

**LEÇON : LE FONCTIONNEMENT DU MUSCLE STRIÉ SQUELETTIQUE.****SITUATION D'APPRENTISSAGE**

Pendant les séances 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 des organes spécialisés dans les mouvements d'un organisme stimulé. Ils sont commandés par le système nerveux central et peuvent dépendre ou non de la volonté. Des élèves de ta classe, intéressés par le sujet, veulent comprendre le fonctionnement du muscle strié squelettique. Ils décident alors de déterminer sa structure, d'expliquer le mécanisme de son fonctionnement, d'identifier les manifestations de son activité.

CONTENU DU COURS**COMMENT LE MUSCLE STRIÉ SQUELETTIQUE FONCTIONNE-T-IL ?**

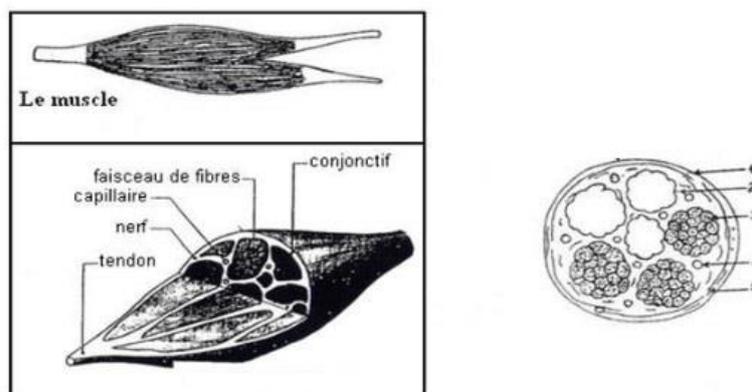
Les bonnes performances sportives dépendent d'une bonne musculature et de la bonne exécution des mouvements provoqués par la contraction des muscles striés squelettiques.

On suppose alors que :

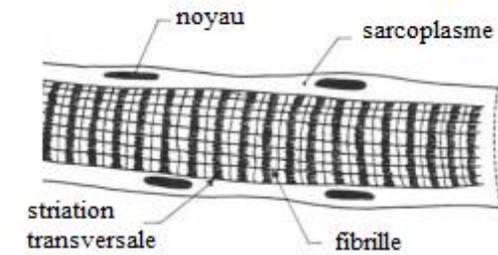
- le muscle strié squelettique se contracte grâce à sa structure particulière ;
- le muscle strié squelettique se contracte selon un mécanisme ;
- le muscle strié squelettique se contracte selon des stimulations ;
- le muscle strié squelettique se contracte grâce à une énergie.

I- LE MUSCLE SE CONTRACTE-T-IL GRACE A SA STRUCTURE ?**1- Observation de documents sur la structure du muscle**

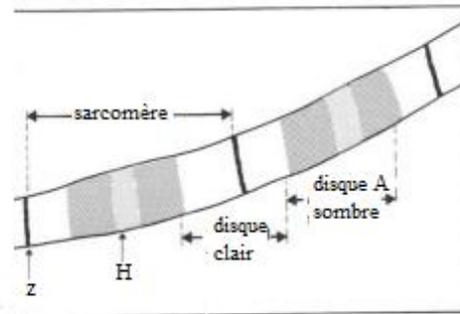
Les documents observés présentent respectivement la structure d'un muscle frais, d'une fibre musculaire et d'une myofibrille.

2- Résultats

Annotation : 1=membrane externe ; 2=faisceau de fibre musculaire ; 3=fibre musculaire ; 4=vaisseau sanguin ; 5=tissu conjonctif.



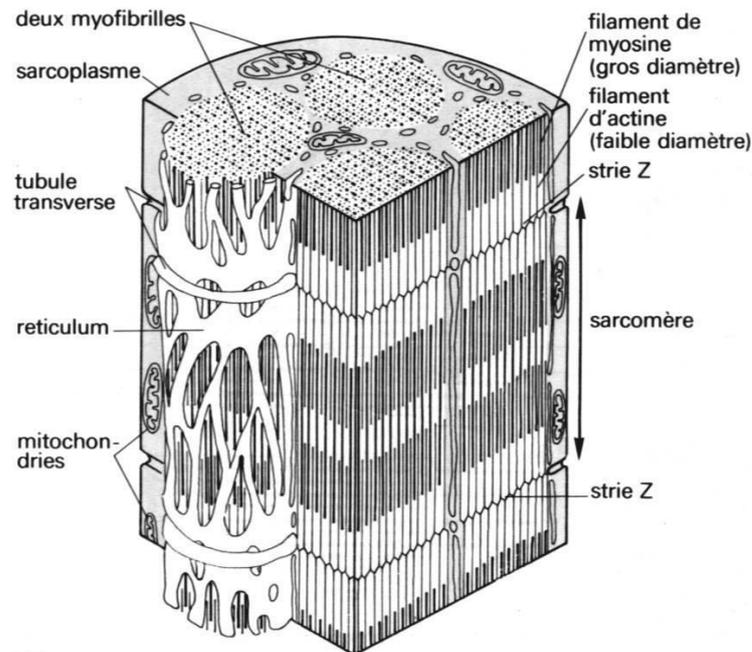
Fibre musculaire (x 400)



Fibre musculaire (x 2000)

3- Analyse des résultats

Le muscle frais est constitué de plusieurs fibres musculaires regroupées en faisceaux de fibres musculaires. Une fibre musculaire observée au microscope (x 400) est une cellule géante allongée comportant plusieurs noyaux, des fibrilles et des striations transversales. L'ensemble baigne dans le sarcoplasme entouré du sarcolemme. Une fibre musculaire observée à un grossissement élevé (x2000) est constituée par une alternance de **bande sombre (bande B)** et de **bande claire (bande A)**. La bande sombre est traversée par **la zone H** alors que la bande claire est traversée par **la strie Z**. La portion de fibre comprise entre deux stries Z consécutives est appelée **le sarcomère** (voir document ci-dessous).



ULTRASTRUCTURE D'UNE FIBRE MUSCULAIRE STRIE

Le sarcomère est constitué de deux types de filaments : les filaments fins d'actines et les filaments épais de myosine. Les **filaments fins d'actine** sont constitués d'un agencement de trois protéines contractiles : la troponine, la tropomyosine et l'actine G, alors que les **filaments épais de myosine** sont constitués uniquement de molécules de myosine.

4- Conclusion partielle

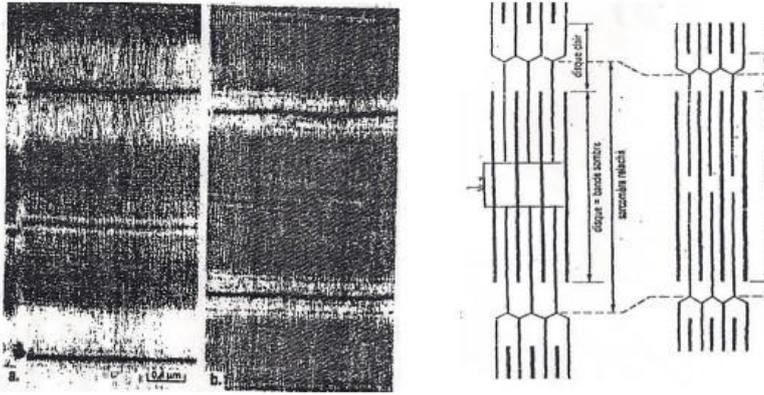
Le muscle se contracte effectivement grâce à sa structure constituée de filaments fins d'actines et de filaments épais de myosines.

II- LE MUSCLE SE CONTRACTE-IL SELON UN MECANISME ?

1- observation de documents

Observons des documents présentant un sarcomère au repos et en activité d'une part et le mécanisme de la contraction musculaire d'autre part.

2- Résultats



SARCOMERE AU REPOS ET EN ACTIVITE

3- Analyse des résultats

Le passage du sarcomère au repos ou relâché au sarcomère en activité ou contracté se caractérise par :

- Le raccourcissement de la zone H
- La diminution du sarcomère
- La réduction de la longueur de la bande claire
- La constance de la longueur de la bande sombre
- La longueur de l'actine et de la myosine ne change pas.

La contraction musculaire se déroule en trois étapes :

- La phase d'attachement
- La phase de glissement
- La phase de détachement.

Au repos, l'actine et la myosine ne sont pas liées, Au début de l'excitation, l'actine et la myosine sont liées et on note la présence d'ATP. Pendant le glissement, les éléments d'actine et de myosine se rapprochent avec diminution de la zone H. Pendant le détachement, l'actine et la myosine ne sont plus liées.

4- Interprétation des résultats :

Au repos, la tropomyosine masque les sites d'attachement actomyosine.

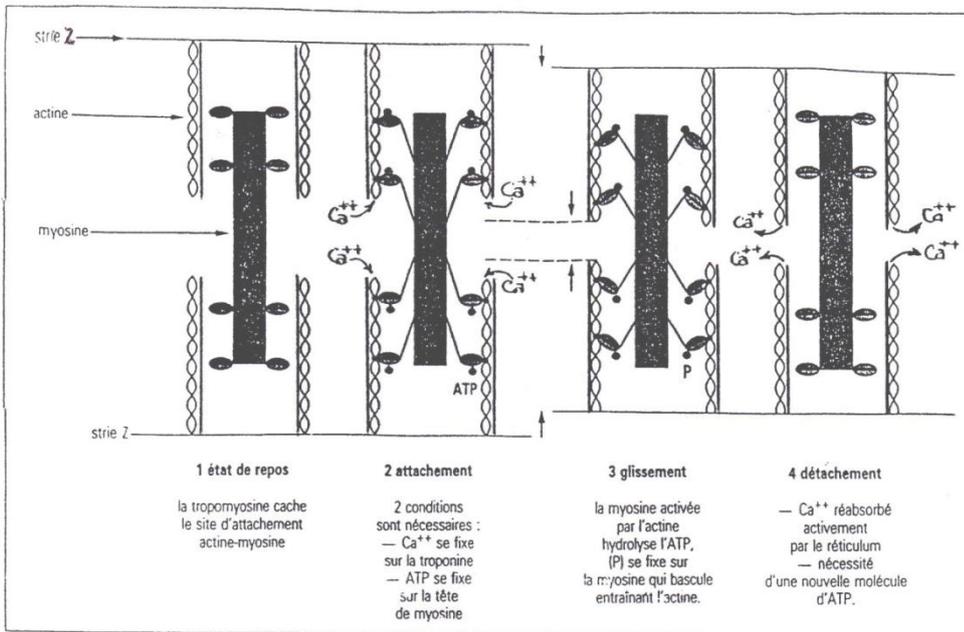
Lorsque le muscle est excité, les ions Ca^{2+} contenus dans le réticulum sarcoplasmique sont libérés et se fixent sur la troponine. Celle-ci en se déformant repousse la tropomyosine ce qui permet de démasquer les sites, dans le même temps, la molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine et engendre la déformation et l'établissement de **la liaison ou pont actomyosine** : c'est **la phase d'attachement**.

Une fois la liaison établie, l'actine active la myosine qui hydrolyse l'ATP qu'elle a fixée produisant **ADP + Pi + Energie**. Cette énergie permet de faire pivotement de la tête de myosine et le glissement des filaments d'actine le long de la myosine. Ce qui correspond à la diminution de la zone H et de la longueur du sarcomère ; en somme la contraction du muscle : c'est **la phase de glissement ou de pivotement**.

Une nouvelle molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine, on assiste alors à la rupture de la liaison actomyosine : c'est **la phase de détachement**.

Les ions Ca^{2+} sont réabsorbés et une nouvelle molécule d'ATP se fixe sur les têtes de myosine : ce qui correspond à **la phase de relâchement du muscle**.

(voir le document interprétatif)



MECANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

5- Conclusion

La contraction musculaire se fait par le glissement d'actine le long des filaments de myosine sous l'action d'ions Ca^{2+} avec consommation d'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP.

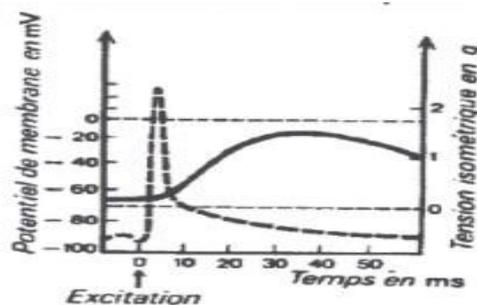
III-LE MUSCLE SE CONTRACTE-T-IL GRACE A DES STIMULATIONS ?

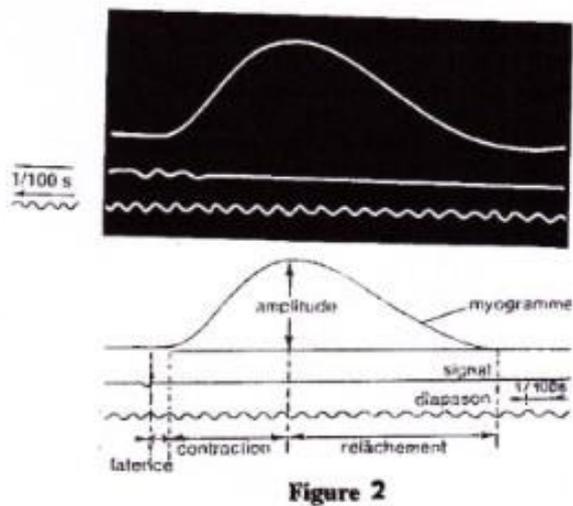
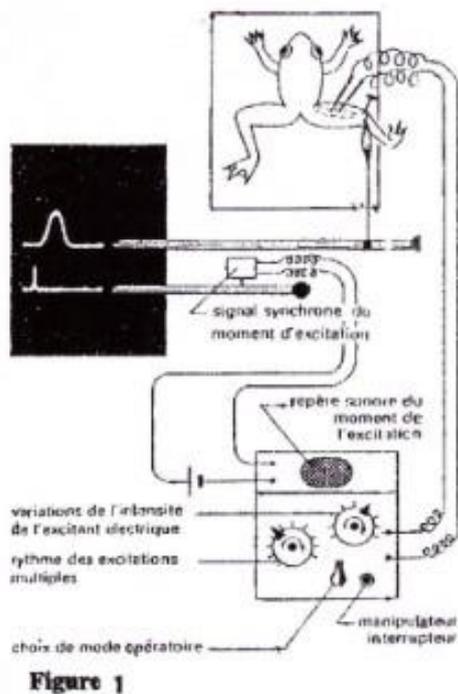
1-Présentation de résultats d'expériences :

1.1 Expérience

Le but de cette expérience est de comparer les aspects mécanique et électrique de la contraction du muscle. Pour cela, on introduit dans la fibre musculaire une électrode réceptrice et une autre placée à la surface. Cette fibre est alors excitée et on mesure à la fois l'aspect mécanique et électrique.

1.2 Résultats





1.3 Analyse des résultats

Le potentiel de repos musculaire est de -85 mv et varie de -85 à -20 mv. Le **PA musculaire ou électromyogramme** se situe dans le temps de latence de la secousse. L'électromyogramme précède toujours le myogramme. Le myogramme est obtenu grâce à un dispositif expérimental appelé le **myographe** (voir figure1).

Le myogramme comprend 3 étapes :

- Le temps de latence
- La phase de contraction
- La phase de relâchement.

1.4 Interprétation des résultats :

Le **PM** musculaire est dû à une **inégaie répartition** des ions **Na⁺** et **K⁺** de part et d'autre de la membrane de la fibre musculaire et maintenu par la **pompe ionique Na⁺/K⁺ ATP ase**.

- La **dépolarisation** est due à une **entrée massive de Na⁺** dans la fibre musculaire après ouverture des **canaux voltage dépendants à Na⁺**.

La **repolarisation** est due à une **sortie de K⁺** de la fibre musculaire après ouverture des **canaux voltage dépendant à K⁺** et fermeture des **canaux voltage dépendants à Na⁺**.

(schéma interprétatif)

- Le **PA** précède le **myogramme** car c'est lui qui déclenche la **contraction** musculaire.

1.5 Conclusion

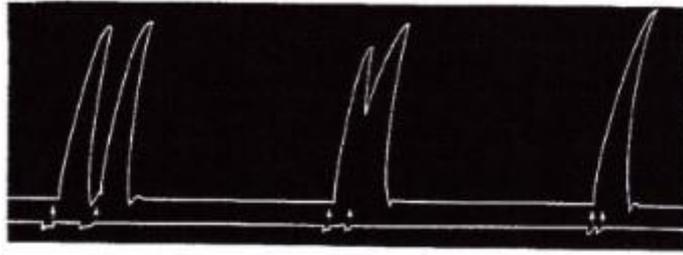
La contraction musculaire est déclenchée par un potentiel d'action responsable des mouvements ioniques à travers la fibre musculaire.

2-Présentation de résultats d'expériences de stimulations successives sur le muscle

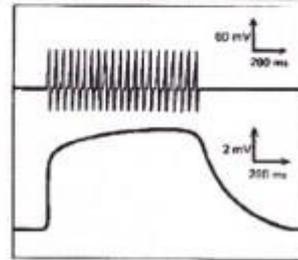
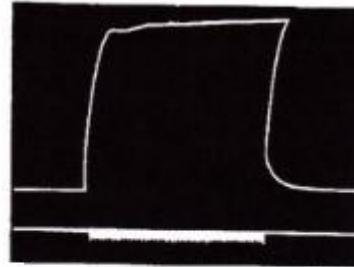
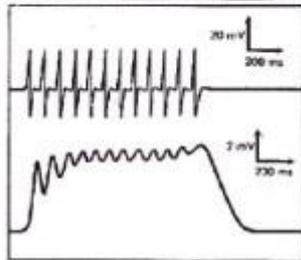
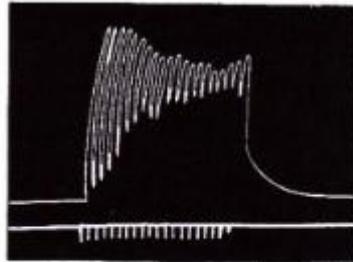
2-1 Expérience

Le but de cette expérience est de connaître la réponse du muscle suite à des excitations ou stimulations. Pour cela, on porte deux stimulations successives à des intervalles de temps varié puis on observe le résultat d'une part et des stimulations successives à différents moments de la contraction musculaire d'autre part.

2-2 Résultats



REPONSE DU MUSCLE A DEUX SIMULATIONS SUCCESSIVES



REPONSE DU MUSCLE A PLUSIEURS STIMULATIONS SUCCESSIVES

2-3 Analyse des résultats :

Réponse du muscle à deux stimulations successives :

Lorsque la 2^e stimulation intervient après la secousse précédente, on obtient une deuxième secousse de même amplitude que la précédente.

Lorsque la 2^e stimulation intervient pendant la phase de relâchement de la secousse précédente, on obtient une 2^e secousse d'amplitude plus grande que la précédente.

Lorsque la 2^e stimulation intervient pendant la phase de contraction de la secousse précédente, on obtient une seule secousse d'amplitude plus élevée.

Réponse du muscle à plusieurs stimulations successives :

Lorsque les différentes stimulations sont portées pendant la phase de relâchement des secousses précédentes, on obtient une courbe en dents de scie.

Lorsque les différentes stimulations sont portées pendant la phase de contraction des secousses précédentes, on obtient une courbe sous forme de plateau.

2-4 Interprétation des résultats

-On obtient deux secousses identiques (même amplitude) lorsque la 2^e stimulation est portée après la secousse précédente parce que le muscle a eu le temps de retrouver sa polarité.

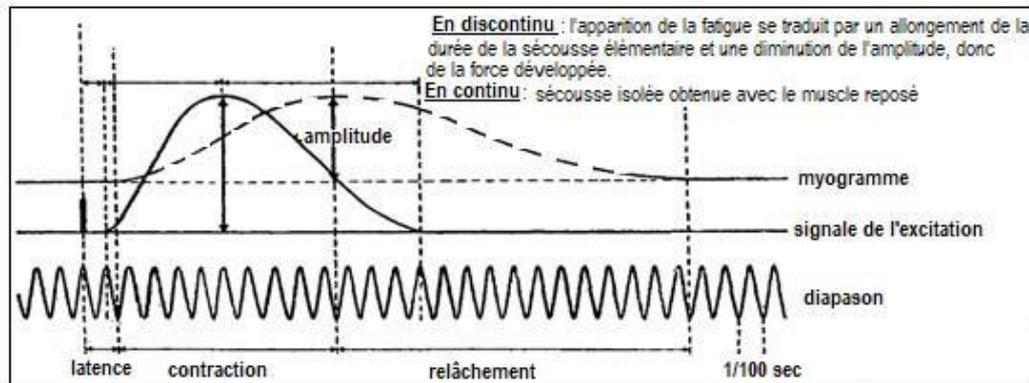
-L'augmentation de l'amplitude des réponses lorsque la stimulation intervient pendant la phase de relâchement ou pendant la phase de contraction de la secousse précédente s'explique par le phénomène de sommation des réponses des différentes fibres musculaires constituant le muscle.

-La courbe en dents de scie obtenue est appelée **tétanos imparfait** parce qu'il y a eu une fusion incomplète des réponses des fibres musculaires constituant le muscle.

-La courbe sous forme de plateau obtenue est appelée **tétanos parfait** parce qu'il y a une fusion complète des réponses des fibres musculaires constituant le muscle.

Lorsque le muscle reçoit plusieurs stimulations pendant une longue durée, il se fatigue (voir schéma).

La secousse musculaire d'un muscle fatigué présente une amplitude faible, une durée de contraction et de relâchement plus longue. La fatigue musculaire est à l'origine de **crampes** et de **douleurs musculaires**.



REPONSE COMPAREE D'UN MUSCLE NORMAL ET D'UN MUSCLE FATIGUE

2-5 Conclusion

Le muscle se contracte de diverses manières face aux stimulations. Le muscle obéit à la loi de sommation alors que la fibre musculaire obéit à la loi de tout ou rien.

3- Conclusion partielle

Le muscle se contracte effectivement selon des phénomènes électriques, mécaniques et chimiques.

IV- LE MUSCLE SE CONTRACTE-IL GRACE A UNE ENERGIE ?

1-Présentation d'expérience

Dans ces expériences on mesure l'oxygène, le glucose, le glycogène l'ATP et l'acide lactique d'un muscle au repos et d'un muscle en activité.

2-Résultats

Etat du muscle Constituant du muscle	Muscle au repos	Muscle en activité
O ₂ utilisé (l)	0.307	5.207
CO ₂ produit(l)	0.220	5.950
Glucide utilisé (g)	0.307	8.432
Acide lactique produit (g)	0	1,958
Protides utilisés	0	0
ATP utilisé (mg/g de muscle frais)	4 à 6	4 à 6

TABLEAU DE MESURE DES CONSTITUANTS DU MUSCLE

2-1 Analyse des résultats :

En activité, la quantité de O₂, de CO₂ et d'acide lactique augmente alors que la quantité de glycogène diminue. Cependant la quantité d'ATP reste constante.

2-2 Interprétation des résultats

La quantité d'O₂, de CO₂ et d'acide lactique augmente car le muscle en activité consomme du dioxygène et produit des déchets tels que le CO₂ et l'acide lactique. La diminution de la quantité de glycogène est due à la décomposition de celui-ci en molécules de glucose pour la production d'énergie.

La quantité d'ATP reste constante avant et après la contraction musculaire parce qu'elle est régénérée ou renouvelée. La régénération de l'ATP se fait par deux voies :

- Les voies rapides
- Les voies lentes

a- Les voies rapides

Il existe deux voies rapides qui sont :

- **La voie de la myokinase :**

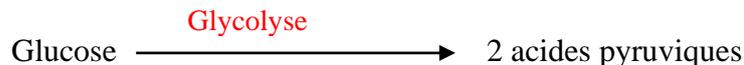


- **La voie de la phosphocréatine :**



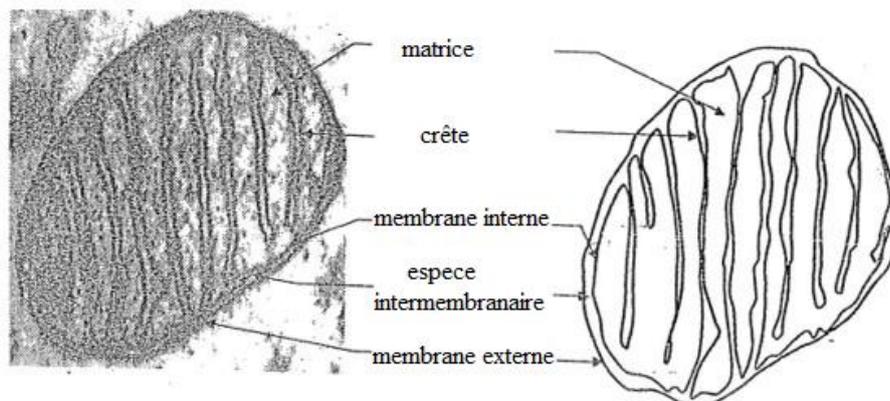
b- Les voies lentes

Elle débute par la dégradation du glucose en **2 acides pyruviques** avec production de **8 molécules d'ATP** selon l'équation suivante :



Les 2 acides pyruviques peuvent rester dans le cytoplasme pour subir la **fermentation lactique** ou **voie anaérobie (absence d'oxygène)**. Cette fermentation entraîne la perte de 8 molécules d'ATP. Cette voie produit : $8\text{ATP} - 6\text{ATP} = 2\text{ATP}$

Les 2 acides pyruviques peuvent pénétrer dans la **mitochondrie** (voir schéma) et subir le **cycle de Krebs** en présence d'oxygène et produire du CO₂ et de l'eau : c'est la **voie aérobie ou respiration cellulaire ou voie oxydative**.



SCHEMA D'UNE MITOCHONDRIE

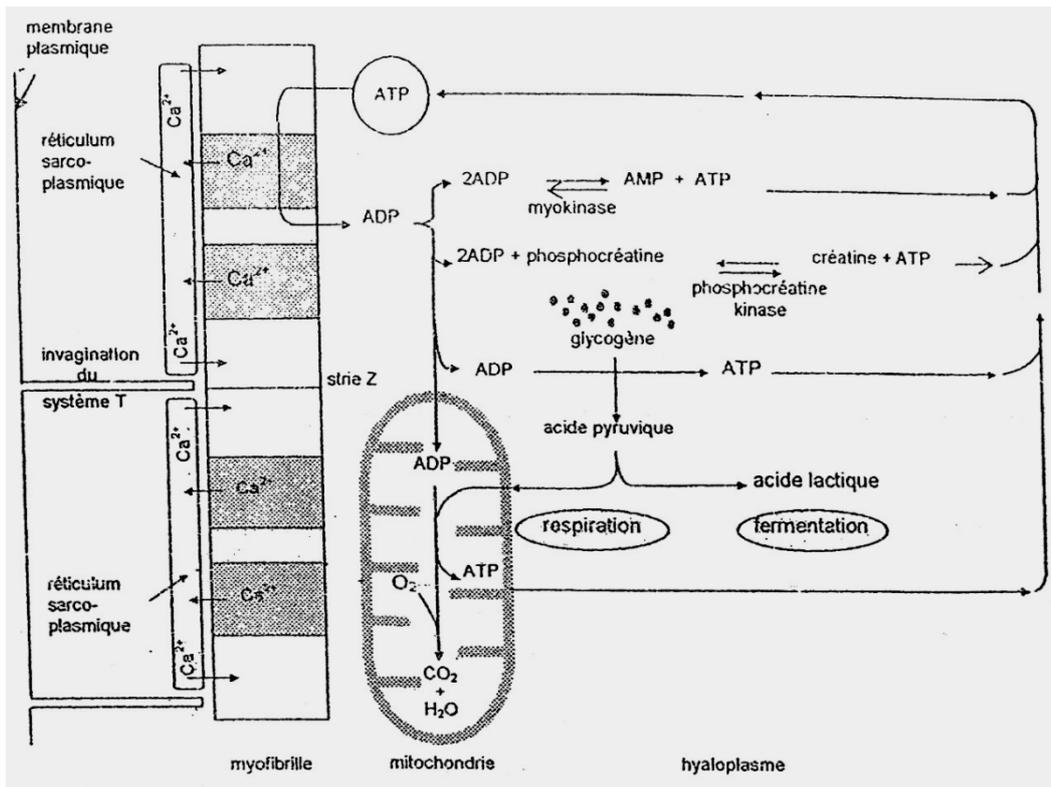
Chaque acide pyruvique produit **15 molécules d'ATP**.

Pour les 2 acides pyruviques, le nombre d'ATP produit est : $15 \text{ ATP} \times 2 = 30 \text{ ATP}$.

La respiration cellulaire produit : $8 \text{ ATP} + 30 \text{ ATP} = 38 \text{ ATP}$

La dégradation d'une molécule de glucose par la respiration cellulaire se fait selon l'équation suivante : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 38\text{ATP}$

(voir schema bilan)



DIFFERENTES VOIES DE REGENERATION DE L'ATP

Conclusion partielle :

Le muscle se contracte effectivement grâce à une énergie biochimique provenant de l'hydrolyse de l'ATP qui est aussitôt régénérée.

CONCLUSION GENERALE :

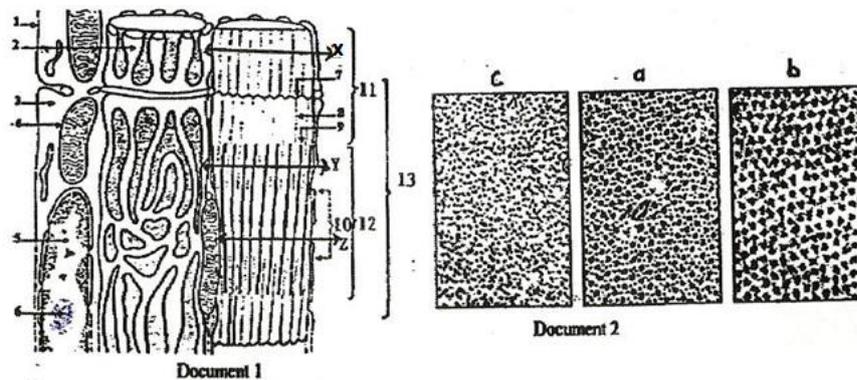
Le muscle se contracte grâce à sa structure particulière, selon un mécanisme, selon des stimulations et grâce à une énergie biochimique. La contraction du muscle produit des phénomènes électriques, mécaniques et chimiques.

SITUATION D'ÉVALUATION

Pour réussir son épreuve des SVT aux examens blancs régionaux, ton voisin de classe effectue des recherches pour approfondir ses connaissances sur le fonctionnement du muscle. Il découvre les documents les suivants :

Le document 1 représente l'ultrastructure d'une portion de fibre musculaire ;

Les figures a, b, et c du document 2 ci-dessous représentent 3 coupes transversales réalisées à trois niveaux différents X, Y, et Z de la fibre musculaire.



Face aux difficultés qu'il éprouve à exploiter ce document, tu lui propose ton aide.

- 1-Annotez le document en utilisant les chiffres qui y figurent
- 2-Précisez le rôle de l'élément 4
- 3-Schématisez et annotez l'ultrastructure de cet élément
- 4-a - Identifie la nature biochimique des figures a, b et c
- b -Localise ces trois figures par rapport aux coupes X, Y et Z

CONSOLIDATION ET APPROFONDISSEMENT DES ACQUIS

Exercice 1 :

Le texte suivant présente le fonctionnement de la plaque motrice et le mécanisme de la contraction musculaire :

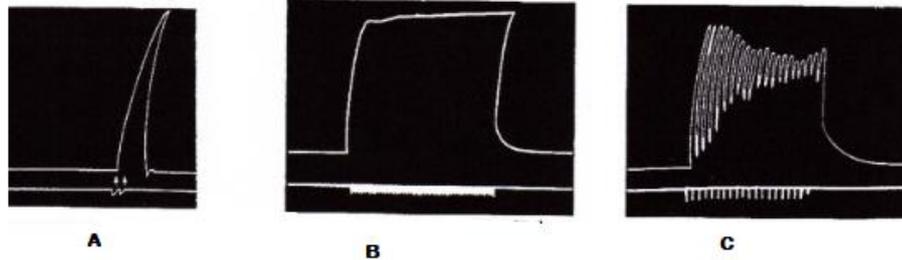
Le message nerveux arrive au muscle par l'intermédiaire Le contact nerf-muscle forme la Lorsquearrive au niveau du bouton synaptique, il se produit une..... à l'origine de la libération, par exocytose, desdans la fente synaptique. Ces neuromédiateurs se fixent sur des récepteurs spécifiques et provoquent l'ouverture des canaux à sodium, à l'origine de de la membrane post-synaptique puis de la naissance d'un potentiel d'action. Ce message nerveux se propage le long de la membrane de la fibre musculaire, arrive aux invaginations et est transmis au réticulum endoplasmique qui libère dans le, les ions Ca^{2+} . Ces ions se fixent sur l'actine, au niveau des troponines pour libérerde la tête de myosine. La tête de myosine fixe une molécule d'ATP et se fixe à l'actine : c'est qui correspond au pont d'acto-myosine. L'hydrolyse de fournit l'énergie nécessaire au pivotement de la tête de myosine et le glissement des myofilaments fins entre

Une nouvelle molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine. Il ya alors détachement et retour à Le réticulum endoplasmique repompe les ions Ca^{++} présents dans le sarcoplasme. Les filaments fins se détachent des filaments épais. C'est la relaxation ou

Complète le texte avec les mots ou groupes de mots suivants : *l'influx nerveux ; entrée d'ions Ca^{2+} ; neuromédiateurs ; dépolarisation ; cytoplasme ; activement ; plaque motrice ; le site d'attachement ; l'ATP ; phase de détachement; du nerf; la phase d'attachement ; myofilaments épais ; l'état initial.*

Exercice 2 :

Les figures (A), (B) et (C) suivantes sont différentes réponses du muscle à des stimulations efficaces.



Fais correspondre chaque figure à son annotation : **Tétanos parfait, tétenos imparfait, secousse isolée**

Exercice 3 :

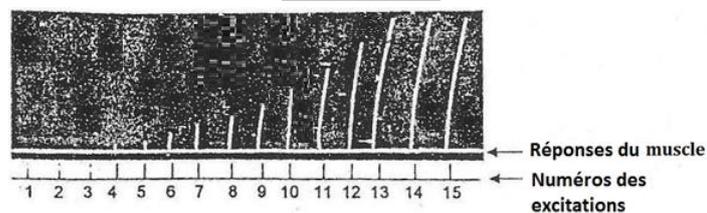
Dans le cadre des travaux pratiques, ton groupe de travail réalise l'expérience suivante :

Sur une grenouille privée de ces centre nerveux (encéphale et moelle épinière), tu portes sur le nerf sciatique des excitations électriques d'intensité croissante, à l'aide d'électrodes stimulatrices. Les réponses du muscle à ces stimulations sont enrégistrées à l'aide d'un myographe.

Les intensités des excitations portées ainsi que les réponses du muscles à ces excitaions, sont présentées respectivement par les documents 1 et 2.

Numéros des excitations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Intensités des excitations (mV)	11,9	12,1	12,5	13	14	15	18	19	21	22,2	24,5	27	29	30	35

Document 1



Document 2

Tu es chargé de présenter les travaux de ton groupe.

- 1- Nomme la réponse du muscle à une excitation.
- 2- Analyse les réponses du muscle aux excitations reçues.
- 3- Explique l'évolution de ces réponses.
- 4- Dédus la propriété ainsi mise en évidence.