T3B1	THÈME 3 : CORPS HUMAIN ET SANTE T3B - PRODUIRE LE MOUVEMENT: Contraction musculaire et apport d'énergie	Tpsé

Il existe 2 catégories de muscles : les muscles blancs et lisses qui sont des muscles involontaires et les muscles rouges striés. Ces derniers se divisent en 2 sous catégories : le muscle strié cardiaque et les muscles striés squelettiques. Les mouvements mobilisent les muscles squelettiques, qui représentent 28 à 35% de la masse totale du corps humain. Le mouvement est déclenché par la communication nerveuse (cf chapitre précédent) qui permet la contraction des muscles. D'autre part, la contraction musculaire nécessite de l'énergie (ATP) qui provient de la dégradation du glucose (respiration/fermentation).

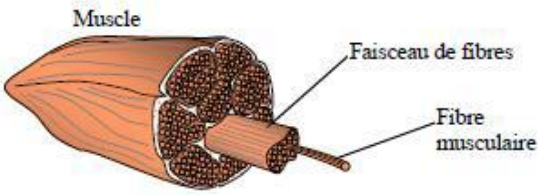
Problématique : Comment les cellules musculaires mobilisent-elles le glucose afin de produire de l'énergie nécessaire à leur raccourcissement et à la contraction du muscle ?

CH1 – LA CELLULE MUSCULAIRE, UNE CELLULE SPECIALISEE PERMETTANT SON PROPRE RACCOURCISSEMENT

Problématique : Comment la contraction musculaire se réalise-t-elle? Quelles sont les particularités de ces cellules qui permettent la contraction musculaire?

I- La mécanique musculo squelettique (échelle de l'organe)

Les **muscles striés squelettiques** sont constitués de deux parties distinctes : des tendons à chaque extrémité, attachés aux os et, au milieu, une partie épaisse, rouge et élastique, le ventre du muscle, qui est la partie contractile.
Lors d'une **contraction**, le muscle strié squelettique s'épaissit et raccourcit. Cela provoque une traction sur les tendons, ce qui engendre le déplacement des os au niveau de l'articulation.
Pour que les mouvements soient réversibles, il est nécessaire de faire intervenir deux muscles antagonistes qui se contractent obligatoirement en opposition de phase pour commander le mouvement d'un membre (ex. biceps/triceps pour le bras – Quadriceps/ischio-jambiers pour la cuisse…).
Le **muscle strié squelettique** est un organe constitué d'un ensemble de cellules très allongées (elles prennent le nom de **fibres musculaires striées squelettiques** ou myocytes), à l'aspect striées, organisées en faisceaux musculaires.

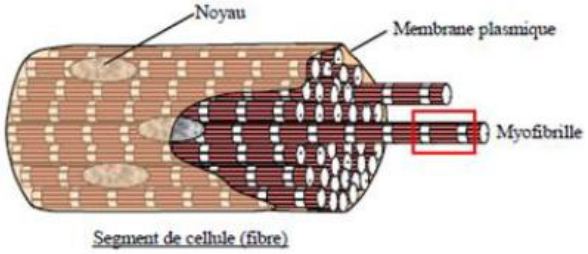


II- La contraction à l'échelle cellulaire

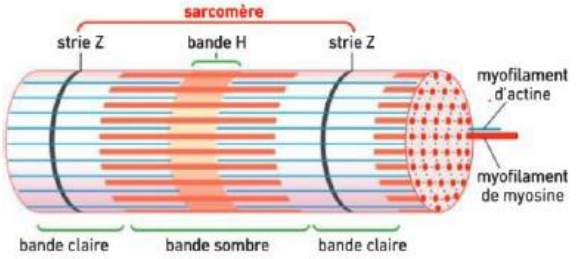
A. Organisation générale des cellules musculaires

Chaque cellule musculaire ou **fibre musculaire** est une cellule géante, de plusieurs centimètres de long. Chaque fibre musculaire comporte plusieurs noyaux. Le cytoplasme renferme des réserves de glycogène (polymère du glucose) et de très nombreuses mitochondries.
Ces fibres possèdent une striation observable au microscope optique.
En effet Le cytoplasme d'une cellule musculaire contient essentiellement des protéines organisées en longues files appelées **myofibrilles** ou **myofilaments** de 2 sortes :
- Les **myofilaments épais**, en position centrale, qui sont constitués par une seule protéine : la **myosine** qui s'organise de façon tête bêche.
- Les **myofilaments fins** ont une constitution plus complexe : ils possèdent de l'**actine** (+ *de la troponine et de la tropomyosine – Hors programme TSPÉ*).

Ces protéines font partie du **cytosquelette** : c'est un ensemble de protéines qui maintient les structures intracellulaires (organites, chromosomes lors des divisions …).

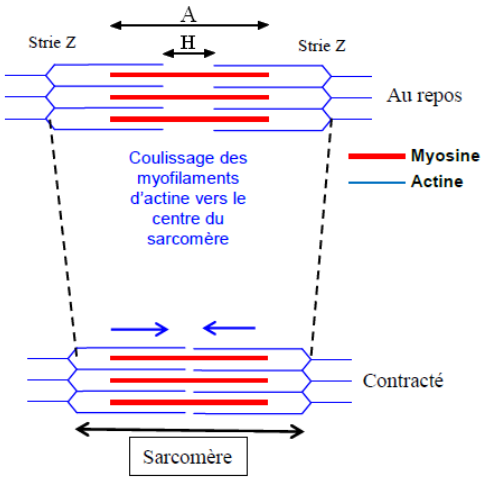


L'observation des myofibrilles au MET (Microscope Electronique à Transmission) montre qu'elles sont formées d'une succession de **sarcomères** : ce sont les **unités structurales et fonctionnelles des cellules musculaires**. Chaque sarcomère est un assemblage des deux types de filaments délimité par des stries majeures : les stries Z (visibles en MO). Entre chaque strie Z, on observe une bande sombre (A), au centre, et des bandes claires (I), à cheval sur les stries Z. Un sarcomère est donc constitué d'une bande A centrale et de 2 demi-bandes sur les côtés. Chaque fibre musculaire comprend un très grand nombre de sarcomères (> 10 000).
C'est l'arrangement de ces sarcomères mis bout à bout qui est responsable de la **striation** observable au microscope optique (*alternance de bandes claires et sombres*).



B. Le raccourcissement des sarcomères et des cellules musculaires

Lors de la contraction, on remarque au microscope électronique que les bandes I (claires) se réduisent mais pas les bandes A (sombres) - **rapprochement des stries Z**, **disparition de la bande H**.
Ceci suggère que l'actine et la myosine glissent l'une sur l'autre (coulissage des filaments fins d'actine par rapport aux filaments épais de myosine) au moment de la contraction, ce qui permet le raccourcissement global du sarcomère
En moyenne, la longueur d'un sarcomère passe de 2,5 µm à 2 µm, ce qui permet à une myofibrille formée de 20 000 sarcomères de se raccourcit de 1 cm.



III -Le fonctionnement du complexe acto-myosine

(La contraction à l'échelle moléculaire)

A. Le complexe acto-myosine

L'actine est une protéine globulaire (Actine G) qui peut se polymériser (s'associer en grand nombre) pour former des filaments d'actine (Actine F). L'actine F forme donc des sortes de petits câbles torsadés qui restent très fins.
La myosine est constituée en 2 parties : une queue assez longue (de l'ordre de 100 nm) et 2 têtes globuleuses. Les myosines ont la capacité à s'associer en grand nombre et forment alors des fibres épaisses. Les têtes de myosine ont la capacité à s'associer à l'actine et peuvent également se recourber, ce qui permet de déplacer les filaments d'actine.

B. Le déclenchement de la contraction par le calcium

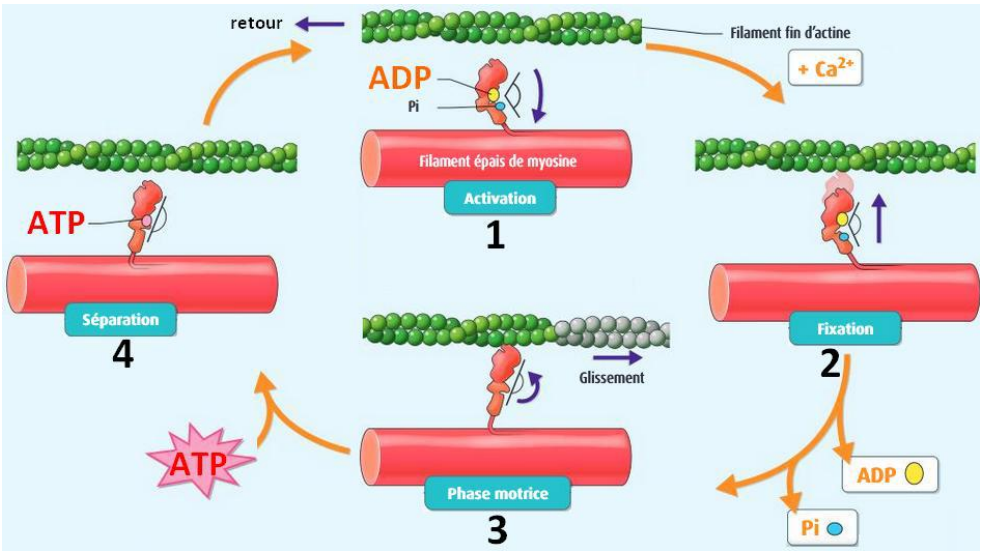
Lorsqu'un potentiel d'action arrive au niveau de la plaque motrice, les neurotransmetteurs vont être libérés et ils vont se fixer sur des récepteurs post-synaptiques. Ceci va induire l'entrée d'ions Ca2+ dans la cellule musculaire.
De plus, l'entrée de calcium sera amplifiée par le fait que la cellule musculaire contient des réserves de calcium dans son réticulum endoplasmique (on l'appelle réticulum sarcoplasmique chez les cellules musculaires). Ces réserves sont libérées par le calcium apporté par la stimulation nerveuse (canaux calciques calcium-dépendant).
Le calcium est très important pour la contraction car c'est lui qui va permettre la fixation de la myosine sur l'actine.

C. La mobilisation du complexe acto-myosine et l'ATP

Au niveau moléculaire, le raccourcissement des sarcomères suit un cycle d'évènements au cours duquel les têtes de myosine se fixent sur l'actine et pivotent, ce qui provoque le coulissement Ce cycle consomme le **calcium** (Ca_{2+}) libéré par le réticulum sarcoplasmique, et de l'**ATP** (**a**dénosine **t**ri**p**hosphate). L'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi (**a**dénosine **di**phos**p**hate + Phosphate inorganique) libère de l'énergie, une énergie sous forme chimique qui sera donc convertie en énergie mécanique au cours de la contraction.

L'ATP est fourni par les mitochondries lors de la respiration cellulaire ou lors de la fermentation lactique (chap 2)

Ce cycle peut se résumer ainsi :
1. à 2. Fixation : la tête de myosine **se fixe** à l'actine grâce à la présence d'ions **Ca2+** venant du réticulum ;
2. à 3. « Coup de force » : éjection de l'**ADP** + P de la tête de myosine →le changement de conformation de la tête entraîne son **pivotement** ce qui provoque le glissement du filament d'actine vers le centre du sarcomère ;
3. à 4. Séparation : une molécule d'**ATP** vient se fixer sur la tête de myosine →la tête de myosine **se décroche** du filament d'actine ;
4. à 1. Activation : **hydrolyse de l'ATP** en **ADP** + P (→libération d'énergie) → **nouveau pivotement** de la tête de myosine dans sa position de départ. Un nouveau cycle peut commencer



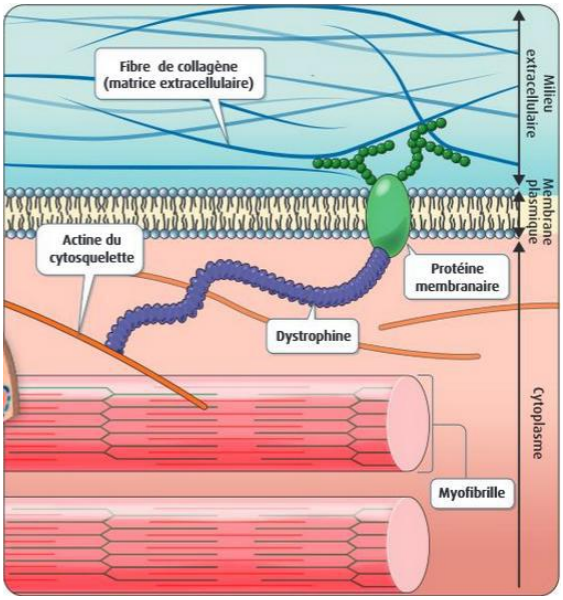
La répétition de ces étapes conduit à la contraction complète du sarcomère. Le raccourcissement de chaque sarcomère se répercute sur la totalité de la myofibrille, diminuant ainsi la longueur de la cellule musculaire et donc du muscle, ce qui explique le raccourcissement global du muscle visible à l'oeil nu.

D. Les dysfonctionnements de la cellule musculaire : l'exemple des myopathies

Certaines maladies génétiques affectent le fonctionnement du muscle. En particulier, la myopathie de Duchenne est causée par des mutations sur le gène de la dystrophine , gène porté par le chromosome X (c'est donc une maladie génétique touchant les garçons) . La dystrophine est une protéine de très grande taille qui attache le complexe acto-myosine aux membranes des cellules musculaires. L'absence ou un défaut de cette protéine empêche de transmettre le raccourcissement aux membranes et donc à l'ensemble du muscle.

Dans de nombreux cas, les myopathies présentent aussi un caractère dégénératif qui accentue les symptômes au cours du temps. Des mécanismes de réparation interne existent mais finissent par être dépassés par l'ampleur des réparations nécessaires. Les cellules musculaires dégénèrent et le mouvement devient impossible. Cette maladie touche tous les muscles : les muscles squelettiques mais aussi le muscle cardiaque et les muscles lisses associée à l'intestin.

La guérison est actuellement impossible. Le traitement des myopathies est aujourd'hui l'objet de recherches intensives.



<u>Pour aller plus loin: CRAMPES/COURBATURES</u>

L'approvisionnement en sang et en nutriments doit être optimal sans quoi la contraction est perturbée. En particulier, des crampes peuvent apparaître en cas de manque d'ATP : dans ce cas, la myosine est bloqué dans son état rigueur, fixé à l'actine. Il y a donc une contraction importante et douloureuse.

Les courbatures peuvent également être une conséquence d'un manque d'apports nutritifs. Lorsque l'effort est trop intense ou trop rapide, le dioxygène peut manquer. Dans ce cas, la fourniture de l'énergie sera assurée par la fermentation qui produit de l'acide lactique. Il n'est pas directement responsable des courbatures mais les micro-lésions consécutives à l'effort seront accentuées, ce qui cause les courbatures