

# ÉTINCELLE

# SVT

Manuel de l'élève

## Auteurs

**Esserraj abderrahim**  
Inspecteur pédagogique  
grade principal  
cycle secondaire qualifiant  
(Coordinateur)

**Talbi Houda**  
Inspectrice pédagogique  
cycle secondaire qualifiant

**Aicha BATANE**  
Professeur du cycle  
secondaire qualifiant

**Fatima Zohra  
Essakali el houssaini**  
Professeur du cycle  
secondaire qualifiant

**Abdesslam Sif**  
Professeur du cycle  
secondaire qualifiant

# Rôle du muscle squelettique dans le transfert d'énergie

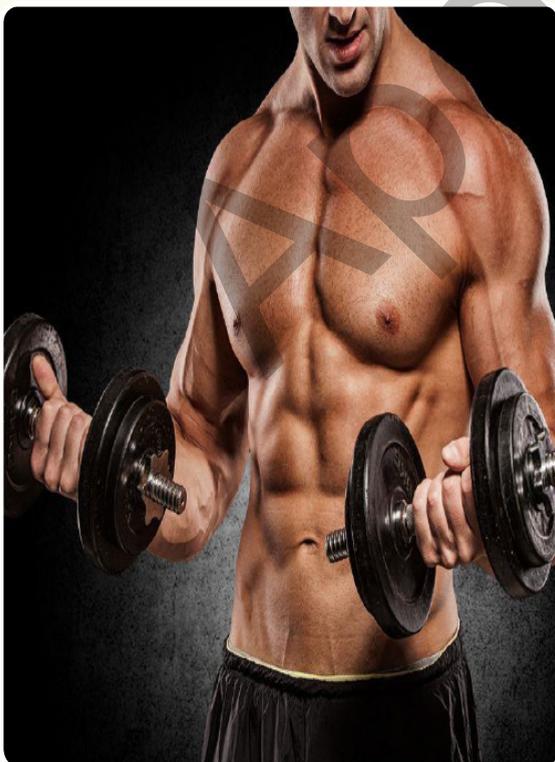
## Prérequis

- Fonctions de nutrition : respiration, circulation, alimentation ...
- Communication nerveuse et notion de plaque motrice
- La cellule musculaire est une cellule cible pour l'hormone insuline, capable de stocker le glucose sous forme de glycogène.
- Lors de la respiration et la fermentation il y a conversion de l'énergie chimique emmagasinée dans les métabolites organiques en énergie ATP.

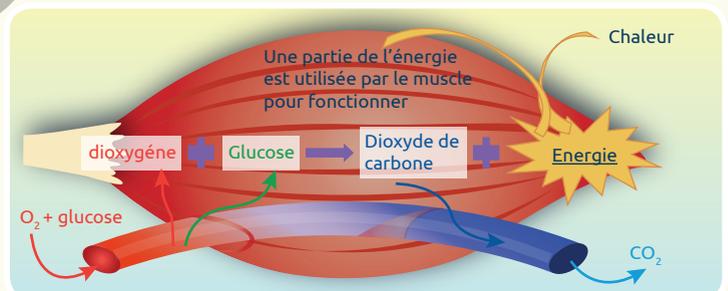
## Compétences à réaliser

- Comprendre l'importance de l'énergie dans l'activité cellulaire et prendre conscience de son rôle dans le maintien des fonctions vitales de l'organisme.
- S'appropriier quelques principes de représentation des phénomènes physiologiques par des modèles.
- Utiliser différents modes de communication scientifique par l'expression écrite, orale et graphique.
- Utiliser des appareils et des instruments d'observation et d'expérimentation.
- Appliquer les démarches de raisonnement scientifique.

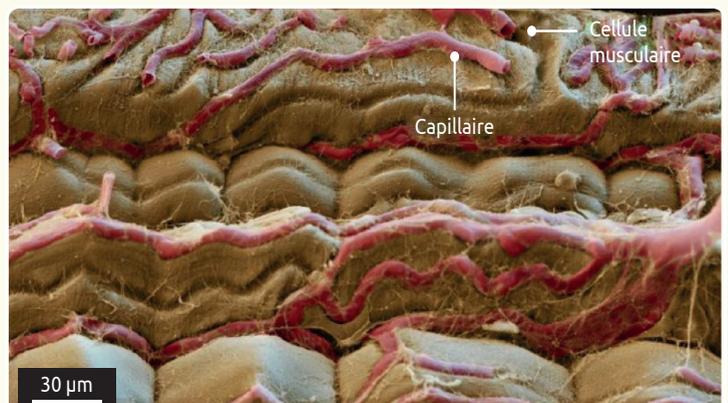
## Documents pour s'interroger :



Le muscle en se contractant permet le déplacement de l'haltère



Le fonctionnement des muscles nécessite des nutriments et du dioxygène pour produire de l'énergie.



Fibre musculaire observée en microscope électronique

Les cellules vivantes utilisent l'énergie de l'ATP pour la réalisation d'activités diverses. Parmi ces activités, il y a le mouvement mécanique qui résulte de la contraction des muscles striés squelettiques, ce qui représente une dépense énergétique importante. Les réserves des cellules musculaires en ATP, extrêmement faibles, seraient presque immédiatement épuisées s'il n'existait pas plusieurs mécanismes de restauration de l'ATP.

- Quelles sont les structures cellulaires responsables de la contraction musculaire ?
- Comment la contraction musculaire permet la conversion de l'énergie chimique ATP en énergie mécanique et quelles sont les voies de restauration d'ATP ?
- Quels sont les phénomènes accompagnant la contraction musculaire ?



## Activités à découvrir

- **Activité 1** : L'étude expérimentale de l'activité mécanique du muscle strié squelettique 16
- **Activité 2** : Les phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire 18
- **Activité 3** : La structure et l'ultrastructure du muscle squelettique strié 20
- **Activité 4** : Le mécanisme de la contraction musculaire 22
- **Activité 5** : Les voies de restauration d'ATP lors d'un exercice musculaire 24

**Objectifs d'apprentissage**

- Réaliser une étude expérimentale de la contraction musculaire.
- Connaître la notion secousse musculaire.
- Établir la relation entre l'aspect de la secousse, la fréquence et l'intensité de la stimulation.

# L'étude expérimentale de l'activité mécanique du muscle strié squelettique

La contraction musculaire est une consommation d'énergie chimique ATP pour la production d'une force (tension musculaire) permettant la réalisation d'un travail mécanique et le maintien de la posture.

→ Comment peut-on enregistrer les manifestations mécaniques de l'activité musculaire ?

## A L'enregistrement de la contraction musculaire chez la grenouille

**Doc. 1** Dispositif expérimental pour étudier la contraction musculaire chez la grenouille

**Expérience :**

- Détruire l'encéphale et la moelle épinière d'une grenouille.
- Fixer le genou de la grenouille sur la boîte à dissection à l'aide d'une épingle.
- Réaliser une incision de la peau le long du membre inférieur pour dégager le muscle de la cuisse, le nerf sciatique et le muscle du mollet (le gastrocnémien).
- Couper le tendon d'Achille et lier le au système d'enregistrement.
- Exciter le muscle directement en déposant les électrodes excitatrices sur le muscle, ou indirectement en déposant ces électrodes sur le nerf sciatique.
- Pour enregistrer la contraction musculaire, on se sert d'un appareil nommé myographe.

Le principe du myographe consiste à amplifier au moyen d'un levier le raccourcissement musculaire. Le tendon du muscle gastrocnémien (1) d'une grenouille est attaché par un fil (2) à un levier, lequel écrit sur un cylindre enregistreur (3). Quand le muscle est relâché le levier est ramené à sa position d'équilibre sous l'action d'un poids (4). Appareil de réglage de l'intensité, la durée et la fréquence des stimuli (5); Electrode de stimulation (6). (M) Myogramme ; (S) Moment de la stimulation ; (T) indicateur du temps.

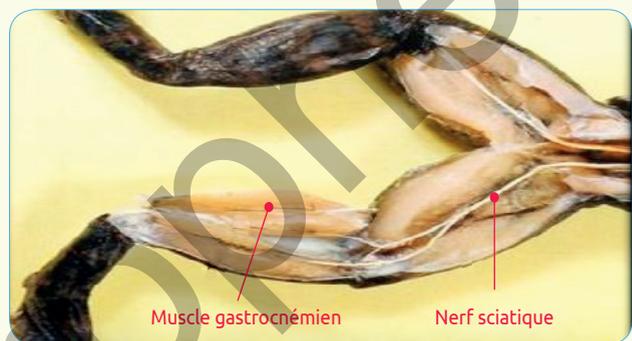


Fig.a : Dissection du membre inférieur d'une grenouille

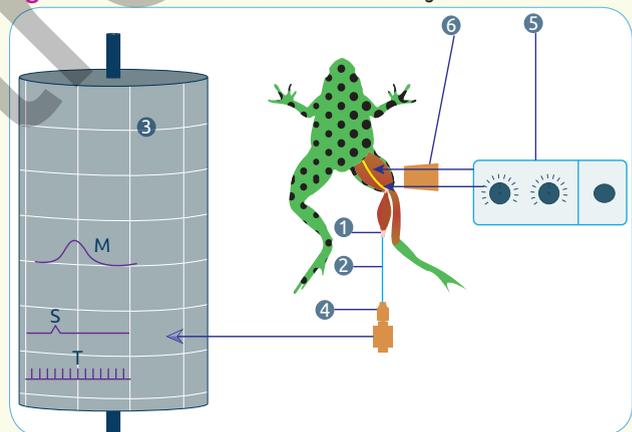


Fig.b : Système d'enregistrement de la contraction musculaire

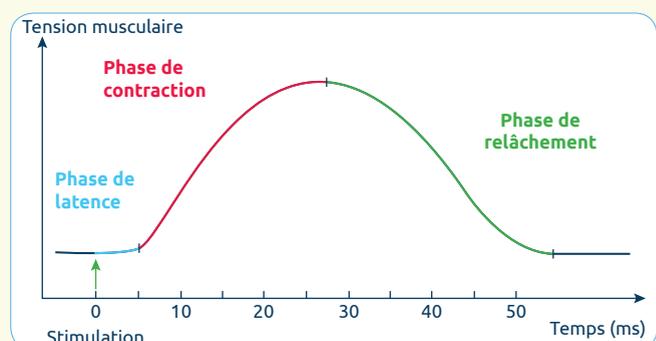
**Doc. 2** Notion d'une secousse musculaire

On stimule le muscle gastrocnémien (en utilisant le dispositif du document 1) par une excitation unique et efficace, il se produit un raccourcissement et un relâchement du muscle : une secousse musculaire.

Cette réponse du muscle est enregistrée par un myographe.

Le tracé obtenu est un myogramme.

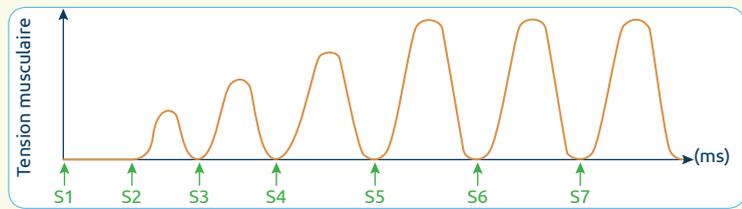
Réponse mécanique d'un muscle à une stimulation unique. ▶



## B La réponse mécanique d'un muscle selon les conditions d'excitations

### Doc. 3 Notion de sommation spatiale

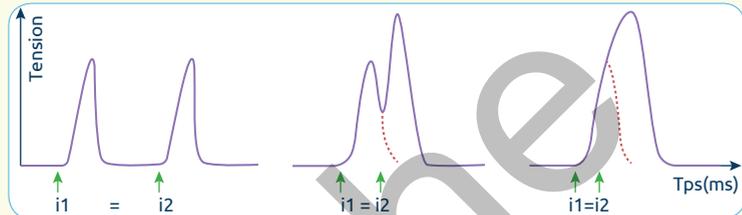
Avec le même dispositif expérimental du document 1, on applique sur le nerf sciatique lié au muscle gastrocnémien une série de stimulations successives d'intensité de voltage croissante comprises entre  $S_1=100$  mV et  $S_7=700$  mV. L'enregistrement obtenu est représenté dans la figure ci-contre.



► Réponse musculaire à une série de stimulations efficaces successives et d'intensité croissante.

### Doc. 4 Notion de sommation temporelle

On soumet un muscle à deux stimulations efficaces successives, de même intensité. On répète la manipulation en faisant à chaque fois diminuer l'intervalle de temps qui sépare les deux stimulations. Les myogrammes ci-contre présentent les résultats obtenus.



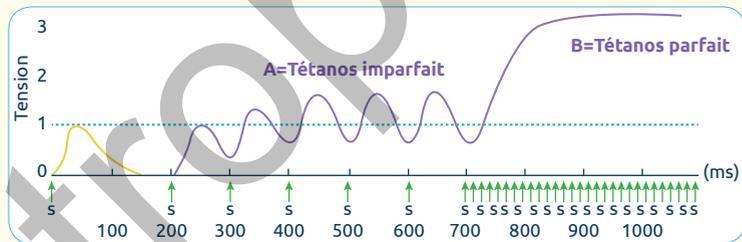
► Réponse du muscle à deux excitations successives.

### Doc. 5 Notion du téétanos

On applique sur un muscle une série de stimulations d'intensité constante mais dont on fait varier la fréquence. Les myogrammes ci-contre présentent les résultats obtenus.

**A** : fréquence de 10 Hz → (10 chocs/s)

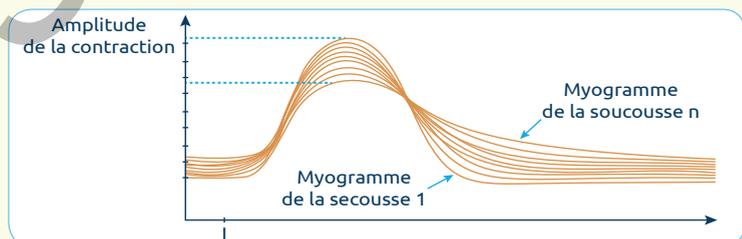
**B** : fréquence de 50 Hz → (50 chocs/s)



► Réponse du muscle à une série d'excitations de même intensité.

### Doc. 6 Fatigue musculaire

On porte une série de stimulation de même intensité sur le muscle gastrocnémien pendant une durée très longue. Afin d'obtenir une superposition des enregistrements, on règle la vitesse de rotation du cylindre de tel sorte qu'une excitation unique se produit à chaque tour. Les résultats représentés ci-contre.



► Réponse du muscle à une série d'excitations de même intensité pendant une longue durée.

### Piste d'exploitation

- 1. Doc 1 + 2 : Analyser** l'enregistrement obtenu et déterminer les différentes phases d'une secousse musculaire
- 2. Doc 3 :** Sachant que le muscle est constitué de plusieurs fibres musculaires, **établir** la relation entre l'intensité des stimulations et l'amplitude des contractions.
- 3. Doc 4 :** **Analyser** les myogrammes obtenus, et **montrer** le phénomène de la sommation temporelle.
- 4. Doc 5 :** **Analyser** et **expliquer** le téétanos parfait et imparfait.
- 5. Doc 6 :** **Analyser** les myogrammes obtenus et **dégager** les manifestations de la réponse d'un muscle fatigué.

### Pour conclure

La secousse musculaire est une courbe qui reflète la réponse musculaire à une stimulation efficace. La réaction du muscle diffère selon l'intensité, la durée et la fréquence des stimulations.

### Lexique

**Latence** : délai entre une action et le déclenchement d'une réaction.

**Téétanos** : maladie infectieuse caractérisée par une contraction prolongée et douloureuse des muscles.

**Objectifs d'apprentissage**

- Connaître les phénomènes chimiques et thermiques qui accompagnent la contraction musculaire et établir la relation avec les sources énergétiques.

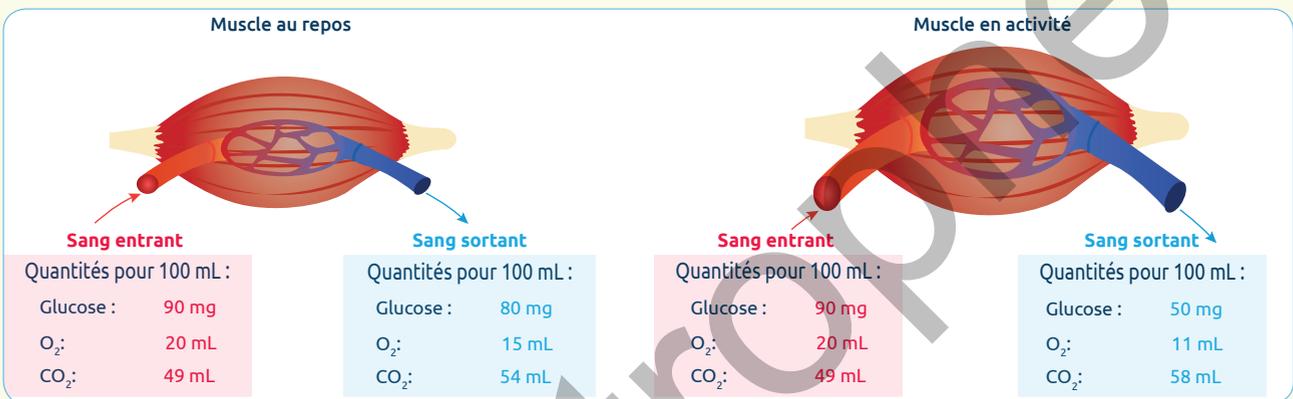
# Les phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire

Toute activité mécanique d'un muscle est accompagnée par un dégagement de chaleur et par des phénomènes chimiques et énergétiques.

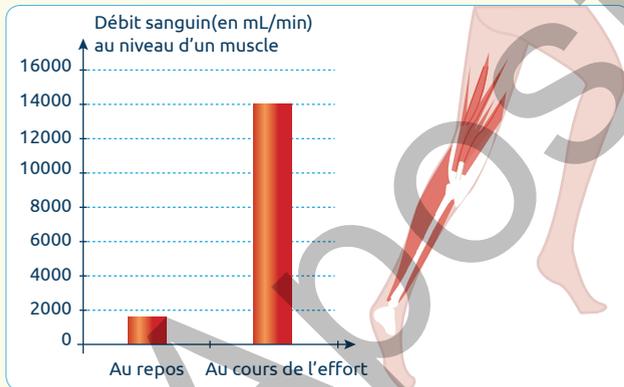
→ Quels sont les phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire ?

## A Les phénomènes chimiques et énergétiques accompagnant la contraction musculaire

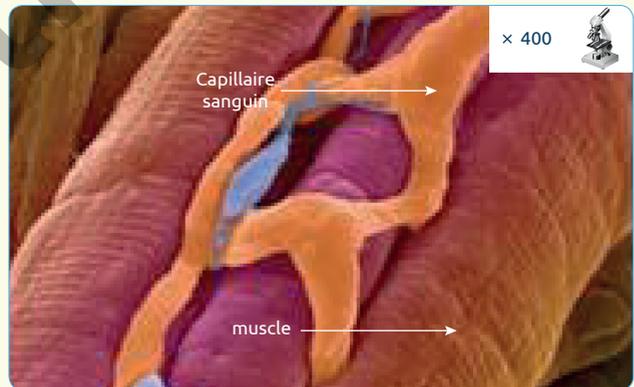
**Doc. 1** Phénomènes chimiques accompagnant la contraction musculaire



**Fig.a :** Comparaison de la composition du sang entrant et sortant d'un muscle au repos et en activité

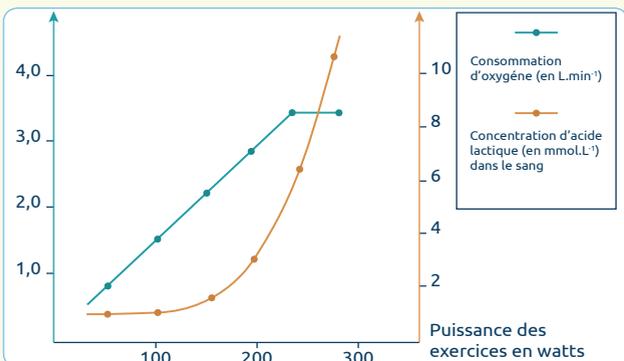


**Fig.b :** Débit sanguin au niveau d'un muscle au repos et au cours d'un effort physique

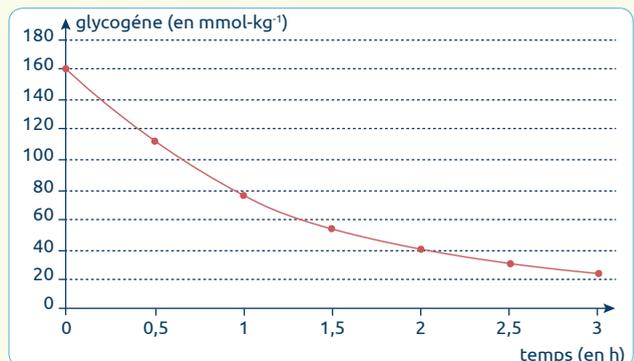


**Fig.c :** Capillaires sanguins dans un muscle, vus au microscope électronique à balayage

**Doc. 2** Origine de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire



**Fig.a :** Métabolisme au niveau d'un muscle au cours d'un effort d'un nageur

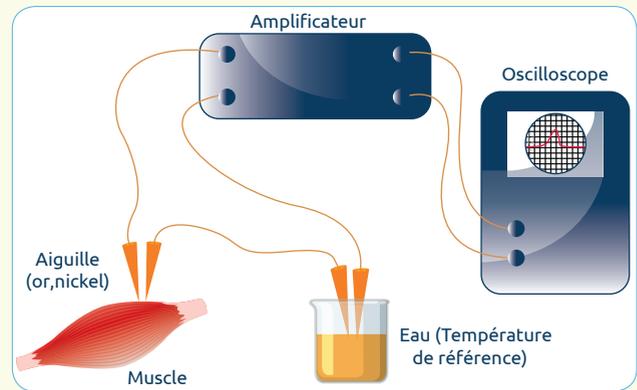


**Fig.b :** Variation du taux de glycogène chez un nageur professionnel au cours de son exercice

## B Les phénomènes thermiques accompagnant la contraction musculaire

### Doc. 3 Dispositif expérimental pour mesurer la quantité de chaleur produite lors de la contraction musculaire

La contraction musculaire s'accompagne par une production de chaleur. Le sang circulant dans les muscles récupère cette chaleur, et s'en débarrasse au niveau de la peau, où l'on observe une vasodilatation, d'où la couleur de la peau rose, rougeâtre à l'effort. La transpiration intervient afin de refroidir le corps et de ramener la température à la normale. La production de chaleur lors de la contraction musculaire peut être enregistrée grâce à des aiguilles thermiques, très sensibles, capables d'apprécier des variations thermiques de quelques microdegrés, et formées chacune de deux métaux différents (cuivre ou or et nickel). L'une des aiguilles est introduite dans le muscle, l'autre est maintenue à une température de référence.



► Montage expérimental pour mesurer le dégagement de chaleur par un muscle isolé.

La chaleur dégagée par le muscle entraîne une différence de température entre les aiguilles, qui se traduit par la production d'un courant électrique d'intensité proportionnelle à la température produite. Ce courant est traduit sous forme de courbes qui apparaissent sur l'écran d'un oscillographe.

### Doc. 4 Enregistrement de la production de chaleur lors de la contraction musculaire

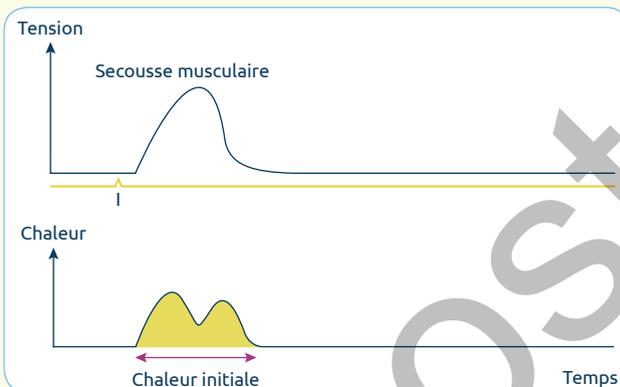


Fig. a : Dégagement de chaleur par un muscle placé en milieu anaérobie

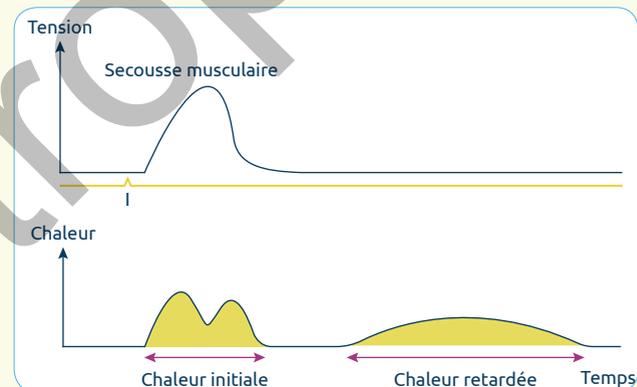


Fig. b : Dégagement de chaleur par un muscle placé en milieu aérobie

### Piste d'exploitation

1. **Doc 1 : a. Comparer** les besoins musculaires au repos et en activité (figure a). Que peut-on déduire.
1. **b. Analyser** et interpréter le graphique de la figure b.
2. **Doc 2 : Utiliser** les graphiques des figures a et b pour **déterminer** les origines de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.
3. **Doc 3 : Expliquer** la forte transpiration accompagnant un effort musculaire.
4. **Doc 4 : a.** En exploitant les figures a et b, **déterminer** les types de chaleur dégagées par le muscle en activité et **préciser** les caractéristiques de chacune.
1. **b. Établir** la relation entre les types de chaleur et leurs sources énergétiques.

### Pour conclure

Le muscle en activité présente des phénomènes chimiques traduisant les métabolismes sources de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire, ainsi que des phénomènes thermiques qui se manifestent par un dégagement de chaleur initiale simultanée à la secousse et de chaleur retardée qui vient après.

### Lexique

**Vasodilatation :** dilatation des vaisseaux sanguins, c'est-à-dire augmentation de leur lumière.

**Capillaire sanguin :** petit vaisseau sanguin qui permet au dioxygène et aux nutriments de passer du sang vers les cellules des organes

**Objectifs d'apprentissage**

- Connaître la structure du muscle.
- Connaître l'ultrastructure de la cellule musculaire.
- Établir la relation entre la structure et la fonction.

# La structure et l'ultrastructure du muscle squelettique strié

En se contractant, le muscle se raccourcit et développe un tonus très important.

→ Quelles sont les caractéristiques structurales qui confèrent au muscle le pouvoir de contractilité ?

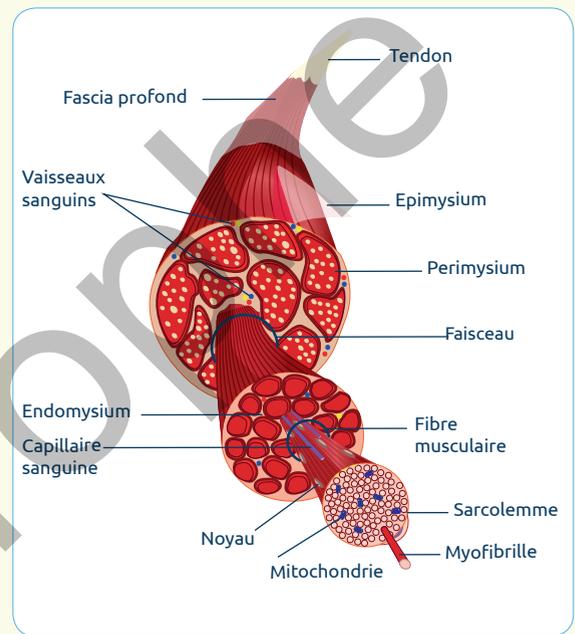
## A La structure du muscle squelettique strié

### Doc. 1 Structure et niveau d'organisation du muscle squelettique strié

Les muscles squelettiques constituent la musculature des membres et de l'ensemble du corps. Ils ont pour fonction d'assurer la motricité du corps, en faisant bouger le squelette grâce aux tendons. Le muscle est formé de plusieurs faisceaux, chaque faisceau est formé de centaines de fibres musculaires entourées d'une gaine de tissu conjonctif. Puis, entre ces faisceaux de fibres se trouvent les nerfs et les vaisseaux sanguins qui nourrissent ces tissus qui ont de grands besoins métaboliques.

Une fibre musculaire correspond à une cellule géante, appelée myocyte (de quelques centimètres à plus de 30 cm de longueur sur 10 à 100 µm de largeur), qui possède plusieurs noyaux, limitée par une membrane (sarcolemme).

Le cytoplasme de la fibre musculaire (ou sarcoplasme) contient de très nombreuses structures longitudinales parallèles : les myofibrilles. Chaque myofibrille a une forme allongée d'un diamètre de 1 à 2 µm et est constituée de myofilaments.



► Organisation du muscle squelettique strié.

### Doc. 2 Structure de la fibre musculaire

A l'intérieur de la cellule musculaire, les myofibrilles sont entourées d'un système membranaire appelé réticulum sarcoplasmique, constitué de citernes terminales où se concentre le calcium. Le sarcolemme présente à intervalle régulier des invaginations vers l'intérieur de la cellule musculaire formant les tubules transverses permettant la transmission de l'influx nerveux. Chaque tubule T est entouré de deux citernes terminales définissant la triade. Une myofibrille est constituée de multiples myofilaments qui sont des brins fins ou épais. Ces myofilaments ne couvrent pas toute l'extension de la fibre mais sont divisés en compartiments appelés sarcomères.

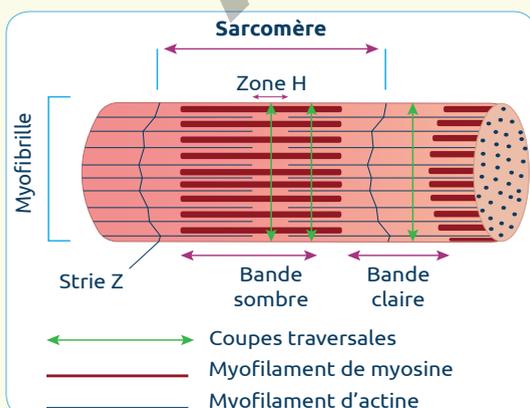


Fig.a : Structure d'un sarcomère

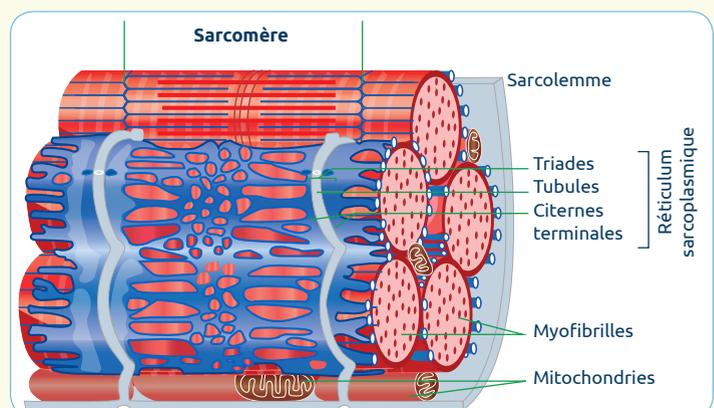


Fig.b : Reconstitution tridimensionnelle de l'organisation de la myocyte

## B L'ultrastructure du sarcomère

### Doc. 3 Organisation moléculaire des myofilaments

Au niveau de chaque sarcomère, on distingue deux types de myofilaments : des myofilaments fins de 5 nm (constitués de protéines d'actine) et des myofilaments épais de 16 nm (constitués de protéines de myosine).

Les myofilaments fins sont formés par la polymérisation de molécules d'actine globulaire assemblées en hélice, associées à deux autres protéines (troponine et tropomyosine).

La myosine musculaire est une molécule présentant deux têtes et une longue queue en bâtonnet. Chaque tête est constituée de 2 sites, l'un pour la fixation de l'actine et l'autre pour la fixation de l'ATP. Chaque myofilament épais est formé de quelques centaines (200 à 300) de molécules de myosine disposées en quinconce, les têtes de myosine faisant régulièrement saillie le long du filament.

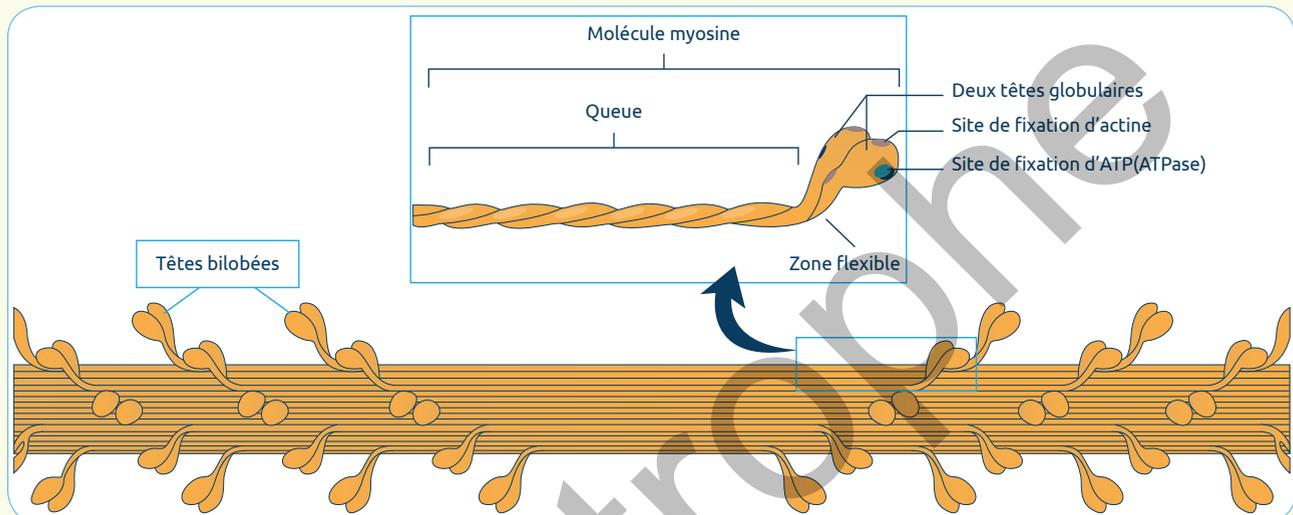


Fig.a : Schéma de l'organisation des myofilaments de myosine

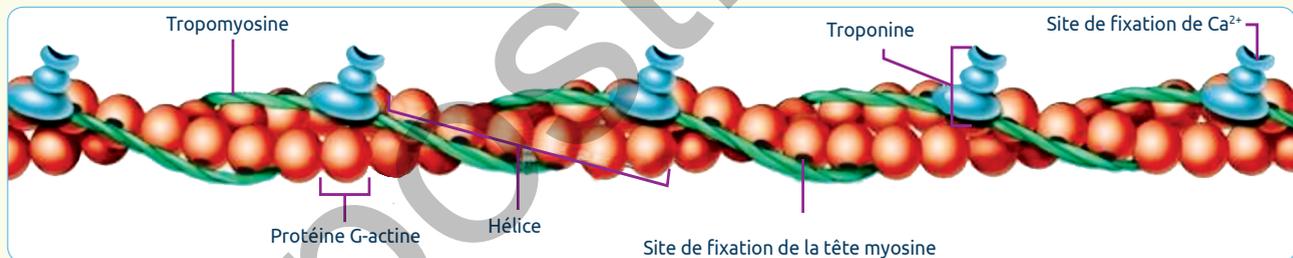


Fig.b : Schéma de l'organisation des myofilaments d'actine

### Piste d'exploitation

- 1. Doc 1 : Commenter** l'organisation structurale du muscle squelettique strié.
- 2. Doc 2 : a. Décrire** la structure de la fibre musculaire et **justifier** l'expression « muscle strié squelettique »  
**b. Émettre** une hypothèse à propos du rôle du réticulum sarcoplasmique.
- c. Donner** une définition du sarcomère et **décrire** sa structure en réalisant un schéma interprétatif des coupes transversales effectuées au niveau de la bande claire, la bande sombre et la zone H.
- 3. Doc 3 : Décrire** la composition moléculaire des myofilaments, actine et myosine et **montrer** en quoi elle leur confère la particularité d'effectuer la contraction du sarcomère.

### Pour conclure

La fonction de contractilité de la fibre musculaire est dû à l'organisation de la myofibrille, constituée d'une succession de sarcomères : l'unité structurale et fonctionnelle du myocyte.

Le sarcomère est composé de deux types de myofilaments, épais myosine et fins actine, qui ont une structure moléculaire particulière leur donnant la capacité d'interagir pour effectuer la contraction du sarcomère.

### Lexique

**Hélice** : Structure moléculaire s'enroulant autour d'un cylindre, en spirale.

**Fascia** : une membrane fibro-élastique recouvre une structure anatomique, composé de tissu conjonctif très riche en fibres de collagène.

**Objectifs d'apprentissage**

- Connaître les aspects de la contraction d'une myofibrille et déterminer les besoins.
- Montrer le rôle des ions  $Ca^{2+}$  dans la contraction musculaire.
- Décrire le mécanisme moléculaire de la contraction musculaire permettant la production d'énergie mécanique.

# Le mécanisme de la contraction musculaire

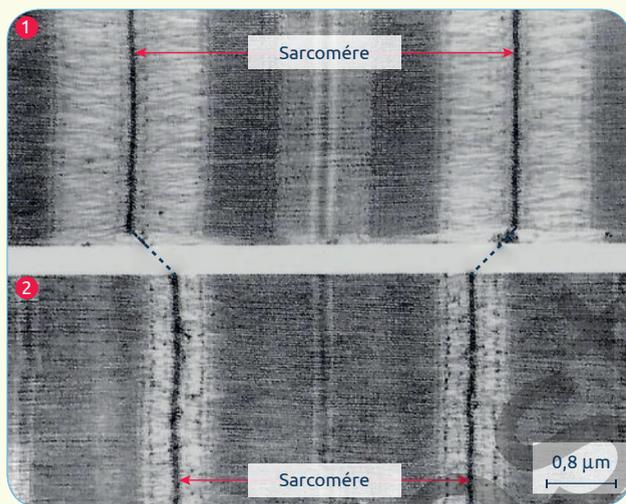
La fibre musculaire utilise l'ATP fourni, selon les circonstances, par la fermentation lactique ou la respiration. L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire aux interactions entre les myofilaments qui constituent le mécanisme moléculaire de la contraction musculaire.

- Quels sont les besoins de la contraction musculaire et quel est son mécanisme ?
- Comment ce mécanisme permet la conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique ?

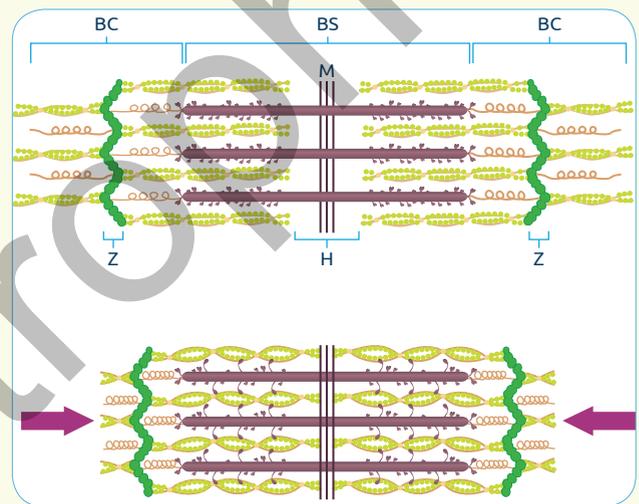
## A Les Indicateurs de la contraction des myofibrilles et les besoins nécessaires

**Doc. 1** Aspects de la contraction des myofibrilles

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



**Fig.a :** Electronographies de sarcomères de myofibrilles relâchées (1) ou contractées (2)

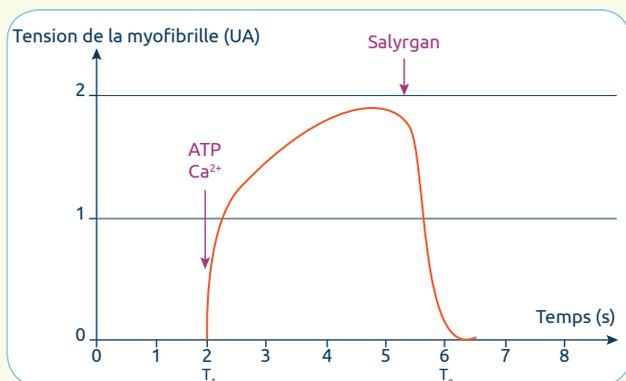


**Fig.b :** Schémas d'interprétation des deux électronographies

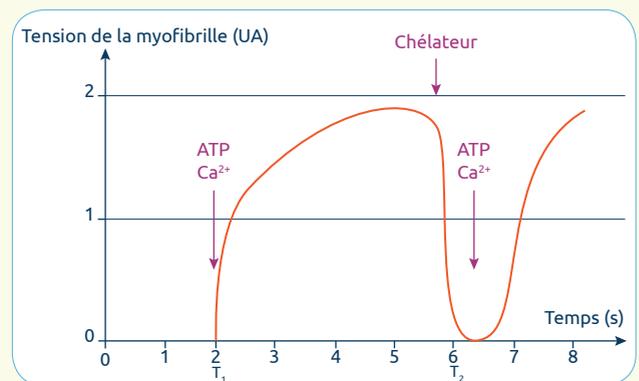
**Doc. 2** Besoins de la contraction musculaire

Des fibres musculaires isolées d'un muscle de Lapin sont montées entre lame et lamelle, et observées au microscope optique. On place une myofibrille isolée dans un milieu physiologique sans  $Ca^{2+}$  et sans ATP. On mesure ensuite la tension musculaire développée par la myofibrille dans les conditions suivantes :

- **Expérience 1 :** Addition en  $T_1$  de  $Ca^{2+}$  et de l'ATP, puis addition en  $T_2$  de Salyrgan : substance inhibant l'hydrolyse de l'ATP.
- **Expérience 2 :** Addition en  $T_1$  de  $Ca^{2+}$  et de l'ATP, puis addition en  $T_2$  d'un chélateur : substance qui se lie à  $Ca^{2+}$  et inhibe son action.



**Fig.a :** Résultats enregistrés dans l'expérience 1



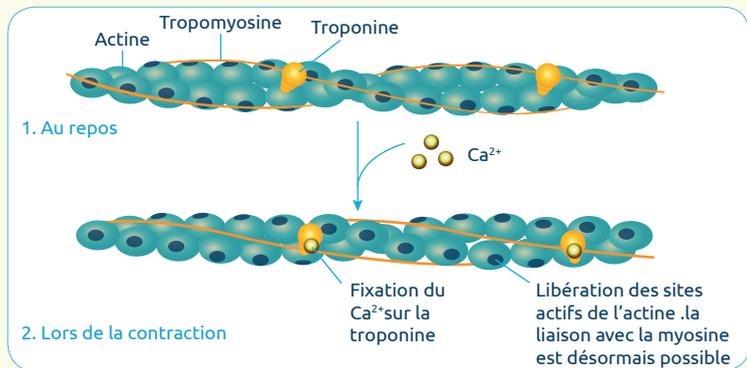
**Fig.b :** Résultats enregistrés dans l'expérience 2

## B Le mécanisme de la contraction musculaire

### Doc. 3 Rôle des ions $\text{Ca}^{2+}$ dans la contraction musculaire

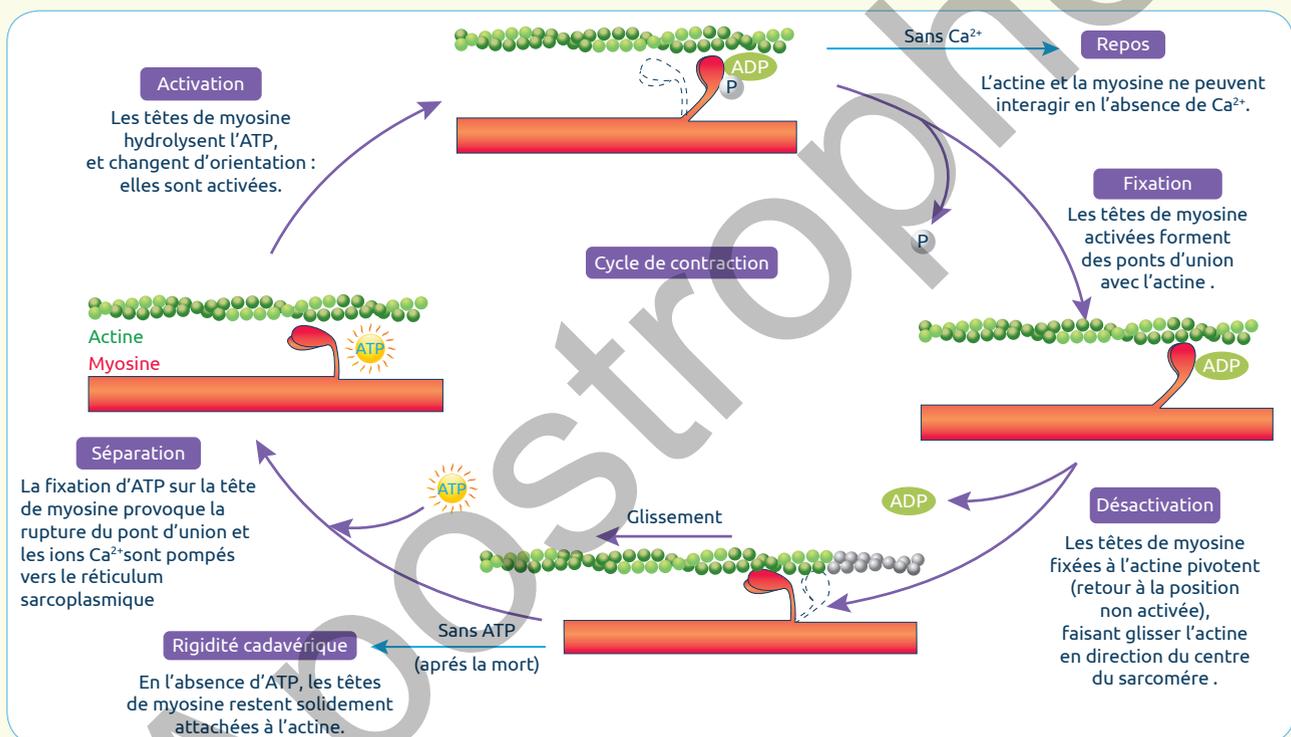
Dès l'arrivée de l'influx nerveux à travers les tubules T, le réticulum sarcoplasmique se trouve excité. Les citernes terminales libèrent les ions calcium au niveau du sarcoplasme.

La figure ci-contre montre l'action des ions calcium au niveau des myofilaments fins après leur libération.



► L'effet des ions  $\text{Ca}^{2+}$  sur les myofilaments fins.

### Doc. 4 Mécanisme moléculaire de la contraction musculaire



► Étapes du cycle de la contraction musculaire.

### Piste d'exploitation

- 1. Doc 1 : Comparer** l'aspect des sarcomères au repos et en état de contraction et **préciser** les changements qui affectent la myofibrille au cours de la contraction. Que peut-on **déduire** de cette comparaison.
- 2. Doc 2 : Analyser** ces résultats et **déduire** les conditions nécessaires à la contraction musculaire.

**3. Doc 3 : Exploiter** le document pour montrer l'importance du calcium dans la contraction musculaire.

**4. Doc 4 : Décrire** le mécanisme moléculaire de la contraction musculaire en précisant comment il permet la conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique.

### Pour conclure

Tant que l'ATP est disponible et que la concentration de  $\text{Ca}^{2+}$  dans le cytoplasme est élevée, le cycle de la contraction musculaire se produit permettant le glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère et le rapprochement des stries Z et le raccourcissement des bandes claires et de la zone H.

### Lexique

**Inhiber** : Réduire ou empêcher une réaction chimique ou psychologique, le fonctionnement d'un organe.

**Objectifs d'apprentissage**

- Mettre en évidence la nécessité de restauration d'ATP.
- Connaître les voies de restauration d'ATP.
- Établir la relation entre les voies de restauration et le type d'exercice.

# Les voies de restauration d'ATP lors d'un exercice musculaire

Le muscle se contracte en hydrolysant l'ATP. Le stock d'ATP dans le muscle est limité à moins d'une seconde de contraction. La molécule doit donc être régénérée pour poursuivre les cycles de contraction sur des durées plus longues.

→ Comment le muscle génère l'ATP nécessaire à sa contraction ?

## A Les voies de régénération d'ATP

### Doc. 1 Mise en évidence de la nécessité du renouvellement d'ATP

Mesures réalisées pour un individu de 70 Kg	Énergie disponible dans les muscles		Énergie nécessaire pendant l'activité musculaire	
	Quantité intracellulaire d'ATP (mmol/kg)	Quantité d'énergie correspondante (KJ)	Quantité d'énergie dépensée lors d'une course 100m (KJ)	Quantité d'énergie dépensée lors d'une minute de marche à 2km/h (KJ)
	120 à 180	5.1 à 7.5	132	9.3

### Doc. 2 Filière énergétique anaérobie alactique

Lors d'un exercice bref et intense, la puissance musculaire développée est très importante. Dans cette situation les cellules musculaires utilisent les réserves d'ATP immédiatement disponibles. Il existe dans les cellules musculaires une molécule, la phosphocréatine (PCr), possédant une liaison phosphate à haut potentiel énergétique. La réaction d'hydrolyse de la (PCr) est catalysée par une enzyme, la créatine kinase. L'énergie libérée par cette hydrolyse n'est pas directement utilisée par le muscle mais permet de reconstituer de l'ATP.

Ce système instantané, répond aux besoins immédiats et ne nécessite aucune structure cellulaire particulière.

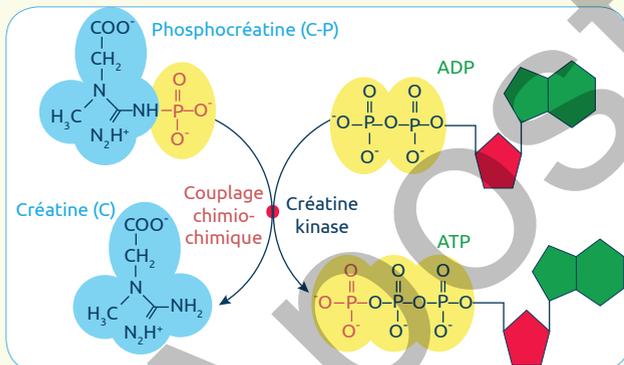


Fig.a : Couplage entre l'hydrolyse de PCr et la phosphorylation d'ADP

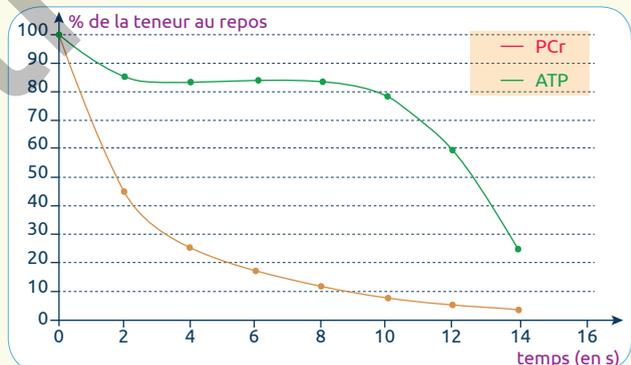


Fig.b : Variation des taux d'ATP et de (PCr) dans un muscle au cours d'un sprint

**Remarque :** A partir de deux ADP, la cellule musculaire peut produire l'ATP de manière immédiate, grâce à la myokinase (enzyme) :



### Doc. 3 Les voies de régénération aérobie et anaérobie

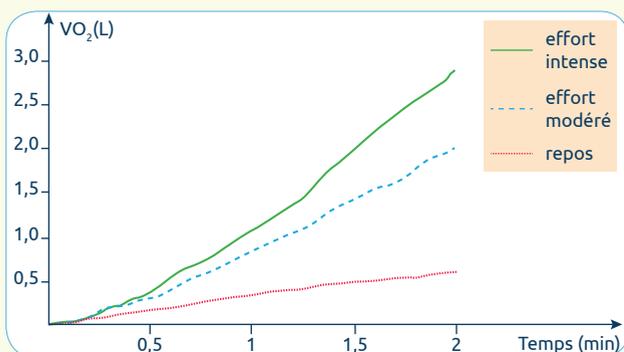


Fig.a : Évolution du volume de dioxygène consommé selon l'effort musculaire

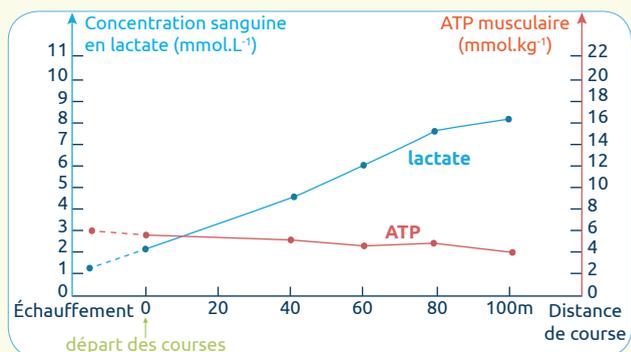
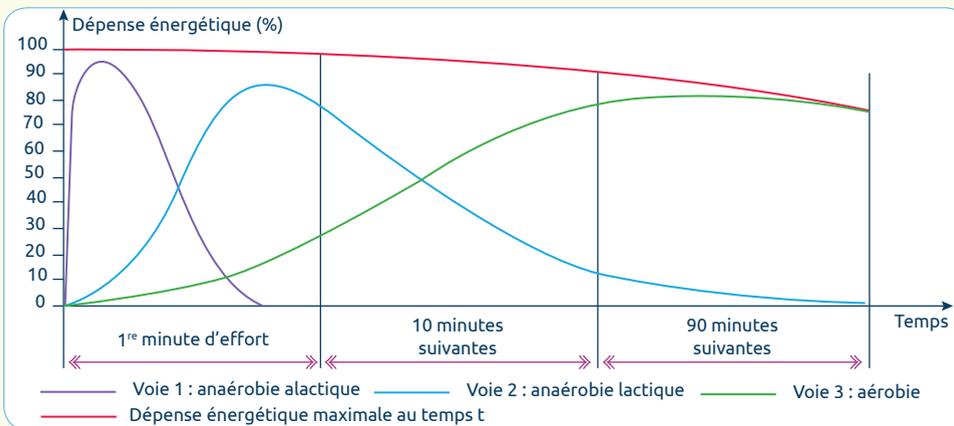


Fig.b : Évolution de la concentration en lactate sanguin et en ATP musculaire au cours d'une épreuve de sprint

## B L'adaptation du muscle à la force et à la durée de l'exercice

Doc. 4 Relai entre les modalités de régénération d'ATP lors d'un effort musculaire



► Graphique montrant les voies métaboliques utilisées pour produire de l'ATP en fonction du temps d'exercice.

L'étude du métabolisme des fibres musculaires chez des sportifs montre que les individus pratiquant des sports d'endurance comme le marathon, le cyclisme ou le ski de fond, régénèrent l'ATP par des voies différentes de ceux pratiquant des sports avec des efforts brefs et intenses.

Doc. 5 Types de fibres musculaires et leurs caractéristiques

Dans un muscle squelettique, il est souvent possible de différencier deux principaux types de fibres musculaires, dénommées « fibres de type I » et « fibres de type II ». Les fibres de type I sont qualifiées de « fibres lentes rouges » tandis que les fibres de type II sont qualifiées de « fibres rapides blanches ».

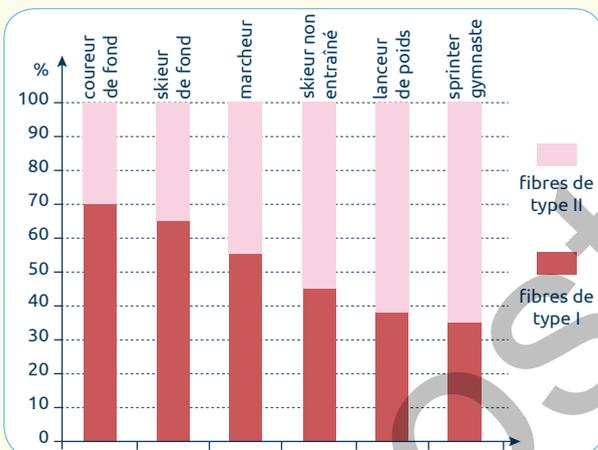


Fig. a : Proportions des deux types de fibres dans les muscles de sportifs en fonction de leur spécialité.

	Fibres de type I	Fibres de type II
Réserves de glycogène	++	+++
Densité en myofibrilles	++	+++
Mitochondries	+++	+
Densité en capillaires sanguins	+++	+
Myoglobine	+++	+
Vitesse de contraction	+	+++
Force développée	+	+++
Fatigabilité	+	++
Volume	+	+++

La myoglobine est une protéine de couleur rouge présente dans le cytoplasme des fibres musculaires, dont le rôle est de fixer et diffuser dans la fibre le dioxygène apporté par le sang.

Fig. b : Quelques caractéristiques des deux types de fibres musculaires (le nombre de croix indique l'importance relative de chaque caractéristique).

### Piste d'exploitation

- 1. Doc 1 : Analyser et montrer** la nécessité de renouvellement d'ATP.
- 2. Doc 2 : a.** A partir de la figure a, écrire la réaction qui permet la phosphorylation d'ADP à partir de l'hydrolyse de la phosphocréatine.  
**b. Utiliser** le diagramme de la figure b pour montrer que la dégradation de la phosphocréatine est une voie très rapide permettant la régénération d'ATP.
- 3. Doc 3 : Exploiter** les figures a et b pour démontrer le recours du muscle à la respiration et à la fermenta-

tion lactique pour régénérer son ATP.

**4. Doc 5 : Analyser et classer** les différentes voies de régénération d'ATP selon la chronologie de leur utilisation au cours d'un exercice.

**5. Doc 5 : a. Dégager** les caractéristiques de chaque types de fibres et **déduire** la voie métabolique prédominante (Fig.b).

**b. Établir** la relation entre le pourcentage des fibres musculaires et la spécialité des sportifs (Fig.a).

### Pour conclure

Les voies de régénération d'ATP au niveau d'un muscle se séparent en voies anaérobies alactique et lactiques qui sont plus rapides, et la voie aérobie qui est plus lente.

Le muscle se constitue par deux types de fibres, des fibres I caractérisées par la voie aérobie et des fibres II caractérisées par les voies anaérobies. Le pourcentage de ces fibres dans un muscle varie selon la spécialité du sportif.

### Lexique

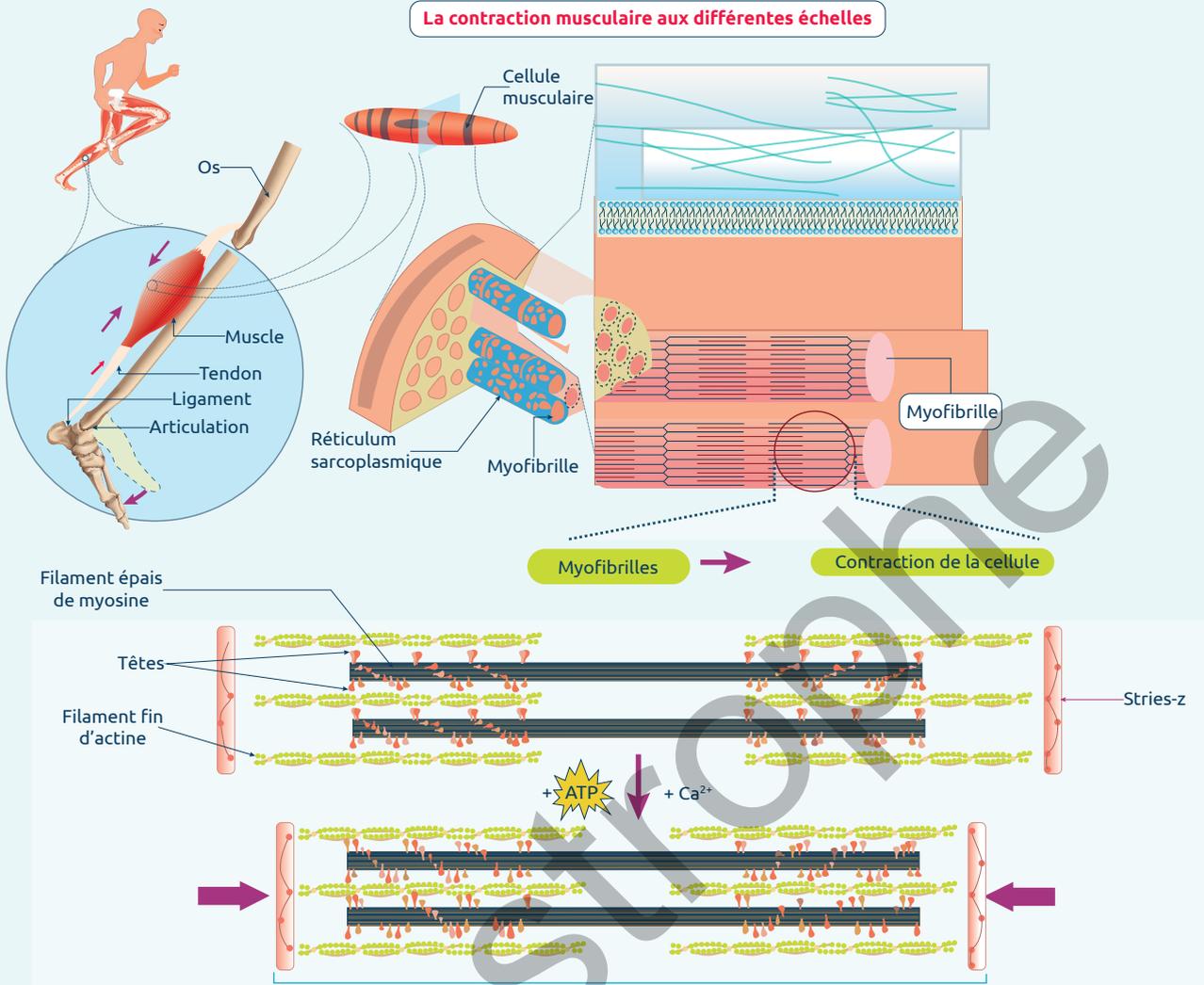
**Créatine** : protéine naturellement synthétisée dans le corps humain à partir de certains acides aminés, dans le foie, le pancréas et les reins. Elle provient aussi de la nourriture.

**Alactique** : voie qui ne produit pas l'acide lactique.

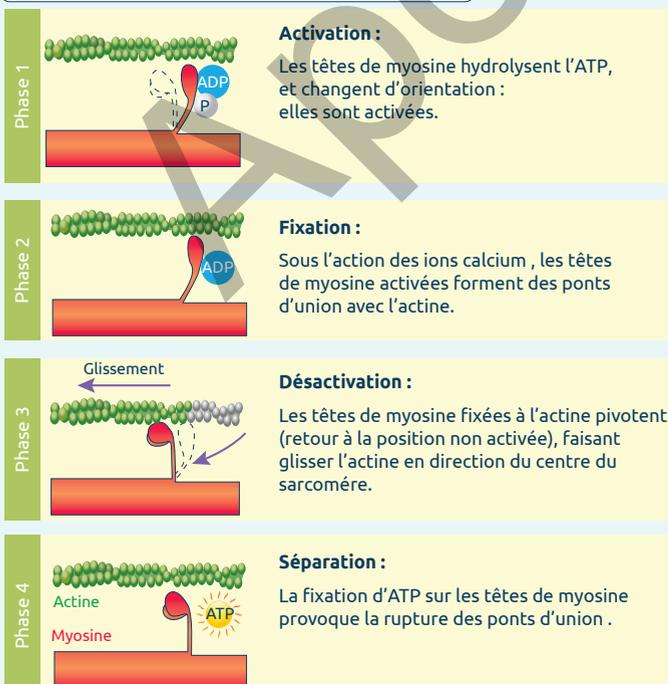
<p><b>Activité 1.</b></p>	<p>La réponse d'un muscle à une excitation unique et efficace, se traduit par une secousse musculaire isolée, celle-ci est composée de trois phases : une phase de latence, une phase de contraction, une phase de relâchement.</p> <p>La réponse d'un muscle à une série de stimulations à intensité croissante est soumise à la loi de recrutement lorsqu'on soumet un muscle à deux stimulations successives de même intensité, l'aspect du myogramme obtenu dépend de l'intervalle de temps qui sépare les deux stimulations. On peut avoir deux secousses isolées, ou une fusion complète ou incomplète des deux secousses.</p> <p>On applique sur un muscle une série de stimulations d'intensité constante on remarque que le muscle reste en contraction tant qu'on l'excite, on dit que le muscle est en tétanos. C'est une fusion de séries de secousses qui peut être complète (tétanos parfait) ou incomplète (tétanos imparfait).</p>
<p><b>Activité 2.</b></p>	<p>La contraction musculaire est aussi accompagnée par des phénomènes chimiques et énergétiques : Une augmentation considérable du volume de sang traversant le muscle, du volume d'O<sub>2</sub> et du glucose consommés, avec un dégagement important de CO<sub>2</sub>. Et une augmentation de production d'acide lactique. Donc, en plus de la respiration, le muscle utilise la fermentation lactique pour avoir l'énergie nécessaire à la contraction. Toute contraction musculaire s'accompagne d'un dégagement de la chaleur qui se divise en deux parties : la chaleur initiale et la chaleur retardée.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>La chaleur initiale</b> : à quantité importante et libérée au cours de la secousse musculaire pendant un temps très court. Elle se divise elle-même en deux parties qui sont la chaleur de contraction et la chaleur de relâchement.</li> <li>• <b>La chaleur retardée</b> : à faible quantité et dégagée après la secousse musculaire, quand le muscle est au repos, pendant une durée importante.</li> </ul>
<p><b>Activité 3.</b></p>	<p>Un muscle squelettique est constitué de faisceaux musculaires formés eux-mêmes d'un ensemble de fibres musculaires. La fibre musculaire est une cellule allongée dont la longueur peut atteindre plusieurs centimètres, plurinucléée, entourée d'une membrane : le sarcolemme. Il présente de fines invaginations tubulaires (tubules transverses ou tubules T). Dans le sarcoplasme, se trouvent des réserves importantes des ions Ca<sup>2+</sup> : le réticulum sarcoplasmique. L'essentiel du sarcoplasme est constitué de myofibrilles. Chaque myofibrille est composée d'une chaîne d'unités contractiles répétitives, les sarcomères. Un sarcomère est formé par une alternance de bandes sombres et claires. Chaque bande sombre est coupée en son milieu par une rayure claire (zone H). Au milieu de la bande claire, se trouve une zone plus foncée (strie Z). La région comprise entre deux stries Z successives représente un sarcomère. C'est la plus petite unité contractile de la fibre musculaire. Le sarcomère est constitué de 2 types de myofilaments, l'actine (fins) et la myosine (épaisse).</p>
<p><b>Activité 4.</b></p>	<p><b>Les aspects d'un sarcomère en contraction sont :</b></p> <p>Un raccourcissement, de la bande claire et de la zone H, d'où un rapprochement des stries Z ; la longueur de la bande sombre et celle des myofilaments reste constante.</p> <p>L'ATP et Ca<sup>++</sup> sont indispensables à la contraction musculaire. Le rôle des ions Ca<sup>++</sup> dans la contraction musculaire est la libération des sites de liaison entre l'actine et la myosine, ce qui permet ensuite la formation des complexes Acto-myosine, indispensables pour l'hydrolyse de l'ATP.</p> <p>Le raccourcissement des sarcomères est dû à un cycle de liaison-dissociation entre actine et myosine associé à des changements de conformation des têtes de myosine. Ce cycle se produit tant que l'ATP est disponible et que la concentration en Ca<sup>++</sup> est élevée (au moins 1 µmol.L<sup>-1</sup>).</p>
<p><b>Activité 5.</b></p>	<p>Il existe trois voies de la régénération de l'ATP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La voie rapide anaérobie ou voie anaérobie alactique.</li> </ul> $\text{ADP} + \text{ADP} \rightarrow \text{AMP} + \text{ATP}$ $\text{CP} + \text{ADP} \rightarrow \text{C} + \text{ATP}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• La voie à vitesse moyenne anaérobie ou voie anaérobie lactique.</li> <li>• La voie lente aérobie.</li> </ul> <p>Le muscle squelettique strié, est constituée de 2 types de fibres, les fibres de type I à contraction lente sont peu fatigables, elles sont surtout utilisées lors d'exercices peu puissants et prolongés. Les fibres de type II à contraction rapide sont très fatigables, mais très puissantes, elles sont sollicitées lors des exercices brefs mais intenses.</p>

# Schéma bilan

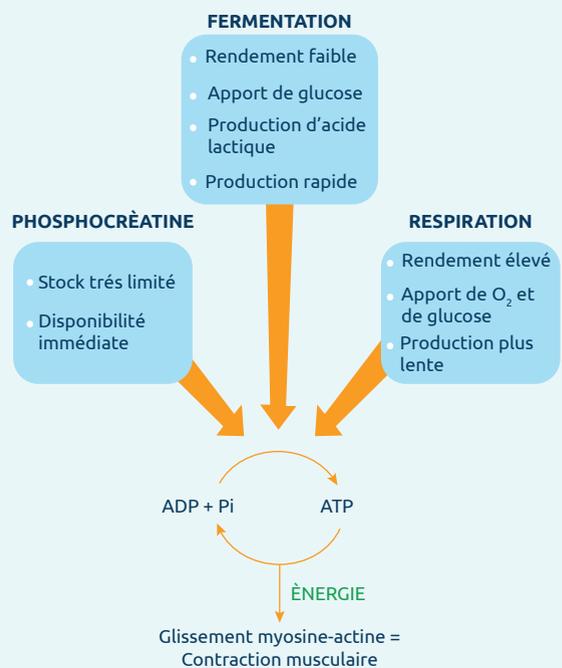
## La contraction musculaire aux différentes échelles



### La contraction musculaire se déroule en 4 phases :



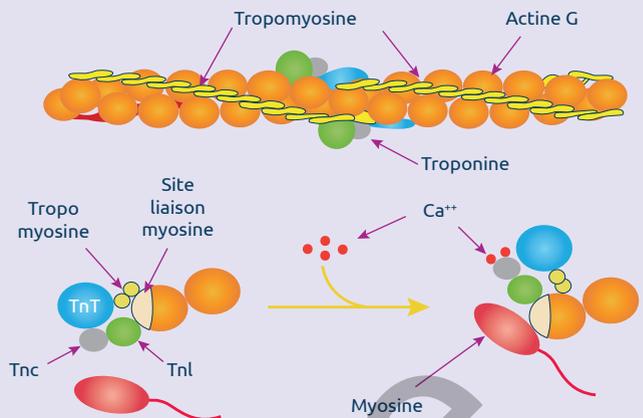
### Les trois voies de régénération de l'ATP dans la cellule musculaire



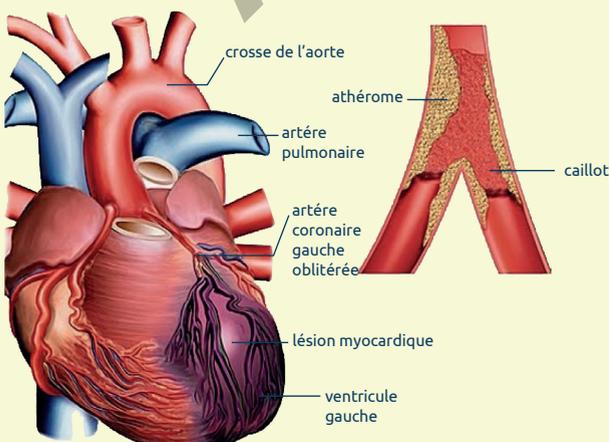
## Troponine : marqueur cardiaque

La troponine est un complexe protéique formé de trois sous-unités T, I, C. Elle est liée avec la tropomyosine à l'actine dans le filament fin de la myofibrille. Elle est exprimée dans l'oreillette et le ventricule cardiaque. La troponine C fixe le calcium. La troponine T est liée à la tropomyosine, alors que la troponine I, régulatrice, est fixée au repos à l'actine et inhibe la fixation de l'actine et de la myosine. La fixation du calcium entraîne un changement conformationnel permettant la fixation de la tête de la myosine sur l'actine. La troponine C présente le même isoforme dans le muscle squelettique et dans le muscle cardiaque.

A l'inverse les troponines I et T présentent des isoformes différentes dans les muscles périphériques et dans le muscle cardiaque. "Le dosage des isoformes de troponines I ou T spécifiques au cœur ont donc un intérêt pour dépister une souffrance myocardique".



En effet, la quantité de troponines I ou T augmentent dans le sang relativement précocement à la suite d'un infarctus du myocarde (dès la 2<sup>e</sup> heure). Ceci provient du fait qu'elles sont libérées par les cellules musculaires qui meurent lors de la nécrose du muscle cardiaque, suite à la formation de cailloux qui empêchent l'irrigation sanguine d'une zone cardiaque. Ainsi en cas de suspicion d'infarctus du myocarde, leur dosage, contrôlé à 2 reprises à 6 heures d'intervalle (de 1 à 3 h pour les dosages ultrasensibles), permettra de suspecter un possible infarctus en cas d'augmentation de cette valeur, ou au contraire d'être rassuré. A noter que la troponine peut également augmenter dans d'autres pathologies cardiaques.



Dosage sanguin de la troponine

**Résultats normaux :** < 0.3 µg /l

Attention, le taux de troponine reste normal au cours de certaines atteintes musculaires squelettiques.

### Taux de troponine élevé

Un taux de troponine élevé peut être le signe :

- D'un infarctus du myocarde. Dans ce cas, les troponines sont libérées dans le sang 2 à 4 heures après le début de la souffrance myocardique ;
- D'une embolie pulmonaire ;
- D'une myocardite ;
- D'une péricardite sévère ;
- D'une chirurgie cardiaque.

## Test de connaissances

### 1 Pour chaque proposition, identifier la ou les bonnes réponses :

1 • Parmi les caractéristiques structurales de la fibre musculaire striée du muscle squelettique, on cite :

- a. La présence de plusieurs noyaux ;
- b. L'existence des ponts transversaux ;
- c. L'absence des mitochondries ;
- d. L'alternance des bandes I et des bandes Z.

2 • Au cours de l'activité musculaire la régénération alactique se fait par :

- a. La phosphocréatine ;
- b. La glycolyse au niveau du muscle ;
- c. Le processus de la respiration aérobie ;
- d. Le transfert du groupement P d'une molécule d'ADP sur une autre.

3 • Le raccourcissement d'un sarcomère au cours de la contraction, résulte de :

- a. Raccourcissement des filaments d'actine ;
- b. Raccourcissement des filaments de myosine ;
- c. Glissement des filaments d'actine le long des filaments de myosine ;
- d. Glissement des filaments de myosine le long des filaments d'actine.

4 • Un sarcomère comprend :

- a. Une bande claire et une bande sombre ;
- b. Une bande sombre et deux bandes claires ;
- c. Une bande claire et deux demi-bandes sombres ;
- d. Une bande sombre et deux demi-bandes claires.

5 • Classez selon un ordre chronologique normale les étapes de la contraction musculaire :

- A. Pivotement ;
  - B. Formation d'un complexe acto-myosine ;
  - C. Libération des ions  $Ca^{2+}$  ;
  - D. Fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur les têtes myosine ;
  - E. Simulation laminaire.
- a. E – D – C – B – A.
  - b. E – C – B – A – D.
  - c. E – D – B – A – C.
  - d. E – B – C – A – D.

6 • Lors de la contraction musculaire, on observe au niveau du sarcomère un raccourcissement :

- a. Des bandes sombres (A) ;
- b. Des bandes claires (I) ;
- c. Des filaments de myosine ;
- d. Des filaments d'actine.

7 • La tête de myosine possède deux sites de fixation spécifiques à :

- a. L'ATP et l'actine ;
- b. L'ATP et la tropomyosine ;
- c. L'actine et la myosine ;
- d. L'actine et les ions  $Ca^{2+}$ .

### 2 Relier le terme de la liste 1 à la définition correspondante sur la liste 2.

Liste 1	Liste 2
1- Fusion complète des deux secousses musculaires.	a - La seconde stimulation est appliquée après l'achèvement de la première secousse musculaire
2- Fusion incomplète des deux secousses musculaires.	b- La seconde stimulation est appliquée pendant la phase de latence de la première secousse musculaire
3- Deux secousses musculaires isolées.	c- La seconde stimulation est appliquée pendant la phase de contraction de la première secousse musculaire.
4- Une secousse musculaire isolée	d- La seconde stimulation est appliquée pendant la phase de relâchement de la première secousse musculaire.

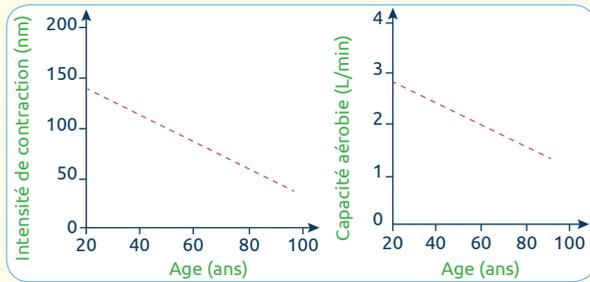
### 3 Répondre par vrai ou faux

	Vrai	Faux
a- La chaleur retardée qui accompagne la contraction musculaire résulte des réactions métaboliques aérobiques.		
b- Au cours de l'activité musculaire, l'ATP est renouvelé rapidement par la voie de la phosphocréatine.		
c- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un raccourcissement des bandes sombres sans changement de la longueur des bandes claires.		
d- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un raccourcissement des bandes claires sans changement de la longueur des bandes sombres.		
e- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un rapprochement des deux stries Z avec raccourcissement de la zone H du sarcomère.		
f- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un raccourcissement des bandes sombres sans changement de la longueur des bandes claires.		
g- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un raccourcissement des bandes claires sans changement de la longueur des bandes sombres.		
h- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un rapprochement des deux stries Z avec raccourcissement de la zone H du sarcomère.		
i- Lors de la contraction musculaire, on assiste à un raccourcissement des bandes claires sans changement de la longueur de la zone H du sarcomère.		

Raisonnement scientifique

Exercice résolu :

L'avancée en âge chez l'homme s'accompagne d'une diminution de la masse et de la fonction des muscles, qui peut être liée à une maladie appelée sarcopénie. Pour déterminer les causes responsables de la sarcopénie évolutive avec l'âge, on propose les données suivantes : Le document 1 présente les résultats de mesure de certaines caractéristiques du muscle squelettique strié en fonction de l'âge.



Doc. 1

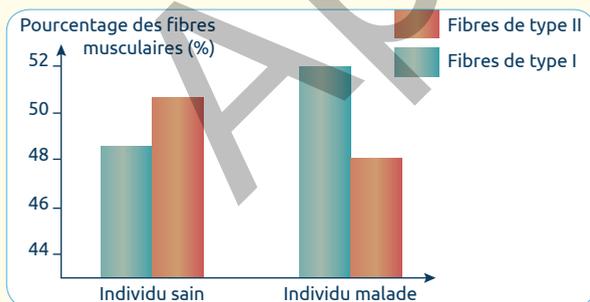
**Remarque :** la capacité aérobie désigne la capacité métabolique des mitochondries à oxyder les glucides et produire de l'ATP.

1 • En vous basant sur le document 1 **décrire** les variations subies par le muscle squelettique strié en fonction de l'âge. Pour expliquer ces variations on suggère les deux hypothèses suivantes :

**Hypothèse 1:** La variation de l'intensité de la contraction musculaire est liée à un faible pourcentage des fibres musculaires de type II par rapport au pourcentage des fibres de type I.

**Hypothèse 2:** La variation de la capacité aérobie est due à la diminution du nombre de mitochondries.

Pour vérifier ces deux hypothèses nous proposons les documents 2 et 3.



Doc. 2

Type de fibres	Fibres de type I	Fibres de type II
Caractéristiques		
Intensité de contraction	+	++++
Résistance à la fatigue	++++	+
Nombre de mitochondries	++++	+

Doc. 3

+ : Indique l'importance de chaque caractéristique.

2 • En vous basant sur les documents 2 et 3 **vérifier** les deux hypothèses. **Justifier** votre réponse.

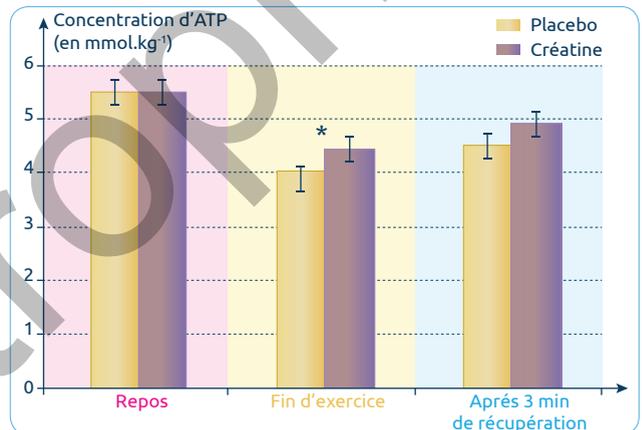
Exercice 1 :

La phosphocréatine (PC) est un composé utilisé par le muscle comme source d'énergie au début de l'exercice musculaire (voie rapide anaérobie). Afin de déterminer la relation entre PC et la contraction musculaire, on présente les données suivantes :

La concentration d'ATP est déterminée dans le quadriceps d'individus ayant suivi ou non une supplémentation en créatine de 20g/jour pendant 5 jours, les autres recevant un placebo. Celle-ci est évaluée au début de l'exercice (des extensions pendant 3 min), à la fin et après 3 min de récupération.

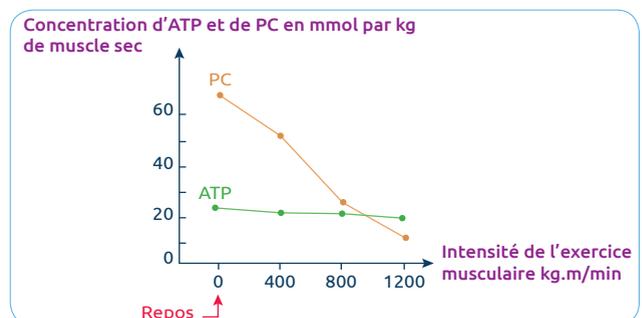
**Supplémentation :** ajout d'un ou plusieurs ingrédients dans l'alimentation d'un individu.

**Placebo :** substance sans effet physiologique, donnée à un individu dans le cadre d'un protocole expérimental permettant d'évaluer l'efficacité réelle d'une substance.



Doc. 1 Concentration d'ATP à différentes périodes d'un exercice musculaire.

1 • En exploitant le document, **déduire** l'effet de la consommation de créatine sur le métabolisme musculaire. - Au cours d'une série d'exercice d'intensités croissantes, on a prélevé chez un sportif, à intervalles de 5min, des échantillons du muscle quadriceps sur lesquels on a mesuré les concentrations d'ATP et de PC. Le document 2 présente les résultats obtenus au repos, et après chaque exercice.



Doc. 2

2 • **Décrire** l'évolution de la concentration de PC et d'ATP. Que peut-on **déduire**.

Chez un autre sportif, on a mesuré la quantité d'O<sub>2</sub> consommée et le taux de phospho-créatine (PC) présent

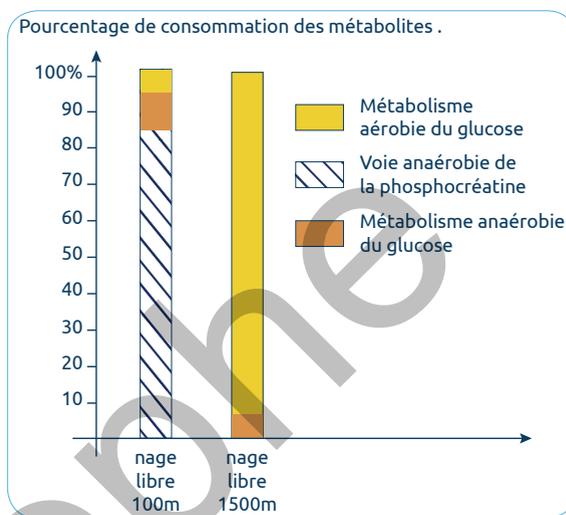


Certains sportifs trichent lors des compétitions sportives en consommant des produits dopants interdits à l'échelle internationale par la fédération des jeux olympiques. Afin d'étudier l'effet de l'entraînement et du dopage sur les voies métaboliques produisant l'énergie au niveau des cellules musculaires chez ces sportifs, on propose les données suivantes :

La mesure de la concentration de certains métabolites au niveau du muscle strié, et la détermination des pourcentages de consommation du glucose et de la phosphocréatine chez un nageur après une épreuve de 100m et chez un autre après une épreuve de 1500m, ont permis l'obtention des résultats présentés par les documents 1 et 2.

1- état de repos	Concentrations des métabolites en 10 <sup>-6</sup> mol/g du muscle			
	Acide lactique	Glycogène	Phosphocréatine	ATP
1- état de repos	1.1	80	17	4.6
2- nage libre 100 m (1min)	30.5	60	10	3.4
3- nage libre 1500 m (15min)	3	38	16	4.7

Doc. 1 Concentration de certains métabolites au niveau du muscle strié.



Doc. 2 Variation du pourcentage de la consommation de métabolites selon le type de l'exercice musculaire.

- 1.a. A partir du document 1, **déterminer** les variations de la concentration des métabolites chez les deux nageurs après l'effort musculaire.
- b. En se basant sur le document 2, **dégager** les voies métaboliques utilisées par le muscle de chacun des deux nageurs pour produire l'énergie.

**Grille d'évaluation :**

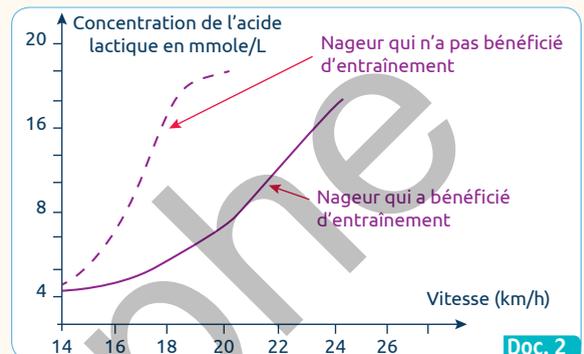
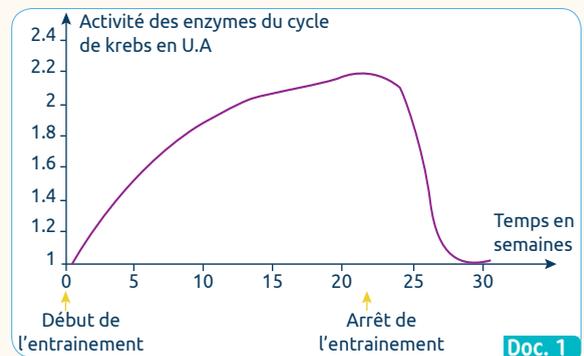
Tâches à réaliser	Indicateurs de réussite
Analyser et comparer pour extraire des informations et mobiliser ses connaissances pour déduire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- J'ai comparé l'évolution de la concentration des métabolites chez les deux nageurs par rapport à l'état de repos.</li> <li>- J'ai noté, en cas de nage libre 100m, l'augmentation de la concentration de l'acide lactique, et la diminution de la phosphocréatine, avec une faible diminution du de la concentration du glycogène.</li> <li>- J'ai noté, en cas de nage libre 1500m, la diminution importante du glycogène et une légère augmentation de la concentration de l'acide lactique et faible diminution de la concentration de la phosphocréatine.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- J'ai noté la dominance de la voie anaérobie de dégradation de la phosphocréatine (85%) chez le nageur 100m libre. Donc le muscle utilise la fermentation lactique et la dégradation de la phosphocréatine pour produire l'ATP.</li> <li>- J'ai noté la dominance de la voie aérobie du glucose (90%) chez le nageur 1500m libre. Donc utilise la respiration cellulaire pour produire l'ATP.</li> </ul>

Pour comprendre l'effet de l'effort musculaire de longue durée sur le métabolisme du muscle, on propose les données présentées par les documents 1 et 2.

- Un entraînement de longue durée (1500 m nage libre pendant 21 semaines à raison de 5 séances par semaine) permet d'observer dans les cellules musculaires une augmentation :
  - Du nombre de mitochondries de 120% ;
  - De la taille des mitochondries de 14 à 40%.
- Des mesures de l'activité des enzymes du cycle de Krebs sont réalisées à partir d'extraits de muscles prélevés chez différents sportifs (1500 m nage libre) avant et après l'entraînement ont permis l'obtention du graphe du (document 1).

La mesure de la quantité de l'acide lactique en fonction de la vitesse de la natation chez un nageur qui a bénéficié d'un entraînement et chez un nageur qui n'a pas bénéficié d'entraînement a permis la réalisation du graphe du (document 2).

**En utilisant** les données des documents 1 et 2, **déterminer** l'effet de l'entraînement sur le métabolisme musculaire, puis **expliquer** l'effet de l'effort musculaire de longue durée sur les réactions métaboliques du muscle.



### Aides :

- **Analyser** la courbe du document 1 et **noter** l'augmentation progressive de l'activité des enzymes du cycle dès le début de l'entraînement, et sa diminution dès l'arrêt de l'entraînement.
- **Noter** l'augmentation du nombre et de la taille des mitochondries après l'entraînement de longue durée.
- **Établir** la relation entre l'augmentation de l'activité du cycle de Krebs, l'augmentation du nombre et de la taille des mitochondries et la voie métabolique aérobie : la respiration cellulaire.
- **Analyser** et **comparer** l'évolution de la concentration de l'acide lactique dans les deux cas (document 2).
- **Établir** la relation entre la diminution du taux d'acide lactique et l'entraînement.
- **Mobiliser** ses connaissances et **établir** la relation avec les données des deux documents pour expliquer l'effet de l'effort musculaire de longue durée sur les réactions métaboliques.

### Réponses commentées :

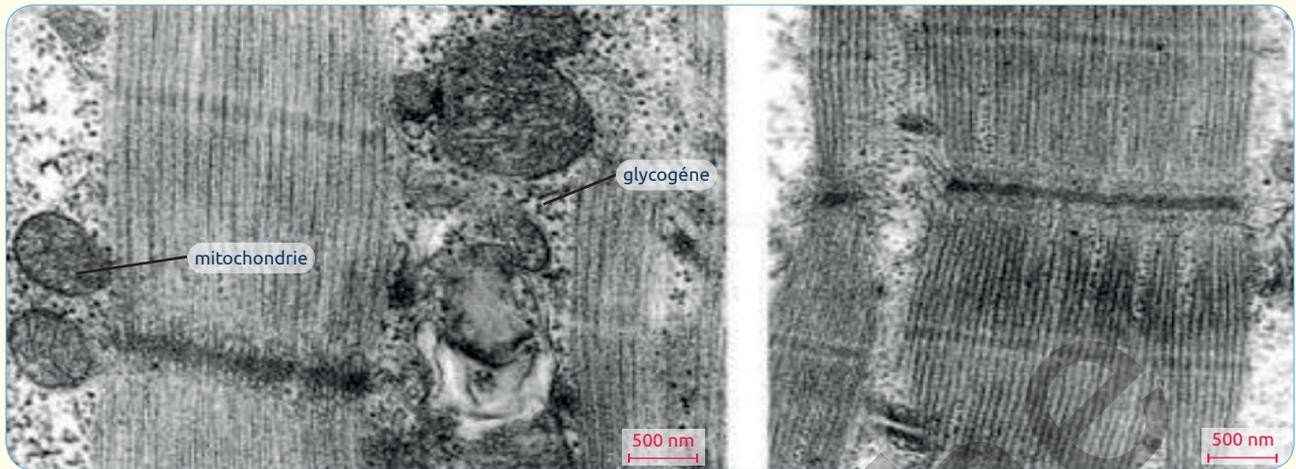
- **Document 1** : suite à un entraînement de longue durée, on constate une augmentation du nombre des mitochondries et de leur taille et une élévation de l'activité enzymatique du cycle de Krebs.
- **Document 2** : élévation de la vitesse de la natation est accompagnée par une augmentation de la concentration de l'acide lactique. En comparaison avec le nageur non entraîné, le muscle du nageur entraîné produit moins de l'acide Lactique.

### Explication :

Lors d'un effort musculaire de longue durée (natation 1500 mètres), le muscle favorise le métabolisme aérobie (respiration) par rapport au métabolisme anaérobie (fermentation lactique), suite à une augmentation du nombre et de la taille des mitochondries, et l'augmentation de l'activité enzymatique du cycle de Krebs, car il a besoin d'un taux élevé d'ATP et pour une longue durée.



Un effort physique nécessite un travail musculaire réalisé par des muscles dits squelettiques. Pour que la contraction musculaire se réalise, les cellules musculaires doivent synthétiser de l'ATP. Toutefois, dans un muscle, il n'existe pas qu'un seul type de fibres, mais deux : les fibres lentes (type I) et les fibres rapides (type II).



Fibres de type I observées au microscope électronique .

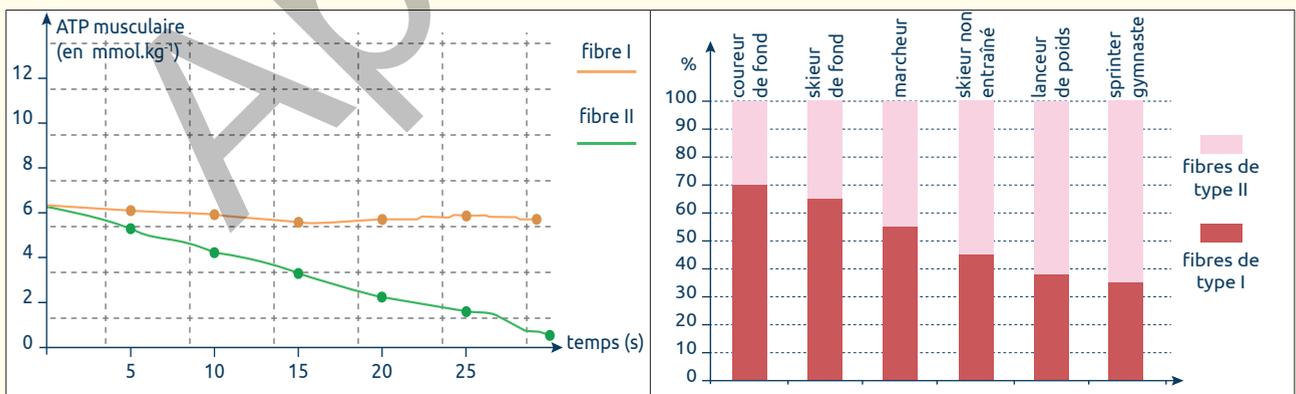
Fibres de type II observées au microscope électronique.

**Doc. 1** Électronographies de fibres musculaires (à transmission x 27 000)

	Fibres de type I	Fibres de type II
ATP synthase	+++	+
Densité en capillaires sanguins	+++	+
Myoglobine	+++	+
Vitesse de contraction	+	+++
Force musculaire	+	+++
Fatigabilité	+	++

**Doc. 2** Quelques données biologiques sur les fibres musculaires (+++ : forte + : faible)

Des fibres musculaires des deux types sont soumises à des stimulations qui provoquent leur contraction. Ces stimulations sont prolongées pendant une trentaine de secondes.



**Doc. 3** Résultats des mesures de l'ATP musculaire effectuées sur les fibres musculaires durant leur contraction.

**Doc. 4** Proportions des deux types de fibres dans les muscles de sportifs en fonction de leur spécialité.

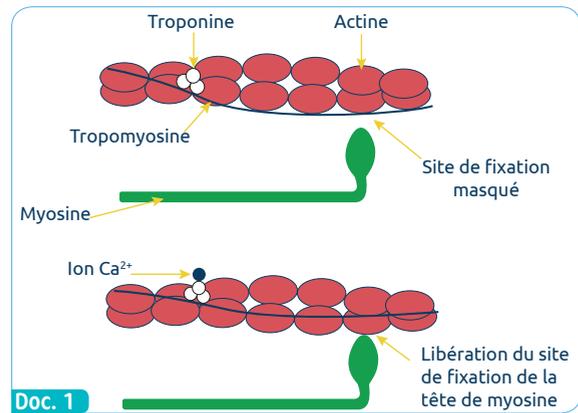
En exploitant les documents 1 à 4 et en utilisant vos connaissances :

1. **Montrer** que chaque type de fibres se caractérise par un métabolisme prédominant que vous **justifierez** ;
2. **Établir** la relation entre la proportion des deux types de fibres, leurs propriétés et les spécialités des sportifs présentées par le document 4

• **Donnée 1** : L'étude biochimique et l'observation électrographique des myofilaments d'actine et de myosine, dans des fibres musculaires en présence et en absence d'ions  $\text{Ca}^{2+}$ , ont permis de construire le modèle explicatif présenté dans le document 1.

1. En vous basant sur les résultats présentés dans le document 1, **montrer** comment interviennent les ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans la contraction de la fibre musculaire.

• **Donnée 2** : Pour extraire l'énergie nécessaire à sa contraction, la fibre musculaire hydrolyse de grandes quantités d'ATP. Afin de déterminer certaines conditions nécessaires à l'hydrolyse de ces molécules, on présente les données expérimentales du document 2.



Doc. 1

Milieu	Composition des milieux	
	Début de l'expérience	Fin de l'expérience
Milieu 1	Filaments de myosine + filaments d'actine + ATP + $\text{Ca}^{2+}$	Complexes actomyosine + $\text{Ca}^{2+}$ + une grande quantité d'ADP et de Pi
Milieu 2	Filaments d'actine + ATP + $\text{Ca}^{2+}$	Filaments d'actine + ATP + $\text{Ca}^{2+}$
Milieu 3	Filaments de myosine + ATP + $\text{Ca}^{2+}$	Filaments de myosine + ATP + $\text{Ca}^{2+}$ + une faible quantité d'ADP et de Pi

Doc. 2

2. En exploitant les données du document 2, **expliquer** la différence d'hydrolyse de l'ATP observée dans les différents milieux.

3. En vous basant sur les données précédentes et sur vos connaissances, **résumer** l'enchaînement des événements conduisant à la contraction du muscle suite à une excitation efficace.

→ **Comparer** l'état des myofilaments (actine et myosine) en absence et en présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$ .

→ **Analyser** les résultats de chaque expérience et **établir** la relation avec la composition de chaque milieu (repérer l'élément manquant).

→ **Tirer** des conclusions à partir de l'explication de la différence du taux d'ATP hydrolysé entre les 3 milieux et mobiliser ses connaissances, pour résumer de manière organisée l'enchaînement des différentes étapes de la contraction musculaire.

→ **Grille de correction :**

Questions	Éléments de réponse
1	<b>Mécanisme de l'intervention des ions <math>\text{Ca}^{2+}</math> dans la contraction de la fibre musculaire :</b> - Fixation des ions $\text{Ca}^{2+}$ sur la troponine → libération des sites de fixation des têtes de myosines sur l'actine suite au déplacement de la tropomyosine → formation du complexe actomyosine
2	<b>Explication :</b> - L'hydrolyse de grandes quantités d'ATP dans le milieu 1 s'explique par la formation du complexe actomyosine. - L'hydrolyse de faibles quantités d'ATP dans le milieu 3 s'explique par l'absence du complexe actomyosine car ce milieu ne contient que la myosine
3	<b>La succession des événements depuis l'excitation à la contraction musculaire :</b> - Suite à l'excitation du muscle, les ions $\text{Ca}^{2+}$ sont libérés à partir du réticulum sarcoplasmique; - Libération des sites de fixation des têtes de myosines; - Formation des complexes actomyosine; hydrolyse d'ATP. - Rotation des têtes de myosines aboutissant au glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine ce qui entraîne le raccourcissement du sarcomère.