

LE TISSU MUSCULAIRE STRIE SQUELETTIQUE

1) Généralités sur les muscles :

Les tissus musculaires sont constitués de cellules appelées **myocytes**.

Ces cellules sont spécialisées dans la production de **force motrice**, c'est-à-dire qu'elles possèdent la capacité de se **contracter**.

Cette contraction est rendue possible par la présence de **protéines contractiles** qui permettent aux myocytes de se **raccourcir**.

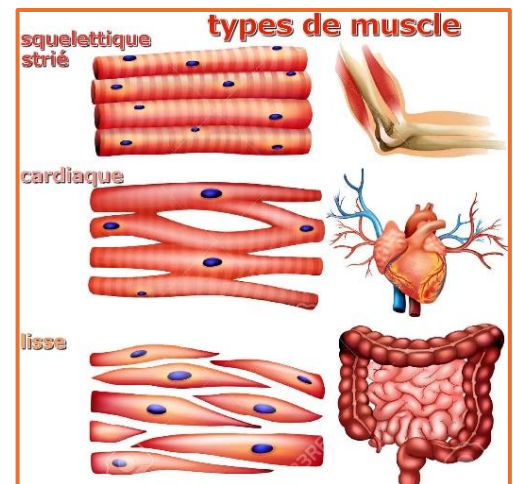
Pour générer la contraction, les myocytes ont la particularité de **transformer l'énergie chimique en énergie mécanique**, assurant ainsi le mouvement.

Les myocytes sont organisés en **unités contractiles**, qui peuvent être **pluricellulaires** ou **unicellulaires** :

Organisation pluricellulaire

Lors de ce type d'organisation, **les myocytes s'associent entre eux** pour former des **tissus** puis des **organes**.

On distingue donc les **muscles squelettiques**, le **muscle cardiaque**, ainsi que **le tissu musculaire lisse** (→ présents notamment dans la paroi du tube digestif).



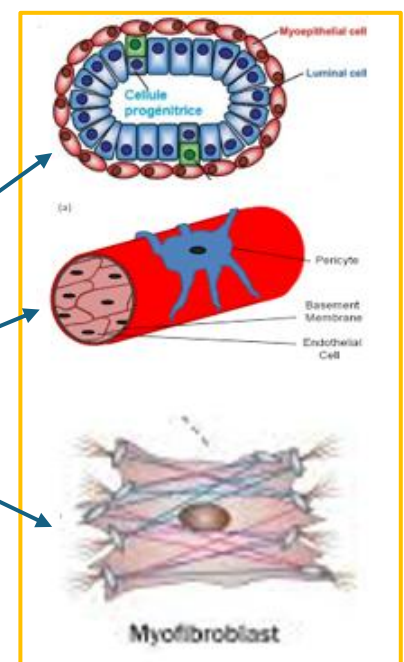
Organisation unicellulaire

Certains myocytes existent à l'état **isolé**.

Ces cellules présentent une structure similaire à celle des cellules musculaires lisses.

On retrouve parmi elles :

- Les **cellules myoépithéliales**, qui assurent l'expulsion des sécrétions dans les épithéliums glandulaires ;
- Les **péricytes**, situés autour de l'endothélium des capillaires et responsables du maintien du tonus vasculaire ;
- Les **myofibroblastes**, présents dans le tissu conjonctif.



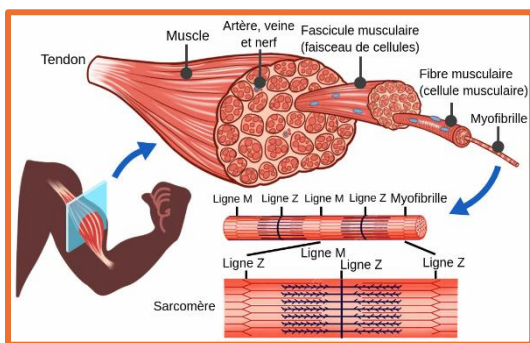
2) Tissu Musculaire Strié Squelettique (TMSS)

Le **tissu musculaire strié squelettique** est le premier type de tissu musculaire que l'on va traiter. Son nom vient de son **aspect strié**, visible en **microscopie optique**.

Les cellules musculaires qui le composent sont appelées **rhabdomyocytes**.

Ce tissu est principalement responsable des **mouvements du squelette** et de certains **organes** (comme les **yeux** ou la **langue**). Ce tissu joue aussi un rôle essentiel dans le **maintien de la posture** du corps.

La majorité des mouvements garantis par ces muscles sont **volontaires**, c'est-à-dire qu'ils dépendent de notre volonté. Les muscles striés squelettiques sont sous le contrôle du **système nerveux cérébrospinal**, c'est-à-dire du **système nerveux central** (cerveau et moelle épinière).



Aujourd'hui on analysera ce type de muscle à partir de son

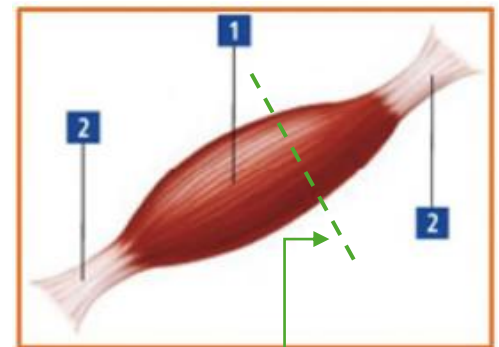
- ① **aspect macroscopique**, puis on s'intéressera à son
- ② **observation microscopique** (optique et électronique) pour
- enfin étudier sa ③ **composition moléculaire**.

Tout d'abord il faut savoir que le tissu musculaire strié squelettique représente :

- **25%** du poids de l'organisme à **la naissance**
- **45%** du poids de l'organisme **chez l'adulte**

D'un point de vue macroscopique, le muscle est constitué de **deux parties** :

- Au centre le **corps du muscle** ou **corps musculaire** ①
- Aux extrémités **les tendons** ② qui permettent le **rattachement du muscle au squelette**.



Si on réalise une **coupe transversale** du corps du muscle, on sera capables d'observer « **4 composantes** » :

- **Musculaire**,
- **Conjonctive**,
- **Vasculaire**
- **Et nerveuse**.

A) Composante musculaire et conjonctive

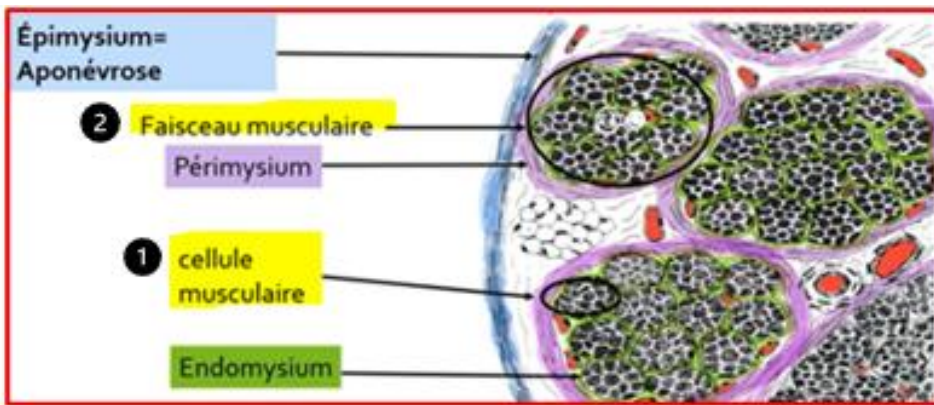


Schéma d'une coupe transversale de muscle strié squelettique :

On voit que les **cellules musculaires 1** sont regroupées en « **paquets** » = **en faisceaux 2**.

De l'extérieur vers l'intérieur on peut observer que :

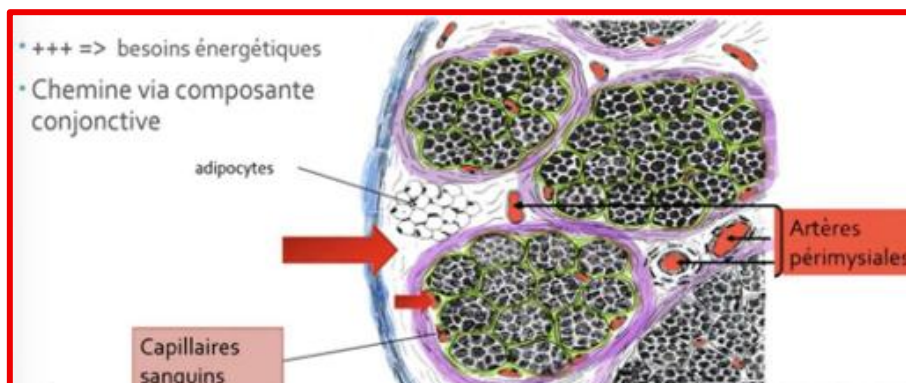
Le **corps du muscle** est enveloppé par du **tissu conjonctif** : c'est l'**aponévrose** ou **épimysium**. L'**épimysium** émet des **cloisons conjonctives** → le **périmysium**, qui entourent chaque **faisceau musculaire**.

Le **périmysium** lui-même émet des cloisons conjonctives plus petites, qui entourent alors chaque **cellule musculaire**. C'est l'**endomysium**.

RECAPITUT : le muscle est enveloppé par du tissu conjonctif (ON RETIENT LES PREFIXES++) :

l'épi-	→	péri-	→	l'endo-	MYSIUM
Corps du muscle		faisceau musculaire		cellule musculaire	

B) Composante vasculaire



La composante vasculaire doit couvrir les **besoins énergétiques du muscle** et **éliminer les métabolites** produits pour empêcher leur accumulation.

Le cheminement de la composante vasculaire est **défini par la composante conjonctive**.

Ainsi, les **ovolumineuses artères** traversent l'**épimysium**, puis elles se ramifient dans les cloisons du **périmysium** et deviennent des **artères péricapsulaires**.

Ces dernières traversent ensuite le **périmysium** pour se ramifier au niveau de l'**endomysium** et donner naissance à un très vaste réseau de **capillaires sanguins**.

Chaque **cellule musculaire** dispose d'un **capillaire sanguin**. **1 cellule ↔ 1 capillaire**

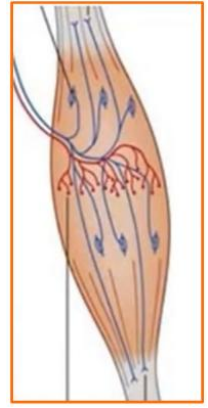
C) Composante nerveuse

La composante nerveuse est de deux types : **motrice** et **sensitive**.

- **Motrice** : pour la **contraction**
- **Sensitive** : qui est sensible à **l'étirement du muscle**

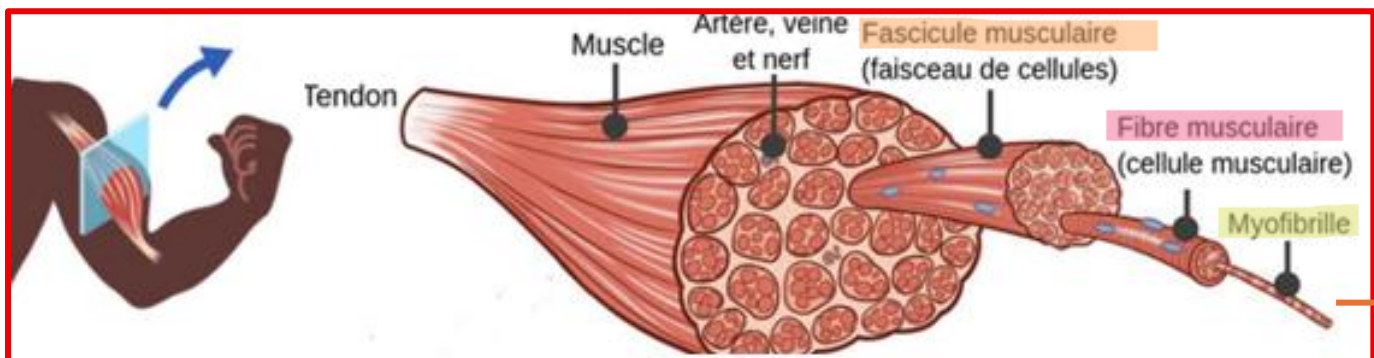
Les trajets des nerfs « suivent la même logique » que ceux de la vascularisation.

Les **nerfs de gros calibre** traversent **l'épimysium**, se **ramifient** dans le **périmysium** et se **ramifient encore** dans **l'endomysium** pour être en contact avec les cellules musculaires.



3) La cellule musculaire squelettique

A) Du muscle à la myofibrille



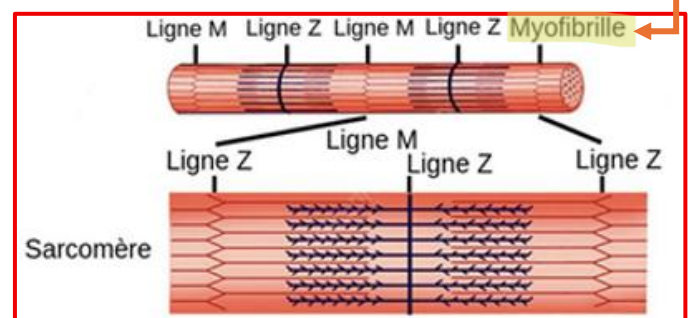
Depuis la macroscopie vers la microscopie :

On voit le **muscle strié squelettique**, dans ce cas le biceps, est composé du **corps musculaire** et des **tendons**.

Si on effectue une coupe transversale du biceps, on observe une organisation en **faisceaux musculaires** : chaque **fascicule musculaire** contient des **fibres musculaires = des cellules musculaires**.

Si maintenant on isole **une cellule musculaire**, on observe à l'intérieur de son cytoplasme des **myofibrilles** : un organe cellulaire.

Et enfin, si on observe une **myofibrille en ME**, on observe son **unité fonctionnelle : le sarcomère**.
(NO WORRIES ON VA DETAILLER TOUT CA)



ATTENTION : Lorsqu'on parle de :

Fibre musculaire = cellule musculaire = myocyte

Faisceau musculaire = fascicule musculaire = « paquet de myocytes »

Sarcomère = unité fonctionnelle des myofibrilles visible en ME

Sarcolemme = membrane plasmique des cellules musculaires

Sarcoplasme = cytoplasme des cellules musculaires

B) Morphologie

Le myocyte est une cellule :

- **Cylindrique** aux bords parallèles
- D'un diamètre de **10 à 100 μm** (grosse cellule)
- S'attachant aux tendons (ou bien au péricymium) il peut donc atteindre la longueur du muscle ($\approx 30\text{ cm}$)
- Possédant une **membrane plasmique appelée sarcolemme** reposant sur une membrane basale
- Son cytoplasme contient de **très nombreux noyaux** (\approx une centaine) qui sont **refoulés en périphérie**

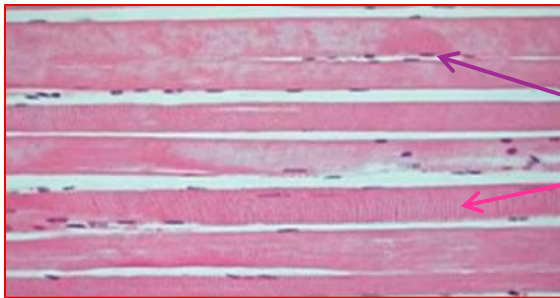
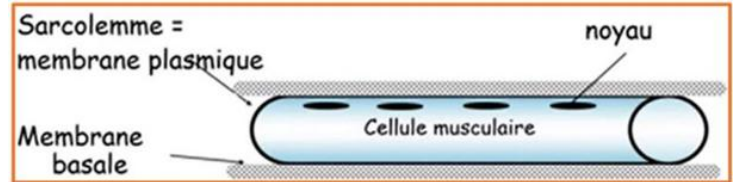


Image illustrant des myocytes au M.O.

Noyaux (en violet)

Sarcoplasme (en rose)

Myocyte (la cellule/fibre musculaire)

Pourquoi le myocyte a cet aspect allongé avec des bords parallèles ?

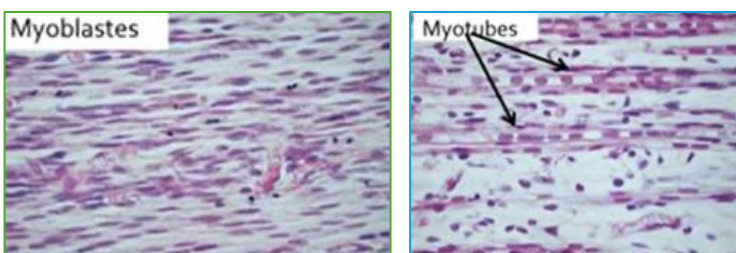
Pour comprendre cette forme particulière, il faut remonter à la **formation des myocytes pendant l'embryogenèse**.

À partir de la **3^e semaine de développement**, des cellules se **différencient** pour donner naissance aux **précurseurs des myocytes**, appelés **myoblastes**.

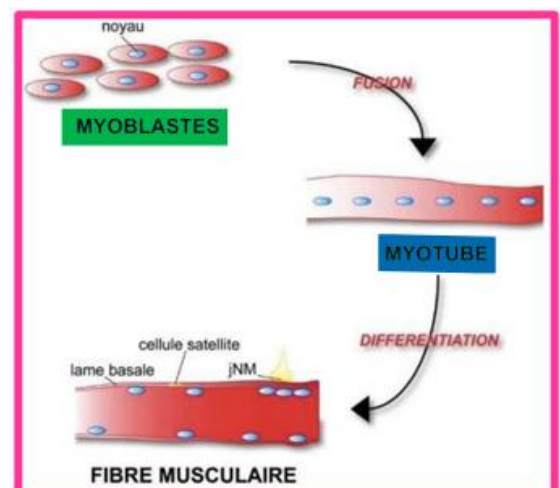
Les **myoblastes** sont des **cellules mononucléées**, c'est-à-dire qu'elles possèdent **un seul noyau**, situé au centre de la cellule. Les myoblastes ont une forme **fusiforme** (en forme de fuseau), donc **NON PARALLELE** sur les bords.

Vers la **8^e semaine**, ces myoblastes commencent à **fusionner entre eux**. Plusieurs centaines de ces cellules s'unissent pour former une **longue cellule multinucléée** appelée **myotube**.

Chez l'adulte, ces **myotubes** deviennent les **fibres musculaires**, ou **myocytes matures**. Chaque fibre musculaire est donc un **syncytium** : une seule grande cellule contenant **de nombreux noyaux** (souvent plusieurs centaines), disposés **en périphérie**, et présentant des **bords parallèles** caractéristiques.



Lol la différence est vraiment très légère mais pour les **myotubes** les noyaux sont plus aplatis et vous pouvez apercevoir une forme « tubulaire ».



Pourquoi les noyaux sont refoulés en périphérie ?

Pour comprendre cela, il faut observer **l'organisation interne du myocyte**.

Comme dans toutes les cellules, le cytoplasme contient différents **organites**. Cependant, chez le myocyte, un type d'organite occupe **la majeure partie de l'espace intracellulaire** : ce sont les **myofibrilles**.

Les **myofibrilles** sont très nombreuses : il y en a **des centaines** dans chaque cellule musculaire. Elles remplissent presque tout le cytoplasme, ce qui **repousse les noyaux vers la périphérie**, juste sous le **sarcolemme**.

L'ensemble des myofibrilles forme ce qu'on appelle le **myoplasme**.

Chaque myofibrille mesure environ **1 à 2 micromètres de diamètre** et représente **l'unité fonctionnelle du myocyte**.

Ainsi, la **disposition périphérique des noyaux** est une conséquence directe de la **présence massive des myofibrilles** au centre de la cellule.

Toute altération de la **structure** ou du **fonctionnement** des myofibrilles peut entraîner des **pathologies musculaires**, car elles sont essentielles à la contraction du muscle.



C) Contenu cytoplasmique

Le **sarcoplasme** contient d'autres **organites/éléments** importants pour la cellule musculaire.

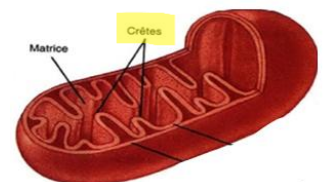
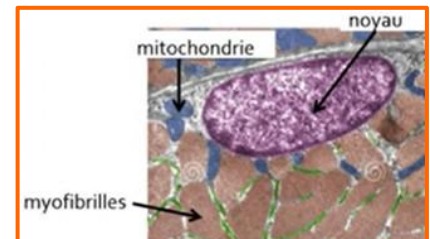
1 LES MITOCHONDRIES

Les **mitochondries** occupent environ **2% du volume cellulaire** : elles sont donc très nombreuses au sein du sarcoplasme.

Ces mitochondries sont **riches en crêtes**, ce qui témoigne leur **forte activité** dans la production **d'énergie** (nécessaire à la contraction).

Elles sont **disposées en fil entre les myofibrilles**.

Toute anomalie des mitochondries affecte **la production d'énergie** pour le myocyte, ce qui provoquera des **pathologies musculaires**.



2 LE GLYCOGENE = réserve énergétique du myocyte

3 LES PROTEINES SPECIFIQUES AU FONCTIONNEMENT DES MYOCYTES

- La **MYOGLOBINE** qui est une chromoprotéine (protéine colorée) proche de l'hémoglobine, **capable de fixer l'oxygène**.
- La **DYSTROPHINE** qui joue un rôle très important dans le fonctionnement des myofibrilles en **s'accrochant au sarcolemme**.

D) Aspect strié en microscopie optique

Le tissu musculaire strié squelettique a un **aspect strié** en **MO**.

Lorsque l'on observe l'image de coupe semi-fine d'un myocyte (figure 1), on observe très nettement une **alternance de bandes sombres et de bandes claires**.

La **bande sombre** est appelée **bande A**, pour **anisotrope**, et sa **largeur = 1,5 µm**.

La **bande claire** est appelée **bande I**, pour **isotrope**, et sa **largeur = 0,8 µm**.

Au **centre** de la **bande claire (I)**, on trouve une fine strie sombre appelée **strie Z**.

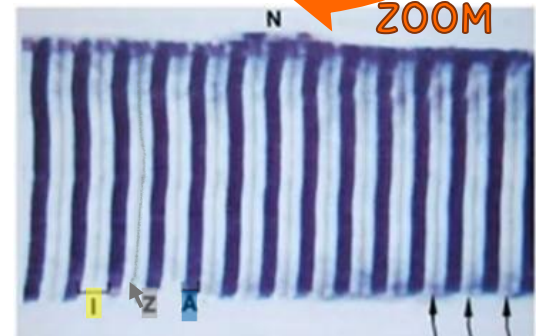
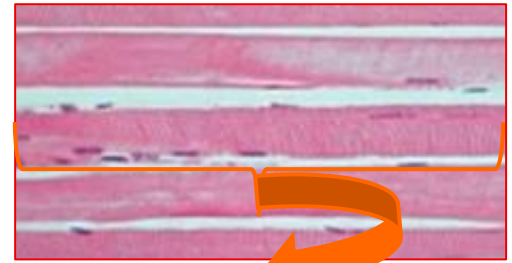
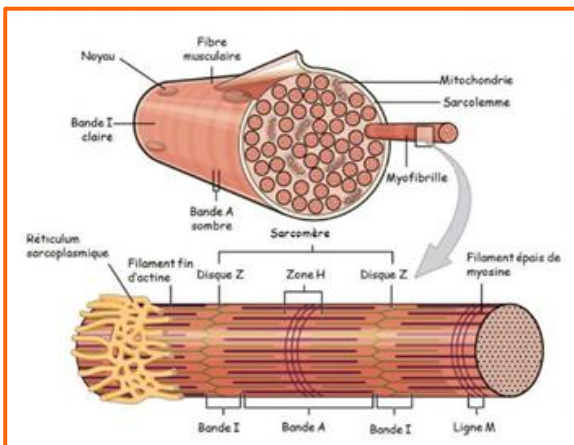


Figure 1: coupe semi-fine d'un myocyte

L'aspect strié des myocytes est porté par les **myofibrilles**.



Sur ce schéma on voit que les **myofibrilles** présentent une alternance de bandes claires et de bandes sombres.

Comme les myofibrilles sont parallèles et alignées entre elles, cet **arrangement est visible en MO** au niveau du myocyte.

La striation des myocytes est issues en réalité de l'aspect strié des myofibrilles.

4) Le sarcomère : unité fonctionnelle

A) Organisation du sarcomère

L'observation via le **microscope électronique (ME)** nous permet de visualiser **une seule alternance bande claire/bande sombre**.

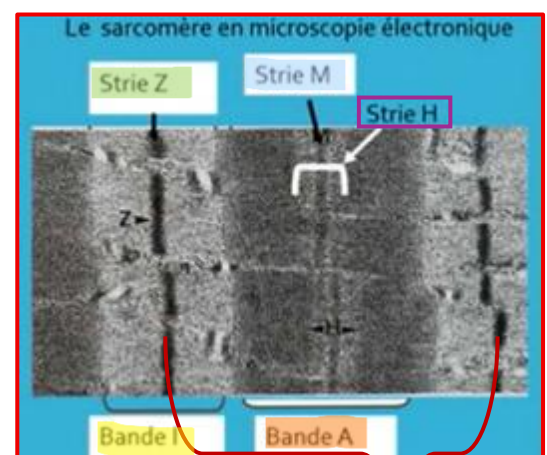
Cela correspond au **sarcomère**, l'**unité fonctionnelle** et plus précisément l'**unité contractile des myofibrilles**.

Le sarcomère se situe **entre deux stries Z**, il est donc composé de :

Une **strie Z** à **chaque extrémité**

Deux **demi-bandes I** vers l'intérieur

Une **bande A** au centre



SARCOMERE

Essayez de bien visualiser avec le schéma.
Ne confondez pas les bandes avec les stries.

Si on s'intéresse ultérieurement à cette **bande sombre A** on remarque qu'elle présente **au centre** une strie plus claire : la **strie H** ou **strie de Hansen**.

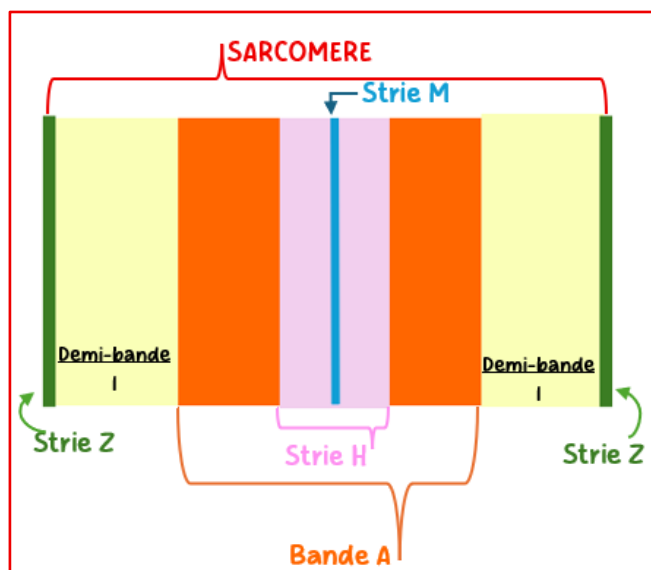
Puis, **au centre** de cette **strie H** on voit une strie fine sombre : **la strie M**.

Le **sarcomère** depuis la première strie Z jusqu'à la deuxième strie Z **mesure $\approx 2,5\mu\text{m}$** .

Instant mnémo :

Bande A → bIAck → bande sombre

Bande I → whIte → bande claire



B) Structure moléculaire du sarcomère

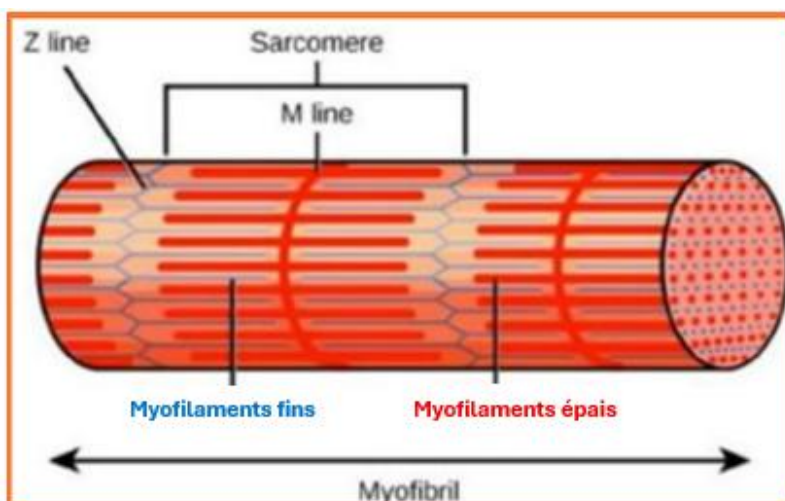
La structure du sarcomère que l'on vient de voir en ME, peut s'expliquer par sa **structure moléculaire**.

Le sarcomère est constitué de deux types de myofilaments : des **myofilaments épais** et des **myofilaments fins**.

① Les **myofilaments épais** sont constitués de **myosine** et sont rattachés à la **strie M**.

Ils ont **une longueur $\approx 1,5\mu\text{m}$** et un **diamètre $\approx 15\text{nm}$** .

② Les **myofilaments fins** sont constitués **d'actine** (une protéine contractile) et sont attachés à la **strie Z**. Ces myofilaments sont plus petits, ils mesurent environ **$1\mu\text{m}$ de long** et **5 à 6 nm de diamètre**.



Ce schéma permet de montrer que l'agencement des différents filaments au sein du sarcomère est **extrêmement régulier**.

① Le myofilament épais

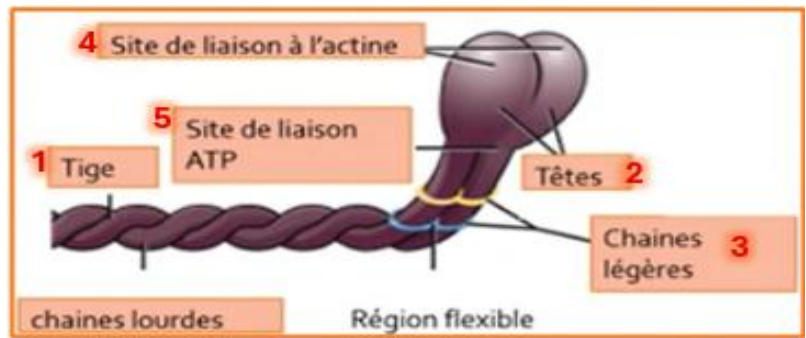
Le **filament épais** est constitué d'une protéine qui « ressemble à une crosse de hockey » : **la myosine**.

Caractéristiques de la myosine :

Longueur = 200nm

Largeur = 2nm

Masse moléculaire = 120/520 kDa



Au sein du **filament épais**, la myosine se présente sous forme de **2 chaînes lourdes**, qui s'enroulent l'une autour de l'autre **en hélice alpha**, pour former la **tige (1)**.

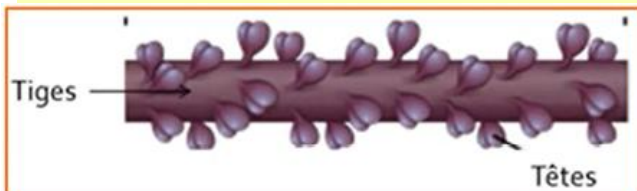
L'**extrémité NH2 terminale** (de la chaîne lourde) **s'enroule en motte** pour former une **tête globuleuse (2)**.

A ces 2 chaînes lourdes s'associent **4 chaînes légères (3)**. Ces **4 chaînes légères** s'associent au **niveau de la tête** pour donner de la **rigidité** à cette structure.

Au niveau de la tête de la myosine on retrouve **2 sites de liaison bien précis** :

- Un site de liaison **à l'actine (4)**.
- Un site **d'activité ATPase** dépendant de l'actine (= « **Site de liaison ATP** ») **(5)**.

Pour former le myofilament épais, il faut que **300-400 molécules de myosines** s'associent entre elles. Pour que le myofilament épais se forme il faut que :



Les tiges des molécules de myosines se positionnent de façon à être **parallèles** les unes aux autres.
Les têtes des molécules de myosines adoptent une **position hélicoïdale** autour de l'axe formé par les tiges.

Au niveau du sarcomère

Deux myofilaments épais s'unissent par l'extrémité de leur tige, s'étendant ainsi sur toute la **bande A** du sarcomère. **Le myofilament épais occupe donc l'intégralité de la bande A** (=la bande sombre).

La strie M correspond à la **zone de jonction entre les myofilaments épais**. C'est la **superposition de ces filaments** à ce niveau qui crée cette **strie plus sombre** observable en ME.

Au moment de jonction des deux myofilaments, les têtes hélicoïdales de myosine sont absentes.

Dans la strie H, il n'y a donc aucune tête de myosine (c'est pour cela que cette région est légèrement plus claire en ME par rapport à la bande A).

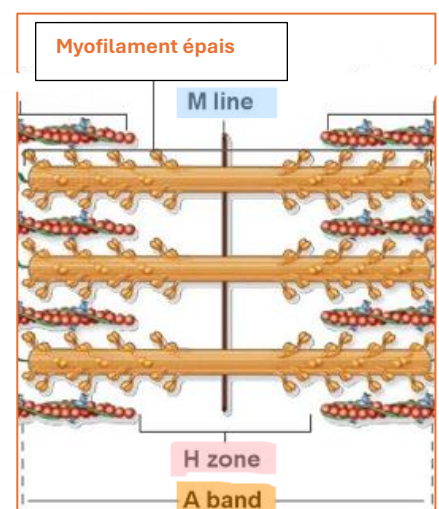


Figure 2: ZOOM SUR LA **BANDE A DU SARCOMERE**

② Le myofilament fin

Le **myofilament fin** est constitué d'une protéine appelée **actine**.

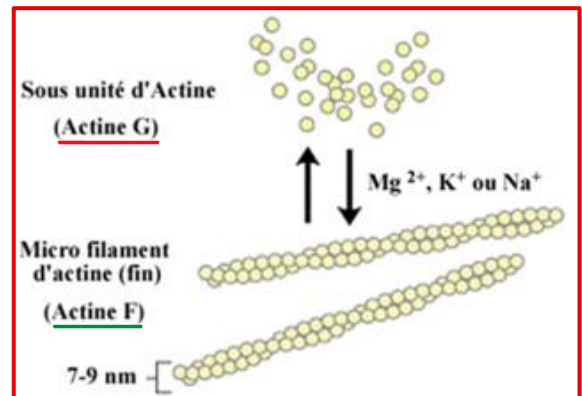
Comparée à la **myosine**, l'actine possède un **poids moléculaire plus faible**, d'environ **42 kDa**.

L'actine existe d'abord sous une forme **globulaire**, appelée **actine G** (pour **globulaire**). On peut la représenter comme une **petite perle**.

Pour former un **filament**, ces « perles » d'actine G s'**assemblent les unes aux autres** par un processus de **polymérisation**, créant ainsi un long « **collier de perles** ». Ce filament est appelé **actine F** (pour **filamenteuse**).

Lors de cette formation, **chaque monomère d'actine G** tourne d'environ **166° autour de l'axe du filament**, ce qui confère à l'**actine F** sa **structure en double hélice**.

Chaque monomère d'actine (=chaque perle) possède un **site de fixation pour la myosine** (les ronds vert foncé).



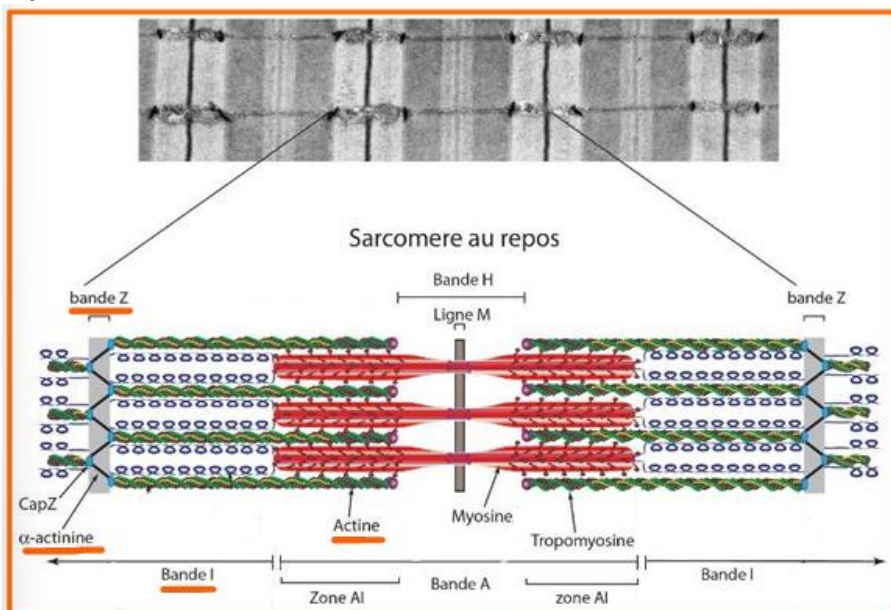
Au niveau du sarcomère

Si l'on replace les **myofilaments d'actine** dans la structure du **sarcomère**, on observe qu'ils sont **fixés à la strie Z**.

Les **myofilaments fins** appartenant à **deux sarcomères voisins** s'attachent ensemble **au niveau de cette strie Z** grâce à une protéine appelée **α -actinine**.

Cette liaison assure non seulement la **continuité entre les sarcomères**, mais elle participe aussi, comme nous le verrons plus tard, à **l'ancrage de la myofibrille au sarcolemme** (la membrane plasmique de la cellule musculaire).

Enfin, dans la **bande I**, on ne trouve **que des myofilaments fins**, sans présence de filaments épais de myosine.



RECAPITUL :

Strie Z : lieu d'ancrage des filaments **d'actine**

Bande I : on retrouve les filaments **d'actine**

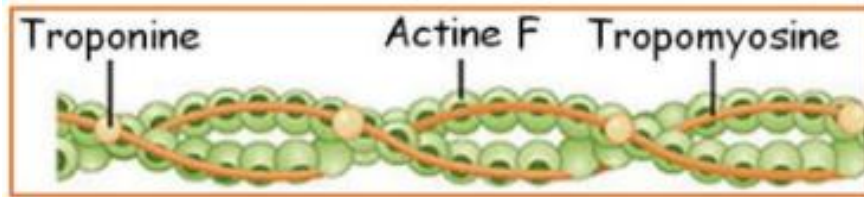
Bande A : on retrouve les filaments de **myosine**

Strie H : on retrouve les filaments de **myosine (SANS leurs têtes)**

Strie M : zone de jonction entre les myofilaments de **myosine**

③ Les autres protéines contractiles

Voyons maintenant deux autres protéines contractiles impliquées dans le sarcomère : la **tropomyosine** et la **troponine**.



• La tropomyosine

La **tropomyosine** est une **molécule longue et fine**, mesurant **≈40 nanomètres**.

Elle est formée de **deux chaînes polypeptidiques enroulées l'une autour de l'autre**.

Cette protéine s'insère dans la **gouttière du filament d'actine**, où son rôle est de **stabiliser la structure** du myofilament fin.

• La troponine

La **troponine** est une **protéine globulaire** composée de **trois sous-unités** :

- **Troponine T** : se lie à la **tropomyosine**, assurant la connexion entre les deux protéines ;
- **Troponine C** : fixe les **ions calcium (Ca²⁺)** lors de la contraction musculaire ;
- **Troponine I** : **inhibe** la liaison entre l'actine et la myosine en **masquant le site de fixation** sur l'actine (on peut retenir que *I = inhibe*).

Chaque **molécule de tropomyosine** est associée à un **complexe de troponine**.

Les complexes de troponine sont disposés **en face des têtes de myosine**, afin d'**empêcher leur fixation** sur l'actine tant que le calcium n'est pas présent.

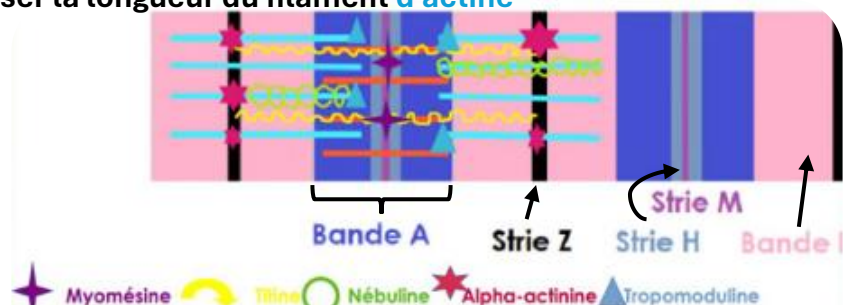
C) Attachement des myofilaments

Le sarcomère a une organisation très précise et il existe différents éléments du cytosquelette qui interviennent pour maintenir cette organisation structurale et spatiale.

Ces éléments permettent **l'attachement des myofilaments à la strie Z** et **l'attachement des myofibrilles au sarcolemme** et à **la matrice extracellulaire**.

Plusieurs protéines sont impliquées :

- **La myoméline (ou protéine M)** : relie les **myofilaments entre eux** au niveau de la **strie M**
- **La titine** : ancre les **filaments épais à la strie Z**, maintient leur alignement et oppose une résistance à l'étirement excessif du sarcomère. Elle s'étire de la strie Z à la strie M.
- **La nébuline** : s'enroule autour du **filament fin** pour **guider la polymérisation de l'actine**
- **L'alpha-actinine** : **assure la liaison** des myofilaments fins **d'actine** au niveau de la **strie Z**
- **La tropomoduline** : permet de **stabiliser la longueur du filament d'actine**



D) Attachement des myofibrilles

Le **sarcomère** n'est pas une structure isolée : il est **attaché à la membrane plasmique** (ou **sarcolemme**) et à la **matrice extracellulaire (MEC)**.

Cet ancrage assure la **transmission de la force de contraction** à toute la cellule musculaire, puis au tissu environnant.

Trois **protéines principales** interviennent dans cette liaison :

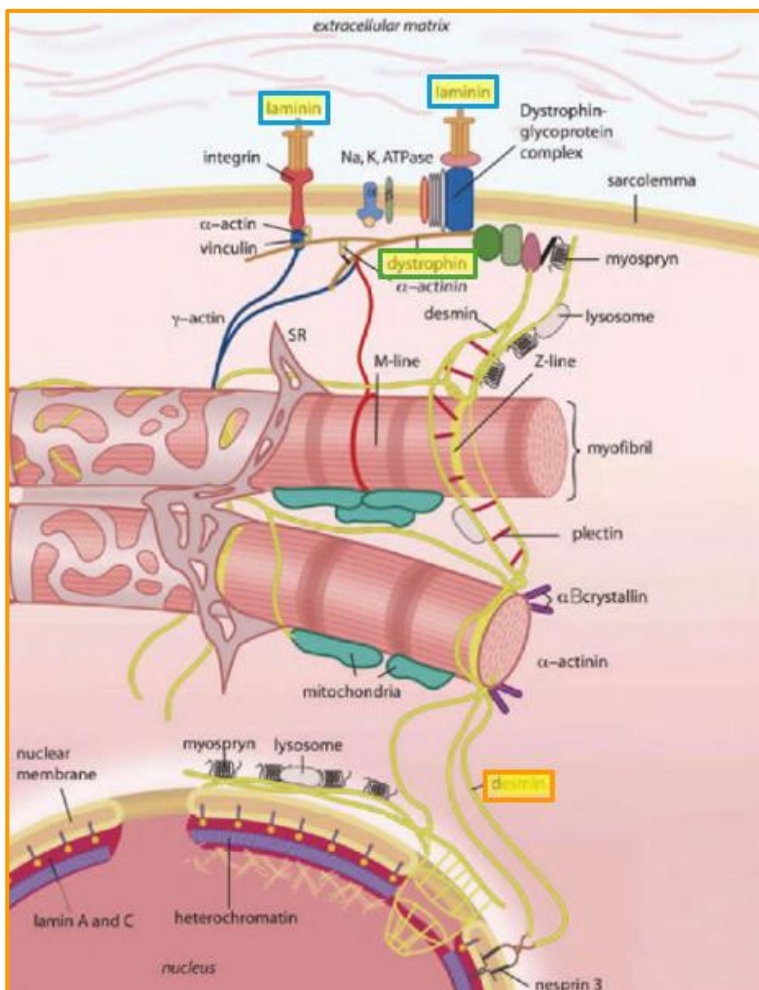
- **LA DESMINE** : relie les **myofibrilles entre elles**, les fixe au **sarcolemme** et à **l'enveloppe nucléaire**.
Elle forme un réseau de **filaments intermédiaires** disposés comme des **échelles** au niveau de la **strie Z**, maintenant ainsi l'alignement des myofibrilles.
- **LA DYSTROPHINE** (et les **protéines associées**) : constitue un **complexe sous le sarcolemme**, qui assure **l'ancrage des myofibrilles** à la **membrane plasmique** et à la **membrane basale**.

Aspect pathologique :

Le **gène de la dystrophine**, localisé sur le **chromosome X**, peut subir des **mutations** altérant la fonction de cette protéine. Cela entraîne une **perte de l'attachement des myofibrilles au sarcolemme**, compromettant la **contraction musculaire**.

Ces anomalies sont à l'origine de la **myopathie de Duchenne**, la **myopathie héréditaire la plus fréquente**.

- **LA LAMININE** : assure la **liaison entre le complexe de la dystrophine** et la **matrice extracellulaire**, complétant ainsi l'ancrage global du sarcomère à son environnement.



C'est un schéma illustratif pour mieux visualiser.

Concentrez-vous sur les éléments encadrés et surlignés

5) Sarcolemme, tubules T et réticulum sarcoplasmique

Nous venons donc de voir la structure des myofibrilles, des organites qui correspondent à l'unité contractile des myocytes. Mais dans le myocyte, d'autres organites sont aussi importants pour la contraction musculaire !

Il s'agit du **sarcolemme** (= membrane plasmique), des **tubules T** et du **réticulum sarcoplasmique**.

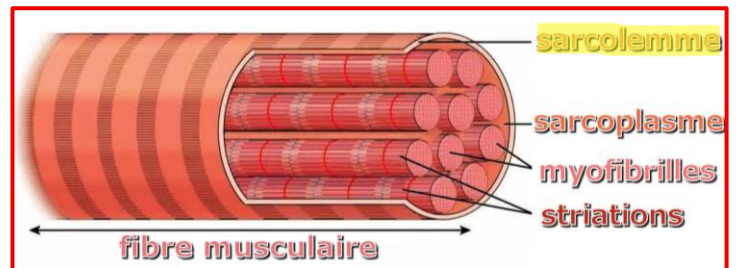
① Le sarcolemme

Le **sarcolemme** reçoit le **signal de dépolarisation** et permet la **propagation de ce signal** (nous reverrons ça dans la partie suivante portant sur l'innervation).

Pour pouvoir effectuer cette propagation, le sarcolemme contient de nombreux **récepteurs aux neurotransmetteurs et aux hormones**.

Il contient aussi **des transporteurs** comme les transporteurs de glucose **GLUT 1** et **GLUT 4**.

Ainsi, **l'insuline, l'exercice musculaire et l'hypoxie** stimulent **l'entrée du glucose** dans les myocytes. Le glucose est un facteur énergétique pour les myocytes.

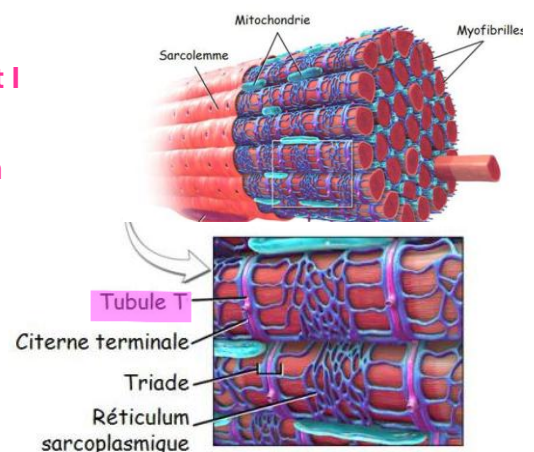
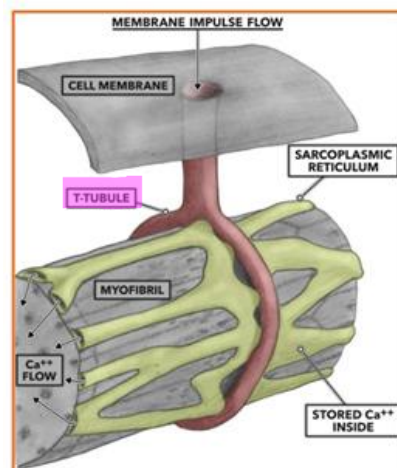


② Les tubules T

Les **tubules T** sont un **réseau de tubules, de canalicules**, correspondants à des **invaginations du sarcolemme**.

Ils pénètrent à **l'intérieur du cytoplasme** et cheminent **autour des myofibrilles** (entre les **citernes terminales du réticulum sarcoplasmique**).

- Ils sont présents au niveau de **la jonction des bandes A et I**
- Ils renferment de **nombreux canaux calciques**
- Leur rôle est **la transmission de l'onde de dépolarisation**



③ Le réticulum sarcoplasmique

Le **réticulum sarcoplasmique** est un organe constitué de **citernes transversales**, aussi appelées **citernes terminales**.

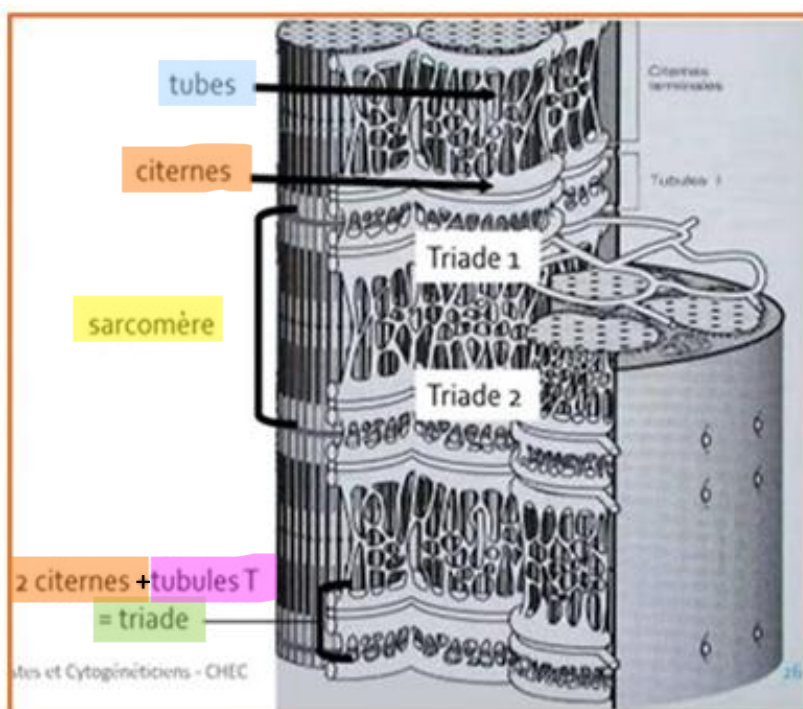
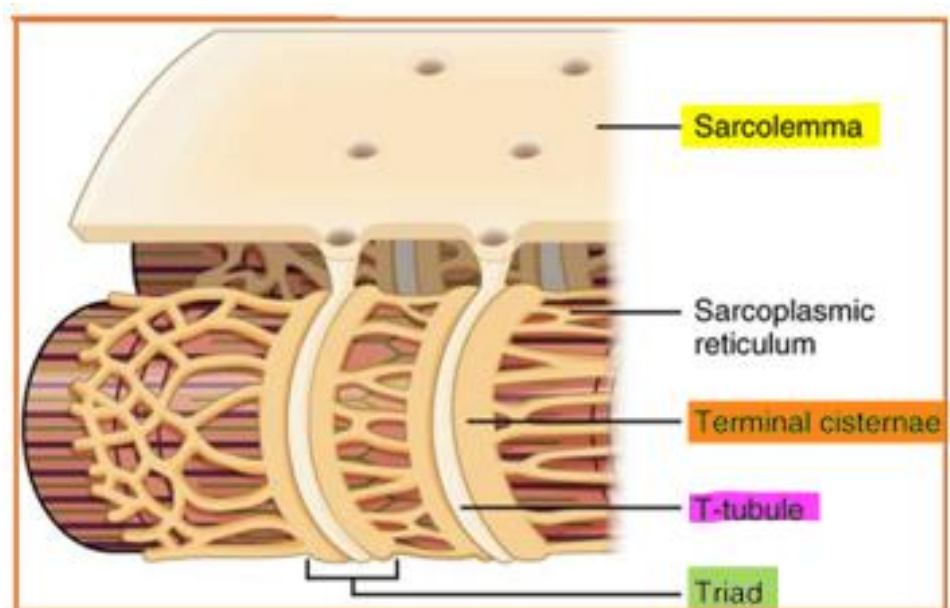
Ces citernes sont reliées entre elles par un **réseau de tubules longitudinaux** qui épousent la forme des **myofibrilles**.

Les citernes terminales servent de **réservoir de calcium**, un ion absolument essentiel pour déclencher la **contraction musculaire**.

Dans la cellule musculaire, **deux citernes terminales** s'associent à un **tubule T** (invagination du sarcolemme) pour former une structure appelée **triade**.

Cette triade se situe précisément à la **jonction entre la bande A et la bande I** du sarcomère.

Ainsi, chaque sarcomère comporte **deux triades**, situées de part et d'autre.



6) L'innervation de la cellule squelettique

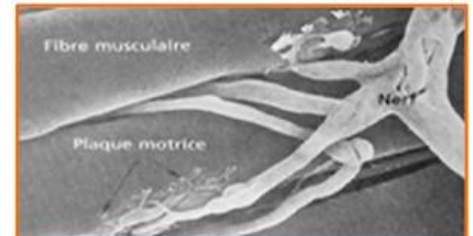
La contraction des muscles squelettiques est contrôlée par le **système cérébro-spinal**.
Chaque muscle est innervé par **un ou plusieurs nerfs cérébro-spinaux**.

Lorsqu'un motoneurone innerve **un petit nombre de fibres musculaires**, les mouvements produits sont **très précis**, comme c'est le cas pour les muscles de la main.

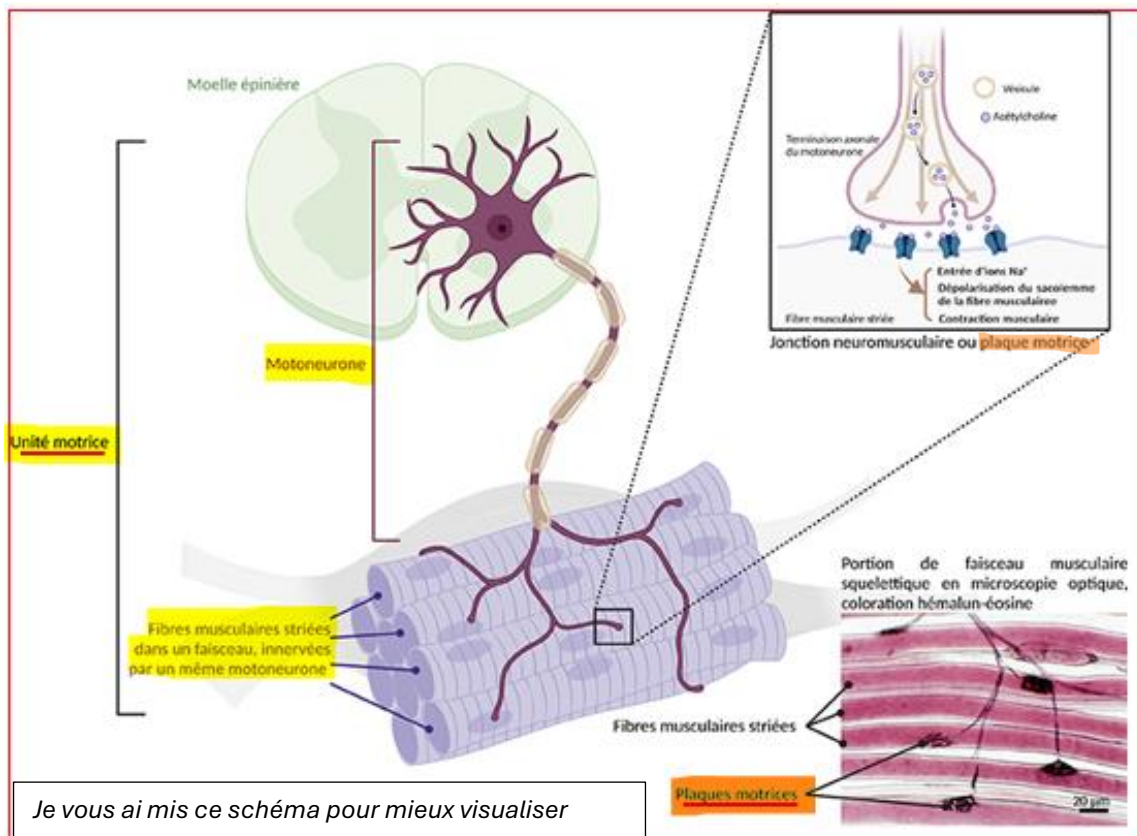
À l'inverse, lorsqu'un motoneurone innerve **plusieurs centaines de fibres musculaires**, les mouvements sont **moins fins et moins précis**.

Les **axones des motoneurones se ramifient dans le muscle**, et **chaque fibre musculaire reçoit une innervation unique**.

L'ensemble formé par **un motoneurone et toutes les fibres musculaires qu'il innerve** constitue une **unité motrice**.



Coupe (ME) illustrant l'innervation du motoneurone (→nerf)



Je vous ai mis ce schéma pour mieux visualiser

Examinons maintenant la structure de **la zone de contact entre la terminaison du neurone moteur (=l'axone) et la fibre musculaire : la plaque motrice**.

! DONC FAITES BIEN ATTENTION LA TEAM :

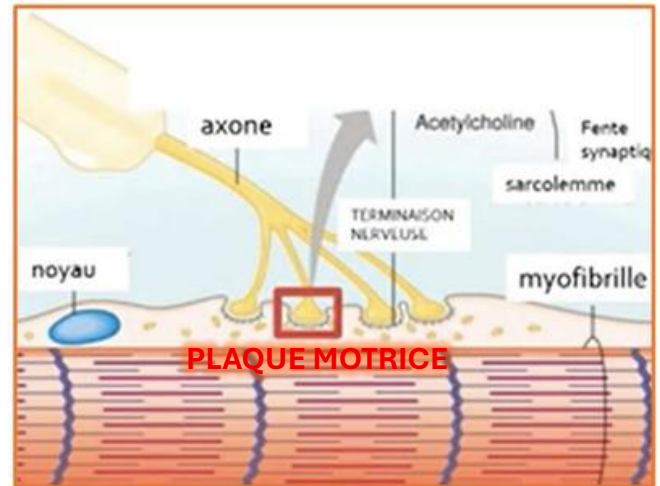
Unité motrice = un **motoneurone + toutes les fibres musculaires qu'il innerve**. C'est une unité fonctionnelle : quand le **motoneurone est activé, toutes les fibres musculaires de l'unité se contractent en même temps**. La taille de **l'unité motrice** détermine **la précision du mouvement** (petite unité motrice → mouvement précis ; grande unité motrice → mouvement moins précis).

Plaque motrice = **zone de contact** entre **l'axone du motoneurone et UNE fibre/cellule musculaire**. Son rôle est de **transmettre le message nerveux** du neurone à la fibre musculaire pour déclencher la contraction.

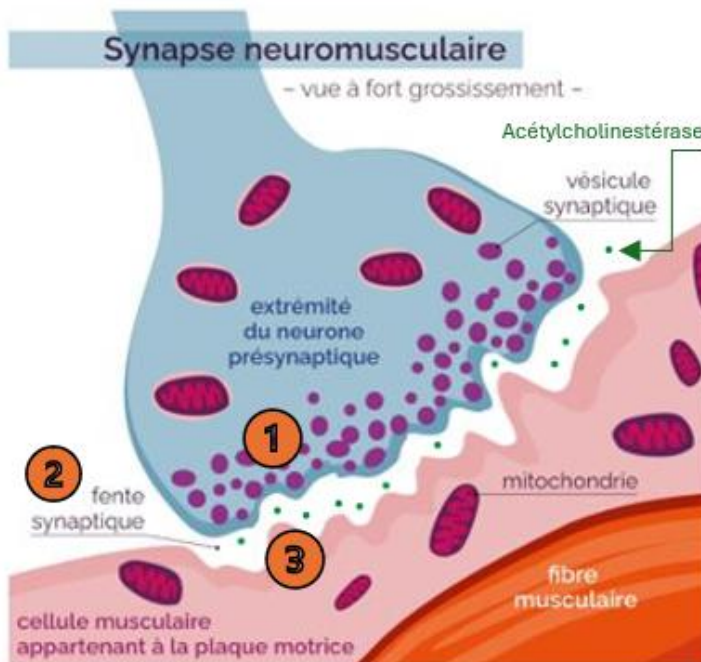
A) Structure de la plaque motrice

La **plaque motrice** correspond à la **zone de contact entre l'axone** (=la terminaison de la cellule nerveuse) **et la cellule musculaire** (I know j'insiste sur ça).

La terminaison de l'axone repose dans une **invagination du sarcolemme**.



Si on applique un grossissement sur cette plaque motrice, on observe **trois zones** :



1 L'espace pré-synaptique

(= terminaison axonale)

2 L'espace synaptique (= fente synaptique)

3 La zone post-synaptique

1. La zone pré-synaptique

Elle correspond à la terminaison de l'axone du motoneurone.

Elle contient de très **nombreuses mitochondries** ainsi que de **nombreuses vésicules** remplies d'un neurotransmetteur : **l'acétylcholine**. Cette zone est limitée par la **membrane plasmique de l'axone**.

2. La fente synaptique (ou espace synaptique)

Elle se situe **entre l'axone et la fibre musculaire** (myocyte) et mesure **≈60 nm**.

Elle résulte de la **fusion des lames basales de l'axone et du myocyte**.

Cette zone est particulièrement **riche en une enzyme, l'acétylcholinestérase**, dont le rôle est de **dégrader l'acétylcholine après son action**.

3. La zone post-synaptique

Elle correspond **au sarcolemme du myocyte**, qui forme de **nombreux replis caractéristiques**.

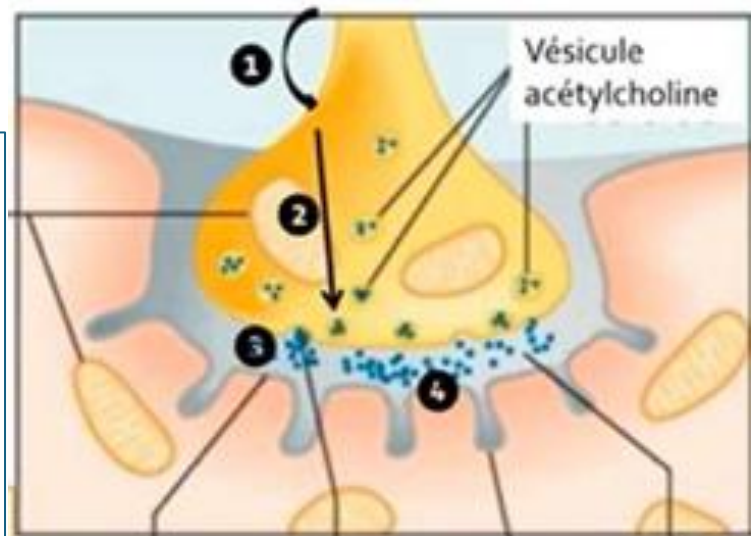
Cette zone est très riche en **récepteurs à l'acétylcholine**.

Dans le sarcoplasme sous-jacent, on observe également de nombreux noyaux, des mitochondries, des ribosomes ainsi que des réserves de glycogène.

B) Activité de la plaque motrice

Les différentes étapes de l'excitation musculaire :

- Excitation musculaire:
 1. Arrivée potentiel action
 2. afflux Ca^{2+}
 3. Libération Ach
 4. fixation Ach sur son récepteur
 5. dépolarisation sarcolemme
- Fin d'excitation musculaire:
 - Diffusion passive Ach
 - Hydrolyse d'Ach par acétylcholine estérase



Transmission du message nerveux au niveau de la plaque motrice

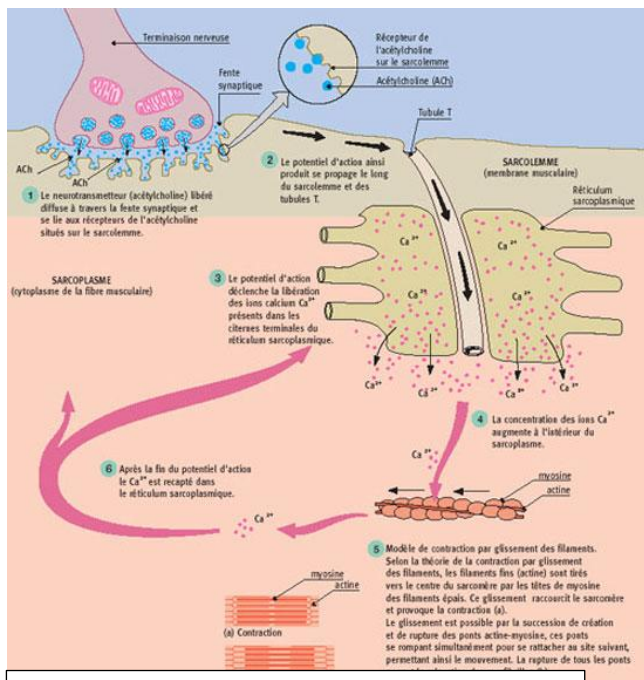
- 1) Le **potentiel d'action** se propage le long de l'axone du **motoneurone** et **atteint son extrémité, au niveau de la plaque motrice.**
- 2) L'arrivée du potentiel d'action au niveau de la terminaison axonale provoque **l'ouverture de canaux calciques** (=contenus dans la membrane de l'axone) et entraîne une **entrée de calcium dans la zone pré-synaptique.**
- 3) Cet **afflux de calcium** déclenche la **fusion** des **vésicules contenant l'acétylcholine** avec la **membrane pré-synaptique**, entraînant **la libération de l'acétylcholine dans la fente synaptique.**
- 4) Les molécules **d'acétylcholine** diffusent à travers la fente synaptique et se **fixent sur leurs récepteurs spécifiques** situés sur la **membrane de la fibre musculaire** (=myocyte).
- 5) Les récepteurs de l'acétylcholine fonctionnent comme des canaux sodiques : leur activation provoque une **entrée d'ions sodium dans le myocyte**, ce qui entraîne la **dépolarisation du sarcolemme** et **déclenche l'excitation musculaire.**

Fin de l'excitation

À la fin de l'excitation musculaire, **l'acétylcholine est éliminée** de la fente synaptique **par deux mécanismes :**

- Via une **diffusion passive** de l'acétylcholine **hors de la fente synaptique**,
- Via **l'hydrolyse de l'acétylcholine** par une enzyme spécifique, **l'acétylcholinestérase.**

On a vu ce qui se passait au niveau de la plaque motrice en termes d'excitation. Maintenant on essaiera de comprendre **comment la dépolarisation du sarcolemme mènera à l'excitation du myocyte.**



Je vous ai mis ce schéma pour mieux visualiser

sarcoplasmique, ce qui permet **la libération de calcium au voisinage des myofibrilles**. Le calcium jouera un rôle essentiel dans la contraction musculaire.

Lorsque **l'excitation et la dépolarisation cessent**, le **calcium est activement recapté** et retourne à **l'intérieur des citernes du réticulum sarcoplasmique**, entraînant la **fin de la contraction musculaire**.

C) Anomalies de l'excitation musculaire

Il est possible d'observer une **inhibition de la transmission neuromusculaire** par **compétition avec l'acétylcholine** au niveau de ses récepteurs.

→ C'est notamment le cas des **curares**, utilisés en médecine lors de l'anesthésie. Certaines substances toxiques, comme des **gaz de combat** et certains **pesticides**, peuvent également perturber la transmission neuromusculaire.

De la même manière, **certaines pathologies inhibent la transmission neuromusculaire**, c'est le cas de la **myasthénie**.

Dans cette maladie auto-immune, l'organisme produit des **auto-anticorps dirigés contre les récepteurs de l'acétylcholine**, empêchant le neurotransmetteur de se fixer et de transmettre le message nerveux.

À l'inverse, certaines anomalies entraînent une **augmentation excessive de la transmission neuromusculaire**.

C'est le cas la **toxine botulique**, qui **inhibe l'activité de l'acétylcholinestérase** (= ce qui prolonge l'excitation de façon anormale).

Après la dépolarisation de la plaque motrice, **l'onde de dépolarisation se propage** :

- **Le long du sarcolemme de la fibre musculaire** dans les **deux directions, sur toute la longueur du myocyte**.

- **PUIS, en profondeur**, à l'intérieur de la fibre musculaire **grâce au système des tubules T**.

Cette onde de dépolarisation **atteint alors les triades**.

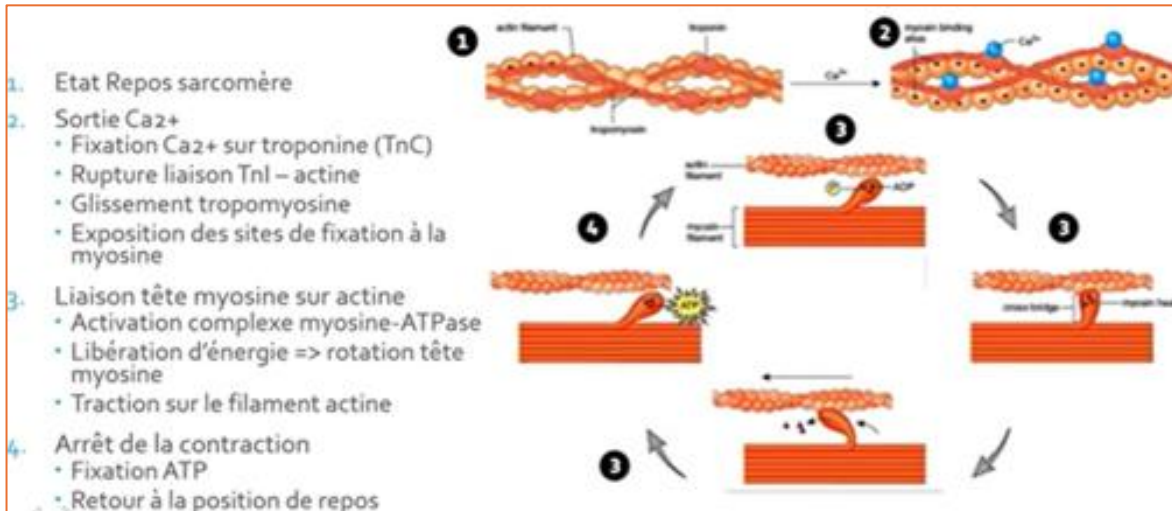
À ce niveau, elle entraîne **l'activation de récepteurs spécifiques** : les récepteurs à la **dihydropyridine** et les récepteurs à la **ryanodine**.

L'activation de ces récepteurs provoque **l'ouverture des canaux calciques des citernes du réticulum**

7) La contraction musculaire

Grâce à la **libération du calcium**, l'**onde de dépolarisation** est parvenue au niveau de l'**unité contractile : le sarcomère**.

A) A l'échelle d'une molécule d'actine-myosine



1) Lorsque **le sarcomère est à l'état de repos**, **l'ATPase des têtes de myosine est inactive** et **les sites de fixation de la myosine sur l'actine sont masqués**.

2) À l'arrivée du **calcium** (libéré par les citernes du réticulum sarcoplasmique) celui-ci **se fixe sur la sous-unité C de la troponine**.

Cette fixation entraîne la rupture de l'interaction entre la sous-unité I de la troponine ET l'actine.

Ce changement **provoque le déplacement de la tropomyosine le long de la double hélice d'actine**, **ce qui découvre les sites de fixation de la myosine**. Les têtes de myosine pourront alors se lier aux filaments d'actine.

3) À ce niveau, **l'activité ATPasique de la myosine est activée** et **l'ATP est hydrolysé**.

L'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP provoque une **rotation de la tête de myosine**, entraînant un déplacement d'environ **5 à 7 nm en direction de la strie M**.

Cette rotation exerce une traction sur le filament d'actine, ce qui conduit **au raccourcissement du sarcomère**.

4) À la fin de la contraction, la **fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la myosine** provoque la **rupture du pont actine-myosine** et le **retour de la tête de myosine à sa position de repos**, **permettant la relaxation musculaire**.

B) A l'échelle du sarcomère

Ce schéma nous présente l'état de repos, et on voit à droite un muscle à l'état de **repos**.

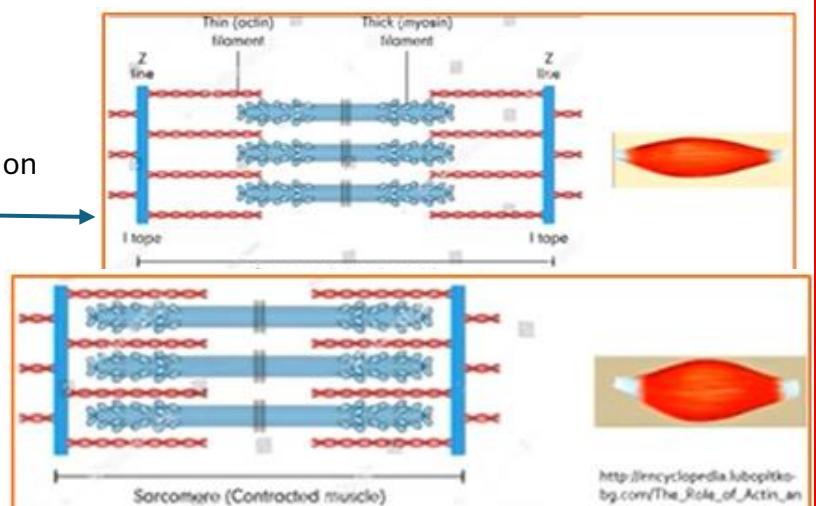
Lorsqu'il y a **excitation** et donc

contraction du muscle, **① le sarcomère**

se raccourcit car les stries Z se

rapprochent, et **② le muscle se**

contracte.





Ma première dédi est réservée à ma **petite sœur d'amour !!!**

Donc dédi à **♥ Sara ♥** cette reine qui va totalement slay sa P1 !!

T'as toutes les capacités pour réussir cette dure année et tu le sais !! Je serai là pour toi comme tu as été là pour moi !!

LOVE YOU SISSY YOU CAN DO IT !!

Dédi à toi jeune P1 qui a **survécu cette longue fiche !!** Je sais c'est hyper intimidant au début (il y a énormément de détails et de termes spécifiques) mais tu vas voir que ce ne sont pas des notions compliquées et qu'avec de l'entraînement tu vas maîtriser toutes les éléments clés. **Ne baisse pas les bras, tu peux y arriver !!!**

Petit collage de photos random avec les personnes **que j'aime** pour vous motiver (*travaillez dur pour la P2 la team, ça en vaut la peine promis !!*) :

Dédi à mon **copain d'amour** ♥

Dédi au **Tutorat Niçois** 🍆

Dédi à l'**Open space** (*Janna, Marion, Meleville, Norah et GAGA*) **mes stars !!** 🙌 ♥

Dédi à ma **Charlotte** 👑 (cette reine !!)

Dédi à **mes femmes de la pharma** (*Maroua, Amina, Paolina, Aminata et Lorena*) ♥

Dédi à l'**histologie** 🧠 (qui est encore plus incroyable avec mes **magnifiques co-tut**) 🧪 🧫 🧬

Dédi à la **pharma** (qui ne cesse pas de nous surprendre lol) 🧪

Lol dédi à la P1 qui est passée lors de la photo avec Meleville et Youngmin

Dédi aux patates positives

Dédi aux gens qui ont eu mes petits mots avant les EB 🙌

Si vous avez des questions n'hésitez pas à les poser sur le forum (de préférence) !! 🍷

Croyez en vous et soyez gentils envers **vous-mêmes**, envers les **autres P1**, envers les **tuts et les chefs tut**. 😊

🙌 COURAGE !! 🙌

