

**Thème :** La communication dans l'organisme.

### LEÇON 3 : Le fonctionnement du muscle strié squelettique

#### SITUATION D'APPRENTISSAGE

Aux cours d'Education Physique et Sportive (EPS), le professeur fait régulièrement la promotion d'une bonne musculature pour avoir de bonnes performances sportives. Selon lui, les muscles striés squelettiques sont les organes spécialisés permettant les mouvements d'un organisme. Ils sont commandés par le système nerveux central et peuvent dépendre ou non de la volonté. Des élèves intéressés par le sujet veulent comprendre le fonctionnement du muscle strié squelettique. Ils décident alors de déterminer sa structure, d'identifier les manifestations de son activité, d'expliquer le mécanisme de son fonctionnement.

#### CONTENU DE LA LEÇON

### COMMENT LE MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE FONCTIONNE-T-IL ?

La lecture d'un texte relatif à un cours d'EPS permet de constater que le muscle strié squelettique fonctionne. On suppose que :

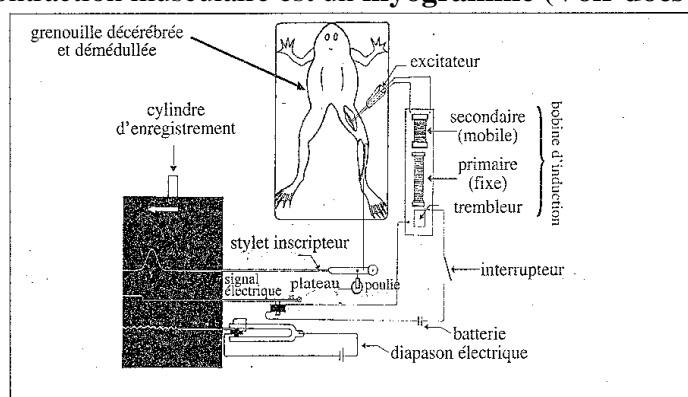
- la contraction musculaire présente des aspects mécaniques
- la contraction musculaire présente des phénomènes électriques et chimiques
- la structure du muscle et l'ultrastructure de la fibre musculaire permettent d'expliquer le mécanisme du fonctionnement du muscle.
- l'ATP utilisée au cours de la contraction musculaire est restaurée par des voies métaboliques
- l'oxydation respiratoire a lieu dans la mitochondrie

#### I- La contraction musculaire présente-t-elle des aspects mécaniques ?

Pour déterminer les aspects mécaniques de la contraction musculaire, on utilise un dispositif expérimental appelé **myographe** (voir doc **M<sub>1</sub>** et doc **A**) comprenant un **stimulateur** ou **excitateur**, un **cylindre enregistreur** qui tourne à vitesse constante et permet d'enregistrer la réponse du muscle. Sur ce cylindre trois stylets (ou leviers) enregistrent des tracés :

- un **stylet** (levier) **inscripteur** relié au fil attaché au tendon du muscle ; il permet d'obtenir un tracé appelé **myogramme** ;
- un stylet appelé **signal** qui indique l'instant précis de la stimulation ;
- un stylet en rapport avec un diapason électrique ; il permet le repérage des durées.

Selon l'espacement, le rythme et l'intensité de l'excitation, on obtient plusieurs types d'enregistrements. Le tracé qui exprime la contraction musculaire est un **myogramme** (Voir docs **M<sub>2</sub>** à **M<sub>7</sub>**).



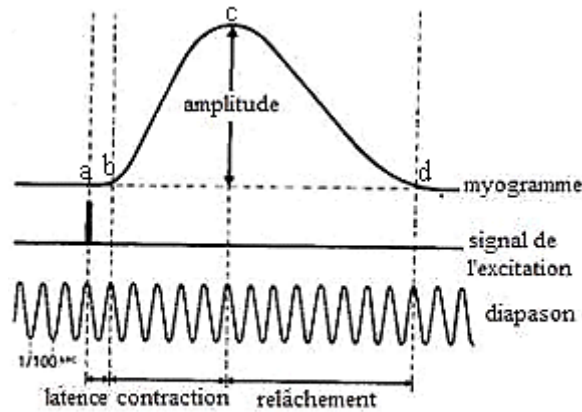
**Doc A**

#### A- Action d'un choc unique (réponse à une excitation isolée)

##### 1- Observation

Observons un document montrant une secousse musculaire isolée.

## 2- Résultat (voir doc M2)



**M2 : SECOUSSE ISOLEE**

## 3- Analyse des résultats

Le document présente une secousse musculaire isolée.

Lorsqu'on applique une seule stimulation (excitation) efficace au nerf sciatique relié au muscle, on obtient une secousse musculaire isolée présentant :

- un temps de latence (ab)
- une phase de contraction (bc)
- une phase de relâchement (cd)

## 4- Interprétation

- Le temps de latence représente le temps compris entre le moment de l'excitation et le début de la réponse du muscle (*temps mis par l'influx nerveux pour atteindre le muscle*).
- La phase de contraction correspond au raccourcissement ou à la contraction du muscle.
- La phase de relâchement correspond au relâchement ou à la décontraction du muscle.

## 5- Conclusion

La réponse du muscle à une seule excitation efficace est la secousse musculaire isolée.

Le muscle réagit à l'excitation : il est **excitable** ; il réagit en se contractant (en se raccourcissant) : il est **contractile** ; il peut s'allonger puis revenir à sa longueur initiale : il est **élastique**.

Les propriétés du muscle sont : **l'excitabilité**, la **contractilité** et **l'élasticité**.

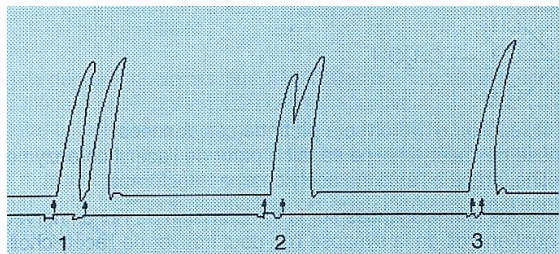
### B- Action d'une série de chocs (réponse à plusieurs excitations)

#### 1- Réponse du muscle à deux excitations (ou stimulations) successives de même intensité.

##### a- Observation

Observons un document montrant les myogrammes obtenus avec deux excitations d'intensité liminaire de plus en plus rapprochées.

##### b- Résultat (voir doc M4)



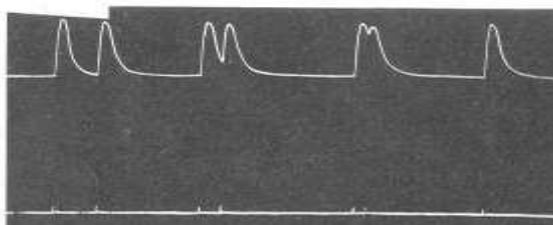
**M5 : MYOGRAMMES OBTENUS AVEC 2 EXCITATIONS D'INTENSITE LIMINAIRES DE PLUS EN PLUS RAPPROCHEES**

c- Analyse des résultats

Le document se rapporte au myogramme obtenu avec deux excitations de même intensité (*intensité liminaire*), de plus en plus rapprochées.

- En **1** : lorsque la deuxième stimulation intervient à la fin de la première réponse, on obtient deux réponses identiques
- En **2** : lorsque la deuxième stimulation intervient pendant la **phase de relâchement** de la première réponse, on obtient deux réponses dont la deuxième à une amplitude supérieure à celle de la première réponse.
- En **3** : lorsque la deuxième stimulation intervient pendant la **phase de contraction** de la première réponse, on obtient une seule secousse d'amplitude supérieure à celle d'une secousse isolée.

**Remarque :** Lorsqu' on utilise une intensité suffisante pour provoquer une contraction maximale du muscle, avec deux stimulations successives, l'amplitude (*tension ou contraction*) reste la même et la réponse obtenue présente soit deux sommets si la deuxième stimulation intervient pendant la phase de relâchement de la première réponse, soit une seule secousse de même amplitude que celle de la secousse isolée, si la deuxième stimulation intervient pendant la phase de contraction de la première réponse (**voir doc M5**)



**M5 : MYOGRAMMES OBTENUS AVEC 2 EXCITATIONS D'INTENSITE MAXIMALE**

d- Interprétation

- Lorsque la deuxième stimulation intervient à la fin de la réponse à la première stimulation, on obtient deux réponses identiques car **il n'y a pas fusion des secousses ou réponses**.
- Lorsque la deuxième stimulation intervient pendant la **phase de relâchement** de la première réponse, on obtient deux réponses dont la deuxième à une amplitude supérieure à celle de la première réponse car **il y a fusion incomplète des secousses**
- Lorsque la deuxième stimulation intervient pendant la **phase de contraction** de la première réponse, on obtient une seule secousse d'amplitude supérieure à celle d'une secousse isolée car **il y a fusion complète des secousses**.

e- Conclusion

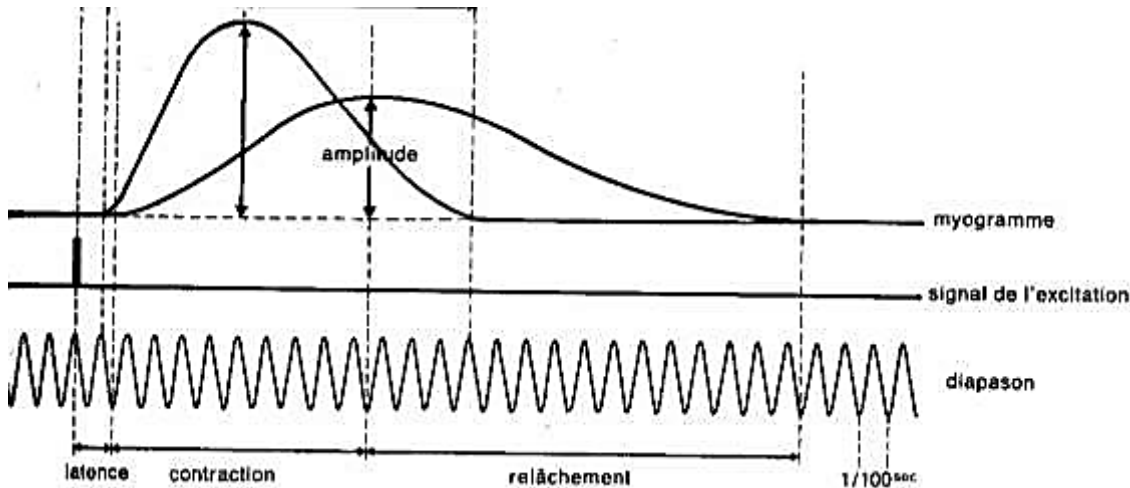
La réponse du muscle à deux stimulations successives d'intensité liminaire varie selon le moment où la deuxième stimulation intervient.

## 2- Réponse d'un muscle reposé et d'un muscle fatigué à une excitation.

### a- Présentation de l'expérience.

A l'aide du dispositif expérimental, on porte une excitation sur un muscle reposé et sur un muscle fatigué.

### b- Résultats (voir document M3)



### M3 : SECOURSES ISOLEES DE MUSCLE NON FATIGUE (I) ET MUSCLE FATIGUE (II)

### c- Analyse des résultats

Le document montre la comparaison des secousses musculaires d'un muscle reposé et d'un muscle fatigué.

L'excitation d'un muscle reposé entraîne une secousse brève et de grande amplitude alors que l'excitation d'un muscle fatigué entraîne une secousse appelée **courbe de fatigue** caractérisée par une diminution d'amplitude et une durée de la secousse plus longue c'est-à-dire un allongement du temps de latence, de la phase de contraction et de la phase de relâchement.

### d- Interprétation

Lorsqu'on porte une excitation efficace sur un muscle reposé, la secousse est brève et de grande amplitude car la contraction est soutenue et efficace. Sur un muscle fatigué, la secousse est plus longue et de faible amplitude car la contraction est de moins en moins soutenue et moins efficace après que le muscle se soit contracté de façon répétée.

### e- Conclusion.

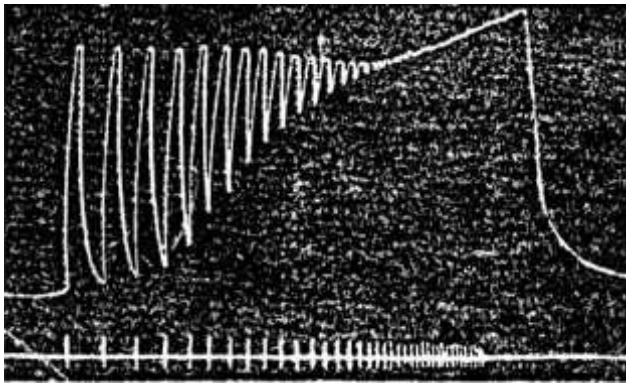
Une bonne secousse musculaire nécessite une stimulation efficace, et un muscle non fatigué.

## 3- Le téтанos expérimental

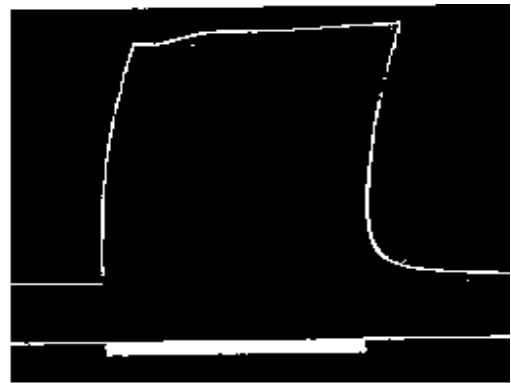
### a- Observation

Observons un document montrant les myogrammes obtenus avec une fréquence de stimulation élevée et une faible fréquence de stimulation.

### b- Résultat (Voir **M6** et **M7**)



**M6 : TÉTANOS IMPARFAIT**



**M7 : TÉTANOS PARFAIT**

### c - Analyse des résultats

Les documents montrent les myogrammes obtenus avec une faible fréquence de stimulation (**M6**) et une fréquence de stimulation élevée (**M7**).

- Lorsqu'on soumet un muscle à une série d'excitations qui atteignent le muscle pendant sa phase de relâchement (*faible fréquence de stimulation ou excitations rapprochées*), on constate que le myogramme obtenu est constitué d'un **palier ondulé** ; il s'agit du **tétanos imparfait** (Voir **M6**).

- Lorsqu'on soumet un muscle à une série d'excitations qui atteignent le muscle pendant sa phase de contraction (*fréquence de stimulation élevée ou excitation très rapprochées*), on constate que le myogramme obtenu est constitué d'un **palier rectiligne** ; il s'agit du **tétanos parfait** (Voir **M7**).

### d- Interprétation

- Le plateau ondulé (**tétanos imparfait**) montre qu'avec une faible fréquence de stimulation, les excitations tombent dans la phase de **relâchement** des secousses précédentes, il y a fusion partielle des secousses élémentaires.

- le palier rectiligne (**tétanos parfait**) montre qu'avec une fréquence de stimulation élevée, les **excitations** tombent dans la phase de **contraction** des secousses précédentes, il y a fusion complète des secousses élémentaires.

### e- Conclusion

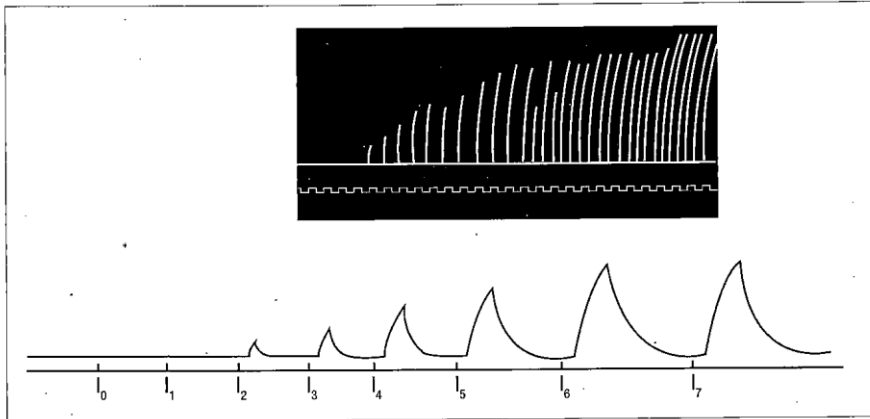
Le myogramme obtenu suite à des stimulations répétées varie en fonction de la fréquence de stimulation.

## 4- La réponse muscle à une série d'excitation d'intensités croissantes

### a- Observation

Observons un document présentant la réponse d'un muscle à une série d'excitation d'intensités croissantes.

### b- Résultat (voir document)



### c- Analyse des résultats

Le document montre la réponse d'un muscle à une série d'excitation d'intensités croissantes.

- Pour des intensités de stimulation inférieures à I<sub>2</sub>, le muscle ne donne aucune réponse.
- Avec des intensités de stimulation croissantes de I<sub>2</sub> à I<sub>6</sub>, l'amplitude de la réponse ou contraction musculaire augmente au fur et à mesure que l'intensité de stimulation augmente.
- A partir d'une certaine intensité de stimulation (I<sub>6</sub>), l'amplitude des contractions reste maximale et constante.

### d- Interprétation

- Les intensités de stimulation inférieures à I<sub>2</sub> ne donnent aucune réponse car elles sont infraliminaires (faibles).
- De I<sub>2</sub> (*intensité liminaire*) à I<sub>6</sub> (*intensités supraliminaires*), l'amplitude des réponses augmente progressivement car le nombre de fibres musculaires excitées ou recrutées augmente ; c'est un phénomène de **sommation** ou de recrutement.
- Au-delà de I<sub>6</sub>, l'amplitude de la réponse reste maximale et constante parce que toutes les fibres musculaires sont excitées ou recrutées.

### e- Conclusion

Le muscle est excitable. Il répond à la loi de la sommation.

Pour avoir une secousse musculaire, l'intensité de la stimulation doit atteindre une valeur seuil ou **rhéobase** et doit être appliquée pendant un temps minimal appelé **temps utile**.

### C- Conclusion partielle

La contraction musculaire présente des aspects mécaniques enregistrés sous forme de myogrammes.

## ACTIVITE D'APPLICATION

Les affirmations suivantes se rapportent à l'activité du muscle strié squelettique.

- 1- Le dispositif d'enregistrement des contractions musculaires est le myogramme.
- 2- La secousse musculaire est le PA du muscle.
- 3- Le muscle strié squelettique répond à une excitation efficace par une secousse musculaire isolée.
- 4- La secousse musculaire isolée comprend un temps de latence, une phase de dépolarisation et une phase de relâchement.

- 5- La courbe de fatigue présente une amplitude plus élevée que celle de la secousse isolée lorsque le muscle est soumis à la même intensité de stimulation.
- 6- Le téτανos parfait se caractérise par un plateau rectiligne qui traduit la fusion complète des secousses élémentaires successives.
- 7- Le muscle répond à la loi du « tout ou rien »
- 8- l'amplitude de la contraction musculaire augmente en fonction de l'intensité de stimulation.

Réponds par vrai ou faux à ces affirmations, en utilisant les chiffres.

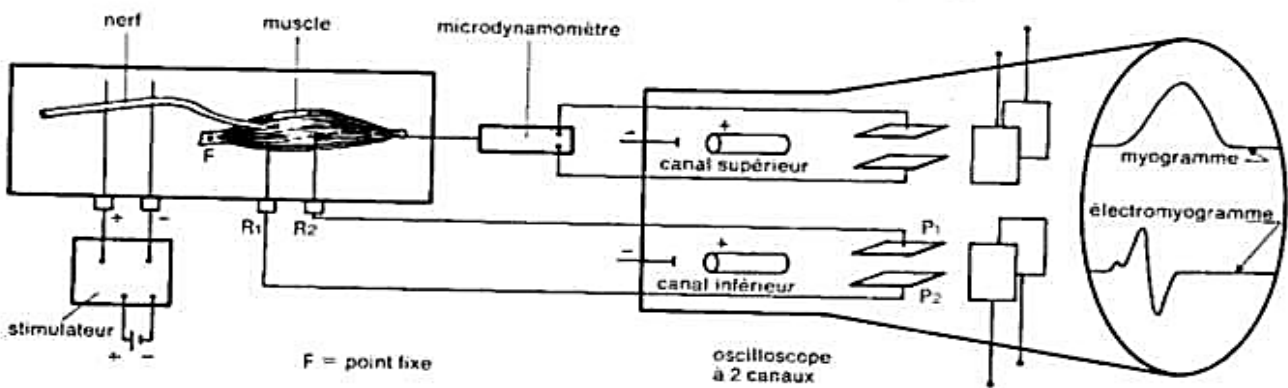
REPONSE : 1- faux 2- faux 3- vrai 4- faux 5-faux 6-vrai 7- faux 8- vrai.

II- La contraction musculaire présente-t-elle des phénomènes électriques et chimiques ?

A- Les phénomènes électriques

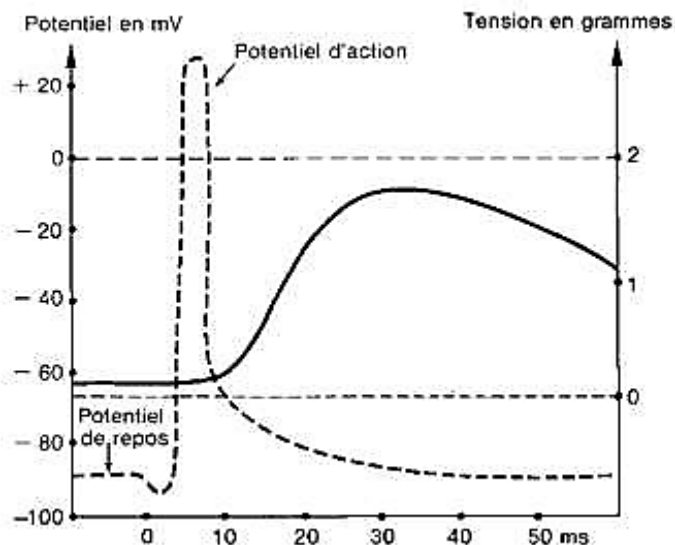
1- Présentation de l'expérience

Un dispositif approprié (voir doc M8) permet d'enregistrer simultanément l'électromyogramme et le myogramme.



**M8 : DISPOSITIF D'ETUDE SIMULTANEE DU MYOGRAMME ET DE ELECTROMYOGRAMME**

2- Résultat (voir doc M9)



**M9 : RELATION ENTRE MYOGRAMME ET DE ELECTROMYOGRAMME**

### 3- Analyse des résultats

Le document présente un **électromyogramme** (*potentiel d'action musculaire*) et un **myogramme** (*secousse musculaire*).

Après un temps de latence, la tension musculaire augmente pendant quelque temps (30ms) puis décroît lentement. Le PA musculaire (*d'environ 110mv d'amplitude, d'une durée d'environ 15 ms*) se produit pendant le temps de latence de la secousse musculaire isolée.

### 4- Interprétation

Le phénomène électrique (**PA musculaire**) précède toujours le phénomène mécanique (**contraction musculaire**) ; c'est donc le PA musculaire qui déclenche la contraction musculaire.

### 5- Conclusion

Les phénomènes électriques précèdent et déclenchent les phénomènes mécaniques de la contraction musculaire.

## B- Les phénomènes chimiques

### 1- Observation

Observons un tableau présentant la variation des constituants chimiques d'un muscle.

### 2- Résultats (voir doc M12)

	Muscle au repos	Muscle en activité
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	8,432 g
Acide lactique produit (mg/g de muscle frais)	0,5	1,5
Glycogène utilisé	1,08 g	0,8 g
ATP (mg/g de muscle frais)	2	2

**M12 : CONSTITUANTS CHIMIQUES DU MUSCLE AU REPOS ET DU MUSCLE EN ACTIVITE**

### 3- Analyse des résultats

Le tableau présente des constituants chimiques du muscle au repos et du muscle en activité.

Dans le muscle en activité, le volume d'O<sub>2</sub> utilisé, le volume de CO<sub>2</sub> rejeté, la quantité de glucose utilisé et la quantité d'acide lactique augmentent par rapport au muscle au repos.

Par contre, la quantité de glycogène diminue alors que la quantité d'ATP reste constante.

### 4- Interprétation

- la quantité de glucose et le volume d'oxygène du muscle en activité augmente car ils permettent de fournir de l'énergie au muscle. En effet, en présence d'oxygène (**milieu aérobie**), le glucose est totalement dégradé dans les mitochondries en CO<sub>2</sub> et en H<sub>2</sub>O avec grande production d'énergie (38 ATP produites par mole de glucose) ; c'est la **respiration** ou **oxydation respiratoire**.

- Lorsque l'activité musculaire se déroule en absence d'O<sub>2</sub> (**milieu anaérobie**), le glucose est partiellement dégradé dans le hyaloplasme (*cytoplasme*) en acide lactique avec faible production d'énergie (*2 ATP produites par mole de glucose*) ; c'est la **fermentation lactique**.

-La quantité d'ATP est identique dans le muscle au repos et en activité car l'ATP utilisée au cours de l'activité musculaire est régénérée ou restaurée ou renouvelée par les voies rapides et les voies lentes.

- Au cours de l'activité musculaire, le glycogène stocké dans la cellule musculaire est hydrolysé en glucose, d'où diminution de la quantité de glycogène dans le muscle.

### 5- Conclusion

Pendant la contraction musculaire, il y a augmentation de la consommation d'O<sub>2</sub> et de glucose, diminution du stock de glycogène, accumulation d'acide lactique et utilisation de l'ATP.

### D- Conclusion partielle

La contraction musculaire présente des phénomènes électriques et chimiques.

## ACTIVITE D'APPLICATION

Les affirmations suivantes sont relatives au fonctionnement du muscle strié squelettique.

- 1- La contraction musculaire nécessite des molécules d'ATP.
- 2- Les oxydations respiratoires se déroulent dans le cytoplasme.
- 3- La cellule musculaire peut dégrader le glucose soit par fermentation, soit par respiration pour produire l'ATP.
- 4- La production d'ATP en milieu aérobie est appelée fermentation.
- 5- La fermentation est un processus de dégradation complète du glucose.
- 6- Le myogramme déclenche l'électromyogramme.
- 7- L'électromyogramme se produit pendant le temps de latence du myogramme.
- 8- L'électromyogramme traduit le phénomène électrique.
- 9- La production d'ATP en milieu aérobie est appelée respiration ou oxydation respiratoire.
- 10- La respiration est un processus de dégradation complète du glucose.

**Réponds par vrai ou faux à ces affirmations, en utilisant les chiffres.**

**REPONSE : 1- vrai 2- faux 3- vrai 4- faux 5-faux 6-faux 7- vrai 8- vrai 9- vrai 10- vrai.**

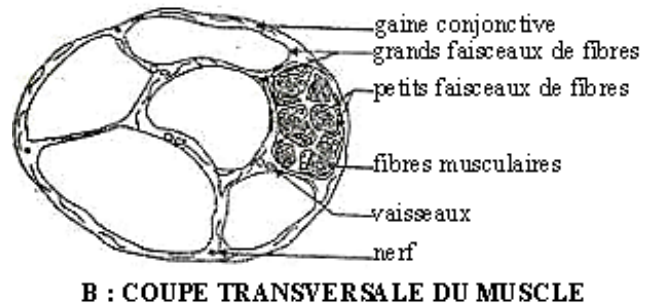
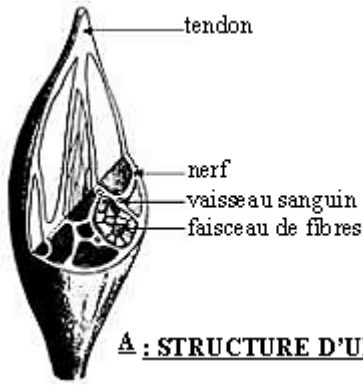
### **III- La structure du muscle et l'ultrastructure de la fibre musculaire permettent-elles d'expliquer le fonctionnement du muscle ?**

#### 1- Structure du muscle

##### a- Observation

Observons des schémas présentant la structure du muscle

##### b- Résultat (voir doc **M14 A et B**)



c- Analyse des résultats

Les schémas présentent la structure du muscle.

Le muscle strié squelettique est formé de **fibres musculaires** regroupées en faisceaux séparés par des cloisons conjonctives dans lesquelles se trouvent les nerfs et vaisseaux sanguins. Aux extrémités du muscle, les cloisons s'unissent pour former les tendons qui se fixent aux os.

d- Conclusion

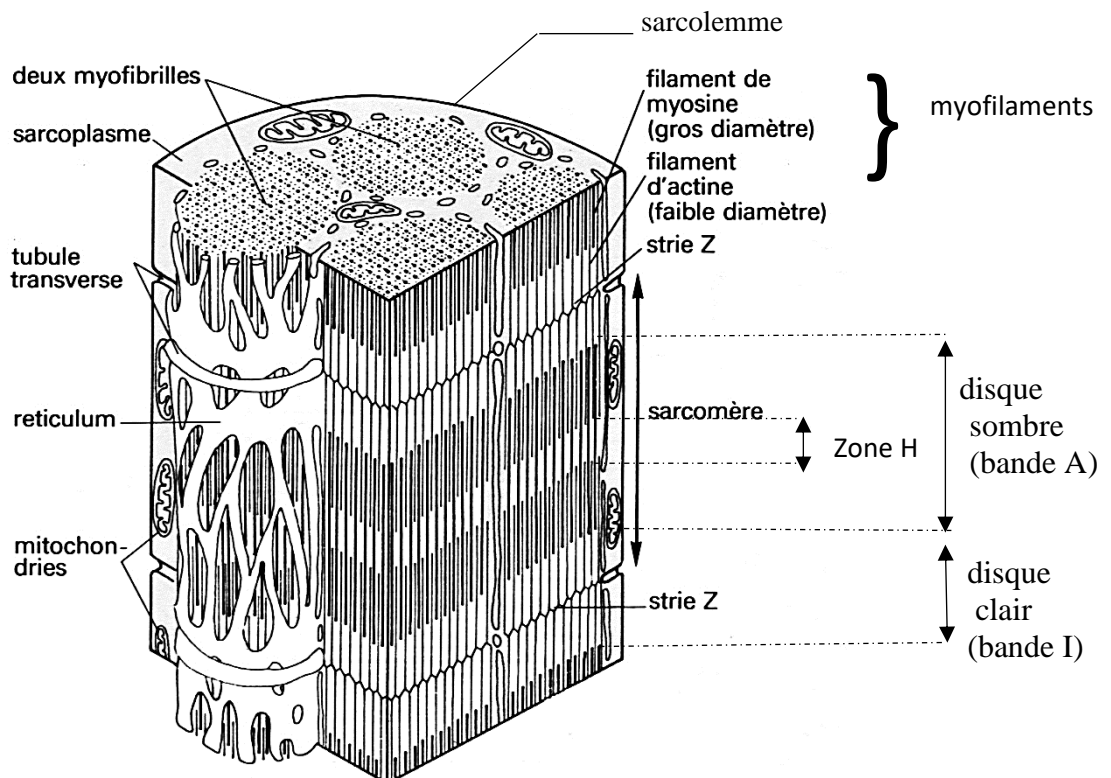
Le muscle strié squelettique est constitué de faisceaux de fibres musculaires.

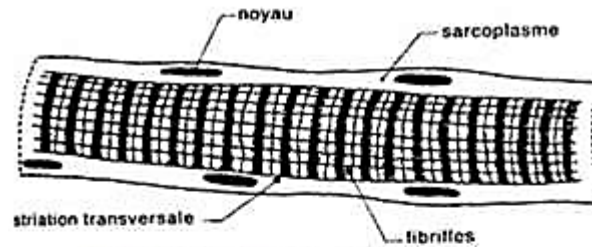
2- Ultrastructure de la fibre musculaire

a- Observation

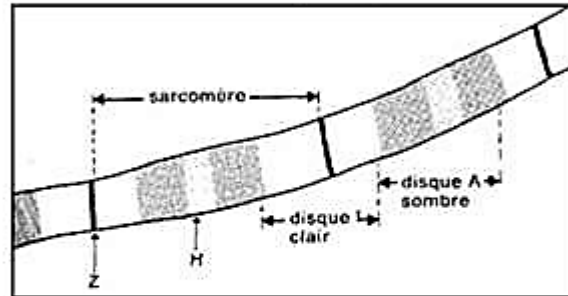
Observons des schémas présentant l'ultrastructure de la fibre musculaire.

b- Résultat (voir doc M14 C à document F)

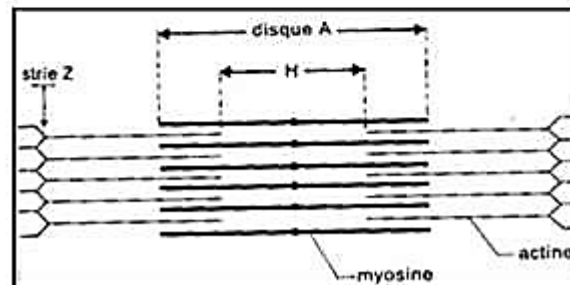




C: FIBRE MUSCULAIRE (x 400)



D: MYOFIBRILLE (x 2 000)



E: SARCOMERE (x 20 000)

#### b- Analyse des résultats

Les schémas se rapportent à l'ultrastructure de la fibre musculaire.

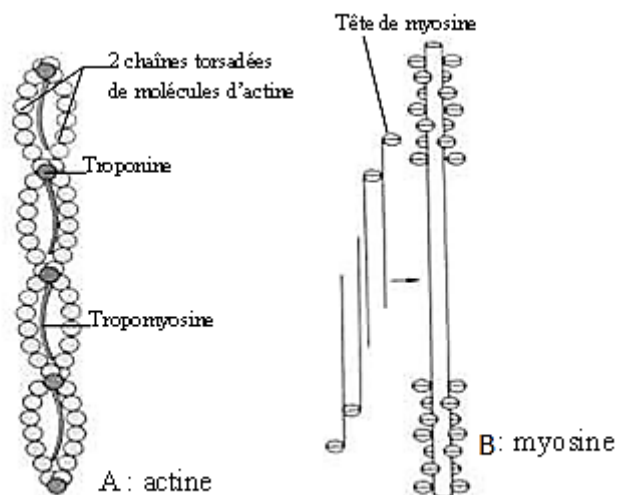
Le muscle strié est constitué de **fibres musculaires** parallèles. Chaque fibre montre de nombreux noyaux allongés repartis à la périphérie et une striation transversale bien visible (voir M 14 C).

A fort grossissement, il apparaît une striation longitudinale due à la présence de fibrilles appelées **myofibrilles** (voir M 14 C et D).

La fibre musculaire ou cellule musculaire est formée par (voir M 14 C et Doc F) :

- une fine membrane appelée **sarcolemme** ;
- un cytoplasme, appelé **sarcoplasme**, renfermant les **noyaux** et les **mitochondries** ; il est coloré par **la myoglobine** et contient du glycogène ;
- un réticulum endoplasmique développé appelé **réticulum sarcoplasmique** (riche en ions  $Ca^{2+}$ )
- des **myofibrilles** parallèles groupées en faisceaux : chaque myofibrille (voir M 14 D) est formée d'une alternance régulière de disques clairs et de disques sombres. La correspondance des disques d'une fibrille à l'autre donne l'aspect strié. L'unité fonctionnelle et structurale, appelée **sarcomère** (voir M 14 D et M 14 E), est limitée par deux stries Z partageant le **disque clair (bande I)** ; le **disque sombre (bande A)** est lui-même coupé par une zone claire appelée **zone H**. Chaque sarcomère est constitué de deux types de filaments (**myofilaments**) qui sont des **protéines contractiles** : les filaments épais de **myosine** localisés au niveau des disques sombres et les filaments fins d'**actine** présents aussi bien au niveau des disques sombres que des disques clairs.

Les filaments d'actine sont formés d'actine globulaire (actine G) associée à deux protéines qui sont la **troponine** et la **tropomyosine** (voir M17).



**M17 : ULTRA STRUCTURE DES MYOFILAMENTS**

d- Conclusion

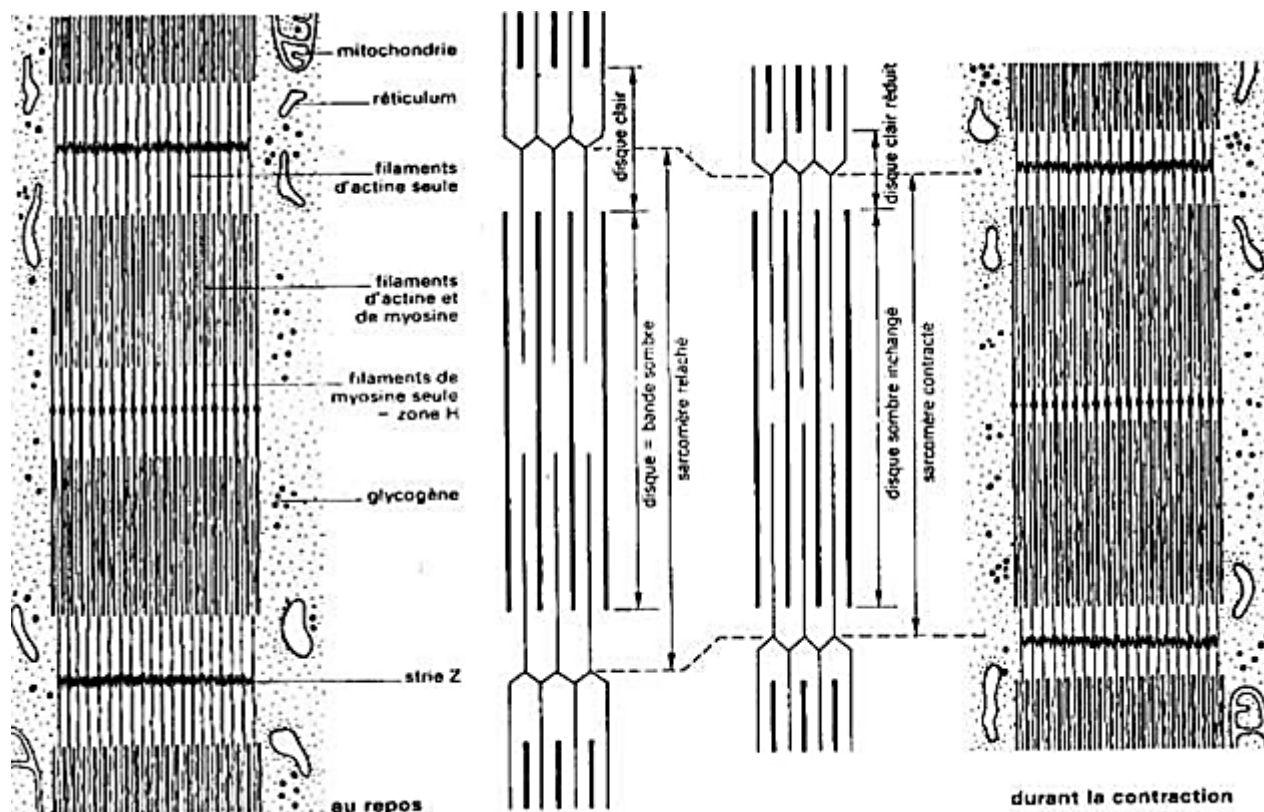
La fibre musculaire est constituée de **myofibrilles** qui sont constituées de **sarcomères** constitués de **myofilaments** fins d'**actine** et myofilaments épais de **myosine**.

3- Mécanisme de la contraction musculaire

a- Observation

Observons des schémas d'interprétation du muscle (*sarcomère*) au repos et en activité.

b- Résultat (voir doc M15)



**M15 : INTERPRÉTATION FILAMENTAIRE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE**

### c- Analyse des résultats

Les schémas sont relatifs au muscle (*sarcomère*) au repos et en activité.

Pendant la contraction du muscle, il y a :

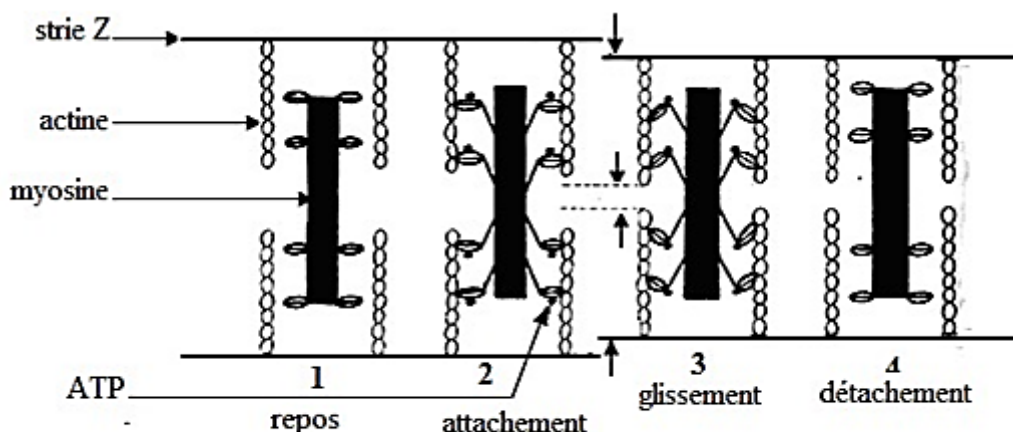
- constance du disque sombre
- raccourcissement du sarcomère
- rapprochement des stries Z
- réduction du disque clair
- réduction de la zone H.

### d- Interprétation

La constance des disques (*bandes*) sombres signifie que la contraction musculaire n'est pas due au raccourcissement des myofilaments mais au glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine.

Le **mécanisme de la contraction musculaire** se fait selon les phases suivantes (voir doc **M18**) :

- la **phase de repos** : en absence de  $\text{Ca}^{2+}$ , la tropomyosine masque les sites de fixation de la myosine sur l'actine.
- la **phase d'attachement** : les ions  $\text{Ca}^{2+}$  (*libérés par le réticulum sarcoplasmique suite à l'arrivée du PA musculaire au niveau du réticulum*) se fixent sur la troponine et démasquent les sites de fixation des têtes de myosine sur les filaments d'actine. Dans le même temps, l'ATP se fixe sur les têtes de myosine qui se déforment et s'attachent à l'actine formant des ponts (ou liaisons) actino-myosines.
- la **phase de pivotement** : l'hydrolyse de l'ATP libère l'énergie qui permet le pivotement des têtes de myosine. Ce pivotement entraîne le glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère d'où raccourcissement du sarcomère.
- la **phase de détachement** : la fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de myosine et la réabsorption active des ions  $\text{Ca}^{2+}$  par le réticulum permettent la rupture de la liaison actine-myosine.



### M18 : MECANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

### e- Conclusion

La contraction musculaire est due au glissement des filaments d'actine par rapport aux filaments de myosine sous l'action du  $\text{Ca}^{2+}$  et de l'ATP.

#### 4- Conclusion partielle

La structure du muscle et l'ultrastructure de la fibre musculaire permettent d'expliquer le fonctionnement du muscle.

### **ACTIVITE D'APPLICATION**

Les étapes suivantes, numérotées de 1 à 7, sont relatives aux déroulements de la contraction et du relâchement musculaire, dans le désordre.

- 1- Libération des sites de fixation des têtes de myosine sur l'actine jusque-là masquées par la tropomyosine.
- 2- Hydrolyse de l'ATP et pivotement des têtes de myosine entraînant le glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine.
- 3- Retour des ions calcium vers le réticulum sarcoplasmique et masquage des sites de fixation des têtes de myosine sur l'actine.
- 4- Arrivée du PA membranaire.
- 5- Retour de l'actine à sa position initiale suite à la fixation d'une deuxième molécule d'ATP sur les têtes de myosine.
- 6- Sortie des ions  $Ca^{2+}$  du réticulum sarcoplasmique et fixation d'une première molécule d'ATP sur la tête de myosine.
- 7- Attachement de l'actine et de la myosine (formation du complexe acto-myosine).

**Range ces étapes selon la chronologie du fonctionnement musculaire, à l'aide des chiffres.**

### **REPONSE**

**Ordre : 4-6-1-7-2-5-3.**

#### **IV- L'ATP utilisée au cours de la contraction musculaire est-elle restaurée par des voies métaboliques ?**

##### 1- Observation

Observons un tableau présentant la concentration d'ATP musculaire avant et après la contraction musculaire.

##### 2-Résultat (voir tableau)

Constituants musculaires	Concentration en mg /g de muscle frais	
	Avant la contraction	Après la contraction
ATP	1,35	1,35

##### 3-Analyse des résultats

Le tableau présente la concentration d'ATP musculaire avant et après la contraction musculaire. La concentration d'ATP du muscle avant la contraction est identique à celle du muscle après la contraction (1,35mg/g de muscle frais).

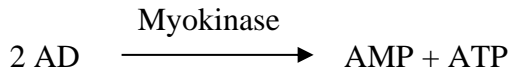
##### 4- Interprétation

La concentration d'ATP du muscle avant la contraction est identique à celle du muscle après la contraction car l'ATP utilisée au cours de l'activité musculaire est régénérée ou restaurée ou reconstitué ou renouvelée par des voies métaboliques (*voies rapides et voies lentes*).

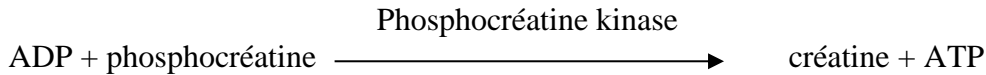
Les voies métaboliques de restauration (*régénération*) de l'ATP musculaire sont (voir doc **M13**) :

- **Les voies rapides de restauration de l'ATP**

\* **Par la myokinase**: deux molécules d'ADP (**adénosine diphosphate**) redonnent une molécule d'ATP et une molécule d'AMP (**adénosine monophosphate**) grâce à une enzyme appelée **myokinase**.



\* **Par la phosphocréatine** : La phosphocréatine (*ou phosphagène ou créatine-phosphate*) cède un phosphate ou phosphate inorganique (Pi) à une molécule d'ADP permettant de produire une molécule d'ATP et la créatine, grâce à une enzyme appelée **Phosphocréatine kinase** ou **créatine kinase**

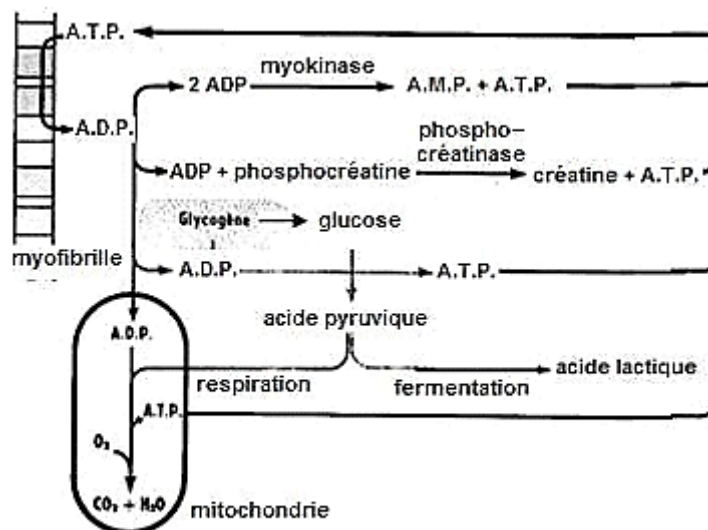
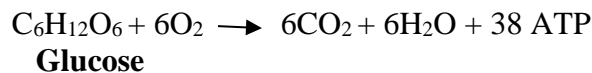


- **Les voies lentes de restauration de l'ATP**

\* **La fermentation** : l'hydrolyse du glycogène et du glucose (**glycolyse**) donne l'acide **pyruvique** dans l'hyaloplasme, avec libération d'énergie permettant la reconstitution d'ATP ( $\text{ADP} + \text{Pi} + E \rightarrow \text{ATP}$ ). En absence d'oxygène (*anaérobiose*) dans l'hyaloplasme, l'acide pyruvique donne l'acide **lactique**.



\* **La respiration ou oxydation respiratoire** : l'hydrolyse du glycogène et du glucose (**glycolyse**) donne l'acide **pyruvique** dans l'hyaloplasme, avec libération d'énergie permettant la reconstitution d'ATP. En présence d'oxygène (*aérobiose*) dans les mitochondries, l'acide pyruvique est totalement dégradé en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O avec production d'ATP.



**M13 : VOIES METABOLIQUES DE LA REGENERATION DE L'ATP**

5- Conclusion

L'ATP utilisée au cours de la contraction musculaire est restaurée (*régénérée*) par des voies métaboliques.

## ACTIVITE D'APPLICATION

Le tableau ci-dessous est relatif aux voies de régénération de l'ATP et aux équations des réactions biochimiques qui les accompagnent.

Voies	Equations
Fermentation ●	● $2 \text{ ADP} \longrightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$
Phosphocréatine ●	● $\text{Glucose} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$
Myokinase ●	● $\text{Glucose} \longrightarrow \text{acide lactique} + \text{ATP}$
Respiration ●	● $\text{P - créatine} + \text{ADP} \longrightarrow \text{ATP} + \text{créatine}$

Associe chaque voie à l'équation correspondante.

### REPONSE

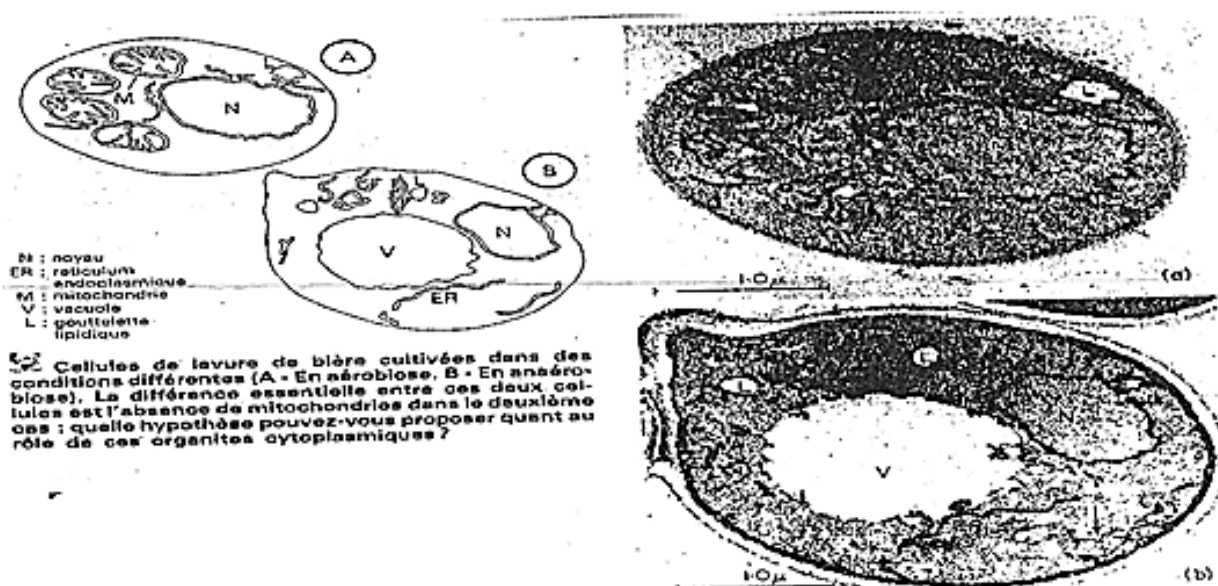
Voies	Equations
Fermentation ●	● $2 \text{ ADP} \longrightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$
Phosphocréatine ●	● $\text{Glucose} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$
Myokinase ●	● $\text{Glucose} \longrightarrow \text{acide lactique} + \text{ATP}$
Respiration ●	● $\text{P - créatine} + \text{ADP} \longrightarrow \text{ATP} + \text{créatine}$

### V- L'oxydation respiratoire a-t-elle lieu dans la mitochondrie ?

#### 1- Présentation de l'expérience

Pour identifier le lieu de l'oxydation respiratoire dans la cellule, des cellules de levures de bière sont cultivées dans différents milieux.

#### 2- Résultat (voir document)



Document

### 3- Analyse des résultats

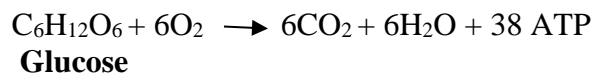
- En aérobiose (**en présence d'O<sub>2</sub>**), les cellules possèdent de nombreuses mitochondries bien développées.
- En anaérobiose (**en absence d'O<sub>2</sub>**), on note la rareté ou l'absence de mitochondries au niveau des cellules.

### 4- Interprétation

- En anaérobiose (**en absence d'O<sub>2</sub>**), il se produit au niveau de la cellule de levure de bière une fermentation alcoolique qui se déroule entièrement dans le hyaloplasme et ne nécessite pas la présence de mitochondries. Ces dernières étant inactives s'atrophient et disparaissent.



- En aérobiose (**en présence d'O<sub>2</sub>**), les cellules possèdent de nombreuses mitochondries bien développées car la mitochondrie est le siège de l'oxydation respiratoire.

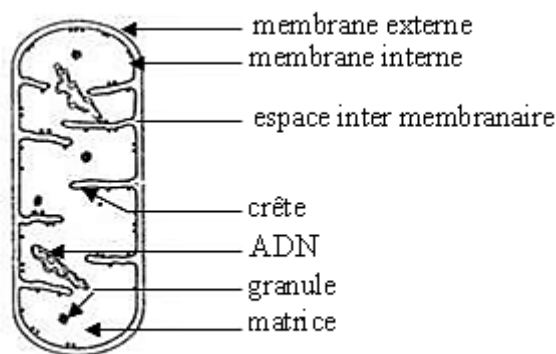


En effet, l'oxydation respiratoire et la fermentation débutent par des réactions identiques au niveau du hyaloplasme. L'oxydation respiratoire se poursuit par des réactions dans la mitochondrie.

### 5- Conclusion

L'oxydation respiratoire a lieu dans la mitochondrie (**voir doc M16**) qui utilise l'acide pyruvique provenant de la glycolyse.

**L'oxydation respiratoire** est la dégradation complète du glucose (*ou d'un autre substrat*) en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O avec libération d'énergie en présence de dioxygène.



**M16 : SCHEMA D'UNE MITOCHONDRIE**

### CONCLUSION GENERALE

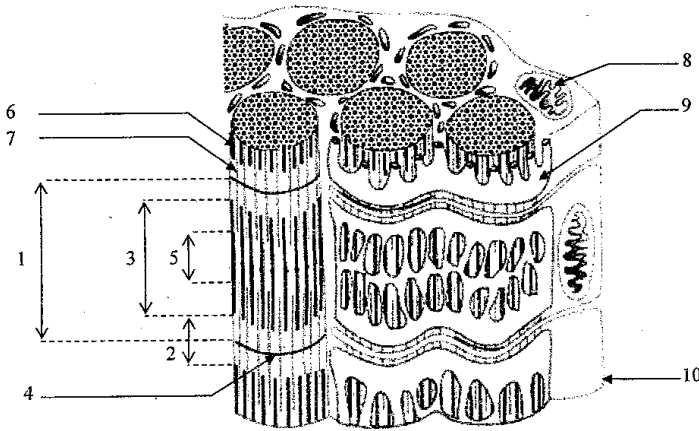
La contraction musculaire présente des aspects mécaniques, des phénomènes électriques et chimiques et se fait selon un mécanisme. L'ATP utilisé au cours de la contraction musculaire est restaurée par des voies métaboliques. L'oxydation respiratoire a lieu dans la mitochondrie.

## ACTIVITE D'EVALUATION

### EXERCICE 1

Le schéma ci-dessous représente l'ultrastructure de la fibre musculaire.

Les mots et groupes de mots suivants sont donnés : *filament de myosine* ; *mitochondrie* ; *sarcomère* ; *bande I* ; *filament d'actine* ; *bande A* ; *réticulum endoplasmique* ; *zone H* ; *strie Z* ; *sarcolemme*.



Associe à chaque chiffre le mot ou le groupe de mots qui correspond.

### REPONSE

- 1- Sarcomère
- 2- Bande I
- 3- Bande A
- 4- Strie Z
- 5- Zone H
- 6- Filament de myosine
- 7- Filament d'actine
- 8- Mitochondrie
- 9- Réticulum endoplasmique
- 10- Sarcolemme.

### EXERCICE 2

Le texte ci-dessous se rapporte à la contraction musculaire.

Au repos, les sites de fixation des têtes de myosine sur l'...1...sont masqués par une protéine appelée...2... . Mais lorsque le muscle est stimulé, le potentiel d'action se propage et atteint les tubes transversaux. Cela déclenche la libération des ions calcium par le réticulum endoplasmique. Ces derniers se fixent alors sur la troponine qui se déforme et repousse la tropomyosine libérant ainsi les sites d'...3...des têtes de myosines. En même temps les mitochondries produisent de l'...4...qui se fixe sur les têtes de myosines. Les têtes de myosine se fixent sur l'actine, formant des ...5... . Les têtes de myosine hydrolysent l'ATP en produisant de l'...6... . Cette dernière permet le pivotement des têtes de myosine entraînant le glissement des filaments d'actine le long des filaments de myosine. Ainsi on observe un raccourcissement du ...7... Le retour à l'état initial se fait d'une part par la production d'une nouvelle molécule d'ATP qui se fixe sur les têtes de myosines entraînant leur déformation et d'autre part par la ...8...par les réticulums endoplasmiques lisses.




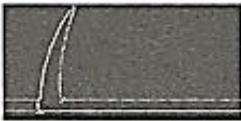
Complète ce texte avec des mots et groupes de mots qui conviennent, en utilisant les chiffres.

### REPONSE

- |           |                 |   |       |                       |
|-----------|-----------------|---|-------|-----------------------|
| 1- Actine | 2- tropomyosine | 3-attachement                           | 4-ATP | 5-ponts acto-myosines |
| 6-énergie | 7-sarcomère     | 8- réabsorption (recapture) du calcium. |       |                       |





### EXERCICE 3

Les myogrammes ci-dessous ont été obtenus après une ou plusieurs stimulations appliquées au muscle. Le tableau suivant présente ces myogrammes et leurs noms.

MYOGRAMMES	NOMS
	• Secousse de fatigue
	• Tétanos imparfait
	• Secousse isolée
	• Tétanos parfait

Associe chaque myogramme au nom qui convient.

### REPONSE

MYOGRAMMES	NOMS
	• Secousse de fatigue
	• Tétanos imparfait
	• Secousse isolée
	• Tétanos parfait

Arrows in the original image indicate the following associations:  
- Myogramme 1 (top) points to "Secousse isolée".  
- Myogramme 2 (second) points to "Tétanos imparfait".  
- Myogramme 3 (third) points to "Secousse de fatigue".  
- Myogramme 4 (bottom) points to "Tétanos parfait".

## EXERCICE 4

Les affirmations ci-dessous portent sur le fonctionnement du muscle strié squelettique. Pour chaque proposition il peut y avoir une ou des affirmation(s) exacte(s).

**1-Au niveau de la bande H d'un sarcomère, on trouve :**

- a- Des filaments d'actine et de myosine.
- b- Des filaments de myosine. ;
- c- Des filaments d'actine.
- d- Une strie Z.

**2-La myokinase est une enzyme qui catalyse :**

- a- L'hydrolyse de l'ATP.
- b- La synthèse d'ATP à partir de 2ADP.
- c- La synthèse d'ATP à partir de l'acide pyruvique.
- d- La synthèse d'ATP à partir de la Phosphocréatine.

**3-La tête de myosine, pendant le pivotement est chargée :**

- a- D'une molécule d'ATP.
- b- D'une molécule de phosphate inorganique (pi).
- c- D'une molécule de glucose.

**4-La fatigue d'une fibre musculaire provient essentiellement de :**

- a- L'épuisement des sources d'énergie.
- b- L'accumulation du dioxyde de carbone liée à la respiration mitochondriale.
- c- L'accumulation d'acide lactique.

**5-Au cours de l'activité musculaire, la régénération rapide de l'ATP se fait par la réaction suivante :**

- a-  $\text{Glucose} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$ .
- b-  $\text{Phosphocréatine} + \text{ADP} \longrightarrow \text{Créatine} + \text{ATP}$ .
- c-  $\text{Glucose} \longrightarrow \text{Acide lactique} + \text{ATP}$ .
- d-  $\text{Glucose} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{ATP}$ .

**6-La production de l'acide lactique dans la fibre musculaire est le résultat :**

- a- D'un repos exagéré de la fibre musculaire.
- b- D'un manque de dioxygène.
- c- D'une importante consommation de glucose.
- d- Du blocage de la glycolyse.

**7-La portion de myofibrille comprise entre deux stries Z est :**

- a- Le filament de myosine.
- b- Le sarcomère.
- c- Le filament d'actine.
- d- La bande H.

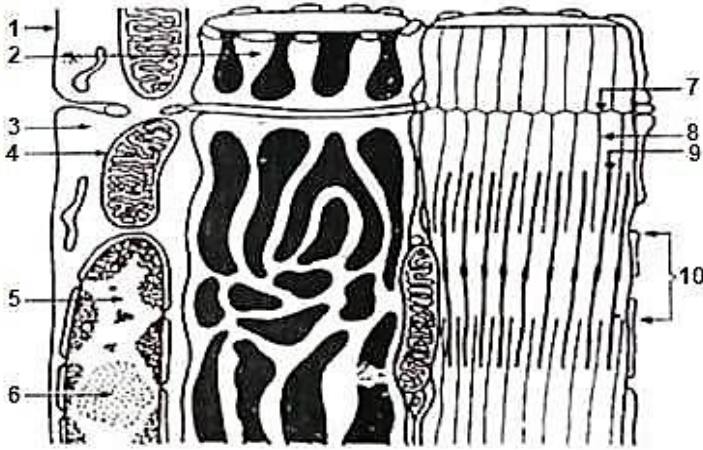
Fais correspondre sur ta feuille de copie à chacune des propositions la (ou les) affirmation(s) exacte(s) en utilisant les chiffres et les lettres .Exemple 9  $\longrightarrow$  e ou 10  $\longrightarrow$  f-g

## REPONSE

- |          |      |
|----------|------|
| 1- b     | 5- b |
| 2- b     | 6- b |
| 3- a     | 7- b |
| 4- a , c |      |

## EXERCICE 5

La figure ci-dessous représente l'ultrastructure d'une portion de fibre musculaire



L'annotation de cette figure fournit les informations suivantes :

- 1= nucléole
- 2 = réticulum endoplasmique ou sarcoplasmique
- 3 = cytoplasme ou sarcoplasme
- 4 = noyau
- 5 = mitochondrie
- 6 = membrane plasmique ou sarcolemme
- 7= strie Z
- 8= filament épais ou myosine
- 9= filament fin ou actine
- 10= zone H

**Relève les annotations fausses et celles qui sont justes en utilisant les chiffres.**

### REPONSE

**Annotations fausses : 1, 4, 5, 6, 8,9**

**Annotations justes : 2, 3, 7 ; 10.**

## EXERCICE 6

Les étapes suivantes, données dans le désordre, se rapportent au fonctionnement de la fibre musculaire :

- 1- fixation des molécules d'ATP sur les têtes de myosine ;
- 2- glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine provoquant la contraction de la fibre musculaire ;
- 3- libération des ions  $Ca^{++}$  dans le sarcoplasme sous l'action du PA musculaire ;
- 4- fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur les têtes de myosine et relâchement de la fibre musculaire ;
- 5- pivotement des têtes de myosine sous l'action de l'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP ;
- 6- détachement des têtes de myosine de l'actine suite à l'absorption active des ions  $Ca^{++}$  par le réticulum endoplasmique lisse ;
- 7- fixation des ions  $Ca^{++}$  sur la troponine et libération des sites d'attachement actine-myosine ;
- 8- attachement des têtes de myosine sur les sites acto-myosine ;

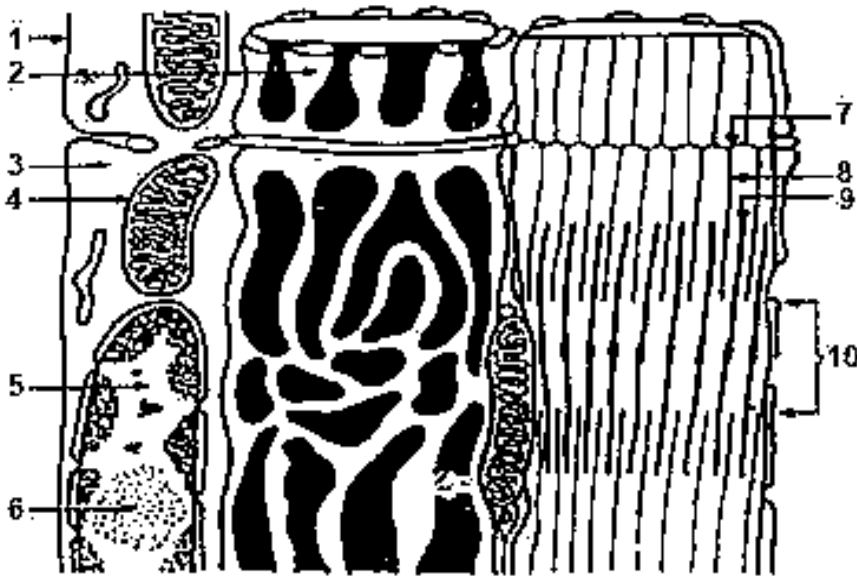
**Range-les selon le fonctionnement de la fibre musculaire, en utilisant les chiffres.**

### REPONSE

**Ordre : 3-7-1-8-5-2-4-6**

## EXERCICE 7

Le schéma ci-dessous représente l'ultrastructure d'une portion de fibre musculaire



Les mots et groupes de mots suivants sont donnés : *réticulum endoplasmique ou sarcoplasmique* ; *nucléole* ; *cytoplasme ou sarcoplasme* ; *noyau* ; *mitochondrie* ; *membrane plasmique ou sarcolemme* ; *strie Z* ; *filament épais ou myosine* ; *zone H* ; *filament fin ou actine*

**Associe à chaque chiffre le mot ou le groupe de mots qui correspond.**

### REPONSE

- 1- Membrane plasmique ou sarcolemme
- 2- Réticulum endoplasmique ou sarcoplasmique
- 3- Cytoplasme ou sarcoplasme
- 4- Mitochondrie
- 5- Noyau
- 6- Nucléole
- 7- Strie Z
- 8- Filament fin ou actine
- 9- Filament fin ou actine
- 10- Zone H.