

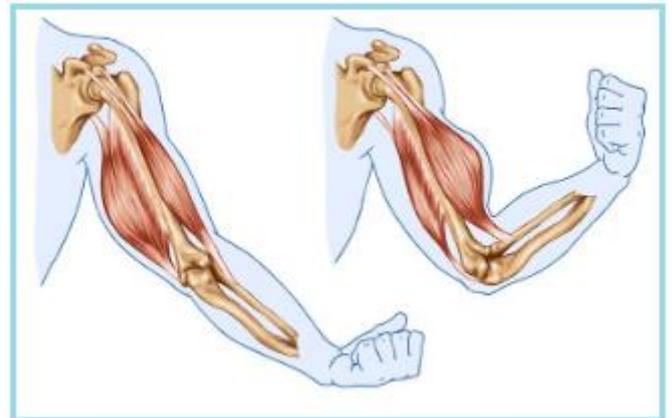
Nom et prénom :

Classe :

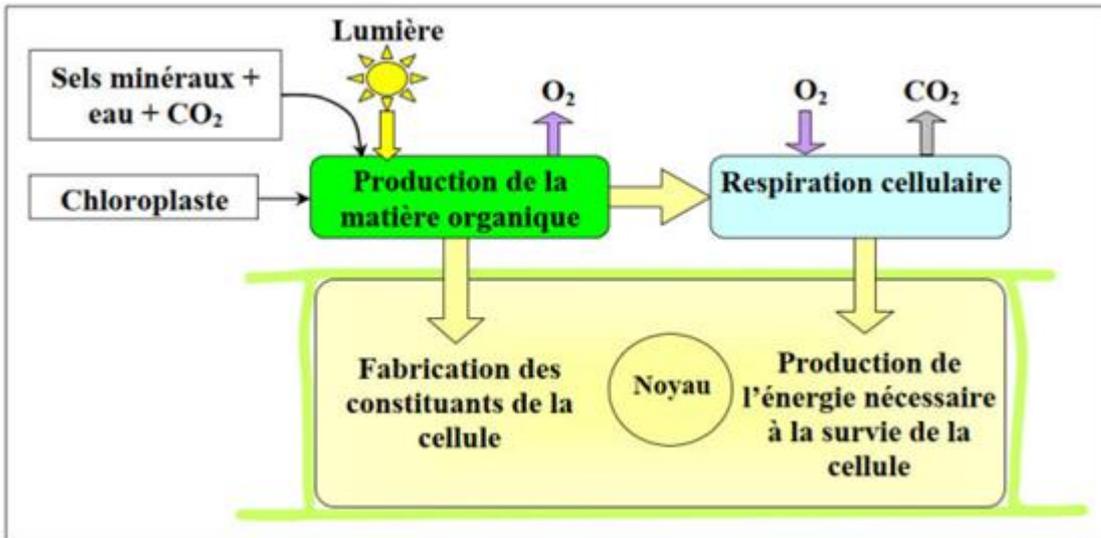
Cahier de prof

2^{ème} BAG SVT

Unité I : Consommation de la matière organique



Introduction



*Les plantes chlorophylliennes sont des êtres vivants autotrophes. Elles produisent leur matière organique (Les glucides, les lipides, les protides) en utilisant l'eau, les sels minéraux, le CO₂ atmosphérique et l'énergie lumineuse (phototrophes). C'est la photosynthèse

Les êtres vivants hétérotrophes, doivent se nourrir de matière organique pour en extraire leur énergie chimique (ATP), Cette énergie est utilisée par hydrolyse de l'ATP dans les activités cellulaires

Problématiques :

Quels sont les phénomènes cellulaires permettant la libération de l'énergie chimique emmagasinée dans la matière organique ?

Comment intervient l'énergie chimique dans les activités cellulaires qui nécessitent l'énergie ?

Chapitre 1 : Réactions responsables de la libération d'énergie emmagasinée dans la matière organique

Introduction

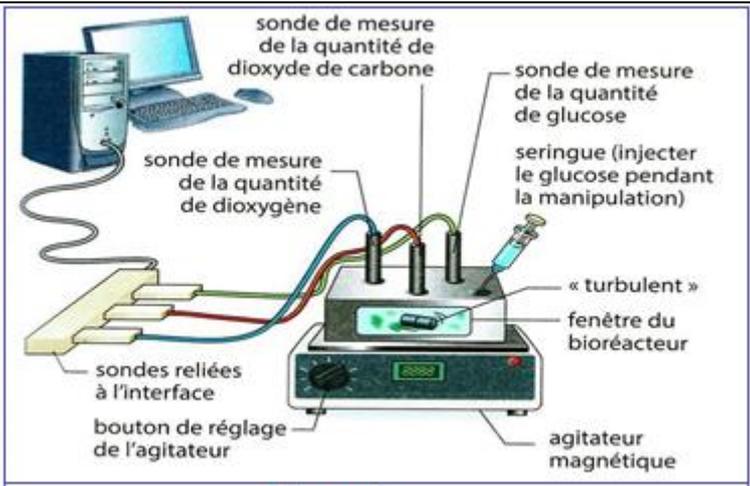
Les végétaux utilisent le CO₂ atmosphérique (autotrophes) et l'énergie lumineuse (phototrophes) pour produire leur matière organique. Pour cela l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique pour la production d'ATP. Tandis que les cellules des hétérotrophes, sans pouvoir d'utiliser l'énergie lumineuse doivent extraire leur énergie (ATP) à partir des nutriments.

➤ **Quels sont les réactions et les mécanismes permettant la libération de l'énergie emmagasinée dans la matière organique chez les hétérotrophes ?**

I-Mise en évidence des types de réactions responsables de la libération d'énergie chimique emmagasinée dans la matière organique

1- Mise en évidence de la respiration et la fermentation cellulaire

a- Etude expérimentale 1

Document 1	
Dans le but de rechercher les caractéristiques des deux types de métabolismes permettant la libération de l'énergie emmagasinée dans la matière organique, on propose l'étude des données suivants :	
<p>La matériel ExAO (figure 1) permet de mesurer en temps réel les variations de divers paramètres. Il comprend un ordinateur associe a une interface et différents capteurs, ces derniers mesurent les variations d'un paramètre et produisent un signal électrique qui sera convertit en signal numérique puis transmet a l'ordinateur. Un logiciel adéquat permet de traiter les mesures réalisées, notamment sous forme de graphique.</p>	 <p>Figure 1</p>
<p>On dispose durant 48 heures des cellules de levures dans un milieu de culture riche en dioxygène (O₂) et pauvre en nutriments organiques .ce qui provoque l'épuisement des réserves cytoplasmiques. Le milieu de culture contenant une suspension de cellules de levure, est mise dans un réacteur qui permet de mesurer la concentration d'oxygène et celle du CO₂. Le réacteur est relié via une interface à un ordinateur qui affiche les résultats sous forme de graphique au temps t₁. On ajoute au milieu (0,1ml) d'une solution de glucose (5%). la figures 2 donne les résultats obtenus dans un milieu aérobie alors que la figure 3 représente les résultats obtenus chez des levures privées de dioxygène en utilisant le même protocole expérimentale.</p>	

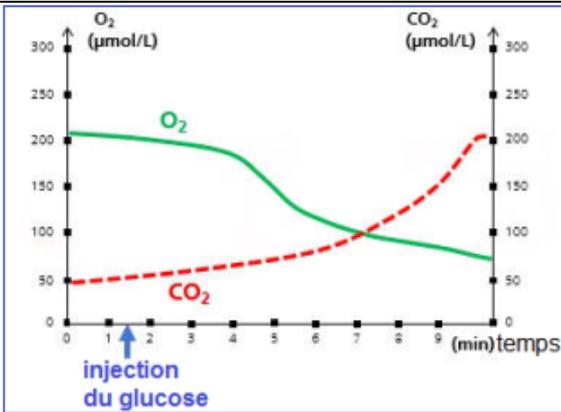


Figure 2. Résultat du montage 1 (milieu aérobie)

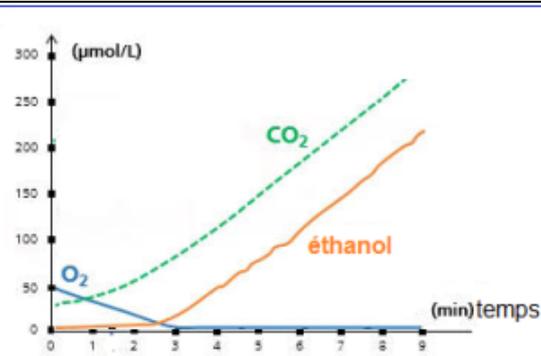


Figure 3. Résultat du montage 2 (milieu anaérobie)

1. Décrivez l'évolution du dioxygène, dioxyde de carbone et de l'éthanol en fonction du temps, que pouvez-vous déduire

↳ **Au niveau de la culture bien oxygénée de la figure 1**, après injection d'un millilitre de solution glucosée, la concentration de dioxygène diminue et la concentration de dioxyde de carbone augmente. En présence de dioxygène dans le milieu, les levures absorbent le dioxygène et rejettent le dioxyde de carbone. Ces échanges gazeux caractérisent **le métabolisme de la respiration**.

↳ **Au niveau de la culture non oxygénée de la figure 2**, après injection d'un millilitre de solution glucosée, la concentration en dioxygène diminue et devient nulle très rapidement. Au cours de ce bref moment, la concentration de dioxyde de carbone augmente légèrement. Puis, à partir du moment où il n'y a plus de dioxygène dans le milieu, la concentration de dioxyde de carbone et de l'éthanol augmente rapidement. En absence de dioxygène, les levures rejettent du dioxyde de carbone. Ces échanges gazeux caractérisent **le métabolisme de la fermentation**.

b-Etude expérimentale 2

Document 2

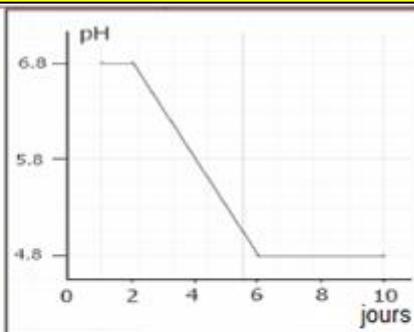
Les phases de la manipulation :

On met dans un bécher 125 mL de lait ; et on effectue des mesures du pH durant 10 jours. La représentation graphique ci-contre montre les résultats. On remarque aussi que l'aspect du lait change.

Interprétation des résultats :

Des bactéries vivant naturellement dans le lait (Lactobacilles) transforment le lactose en acide lactique. Ce dernier fait diminuer le pH. Ce qui provoque la coagulation des protéines du lait. On dit que le lait est caillé. L'hydrolyse du lactose (diholoside) donne du glucose et du galactose. Ce dernier se transforme en glucose. Le glucose se transforme en acide lactique à travers une série de réactions biochimiques. C'est **la fermentation lactique**.

Bilan de la fermentation lactique :



1. **que pouvez-vous déduire de l'analyse** de la représentation graphique et des données du document

- En absence du **dioxygène**, et après 2 jours du début de la manipulation, on observe **la diminution du pH** et donc **l'augmentation de l'acidité** du lait. On peut conclure que le glucose issu du lactose est **dégradé en acide lactique** : c'est **la fermentation lactique**.

Bilan

Les cellules utilisent le **glucose** comme **métabolite énergétique** pour extraire l'énergie nécessaire à leurs activités. Elles peuvent le dégrader de 2 façons :

✓ La respiration cellulaire :

Est une dégradation complète du glucose, en présence du dioxygène, permettant une libération de toute l'énergie contenue dans ce métabolite (car les déchets sont le CO₂ et H₂O, des déchets minéraux sans énergie).



✓ La fermentation :

La fermentation débute dans le cytoplasme par la glycolyse en absence du dioxygène, certains êtres vivants (par exemple les levures) sont capables d'oxyder le glucose d'une manière incomplète en produisant de l'éthanol, c'est la fermentation alcoolique. Selon la réaction suivante $C_6H_{12}O_6 \text{ -----}$



Ou bien l'acide lactique, c'est la fermentation lactique, Selon la réaction suivante



2- Observation des levures en aérobiose et anaérobiose.

Document 3

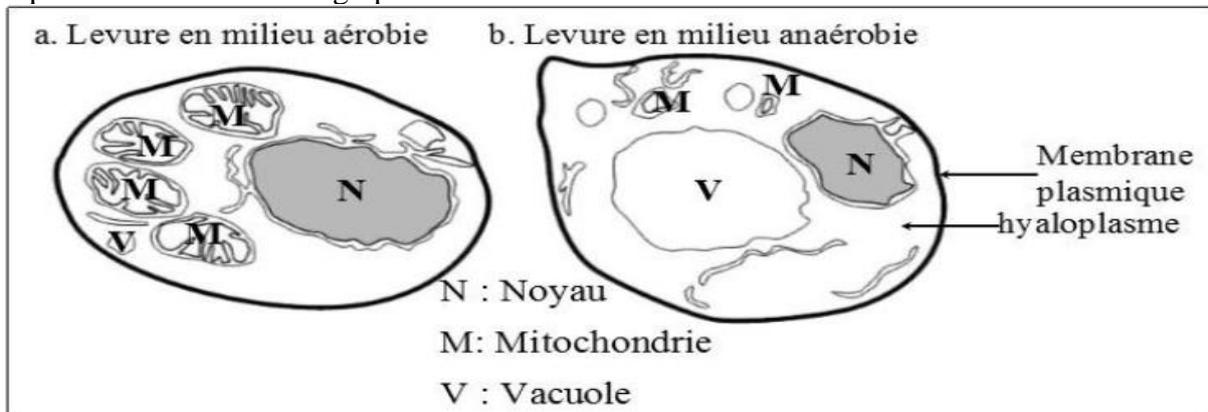
On souhaite voir comment évoluent les populations de levures et certains paramètres du milieu en aérobiose et anaérobiose.

Pour cela, des levures ont été placées dans un milieu de culture contenant le glucose en présence ou en absence d'oxygène. Le tableau ci-dessous représente les conditions et les résultats de l'expérience

	Poids de levures formées en g	Glucose (g)		Test à l'alcool	
		Initial	consommé	Début	fin
Aérobiose	1,970	150	150	-	-
Anaérobiose	0,255	150	45	-	+

1. Indiquez les informations que l'on peut tirer de ces résultats.

On observe des cellules de levures cultivées dans un milieu nutritif riche en O₂ : milieu aérobiose, et dans un milieu nutritif dépourvu d'O₂ : milieu anaérobiose. Les schémas ci-dessous représentent les électrographies de cette observation



2. **Comparez** les deux cellules et **déduisez** la relation entre le type de métabolisme et la présence de mitochondries

3. Sous forme d'un tableau réalisez un bilan de l'ensemble des phénomènes qui caractérisent d'une part le métabolisme de la respiration et d'autre part celui de la fermentation

1.-En milieu aérobie, la multiplication cellulaire (poids de levures) ainsi que la consommation du glucose sont beaucoup plus importantes qu'en milieu anaérobie.

-Sachant que la multiplication cellulaire nécessite de l'énergie, On pourrait admettre que la production d'énergie (à partir de la dégradation du glucose) est moindre en mode « fermentation » qu'en mode « respiration »

-la dégradation du glucose en anaérobiose est incomplète et il se forme de l'alcool éthylique ou éthanol

• 2. **Fig a** :On observe que dans le milieu aérobie (c'est-à-dire en présence du O₂), il existe des organites chez les cellules de levure, appelé Mitochondrie, donc la respiration nécessite la présence des ces organites pour la dégradation du glucose.

• **Fig b** : On observe que dans le milieu anaérobie (c'est-à-dire en absence du O₂), les Mitochondries sont absent, donc la fermentation ne nécessite pas la présence des ces organites pour la dégradation du glucose.

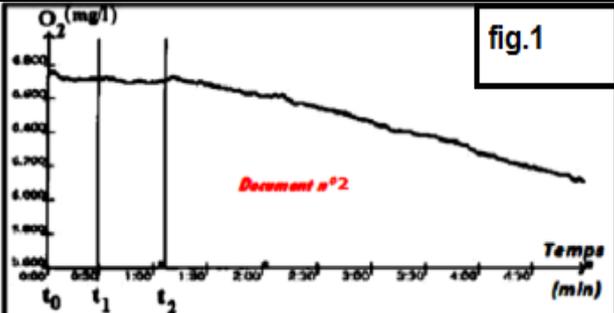
2. Bilan

Respiration	Fermentation
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Milieu aérobie ✓ Absorption de dioxygène ✓ Rejet de dioxyde de carbone ✓ Consommation (dégradation) du glucose ✓ Beaucoup d'énergie produite ✓ Nécessite la présence de mitochondrie 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Milieu anaérobie ✓ Rejet de dioxyde de carbone, et de molécules organiques (éthanol dans le cas des levures) ✓ Consommation (dégradation) du glucose ✓ Peu d'énergie produite ✓ Se déroule dans l'hyaloplasme

- Comment le glucose est-il transformé en énergie utilisable par la cellule au cours de la respiration et au cours de la fermentation ?
- Pourquoi la respiration permet de produire plus d'énergie que la fermentation ?
- Quel est le rôle des mitochondries dans la respiration cellulaire ?

III Le devenir du glucose absorbé par la cellule

1- Données expérimentaux

Document 4	
<p>Après avoir isolé des mitochondries à partir de cellules animales ; on les dépose dans un milieu riche en O₂, auquel on a ajouté du glucose au moment t₁ et de l'acide pyruvique a l'instant t₂, avec un équipement adéquat on mesure le taux de O₂ dissout en fonction du temps. La fig 1ci-contre donne les résultats des mesures effectuées :</p> <p>1. Décrivez les résultats obtenues, que pouvez-vous déduire</p>	<div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;">fig.1</div> 

on a prélevé des levures de ce même milieu aux instant T₀ , T₁ , T₂ , T₃ et T₄ pour analyser leurs contenus ,avec les techniques appropriées on a mis en évidence la présence de nouvelles matières radioactives tel l'acide pyruvique(=P), les acides du cycle de Krebs1 (=K)et du CO₂ .

Le tableau ci-dessous montre l'emplacement de ces molécules lors des différentes étapes de l'expérience :

Temps	Milieu externe	Milieu interne de la cellule	
		Cytosol (Hyaloplasme)	Mitochondries
T ₀	G ⁺⁺⁺		
T ₁	G ⁺	G ⁺⁺	
T ₂		P ⁺⁺	P ⁺
T ₃			P ⁺⁺ ; K ⁺
T ₄	CO ₂		K ⁺⁺⁺
+++ = radiation forte ++ = radiation moyenne + = radiation faible			

2. Commentez le tableau.

3. Que peut-on déduire de l'expérience ?

1. - Après l'ajout du glucose la concentration en O₂ n'a pas variée, mais dès qu'on ajoute de l'acide pyruvique il y a une baisse de la concentration en O₂
 - On déduit que les mitochondries utilisent l'acide pyruvique comme métabolite énergétique et non pas le glucose.
 - 2. - à l'instant T₀: le glucose est uniquement présent dans le milieu extérieur de la cellule.
 - à l'instant T₁ : le glucose entre dans le cytoplasme (cytosol) de la cellule.
 - à l'instant T₂ : le glucose se transforme en acide pyruvique qui commence à pénétrer les mitochondries.
 - a l'instant T₃:pénétration totale des mitochondries par l'acide pyruvique qui progressivement se transforme en acides du cycle de Krebs.
 - à l'instant T₄ : transformation totale de l'acide pyruvique en acides du cycle de Krebs avec émission du CO₂.

Conclusion : la dégradation du glucose dans les cellules se fait en deux étapes :

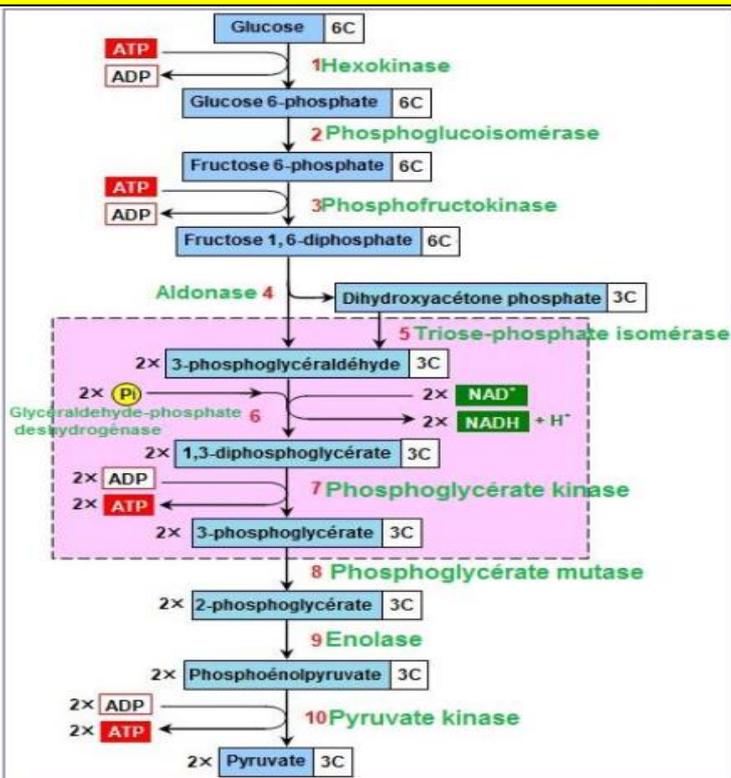
1Er étape : transformation du glucose en acide pyruvique dans le cytosol. c'est la glycolyse

2Eme étape : pénétration du de l'acide pyruvique dans les mitochondries ou il est transformé en acides du cycle de Krebs et en CO₂ qui est expulsé hors de la cellule, c'est l'oxydation respiratoire

2- glycolyse : étape commune entre respiration et fermentation

Document 5

1. Dans quel compartiment cellulaire se déroule la glycolyse ?
2. Déterminez à partir du document les étapes 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



1. La glycolyse se déroule dans l'hyaloplasme

2. Les étapes essentielles de la glycolyse :

- a- Transformation du glucose en **fructose bis-phosphate** (C6P) après la fixation d'un **groupement phosphate** provenant d'une molécule d'**ATP**.
- b- Scission du fructose bis-phosphate en 2 molécules de **Glycéraldéhyde phosphate** (C3P), ces 2 dernières seront oxydées par la **coenzyme NAD⁺** (accepteur d'électron) qui sera réduite suivant la réaction suivante : $NAD^+ + 2e + 2H^+ \rightarrow NADH, H^+$
 - Phosphorylation des 2 molécules C3P pour donner 2 molécules de **biphosphoglycerate** (C3P2).
- c- Phosphorylation des molécules d'**ADP en ATP** et transformation du biphosphoglycerate en 2 molécules d'**acide pyruvique**

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

- deux molécules de pyruvate ;
- deux molécules d'ATP
- 2 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 qui dégrade 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 :



Remarque : Cette oxydation est incomplète : le pyruvate contient encore de l'énergie potentielle

3- Le devenir de l'acide pyruvique en milieu aérobie :
3.1- Les mitochondries, organites clés de la respiration cellulaire
a. Ultrastructure et composition chimique de la mitochondrie

Document 6

a. Mitochondrie observée au microscope électronique

b. Schéma de l'ultrastructure de la mitochondrie

Membrane externe	Comparable à celle de la membrane plasmique : 40 % de lipides et 60 % de protéines
Membrane interne	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Riche en protéines (80 % des constituants). ☞ De nombreuses enzymes dont celles participant à des réactions d'oxydoréduction. ☞ Des enzymes permettant la production d'ATP: ATP synthases
Matrice	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Absence de glucose ☞ Présence de pyruvate et d'ATP ☞ Présence de nombreuses enzymes dont des déshydrogénases et des décarboxylases

c. Détail de crête mitochondriale

d. Les constituants des différents éléments d'une mitochondrie

- 1, **annotez** les schémas ci-dessus
2. **Décrivez** l'ultrastructure de la mitochondrie.
2. Que suggère la présence de nombreuses enzymes dans la mitochondrie

1. 1-Membrane externe 2- Membrane interne 3- espace intermembranaire 4-crêtes mitochondriales 5-matrice

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

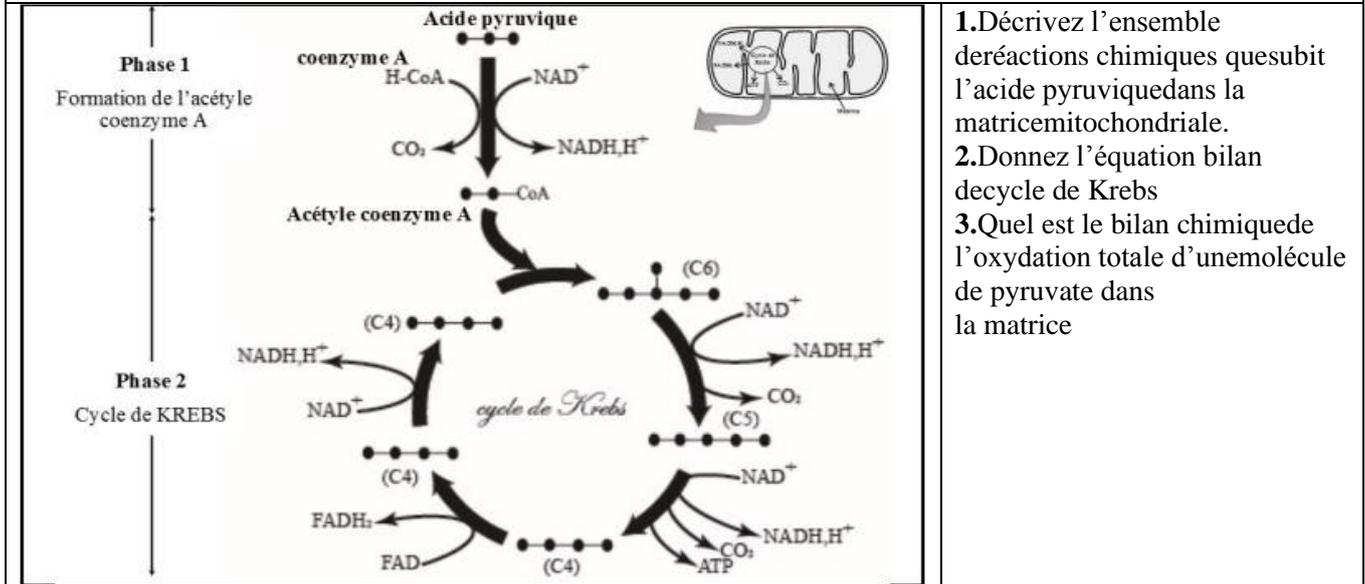
La membrane interne est caractérisée par sa richesse en enzymes et porte des sphères pédonculées tournées vers la matrice

3. La présence de nombreuses enzymes suggère l'existence des réactions chimiques

3.2- Oxydation du pyruvate au niveau de la matrice mitochondriale :

Document 7

Les 2 pyruvates obtenus par glycolyse, poursuivent leur catabolisme selon la nature du milieu : en présence d'O₂, l'acide pyruvique pénètre dans la matrice mitochondriale ou il subit une dégradation totale grâce au cycle de Krebs, la figure ci-dessous illustre les étapes de la dégradation d glucose au niveau du mitochondrie .



1. Décrivez l'ensemble des réactions chimiques que subit l'acide pyruvique dans la matrice mitochondriale.
2. Donnez l'équation bilan du cycle de Krebs
3. Quel est le bilan chimique de l'oxydation totale d'une molécule de pyruvate dans la matrice

1. L'oxydation de l'acide pyruvique s'effectue selon une série cyclique de réactions biochimiques :

La première étape : l'acide pyruvique subit une décarboxylation (enlèvement de CO₂) et une déshydrogénation (enlèvement de H⁺) et donne l'acétyl-CoA selon la réaction suivante :

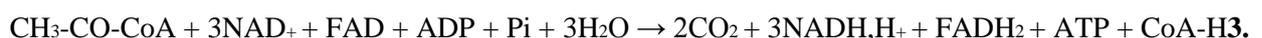


La deuxième étape : les réactions du cycle de Krebs :

- L'acétylcoenzyme A (C2) entre dans le cycle et se fixe sur l'oxaloacétate (C4) pour former du citrate (C6) , puis le groupement coenzyme A se libère.
- Le citrate subit une série de réactions : 2 décarboxylations et 2 déshydrogénations grâce à des enzymes spécifiques, pour régénérer à la fin l'oxaloacétate (C4) de nouveau et le cycle de Krebs va reprendre le tour.
- Les déshydrogénations permettent de réduire les transporteurs d'hydrogènes NAD⁺ et FAD⁺ selon les réactions :



3. Equation bilan de cycle de Krebs :



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

- 4NADH,H⁺ ▪ 1FADH₂ ▪ 1ATP ▪ 3CO₂



3.3- Réoxydation des transporteurs réduits et la production d'ATP dans la chaîne respiratoire de la membrane interne mitochondriale

a- Notion de la chaîne respiratoire

Document 8

pour mettre en évidence le rôle de la chaîne respiratoire dans la respiration cellulaire, on propose les données suivantes:

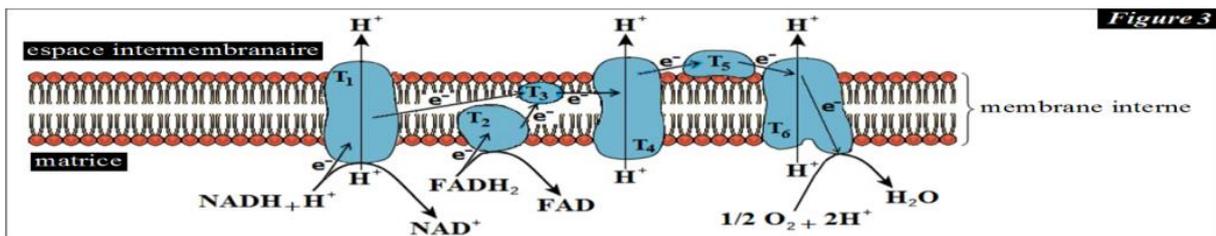
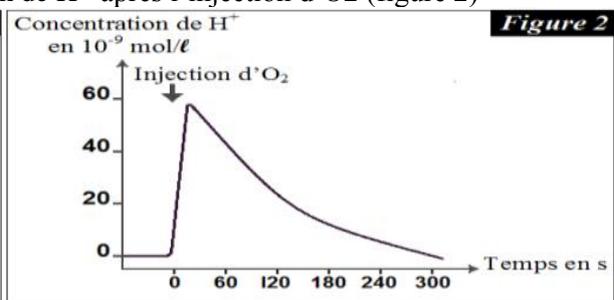
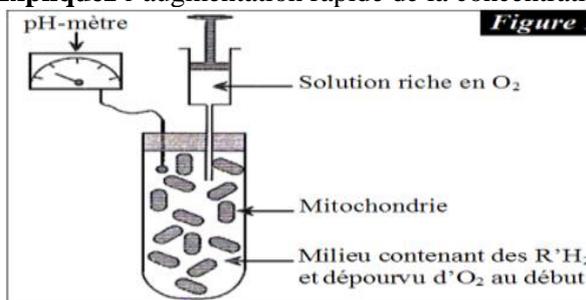
➤ **Première donnée:** On réalise l'expérience illustrée par la figure 1. On place une suspension de mitochondries dans un milieu dépourvu d'O₂ et contenant des R'H₂ (donneurs d'e⁻ et de H⁺). On suit l'évolution de la concentration de H⁺ dans le milieu avant et après l'injection d'une solution riche en O₂, les résultats sont présentés par le graphe de la figure 2.

1. **Décrivez** l'évolution de la concentration de H⁺ dans le milieu avant et après l'injection d'O₂.

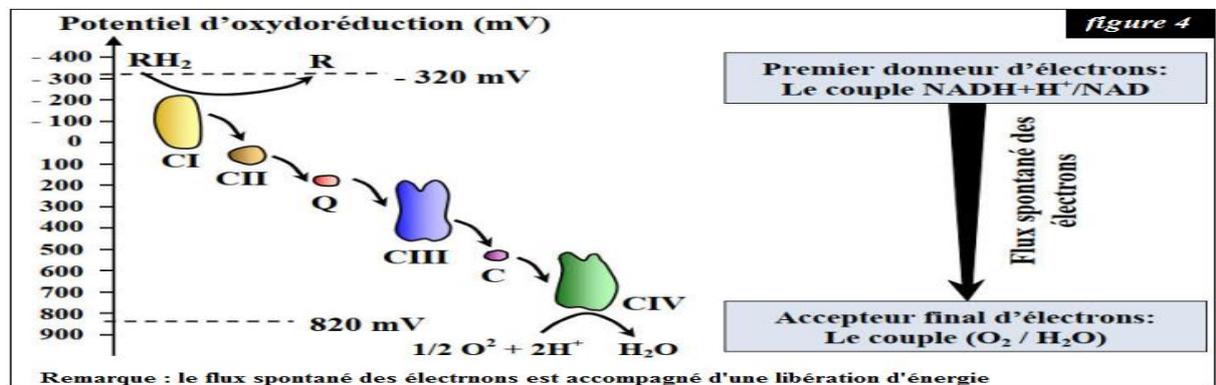
➤ **Deuxième donnée:** Les figure 3 et 4 montrent le devenir des e⁻ et des H⁺ cédés par les transporteurs réduits R'H₂ (NADH+H⁺ et FADH₂) au niveau de la chaîne respiratoire constituée des transporteurs T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ et T₆.

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⁺ après l'injection d'O₂ (figure 2)



- * T₁ - Complexe I (C_I) : permet la réoxydation de NADH+H⁺ et transporte des protons de la matrice vers l'espace intermembranaire.
- * T₂ - Complexe II (C_{II}) : permet la réoxydation de FADH₂.
- * T₃ - Coenzyme Q : transporte les électrons depuis le complexe I et le complexe II vers le complexe III.
- * T₄ - Complexe III (C_{III}) : transporte les électrons vers le cytochrome C et les protons de la matrice vers l'espace intermembranaire.
- * T₅ - Cytochrome C : transporte les électrons depuis le complexe III vers le complexe IV.
- * T₆ - Complexe IV (C_{IV}) : transporte des protons de la matrice vers l'espace intermembranaire.



1. Avant l'injection d'O₂, la concentration de H⁺ est nulle.

Après l'injection d'O₂, H⁺ apparaît dans le milieu, sa concentration augmente rapidement jusqu'à la valeur de 58.10⁻⁹ mol/l puis elle diminue progressivement et s'annule après 32 s.

2. **Analyse des données de la figure 3**

- Au niveau de la membrane interne des mitochondries, on remarque ce qui suit:
- ✓ Le NADH+H⁺ est oxydé par le CI alors que le FADH₂ est oxydé par le CII ;

- ✓ □ Les e⁻ libérés à la suite de cette oxydation sont transportés par les enzymes de la chaîne respiratoire jusqu'à O₂, ce dernier fixe aussi les H⁺ et se transforme en H₂O.
- ✓ □ Certaines enzymes de la chaîne respiratoire transportent les H⁺ de la matrice vers l'espace intermembranaire.

Analyse des données de la figure 4

- □ Le flux de e⁻ dans la chaîne respiratoire s'effectue spontanément dans le sens croissant des potentiels Redox, depuis le premier donneur (le couple NADH+H⁺/NAD⁺), jusqu'au dernier accepteur (le couple O₂/H₂O).
- □ Au cours de leur transport, les e⁻ libèrent de l'énergie (qui permet aux CI, CIII et CIV de réaliser un transport actif des H⁺ de la matrice vers l'espace intermembranaire).

3. Injection d'O₂ → oxydation des R'H₂ → libération d'e⁻ et de H⁺ → transport des e⁻ par les transporteurs de la chaîne respiratoire avec libération d'énergie par les e⁻ → passage des H⁺ de la matrice vers l'espace intermembranaire puis à l'extérieur des mitochondries augmentation de la concentration de H⁺

Conclusion

- ❖ La chaîne respiratoire est constituée de plusieurs transporteurs, ce sont des complexes enzymatiques qui participent à des réactions d'oxydo-réduction, ils réoxydent les composés réduits R'H₂ et transportent les e⁻ et les H⁺ cédés par ces composés jusqu'à O₂, ce dernier accepteur subit donc une réduction et se transforme en H₂O.
- ❖ Le flux des e⁻ et H⁺ au niveau de la chaîne respiratoire depuis le couple R'H₂ vers le couple O₂/H₂O s'appelle l'oxydation respiratoire.

b. Mise en évidence du rôle des sphères pédonculées

Document 9

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 submitochondriales, il s'agit de vésicules dont les sphères pédonculées sont orientées vers l'extérieur. On place ces particules submitochondriales dans des milieux variés ; la **figure 2** présente les conditions de cette expérience et les résultats obtenus.

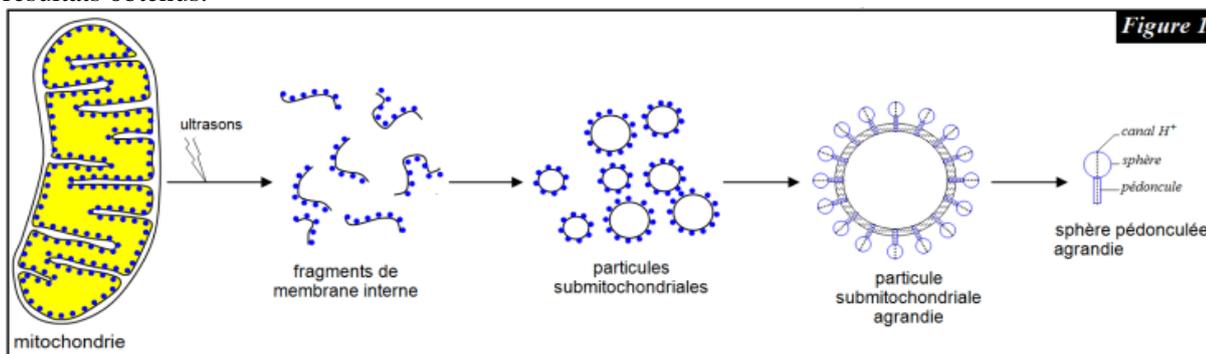


Figure 2		milieu 1	milieu 2	milieu 3	milieu 4
<i>conditions expérimentales</i>		ADP + Pi pHi = 4 pHe = 8	particule submitochondriale sans sphère pédonculée ADP + Pi pHi = 4 pHe = 8	ADP + Pi pHi = 7 pHe = 7	FCCP ADP + Pi pHi = 4 pHe = 8
	<i>résultats</i>	synthèse de l'ATP	pas de synthèse de l'ATP	pas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

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

- pHi : pH à l'intérieur des particules submitochondriales (représente le pH dans l'espace intermembranaire).
- pHe : pH à l'extérieur des particules submitochondriales (représente le pH dans la matrice).
- ❖ La membrane interne des mitochondries est imperméable aux H⁺, 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⁺

Les résultats des expériences montrent que la phosphorylation de l'ADP en ATP se fait au niveau des **sphères pédonculées**. Cette réaction nécessite :

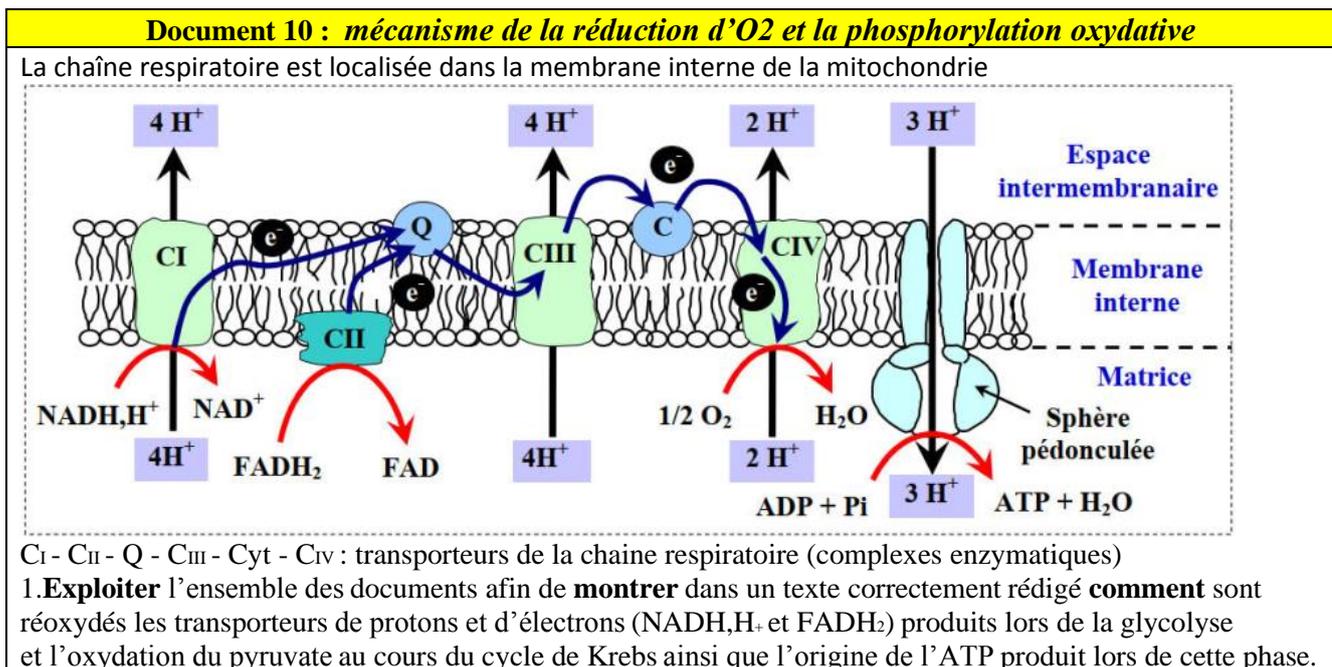
- La présence d'ADP et de Pi
- une différence de concentration des protons H⁺ de part et d'autre de la membrane interne mitochondriale (**gradient de H⁺**), de telle sorte que la concentration soit plus élevée au niveau de l'espace intermembranaire (Un pH extravésiculaire = PHe) par rapport à la matrice (pH de l'intérieur des vésicules=Phi)
- La présence des sphères pédonculées

Bilan :

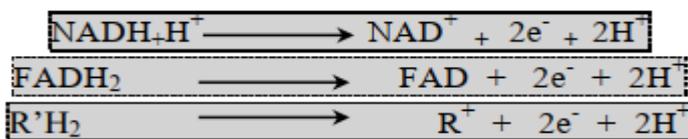
Dans les conditions cellulaires, les sphères pédonculées de la membrane interne des mitochondries catalysent la synthèse d'ATP dans la matrice. L'énergie nécessaire à cette synthèse vient d'un flux de protons.

Les protons, présents en concentration plus importante dans l'espace intermembranaire que dans la matrice (gradient de H⁺), gagnent la matrice en passant par les sphères pédonculées.

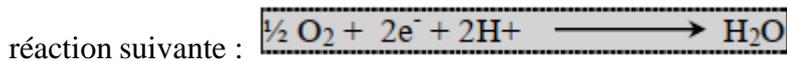
c. Chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative



Les coenzymes réduits (NADH,H⁺ et FADH₂) subissent une oxydation par les complexes de la chaîne respiratoire selon les réactions suivantes

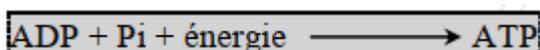


- Les e⁻ cédés par les R'H₂ réoxydés sont transportés par les enzymes de la chaîne respiratoire (à la suite d'une succession de réactions d'oxydo-réduction) jusqu'à O₂, ce dernier accepteur est réduit selon la



- Les protons H⁺ sont expulsés vers l'espace intermembranaire, auxquels s'ajoutent d'autres protons transportés lors du transfert des électrons. Il se forme **un gradient de protons** transmembranaire

- Les protons rejoignent la matrice en activant les sphères pédonculées, ce qui est à l'origine d'une synthèse d'ATP à partir d'ADP et de Pi selon la réaction suivante.



Le couplage de réactions d'oxydoréduction et de phosphorylation donne à cette phase le nom de

phosphorylation oxydative.

Remarque :

L'oxydation d'une molécule de NADH,H⁺ permet la synthèse 3ATP

L'oxydation d'une molécule de FADH₂ permet la synthèse 2ATP

3.4 Le bilan énergétique de la respiration cellulaire

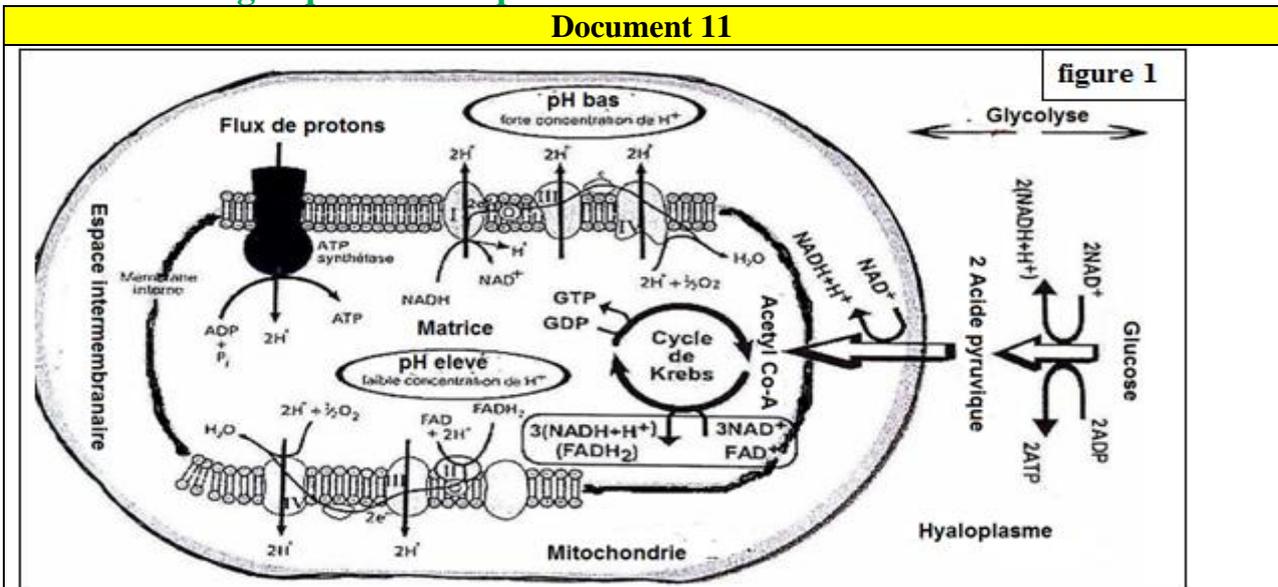


figure 1

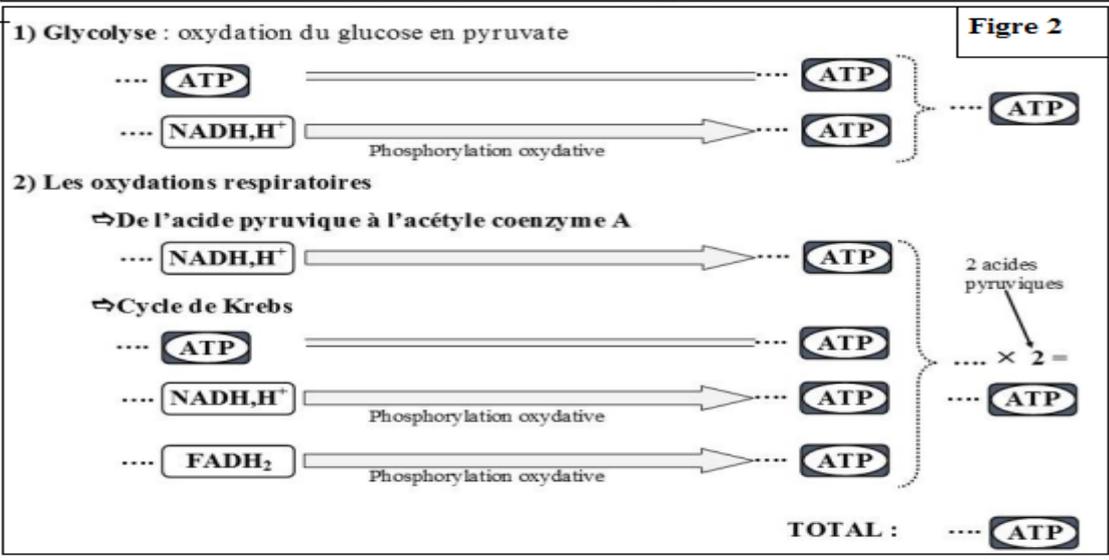
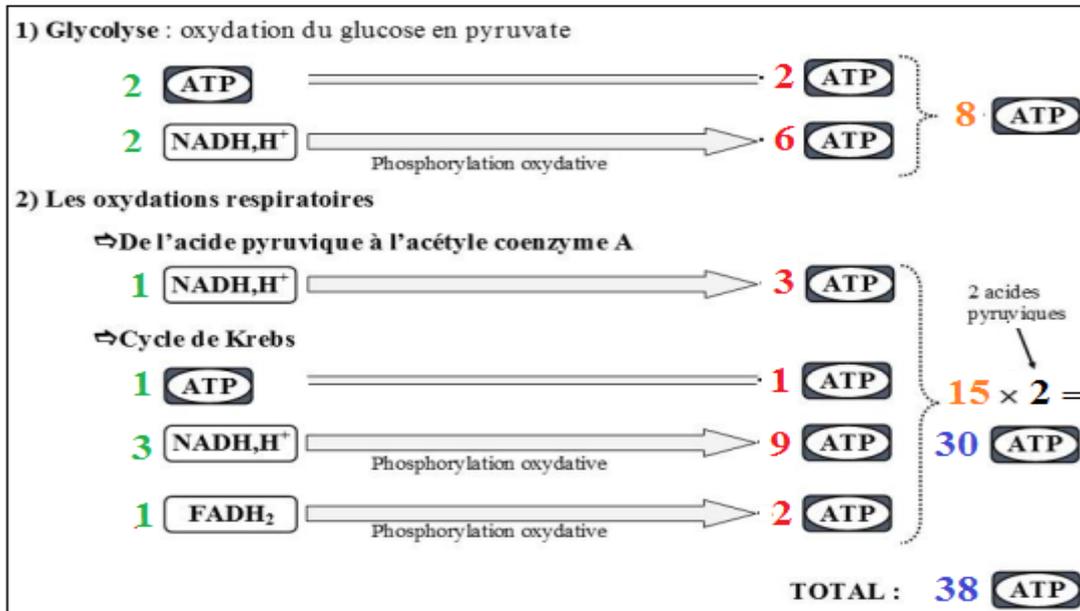


Figure 2

- En exploitant** le document ci-dessus et vos acquis, **déterminez le bilan** énergétique de la respiration cellulaire (calculé du nombre de molécules d'ATP synthétisées au cours de la respiration cellulaire lors de la consommation d'une molécule de glucose).
- Résumez** cette oxydation sous forme d'une équation bilan



2. Equation bilan de la respiration cellulaire

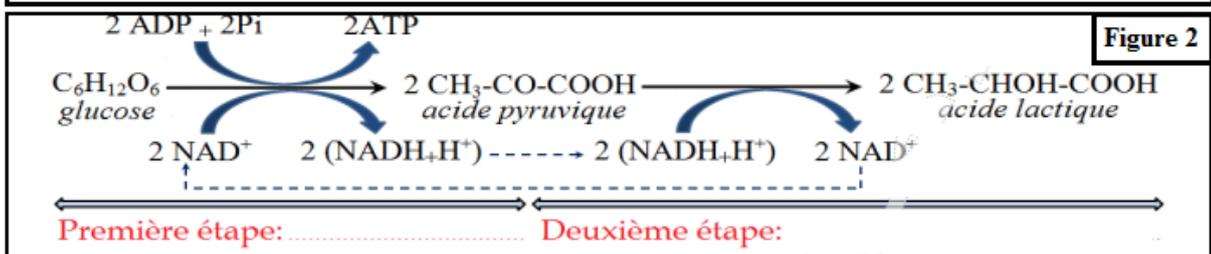
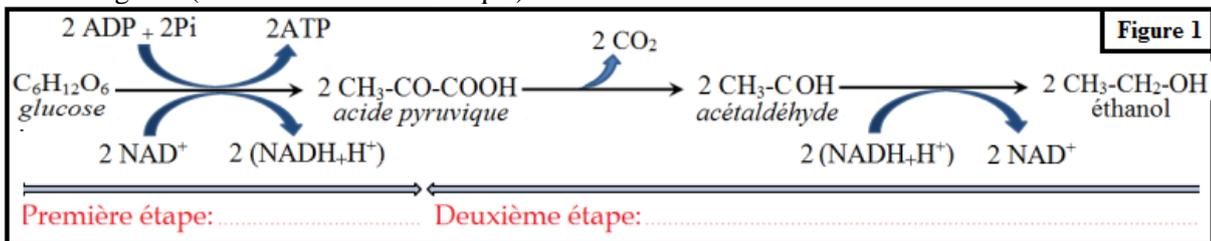


Remarque : Théoriquement le métabolisme de chaque molécule de glucose produit 38 ATP mais pratiquement à part les cellules du foie et du cœur on atteint à peine les 36 molécules d'ATP pour plusieurs raisons dont la principale c'est que lors de la glycolyse le NADH₂ est remplacé dans le cytosol par du FADH₂ car NADH₂ ne peut traverser la membrane mitochondriale ; ce qui fait que la glycolyse ne produit que 6 ATP au lieu de 8

4- Le devenir de l'acide pyruvique en milieu anaérobie :

Document 12

En l'absence ou en l'insuffisance d'oxygène, le pyruvate résultant de la glycolyse ne pénètre pas dans la mitochondrie, il se transforme dans l'hyaloplasme en acide lactique figure 1 (la fermentation lactique.) ou en éthanol figure 2(la fermentation alcoolique).



- En exploitant les résultats de l'expérience, **déterminez** les caractéristiques de la fermentation alcoolique et lactique .
- Sachant que** la fermentation débute dans le l'hyaloplasme par la glycolyse. **Ecrivez** l'équations équilibrées de la formation alcoolique et lactique
- Quel est le bilan** énergétique de la fermentation.

1. La fermentation alcoolique :

- Réaction anaérobie
- Production du CO₂,
- Produit un alcool, l'éthanol

La fermentation lactique :

- Réaction anaérobie
- Pas de Production du CO₂
- Production de l'acide lactique

2. L'équations équilibrées de la formation alcoolique et lactique

Fermentation lactique



Fermentation alcoolique



3. Le nombre de molécules d'ATP produite à partir d'une molécule de glucose lors de la fermentation : 2 ATP

IV- Le rendement énergétique de la respiration et de la fermentation

Document 12

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'O₂ dans une chambre calorimétrique libre 2840 kJ ;
- l'oxydation d'une mole de glucose en absence d'O₂ dans une chambre calorimétrique libre 140 kJ ;
- l'énergie contenue dans les déchets minéraux (CO₂ et H₂O) est 0 kJ ;
- l'énergie emmagasinée dans une mole de l'éthanol est 1360 kJ ;
- l'hydrolyse d'une mole d'ATP libre 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 :

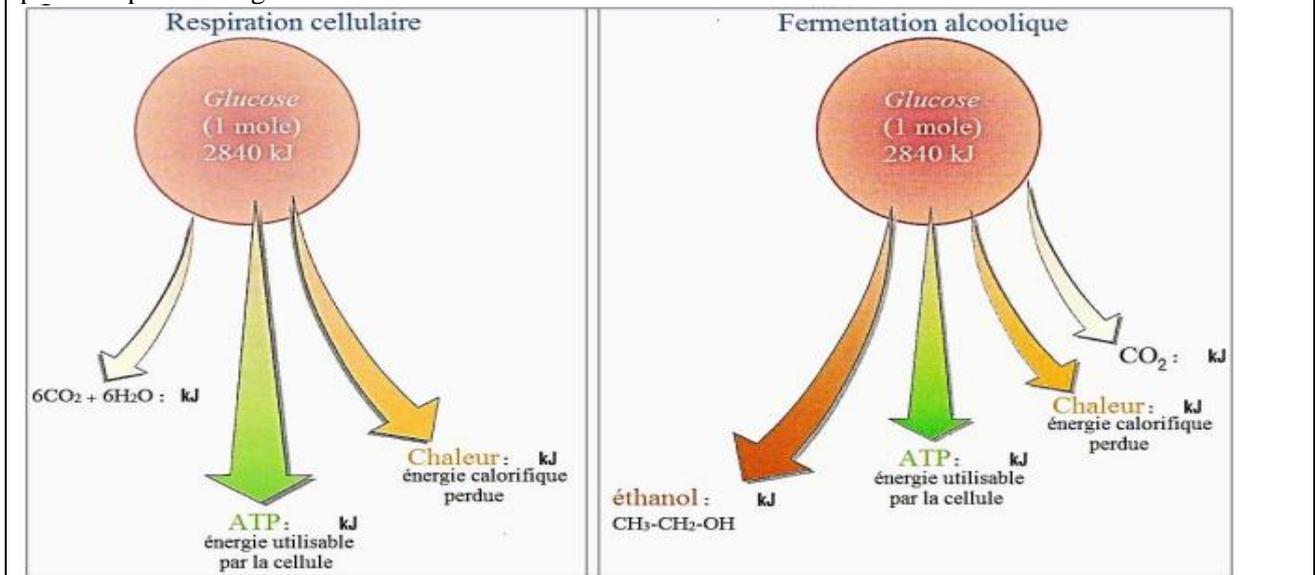
$$r = \frac{e}{E} \times 100$$

r : rendement énergétique en %

e : énergie contenue dans le nombre d'ATP issu de la respiration et de la fermentation

E : énergie globale emmagasinée dans une mole de glucose

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



1. Pour la respiration, on a deux cas :

- ✓ Cas de 38 ATP comme bilan énergétique : $r = 40,81 \%$
- ✓ Cas de 36 ATP comme bilan énergétique : $r = 38,66 \%$
- ✓ Pour la fermentation alcoolique, $r = 2,15 \%$

2. Le rendement énergétique de la respiration est très supérieur à celui de la fermentation (alcoolique et lactique). On peut expliquer la différence constatée comme suit :

Pour la respiration :

Consommation d'O₂ → dégradation complète du glucose → bilan énergétique élevé (36 ou 38 ATP) → rendement énergétique élevé (40 %).

- Pour la fermentation :

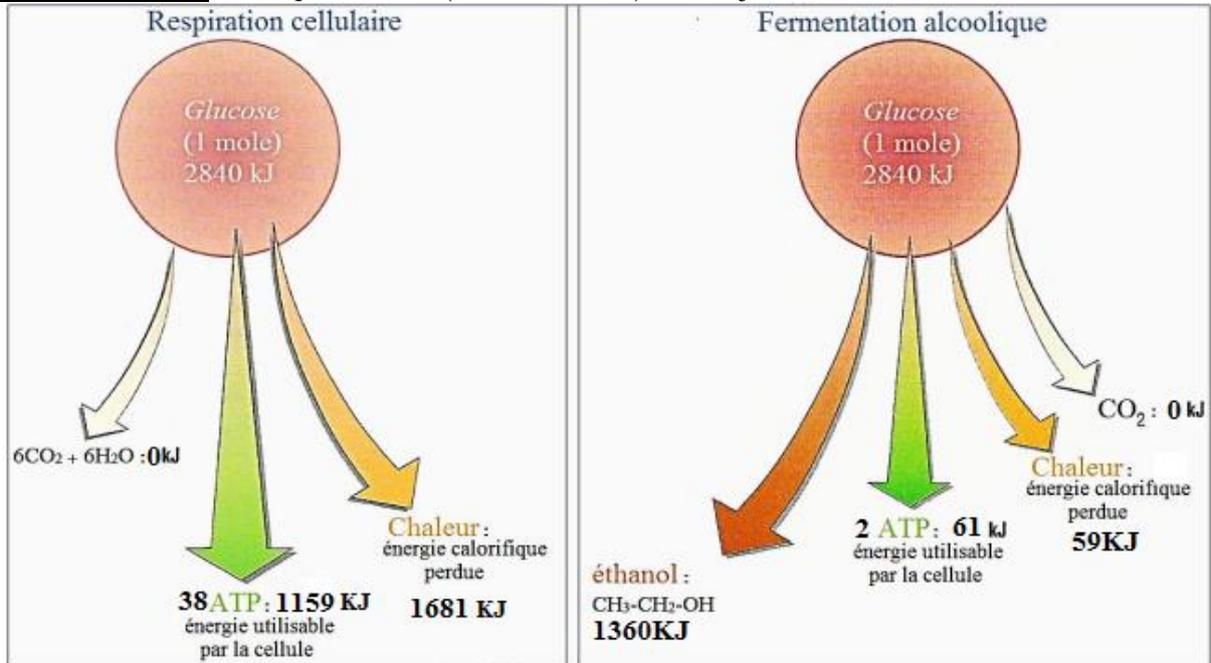
Pas de consommation d'O₂ → dégradation incomplète du glucose → production d'un déchet organique riche en énergie (éthanol, acide lactique ...) → bilan énergétique très faible (2 ATP) → rendement énergétique très faible (2 %).

1. Pour la respiration :

✓ - cas de 38 ATP : $2840 - 1159 = 1681$ kJ

✓ - cas de 36 ATP : $2840 - 1098 = 1742$ kJ

Pour la fermentation alcoolique : $2840 - ((2 \times 1360) + 61) = 59$ KJ



Chapitre 2 : Le rôle du muscle strié squelettique dans la conversion d'énergie

Les muscles squelettiques sont des organes qui accomplissent un travail important, ils sont à l'origine des mouvements des différentes parties du corps. L'énergie nécessaire à la contraction de ces muscles est fournie à la cellule musculaire par les molécules d'ATP. Au sein des cellules musculaires il existe donc une conversion de l'énergie chimique de l'ATP en énergie mécanique

- Comment peut-on enregistrer les contractions musculaires
- Quels sont les phénomènes accompagnant la contraction musculaire
- Quels sont les structures qui permettent au muscle squelettique strié de se contracter
- Comment l'énergie chimique de l'ATP est convertie par le muscle en énergie mécanique ?

I. Etude expérimentale de la contraction musculaire

1. Dispositif expérimental d'enregistrement de la contraction musculaire

Document 1

A fin d'étudier l'activité contractile d'un muscle, on utilise le muscle gastrocnémien d'une grenouille déméduillée et décérébrée:

- ✓ On dégage le muscle et le nerf sciatique. Figure 1
- ✓ On sectionner le tendon inférieur du muscle et on le relie par un fil à un système d'enregistrement (myographe) **figure 2**
- ✓ On provoque des excitations par des électrodes placées sur le nerf sciatique

La **figure 3** ci-dessous représente l'enregistrement obtenu suite à une excitation efficace (supraliminaire) unique

Figure 1: préparation de l'animal

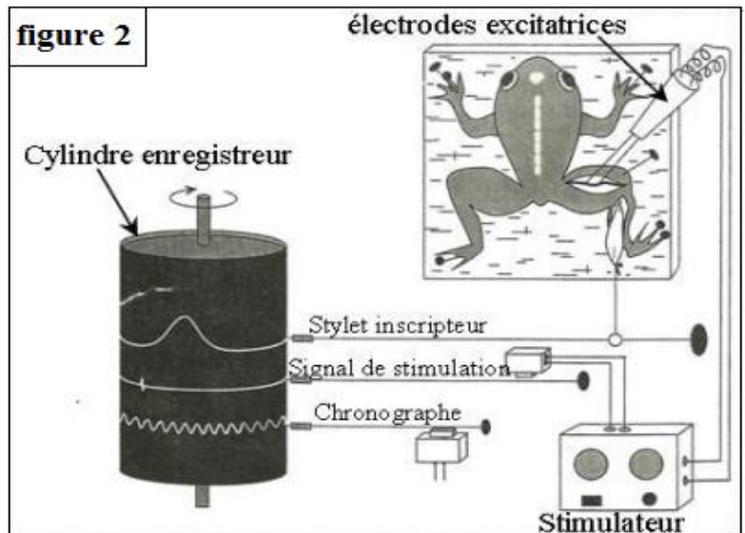
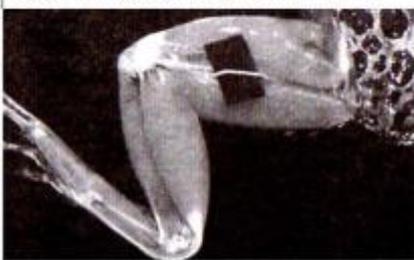
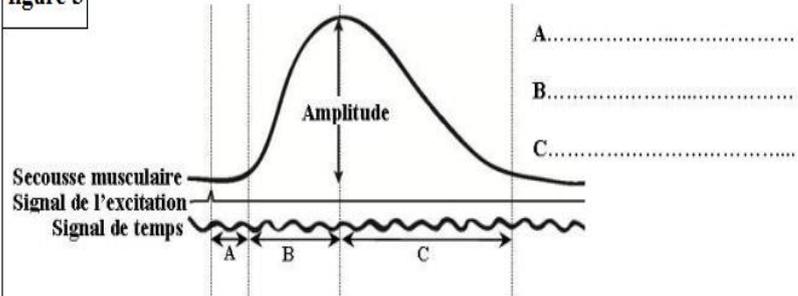


figure 3

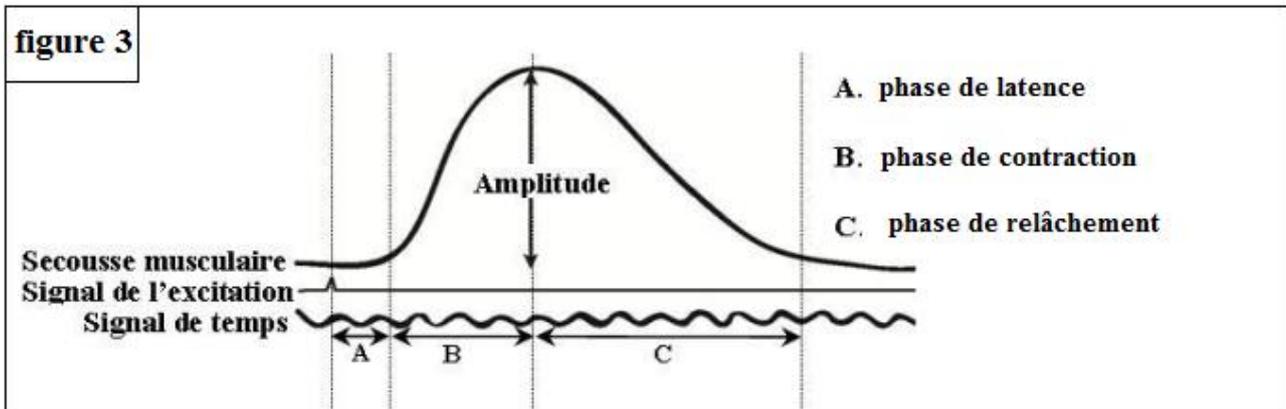


1. Décrivez la réponse musculaire enregistrée

Lorsqu'on stimule le muscle par une excitation électrique unique, l'enregistrement obtenu est appelé **secousse musculaire**

(ou **myogramme**) composée des phases suivantes :

- **La phase de latence** : correspond à la durée entre le moment de l'excitation et le moment du début de la réponse (qq ms, tps nécessaire à l'arrivée de l'influx nerveux)
- **La phase de contraction** : la phase au cours de laquelle la longueur du muscle décroît (raccourcissement du muscle)
- **La phase de relâchement** : la phase au cours de laquelle le muscle reprend ses dimensions initiales (sa durée est légèrement supérieure à celle de contraction)



2. Analyse des myogrammes

a. Effet de plusieurs excitations à intensité croissante sur la réponse musculaire

Document 2

On enregistre graphiquement les secousses musculaires d'un gastrocnémien de grenouille par ouverture et fermeture d'un circuit électrique parcouru par un courant d'intensité croissante ($I_1 < \dots < I_{14}$). Le cylindre enregistreur est immobilisé pour chaque excitation et pendant la durée de la réponse musculaire correspondante. Les résultats sont représentés par la figure ci-contre.

1. Interprétez les résultats obtenus

- * L'excitation (i_1) ne donne pas de réponse. Cette excitation est donc inefficace, le seuil d'excitation n'étant pas encore atteint.
- * A partir de l'excitation (i_2) (Seuil d'excitabilité = rhéobase), on enregistre une réponse dont l'amplitude augmente progressivement. Cette augmentation de l'amplitude est consécutive au recrutement d'un nombre croissant d'unités musculaires. **C'est la loi de recrutement.**
- * Quand l'intensité d'excitation atteint une valeur maximale (i_{12}), l'amplitude de la réponse reste constante même si l'intensité de l'excitation continue d'augmenter, car toutes les unités constituant le muscle se contractent.

b. Réponse musculaire à deux excitations efficaces de même intensité

Document 3

La stimulation du muscle par deux chocs successifs à des intervalles de temps variables permet l'enregistrement des myogrammes représentés par les figures ci-dessous

Décrire l'enregistrement et établir la relation entre l'intervalle de temps entre deux excitations successives et l'aspect de la réponse musculaire.

Figure A : quand les 2 stimulations sont suffisamment éloignées on enregistre deux secousses musculaires isolées et de même amplitude.

Figure B : quand les deux stimulations sont rapprochées et que la 2^{ème} stimulation se produit pendant la phase de relâchement du muscle, on observe une **fusion incomplète** (partielle) des deux secousses musculaires avec une augmentation de l'amplitude de la 2^{ème} secousse.

Figure C : quand les deux stimulations sont très rapprochées et que la 2^{ème} stimulation se produit pendant la phase de

contraction du muscle, on observe une **fusion complète** (totale) des deux secousses qui apparaissent comme s'il n'y a qu'une seule secousse d'une amplitude plus grande.

c. Réponse musculaire à une série d'excitations efficaces successives et de même intensité.

Document 4

À l'aide d'électrodes excitatrices on envoie au muscle, par l'intermédiaire du nerf, une série d'excitations dont on peut faire varier la fréquence.

- ✓ Avec une fréquence de 12 excitations par seconde, on obtient l'enregistrement de la figure 1
- ✓ Avec une fréquence de 32 excitations par seconde, on obtient l'enregistrement de la figure 2

Figure 1

Figure 2

1. comparez les deux myogramme et expliquez les phénomènes observés

Figure A : quand la fréquence des excitations est faible de telle sorte que chaque excitation se produit pendant la phase de relâchement de la secousse relative à l'excitation précédente, le myogramme obtenu donne des secousses avec fusion incomplète. Ce myogramme est appelé **tétanos imparfait**.

Figure B : quand la fréquence des excitations est forte de telle sorte que chaque excitation se produit pendant la phase de contraction de la secousse relative à l'excitation précédente, le myogramme obtenu donne des secousses avec fusion complète. Ce myogramme est appelé **tétanos parfait**.

d- fatigue musculaire

Document 5

On porte une série de stimulation de même intensité sur le muscle gastrocnérien pendant une durée très longue. A fin d'obtenir une superposition des enregistrements on règle la vitesse de rotation du cylindre de tel sorte qu'une excitation unique se produit à chaque tour les résultats sont présentés par la figure 1: Pour l'enregistrement de la figure 2, le cylindre tourne à une vitesse plus lente et l'on porte une stimulation par seconde

Myogramme

Signal d'excitation

1. En exploitant les données de ce document, déterminez comment se traduit la fatigue musculaire au niveau de la secousse musculaire.

Figure 1

C1 = la secousse musculaire d'amplitude a_1 , obtenue à la suite de la première excitation.
 C2 = la secousse musculaire d'amplitude a_n obtenue à la suite de la dernière excitation.

La figure 1 montre une diminution progressive de l'amplitude des secousses musculaire avec une augmentation de la durée de relâchement

La figure 2 montre une diminution progressive de l'amplitude des secousses jusqu'à l'immobilité complète du muscle. Il s'est produit donc **une fatigue progressive du muscle**.

II. Les phénomènes thermiques et métaboliques accompagnant la contraction

1. Les phénomènes thermiques accompagnant la contraction musculaire

Document 6

Pour mesurer la chaleur dégagée lors de la contraction musculaire, et Haltrée ont utilisés un appareil appelé thermopile (Figure 1). Ce dernier comprend deux aiguilles thermoélectriques formées de deux métaux différents (Cuivre-Nickel), l'une est Introduite dans le muscle, l'autre est maintenue à une température constante. La différence de température entre les deux aiguilles se traduit par une différence de potentiel (ddp) dont la valeur est proportionnelle à la température du muscle contracté. Cette ddp se traduit au niveau de l'oscilloscope sous forme de courbes (Figure 2).

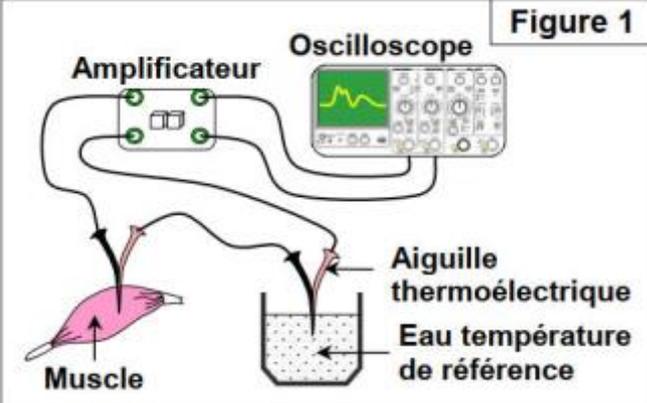
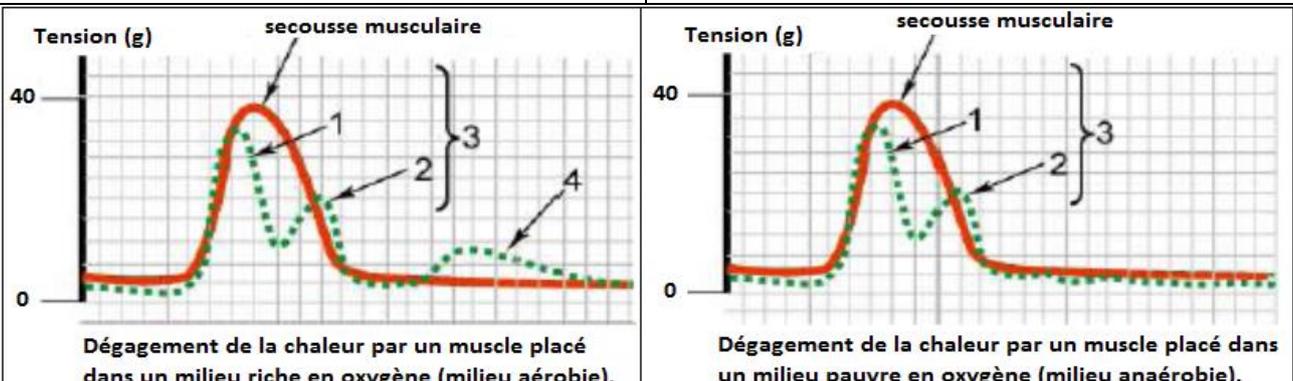


Figure 1

1. En exploitant, en parallèle, le myogramme et la courbe de variation de la chaleur dégagée, déterminer les différents types de chaleur libérée par le muscle lors d'une activité musculaire



Suite à une contraction musculaire il y a un dégagement de chaleur qui se fait en deux temps :

- **Une chaleur initiale** : qui se dégage rapidement au cours de la secousse musculaire. Elle comporte une chaleur de contraction et une chaleur de relâchement.
- **Une chaleur retardée** qui se dégage lentement après la secousse.

L'absence de dégagement de chaleur retardée en milieu anaérobie prouve que la respiration cellulaire en constitue la source, alors que l'origine de la chaleur initiale est la fermentation lactique.

2. Phénomènes chimiques accompagnant la contraction musculaire

Document 7	Paramètres sanguins (par heure et par Kg de muscle)	Muscle au repos	Muscle en activité
On analyse le sang à l'entrée et à la sortie d'un muscle au repos et après une activité musculaire. On obtient les résultats présentés dans le tableau ci-dessous: 1. Comparez les besoins d'un muscle en activité et au repos. Que peut-on déduire	Volume de sang traversant le muscle	12.220 l	56.325 l
	O ₂ consommé	0.307 l	5.207 l
	CO ₂ rejeté	0.220 l	5.950 l
	Glucose utilisé	2.042 g	8.432 g
	Protides utilisés	0 g	0 g
	Lipides utilisés	0 g	0 g

artère → sang entrant
veine → sang sortant

L'expérience montre que le muscle :

-] Bénéficie d'une augmentation du débit sanguin qui permet l'intensification des échanges lorsqu'il est en activité
- Utilise beaucoup plus de glucose et d'O₂ et produit d'avantage de CO₂ lorsqu'il est en activité.
- Ne consomme pas les protides et les lipides mais utilise uniquement le glucose que ce soit en activité ou au

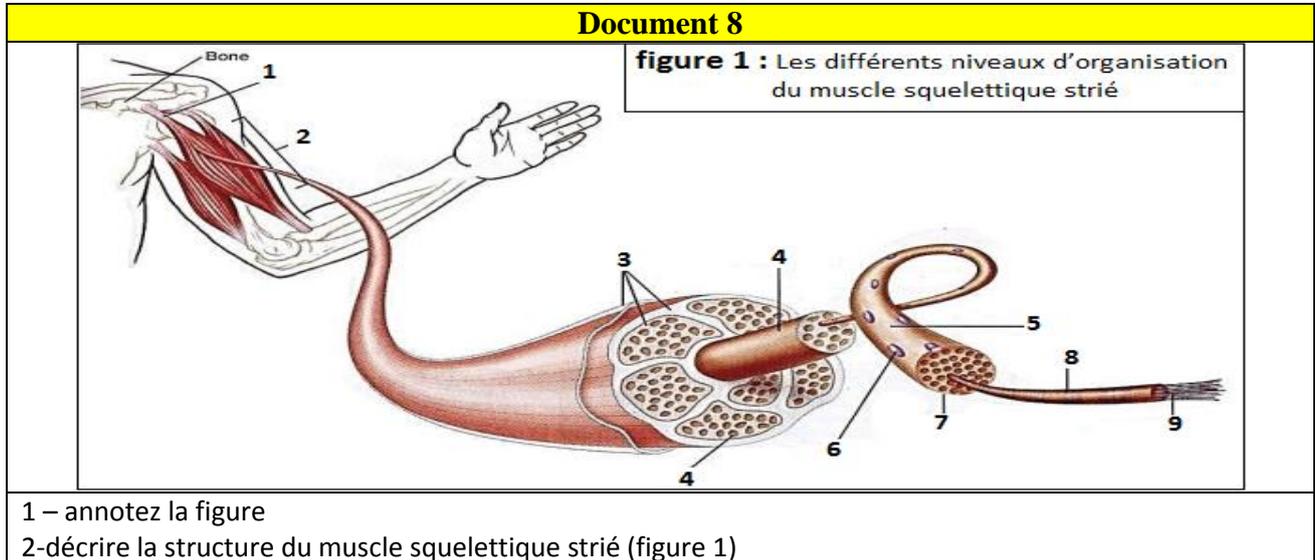
repos.

Ces phénomènes chimiques traduisent l'oxydation du glucose qui produit l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

III. Structure et ultra-structure du muscle strié squelettique

Afin de comprendre comment la contraction du muscle squelettique produit du mouvement par conversion de l'énergie, il est au préalable nécessaire de connaître l'organisation particulière de ces cellules très spécialisées. Quelles sont les structures musculaires qui interviennent dans la contraction musculaire ?

1. Quelques observations du tissu musculaire



1 – tendon 2- muscle 3- tissu conjonctif 4- faisceau musculaire 5- fibre musculaire 6- noyau

7- sarcolemme 8- myofibrille 9- myofilaments

2-- Le muscle squelettique est un muscle relié au squelette par son tendon

- Le muscle squelettique est composé d'un ensemble de faisceaux musculaires séparés par un tissu conjonctif

- Chaque faisceau musculaire est constitué de plusieurs fibres musculaires

- chaque fibre musculaire contient des organites cylindriques, les myofibrilles qui contiennent à leurs tours des myofilaments

2. Ultra structure de la fibre musculaire

Document 9

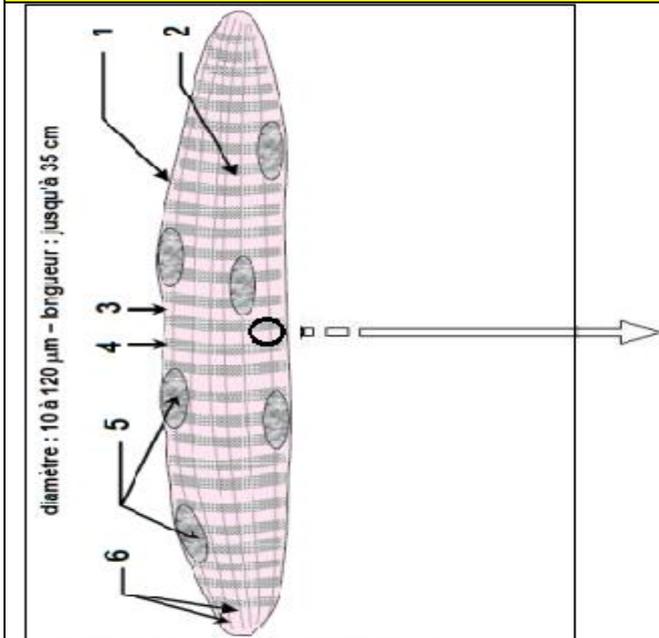


Figure 1 : schéma d'une cellule musculaire (fibre musculaire)

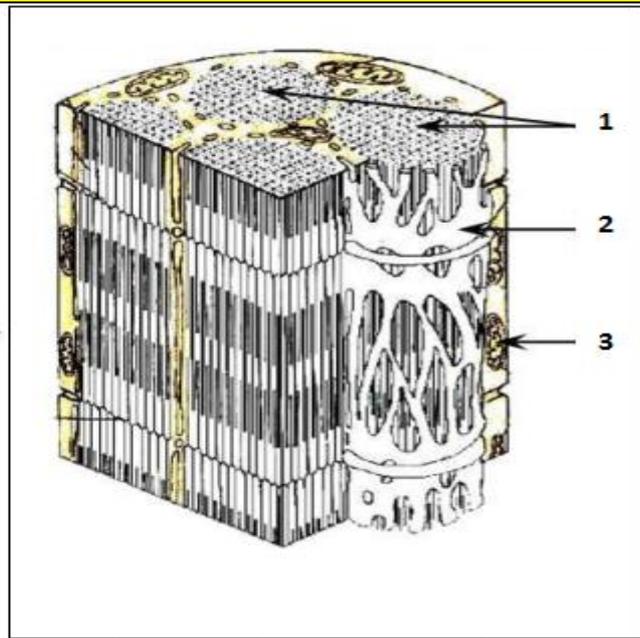
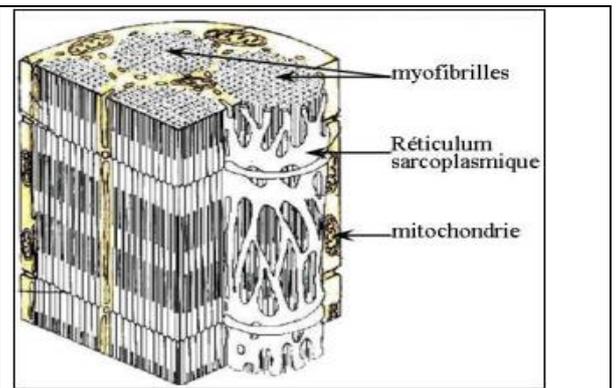
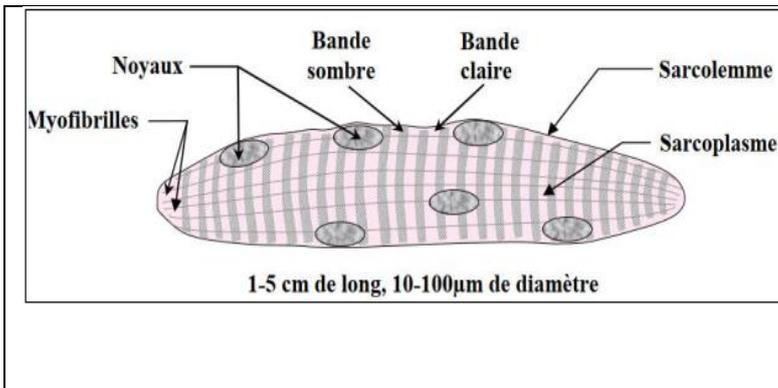


Figure 2 : Reconstitution tridimensionnelle de l'organisation de la fibre musculaire

1. Annotez les figures 1 et 2
2. Décrivez la structure de la fibre musculaire et justifiez l'expression « muscle **strié** squelettique

1-



2- Figure 1 : Une fibre musculaire est une cellule géante qui possède plusieurs noyaux (cellule plurinucléée), limités par une membrane (sarcolemme). Le cytoplasme est dénommé sarcoplasme

Figure 2 : - L'observation de la fibre musculaire montre que le sarcoplasme (cytoplasme de la fibre musculaire) renferme :

- + Plusieurs éléments parallèles appelés **myofibrilles** présentant une alternance de bandes claires et sombres, D'où le qualificatif de **muscle strié** donné à ce type de muscle
- + **réticulum sarcoplasmique** : organe spécialisé dans le stockage des ions Ca^{2+} appelé
- + **glycogène** : glucide constitué d'une longue chaîne de plusieurs molécules de glucose
- + la **myoglobine** : une protéine qui fixe l' O_2
- + **Des mitochondries.**

3. Ultra structure de la myofibrille

Document 10

Chaque myofibrille est formée d'une succession de sarcomère

1- prouver ceci par l'image ci-contre

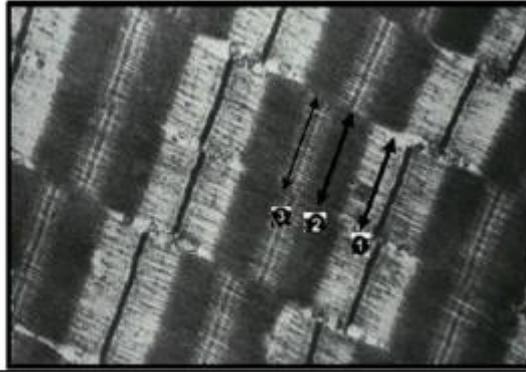


Figure 1 : observation microscopique des myofibrilles

Figure 2 : On fait des coupes transversales à plusieurs niveaux de la myofibrille ; A , B et C . On obtient respectivement le résultat 1, 2 et 3

2. Annotez la figure 2

3. décrivez la structure du sarcomère

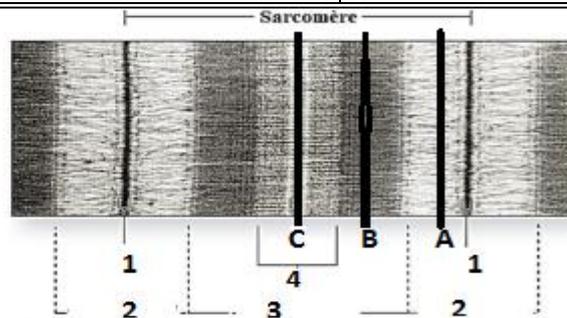
4. réalisez un schéma interprétatif d sarcomère

Figure 3 : la structure moléculaire des myofibrilles

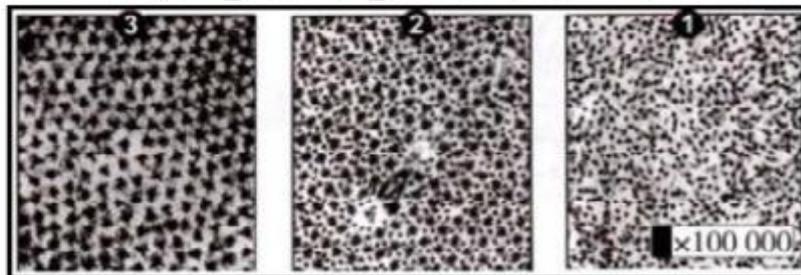
5. décrivez la composition moléculaire des myofibrilles

Figure 2

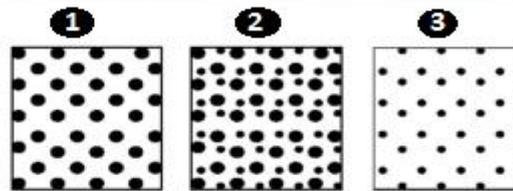
coupe longitudinale de la myofibrille x 15000



coupe transversale de la myofibrille x 100000



Schémas explicatifs de coupes longitudinale



Schémas d'interprétation de la coupe longitudinale de la myofibrille

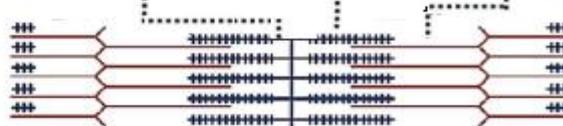
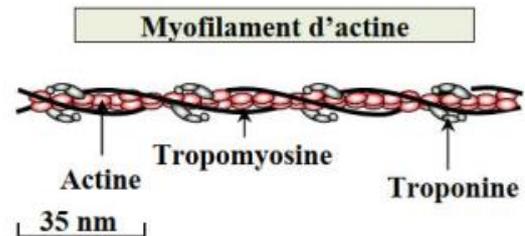
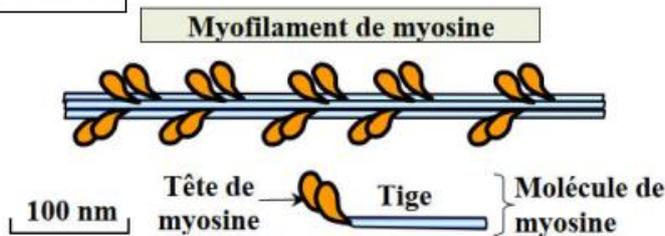


Figure 3



1- on observe que chaque myofibrille est organisée en unités répétitives, sarcomères représentant l'unité fonctionnelle du muscle strié squelettique.

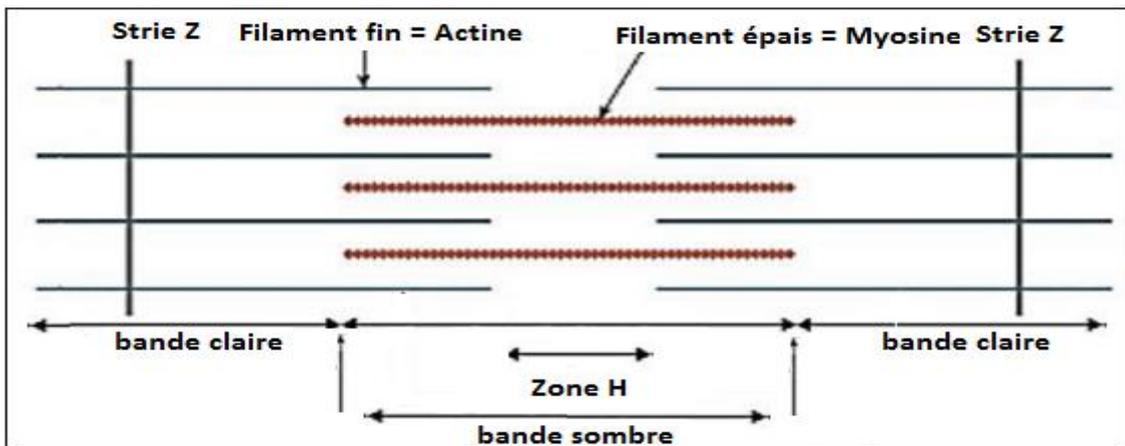
- chaque sarcomère est comprise entre deux lignes sombres (lignes Z) qui divisent deux bandes claires successives

2-

1- strie Z	2-bande claire	3- bande sombre	4 – zone H
------------	----------------	-----------------	------------

3-sarcomère : est l'unité fonctionnelle du muscle alterne des stries claires (bandes claires) et de stries sombres (bandes sombres). Les bandes claires correspondent à des zones contenant des filaments fins constitués par de l'actine, et les bandes sombres correspondent à des filaments épais de myosine.

4 -



- 5- Les filaments d'actine sont formés par des molécules d'actines globulaires assemblées en hélice, associées à deux autres protéines la tropomyosine et la troponine
- Le filament épais de myosine est constitué de plusieurs molécules de myosine. Chaque molécule de myosine est constituée d'un bâtonnet queue) et deux têtes possédant une activité ATPase

IV. Mécanisme de la contraction musculaire

Un mouvement, par exemple une flexion du bras, est dû au raccourcissement qui résulte de la contraction d'un muscle. Les interactions entre les myofilaments sont responsables de ce raccourcissement et nécessitent l'intervention de l'ATP

- Quel est le mécanisme de la contraction musculaire ?
- Comment se fait la conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique dans une cellule musculaire?

1. Observation au microscope électronique de contraction des myofibrilles.

Document 11

Des fibres musculaires au repos et des fibres musculaires en état de contraction ont été congelées brutalement L'observation en microscopie électronique de la structure fine des myofibrilles montre des différences importantes d'aspects entre les deux types de préparations

Figure 1

Sarcomère relâché

Sarcomère contracté

Figure 2

1. Indiquez les modifications observable lors de la contraction

Au cours de la contraction musculaire on observe :

- **Rapprochement des 2 stries Z**
- **Raccourcissement du sarcomère.**
- **Raccourcissement des bandes claires**
- **Les bandes sombres ne changent pas de taille.**
- **Raccourcissement de la bande H et sa disparition parfois**

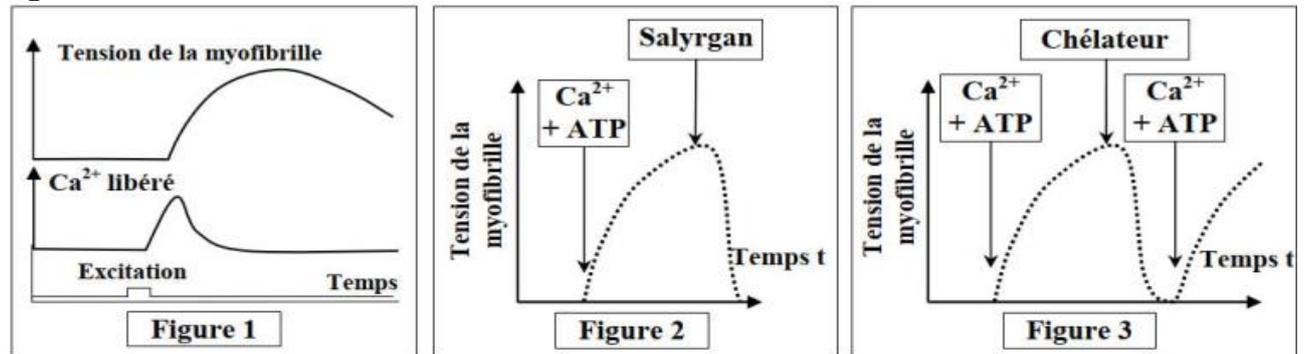
Explications et conclusion :

Puisque **les bandes sombres** ne changent pas de taille Ceci prouve qu'il y a, au cours de la contraction, un **glissement des myofilaments** d'actine par rapport aux myofilaments de myosine. Le sarcomère est donc l'unité fonctionnelle de la fibre musculaire

2. Conditions nécessaires à la contraction musculaire

Document 12

Pour préciser les conditions de la contraction musculaire, on réalise l'expérience suivante : Des myofilaments isolés et placés dans un liquide riche en ATP et en Ca^{2+} . On additionne au milieu, le salyrgan (Un poison qui bloque l'hydrolyse de l'ATP) puis un chélateur (Une substance qui fixe les ions Ca^{2+} Inhibant ainsi leur action) et on mesure la tension de la myofibrille. Les figures ci dessous montrent les résultats obtenus.



1. Analysez ces résultats et déduisez les conditions nécessaires à la contraction musculaire

Figure 1:

- Au repos, on constate que la concentration du calcium dans le sarcoplasme est très basse.
- Immédiatement après l'excitation de la fibre musculaire, on constate une augmentation de la concentration de calcium dans le sarcoplasme, suivie d'une augmentation de la tension de la myofibrille (Contraction)

Figure 2 et 3 :

- En présence d'ATP et d'ions Ca^{2+} , on observe une augmentation de la tension de myofibrille (il y a une contraction),
- après l'addition du salyrgan ou du chélateur, la tension de la myofibrille diminue rapidement (arrêt de contraction)

Explications et conclusion :

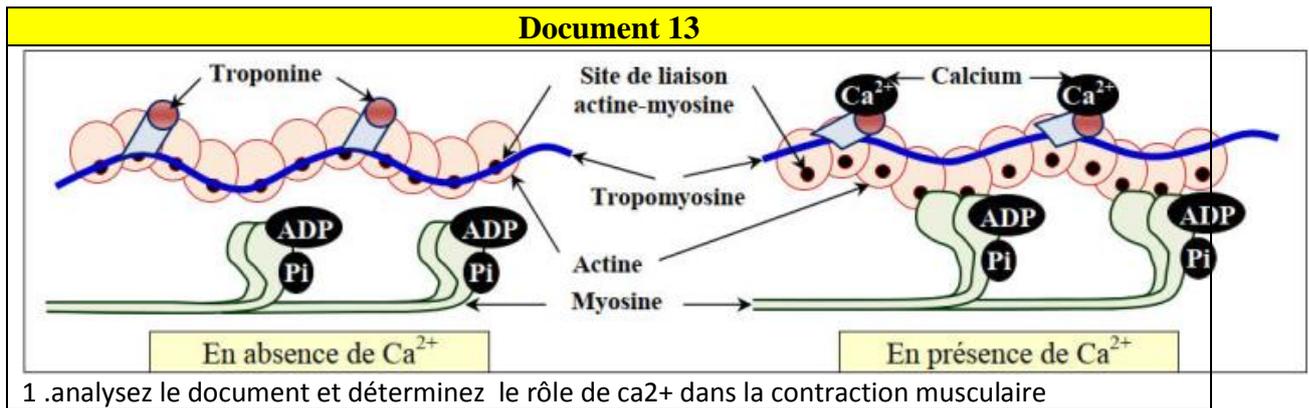
- + On explique l'arrêt de contraction après l'addition du salyrgan par l'absence d'hydrolyse d'ATP
- + On explique l'arrêt de contraction après l'addition du chélateur par l'inhibition de l'action des ions Ca^{2+}

On déduit que la contraction musculaire ne peut être réalisée qu'en présence de deux éléments essentiels, l'ATP et le calcium (Ca^{2+})

Quel est le rôle des ions Ca^{2+} et d'ATP dans la contraction musculaire ?

3. Mécanisme moléculaire de la contraction musculaire

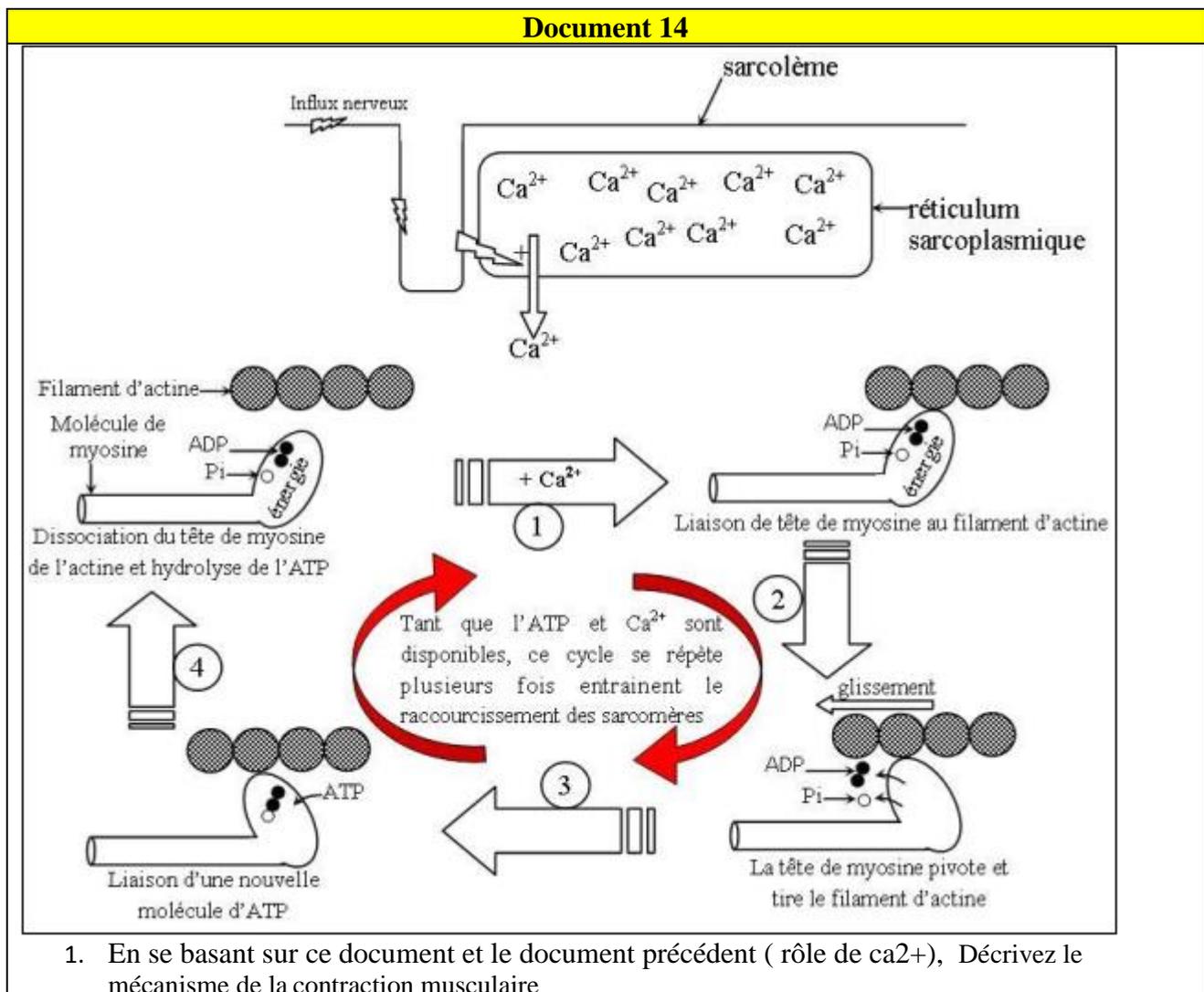
a- Rôle des ions Ca^{2+} dans la contraction musculaire



En absence des ions Ca^{2+} (au repos), la tropomyosine cache le site de fixation de la tête de myosine sur l'actine.

La fixation des ions Ca^{2+} sur la troponine entraîne le déplacement de la tropomyosine ce qui permet la fixation de myosine sur l'actine et la **formation des complexes actomyosine**

b- Mécanisme moléculaire de la contraction musculaire



Arrivée de l'influx nerveux → libération du Ca^{2+} par le réticulum sarcoplasmique → déplacement de tropomyosine par la troponine → formation des ponts actomyosine → pivotement des têtes de myosine grâce à l'énergie issue de l'hydrolyse de l'ATP → glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère → contraction musculaire

fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de myosine → détachement du tête de myosine de l'actine et hydrolyse de l'ATP → relâchement musculaire

- Ainsi, **l'énergie chimique contenue dans l'ATP est convertie en énergie mécanique** au niveau de chaque sarcomère entraînant son raccourcissement.

Remarque : En l'absence de nouveau potentiel d'action musculaire, le Ca^{2+} est de nouveau accumulé dans le réticulum par **transport actif** et le muscle revient à son état initial (relâchement).

V. Régénération de l'ATP nécessaire à la contraction musculaire

1. Mise en évidence d'un renouvellement d'ATP

Document 15

Dans un muscle frais, la réserve en ATP est environ de 4 à 6 mmol/Kg, ce qui correspond à une quantité d'énergie de 0.17 à 0.25 KJ.
On évalue les dépenses énergétiques de l'organisme au cours de quelques exercices musculaires. Les résultats sont présentés par le tableau ci-dessous

Type d' exercice	Quantité d' énergie dépensée en Kj/kg de muscle
Cours de 100m	4,4
Une minute de marche	0,31

1. En exploitant les données du tableau de la figure 1, montrer la nécessité d'un renouvellement de l'ATP lors de la contraction musculaire

une part on observe que les réserves des cellules musculaires en ATP sont très faibles, d'autre part le muscle utilise une quantité importante d'énergie qui dépasse les réserves présentes dans les cellules ce qui suggère un renouvellement rapide et permanent de l'ATP.

Comment l'ATP est régénérée a niveau du muscle ?

2. Les différentes voies de régénération d' ATP dans les cellules musculaires

Document 16

Trois expériences A, B e C sont réalisées, sur des muscles de grenouille. A chaque expérience, le muscle est soumis a des stimulations électriques intenses, a une fréquence élevée, ce qui provoque sa contraction. La durée des excitations est la même d'une expérience a l'autre.

(phosphocréatine: Un compose phosphore riche en énergie et présent en abondance dans le muscle)

• **A: muscle n'ayant subi aucun traitement.**

• **B: muscle traité par une substance bloquant la glycolyse.**

• **C: muscle traité de façon à bloquer l'utilisation de la glycolyse et de la phosphocréatine**

(phosphocréatine: Un compose phosphore riche en énergie et présent en abondance dans le muscle)

Constituants musculaires		Avant la contraction	Après la contraction		
			Exp.A	Exp.B	Exp.C
g/kg de muscle frais	Glycogène	1,08	0,8	1,08	1,08
	Acide lactique	1	1,30	1	1
mmole/kg	ATP	4 à 6	4 à 6	4 à 6	0
	phosphocréatine	15 à 17	15 à 17	3 à 4	15 à 17

1. En analysant les données de ce tableau, dégager les voies métaboliques de la régénération de l'ATP utilise par le muscle en activité

Lors d'un effort, une cellule musculaire consomme de très nombreuses molécules d'ATP. Elle régénère ces molécules grâce à trois voies métaboliques :

	Voie 1 : anaérobie alactique	Voie 2 : anaérobie lactique	Voie 3 : aérobie
Substrats utilisés	Créatine phosphate + ADP	Glucose + ADP	Glucose + O ₂ + ADP
Produits formés	Créatine + ATP	Acide lactique + ATP	H ₂ O + CO ₂ + ATP

Au cours des premières minutes d'effort, la régénération de l'ATP met en jeu principalement les voies anaérobies.

➤ **Voies rapides anaérobies (anaérobie alactique) :**

- ✓ La voie de la phosphocréatine permet une production rapide, car cette molécule est stockée dans le cytoplasme et peut transférer un groupement phosphate à l'ADP selon la réaction suivante



Remarque : La PC est reconstituée après l'effort avec consommation d'ATP

- ✓ Une autre voie de régénération rapide d'ATP en anaérobiose est permise grâce à une enzyme spécifique du muscle appelée la myokinase selon la réaction suivante :



➤ **Voie de moyenne vitesse (anaérobie lactique)**

La fermentation lactique prend le relais avec une augmentation de la concentration sanguine d'acide lactique

Selon la réaction : $Glucose + 2 ADP + 2 Pi \rightarrow 2 \text{ acides lactiques (lactates)} + 2 ATP$

➤ **Voie lente (la respiration cellulaire) :**

Lors d'un effort prolongé la respiration intervient pour régénérer l'ATP selon la réaction suivante :

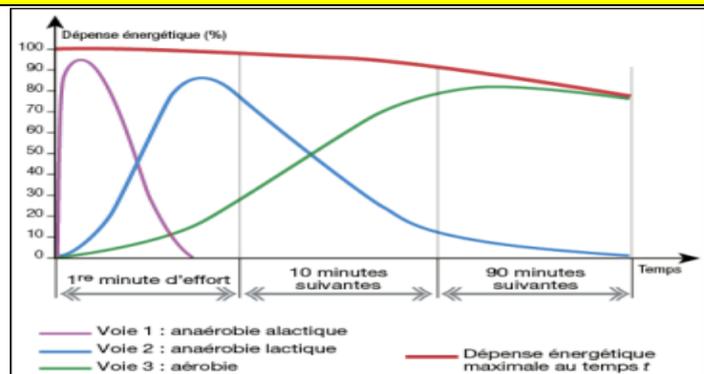


3. Relation entre type de métabolisme énergétique et intensité/durée de l'effort

Document 17

L'étude du métabolisme des fibres musculaire chez des sportifs montre que les individus pratiquant des sports d'endurance comme le marathon, le cyclisme ou le ski de fond régénèrent l'ATP essentiellement par respiration alors que ceux pratiquant des sports avec des efforts brefs et intenses comme l'haltérophilie ou des courses et nages sur moins de 200 m régènèrent l'ATP essentiellement par fermentation

1. Analysez les courbes, que pouvez-vous déduire ?



- Pour les **courtes distances**, ce sont les **voies métaboliques anaérobies** qui fournissent très rapidement beaucoup d'ATP, alors que la voie aérobie ne peut satisfaire les besoins en ATP pendant des efforts brefs et intenses.

-]Pour les **longues distances**, la régénération de l'ATP est assurée essentiellement par la **voie métabolique aérobie** et dépend en conséquence de la capacité de l'organisme à fournir du dioxygène aux muscles durant

l'effort. La production d'ATP par la voie aérobie dépend aussi de la capacité des fibres musculaires à utiliser ce dioxygène grâce à leurs mitochondries

Remarque :

Il existe deux types de fibres :

- **Les fibres « lentes » (type I)**: elles sont de couleur rouge. Fines et développées, elles sont utilisées lors de sports d'endurance. Elles sont riches en myoglobine et en mitochondries.
- **Les fibres « rapides » (type II)** : elles sont de couleur blanche. Sensibles à la fatigue, elles sont plus volumineuses que les fibres lentes et utilisées lors des efforts de forte intensité et de courte durée.