

Thème 3 : Corps humain et santé

2^{ème} partie : Produire le mouvement : contraction musculaire et apport d'énergie

Les mouvements mobilisent les muscles composés de **cellules musculaires**. Ce type de cellule dispose d'une organisation structurale lui permettant de se raccourcir, ce qui entraîne le raccourcissement du muscle. La cellule musculaire a besoin d'énergie apportée sous forme d'**ATP**, produit à partir du **glucose**. L'approvisionnement des cellules musculaires en **glucose** nécessite le maintien de la concentration de glucose sanguin, régulé par des hormones.

Chapitre 4 : La cellule musculaire : une structure spécialisée permettant son propre raccourcissement.

Chapitre 5 : Origine de l'ATP nécessaire à la contraction musculaire

Chapitre 6 : Le contrôle des flux de glucose

Chapitre 4 : La cellule musculaire : une structure spécialisée permettant son propre raccourcissement.

Rappels :

Les organes qui interviennent dans le mouvement sont :

- Les **os** qui se déplacent les uns par rapport aux autres
- les **ligaments**, qui relient les os entre eux au niveau des articulations
- les **muscles**, qui peuvent se déformer
- les **tendons**, qui relient les muscles aux os.

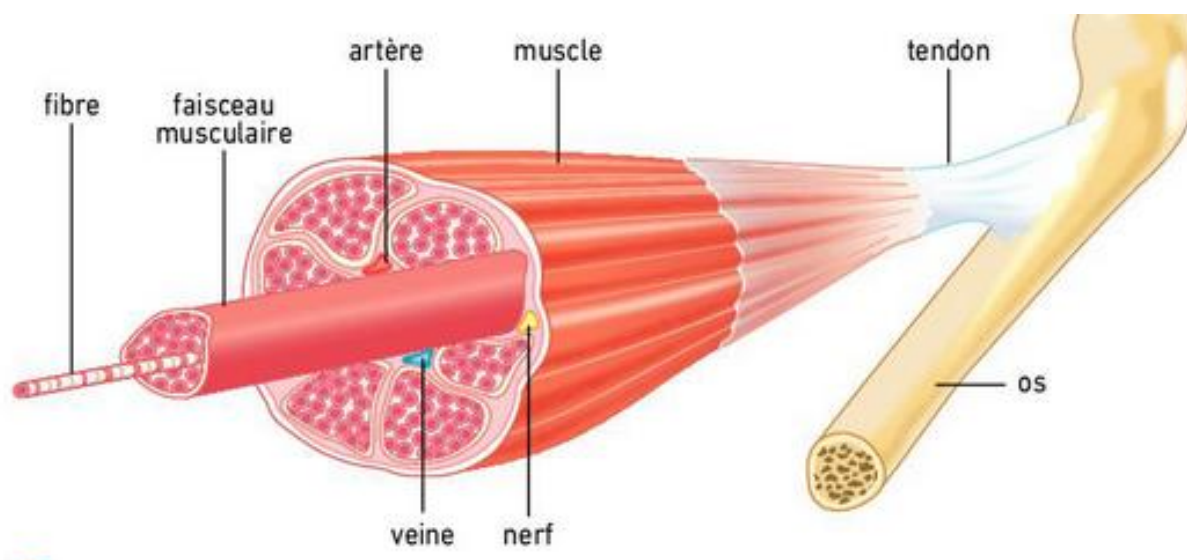
Un mouvement correspond au déplacement l'une par rapport à l'autre de deux parties rigides d'un membre autour d'une articulation. La contraction des muscles sert de moteur au mouvement, la rigidité des membres étant assurée par les os.

Comment la contraction des cellules musculaires permet-elle la contraction du muscle ?

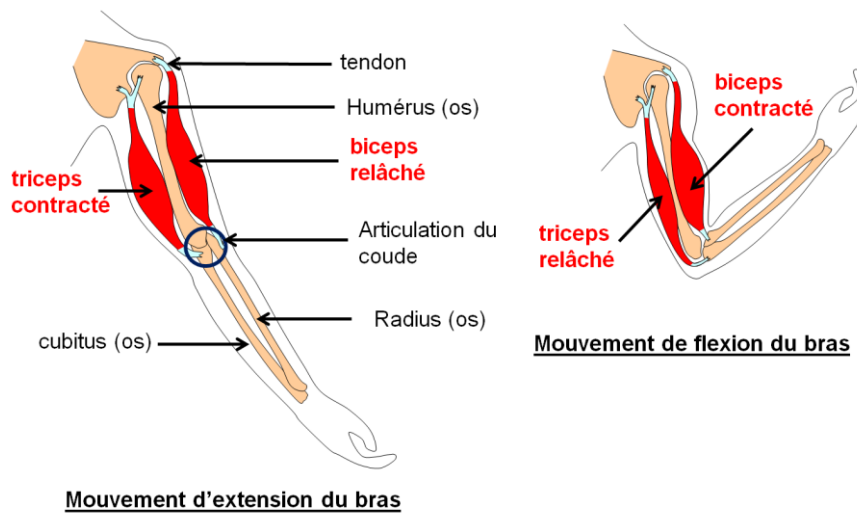
I. Le muscle à l'origine des mouvements

Les **muscles striés squelettiques** sont les moteurs des mouvements de l'organisme.

*** les observations en microscopie optique ont permis de découvrir qu'ils sont constitués d'une multitude de cellules musculaires allongées (fibres musculaires) reliées entre elle, disposées parallèlement et organisées en faisceaux.*



Sous l'action de stimuli nerveux, le mouvement est causé par la contraction synchrone des cellules composant le muscle strié. Le raccourcissement de l'ensemble du muscle exerce une traction sur les os auxquels il est attaché par l'intermédiaire des tendons. Ainsi l'articulation est mobilisée.



II. La fibre musculaire, une cellule spécialisée dans la contraction

Chaque fibre musculaire est une cellule géante de plusieurs centimètres de long, née de la fusion de nombreuses cellules, qui renferme donc dans son cytoplasme plusieurs **noyaux**. Elle possède également de nombreuses **mitochondries** qui assurent la production d'énergie.

****Une fibre musculaire squelettique présente au microscope optique un aspect strié (ce qui donne son nom au muscle), du à l'alternance de bandes claires et de bandes sombres.**

Cette striation est due à l'organisation moléculaire des myofibrilles qui constituent le cytosquelette occupant le cytoplasme. Les **myofibrilles** sont des structures contractiles, de nature protéique, cylindriques et parallèles. ****Au MET, elles apparaissent constituées d'une succession d'unités de 2,5 µm de long, les sarcomères.**

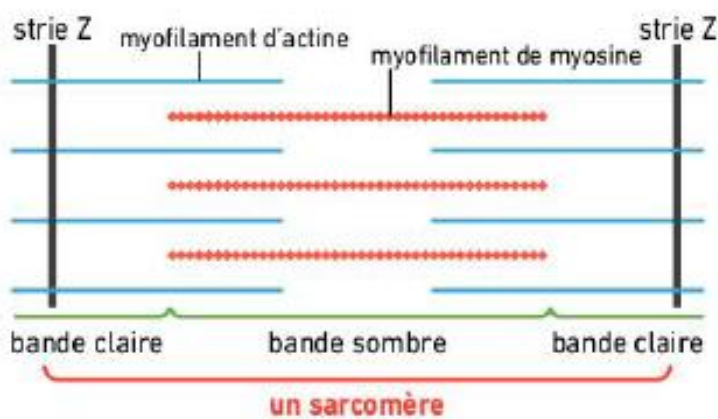
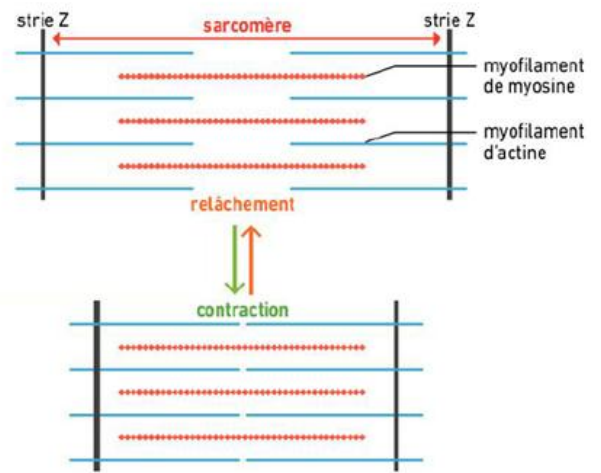


Schéma d'un sarcomère

Chaque **sarcomère** est un assemblage de deux types de filaments de nature protéique, disposés parallèlement à l'axe de la myofibrille : des filaments fins **d'actine** et des filaments épais de **myosine**.

** En comparant au MET, une myofibrille d'une fibre contractée et relâchée, on peut constater qu'au cours de la contraction musculaire, les sarcomères raccourcissent d'environ 25%. La longueur des filaments (d'actine et de myosine) ne varie pas : il y a **glissement** des filaments fins d'actine le long des filaments épais de myosine. À l'échelle moléculaire, la contraction musculaire se fait donc par déplacement relatif des protéines qui forment les filaments.



Le raccourcissement des sarcomères se répercute sur la totalité de la myofibrille, et donc de la fibre musculaire et enfin sur le muscle.

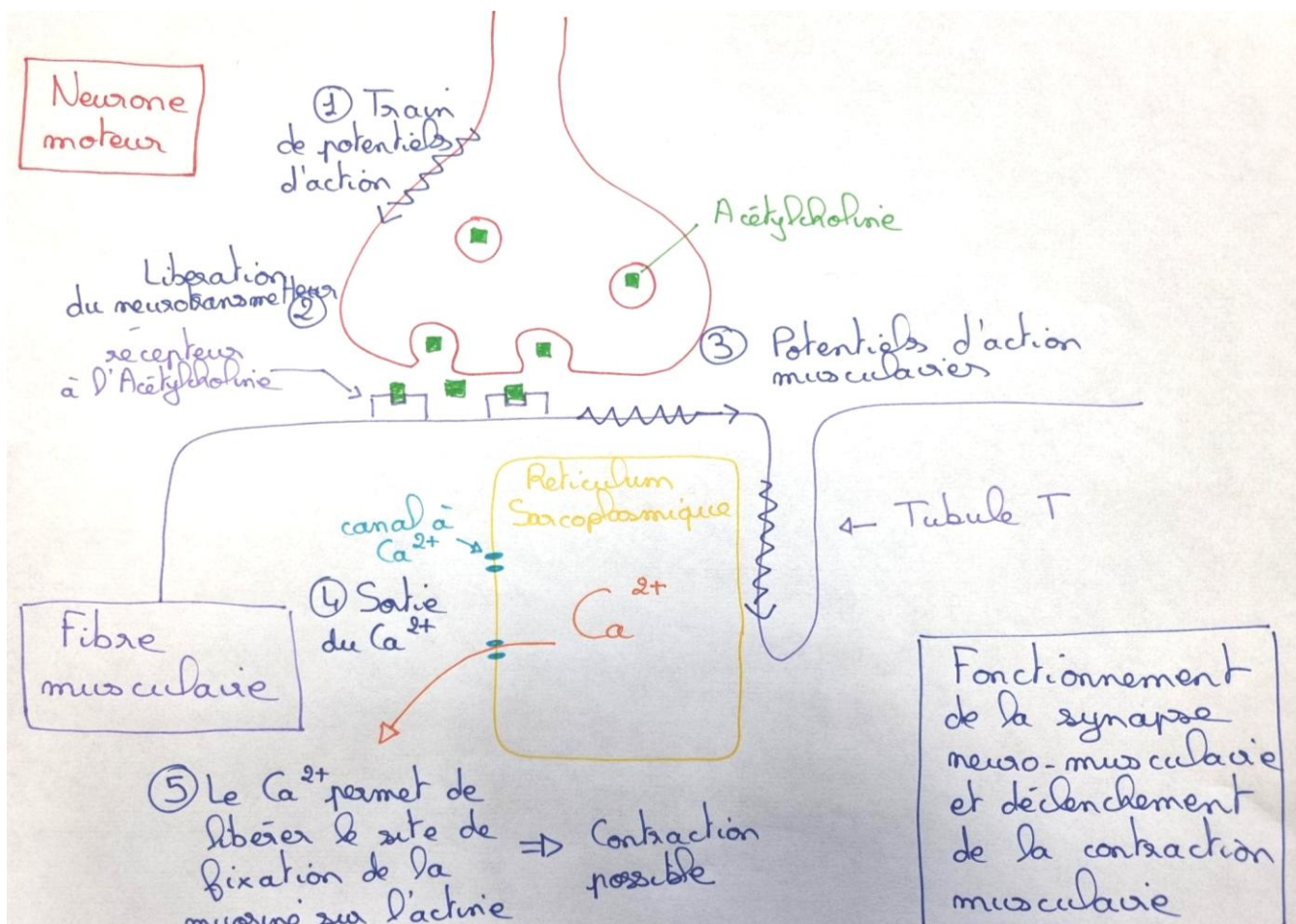
Schéma du glissement des filaments au niveau d'un sarcomère

III. Le mécanisme moléculaire de la contraction.

La formation puis la propagation de potentiels d'action au niveau de la cellule musculaire entraînent la **libération des ions Ca^{2+}** par ouverture de **canaux calciques** situés sur le réticulum sarcoplasmique. Cela provoque une augmentation de la concentration du cytosol en ions Ca^{2+} qui provoque la **contraction** de la fibre musculaire.

**Mise en évidence du rôle du Ca^{2+} par l'observation au MO de chair musculaire de crabe entre lame et lamelle dans 2 cas :

- On fait diffuser sous la lamelle un peu de sérum physiologique → aucune modification observable.
- On fait diffuser sous la lamelle une goutte de chlorure de calcium → on observe un raccourcissement des fibres



La contraction d'une fibre musculaire correspond à un glissement des filaments d'actine le long des filaments de myosine grâce à la formation de **ponts d'union** entre actine et myosine.

Le Ca^{2+} modifie la conformation de l'actine et rend accessible les **sites de liaison** à la myosine.

L'hydrolyse de l'ATP dégage l'énergie nécessaire à ce glissement.

Chaque molécule de myosine possède une zone globulaire appelée « **tête de myosine** » capable de basculer et de s'accrocher à de l'actine selon une succession cyclique d'étapes constituant le cycle de contraction.

*** Mise en évidence du rôle de l'hydrolyse de l'ATP par l'observation au MO de portions de fibres musculaires placées dans une solution ionique dont on fait varier la composition.*

- *solution ionique sans ATP → pas de contraction des fibres musculaires*
- *solution ionique avec ATP → contraction des fibres musculaires*
- *solution ionique avec ATP + salyrgan (bloque l'hydrolyse de l'ATP) → pas de contraction des fibres musculaires*

Le cycle de contraction se déroule en plusieurs étapes :

Étape 1 : une molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine et provoque la **rupture du pont d'union** entre actine et myosine par modification de la configuration spatiale de la tête de myosine.

Étape 2 : Au niveau de la tête de myosine, **l'hydrolyse l'ATP** en ADP et P_i qui restent étroitement liés à la myosine. Cette hydrolyse de l'ATP en ADP + P_i fournit l'énergie nécessaire à **l'activation de la tête de myosine** et donc à son changement d'orientation dans l'espace.

Étape 3 : la libération du P_i de la tête de myosine entraîne **l'accrochage de la tête de myosine** à l'actine (= formation d'un complexe actine-myosine).

Étape 4 : la libération de l'ADP de la tête de myosine entraîne le **pivotement** et un retour de la tête de myosine à sa position de repos (= coup de rame) responsable du déplacement de l'actine par rapport à la myosine.

La fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de myosine entraîne de nouveau la dissociation du complexe actine-myosine et un autre cycle peut alors commencer (si l'ATP n'est pas renouvelée, les têtes de myosine ne se détachent pas de l'actine et la fibre musculaire reste contractée).

*** La rigidité cadavérique correspond à l'enraidissement progressif de la musculature survenant dans la phase post-mortem. En effet l'absence de régénération de l'ATP empêche la fixation d'ATP sur la tête de myosine et donc la rupture du pont actine/myosine (étape 1). La liaison permanente entre les myofibrilles explique la rigidité cadavérique.*

Tant que l'ATP est disponible et que la concentration de Ca^{2+} dans le cytoplasme est élevée le cycle se poursuit pour différentes têtes de myosine.

La recapture du Ca^{2+} dans le réticulum endoplasmique permet la fin des cycles de contraction musculaires.

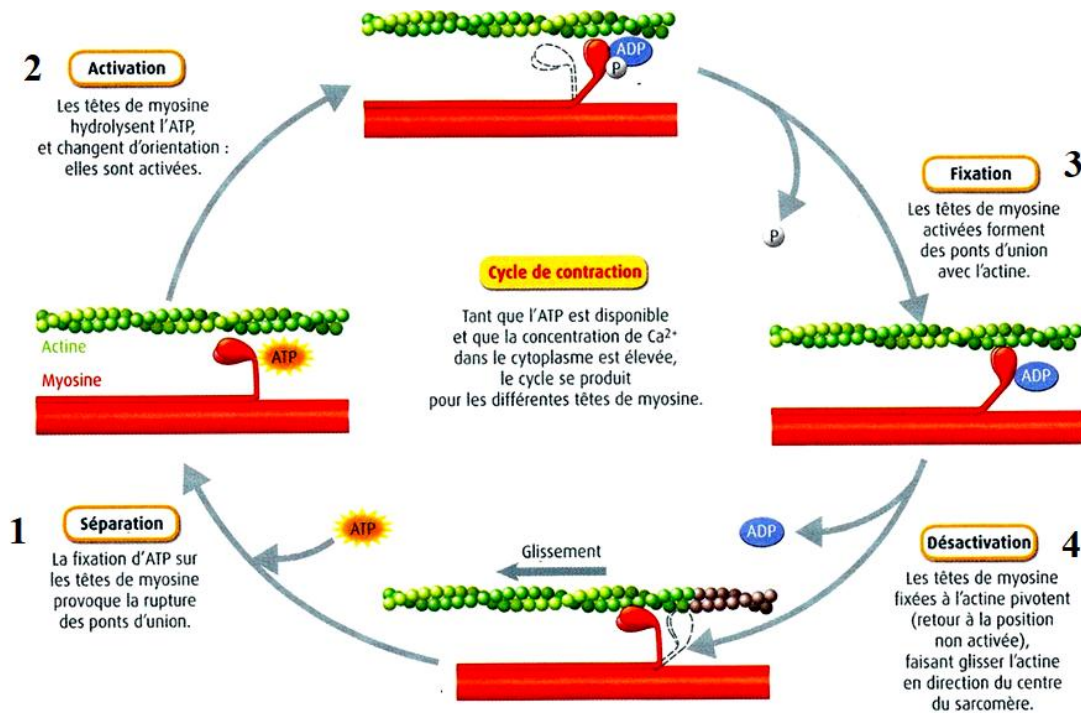


Schéma du cycle de contraction à l'échelle moléculaire

Le mécanisme moléculaire à la base de la contraction musculaire correspond aux **glissements de protéines** (actine/myosine) les unes sur les autres. L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire.

Lors de la contraction de la fibre musculaire, **l'énergie chimique** issue de l'hydrolyse de l'ATP est convertie en **énergie mécanique** (mouvement) au niveau de chaque sarcomère : c'est un **couplage énergétique chimiomécanique**.

IV. La myopathie de Duchenne, une dégénérescence des cellules musculaires

Les cycles répétés de contraction/relâchement soumettent les cellulaires musculaires à de fortes contraintes. L'étude de certaines maladies des muscles, ou **myopathies**, a permis de montrer le rôle clé de la **matrice extracellulaire** dans le maintien de la cohésion du tissu musculaire.

TD : la myopathie de Duchenne (p340-341 du manuel Nathan)

Décrire les phénotypes de la maladie pour chaque niveau d'organisation et expliquer son origine génétique. Vous répondrez à la question sous forme de présentation orale.

Rq : La **lame basale** est la matrice extracellulaire des cellules épithéliales et musculaires.

Matrice extracellulaire : ensemble de molécules de grande taille présentes dans les tissus, situées à l'extérieur des cellules qui les sécrètent et qui favorisent, entre autre l'adhérence cellulaire. Ces molécules jouent également un rôle clé dans la croissance des cellules.