

Introduction:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

I – Etude expérimentale de la contraction musculaire

① **Méthode d'enregistrement des contractions musculaires:** (Voir document 1)

Document 1: Enregistrement de la contraction musculaire chez la grenouille:

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

- On place l'animal sur une planchette, la face ventrale contre le liège, et on fixe le genou de l'un des deux membres inférieurs.
- On enlève la peau de la patte immobilisée, et on dégage le muscle gastrocnémien, et le nerf sciatique (Figure 1).
- On sectionne le tendon inférieur du muscle et on le relie par un fil à un myographe.
- On place des électrodes d'excitation à la surface du nerf sciatique ou à la surface du muscle.
- On provoque ensuite des excitations électriques et on enregistre la contraction musculaire à l'aide du stylet inscripteur qui marque du papier fixé sur un cylindre enregistreur, animé d'un mouvement de rotation uniforme et réglable.

- 1) Donnez les noms correspondants aux numéros de la figure 2, puis dégager les conditions expérimentales permettant d'enregistrer la contraction musculaire.
- 2) Dégager deux propriétés caractérisant le muscle.

Figure 1: préparation de l'animal

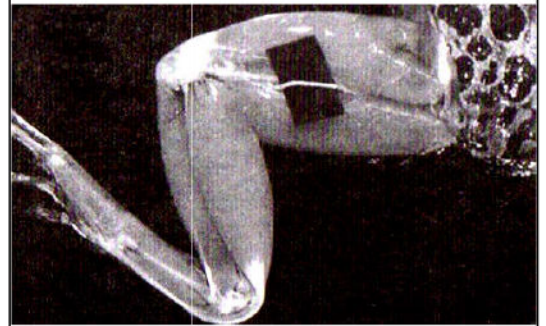
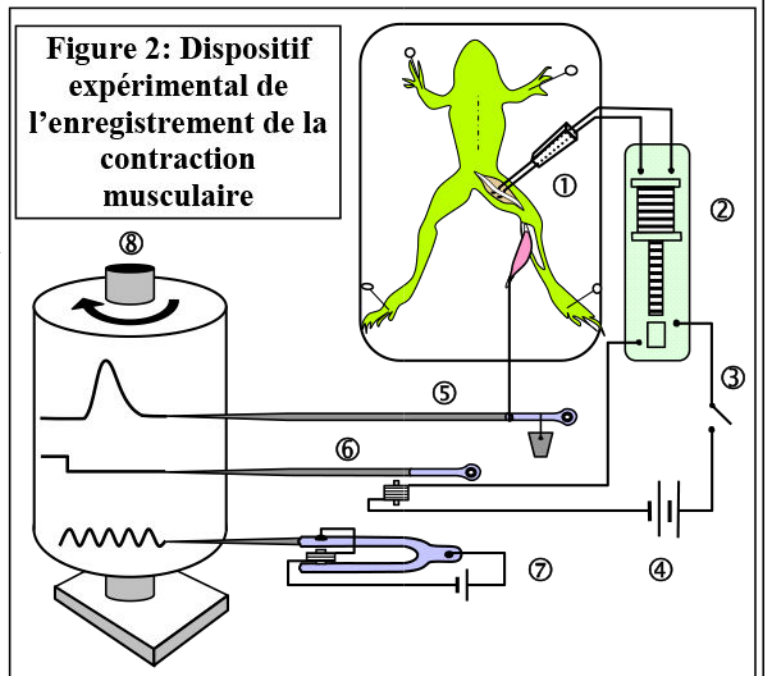


Figure 2: Dispositif expérimental de l'enregistrement de la contraction musculaire



1) Les noms correspondants aux numéros de la figure 2 :

Pour réaliser l'étude expérimentale de la contraction musculaire:

2)

② Réponse du muscle aux excitations électriques:

a) Cas d'une excitation unique: (Voir document 2)

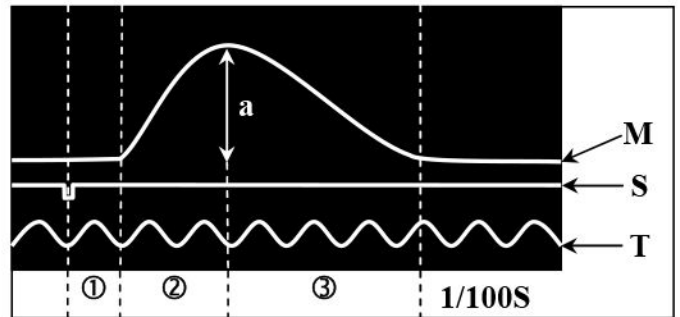
Document 2: Réponse du muscle à une excitation unique:

Le document ci-contre représente l'enregistrement obtenu suite à l'application d'une excitation unique et efficace.

M = Myogramme ; S = Signal d'excitation ; T = Chronographe ; a = amplitude

① = ; ② = ; ③ =

Décrivez la réponse musculaire enregistrée.



b) Cas de plusieurs excitations à intensité croissante: (Voir document 3)

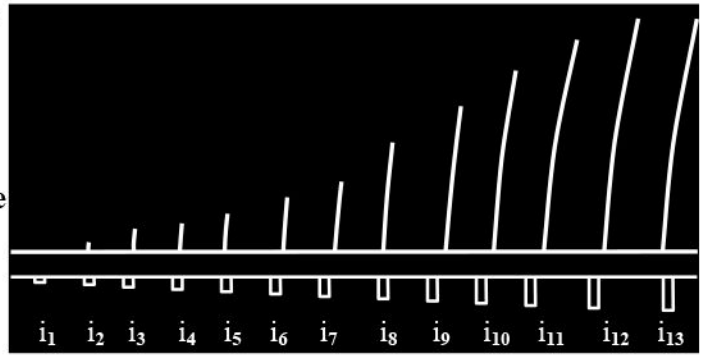
Document 3: Réponse du muscle à plusieurs excitations:

On soumet un muscle gastrocnémien de grenouille à une série d'excitations isolées ($i_1, i_2, i_3, \dots, i_{13}$), d'intensité croissante.

Le cylindre enregistreur est immobile, et on le tourne à la main après chaque excitation.

Le myogramme obtenu est représenté par la figure ci-contre.

Décrire les résultats obtenus puis établir la relation entre l'intensité de l'excitant et l'amplitude de la réponse.

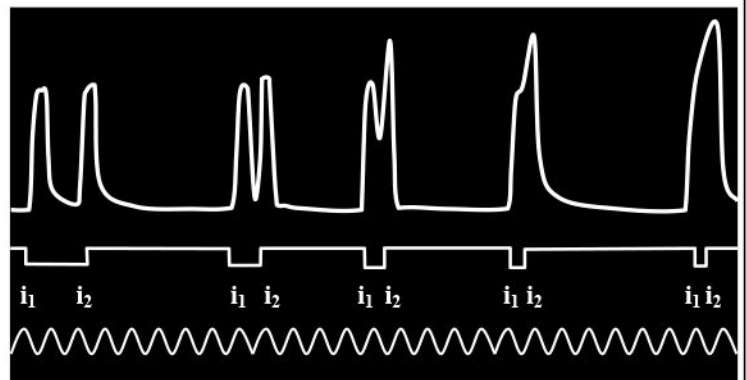


c) Cas de deux excitations rapprochées: (Voir document 4)

Document 4: Réponse du muscle à deux excitations efficaces rapprochées :

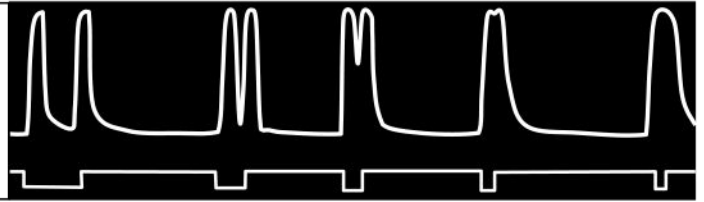
On soumet plusieurs fois, un muscle à deux excitations efficaces successives de même intensité (i_1, i_2). A chaque fois, on diminue l'intervalle de temps entre les deux excitations. On obtient alors les myogrammes représenté par la figure ci-contre.

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



Remarque :

Si on répète l'expérience précédente, mais en utilisant des excitations d'intensité provoquant la réponse maximale du muscle,

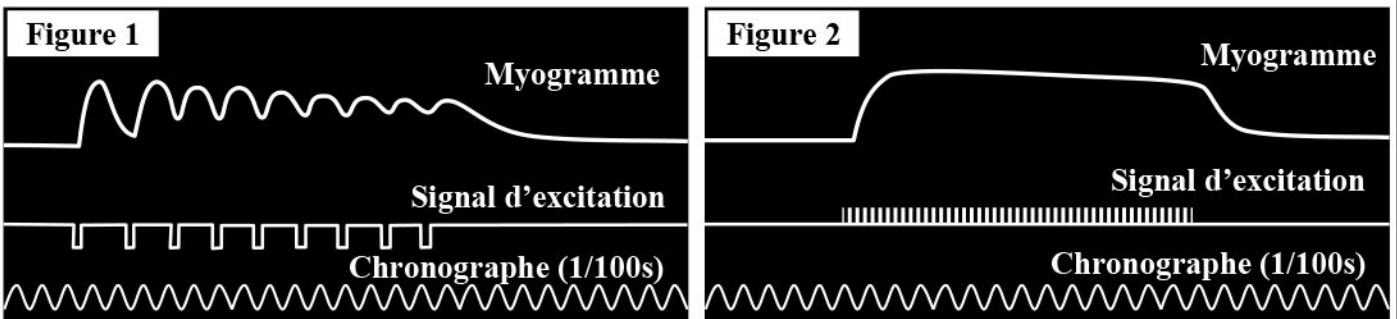


d) Cas d'une série d'excitations successives: (Voir document 5)

Document 5 : Réponse du muscle à une série d'excitations efficaces:

On soumet un muscle à une série d'excitations efficaces successives de même intensité tout en variant la fréquence des excitations :

- Avec une fréquence de 12 excitations par secondes on obtient le myogramme de la figure 1.
- Avec une fréquence de 32 excitations par secondes on obtient le myogramme de la figure 2.

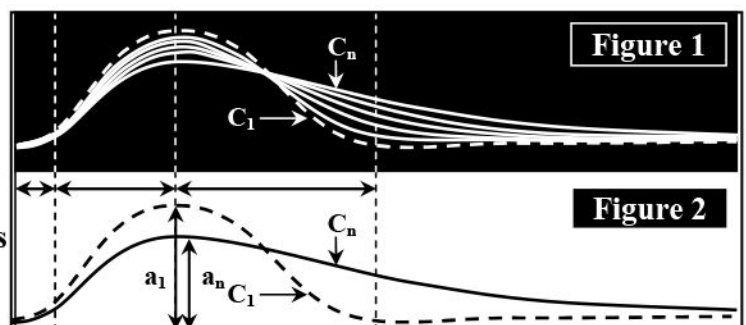


Comparez les myogrammes de la figure 1 et la figure 2 et expliquez les phénomènes observés.

e) Effet de la fatigue sur la contraction musculaire: (Voir document 6)

Document 6: la fatigue musculaire :

★ On applique sur un muscle une série d'excitations de même intensité pendant une durée très longue. A fin d'obtenir une superposition des enregistrements, on règle la vitesse de rotation du cylindre enregistreur de tel sorte qu'une excitation unique se produit à chaque tour. Les résultats sont représentés par la figure 1 et la figure 2.



Document 6 (Suite): la fatigue musculaire :

C_1 = la secousse musculaire d'amplitude a_1 , obtenue à la suite de la première excitation.

C_n = la secousse musculaire d'amplitude a_n , obtenue à la suite de la dernière excitation.

★ On soumet un muscle à une série d'excitations efficace de même intensité et à une fréquence très élevée. On obtient le tracé appelé courbe de fatigue (Figure 3).

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

Myogramme

Figure 3

Signal d'excitation



II – Les phénomènes accompagnant la contraction musculaire

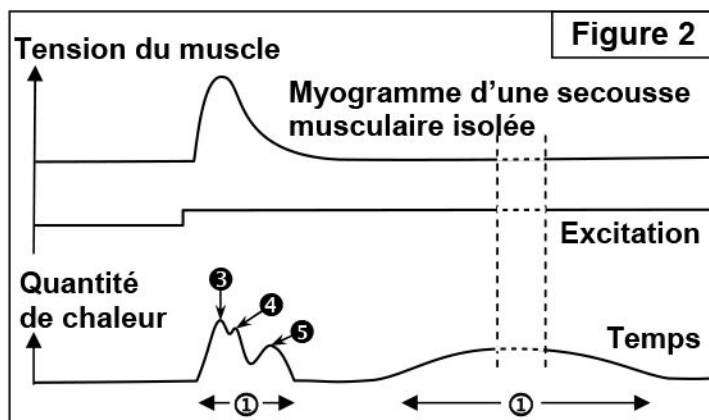
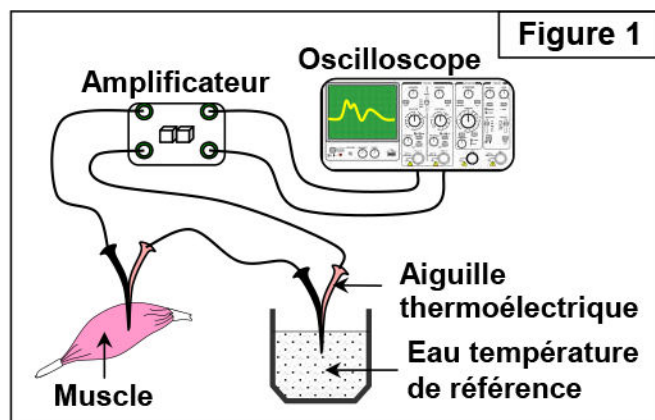
Les différents aspects de la contraction musculaire constituent les phénomènes mécaniques. Ces derniers s'accompagnent de phénomènes thermiques, chimiques et énergétiques.

① Les phénomènes thermiques:

a) **Protocole expérimental:** (Voir document 7)

Document 7: Phénomènes thermiques accompagnant la contraction:

Pour mesurer la chaleur dégagée lors de la contraction musculaire, Hill et Haltrée ont utilisé 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).



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

L'expérience de Hill étant refaite en milieu anaérobie, on constate le dégagement de la chaleur ①, mais la chaleur ② est pratiquement nulle.

2) Que peut-on conclure de ces résultats?

b) Exploitation des résultats:

1)

2)

① Les phénomènes chimiques et énergétiques:

a) Données expérimentales: (Voir document 8)

Document 8: Phénomènes chimiques et énergétiques accompagnant la contraction musculaire:

★ On analyse le sang à l'entrée et à la sortie d'un muscle au repos et après une activité musculaire.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-contre.

- 1) Comparez les besoins d'un muscle en activité et au repos. Que peut-on déduire?

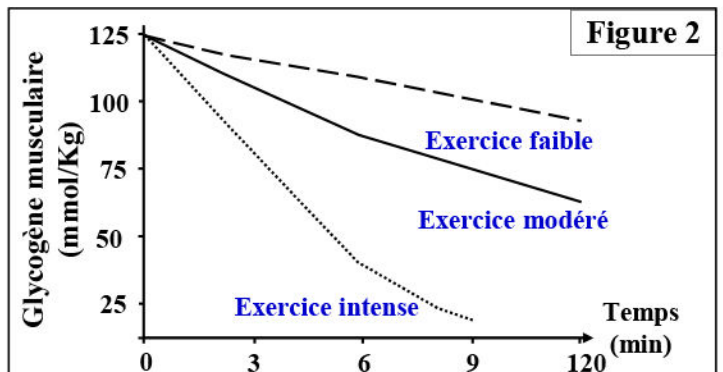
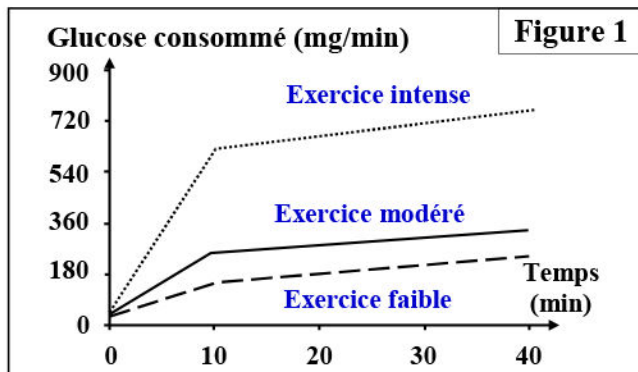
Paramètres sanguins (par heure et par Kg de muscle)	Muscle au repos	Muscle en activité
Volume de sang traversant le muscle	12.220 l	56.325 l
O ₂ consommé	0.307 l	5.207 l
CO ₂ rejeté	0.220 l	5.950 l
Glucose utilisé	2.042 g	8.432 g
Protides utilisés	0 g	0 g
Lipides utilisés	0 g	0 g

★ Le tableau ci-contre, présente les variations de la consommation du dioxygène et de la concentration de l'acide lactique en fonction de l'intensité de l'effort musculaire exprimée en énergie fournie.

- 2) Décrire les résultats présentés par ce tableau et déduire les sources d'énergie nécessaires à la contraction musculaire.

Energie fournie (KJ/min)	Consommation d'O ₂ (l/min)	Acide lactique (g/l)
44	2.17	Traces
52	2.8	Traces
58.5	3.01	Traces
68	3.04	1.95
79.5	3.04	13.43
92	3.04	26.8
101	3.04	37.66

★ Au cours de trois exercices musculaires d'intensité croissante, on mesure les variations de la consommation de glucose par les muscles des jambes (Figure 1), et les variations de la teneur en glycogène dans les muscles des jambes (Figure 2).



- 3) Décrire les résultats représentés sur la figure 1 et 2 de ce document. Expliquez les variations observées.

b) Exploitation des résultats:

- 1)
- 2)
- 3)

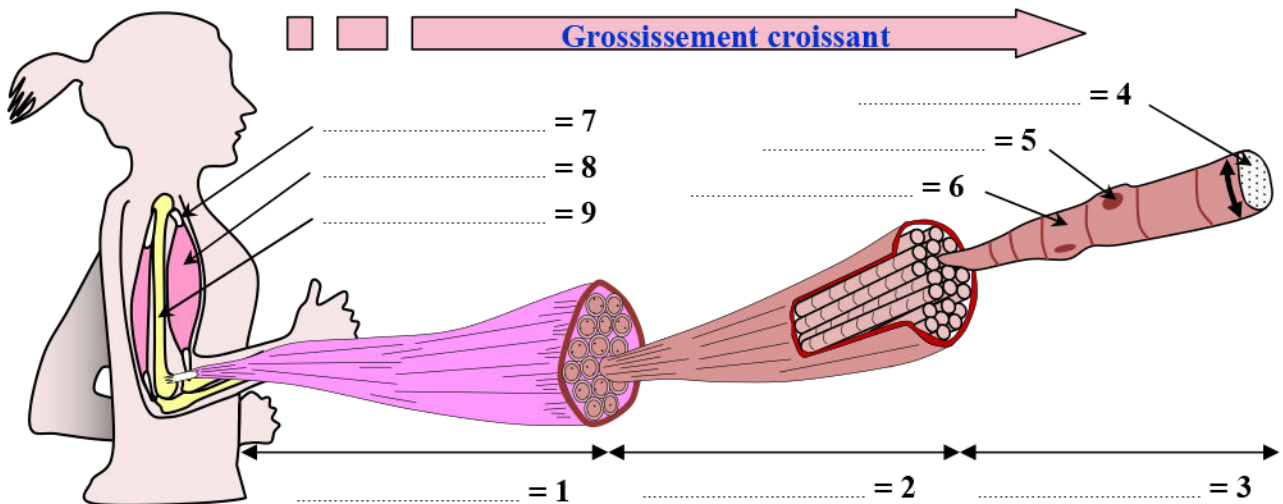
III – Structure et ultrastructure du muscle squelettique strié.

① Structure du muscle squelettique strié:

a) Observations à l'œil nu: (Voir document 9)

Document 9 : Structure du muscle strié squelettique.

Les muscles sont capables de réaliser des mouvements diversifiés grâce à la contractilité. Quelles sont donc les caractéristiques structurales qui confèrent au muscle la propriété de se contracter? La figure ci-dessous est un schéma explicatif présentant les différents niveaux d'organisation d'un muscle:



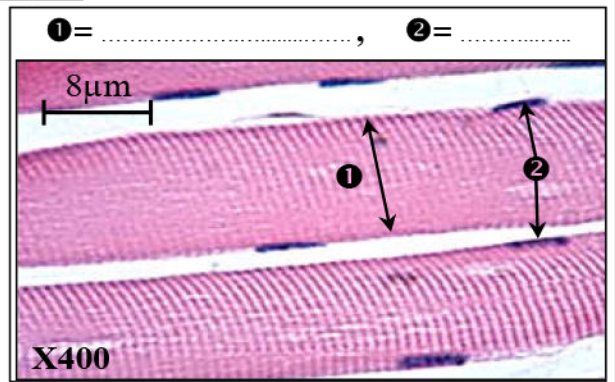
Annotez le schéma puis dégagez les constituants essentiels du muscle squelettique strié, et déterminez quelques caractéristiques de ces constituants.

b) Observations au microscope optique: (Voir document 10)

Document 10 : Structure du muscle strié squelettique.

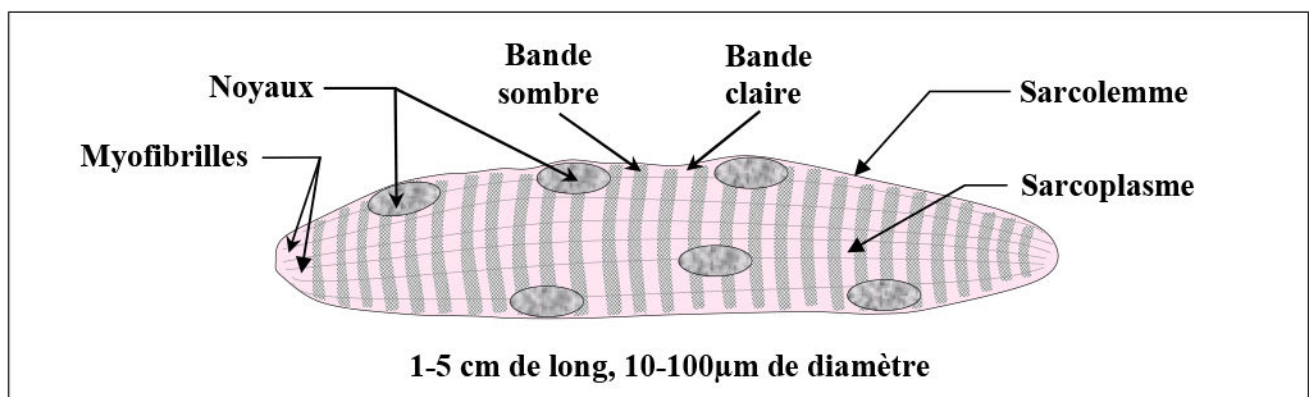
La figure ci-contre représente une observation microscopique d'une coupe longitudinale d'une partie d'un muscle squelettique strié.

- 1) Décrivez la structure de la fibre musculaire et justifiez l'expression «muscle strié».
- 2) Donnez un dessin explicatif légendé de la structure de la fibre musculaire, du muscle squelettique strié.



1)

- 2) Dessin explicatif de la structure de la fibre musculaire strié:



② Ultrastructure du muscle squelettique strié:

Pour définir l'ultrastructure du muscle squelettique strié, on utilise le microscope électronique qui permet d'observer en détails les divers organites qui le compose.

a) Observations au microscope électronique:

Afin d'identifier les éléments impliqués lors de la contraction musculaire, on suggère d'exploiter les données du document 11:

Document 11: Ultrastructure du muscle squelettique strié.

La figure 1, représente une observation au microscope électronique d'une coupe longitudinale d'une fibre musculaire.

On exploitant les données de ce document, expliquer l'aspect strié que montrent les fibres musculaires à l'observation au microscope, puis annotez le schéma de la figure 3.

Figure 1: Observation microscopique

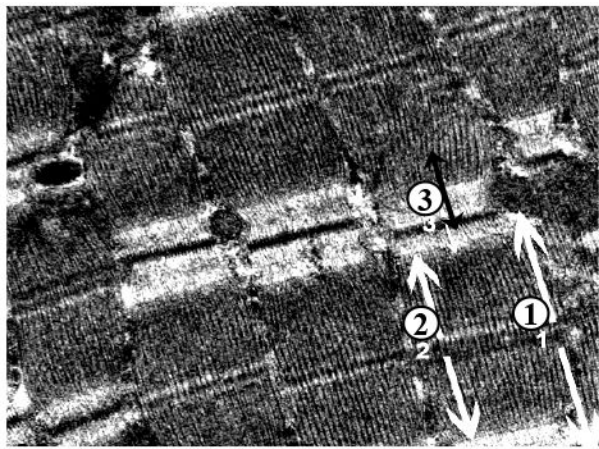


Figure 3: coupe d'une fibre musculaire

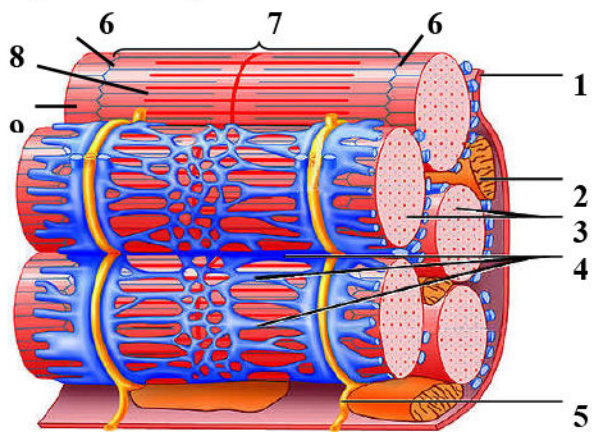
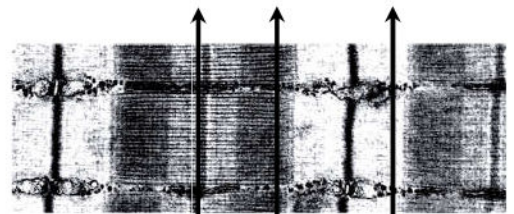
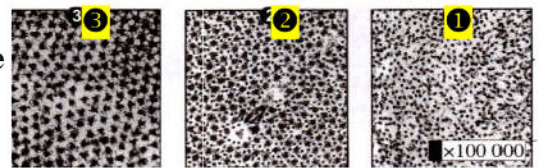


Figure 2: On fait des coupes transversales à plusieurs niveaux de la myofibrille: A, B et C. On obtient respectivement le résultat ①, ② et ③.

Coupe longitudinale de la myofibrille x15000



Coupes Transversales de la myofibrille x100000



Schémas explicatifs des Coupes longitudinale

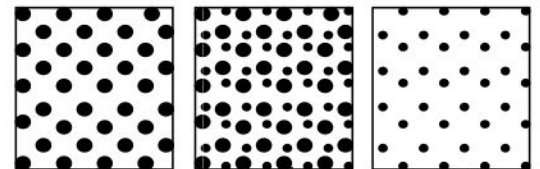
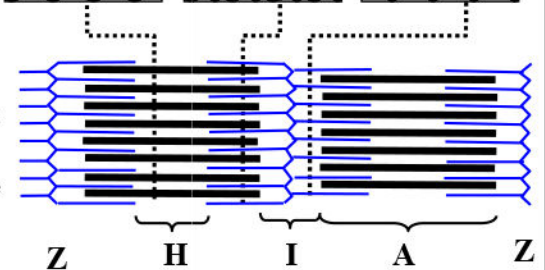
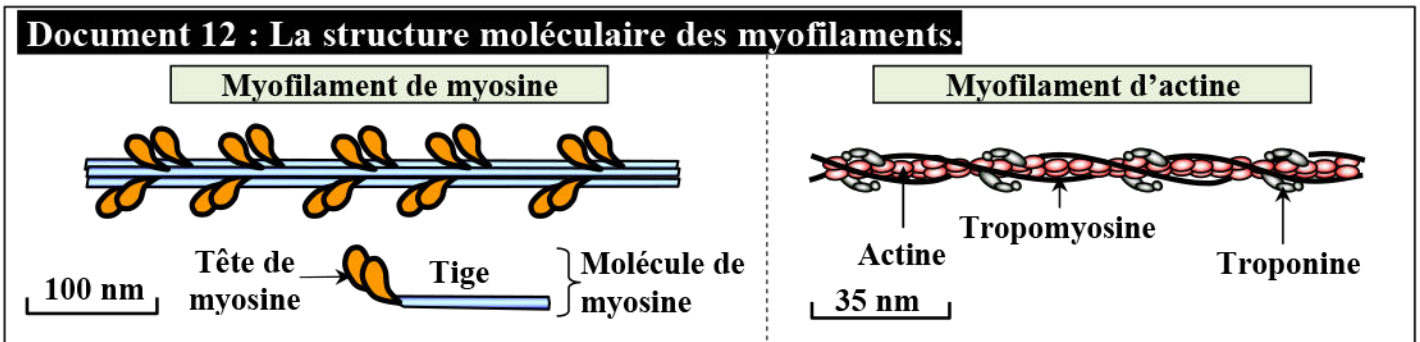


Schéma d'interprétation de la coupe longitudinale de la myofibrille



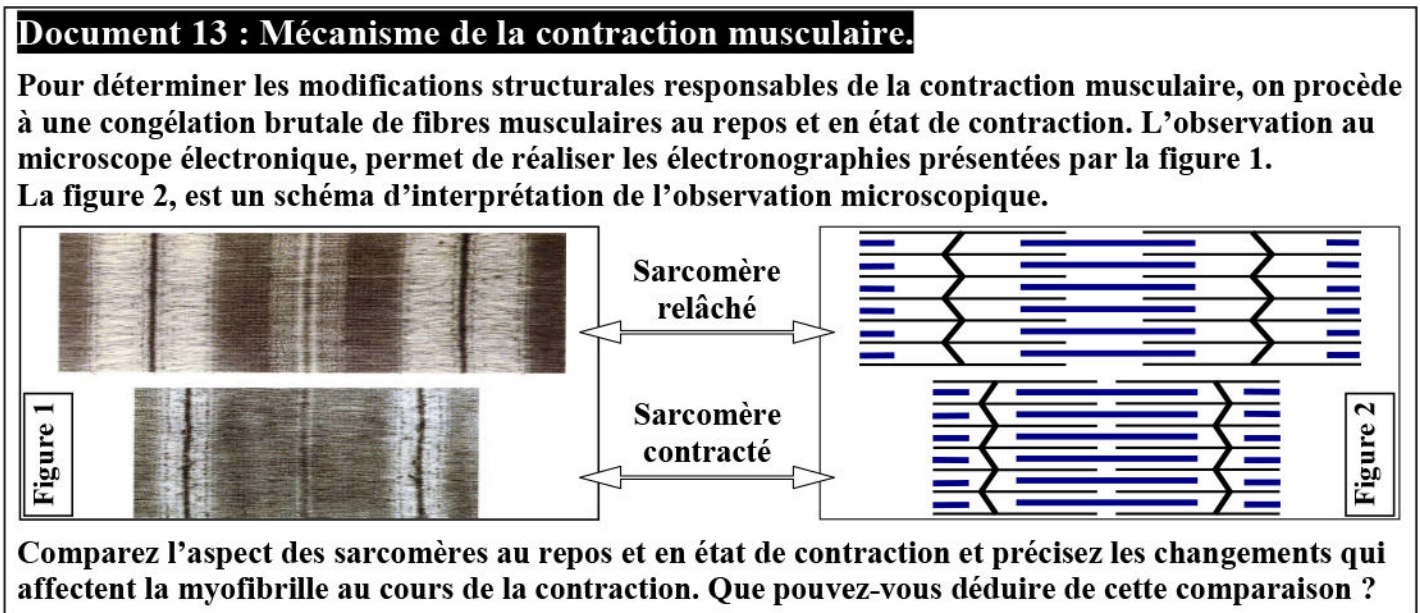
b) La structure moléculaire des myofilaments:



IV – Mécanisme de la contraction musculaire.

① En quoi consiste la contraction musculaire ?

a) Observations microscopiques: (Voir document 13)



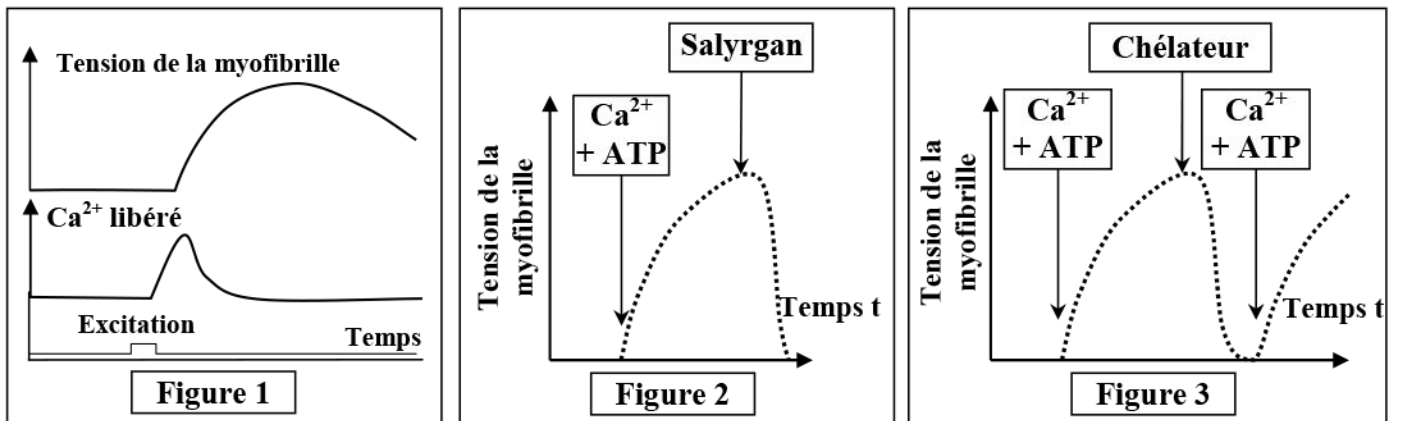
b) Interprétation des résultats:

② Mécanisme du glissement des myofilaments.

a) Exigences de la contraction musculaire: (Voir document 14)

Document 14 : Les exigences de la contraction musculaires.

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.

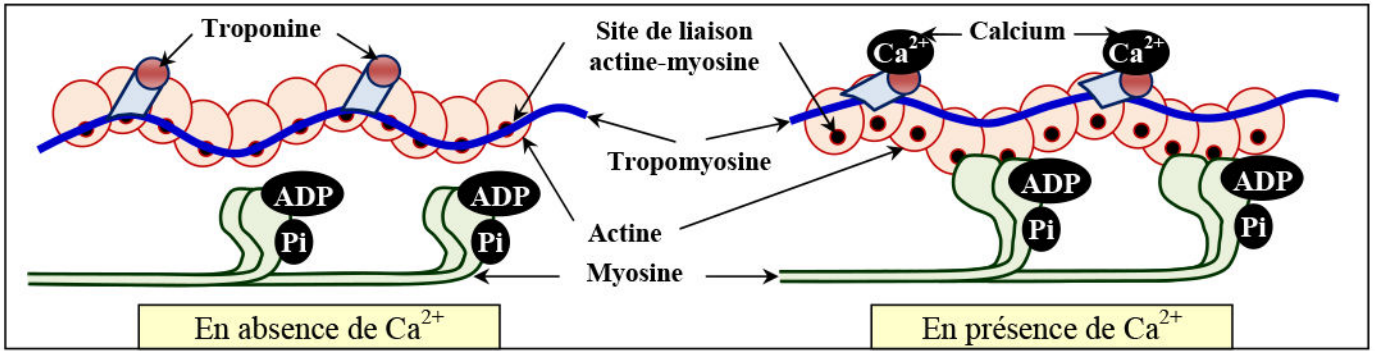


Analysez ces résultats et déduisez les conditions nécessaires à la contraction musculaire.

Document 15 : Rôle des ions calcium au cours de 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 de démasquer le site de fixation de la tête de myosine sur l'actine, et par suite, la fixation de myosine sur l'actine et la formation des complexes actomyosines.

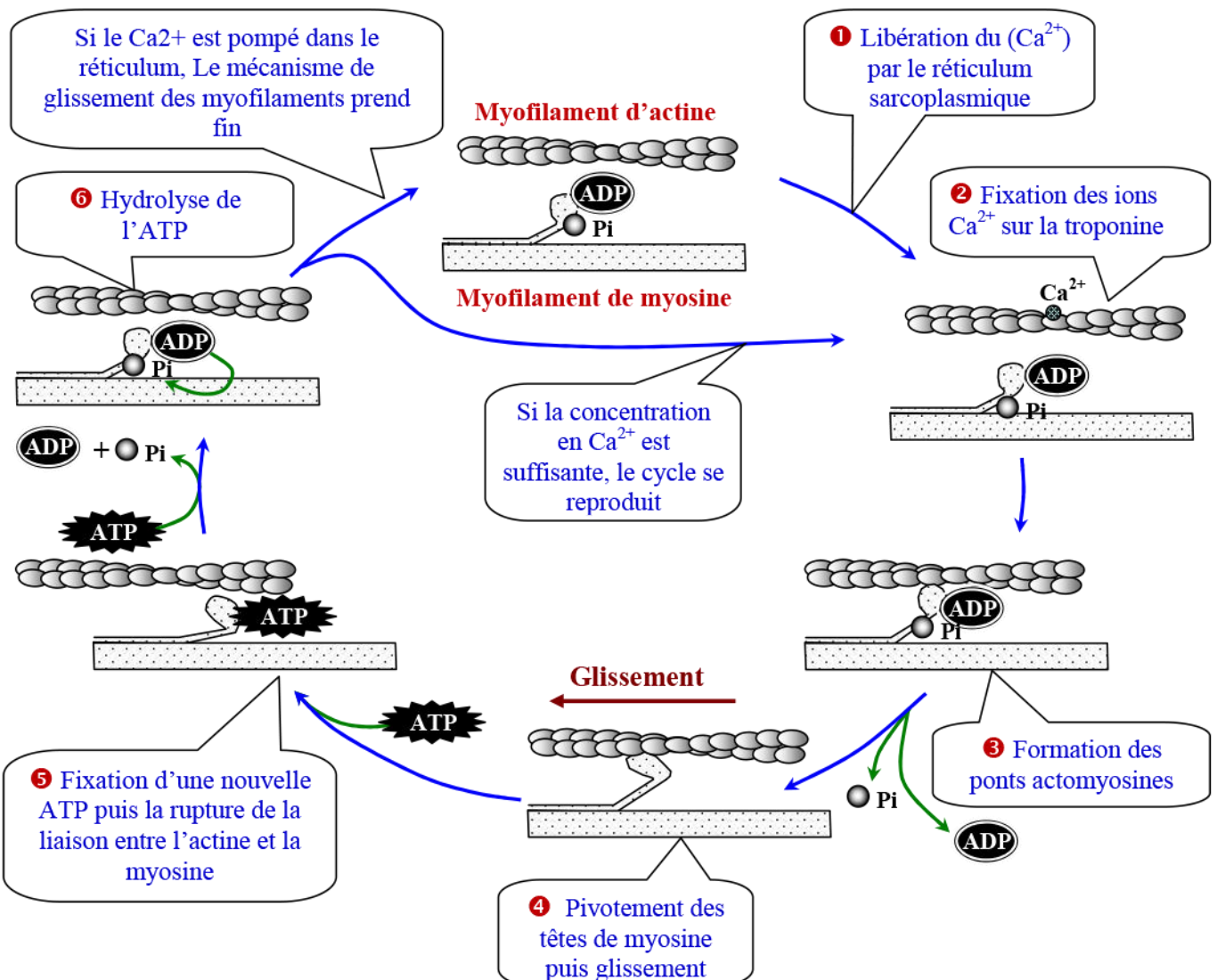


b) Mécanisme du glissement des myofilaments. (Voir document 16)

Document 16 : Les différentes étapes de la contraction.

Le schéma ci-dessous présente les différentes étapes de la contraction.

A partir de ce schéma, réalisez un résumé de synthèse sur les étapes de la contraction musculaire.



Etape 1:

Etape 2:

Etape 3:

Etape 4:

Etape 5:

V – Régénération de l'ATP au cours de la contraction musculaire:

① Mise en évidence d'un renouvellement d'ATP : (Voir document 17)

Document 17: Mise en évidence d'un renouvellement d'ATP.

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

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

② Les voies de renouvellement de l'ATP :

a) Données expérimentales. (Voir document 18)

Document 18 : Les voies de renouvellement de l'ATP.

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

- A : muscle n'ayant subi aucun traitement.
- B : muscle traité par une substance bloquant la glycolyse.
- C : muscle traité de façon à bloquer la glycolyse et l'utilisation de la phosphocréatine (Composé phosphaté riche en énergie et présent en abondance dans le muscle).

Constituants musculaires		Avant la contraction	Après la contraction		
			Expérience A	Expérience B	Expérience C
g/Kg de muscle frais	Glycogène	1.08	0.8	1.08	1.08
	Acide lactique	1	1.30	1	1
mmol/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

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

b) Analyse et interprétation.

Expérience A:

.....

.....

.....

Expérience B:

.....

.....

.....

Expérience C:

.....

.....

.....

c) Conclusion : Les voies de renouvellement de l'ATP.

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

★ Voies anaérobies immédiates:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

★ **Voies anaérobies de moyenne vitesse:**

.....

.....

.....

⇒ Hydrolyse du glycogène:

.....

.....

⇒ Fermentation lactique:

.....

.....

★ **Voies aérobies lentes:**

.....

.....

.....

③ **Relation entre le type de métabolisme énergétique et intensité/durée de l'effort musculaire:**
(Voir document 19)

Document 19 : Relation entre métabolisme énergétique et intensité/durée de l'effort musculaire.

Les muscles sont constitués de deux grands types de cellules : des fibres de type I et des fibres de type II (Voir tableau sur la figure 1).

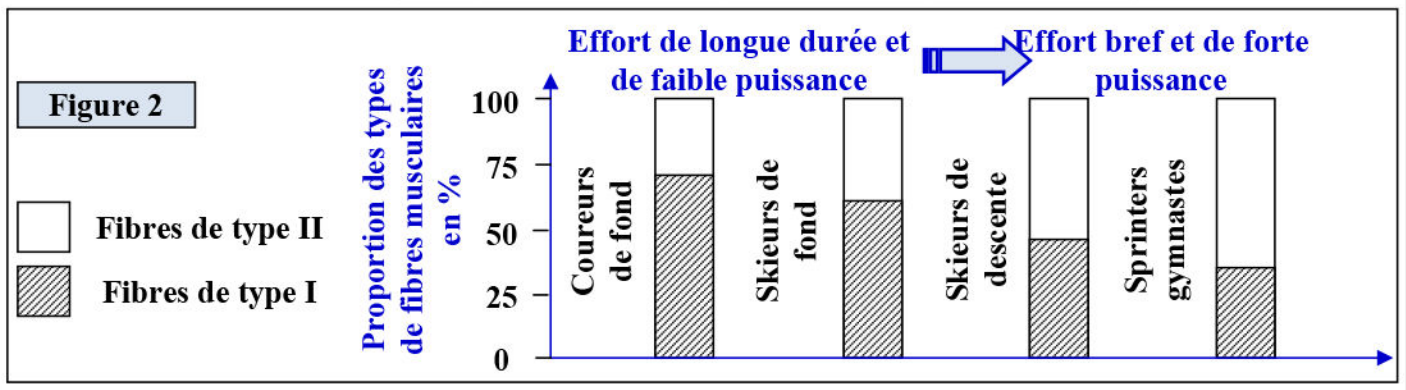
- 1) En exploitant le document 1, et à l'aide de vos connaissances, donnez les caractéristiques de chaque type de fibres musculaires en relation avec son métabolisme énergétique.

La figure 2, présente les pourcentages des deux types de fibres I et II chez différents athlètes.

- 2) En exploitant l'ensemble des figures de ce documents, montrez que les athlètes présentent des caractéristiques physiologiques associées aux particularités de leur sport.

Document 19 (Suite): Relation entre métabolisme énergétique et intensité/durée de l'effort musculaire.

Figure 1		Fibre de type I	Fibre de type II
Structure	Couleur	Rouge	Blanc
	Diamètre	Petit	Grand
	Présence de mitochondries	Forte	Faible
	Présence de capillaires	Forte	Faible
	Densité de fibres par unité motrice	Faible	Elevée
Biochimie	Myosine ATPase	Faible	Elevée
	Capacité glycolytique	Faible	Elevée
	Capacité oxydative	Elevée	Faible
Mécanique	Vitesse de contraction	Lente	Rapide
	Résistance à la fatigue	Résistante	Sensible
	Force musculaire	Faible	Importante



1)

2)

Bilan: