

Tle C
SVT
DURÉE : 4H

MON ÉCOLE À LA MAISON



LEÇON : L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE PAR LA CELLULE MUSCULAIRE

I. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Aux cours d'Éducation 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.

II. CONTENU DU COURS

COMMENT LE MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE FONCTIONNE-T-IL ?

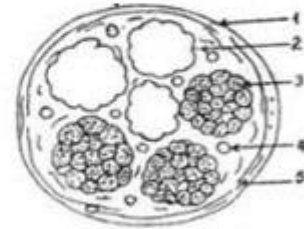
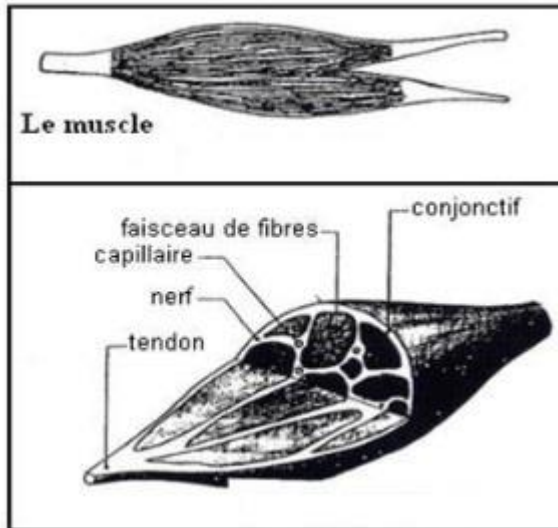
La lecture d'un texte partant sur le fait que le muscle soit à la base de bonnes performances sportives lorsqu'il est en mouvement nous a permis de constater que le muscle se contracte. On suppose que :

- Le muscle fonctionne grâce à sa structure.
- Le muscle fonctionne selon un mécanisme.
- Le muscle fonctionne grâce à des phénomènes
-

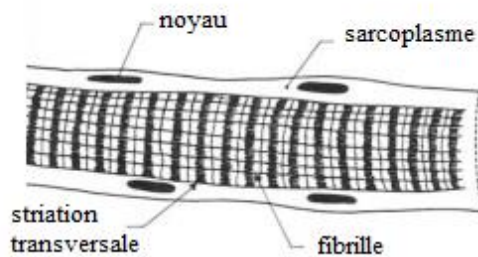
I- Le muscle fonctionne-t-il grâce à sa structure ?

1- Observation

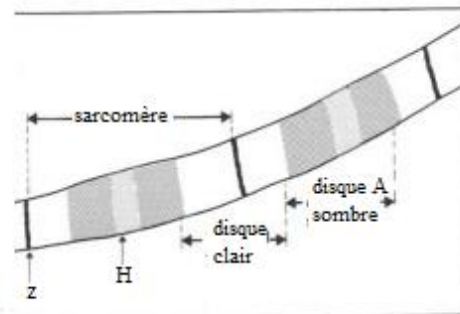
On observe des documents présentant respectivement la structure d'un muscle frais, celle d'une fibre musculaire puis d'une myofibrille.



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)

2 Résultats

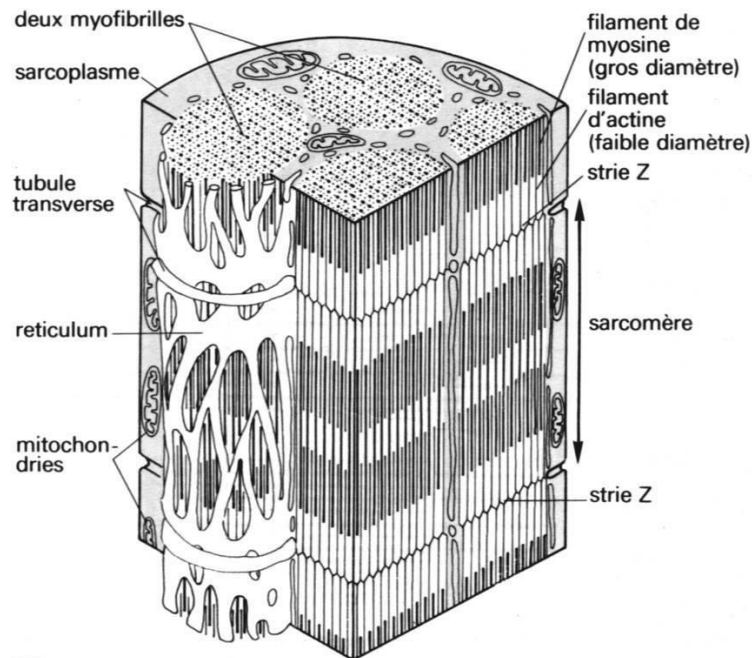
	muscle frais	fibre musculaire	myofibrille
aspect	allongée, ovale	cylindrique, stries transversales	cylindrique avec alternance de bandes claires et de bandes sombres
constituants	-faisceaux de fibres -tissu conjonctif -vaisseau sanguin -nerf	-sarcolemme -sarcoplasme -plusieurs noyaux -fibrilles	-bande A -bande ab -stries Z -zone H

TABLEAU PRESENTANT LA STRUCTURE ET L'ULTRASTRUCTURE DU MUSCLE

3 Analyse des résultats

Le tableau présente la structure du muscle et l'ultrastructure de la cellule musculaire. La structure montre que le muscle a une forme allongée ou ovale et est constitué de plusieurs faisceaux de fibres musculaires, de vaisseaux sanguins et de nerfs, le tout enveloppé dans une gaine conjonctive. L'ultrastructure de la cellule musculaire montre que la fibre musculaire est une cellule géante allongée et polynucléée contenant des myofibrilles. Les myofibrilles présentent une succession de bandes claires et de bandes sombres. La strie Z et la zone H

séparent respectivement la bande claire (I) et la bande sombre (A) en deux parties égales. Le sarcomère est la partie de la myofibrille comprise entre strie Z et consécutives. Il est constitué de filaments fins d'actine et filaments épais de myosine. La bande claire (I) renferme uniquement des filaments d'actine tandis que la bande sombre (A) renferme des filaments d'actine et de myosine.



ULTRASTRUCTURE D'UNE FIBRE MUSCULAIRE STRIE

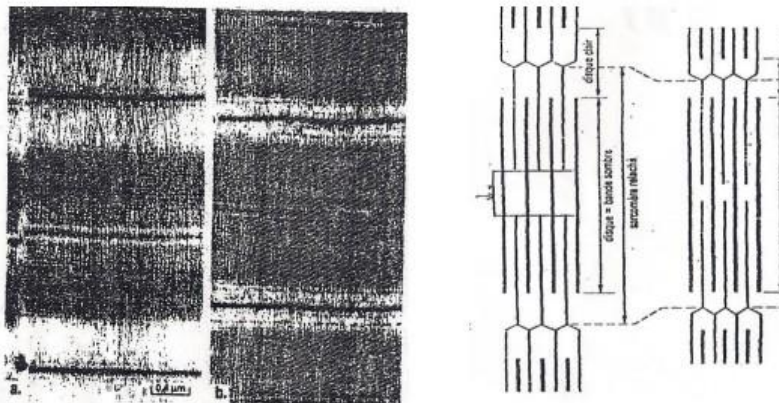
1- Conclusion partielle

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

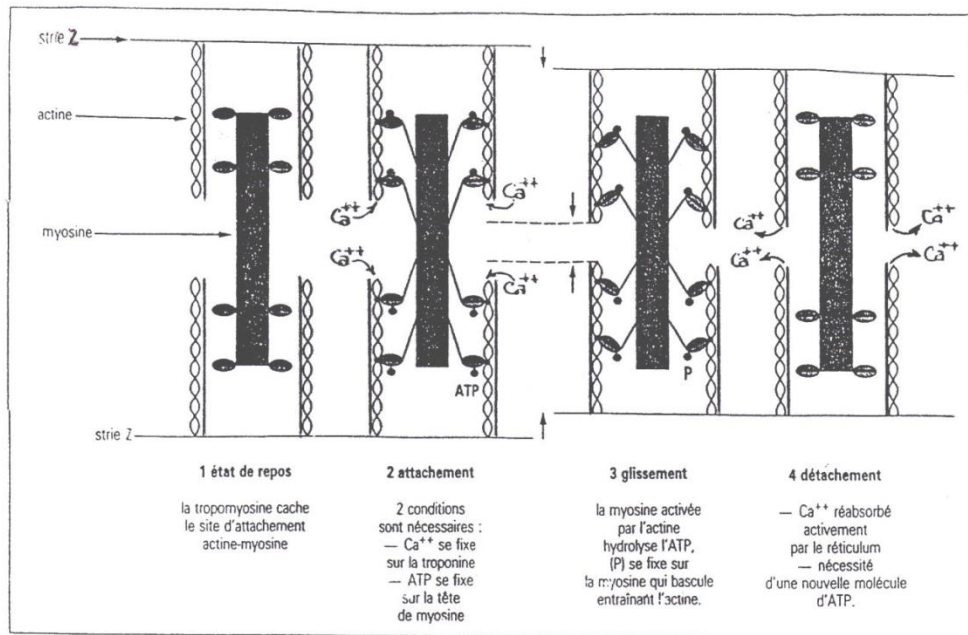
II- Le muscle fonctionne t-il selon un mécanisme ?

1 Observation

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



SARCOMERE AU REPOS ET EN ACTIVITE



MECANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

2 Résultats

activité du sarcomère	sarcomère au repos	sarcomère en activité
sarcomère	sarcomère long	sarcomère réduit
zone H	présente	réduite
bande claire	longue	réduite
bande sombre	inchangée	inchangée
aspect des filaments d'actine et de myosine	pas de contact entre les têtes de myosine et les filaments d'actine	contact entre les deux structures pivotement des têtes de myosine

3 Analyse des résultats

Le tableau montre l'aspect du sarcomère au repos puis en activité. Pendant son activité le sarcomère passe par deux stades alternatifs. Quand Le sarcomère passe du repos ou relâché à l'activité ou contracté, sa longueur, celles de la bande claire et la zone H se réduisent tandis que la longueur de la bande sombre, celles de l'actine et de la myosine ne changent pas. Les filaments de myosine se lient à ceux de l'actine, pivotent et les font glisser.

4 Interprétation des résultats

Les deux stades du fonctionnement de la myofibrille sont alternatifs parce qu'ils proviennent d'étapes interdépendantes. Quand Le sarcomère passe du repos ou relâché à l'activité ou contracté :

La longueur du sarcomère, de la bande claire et la zone H diminue parce que l'excitation provoque la libération des ions Ca^{2+} par le réticulum sarcoplasmique. Ces ions se fixent sur la **tropomyosine** qui libère les sites de fixation de la myosine sur l'actine. **Une molécule d'ATP** se fixe sur chaque tête de myosine ; ce qui entraîne la déformation et l'établissement du pont actomyosine : c'est la **phase d'attachement**. La molécule d'ATP fixée s'hydrolyse en $ADP + Pi$ + énergie. Cette énergie permet de faire pivoter les têtes de myosine et le glissement des filaments d'actine le long de ceux de la myosine : C'est la **phase de pivotement** ou de **glissement**. A ce stade le muscle est à l'**état contracté**

La fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur les têtes de myosine entraîne la rupture du pont actomyosine et les ions Ca^{2+} sont réabsorbés par le réticulum sarcoplasmique: c'est la phase de **relâchement ou détachement**. Le muscle retourne à son état initial

5 Conclusion partielle

Le muscle fonctionne effectivement grâce à un mécanisme

III- Le muscle fonctionne-t-il grâce à des phénomènes ?

Nous allons utiliser deux documents

1 – Exploitation du document 1

1-1 Observation

Observons le tableau de variation des constituants chimiques du muscle

1-2 Résultats

état du muscle	muscle au repos	muscle en activité
oxygène utilisé (litres)	0,307	5,207
dioxyde de carbone rejeté (litres)	0,220	5,250
glucose utilisé (grammes)	2,042	8,432
acide lactique produit(grammes)	0,5	1,5
glycogène (grammes)	1,08	0,8
ATP (grammes)	2	2

Document1 : TABLEAU DE VARIATION DES CONSTITUANTS CHIMIQUES DU MUSCLE.

1-3 Analyse des résultats

Le tableau montre la variation des constituants chimiques du muscle du repos à l'activité. La quantité d'oxygène utilisé, du dioxyde de carbone (CO_2) rejeté, du glucose utilisé et de l'acide lactique produit augmente tandis que celle du glycogène baisse et celle de l'ATP reste constante.

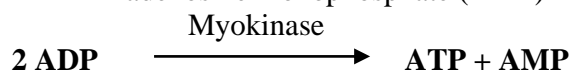
1-4 Interprétation des résultats

Lors de la contraction musculaire, le taux d'ATP reste constant parce que l'ATP utilisé est régénéré. Cette régénération ou restauration de l'ATP se fait selon deux voies principales :

- *Les voies rapides de régénération de l'ATP :*

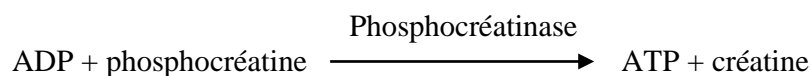
• *1^{ère} voie ou voie de la myokinase :*

Deux molécules d'ADP (adénosine diphosphate) donnent en présence de la myokinase une molécule d'ATP et l'adénosine monophosphate (AMP)



• *2^{ème} voie ou voie de la phosphocréatinase :*

Une molécule d'ADP et une molécule de phosphocréatine donnent une molécule d'ATP et la créatine



- *Les voies lentes de régénération de l'ATP :*

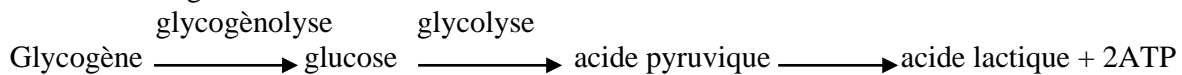
Lors de la contraction musculaire, le **glycogène** se dégrade donc pour donner du glucose : c'est la **glycogénolyse**. Le glucose à son tour se dégrade pour donner deux molécules d'ATP et deux molécules d'acide pyruvique : c'est la **glycolyse**.



L'acide pyruvique obtenu va emprunter deux voies qui sont :

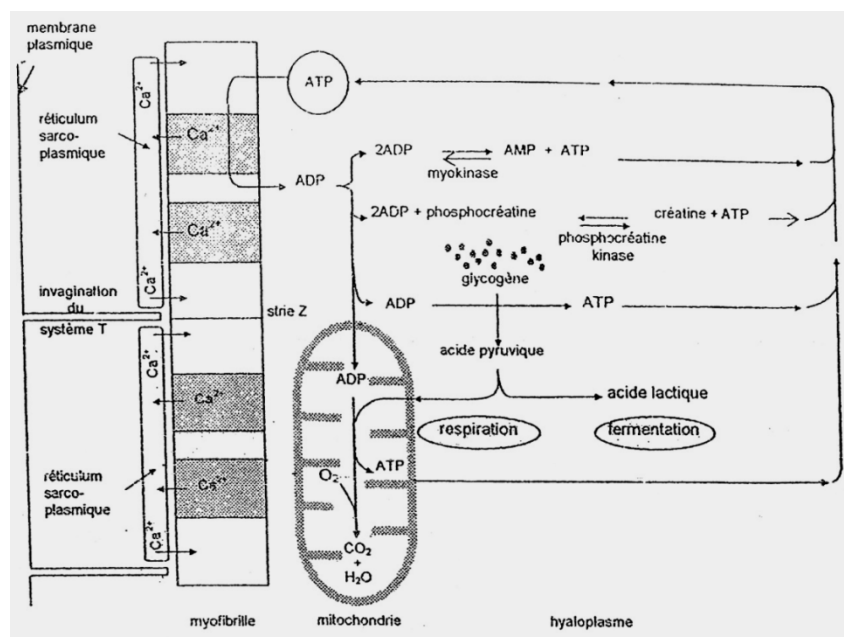
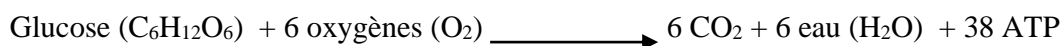
• **La voie de la fermentation**

En absence ou insuffisance d'oxygène (en anaérobiose), l'acide pyruvique subit la **fermentation lactique** et donne l'acide lactique avec une faible quantité d'ATP (**2ATP**), car la dégradation du glucose est partielle. De plus, l'**accumulation de l'acide lactique baisse le pH musculaire** ce qui entraîne la fatigue musculaire.



• **La voie de la respiration ou voie des oxydations respiratoires**

En présence d'une quantité suffisante d'oxygène, l'acide pyruvique dans le cytoplasme est oxydé au niveau des mitochondries en CO₂ et en eau. La dégradation de l'acide pyruvique fournit une grande quantité d'ATP (**38 ATP**), donnant ainsi un rendement énergétique élevé à la voie respiratoire. L'énergie libérée par ces dégradations moléculaires sert à reconstituer la **phosphocréatine**. La production d'ATP est élevée car la dégradation du glucose est totale.



DIFFERENTES VOIES DE REGENERATION DE L'ATP

1-5- **conclusion partielle**

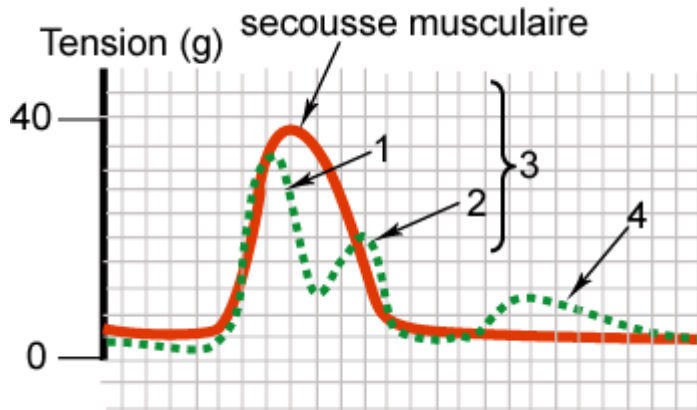
Le muscle fonctionne donc grâce à des phénomènes chimiques.

2- **Exploitation du Document 2**

2-1 **Observation**

Observons la production de chaleur au cours de la contraction musculaire.

2-2 Résultats



PRODUCTION DE CHALEUR AU COURS DE L'ACTIVITE MUSCULAIRE

2-3 Analyse des résultats

Le document présente le dégagement de chaleur (en vert) au cours de l'activité musculaire. On distingue deux types de chaleur qui sont :

-La chaleur initiale (3), subdivisée :

.en chaleur de contraction (1) et en chaleur de soutien ou de maintien (1) produite pendant la phase de contraction ;

.et de chaleur de relâchement (2) elle est produite pendant la phase de relâchement musculaire et est de courte durée mais de grande amplitude.

-La chaleur retardée (4) : elle est produite après la phase de relâchement musculaire. Elle est de longue durée mais de faible amplitude.

2-4 Interprétation des résultats

La chaleur initiale produite pendant la phase de contraction provient de l'énergie libérée au cours de l'hydrolyse de l'ATP pour assurer le glissement des filaments d'actines entre les filaments de myosines.

La chaleur retardée produite après la phase de relâchement est due à l'énergie libérée au cours de la régénération des molécules d'ATP utilisée pendant la contraction.

2-5 Conclusion partielle

Le muscle est le siège de phénomène thermique pendant son travail qui correspond à une libération de chaleur s'effectuant en deux étapes principales : une chaleur initiale et une chaleur retardée.

Conclusion

Le muscle fonctionne effectivement grâce à des phénomènes chimiques et est le siège de phénomène thermique pendant son travail.

CONCLUSION GENERALE

Le muscle fonctionne grâce à sa structure, selon un mécanisme. IL utilise l'énergie fournie par l'hydrolyse de l'ATP

III.SITUATION D'EVALUATION

Un groupe d'élèves de la Terminale C souhaite approfondir leur compréhension de l'utilisation de l'énergie par la cellule vivante. L'un d'eux découvre dans un manuel de Biologie un tableau de valeurs ci - dessous indiquant la production de lactate dans le muscle en fonction des vitesses de course chez deux sujets dont l'un est entraîné et l'autre non.

Vitesse (Km/h)		12	14	16	18	20	22	24
Quantité de lactate produite mmol/l	Sujet entraîné	2	2	2.5	5	8	12	14
	Sujet non entraîné	2	2.5	8	16	18	Arrêt	

Eprouvant des difficultés à exploiter ce document, il te sollicite pour les y aider.

1. Fais une analyse comparée des valeurs du tableau chez le sujet entraîné et chez le Sujet non entraîné
2. Explique les variations observées
3. Propose trois conséquences du manque d'entraînement chez les athlètes.

Corrigé

1-Le tableau montre la quantité de lactate produite chez un sujet entraîné et chez un sujet non entraîné en fonction des vitesses de course.

Chez le sujet entraîné la quantité de lactate augmente progressivement au fur et à mesure que la vitesse augmente alors que chez le sujet non entraîné la production de lactate augmente rapidement pour s'arrêter vers les vitesses élevées.

2-L'activité intense (vitesse élevée) provoque une grande consommation de dioxygène disponible dans les fibres musculaires avec pour conséquence la fermentation de l'acide pyruvique à l'origine de l'acide lactique ; ce qui entraîne la fatigue musculaire.

L'effet combiné du manque d'échauffement avant un exercice musculaire (manque d'entraînement) et de l'acide lactique provoque l'arrêt de la course chez le sujet non entraîné.

3-Conséquences :

- courbatures
- crampes musculaires
- claquage musculaire

CONSOLIDATION ET APPROFONDISSEMENT DES ACQUIS

1- Exercices d'application

Activité d'application N°1

Associez les différentes voies de régénération de l'ATP qui conviennent.

1 - Voies lentes

A - Par la myokinase

B- Respiration

C- Par la phosphocréatine

2 - Voies rapides

D- Fermentation

Corrigé

1-A , C

2-B , D

Activité d'application N°2

Complète le texte ci-dessous à l'aide des mots ou groupes de mots suivants :

Phosphocréatine – ATP – mitochondries – glucose – voie respiratoire – acide pyruvique.

En présence d'une quantité suffisante d'oxygène, l'.....1..... dans le cytoplasme est oxydé au niveau des2..... en CO₂ et en eau. La dégradation de l'acide pyruvique fournit une grande quantité d'.....3..., donnant ainsi un rendement énergétique élevé à la.....4..... L'énergie libérée par ces dégradations moléculaires sert à fabriquer l'ATP et à reconstituer la.....5..... La production d'ATP est élevée car la dégradation du6.....est totale.

Corrigé

1- ***acide pyruvique***

2- ***mitochondries***

3- ***ATP***

4- ***voie respiratoire***

5- ***Phosphocréatine***

6- ***glucose***

2- Exercices de consolidation

Situation d'évaluation N°1

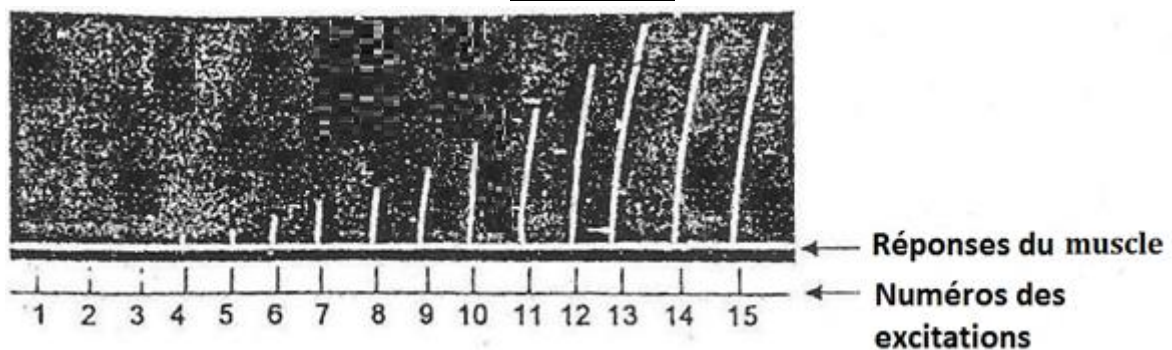
Dans le cadre des travaux pratiques, ton groupe de travail réalise l'expérience suivante : sur une grenouille privée de ces centre nerveux (encéphale et moelle épinière), tu portes sur le nerf sciatique des excitations électriques d'intensité croissante, à l'aide d'électrodes

stimulatrices. Les réponses du muscle à ces stimulations sont enregistrées 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.

Corrigé

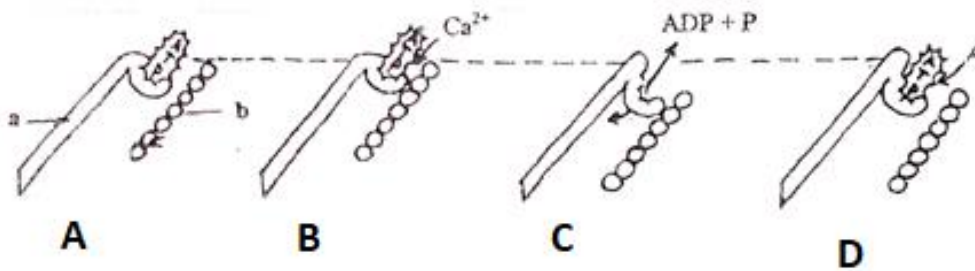
1-Réponse du muscle à une série de stimulation d'intensité croissante

2-Au fur et à mesure que l'intensité augmente, la réponse du muscle augmente pour atteindre une valeur au-delà de laquelle la réponse n'augmente plus quelle que soit la valeur de l'intensité de stimulation appliquée.

3-L' évolution de ces réponses est due au recrutement progressif des fibres musculaires contenues dans le muscle. La non augmentation de la réponse à la suite est due au recrutement total des fibres contenues dans le muscle.

Au cours de la préparation du devoir de niveau, ton camarade de classe n'ayant pas bien compris la leçon sur le fonctionnement du muscle strié squelettique, précisément la partie relative au déclenchement de la contraction musculaire par le potentiel d'action (PA), décide de réviser avec toi sur cette leçon.

Pour l'aider à comprendre vous effectuez des recherches et découvrez dans des manuels de biologie les schémas du **document 1**(schéma A : avant injection du calcium et schémas B, C et D : après injection du calcium), résumant les phénomènes moléculaires qui accompagnent la contraction musculaire et l'expérience ci-dessous.

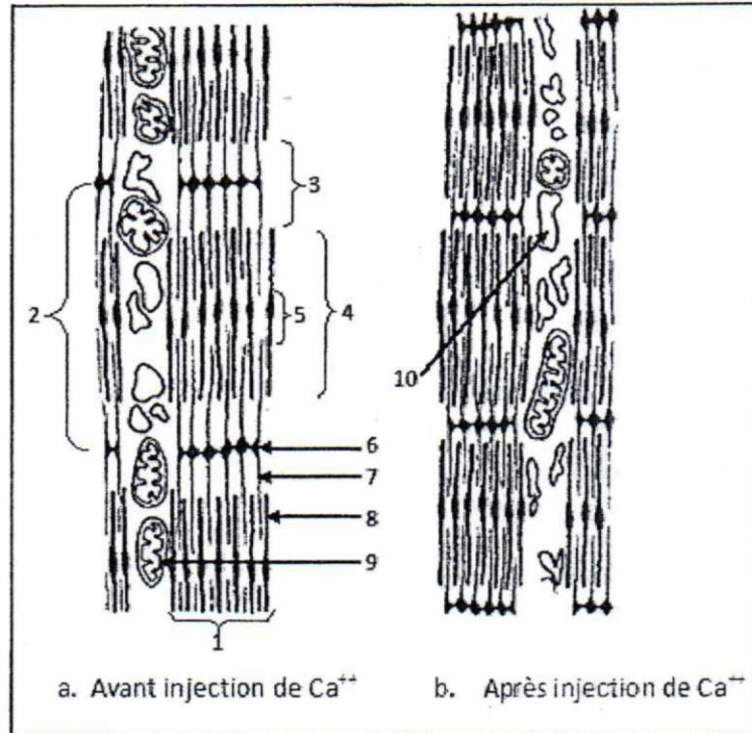


Document 1

Expérience

On injecte du calcium (Ca^{2+}) directement dans l'hyaloplasme de la fibre musculaire, et on observe les modifications anatomiques relatives par **le document 2** ci-après. Ce document comporte deux schémas **a** et **b** :

- le schéma **a** correspond à l'ultrastructure d'une portion de la fibre musculaire avant l'injection de calcium(Ca^{2+}),
- le schéma **b** correspond à l'ultrastructure d'une portion de la fibre musculaire après l'injection de calcium(Ca^{2+}).



Document 2

- 1) Après avoir annoté ces deux (02) documents en reportant les chiffres et les lettres sur ta feuille de copie avec les réponses correspondantes relève les modifications anatomiques observées sur le document 2 suite à l'injection du calcium (Ca^{2+}).
- 2) Explique le mécanisme de la contraction musculaire à partir des réponses à la question 2 et les schémas du document 1.
- 3) Dédus le rôle du calcium (Ca^{2+}) dans la contraction musculaire.

Corrigé

1) Annotation Document 1

a : myosine

b : actine

Document 2

1 : myofibrille

2 : sarcomère

3 : bande claire(I)

4 : bande sombre(A)

5 : zone H

6 : strie Z

7 : actine

8 : myosine

9 : mitochondrie

10 : réticulum sarcoplasmique.

Modifications anatomiques observées

Après l'injection du Ca^{2+} , on observe :

- Une diminution de la longueur du sarcomère, des bandes claires et la zone H
- Une constance de la bande sombre
-

2) Explication du mécanisme de la contraction musculaire :

- Avant l'injection du Ca^{2+} dans la fibre musculaire, la myosine chargée d'ATP ne se fixe pas sur l'actine. Le sarcomère est allongé, et donc le muscle est au repos
- Après l'injection du Ca^{2+} dans la fibre musculaire, le sarcomère se raccourcit grâce à un glissement des filaments d'actine par rapport aux filaments de myosine, vers le centre du sarcomère.

Ce glissement s'explique par les schémas B, C, et D du document 1

- ✓ En B, la présence du Ca^{2+} permet la formation du complexe actomyosine : c'est la phase d'attachement
- ✓ En C, l'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire au pivotement de la tête de myosine ; ce qui entraîne le glissement de l'actine vers le centre du sarcomère : c'est la phase de pivotement (glissement)
- ✓ En D, une nouvelle molécule se fixe sur la tête de myosine et son hydrolyse permet la dissociation du complexe actomyosine. Dans le même moment, les ions Ca^{2+} retournent de façon active dans les réticulums : c'est la phase de détachement qui permet au muscle de retrouver
- ✓ son état de repos

3) Déduction du rôle du Ca^{2+} ,

En présence de Calcium la troponine change de configuration et libère l'actine qui va interagir avec la myosine phosphorylée

3-Exercice d'approfondissement (Situation complexe)

DOCUMENTS

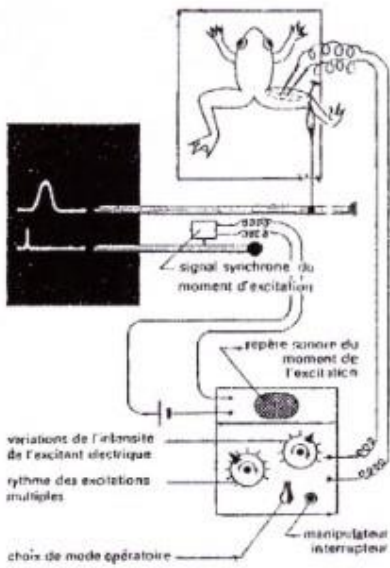
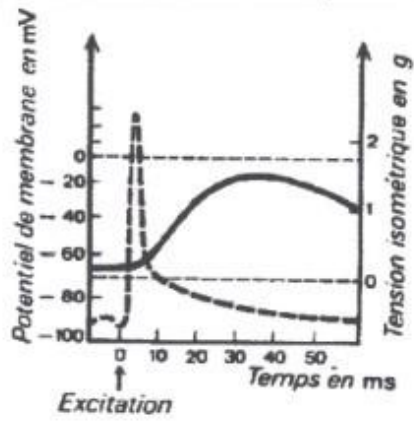


Figure 1

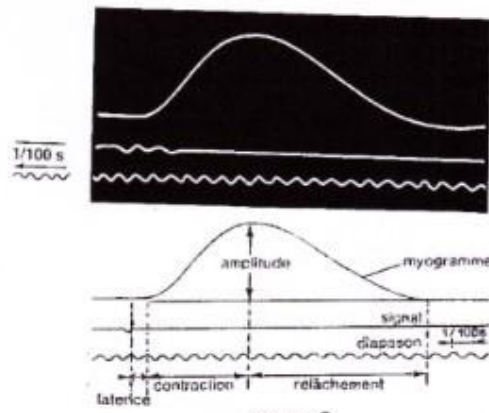
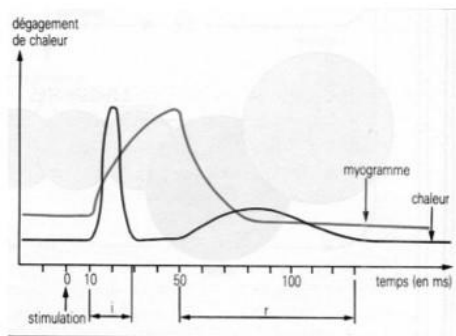
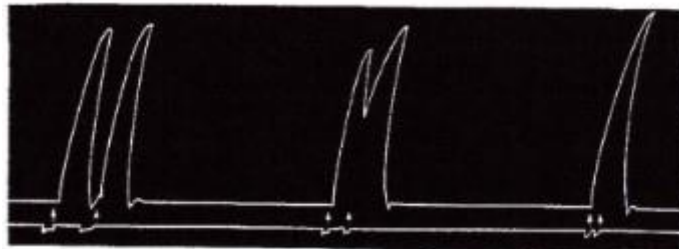


Figure 2

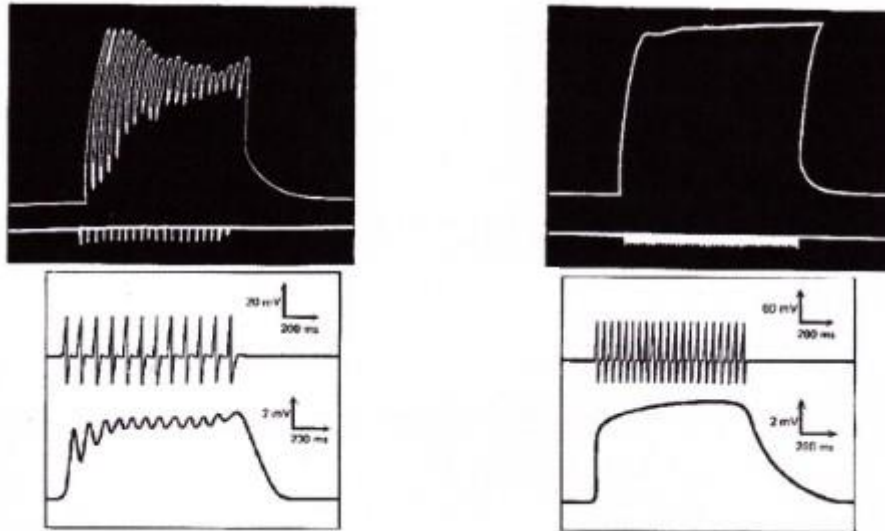


Chaleur initiale (i) et chaleur retardée (r) pendant la secousse musculaire.

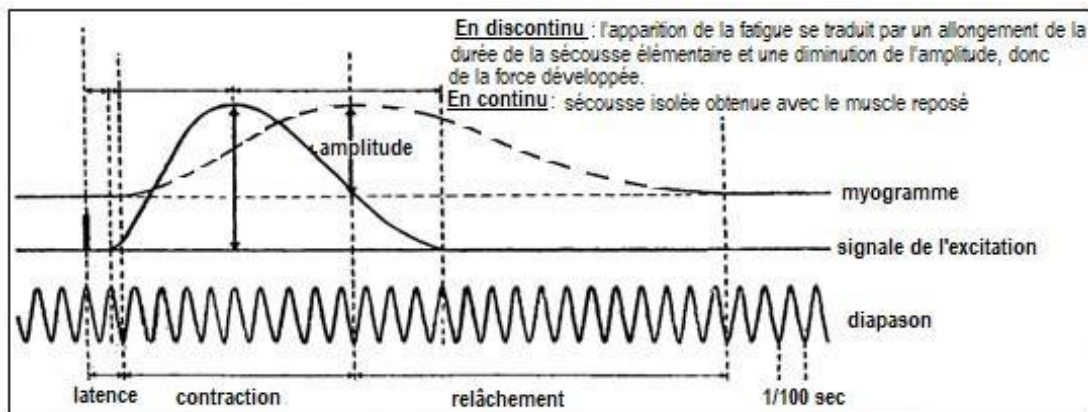
PRODUCTION DE CHALEUR AU COURS DE LA CONTRACTION



REPONSE DU MUSCLE A DEUX SIMULATIONS SUCCESSIVES



REPONSE DU MUSCLE A PLUSIEURS STIMULATIONS SUCCESSIVES

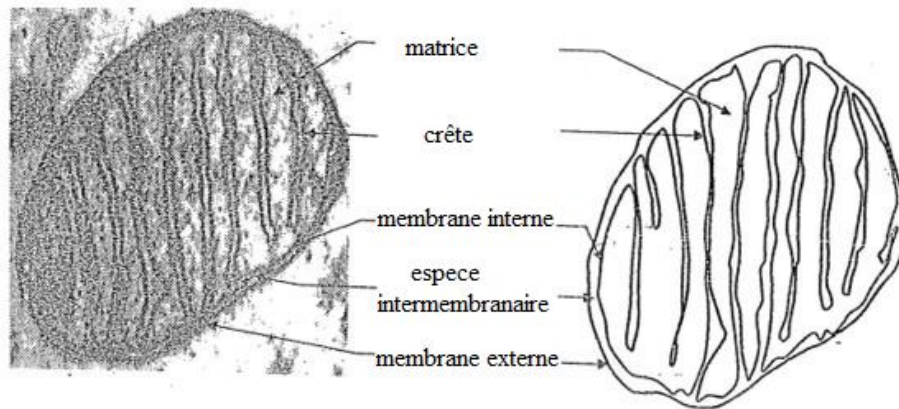


REPONSE COMPAREE D'UN MUSCLE NORMAL ET D'UN MUSCLE FATIGUE

1-

Constituants du muscle	Muscle au repos	Muscle en activité
O ₂	13	40
CO ₂	0,5	1,5
Acide lactique	0	1
Glycogène	25	10
ATP	38	38

TABLEAU DE MESURE DES CONSTITUANTS DU MUSCLE



SCHEMA D'UNE MITOCHONDRIE