

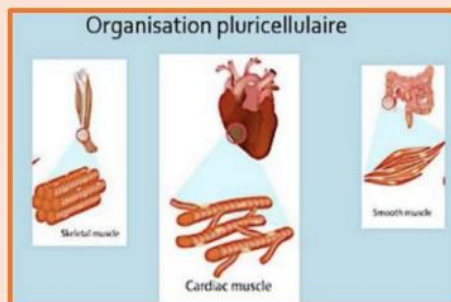
Muscle strié squelettique

Généralités sur les tissus musculaires

Les **tissus musculaires** sont composés de cellules appelés les **myocytes**. Ces cellules sont spécialisées dans la **production de la force motrice**, c'est-à-dire qu'elles sont capables de se contracter. En effet les myocytes **peuvent se raccourcir** grâce à la présence de **protéines contractiles**.

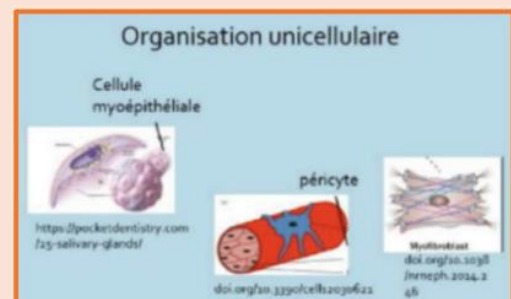
Les **myocytes** présentent une autre propriété : ils sont **capables de transformer l'énergie chimique en énergie mécanique**.

Les **myocytes** sont organisés en **unités contractiles**. Ces unités contractiles sont **pluricellulaires** ou **unicellulaires** :



→ L'organisation **pluricellulaire** des myocytes réalise une **organisation en tissu, en organe**. On retrouve les **muscles squelettiques**, du **cœur**, et aussi les **tissus musculaires lisses** dans la paroi du tube digestif par exemple.

→ L'organisation **unicellulaire** des myocytes correspond à des **cellules isolées**. Ces cellules ont une structure proche des cellules musculaires lisses. Les cellules avec ce type d'organisation sont :



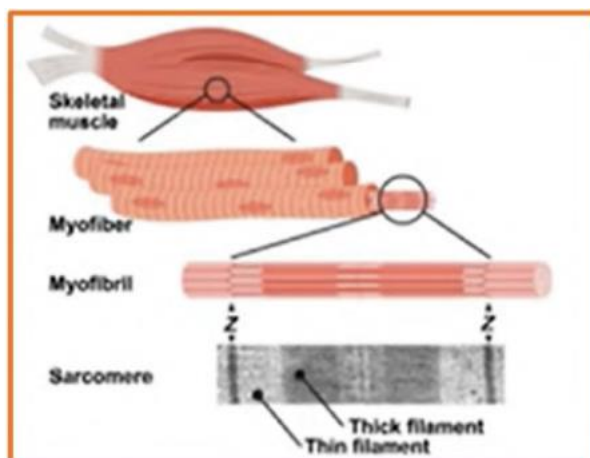
- Les **cellules myoépithéliales** qui **permettent l'expulsion de la production des sécrétions** (épithélium glandulaire)
- Les **péricytes** qui entourent l'endothélium des capillaires et permettent de **garder le tonus des vaisseaux**
- Les **myofibroblastes** présents dans le tissu conjonctif.

Tableau illustrant les 3 types de tissus musculaires :

« Il est très important je vous conseille de revenir dessus à la fin du cours »

	Tm strié squelettique	TM cardiaque	TM lisse
Aspect en MO	Strié	Strié	Lisse
Cellules	Rhabdomyocytes	Cardiomyocytes	Léiomyocytes
Rôle	Mouvements volontaires, maintien de la posture	Circulation du sang	Mouvements involontaires
Contrôle	Système nerveux cérébrospinal	Système nerveux autonome ou végétatif	Système nerveux végétatif
Contraction	Volontaire, rapide	Rythmique involontaire	Involontaire, lente, prolongée
Localisation	Associé au squelette	Cœur	Associé aux viscères, paroi vaisseaux

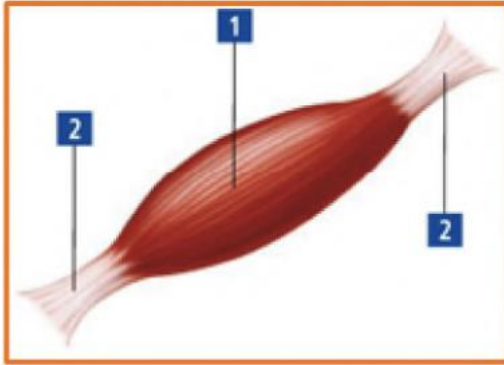
Tissu musculaire strié squelettique



« Il s'agira d'abord de décrire leur aspect macroscopique puis les aspects en microscopie optique et électronique et enfin la composition moléculaire »

I) Le muscle strié

Dans l'organisme, le **tissu musculaire strié squelettique** (TMSS) représente **25%** du **poids de l'organisme** à la naissance, puis **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** (en 1) et aux extrémités les **tendons** (en 2) qui permettent le rattachement du muscle au squelette.

Si on réalise une coupe transversale du **corps musculaire**, on observe **quatre composantes** : une composante **musculaire**, **conjonctive**, **vasculaire** et **nerveuse**.

A) Composante musculaire et conjonctive

Le **corps du muscle** est enveloppé par du tissu conjonctif. C'est l'aponévrose ou **épimysium**. L'**épimysium** émet des cloisons conjonctives qui entourent chaque **faisceau de muscle**. Ces cloisons conjonctives s'appellent le **périmysium**. Le **périmysium** lui-même émet des cloisons conjonctives plus petites, qui entourent alors chaque **cellule musculaire** : c'est l'**endomysium**.

Donc épi > péri > endo

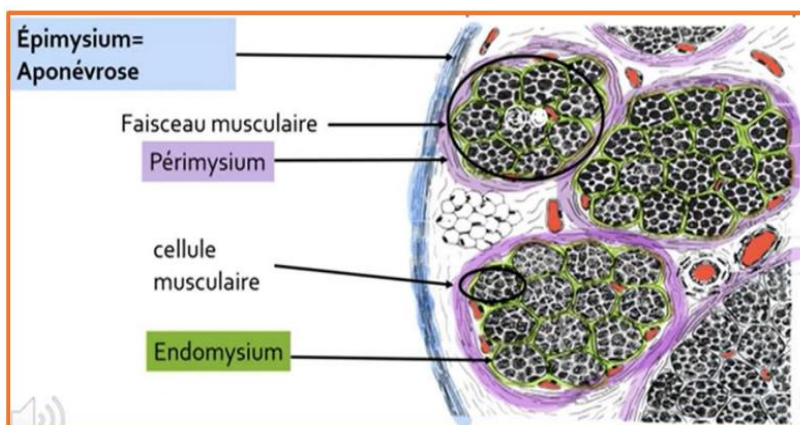


Schéma d'une coupe transversale de muscle strié squelettique : on voit que les cellules sont regroupées en paquets = en **faisceaux**

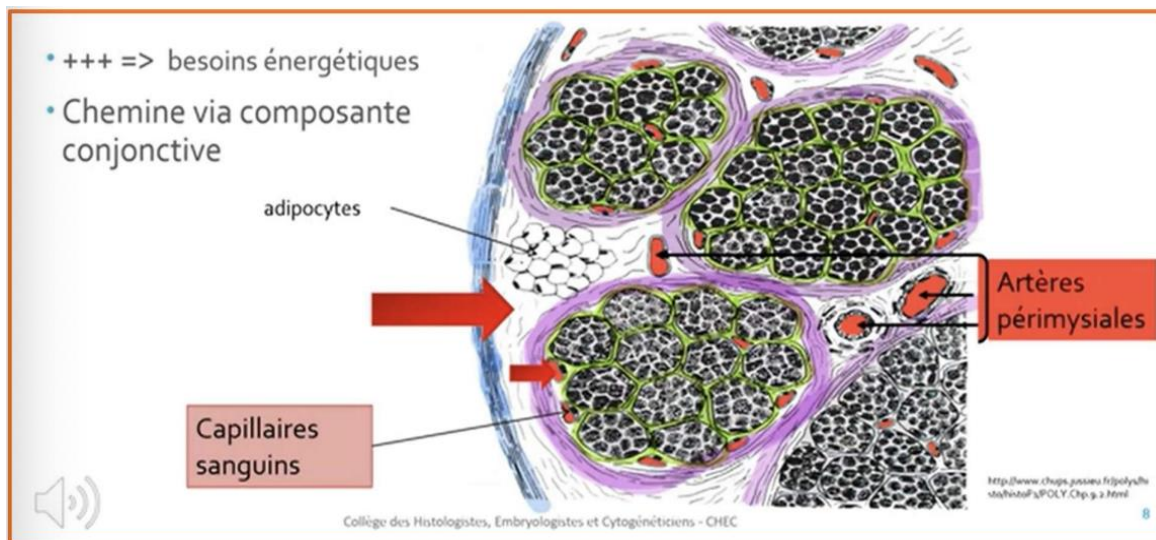
B) Composante vasculaire

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

Elle chemine à travers la composante conjonctive. Ainsi, les **volumineuses artères** traversent **l'épimysium**, puis elles se ramifient dans les cloisons du **pérимysium**. Ce sont les **artères pérимysiales**.

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

Il y a un capillaire sanguin pour une cellule musculaire.



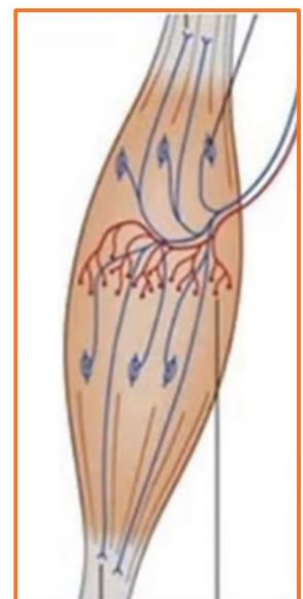
C) Composante nerveuse

La **composante nerveuse** est de deux types : **moteur** et **sensitif** :

- **Motrice** pour la **contraction**
- **Sensitive** = sensible à **l'étirement du muscle**

Les trajets des nerfs sont semblables à ceux de la vascularisation.

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



II) La cellule musculaire squelettique

A) Du muscle à la myofibrille

Si l'on part depuis la macroscopie vers la microscopie, on observe le **muscle squelettique**, puis à l'intérieur un ensemble de **cellules musculaires** : c'est un **faisceau de cellules musculaires squelettiques**.

Si maintenant on isole une cellule musculaire, on observe à l'intérieur de son cytoplasme des **myofibrilles** : c'est un **organite cellulaire** que nous détaillerons plus loin. Et enfin, si on observe une myofibrille en ME, on observe son **unité fonctionnelle** : le **sarcomère**.

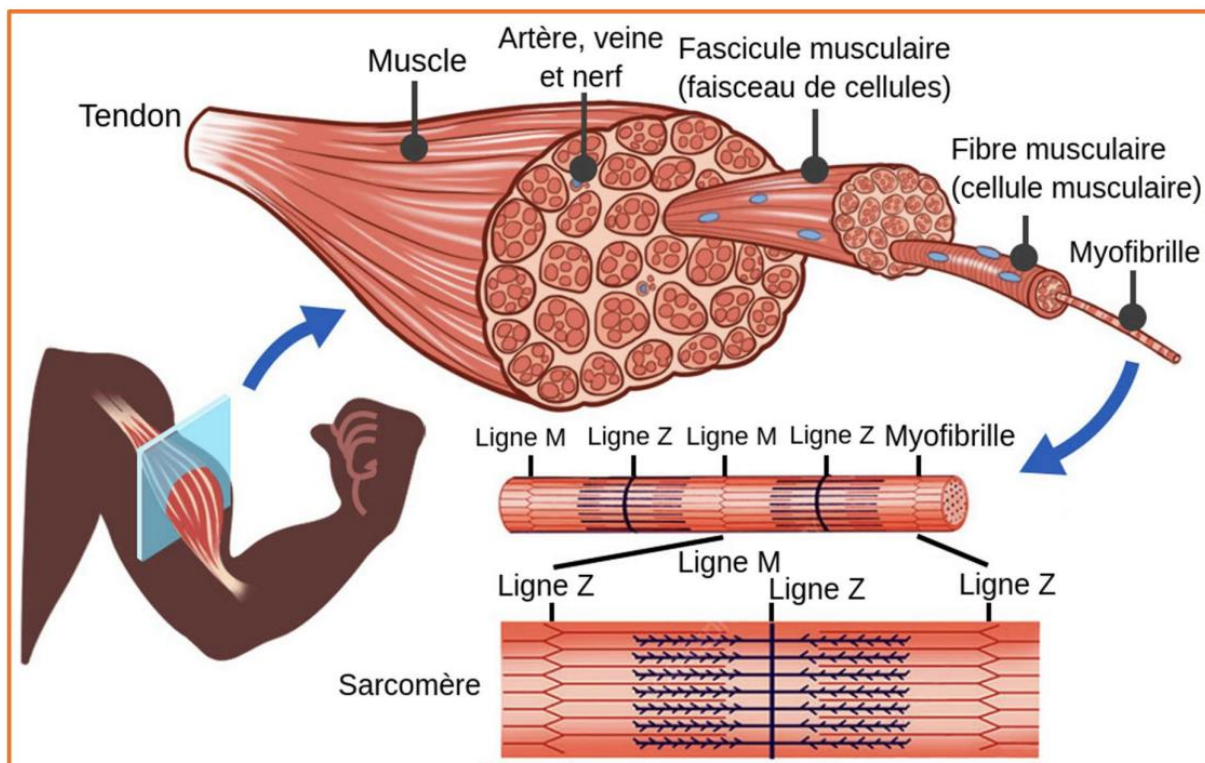
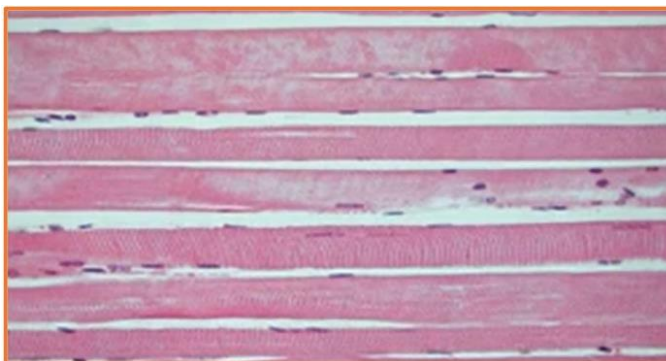
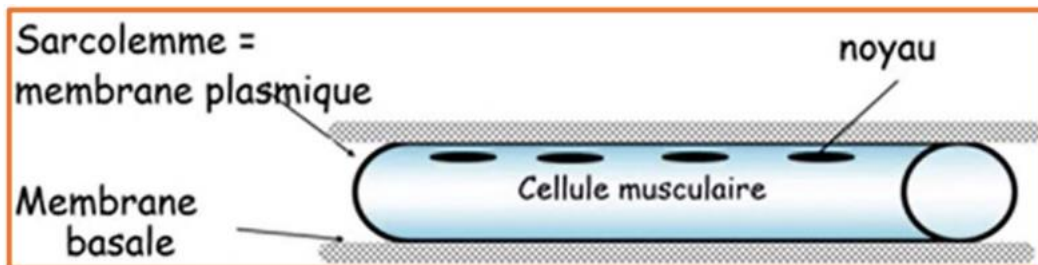


Schéma permettant de bien visualiser

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 **périmysium** et il peut faire la longueur du muscle (peut atteindre 30 cm)
- Possédant une **membrane plasmique** appelée **sarcolemme** reposant sur une **membrane basale**



- Dont le **cytoplasme** contient de **très nombreux noyaux** (environ une centaine) qui sont **refoulés en périphérie**

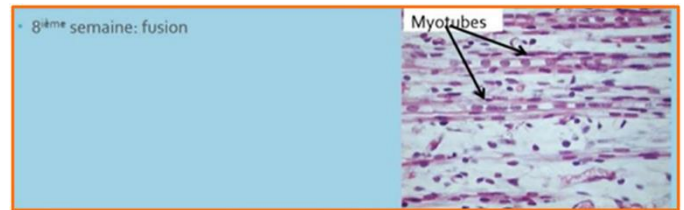
Photo en MO, on voit les noyaux en violet et le sarcoplasme en rose

« Pourquoi les myocytes ont cet aspect allongé avec des bords parallèles ? »

Pour comprendre il faut retourner à l'**embryogénèse des myocytes**

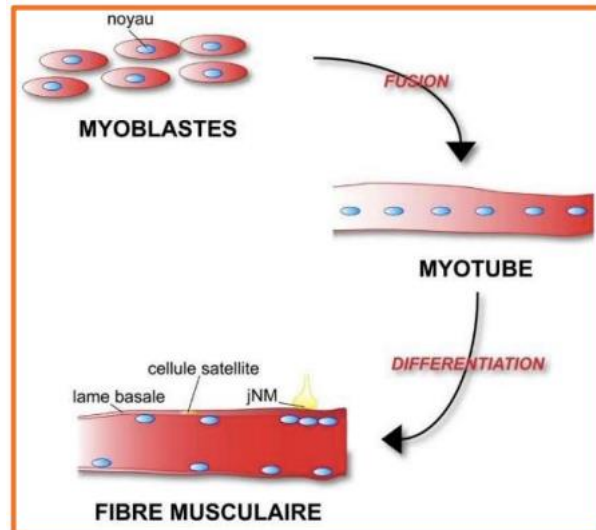
A partir de **la 3^{ème} semaine de vie**, il y a une étape de différenciation des cellules et apparaissent les **précurseurs des myocytes** : les **myoblastes**.

Ils comportent un seul noyau (**mononuclées**) qui est central et ils ont un **aspect fusiforme**, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de bords parallèles.



Puis, à **la 8^{ème} semaine** observe une plusieurs myoblastes, ils **longue cellule myotube**

Ce sont ces **retrouverons** seule cellule **syncytium** **centaine de parallèles**.

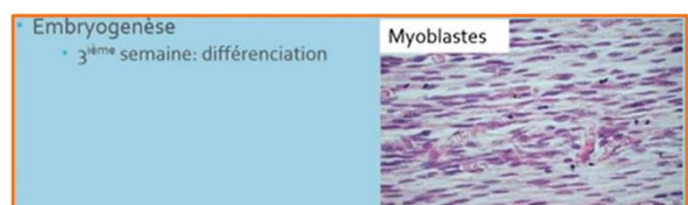


semaine de vie, on étape de fusion de centaines de forment une **très** que l'on appelle

cellules que nous **chez l'adulte** et une musculaire est un **comprenant** une **noyaux** avec des **bords**

Pour ce qui est de la localisation des noyaux il faut regarder à l'intérieur de la cellule, dans le cytoplasme qui comme dans toutes les cellules, est **rempli d'organites**.

Mais dans les **myocytes** il existe un **organite** qui est **majoritaire** : les **myofibrilles**.

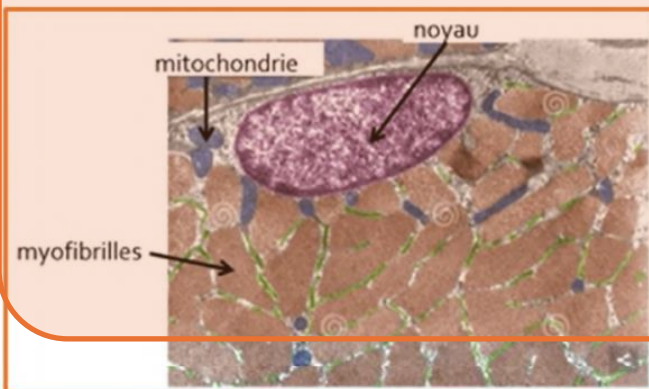


Elles sont présentes à des centaines d'exemplaires dans le cytoplasme des myocytes et elles remplissent le cytoplasme, **refoulant ainsi les noyaux en périphérie** contre le sarcolemme.

L'**ensemble des myofibrilles** est appelé **myoplasme**. Chaque myofibrille a un diamètre d'environ **1 à 2 μm** .

La **myofibrille** est l'**unité fonctionnelle de la cellule**, comme nous le verrons un peu plus loin. **Toute anomalie** dans la **structure** ou le **fonctionnement** de la myofibrille **provoquera** des **pathologies musculaires**.

Résumé :



→ Les **noyaux** sont **refoulés à la périphérie** car les myofibrilles prennent toute la place dans le cytoplasme

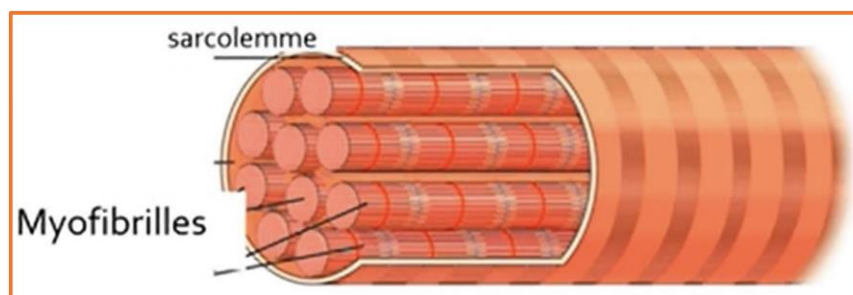
→ L'**ensemble des myofibrilles** est appelé **myoplasme**

→ Les **myofibrilles** sont l'**unité fonctionnelle** de la cellule et mesurent de **1 à 2 μm** de diamètre

C) Contenu cytoplasmique

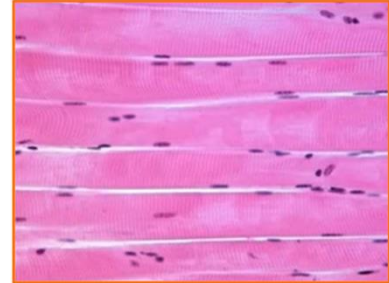
Le **reste du cytoplasme** du myocyte s'appelle le **sarcoplasme** et il contient d'autres organites ou éléments importants pour la cellule musculaire.

Tout d'abord, le sarcoplasme contient de très nombreuses **mitochondries** : elles **occupent** environs **2% du volume cellulaire**.



Les **mitochondries** sont **riches en crêtes**, ce qui veut dire qu'elles sont **très actives** dans la **fourniture de l'énergie** nécessaire à la contraction. Elles sont **disposées en fil** entre les myofibrilles.

Toute **anomalie des mitochondries** et donc de la production d'énergie pour le myocyte, pourra provoquer des pathologies musculaires.

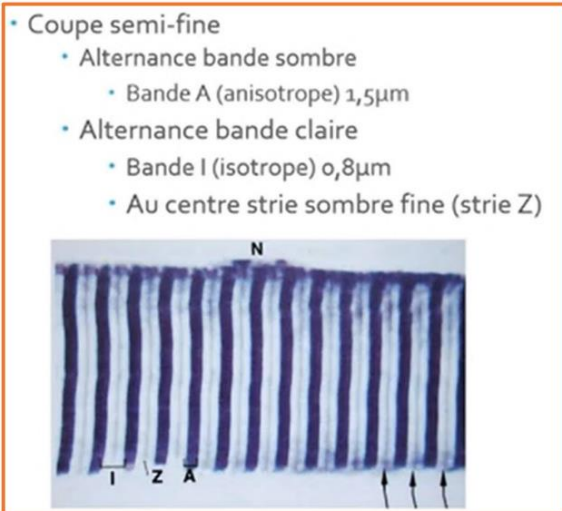


Le deuxième élément important pour les **myocytes** est

l'ensemble des **réserves d'énergie** assurées par la présence de **glycogène**.

Enfin il existe aussi des **protéines spécifiques** et très **importantes** pour le fonctionnement des myocytes :

- La **myoglobine** qui est une **chromoprotéine** (protéine colorée) proche de l'hémoglobine et capable de **fixer l'oxygène**
- La **dystrophine** qui, comme nous le verrons plus loin, **s'accroche au sarcolemme** et est très importante dans le fonctionnement des myofibrilles.



D)Aspect strié en microscopie optique

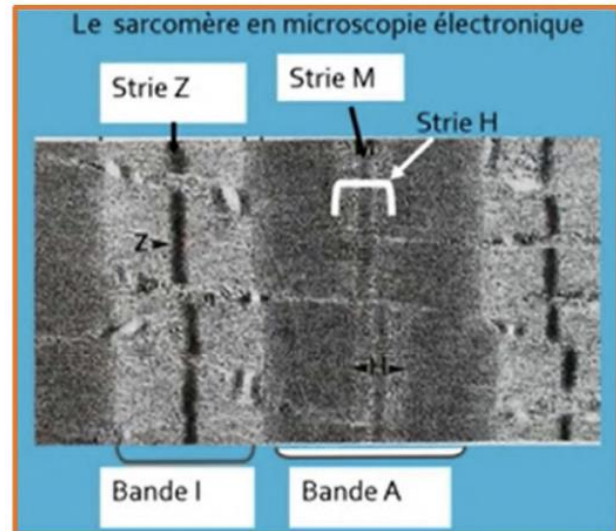
Le **tissu musculaire strié squelettique** a un **aspect strié** en MO bien observable sur la coupe longitudinale ci-contre (COMME ON LE VOIT SUR LA PHOTO CI-CONTRE)

Mais d'où vient cette propriété ?

Lorsque l'on observe la coupe semi fine ci-contre on observe très nettement une **alternance** dans une seule cellule de **bandes sombres** et de **bandes claires** :

« en présentiel le prof a passé bcp de temps sur ça »

- La **bande sombre** est appelée **bande A**, pour **anisotrope**, elle mesure 1,5µm de large.
- La **bande claire** est appelée **bande I**, pour **isotrope**, et elle mesure 0,8µm de large.



Instant mnémo :

Bande A → bLACK → bande sombre

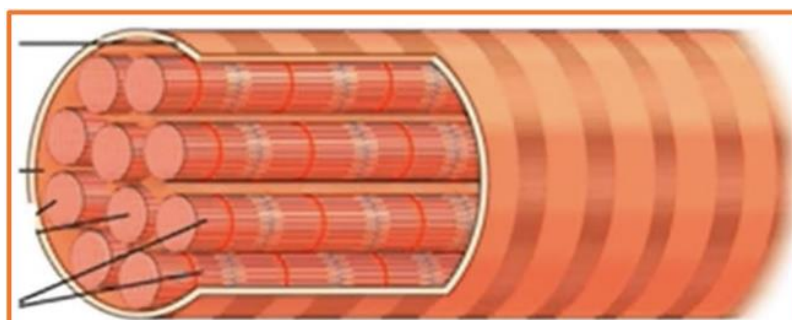
Bande I → whIte → bande claire

Comment expliquer cet aspect strié ?

L'**aspect strié** des myocytes est dû aux **myofibrilles**. A nouveau sur le schéma ci-dessous on voit que les myofibrilles présentent une alternance de **bandes claires** et de **bandes sombres**. Comme elles sont parallèles entre elles et alignées, cet arrangement est visible en MO

E) Unité fonctionnelle : le sarcomère

Cette (ME) nous d'**isoler** une **alternance** claire/bande



technique permet **seule** bande **sombre**.

C'est l'**unité fonctionnelle**, l'unité **contractile** des **myofibrilles**, c'est-à-dire le **sarcomère**.

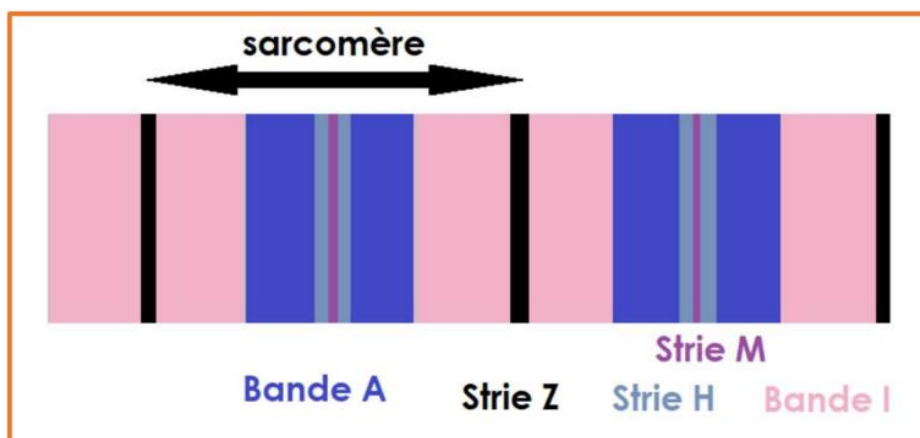
Il se situe entre deux **stries Z** qui séparent chacune une bande claire en deux.

Et donc si l'on regarde plus précisément le **sarcomère**, on voit de l'extérieur à l'intérieur :

- À chaque extrémité une **strie Z**
- Vers l'intérieur deux **demi-bandes I**
- Au centre une **bande A**

Si on s'attache maintenant à cette **bande A** et qu'on la regarde plus précisément, on voit qu'elle est constituée au centre par une **strie plus claire** : la **strie H** (ou strie de Hansen) et au centre de celle-ci on voit une **strie fine sombre**, la **strie M** (M au milieu du sarcomère)

Le **sarcomère** depuis la première strie Z jusqu'à la deuxième strie Z mesure environ **2,5µm**.



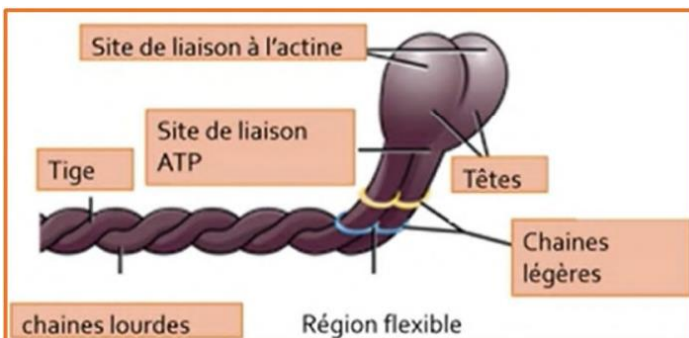
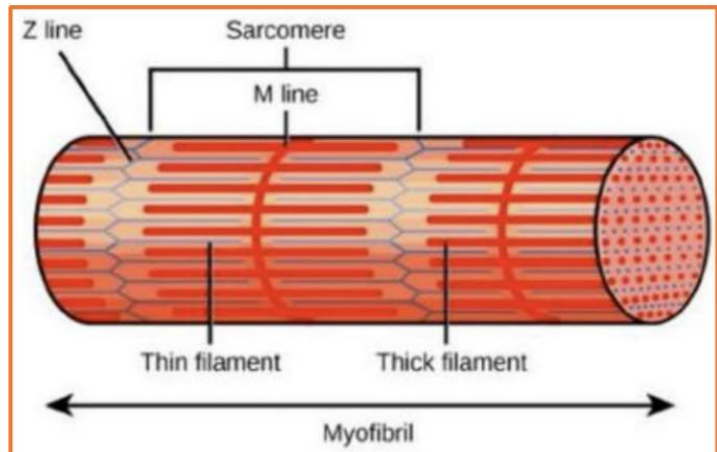
F) Structure moléculaire du sarcomère

Cette structure en ME est liée à une structure moléculaire particulière.

En effet, le **sarcomère** est constitué de **deux types de myofilaments** : des **myofilaments épais** et des **myofilaments fins**.

Et d'un point de vue moléculaire ces **myofilaments** sont constitués de **protéines contractiles**.

Sur ce schéma on voit les **filaments fins** = **thins** et **épais** = **thick** : l'agencement des différents filaments au sein du sarcomère est extrêmement régulier.

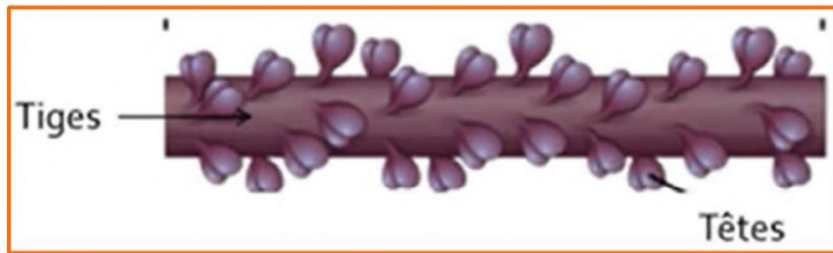


Les **myofilaments épais** sont constitués de **myosine** et sont **rattachés** à la **strie M**. Ils ont une longueur d'environ **1,5µm** et un diamètre d'environ **15nm**. (j'ai mis le schéma ici mais on voit le détail juste après)

Les **myofilaments fins** sont plus petits, ils mesurent environ **1µm** de long et **5 à 6 nm** de diamètre. Ils sont **attachés** à la **strie Z** et sont constitués de la protéine contractile : **actine**.



1) Les myofilaments épais



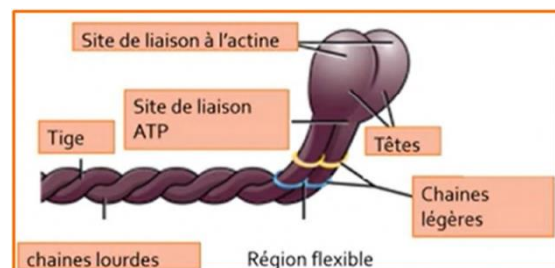
Le **filament épais** est constitué d'une protéine : la **myosine**. Elle a une longueur de **200nm** et une largeur de **2nm** et ressemble à une crosse de hockey.

La myosine a une masse moléculaire de **120 kDa** et elle est constituée, au sein du filament épais, de **2 chaînes lourdes**, qui **s'enroulent** l'une autour de l'autre **en hélice alpha**, pour former la **tige de la protéine**.

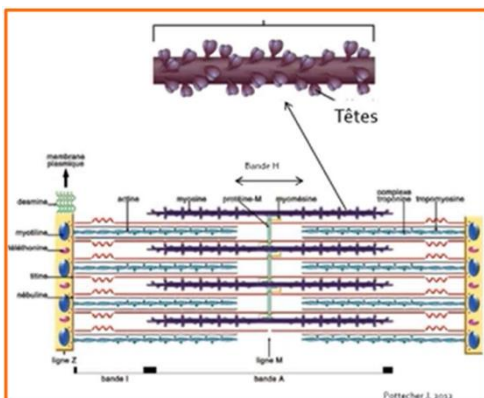
L'**extrémité NH2 terminale** de la chaîne lourde quant à elle s'enroule en motte pour former une « **tête globuleuse** ». A ces 2 chaînes lourdes s'associent **4 chaînes légères** et ces 4 chaînes légères s'associent au niveau de la tête pour **donner de la rigidité** à cette structure. (on a 2 chaînes légères par chaîne lourde)

Il existe deux sites très particuliers au niveau de la tête de la myosine :

- Un **site de liaison à l'actine**
- Un **site d'activité ATPase dépendant de l'actine**



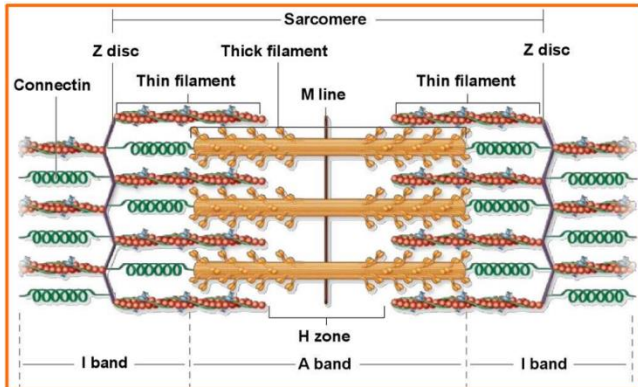
Pour former le **myofilament épais**, **300 à 400 molécules de myosines** **s'associent** entre elles et les **tiges des molécules de myosines** sont **parallèles les unes aux autres** dans ce myofilament épais. Les **têtes des molécules de myosines** adoptent une **position hélicoïdale autour de l'axe** formé par les tiges, comme on le voit dans le schéma



Si on replace les myofilaments épais formés par les myosines dans le sarcomère, on voit que **deux myofilaments épais s'associent** au sein du sarcomère via leur extrémité de tige, **pour s'étirer tout au long de la bande A**.

Donc le **myofilament épais occupe la totalité de la bande A**.

On voit aussi que, à la **jonction** des **deux myofilaments**, les **têtes hélicoïdales** de myosine sont **absentes**. On comprend donc maintenant que **dans la bande H** il n'y a pas de tête de myosine.

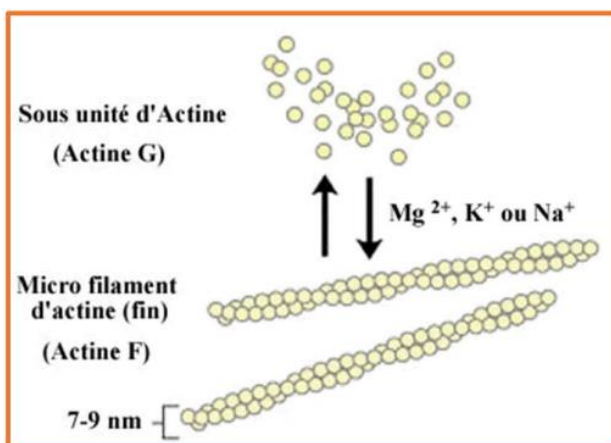


Enfin, la **strie M** est le **lieu de jonction** des **myofilaments épais**. C'est cette superposition qui crée cette bande, cette strie plus sombre.

2) Les myofilaments fins

Le **myofilament fin** est structuré par **l'actine**. C'est une protéine de beaucoup plus faible poids moléculaire que la myosine puisqu'elle fait **42 kDa**.

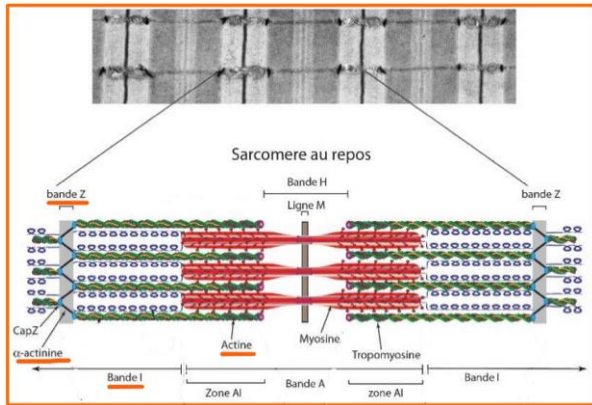
L'actine est sous forme d'une **protéine globulaire**, qu'on appelle **actine G**, qui ressemble à une perle et, **pour former le filament fin**, les **perles d'actine se polymérisent** les unes aux autres pour former « une sorte de collier » : c'est une polymérisation en filament qui **donne naissance** à **l'actine F**.



Dans ce filament, **chaque monomère d'actine G** effectue une **rotation à 166 degrés** par rapport à l'axe, ce qui donne au filament final un **aspect en double hélice**.

Chaque **monomère d'actine** possède un **site de fixation pour la myosine**. (c'est les rond foncé sur ce schéma)





Si l'on replace maintenant les myofilaments d'actine dans le sarcomère, on voit que les **myofilaments fins** sont attachés à la strie Z.

Les **myofilaments fins** de deux sarcomères voisins **s'associent** entre eux au **niveau de la strie Z** et son **reliés par l'alpha actinine**, ce qui permet aussi (on le verra) **l'ancrage au sarcolemme**.

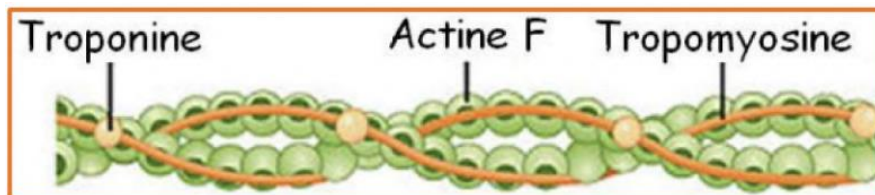
Enfin, au niveau de la **bande I** il y a **uniquement des myofilaments fins**.

3) Les autres protéines contractiles

Nous avons vu les **deux protéines contractiles du sarcomère**, la **myosine** et **l'actine**. Voyons maintenant deux **autres protéines contractiles** impliquées dans le sarcomère : la **tropomyosine** et la **troponine**.

3.1) La tropomyosine

C'est une molécule **longue et fine** d'environ **40 nm** constituée de **deux chaînes polypeptidiques**. Elle se fixe **dans la gouttière du myofilament d'actine** et le **stabilise**.



3.2) La troponine

La troponine est une protéine de **type globulaire** et est **constitué de 3 sous-unités** :

- La **troponine T** qui **se lie à la tropomyosine**
- La **troponine C** qui **fixe les ions calciums**
- La **troponine I** qui **masque le site de liaison à la myosine** sur le filament d'actine.
(Je me disais que i « inhibe » la fixation du filament)

Il existe **un complexe de troponine** par molécule de **tropomyosine** et les molécules de **troponine** sont situées en **regard de chaque tête de myosine** pour **empêcher leur fixation**.

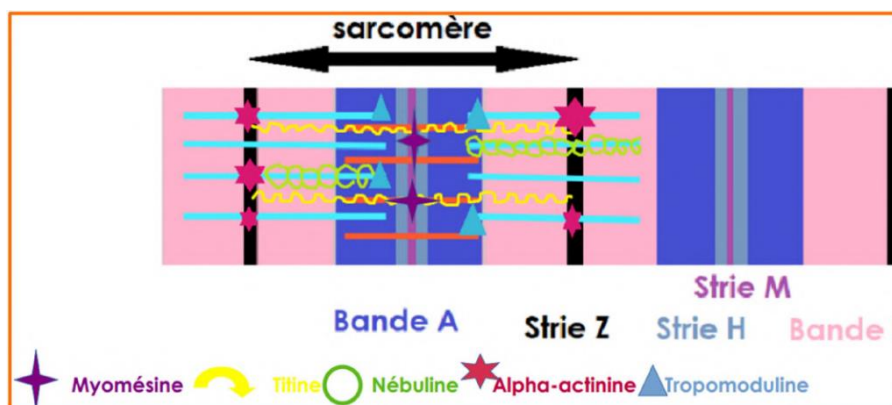
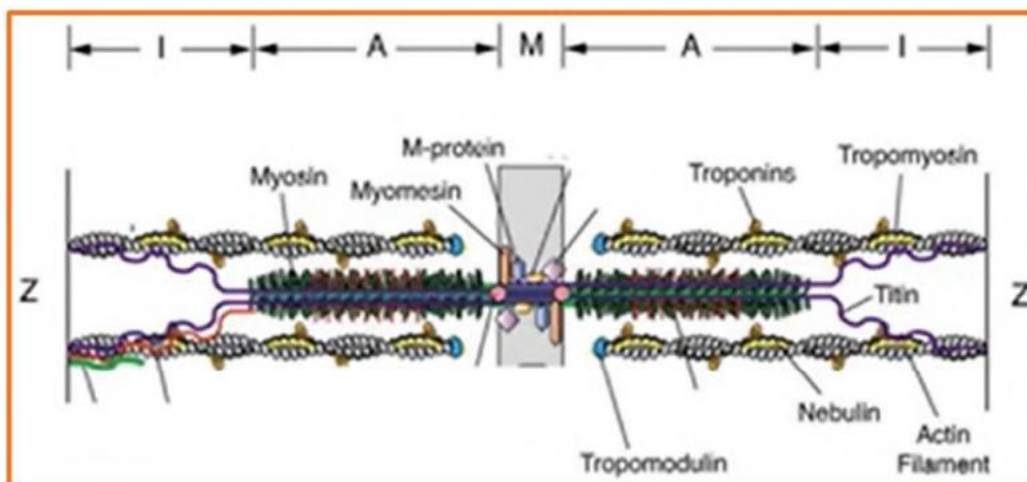
4) Attachement des myofilaments

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 MEC. (Il y a une errata dans la vidéo, je vous ai mis la bonne version)

Plusieurs protéines sont impliquées :

- La **myoméline** : appelée aussi **protéine M**, elle **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**

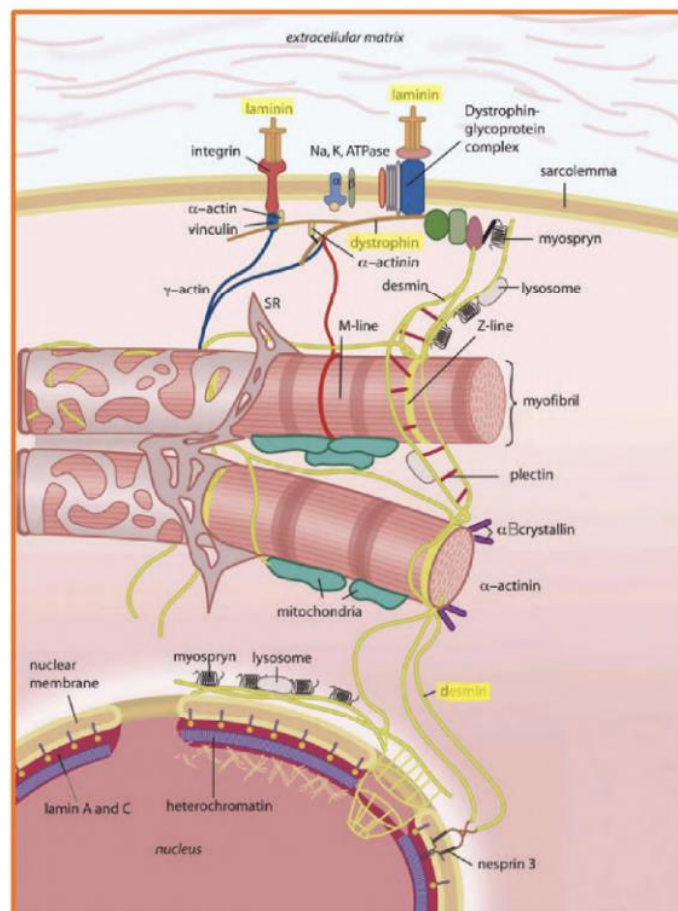


5) Attachement des myofibrilles

Le **sarcomère** est aussi attaché à la **membrane plasmique** et à la **MEC**.

Ici trois protéines sont en jeu :

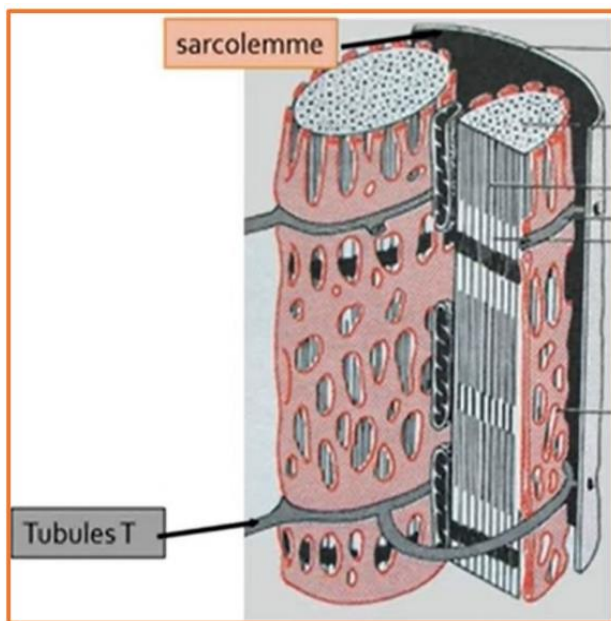
- La **desmine** : relie les myofibrilles entre elles, les attache au sarcolemme et à l'enveloppe nucléaire. Elle forme des sortes d'échelles qui sont situées **au niveau de la strie Z**
- La **dystrophine** et les protéines qui lui sont associées : forment un complexe sous le sarcolemme, **qui permet l'ancrage des myofibrilles au sarcolemme** et à la membrane basale
Patho : Le **gène de la dystrophine**, qui est situé sur le chromosome X, peut présenter des **mutations** modifiant l'activité de cette protéine et entraînant une altération de l'attachement des myofibrilles au sarcolemme, cela **altère la fonction du sarcomère** et ainsi la **contraction musculaire**. Ces mutations sont à l'origine de la **myopathie de Duchêne**, qui est la myopathie héréditaire la plus fréquente.
- La **laminine** : **rattache** le complexe des protéines de la **dystrophine à la MEC**.



Après les myofibrilles qui sont l'unité contractile des myocytes, d'autres organites/structures sont aussi **importants pour la contraction musculaire** : le **sarcolemme**, **tubules T** et **réticulum sarcoplasmique**.

6) Sarcolemme et tubules T

- Le **sarcolemme**, qui **reçoit le signal de dépolarisation** et permet sa propagation



→ 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) qui est un facteur énergétique pour les myocytes.

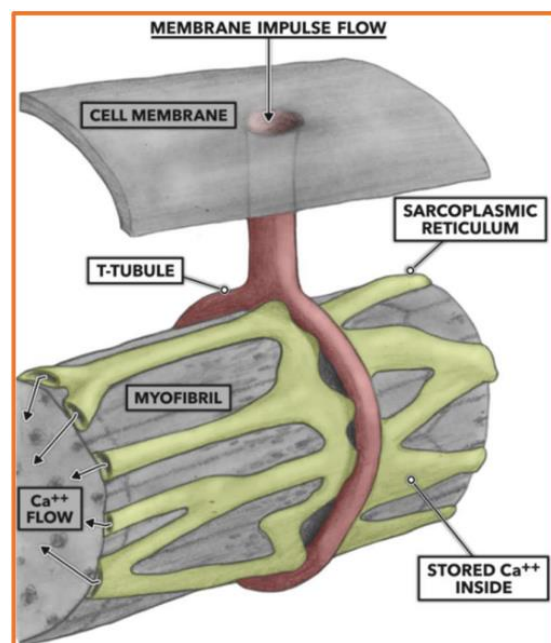
- Les **tubules T** sont un réseau de **tubules**, de **canalicules**, correspondant à des **invaginations du sarcolemme**.

→ 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**

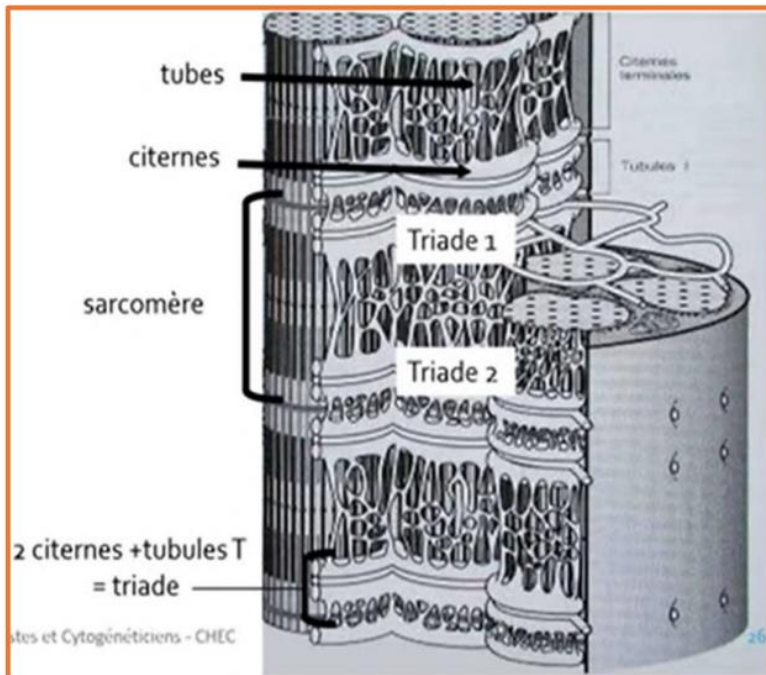
→ Ils renferment de **nombreux canaux calciques**

→ Et comme nous le verrons, leur **rôle** est la **transmission de l'onde de dépolarisation**.



7) Réticulum sarcoplasmique

- Le **réticulum sarcoplasmique** est un organe constitué de **citernes transversales** (= citernes terminales).



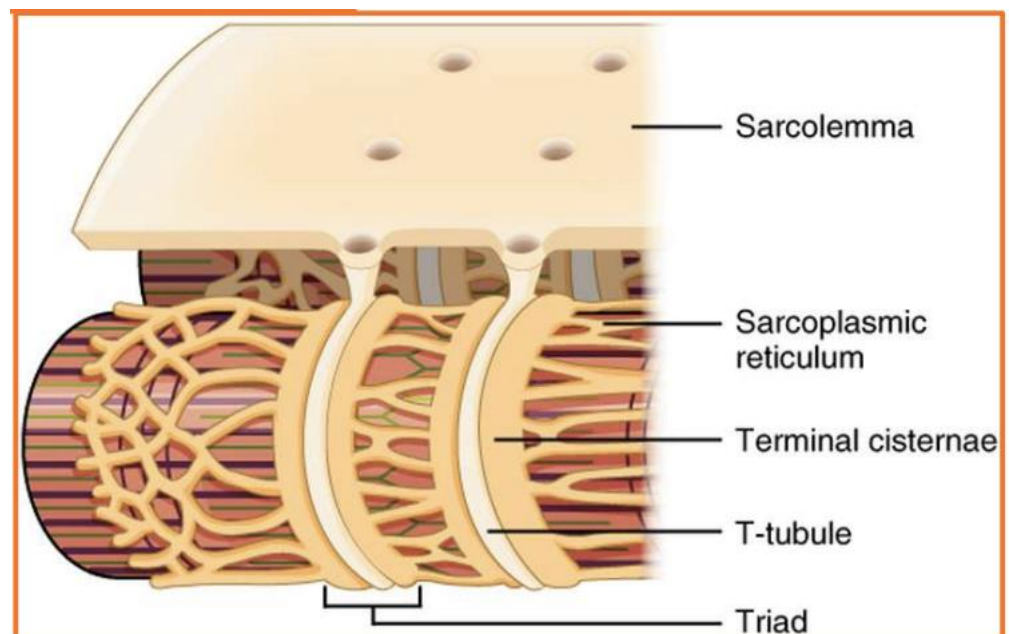
→ Les citernes sont reliées entre elles par un **système de tubules longitudinaux** qui sont moulés sur les myofibrilles. Ces **citernes** contiennent du **calcium**.

→ Au sein de la cellule, on voit que **deux citernes terminales** sont associées à un **tubule T** : c'est ce qu'on nomme une **triade**

→ Cette **triade** est située au niveau de la **jonction des bandes A et I**

→ En somme, il y a **deux triades par sarcomère**.

Schéma pour mieux visualiser la triade

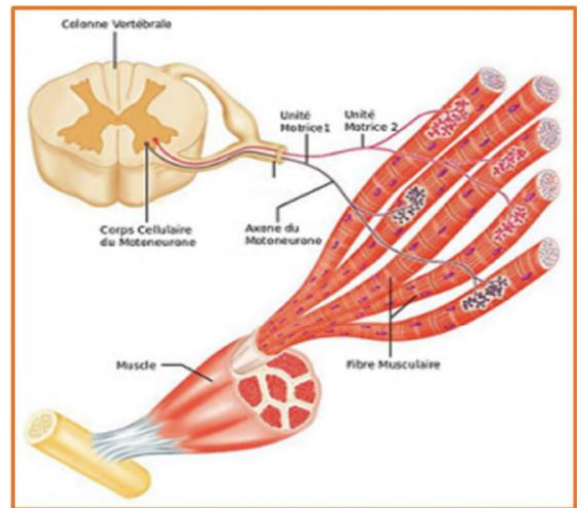


III) L'innervation de la cellule squelettique

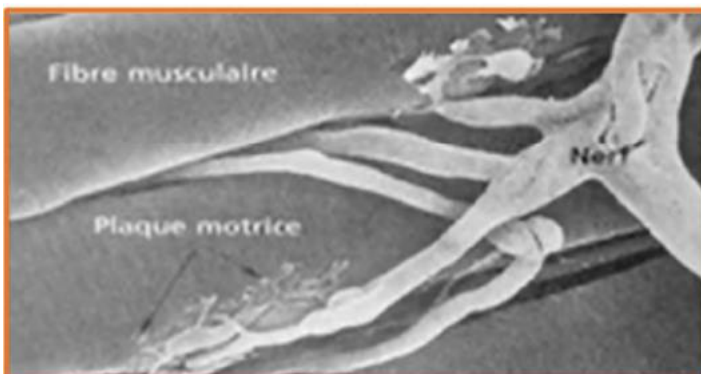
La **contraction des muscles squelettique** est sous le **contrôle du système cérébro-spinal**. Ainsi, un muscle reçoit un ou plusieurs nerfs cérébrospinaux.

Si un **motoneurone** innerve **quelques cellules musculaires**, les **mouvements** du muscle seront très **précis**. Par exemple : les muscles de la main.

Dans d'autres cas, un **motoneurone** pourra **innover plusieurs centaines** de cellules musculaires. Dans ce cas, les **mouvements** seront **moins précis**.



Les **axones** des motoneurones **se ramifient** dans

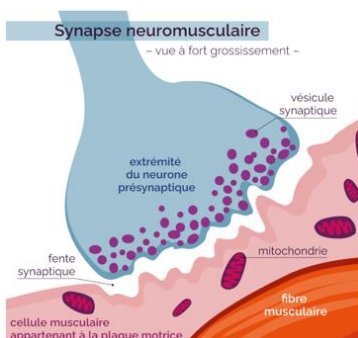


le muscle et **chaque cellule musculaire** reçoit une **innervation unique** (cf. photo en ME ci-contre)

Une **cellule nerveuse** + les **cellules musculaires** innervées constituent une **unité motrice**.

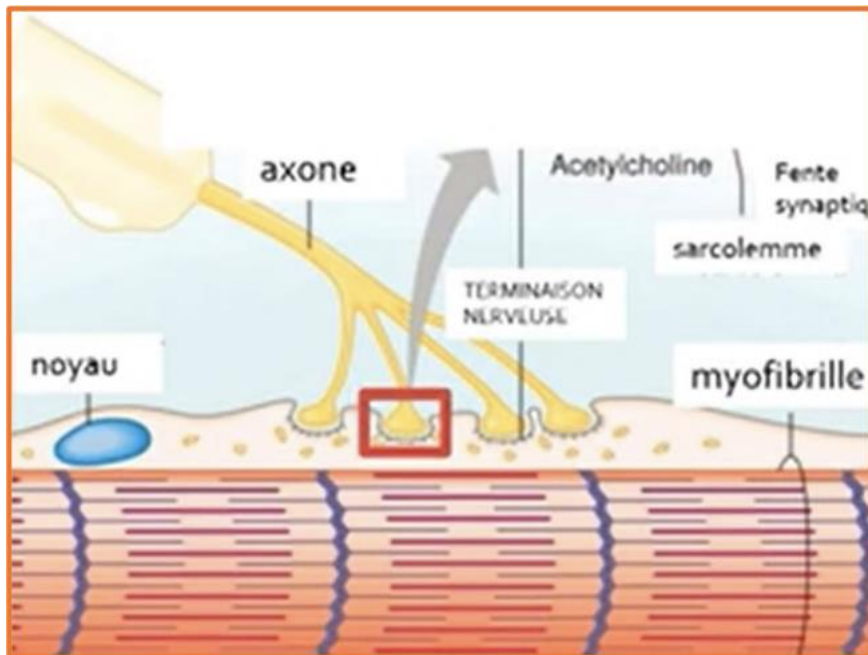
Voyons maintenant la **structure** de cette **zone de contact** entre la terminaison de la cellule nerveuse (=l'axone) et la cellule musculaire : **la plaque motrice**.

A) Structure de la plaque motrice



La **terminaison de l'axone** repose dans une **invagination du sarcolemme**. Si on fait un grossissement sur cette plaque motrice, on observe **trois zones** :

- **L'espace pré-synaptique** qui correspond à la terminaison axonale. Il contient de très nombreuses mitochondries et de très nombreuses vésicules contenant un neurotransmetteur : l'**acétylcholine**. Il est délimité par la **membrane plasmique de l'axone**.
- **L'espace synaptique** ou fente synaptique se situe entre l'axone et le myocyte et mesure **environ 60 nm**. Il correspond à la **fusion des lames basales de l'axone et du myocyte**. Cette zone est très **riche en une enzyme** : l'**acétylcholinestérase**, qui aura pour rôle de détruire l'acétylcholine après son action
- La **zone post-synaptique** correspond au sarcolemme du myocyte, formant de très nombreux replis (cf. schéma). Cette zone est très **riche en récepteurs pour l'acétylcholine**. Au niveau du **sarcoplasme**, on observe **aussi de nombreux noyaux, des mitochondries, des ribosomes et du glycogène**.



B)Activité de la plaque motrice

Les différentes étapes de **l'excitation musculaire** sont symbolisées sur le schéma par les chiffres :

- 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

Anomalies de l'excitation musculaire

- Curare, gaz combat, pesticides: compétition avec Ach
- Myasthénie: auto anticorps anti récepteurs Ach
- Toxine botulique inhibe activité acétylcholine estérase

Collège des Histologistes, Embryologistes et Cytogénéticiens - CHC

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite

- 1) **Arrivée du PA** qui chemine le long de l'axone et qui arrive à son extrémité **au niveau de la plaque motrice**.
- 2) Lorsqu'il arrive au niveau de la plaque motrice, le **PA** provoque un **afflux de calcium** dans la **région pré-synaptique**.
- 3) L'afflux de calcium déclenche la **libération des vésicules d'acétylcholine** qui sont **stockées** au niveau de **l'espace pré-synaptique** et sont donc **libérées dans la fente synaptique**.
- 4) les molécules **d'acétylcholine** traversent la fente synaptique et se **fixent sur leur récepteur** sur la **membrane du myocyte**.
- 5) Les **récepteurs de l'acétylcholine** agissent comme des **canaux à sodium**. Et ils **provoquent un afflux d'ions sodium** au **niveau du myocyte** ce qui induit une **dépolarisation du sarcolemme**.

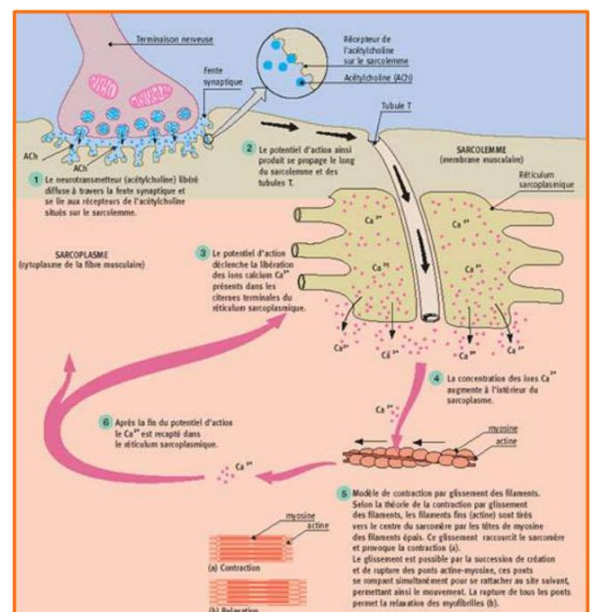
Au niveau de la **plaque motrice**, à la **fin de l'excitation musculaire**, on observe une **diffusion passive de l'acétylcholine hors de la fente** et aussi une **hydrolyse de l'acétylcholine** grâce à une **enzyme : l'acétylcholinestérase**

« **Nous avons vu ce qu'il se passait au niveau de la plaque motrice, maintenant que se passe-t-il en deçà de la plaque motrice, après l'activation de cette plaque ?** »

L'**onde de dépolarisation** se **transmet en longueur** au niveau du sarcolemme dans les deux directions, tout au long de la membrane du myocyte. Et deuxièmement, elle se **transmet aussi en profondeur**, par le système des **tubules T**

Ainsi, l'**onde de dépolarisation** arrive au niveau des **triades** et a cet endroit, l'onde de dépolarisation **active des récepteurs** qui sont des **récepteurs à la ryanodine** et à la **dihydropyridine**.

L'**activation de ces récepteurs** provoque **l'ouverture des canaux calciques des citernes**, et de cette façon le **calcium est libéré** à la proximité des myofibrilles. Lorsqu'il y a **arrêt de l'excitation** et de la **dépolarisation**, le **calcium** retourne à l'intérieur des citernes.



C) Anomalies de l'excitation musculaire

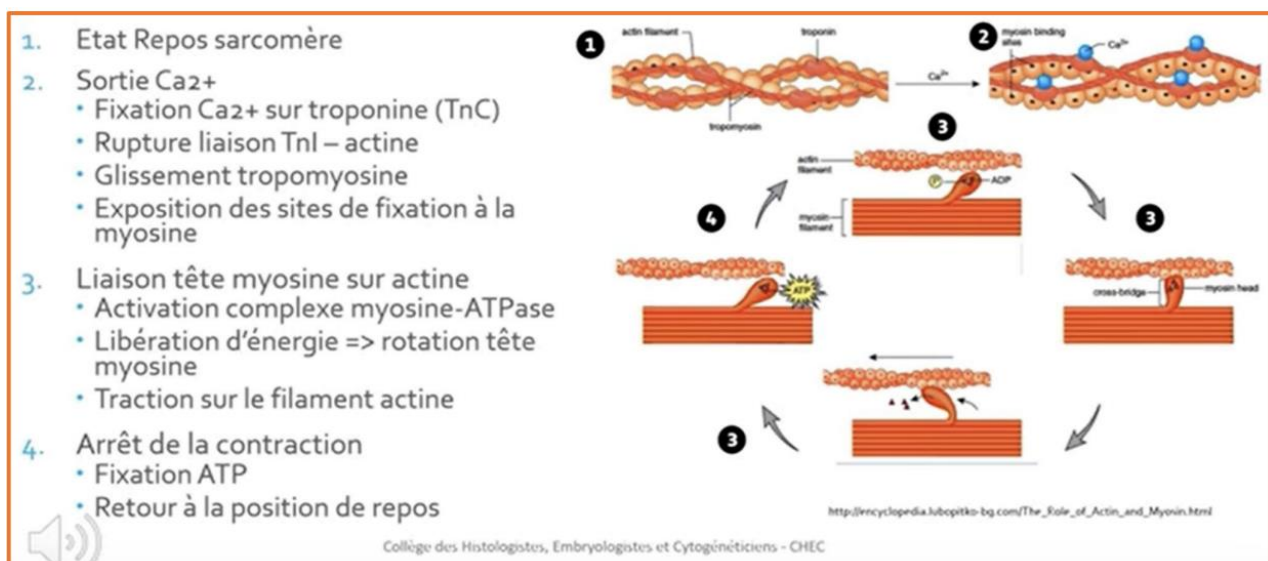
On peut observer une **inhibition de la transmission neuromusculaire**, par **compétition avec l'acétylcholine**. Par exemple, c'est le cas des **curares**, qui sont utilisés en médecine pour l'**anesthésie**, les **gaz de combats** et certains **pesticides** aussi.

De la même façon, une **pathologie inhibe la transmission neuromusculaire** : la **myasthénie**. Dans cette pathologie, l'**organisme produit des auto-anticorps** qui sont **dirigés contre les récepteurs de l'acétylcholine** et **bloquent l'accès du neurotransmetteur à son récepteur**.

A l'inverse, on peut avoir une **anomalie qui provoque une excitation**, une augmentation de la transmission neuromusculaire, c'est l'exemple de la **toxine botulique** qui **inhibe l'activité de l'acétylcholinestérase**.

IV) La contraction musculaire

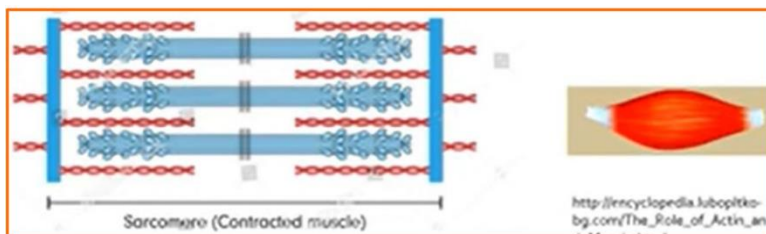
A) A l'échelle d'une molécule d'actine-myosine



La **libération du calcium** induit une **onde de dépolarisation** qui parvient au niveau de l'unité contractile : le sarcomère.

1. A l'état de **repos** = **ATPase** de la myosine **inactive**
2. Le **calcium** sorti des citernes se **fixe sur la troponine C** → **rupture de la liaison troponine I/actine** → **glissement de la tropomyosine** dans la double hélice d'actine → **exposition des sites de fixation** à la myosine
3. Les **têtes de la myosine** peuvent **se fixer** sur le **filament d'actine**. Au niveau des ces têtes, on observe alors une **activation du complexe ATPase** et une **hydrolyse de l'ATP**. L'énergie libérée à ce moment-là provoque une **rotation de la tête de myosine**, un **déplacement** entre 5 et 7 mm en **direction de la strie M** → **traction** sur le **filament d'actine** → **raccourcissement du sarcomère**
4. A la **fin de la contraction** : **fixation de l'ATP** → **rupture de la liaison actine-myosine** et un **retour à la position de repos**

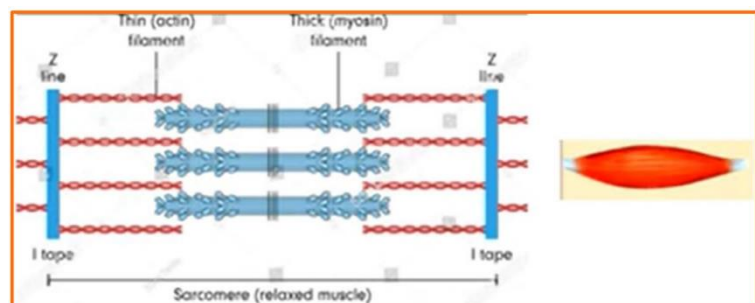
B) A l'échelle du sarcomère



Il y a **déplacement des têtes de myosine**.

Ci-contre : état de repos du muscle

Lorsqu'il y a **excitation** et **contraction** du muscle, le **sarcomère se raccourcit**, les **stries Z se rapprochent**, et le **muscle se contracte**.



FIN et dédis

Tout d'abord dédis à toi qui lis cette fiche prend une petite pause après cette looongue fiche

Dédis à tous les autres tuteurs et les CT qui font un boulot de fou cette année

Dédis à mes vieux que j'adore et qui sont présent à mes côtés

Dédis à ma famille qui m'ont soutenu pendant ces études

Vous êtes plus fort(e)s que vous ne le pensez, travaillez à fond ça en vaut la peine