exercice d'application 1.** Exploitation des documents.

➤ Afin d'étudier l'effet du manque d'exercices sportifs et du tabagisme (usage du tabac) sur les réactions responsables de la libération de l'énergie au niveau du muscle squelettique strié, on propose l'étude des données suivantes :

❖ Le manque d'exercices sportifs chez l'Homme augmente sa fatigabilité. Pour expliquer l'origine de cette fatigabilité, une comparaison de certaines caractéristiques des mitochondries a été effectuée chez deux personnes, l'une entraînée pour un exercice physique de puissance donnée et l'autre non entraînée. Le document 1 résume les résultats obtenus, alors que le document 2 donne les résultats de la comparaison de la production d'acide lactique et la consommation du dioxygène chez ces deux personnes.

	Personne entraînée	Personne non entraînée
Volume total des mitochondries par rapport au volume de la cellule musculaire	11%	5%
Activité des enzymes mitochondriales	importante	faible

**Document 1**





❖ **Remarque :** le phénomène de la fatigue musculaire est lié à la baisse des réserves d'ATP au niveau des fibres musculaires.

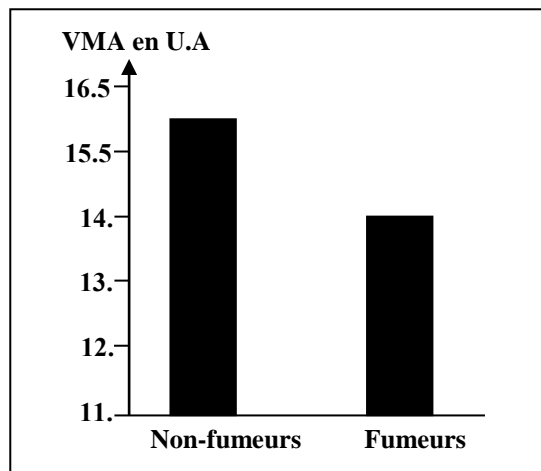
1. En **exploitant** les données des documents 1 et 2, **expliquez** l'augmentation de la fatigabilité observée chez la personne non entraînée.

❖ Pour mettre en évidence l'effet du tabagisme sur l'effort musculaire, un groupe d'élèves fumeurs a été soumis à un test de l'endurance. Ce test consiste à courir avec une vitesse qui croît progressivement de 1km/h toutes les deux minutes jusqu'à la fatigue totale. Ceci permet de déterminer la vitesse maximale aérobie (VMA) exprimant le volume maximal de dioxygène consommé par l'individu testé. Le document 3 représente les résultats, en unités arbitraires, obtenus chez ce groupe d'élèves comparés à un groupe témoin composé d'élèves non-fumeurs.

1. En **utilisant** le document 3, **comparez** l'endurance des élèves fumeurs à celle des élèves non-fumeurs.

❖ La fumée de la cigarette contient le monoxyde de carbone (CO) qui se fixe sur le même site de fixation du dioxygène au niveau de l'hémoglobine. Le document 4 présente les résultats de mesure de la quantité du monoxyde de carbone transporté dans le sang et la quantité du dioxygène fixé sur l'hémoglobine chez des élèves fumeurs et des élèves non-fumeurs. Le document 5 montre le site de fixation du monoxyde de carbone au niveau de la chaîne respiratoire.

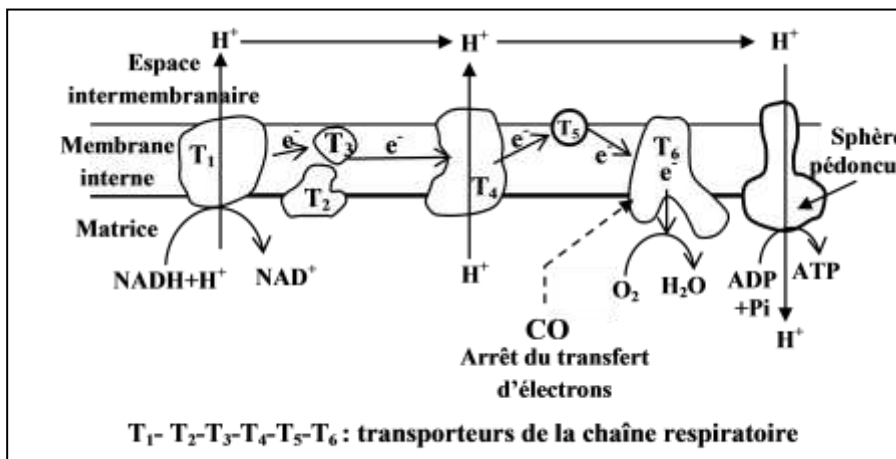
❖ **Remarque :** l'hémoglobine est une protéine qui se trouve dans les globules rouges. Cette protéine joue un rôle important dans le transport du dioxygène vers les cellules.



Document 3

	Quantité du dioxygène en mL/ g de l'hémoglobine	Quantité du monoxyde de carbone en mL/100mL du sang
Non-fumeurs	1.328	0.280
Fumeurs	1.210	2.200

Document 4



Document 5

3. À l'aide des documents 4 et 5, **expliquez** comment agit le monoxyde de carbone sur le fonctionnement de la chaîne respiratoire et sur les réactions de libération d'énergie au niveau des mitochondries chez les élèves fumeurs. (1.5pt)

❖ Les **fumeurs** se plaignent souvent de crampes musculaires. Pour expliquer l'origine de ces crampes, on a mesuré, chez des élèves fumeurs et d'autres non-fumeurs, la concentration sanguine de l'acide lactique et du pH sanguin au niveau du sang veineux partant du muscle avant et après un exercice physique. Les résultats de ces mesures sont présentés dans le document 6.

	Avant l'effort musculaire	Après l'effort musculaire	
		Non-fumeurs	fumeurs
L'acide lactique au niveau du sang veineux	50 mg/L	150 mg/L	500 mg/L
pH du sang veineux	7.4	7.38	7.35

Document 6

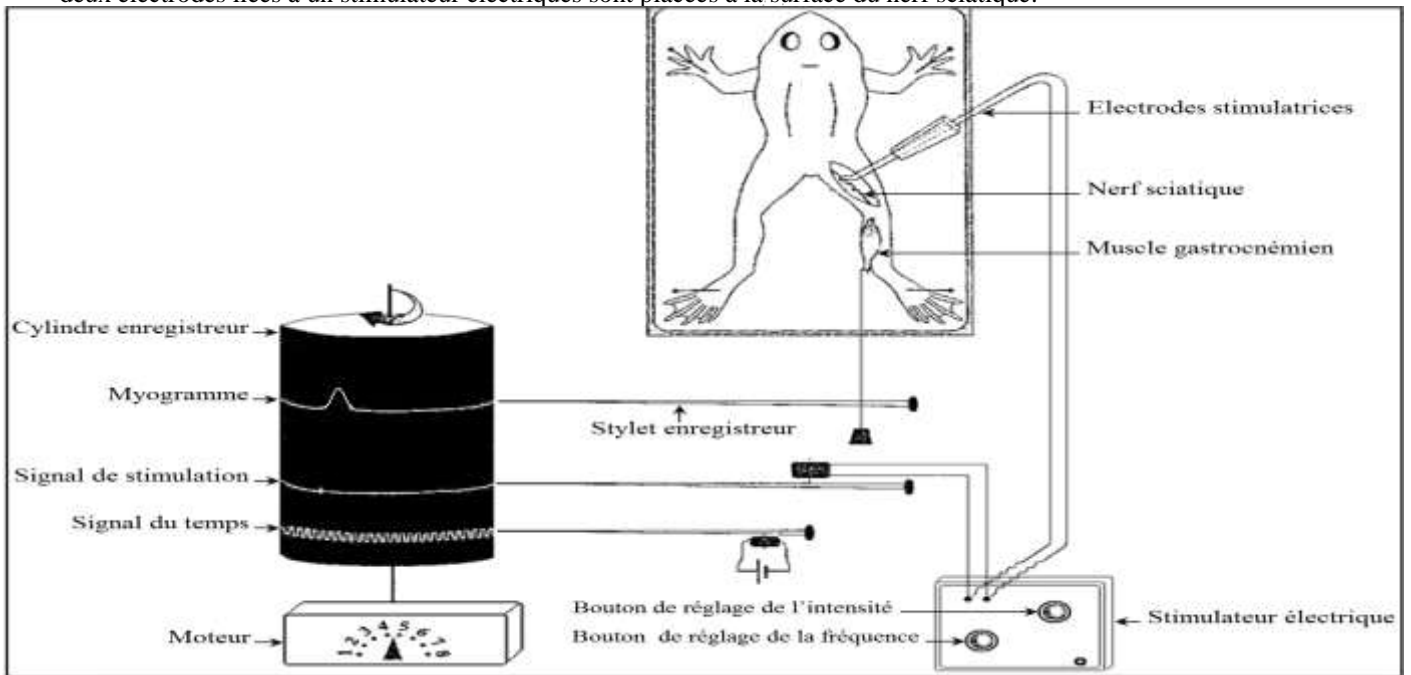
4. En **exploitant** le document 6 et en vous **basant** sur vos réponses précédentes, **expliquez** la faible endurance et les crampes musculaires fréquentes chez les élèves fumeurs.

**Document 1:**

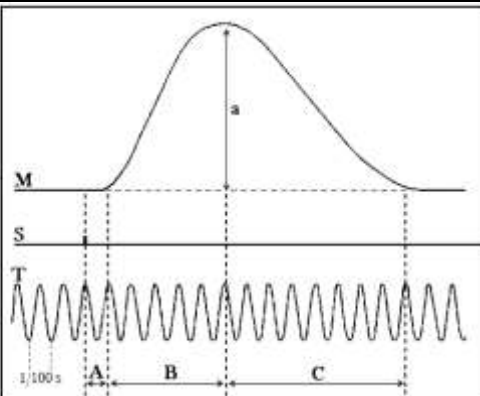
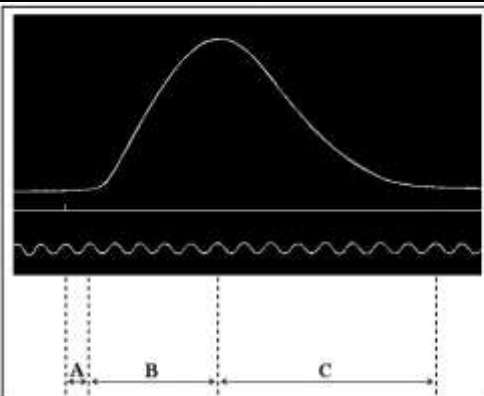
- ❖ Grâce aux réactions métaboliques de la respiration et la fermentation, les cellules libèrent l'énergie contenue dans les métabolites organiques consommés et convertissent cette énergie en ATP.
- ❖ Les cellules utilisent l'énergie de l'ATP dans la réalisation d'activités diverses. Parmi ces activités, il y a le mouvement mécanique qui résulte de la contraction des muscles striés squelettiques. Ces derniers qui sont reliés aux os du squelette permettent aussi le maintien de la posture et la stabilisation de l'articulation.
- ❖ Le but d'une contraction musculaire est aussi la production d'une force (tension musculaire) qui sera opposée à une force externe (la charge). On distingue deux types de contractions musculaires :
  - ✓ La contraction isométrique : la tension du muscle augmente alors que sa longueur reste constante.
  - ✓ La contraction isotonique : le muscle se raccourcit mais la tension qu'il développe reste constante.
- ❖ Au cours de la contraction musculaire, l'énergie chimique de l'ATP est convertie en énergie mécanique.

**Document 2:**

- ❖ La figure ci-dessous représente un exemple du matériel utilisé pour l'étude expérimental de la contraction musculaire. On soumet une grenouille aux manipulations suivantes :
  - ✓ décérébration (destruction du cerveau) et démyélinisation (destruction de la moelle épinière) pour inhiber les mouvements volontaires et les réflexes;
  - ✓ fixation sur une planchette en bois ;
  - ✓ dégagement par dissection du muscle gastrocnémien et du nerf sciatique qui l'innerve au niveau de l'un des membres inférieurs ;
  - ✓ le muscle gastrocnémien est détaché du tendon puis relié à un myographe constitué essentiellement d'un stylet et d'un cylindre ;
  - ✓ deux électrodes liées à un stimulateur électriques sont placées à la surface du nerf sciatique.



**Document 3:**

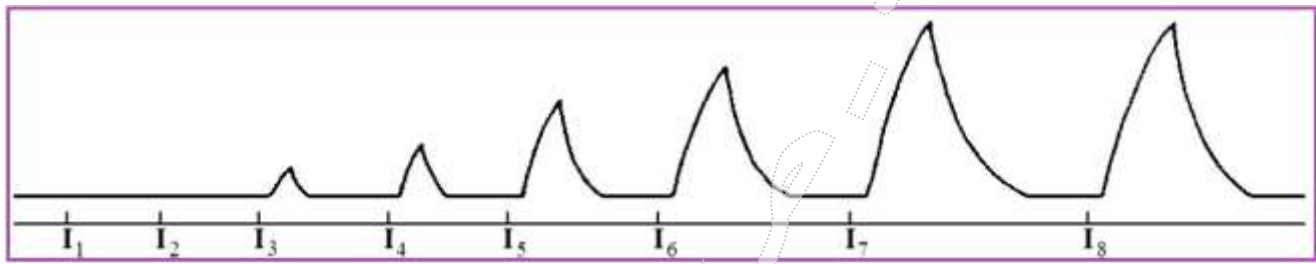


- M : .....
- S : .....
- T : .....
- a : .....
- A : .....
- B : .....
- C : .....

**Document 4:**

❖ La figure ci-dessous représente le schéma d'un myogramme obtenu à la suite de l'exécution sur un muscle de stimulations successives, éloignées et d'intensités croissantes ( $I_1 < I_2 < I_3 \dots < I_8$ ).

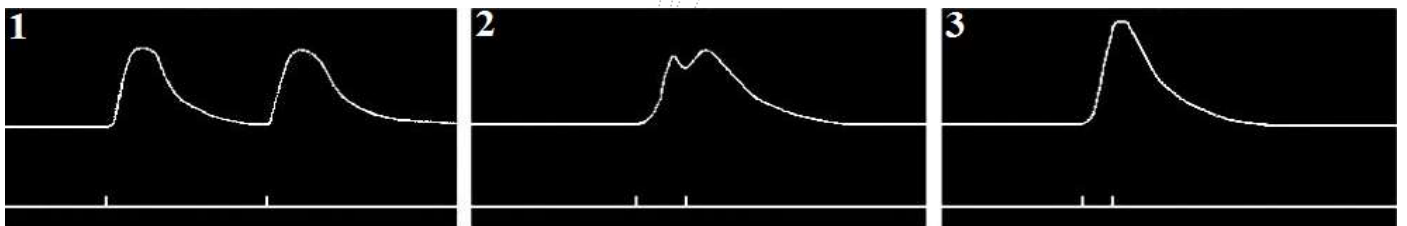
1) Analysez et interprétez le myogramme obtenu sachant que le muscle est constitué de cellules contractiles qui n'ont pas la même rhéobase.



**Document 5:**

❖ On soumet un muscle à deux stimulations successives de même intensité supraliminaire. On répète la manipulation en faisant à chaque fois diminuer l'intervalle de temps qui sépare les deux stimulations. Les myogrammes ci-dessous présentent les résultats de cette expérience.

1) Analysez et interprétez les résultats obtenus.

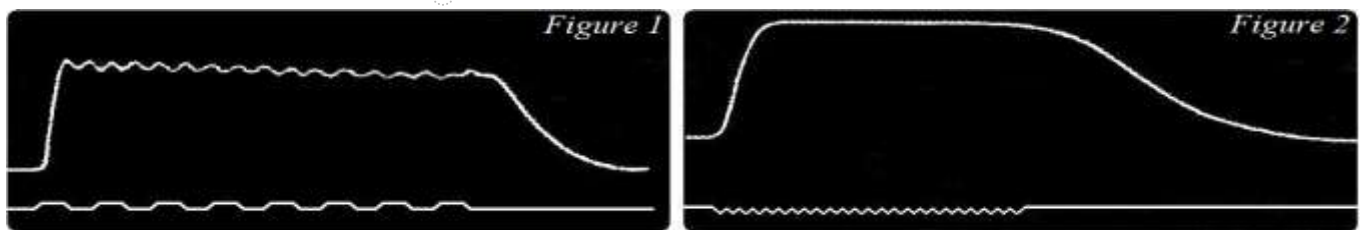


**Document 6:**

❖ On applique sur un muscle une série de stimulations d'intensité constante mais dont on fait varier la fréquence :

- Pour une fréquence de 15 stimulations /s, on obtient le myogramme de la figure 1;
- Pour une fréquence de 30 stimulations /s, on obtient le myogramme de la figure 2.

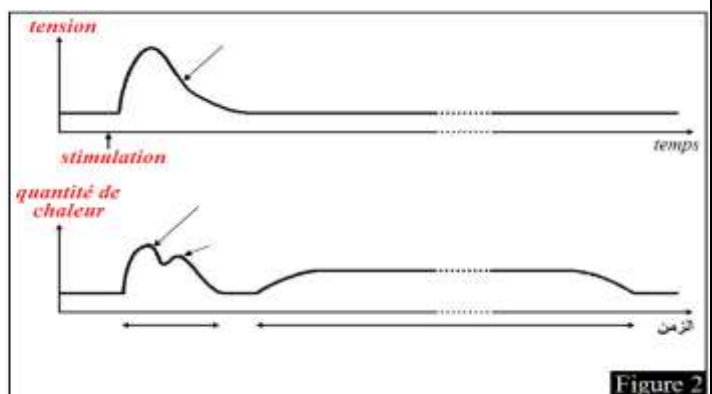
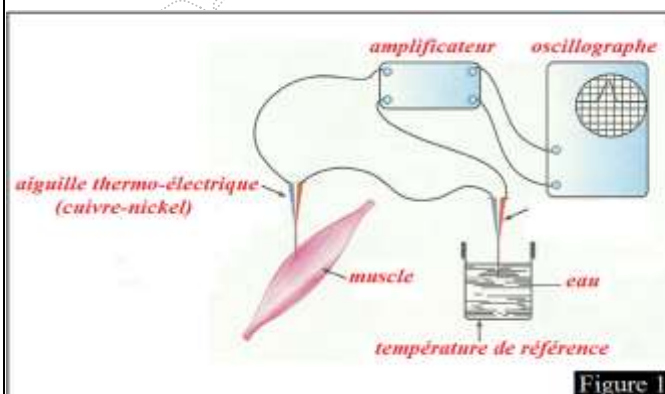
1) Analysez et interprétez les deux myogrammes obtenus.



**Document 7:**

❖ Pour mesurer la quantité de chaleur produite lors d'une contraction musculaire, on utilise la *thermopile* (figure 1). C'est un instrument qui comporte deux aiguilles thermo-électriques, formée chacune de deux métaux différents (cuivre ou or et nickel). L'une des aiguilles est introduite dans le muscle, l'autre est maintenue à une température de référence. Lorsque le muscle se contracte, une différence de température apparaît entre les deux aiguilles et engendre un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à la température du muscle. Ce courant est traduit sous forme de courbes qui apparaissent sur l'écran d'un oscillographe (figure 2).

❖ On peut ainsi apprécier des variations de température de l'ordre de quelques microdegrés qui s'effectuent sur des durées de quelques millisecondes.



**Document 8:**

❖ Pour déterminer la source de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire, on propose l'étude des résultats de quelques expériences.

➤ **Première expérience** : Au début du vingtième siècle, les physiologistes CHAUVEAU et KAUFMAN ont analysé le sang entrant et le sang sortant du muscle releveur de la lèvre supérieure d'un cheval. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

➤ **Deuxième expérience** : Chez une personne de 70 kg qui réalise un exercice musculaire dont l'intensité croît progressivement, on mesure la consommation d'O<sub>2</sub> et la concentration de l'acide lactique dans le sang en fonction de l'intensité de l'effort musculaire. Le tableau 2 traduit les résultats de ces mesures.

1. À partir de l'analyse des données des tableaux 1 et 2, déterminez pour chaque expérience, le ou les origines de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

➤ **Troisième expérience** : Le tableau 3 présente les conditions expérimentales et les résultats de manipulations réalisées par les chercheurs HOPKINS et FEITCHER sur le muscle gastrocnémien d'une grenouille.

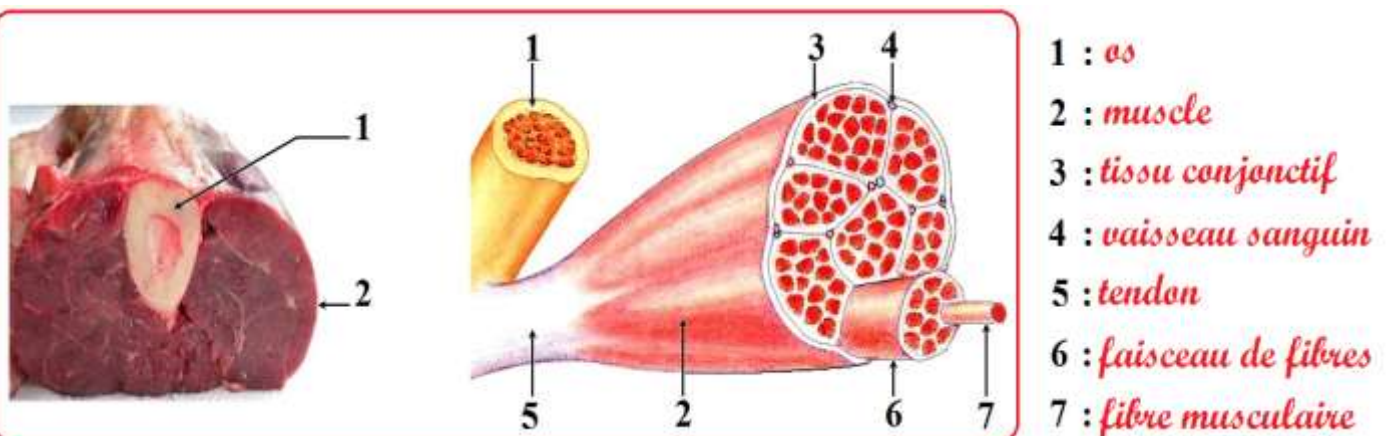
2. Que constatez-vous à partir de l'analyse des résultats de l'expérience de HOPKINS et FEITCHER ?

Tableau 1	En une heure pour chaque kg de muscle	
	Muscle au repos	Muscle en activité
Volume de sang traversant le muscle	12,220 l	56,325 l
O <sub>2</sub> utilisé	0,307 l	5,207 l
CO <sub>2</sub> rejeté	0,220 l	5,950 l
Glucose utilisé	2,042 g	8,430 g
Lipides utilisés	0 g	0 g
Protides utilisés	0 g	0 g

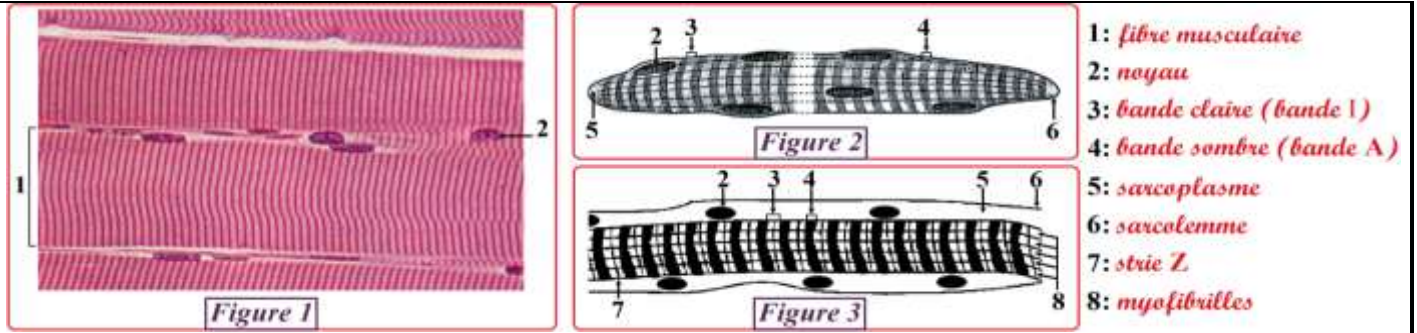
Tableau 2		
Intensité de l'effort musculaire en kJ/min	Consommation d'O <sub>2</sub> en l/min	concentration de l'acide lactique en g/l
44	2,17	Traces
52	2,8	Traces
58,5	3,01	Traces
68	3,04	1,985
79,5	3,04	13,43
92	3,04	26,8
101	3,04	37,66

Tableau 3	Conditions expérimentales	Résultats
Manipulation 1	Stimulations supraliminaires du muscle placé en milieu anaérobie.	Le muscle se contracte et dégage uniquement la chaleur initiale. Il accumule l'acide lactique et se fatigue rapidement.
Manipulation 2	Stimulations supraliminaires du muscle placé en milieu anaérobie contenant : - une faible quantité d'ATP ; - l'acide monoiodoacétique qui bloque la production de l'acide lactique.	Le muscle se contracte et libère uniquement la chaleur initiale pendant une courte durée, puis ne répond plus aux excitations.

**Document 9:**



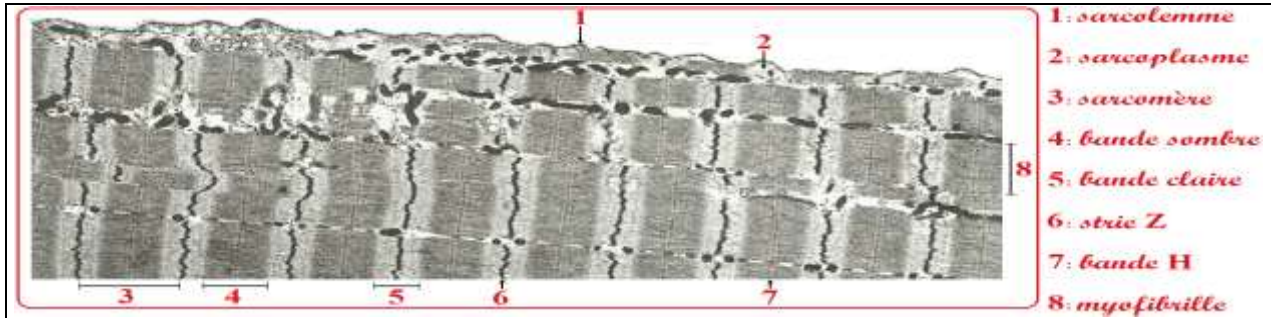
Document 10:



- 1: fibre musculaire
- 2: noyau
- 3: bande claire (bande I)
- 4: bande sombre (bande A)
- 5: sarcoplasme
- 6: sarcolemme
- 7: strie Z
- 8: myofibrilles

- ❖ Figure 1: coupe longitudinale d'un muscle strié observée au microscope optique.
- ❖ Figure 2: schéma tridimensionnel d'une fibre musculaire.
- ❖ Figure 3: schéma d'une coupe longitudinale d'une partie d'une fibre musculaire.

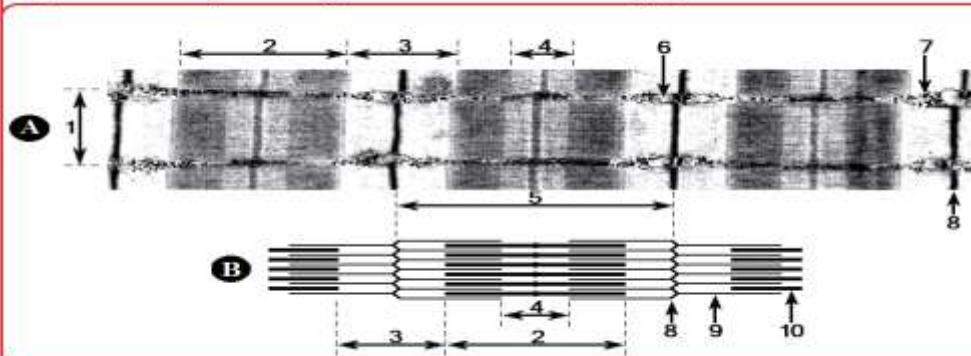
Document 11:



- 1: sarcolemme
- 2: sarcoplasme
- 3: sarcomère
- 4: bande sombre
- 5: bande claire
- 6: strie Z
- 7: bande H
- 8: myofibrille

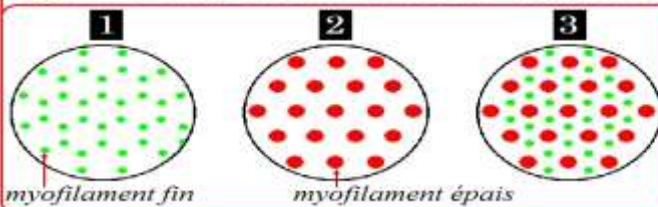
Document 12:

Figure 1: coupes longitudinales d'une myofibrille



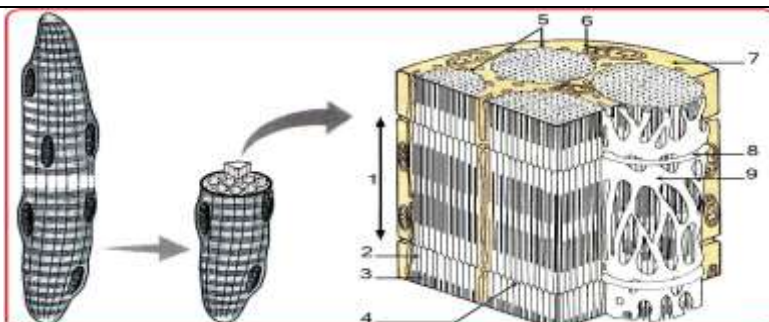
- A: photo microscopique
- B: schéma explicatif
- 1: myofibrille
- 2: bande sombre
- 3: bande claire
- 4: bande H
- 5: sarcomère
- 6: mitochondrie
- 7: glycogène
- 8: strie Z
- 9: myofilament épais
- 10: myofilament fin

Figure 2: coupes transversales de myofibrilles



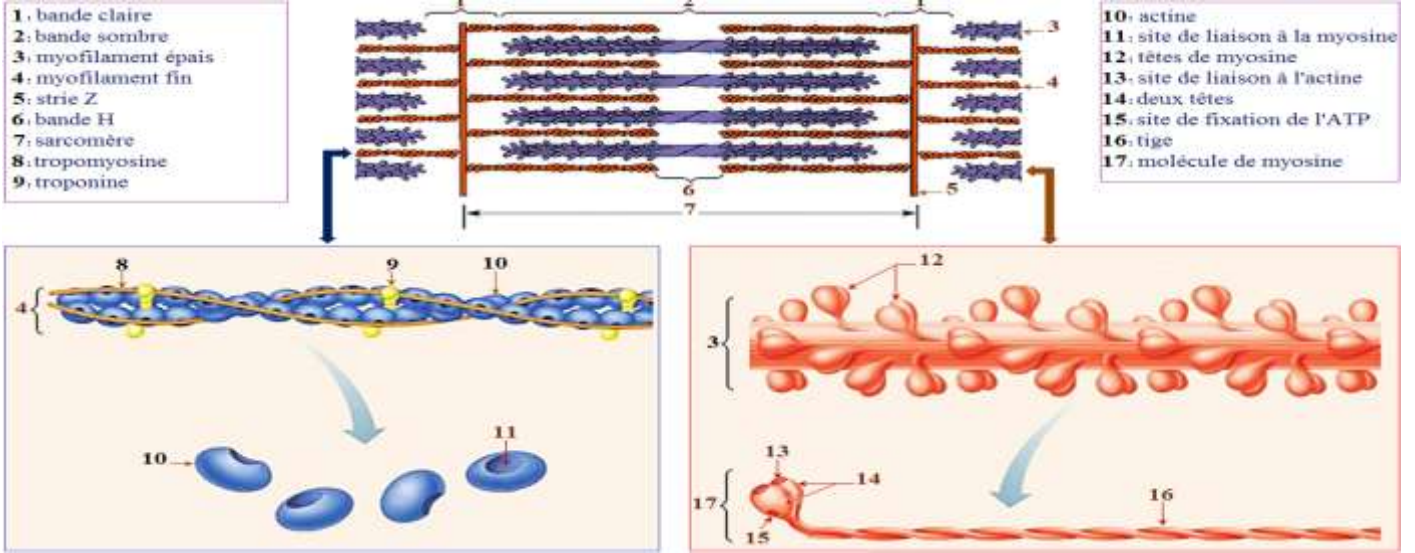
- 1: coupe transversale au niveau de la bande claire
- 2: coupe transversale au niveau de la bande H
- 3: coupe transversale au niveau de la bande sombre hors de la bande H

Document 13:

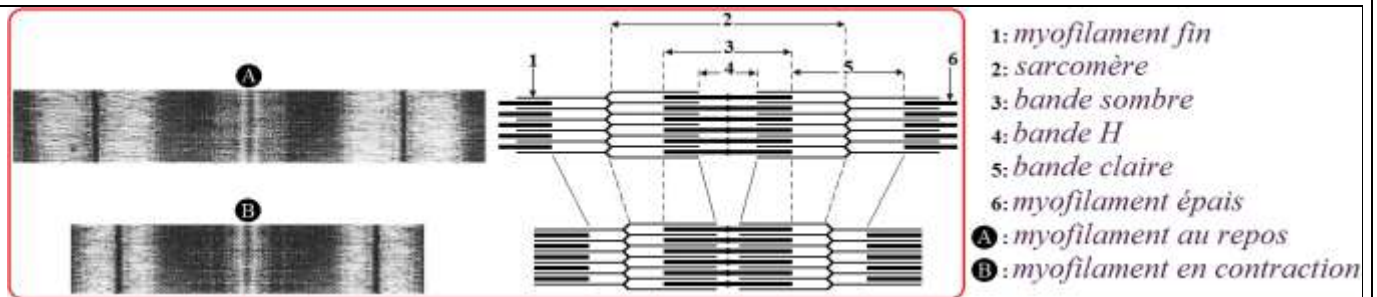


- 1: sarcomère
- 2: myofilament fin
- 3: myofilament épais
- 4: strie Z
- 5: myofibrilles
- 6: mitochondrie
- 7: sarcoplasme
- 8: tubule transverse
- 9: reticulum sarcoplasmique

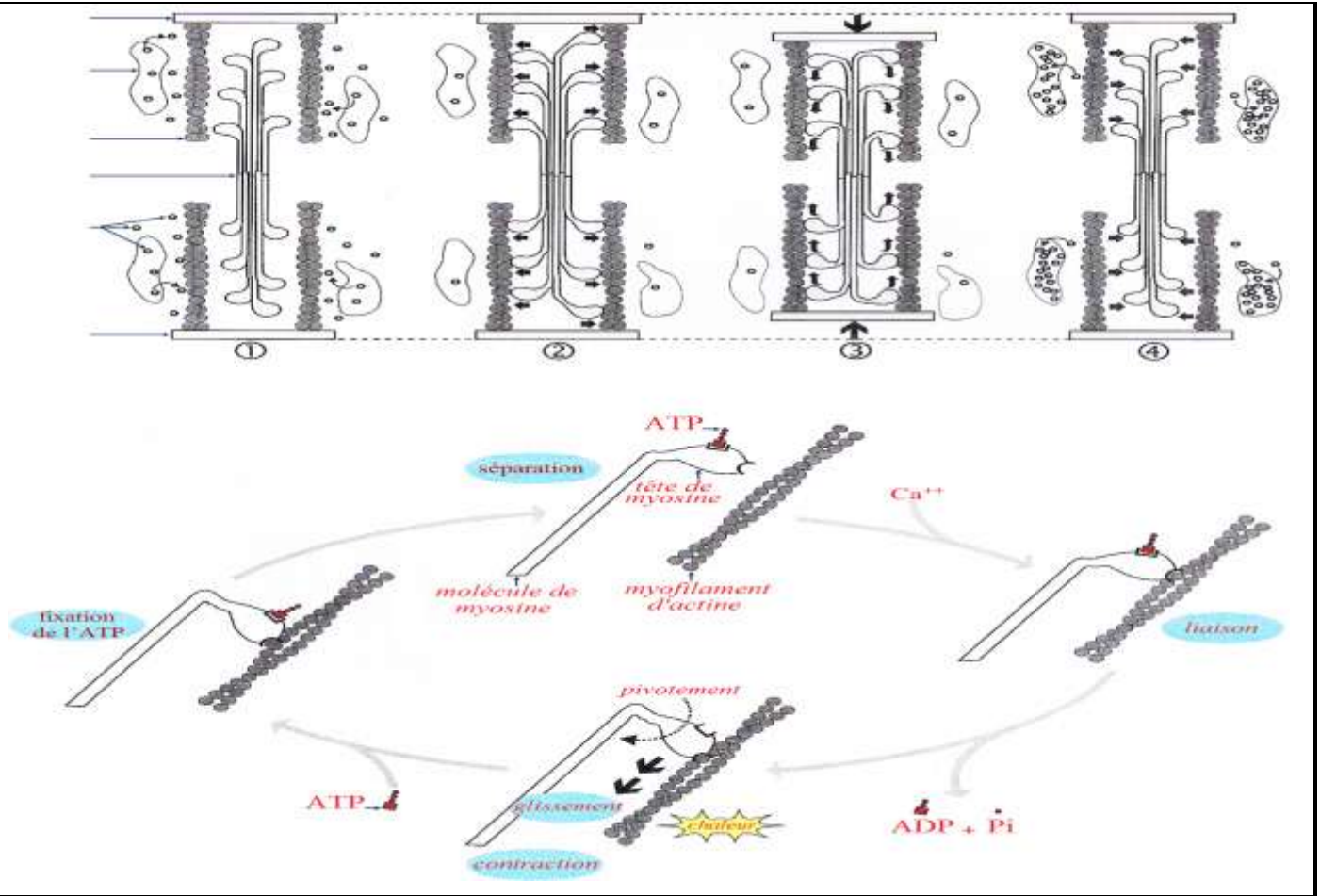
Document 14:



Document 15:

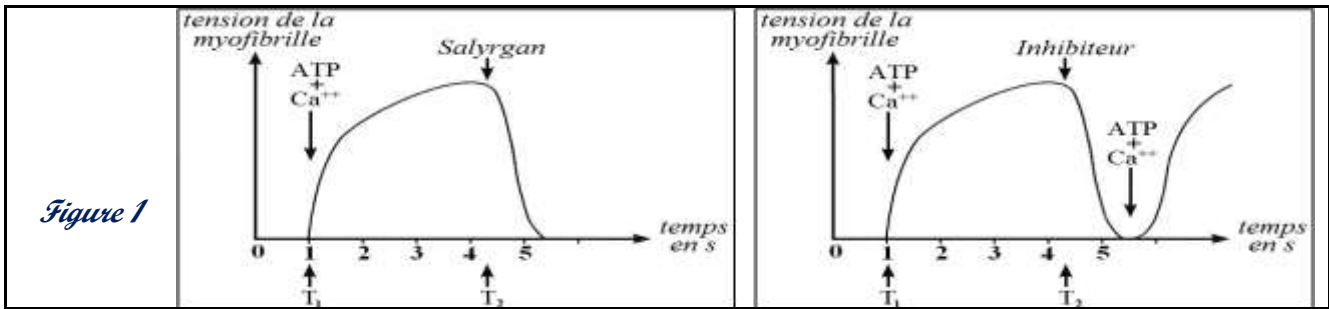


Document 17:



**Document 16:**

- ❖ Pour mettre en évidence le rôle de certains éléments dans la contraction musculaire, on propose les données suivantes :
- **Première donnée :** On place une myofibrille isolée dans un milieu physiologique sans  $Ca^{++}$  et sans ATP. On mesure ensuite la tension musculaire développée par la myofibrille dans les conditions suivantes:
  - ✓ Addition en  $T_1$  de  $Ca^{++}$  et de l'ATP, puis addition en  $T_2$  de Salyrgan : substance inhibant l'hydrolyse de l'ATP.
  - ✓ Addition en  $T_1$  de  $Ca^{++}$  et de l'ATP, puis addition en  $T_2$  d'un inhibiteur: substance qui se lie à  $Ca^{++}$  et empêche son action.
- ❖ Les résultats des mesures de la tension musculaire sont traduits par les graphes de la figure 1.



1. Décrivez l'évolution de la tension développée par la myofibrille dans les différentes conditions. Que constatez-vous?

- **Deuxième donnée :** Pour mettre en évidence la relation entre la molécule d'ATP et certains constituants de la fibre musculaire, on propose les données du tableau 1 suivant qui représentent les conditions et les résultats d'expériences réalisées sur certains des myofilaments.

Tableau 1	Milieux expérimentaux	Constituants du milieu	
		Début de l'expérience	Fin de l'expérience
	Milieu 1	myofilaments d'actine + ATP + $Ca^{++}$	myofilaments d'actine + ATP + $Ca^{++}$
	Milieu 2	myofilaments de myosine + ATP + $Ca^{++}$	myofilaments de myosine + ATP + $Ca^{++}$ + une faible quantité d'ADP et de Pi
	Milieu 3	myofilaments de myosine + myofilaments d'actine + ATP + $Ca^{++}$	complexes actomyosine + $Ca^{++}$ + une grande quantité d'ADP et de Pi

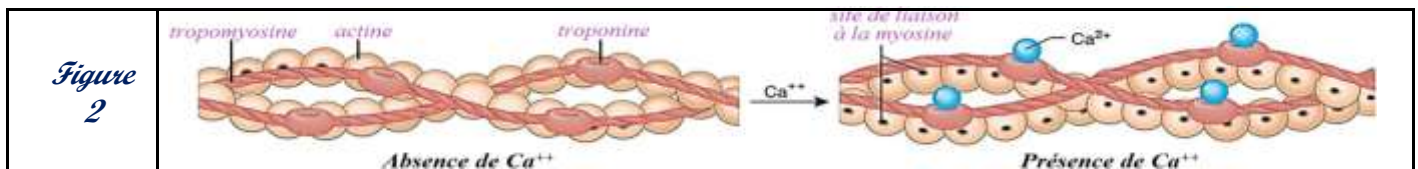
**Remarque :** Dans le milieu 3, les complexes actomyosine résultent de la liaison entre les myofilaments d'actine et les myofilaments de myosine (fixation des têtes des molécules de myosine sur les molécules d'actine). Après la formation de ces complexes, on note un glissement des myofilaments d'actine sur les myofilaments de myosine (contraction musculaire).

2. Que constatez-vous, à partir de l'analyse des données du tableau 1, sur le rôle de l'ATP dans la contraction musculaire ?

- **Troisième donnée :** Pour déterminer le rôle des ions  $Ca^{++}$  dans la contraction musculaire, on propose les données du tableau 2 et de la figure 2 :

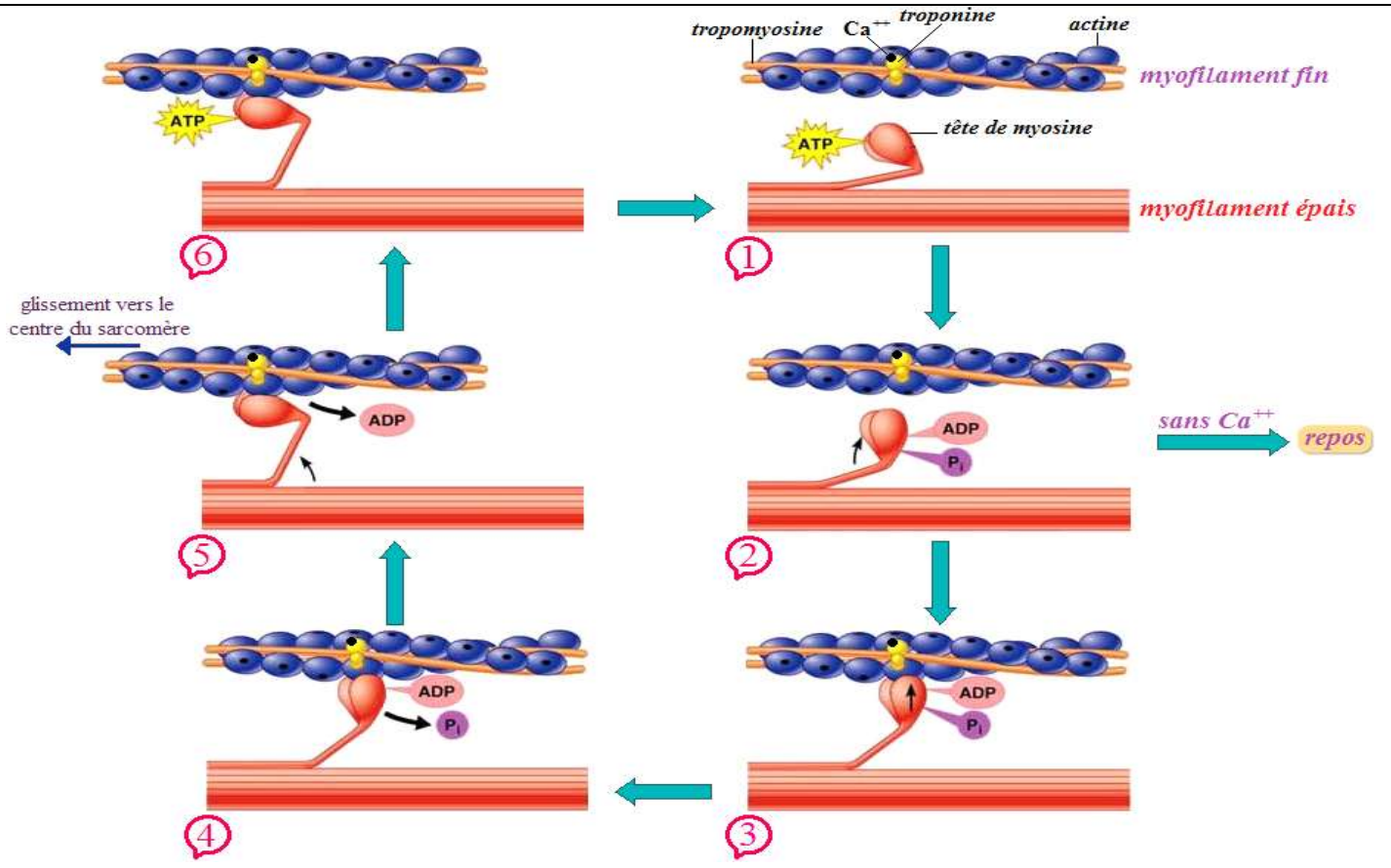
- le tableau 2 représente les conditions et les résultats d'expériences réalisées sur certains constituants des myofilaments en milieu physiologiques ;
- la figure 2 montre l'effet des ions  $Ca^{++}$  sur les myofilaments fins.

Tableau 2	Expériences	Substances utilisées le milieu de culture	Résultats
	1	Molécules de myosine + molécules d'actine + ATP + molécules de tropomyosine + molécules de troponine.	Pas de formation des complexes actomyosine → pas de glissement des molécules d'actine sur les molécules de myosine.
	2	Molécules de myosine + molécules d'actine + ATP + molécules de tropomyosine + molécules de troponine + $Ca^{++}$	Formation des complexes actomyosine → glissement des molécules d'actine sur les molécules de myosine.



3. À partir de l'analyse des données du tableau 2 et de la figure 2, déterminez le rôle du  $Ca^{++}$  dans la contraction musculaire.

Document 18:



Document 19:

➤ L'activité musculaire nécessite une présence permanente des molécules d'ATP qui fournissent à la cellule musculaire l'énergie nécessaire à sa contraction. Pour déterminer les voies de régénération de ces molécules par la cellule musculaire, on propose les données suivantes :

- Le tableau de la figure 1 donne la concentration de l'ATP dans les muscles, la quantité d'énergie qui lui correspond et la consommation d'énergie au cours d'un effort musculaire pour une personne de 70 kg.
- La figure 2 représente l'évolution des concentrations de l'ATP, de l'acide lactique et de la créatine-phosphate (CP) chez un athlète au cours d'une course de 100m (exercice musculaire intense et de courte durée) ;
- La créatine-phosphate ou phosphocréatine (CP) est un composé phosphaté à haute énergie emmagasiné dans les muscles, elle permet une régénération rapide de l'ATP selon la réaction anaérobie suivante :  $CP + ADP \rightarrow ATP + C$
- La figure 2 montre l'évolution de la consommation de l'O<sub>2</sub> chez une personne au cours d'un effort musculaire de longue durée.

- 1) En **exploitant** les données de la figure 1, montrez la nécessité de la régénération permanente des molécules d'ATP au niveau des cellules musculaires.
- 2) À partir de l'**analyse** des données des figures 2 et 3, **déduisez** les voies métaboliques intervenant dans la régénération de l'ATP.

Concentration de l'ATP en m. mol	120 à 180
Quantité d'énergie en kJ correspondante à cette concentration.	5,1 à 7,5
Quantité d'énergie consommée au cours d'un effort musculaire en kJ.	35

Figure 1

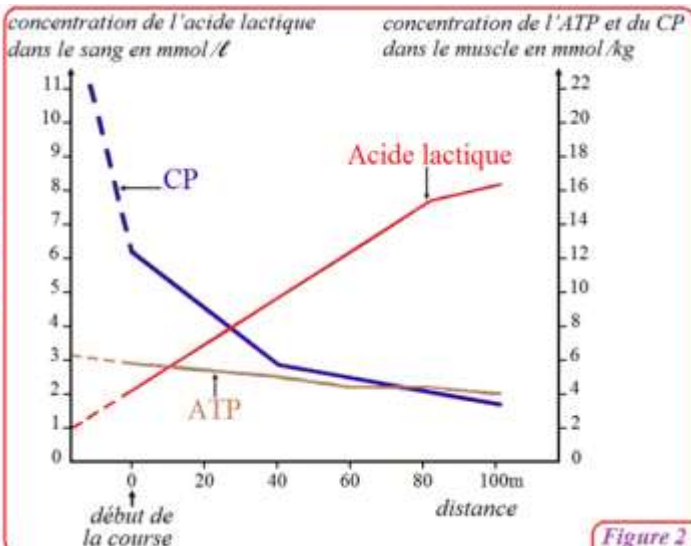


Figure 2

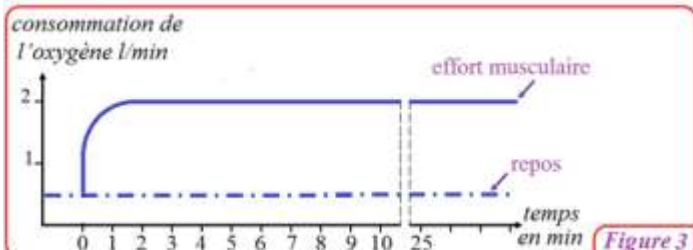


Figure 3



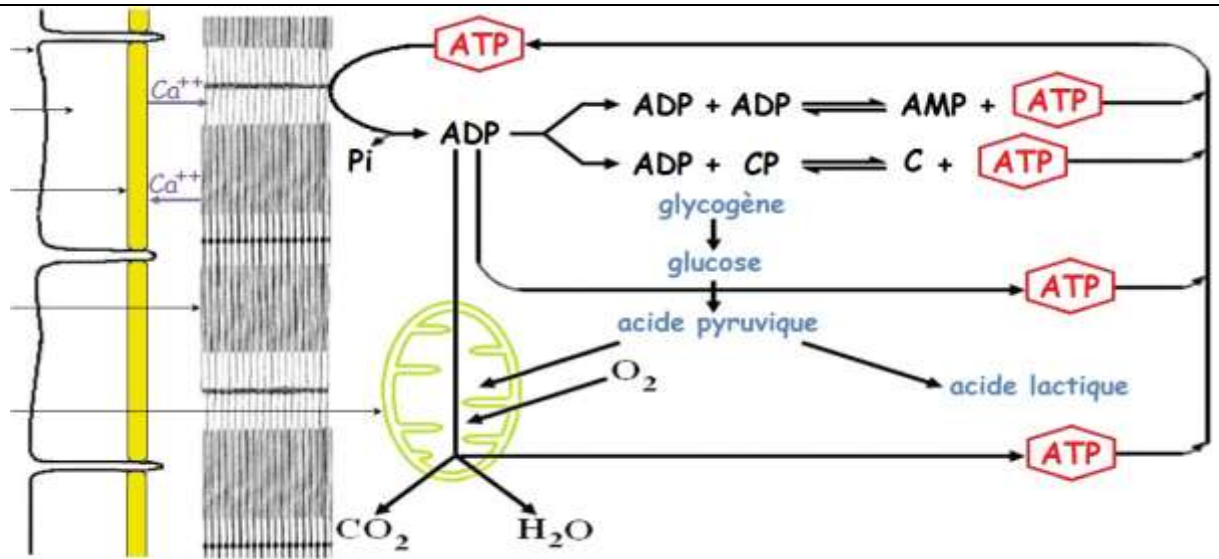
**Document 20:**

❖ Pour mettre en évidence certaines voies métaboliques qui permettent la régénération de l'ATP, on propose les données suivantes : les muscles gastrocnémien de trois grenouilles sont soumis à des stimulations supraliminaires de même intensité pendant plusieurs minutes dans des conditions variées. On dose pour chaque muscle la concentration de certaines substances avant et après la contraction musculaire. Le tableau suivant présente les conditions et les résultats de cette manipulation.

Expériences et résultats	Substances dosées	Résultats du dosage	
		Avant la contraction	Après la contraction
- Expérience A : stimulations du muscle qui n'a subi aucun traitement (conditions témoins). - Résultat : contraction du muscle pendant toute la durée des stimulations.	- ATP - glycogène - acide lactique	- 4 à 6 m.mol/kg - 1,08 g/kg - 1 g/kg	- 4 à 6 m.mol/kg - 0,80 g/kg - 1,3 g/kg
- Expérience B : stimulations du muscle après injection de la substance S <sub>1</sub> qui inhibe la glycolyse. - Résultat : contraction du muscle pendant toute la durée des stimulations.	- ATP - glycogène - acide lactique - CP	- 4 à 6 m.mol/kg - 1,08 g/kg - 1 g/kg - 15 à 17 m.mol/kg	- 4 à 6 m.mol/kg - 1,08 g/kg - 1 g/kg - 3 à 4 m.mol/kg
- Expérience C : stimulations du muscle après injection de la substance S <sub>1</sub> et de la substance S <sub>2</sub> qui bloque la dégradation du CP. - Résultat : Le muscle se contracte pendant une courte durée, puis ne répond plus aux stimulations.	- ATP - glycogène - acide lactique - CP	- 4 à 6 m.mol/kg - 1,08 g/kg - 1 g/kg - 15 à 17 m.mol/kg	- 0 m.mol/kg - 1,08 g/kg - 1 g/kg - 15 à 17 m.mol/kg

1) Analysez et interprétez les résultats des différentes expériences réalisées.

**Document 21**



Exercice d'application.1 : Restitution des connaissances.

**I-** Pour chacune des propositions numérotées de 1 à 4, il y a une seule suggestion correcte. **Recopiez** les couples (1,...) ; (2,...) ; (3,...) ; (4,...), et **adrezsez** à chaque numéro la lettre correspond à la suggestion correcte.

<p><b>1 – La fermentation lactique produit :</b></p> <p><b>a-</b> L'acide pyruvique, le CO<sub>2</sub> et l'ATP;</p> <p><b>b-</b> L'acide pyruvique et le CO<sub>2</sub>;</p> <p><b>c-</b> L'acide lactique, le CO<sub>2</sub> et l'ATP;</p> <p><b>d-</b> L'acide lactique et l'ATP.</p>	<p><b>2 – Le cycle de Krebs produit :</b></p> <p><b>a-</b> NADH,H<sup>+</sup>, FADH<sub>2</sub>, ATP et l'acide pyruvique ;</p> <p><b>b-</b> NADH,H<sup>+</sup>, FADH<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et l'acétyl coenzyme A;</p> <p><b>c-</b> NADH,H<sup>+</sup>, ATP, CO<sub>2</sub> et l'acide pyruvique;</p> <p><b>d-</b> NADH,H<sup>+</sup>, FADH<sub>2</sub>, ATP et CO<sub>2</sub>.</p>
<p><b>3- Les filaments fins de la myofibrille sont formés de :</b></p> <p><b>a-</b> L'actine, la myosine et la troponine;</p> <p><b>b-</b> L'actine, la myosine et la tropomyosine;</p> <p><b>c-</b> L'actine, la troponine et la tropomyosine;</p> <p><b>d-</b> La myosine, la troponine et la tropomyosine.</p>	<p><b>4- La contraction musculaire :</b></p> <p><b>a-</b> Se produit en absence de l'ATP, et de l'O<sub>2</sub>;</p> <p><b>b-</b> Nécessite toujours la présence des ions calcium et de l'ATP;</p> <p><b>c-</b> Se produit en absence des ions calcium et de l'ATP;</p> <p><b>d-</b> Se produit en absence des ions calcium et de l'O<sub>2</sub>.</p>

**II- Reliez** chaque étape de la respiration cellulaire à la structure cellulaire correspondante : **Recopiez** les couples (1, ....) ; (2, ....) ; (3, ....) ; (4, ....) et **adrezsez** à chaque numéro la lettre correspondante.

Étapes de la respiration cellulaire	Structures cellulaires
<b>1</b> – Les réactions de la chaîne respiratoire.	<b>a</b> – De part et d'autre de la membrane interne mitochondriale.
<b>2</b> – Les réactions de la glycolyse.	<b>b</b> – La matrice.
<b>3</b> – Le cycle de Krebs.	<b>c</b> – Le hyaloplasme.
<b>4</b> – La formation d'un gradient de protons.	<b>d</b> – La membrane interne mitochondriale.

**III-** Pour chacune des propositions 1 et 2, **recopiez** la lettre de chaque suggestion, et **écriviez** devant chacune d'elles « vrai » ou « faux » :

**1 – Les réactions de la fermentation alcoolique :**

<b>a</b>	Se déroulent dans la matrice mitochondriale en absence du dioxygène.
<b>b</b>	Se déroulent dans le hyaloplasme en absence du dioxygène.
<b>c</b>	Produisent l'éthanol, le CO <sub>2</sub> et l'ATP.
<b>d</b>	Produisent l'acide lactique, le CO <sub>2</sub> et l'ATP.

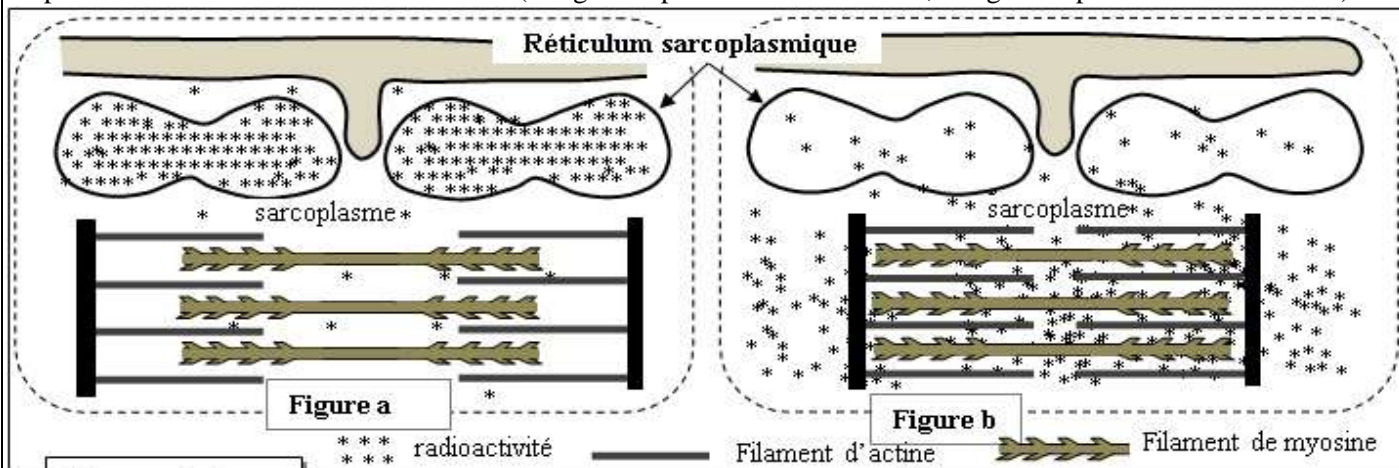
**2- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un:**

<b>a</b>	Raccourcissement des bandes sombres sans changement de la longueur des bandes claires.
<b>b</b>	Raccourcissement des bandes claires sans changement de la longueur des bandes sombres.
<b>c</b>	Rapprochement des deux stries Z avec raccourcissement de la zone H du sarcomère.
<b>d</b>	Raccourcissement des bandes claires sans changement de la longueur de la zone H du sarcomère.

Exercice d'application.2 : Exploitation des documents.

➤ On cherche à étudier quelques aspects du mécanisme de la contraction musculaire et à montrer le rôle des ions  $Ca^{2+}$  dans ce mécanisme. Dans ce cadre on propose les données suivantes :

**Donnée 1 :** Des fibres musculaires striées sont isolées et cultivées dans un milieu physiologique contenant des ions calcium radioactifs ( $^{45}Ca^{2+}$ ) puis elles sont réparties en deux lots 1 et 2. Les fibres du lot 1 sont fixées en état de relâchement alors que les fibres du lot 2 sont fixées en état de contraction. Par autoradiographie, on détecte la localisation de la radioactivité au niveau des fibres de chaque lot. Les figures du document 1 présentent des schémas explicatifs des résultats de cette détection (la figure a pour les fibres du lot 1, la figure b pour les fibres du lot 2).

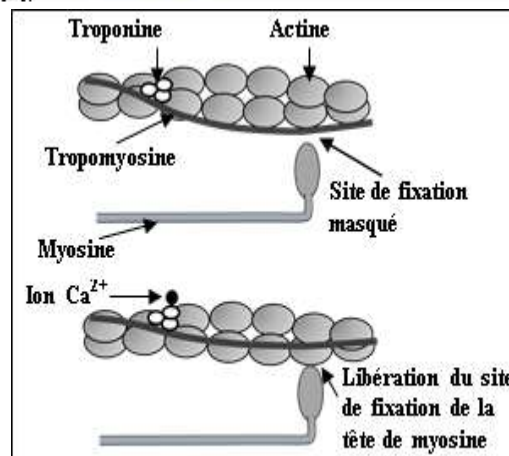


Document 1

1. Comparez la répartition de la radioactivité dans les fibres des lots 1 et 2, puis **dégagez** le sens de déplacement des ions calcium lorsque la fibre musculaire passe de l'état de relâchement à l'état de contraction.

• **Donnée 2:** L'étude biochimique et l'observation électronographique des myofilaments d'actine et de myosine, dans des fibres musculaires en présence et en absence d'ions  $Ca^{2+}$ , ont permis de construire le modèle explicatif présenté dans le document 2.

2. En vous basant sur les résultats présentés dans le document 2, **montrez** comment interviennent les ions  $Ca^{2+}$  dans la contraction de la fibre musculaire. (0,75 pt)



Document 2

• **Donnée 3:** Pour extraire l'énergie nécessaire à sa contraction, la fibre musculaire hydrolyse de grandes quantités d'ATP. Afin de déterminer certaines conditions nécessaires à l'hydrolyse de ces molécules, on présente les données expérimentales du document 3.

Milieu	Composition des milieux	
	Début de l'expérience	Fin de l'expérience
Milieu 1	Filaments de myosine + filaments d'actine + ATP + $Ca^{2+}$	Complexes actomyosine + $Ca^{2+}$ + une grande quantité d'ADP et de Pi
Milieu 2	Filaments d'actine + ATP + $Ca^{2+}$	Filaments d'actine + ATP + $Ca^{2+}$
Milieu 3	Filaments de myosine + ATP + $Ca^{2+}$	Filaments de myosine + ATP + $Ca^{2+}$ + une faible quantité d'ADP et de Pi

Document 3

3. En exploitant les données du document 3, **expliquez** la différence d'hydrolyse de l'ATP observée dans les différents milieux.

4. En vous basant sur les données précédentes et sur vos connaissances, **résumez** l'enchaînement des événements conduisant à la contraction du muscle suite à une excitation.