

Tissu musculaire

Dans l'organisme il existe trois types de tissus musculaires : strié, lisse et cardiaque.
Avant de présenter dans ce cours le tissu musculaire strié squelettique, on va commencer par une introduction générale.

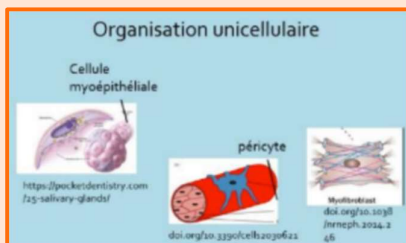
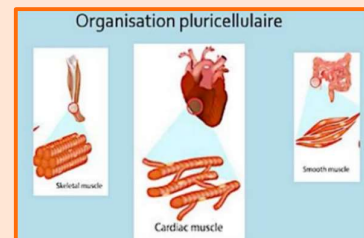
Introduction aux tissus musculaires

Les **tissus musculaires** sont composés de cellules appelées les **myocytes**. Ces cellules sont spécialisées dans la **production de la force motrice**, c'est-à-dire qu'elles sont capables de se contracter : **les myocytes sont capables de 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 soit **pluricellulaires**, soit **unicellulaires** :

➔ L'organisation **pluricellulaire** des **myocytes** réalise une **organisation en tissu, en organe**. Ce sont les tissus des **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**. Ce sont les cellules **myoépithéliale**, qui **permettent l'expulsion de la production des sécrétions**, comme par exemple dans l'épithélium glandulaire.

Ce sont les **péricytes**, qui entourent l'endothélium des capillaires et permettent de **garder le tonus des vaisseaux**.

Ce sont enfin les **myofibroblastes** présents dans le tissu conjonctif.



Lors de ce cours nous nous focaliseront sur les trois types de tissus musculaires. Ce tableau synthétise les **principales propriétés** de ces tissus et permet d'identifier **leurs différences**.

	TM strié squelettique	TM cardiaque	TM lisse
Aspect	Strié	Strié	Lisse
Cellules	Rhabdomyocytes	Cardiomyocytes	Léiomyocytes
Rôles	Mouvements volontaires, maintien posture	Circulation du sang	Mouvements involontaires
Contrôle	Système nerveux cérébrospinal	Modulé par 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

➔ Le premier type de tissu : le **tissu musculaire strié squelettique** (TMSS).

Ce tissu présente un **aspect strié** en microscopie optique (MO).

Ses cellules s'appellent des **rhabdomyocytes**.

Ce tissu est responsable des **mouvements du squelette** et des **organes**, comme par exemple les yeux et la langue.

La plupart de ces **mouvements** sont **volontaires**.

Ces muscles striés squelettiques sont aussi responsables du **maintient de la posture de l'organisme**.

Les muscles striés squelettiques sont sous le contrôle du **système nerveux cérébrospinal**.

➔ Le deuxième type de tissu : le **tissu musculaire cardiaque** (TMC).

Ce tissu présente aussi un **aspect strié** en MO. Mais (nous le verrons plus loin) l'aspect se distingue du TMSS.

Ses cellules s'appellent des **cardiomyocytes**. Elles présentent des caractéristiques intermédiaires entre le TMSS et le TML.

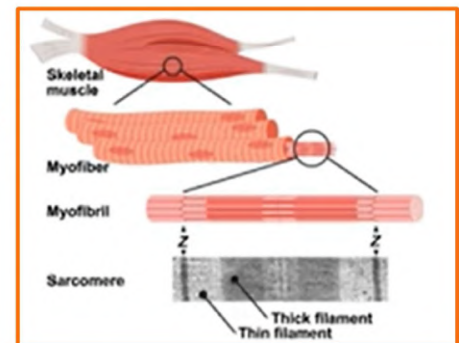
Les cellules du muscle cardiaque sont responsables des **contractions rythmiques et involontaires du cœur**.

- ➡ Le troisième type de tissu : le **tissu musculaire lisse** (TML), appelé aussi **tissu musculaire viscéral**.
Pour ce muscle, ses cellules **ne présentent pas d'aspect strié en MO**.
Ses cellules s'appellent les **léiomyocytes**.
Ce type de tissu est responsable des **mouvements involontaires** au niveau des **organes**.
Ces cellules sont contrôlées par le **système nerveux végétatif**.
On retrouve du **tissu musculaire lisse** très largement dans l'organisme, car il compose la **parois des vaisseaux sanguins**, la **parois de très nombreux organes** comme les organes du tractus intestinal, de l'utérus, de la vessie.

« Nous allons décrire tout d'abord le muscle strié squelettique. »

Tissu musculaire strié squelettique

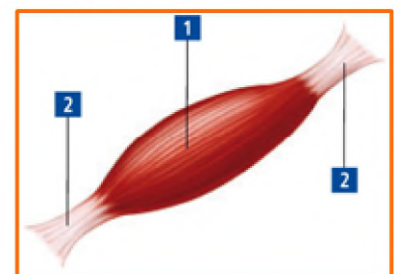
« Comme le montrent les schémas, nous ferons une description depuis son aspect macroscopique, jusqu'à son aspect en microscopie optique, électronique et jusqu'à sa composition moléculaire. »



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**.



Le tutorat est gratuit en plus d'être génial. Toute reproduction ou vente est interdite.

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

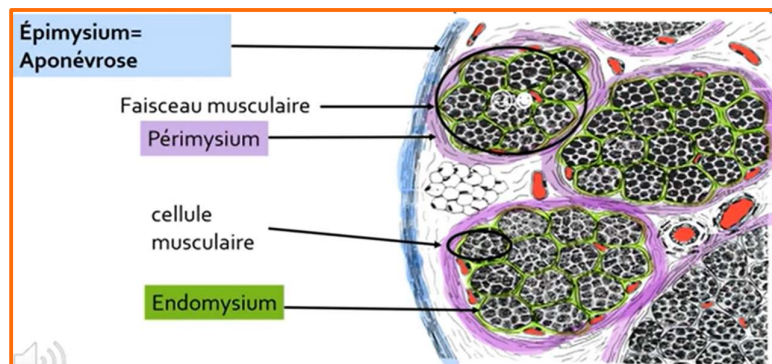
« *Commençons par étudier les composantes musculaires et conjonctives.* »

A) Composantes musculaires et conjonctives

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 **pérимysium**.

Le **pérимysium** lui-même émet des cloisons conjonctives plus petites, qui entourent alors chaque **cellules musculaires**. C'est l'**endomysium**.



B) La composante vasculaire

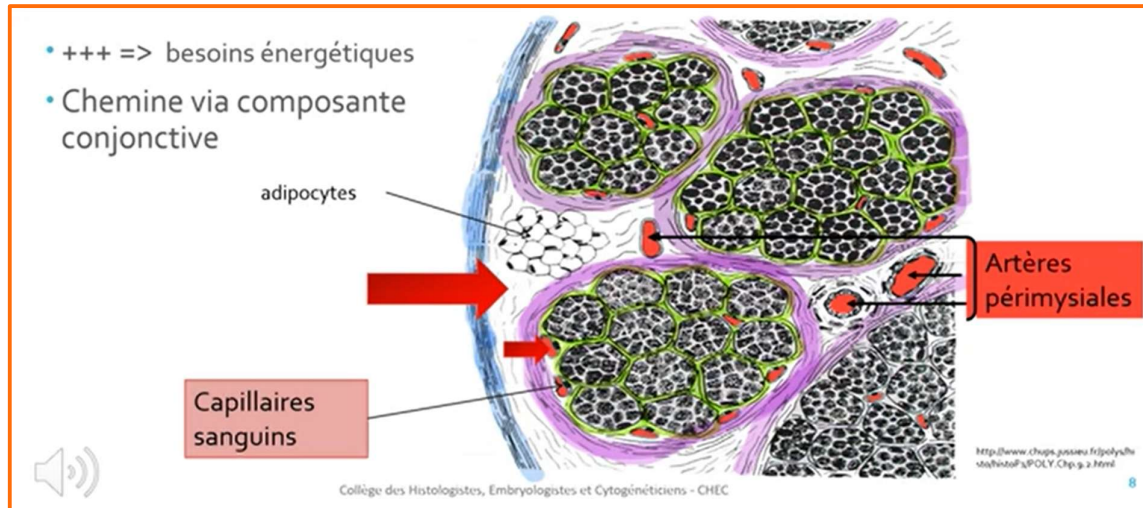
La **composante vasculaire** est importante. Elle doit couvrir les besoins énergétiques du muscle.

La **composante vasculaire** 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 **artères périmysiales** traversent ensuite le **périmysium** 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.



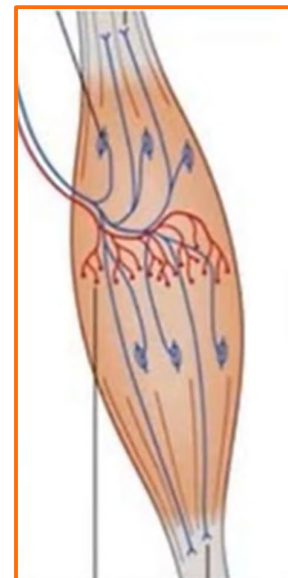
C) La composante nerveuse

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

La **composante motrice** sert à la **contraction**, tandis que la **composante sensitive** est 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 **périmysium** et se ramifient encore dans **l'endomysium** pour être en contact avec les **cellules musculaires**.



« Maintenant que nous avons vu la structure du muscle, nous allons détailler la structure de la composante musculaire. »

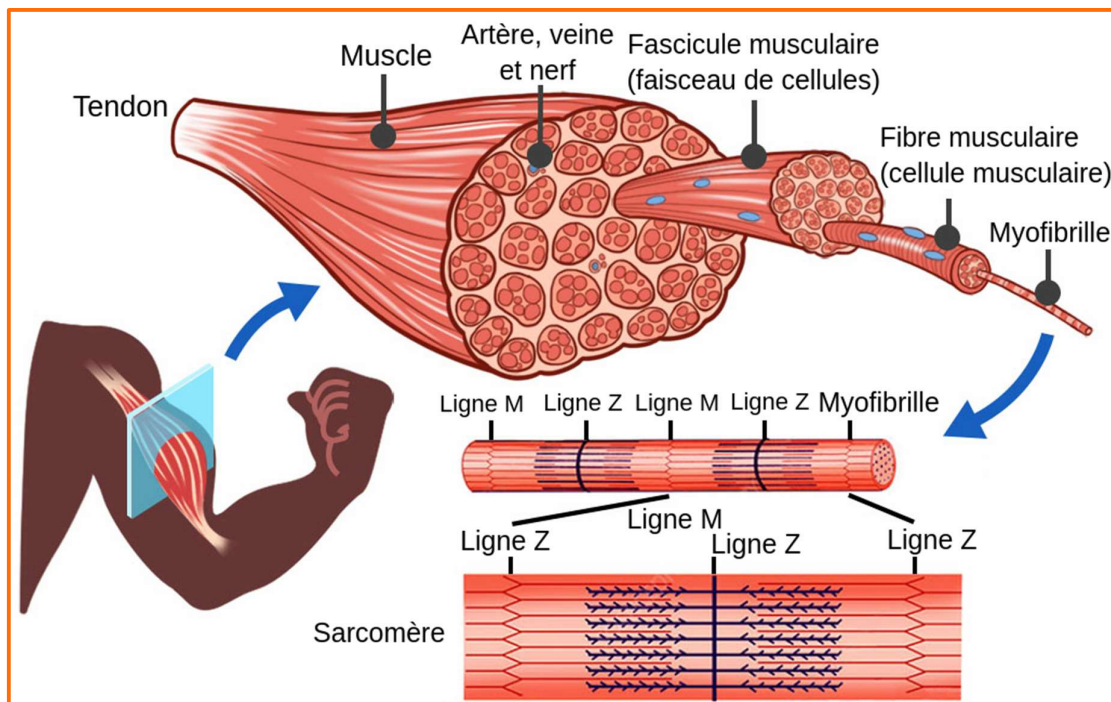
II) La cellule musculaire striée squelettique

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 **organe cellulaire** que nous détaillerons plus loin.

Et enfin, si on observe une **myofibrille** en ME, on observe son **unité fonctionnelle** : le **sarcomère**.



(schéma non tiré du cours, simplement pour mieux visualiser)

« Avant de voir comment fonctionne la cellule MSS, nous allons voir comment elle est constituée. »

B) Morphologie

Le **myocyte** est une **cellule cylindrique** aux **bords parallèles**.

C'est une cellule qui a un **diamètre** de **10 à 100 μ m** (donc une grosse cellule) et qui peut être extrêmement grande, puisqu'elle peut atteindre une **longueur de 30 cm**.

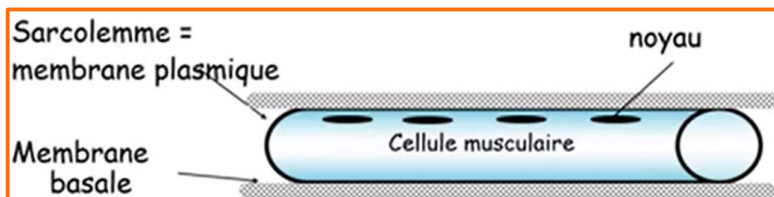
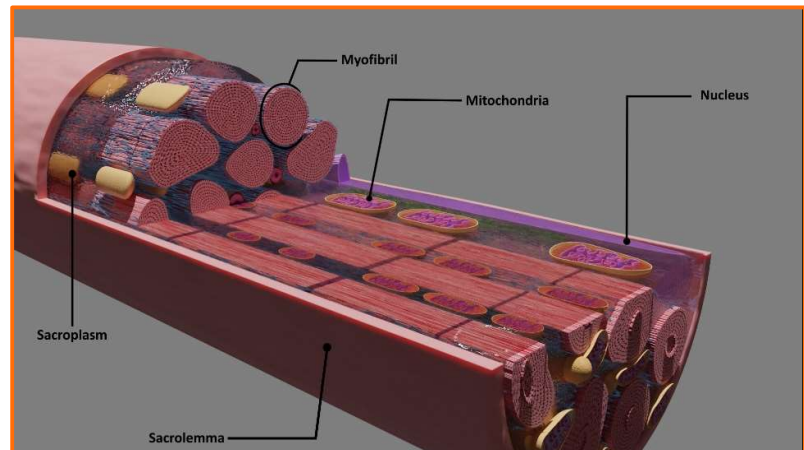
Le **myocyte** s'attache au **tendon**, ou bien au **pérимysium** et il peut faire la longueur du muscle.

La **cellule musculaire strié squelettique (CMSS)** possède une **membrane plasmique** que l'on appelle **sarcolemme** et qui repose sur une membrane basale.

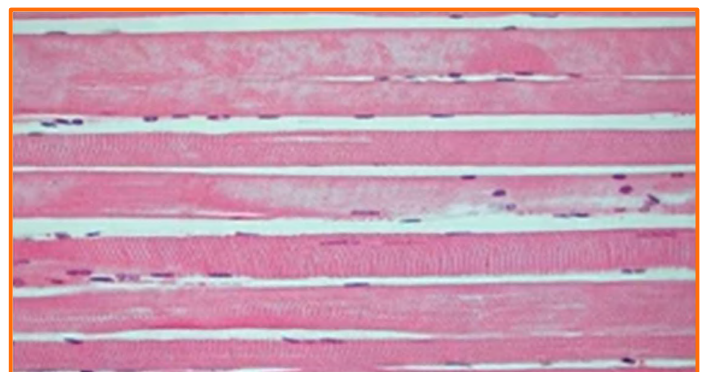
A l'intérieur du cytoplasme du **myocyte**, on observe **de très nombreux noyaux** (environ une centaine).

L'autre particularité est que **ces noyaux sont refoulés en périphérie**.

(le premier schéma n'est pas tiré du cours non plus. C'est sensé vous aider à mieux visualiser mais si jamais ça vous embrouille oubliez-le)



(photo en MO, on voit les noyaux en violet et le sarcoplasme en rose)



« Nous allons essayer de comprendre maintenant pourquoi la CMSS présente ces particularités. »

C) Embryogenèse et organisation des myocytes

« Premièrement, pourquoi le myocyte a cet aspect allongé avec des bords parallèles ? »

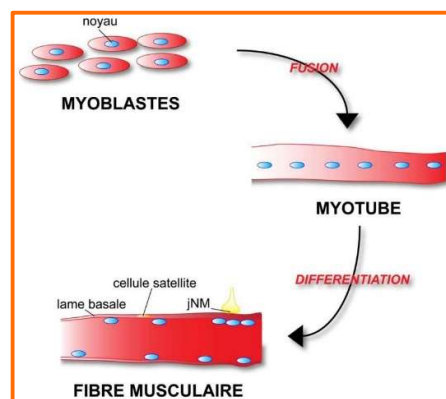
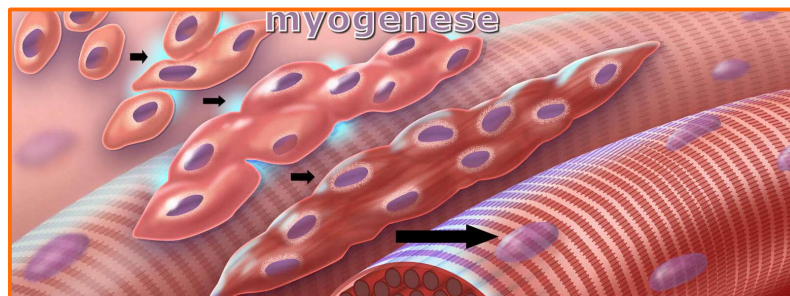
Pour comprendre cela il faut retourner à l'**embryogenèse des myocytes**.

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

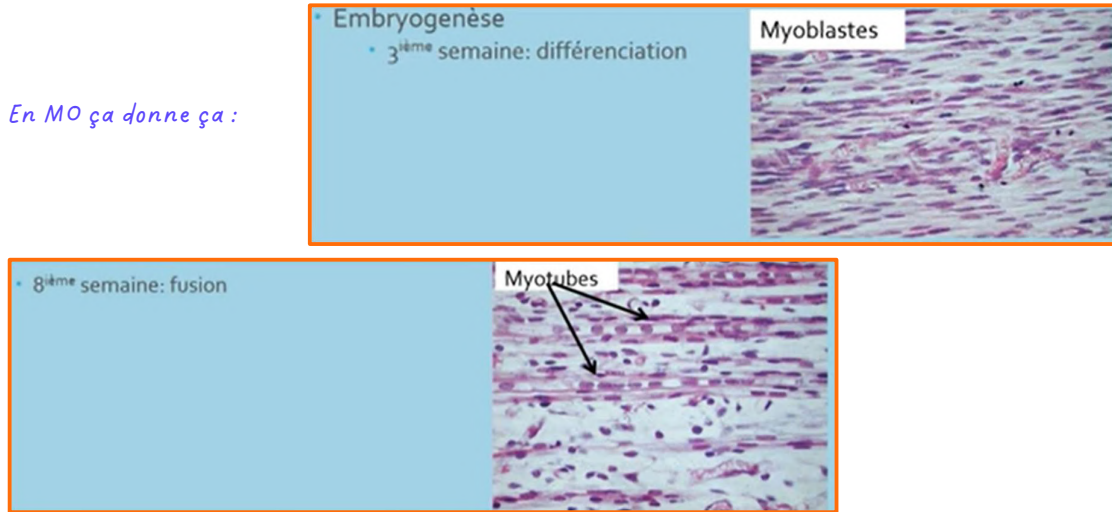
Ces cellules (les myoblastes) sont des **cellules mononucléées**, c'est-à-dire qu'elles ne comportent qu'un seul noyau qui est central, et ces cellules ont un **aspect fusiforme**, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de bords parallèles.

Puis, à la **8^{ème} semaine de vie**, on observe une étape de fusion des myoblastes entre eux. Plusieurs centaines de myoblastes s'associent entre eux, fusionnent, et forment une **très longue cellule** que l'on appelle **myotube**.

Ce sont ces cellules que nous retrouverons chez l'adulte et une seule cellule musculaire est un **syncytium** comprenant une **centaine de noyaux** avec des bords parallèles.



En MO ça donne ça :



« La question suivante est : pourquoi les noyaux sont refoulés en périphérie ? »

Pour répondre à cette question, il faut regarder à l'intérieur de la cellule, dans le cytoplasme.

Le **cytoplasme**, comme dans toutes les cellules, est rempli d'**organites**.

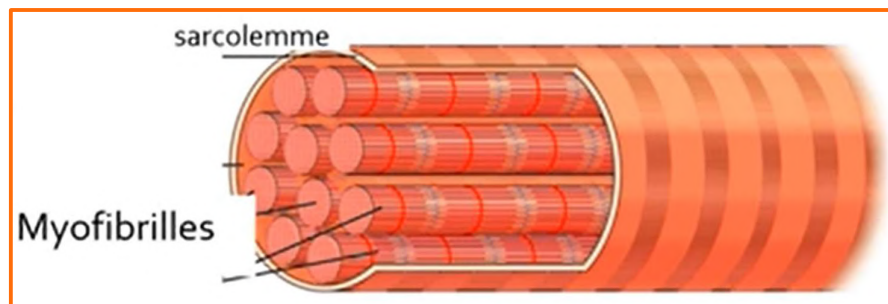
Mais dans le myocyte il existe un **organite** qui est **majoritaire** : ce sont les **myofibrilles**.

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 **sarcoleme**.

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**.



Récap :

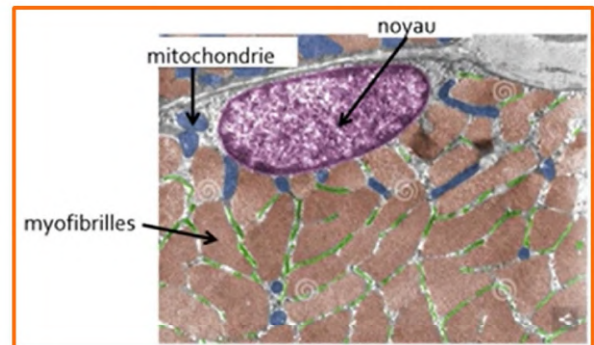
- ➡ Les **noyaux** sont **refoulés à la périphérie** car **les myofibrilles prennent toute la place dans le cytoplasme**
- ➡ L'ensemble des **myofibrilles** est appelé **myoplasme**
- ➡ Les **myofibrilles** sont l'**unité fonctionnelle de la cellule** et mesurent de 1 à 2 μm de diamètre

D) 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.

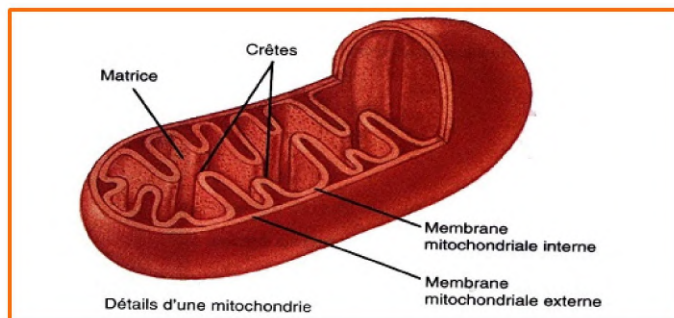
Tout d'abord, le **sarcoplasme** contient de **très nombreuses mitochondries**. Elles occupent **environ 2% du volume cellulaire**.

Sur la photo de ME colorisée (ci-contre) les mitochondries sont en bleu.



Ces **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. *(Comme on le voit sur la photo en ME ci-dessus)*



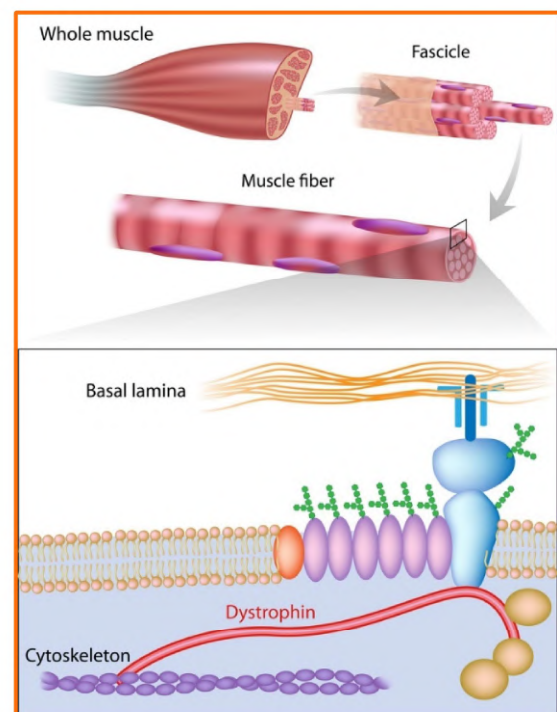
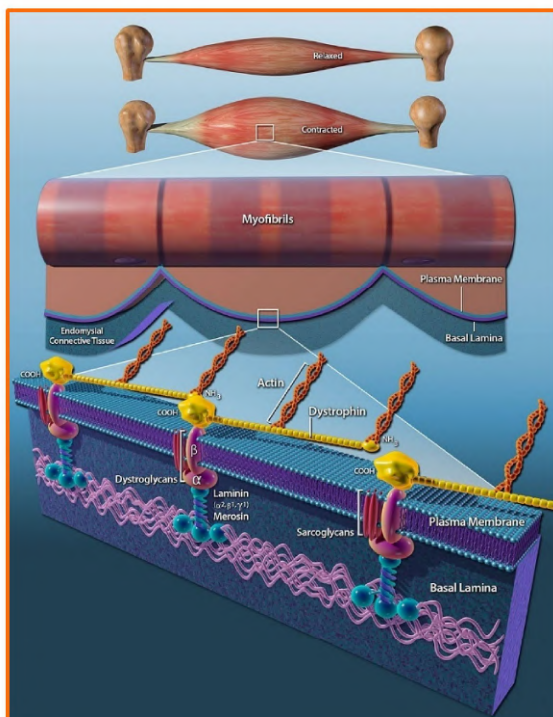
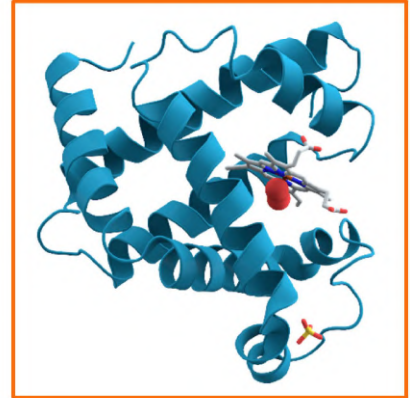
(Rappel de la gueule qu'a une mitochondrie)

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**.

Et 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**.

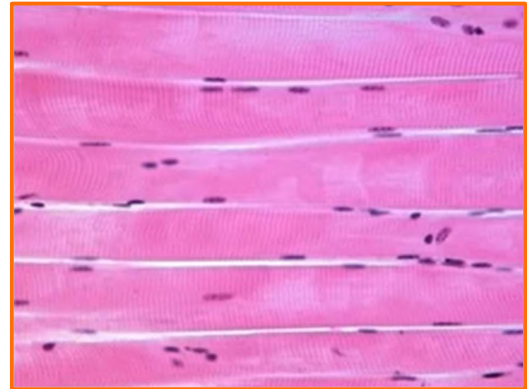


(Un schéma de myoglobine et deux de dystrophine, purement à visée illustrative, pour la déco, ne vous prenez pas la tête avec ça. PS : on reverra la dystrophine un peu plus loin)

E) Aspect strié en microscopie optique

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

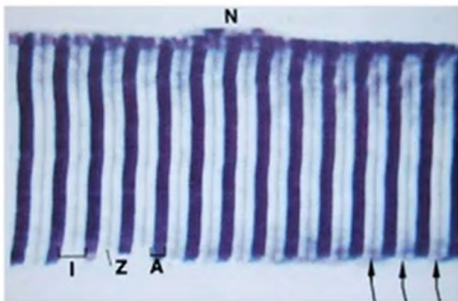
Et nous voyons bien, sur cette photo de coupe longitudinale (*ci-contre en rose*), cet aspect strié.



« D'où vient cette propriété ? »

• Coupe semi-fine

- Alternance bande sombre
 - Bande A (anisotrope) $1,5\mu\text{m}$
- Alternance bande claire
 - Bande I (isotrope) $0,8\mu\text{m}$
 - Au centre strie sombre fine (strie Z)



Lorsque l'on observe cette photo de coupe semi-fine (*ci-contre*), on observe très nettement une **alternance** dans une seule cellule de **bandes sombres** et de **bandes claires**.

La bande sombre est appelée **bande A**, pour anisotrope, elle mesure $1,5\mu\text{m}$ de large.

La bande claire est appelée **bande I**, pour isotrope, et elle mesure $0,8\mu\text{m}$ de large.

instant mémo :

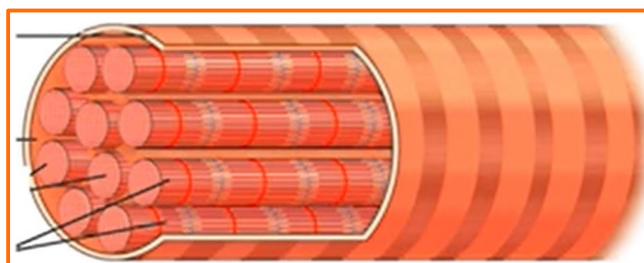
bande A → blAck → bande sombre

bande I → whItE → bande claire

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

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

Sur ce schéma (*ci-dessous*) on voit que les **myofibrilles** présentent une alternance de **bandes claires** et de **bandes sombres**. Comme les **myofibrilles** sont **parallèles** **entre elles** et **alignées**, cet arrangement est visible en MO (*comme vu plus haut*).



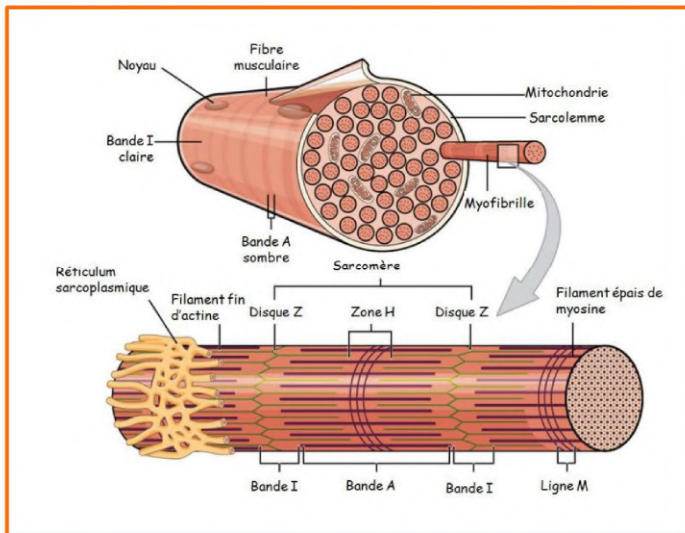


Schéma que je trouve un peu mieux pour bien visualiser

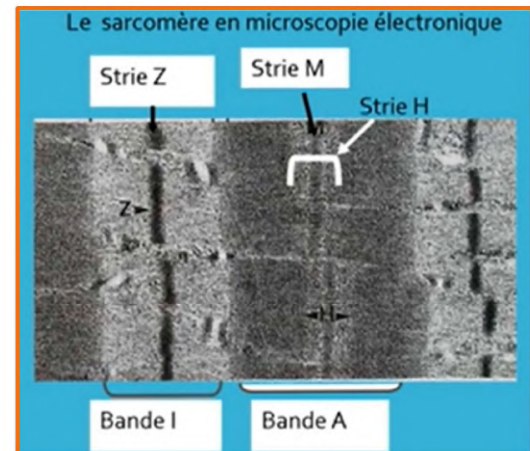
« Pour comprendre cette striation des myofibrilles, passons à l'observation en ME. »

F) Unité fonctionnelle : le sarcomère

Cette technique (l'observation en ME) nous permet d'isoler une seule alternance bande claire/bande sombre.

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

Le sarcomère se situe entre deux stries Z (ces stries Z que l'on avait visualisé au centre d'une bande claire).



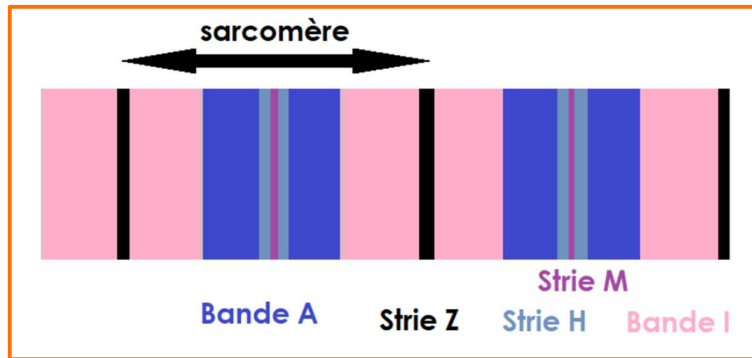
Et donc si l'on regarde plus précisément le sarcomère, on voit (en allant des extrémités vers l'intérieur) :

- ➡ à chaque extrémité une **strie Z**
- ➡ vers l'intérieur deux demies 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 que cette **bande sombre A** est constituée au centre par 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 environ **2,5µm**.



Magnifique schéma récap de ma
vieille vieille Clochonou <3

G) Structure moléculaire du sarcomère

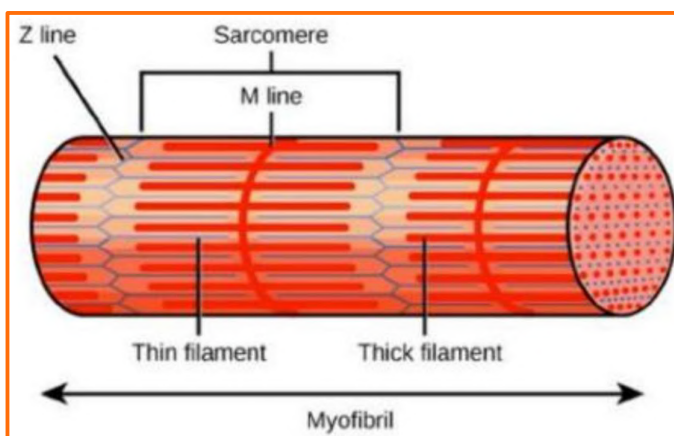
Cette structure en ME est liée à une **structure moléculaire particulière**. En effet, le **sarcomère** est constitué de **deux types de myofilaments** : des **myofilaments épais** et des **myofilaments fins**.

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

Les **myofilaments épais** sont constitués de **myosine** et sont **rattachés** à la **strie M**. Ils ont une **longueur** d'environ **1,5 μ m** et un **diamètre** d'environ **15nm**.

Les **myofilaments fins** sont plus petits, ils mesurent environ **1 μ m** de **long** et **5 à 6/8 (à vérifier) nm** de **diamètre**.

Ces **myofilaments fins** sont **attachés** à la **strie Z** et sont constitués de la **protéine contractile** : **actine**.



Ce schéma décrit l'agencement des **myofilaments épais** en **rouge** et des **myofilaments fins** en **bleu** au sein d'une **myofibrille**. Et l'on voit que l'agencement des différents filaments au sein du sarcomère est extrêmement régulier.

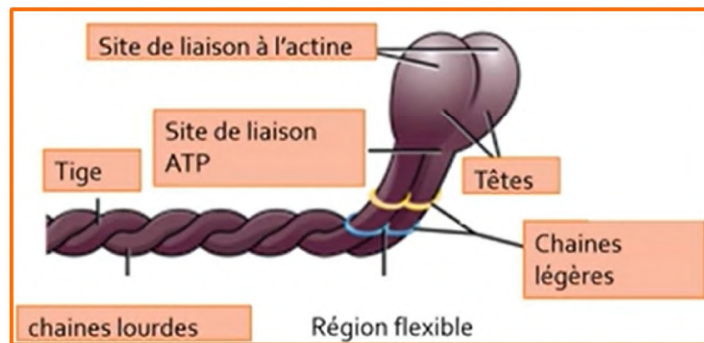
« *Nous allons maintenant détailler chacune des protéines contractiles.* »

1) Le filament épais

Tout d'abord, le **filament épais** est constitué d'une **protéine** : la **myosine**.

La **myosine** a une **longueur** de **200nm** et une **largeur** de **2nm**.
« Cette protéine ressemble à une crosse de hockey. »

La **myosine** a une **masse moléculaire** de **120/520 kDa** à **vérifier**.



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**. Ces **4 chaînes légères** s'associent au niveau de la **tête** pour **donner de la rigidité** à cette structure.

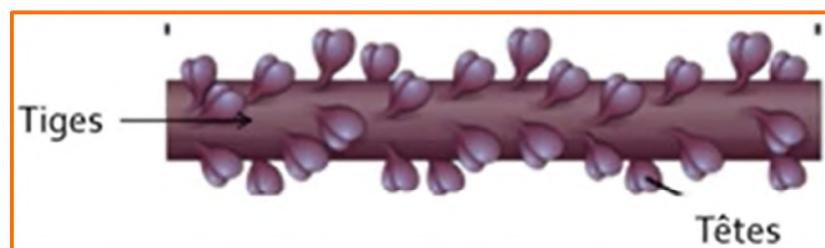
Il existe deux sites très particuliers au niveau de la **tête de la myosine** (on les voit tous les deux sur le schéma au-dessus) :

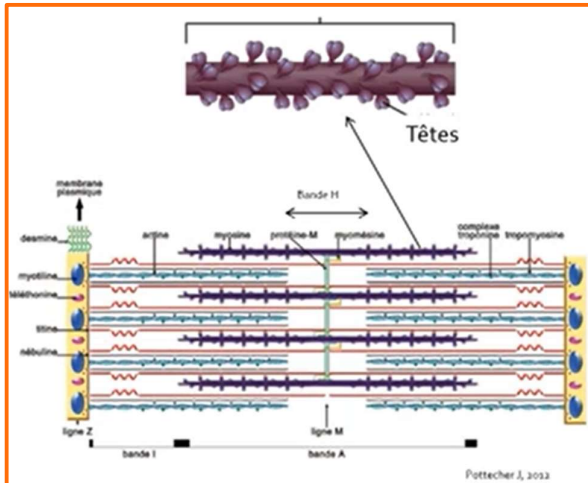
- ➔ Un **site de liaison à l'actine**
- ➔ Un **site d'activité ATPase** dépendant de l'actine (« Site de liaison ATP » sur le schéma)

Pour **former le myofilament épais**, **300 à 400 molécules de myosines** s'associent entre elles.

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 (ci-dessous).





Maintenant, 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.

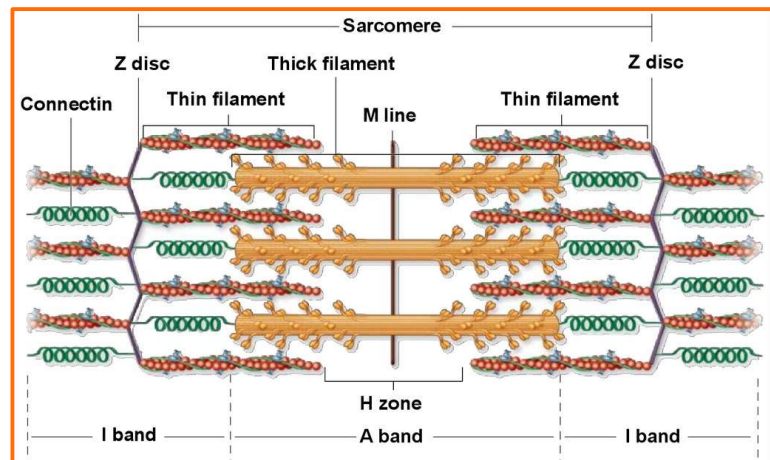
Donc le myofilament épais occupe la totalité de la bande A.

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 **créer cette bande**, cette **strie plus sombre**.

(Schéma en meilleure qualité et que je trouve plus clair)



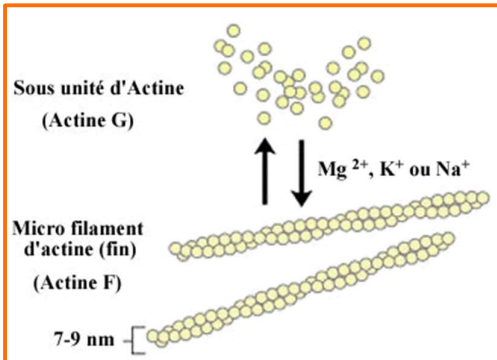
2) Le filament fin

« Qu'en est-il maintenant des 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**.



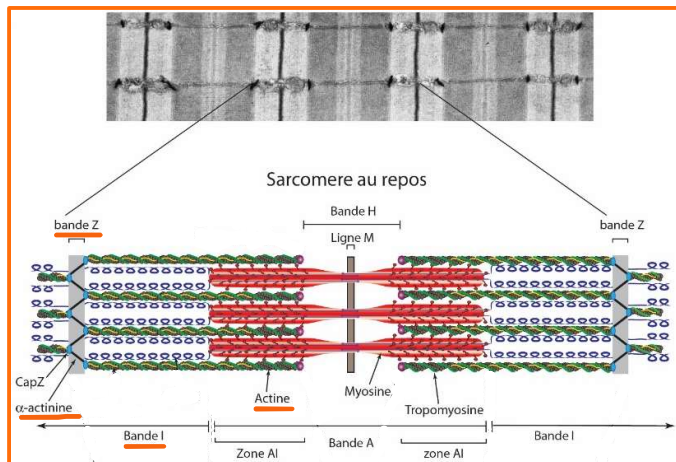
👉 schéma non-tiré du cours, la taille du filament n'a pas été donné donc pas besoin de retenir

Dans ce filament, **chaque monomère d'actine G** effectue une **rotation à 166 degré** 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 ce que l'on voit dans le schéma sous forme d'un **rond vert foncé**.)

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 sont **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**.

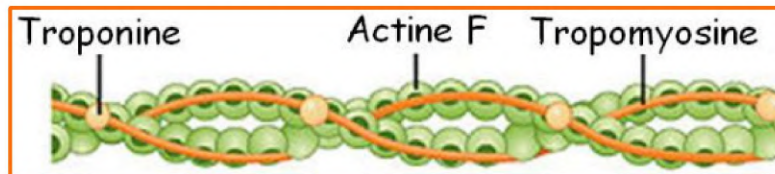
Schéma rappel pour bien visualiser tout ça

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. Ce sont la **tropomyosine** et la **troponine**.

La **tropomyosine** est une **molécule longue et fine** d'environ **40 nm** constituée de **deux chaînes polypeptidiques**.

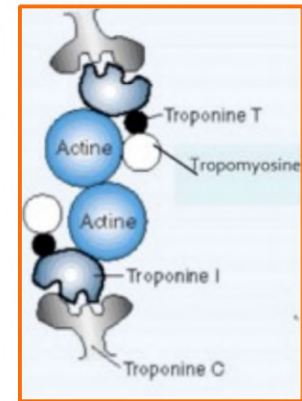
Cette molécule **se fixe** dans la **gouttière** du myofilament d'actine et **stabilise le filament d'actine**.



La **troponine** elle est une **protéine de type globulaire**.

Elle est constituée de trois 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.



Il existe un complexe de troponine par molécule de tropomyosine.

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
- L'attachement des microfibrilles au sarcomère, au sarcolemme et à la MEC.

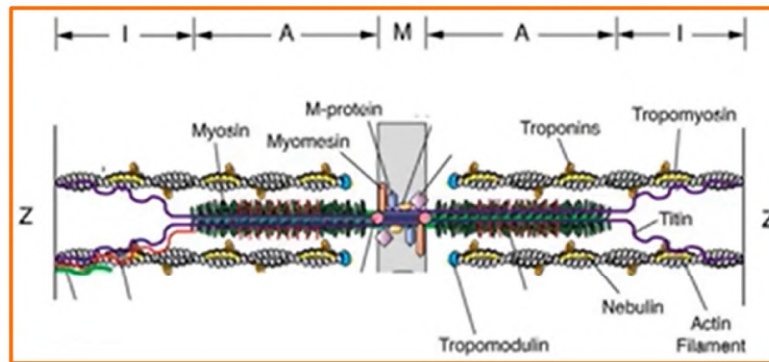
Plusieurs **protéines** sont impliquées.

Tout d'abord la **myoméline**, appelée aussi **protéine M** :

- Elle **relie les myofilaments** entre eux au niveau de la strie M

La deuxième protéine est la **titine** :

- Elle **ancrer les filaments épais** à la strie Z
- Elle **maintient l'alignement** des filaments épais
- Elle **oppose une résistance à l'étirement excessif** du sarcomère
- La **titine** s'étire de la strie Z à la strie M



Ensuite on a la **nébuline** :

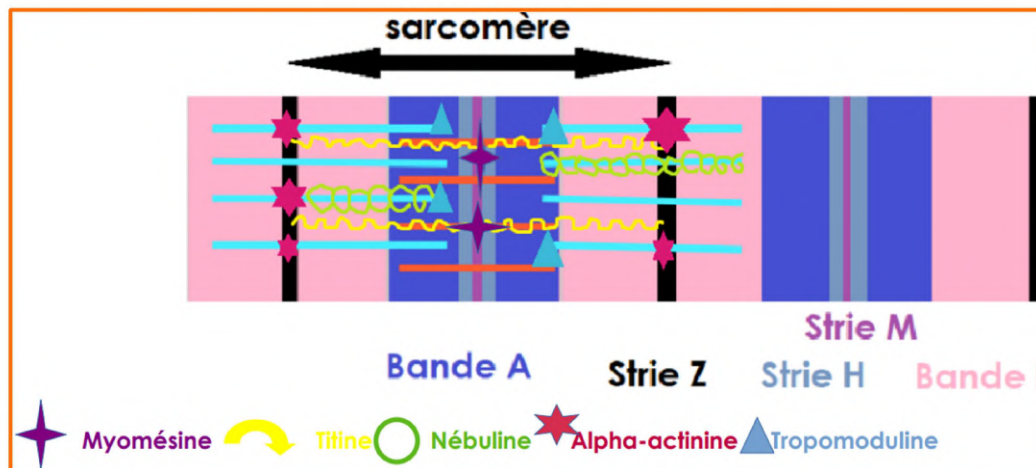
- ☛ Elle s'entoure autour du filament fin pour guider la polymérisation de l'actine

Puis on a l'**alpha-actinine**.

- ☛ Elle assure la liaison des myofilaments fins d'actine au niveau de la strie Z

Et enfin, la **tropomoduline** :

- ☛ Elle permet de stabiliser la longueur du filament d'actine



Autre superbe schéma récap de ma vieille vielle Clochonou <3<3

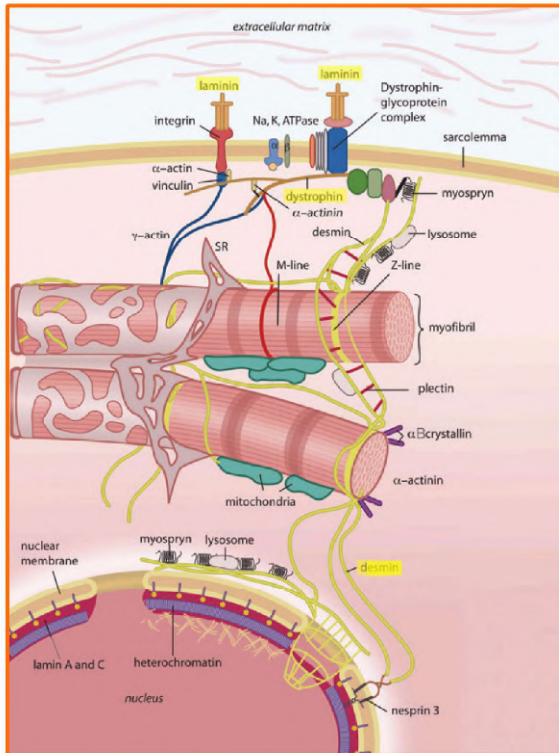
5) Attachement des myofibrilles

On vient de voir les éléments à l'intérieur du sarcomère et leurs différentes attaches, maintenant on va voir les attaches à l'extérieur du sarcomère.

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

Ici, trois protéines sont en jeu :

Le tutorat est gratuit en plus d'être génial. Toute reproduction ou vente est interdite.



On retrouve beaucoup d'éléments sur ce schéma, évidemment concentrez-vous sur nos trois protéines que j'ai surligné en jaune, ne faites pas attention au reste

☛ La **desmine** : elle relie les myofibrilles entre elles et les attache au sarcolemme, mais aussi à l'enveloppe nucléaire. La **desmine** forme des « sortes d'échelles » qui sont situées au niveau de la strie Z des myofibrilles

☛ Deuxième protéine : la **dystrophine** et les protéines qui lui sont associées. Cet ensemble de protéines forme un **complexe** sous le sarcolemme, qui permet l'ancrage des myofibrilles au sarcolemme et à la membrane basale

☛ La troisième protéine est la **laminine** : Elle rattache le complexe des protéines dystrophines à la MEC

Aparté patho : Le gène de la dystrophine, qui est situé sur le chromosome X, peut présenter des mutations modifiant l'activité de ses protéines et entraînant une **alternation de l'attachement des myofibrilles au sarcolemme**. Cela altère la fonction du sarcomère et ainsi altère la contraction musculaire. Ces mutations sont à l'origine de la **myopathie de Duchêne**, qui est la **myopathie héréditaire la plus fréquente**.

6) Sarcolemme, tubules T et réticulum sarcoplasmique

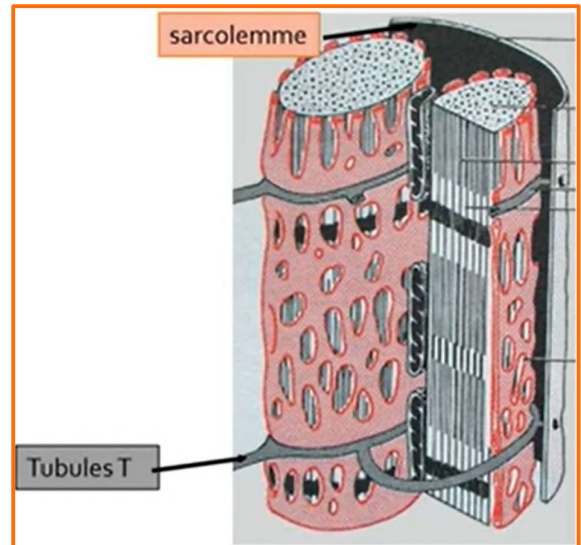
Nous venons donc de voir la structure des myofibrilles, qui sont pour rappel l'unité contractile des **myocytes**. Mais dans le myocyte, d'autres organites sont aussi importants pour la **contraction musculaire**.

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

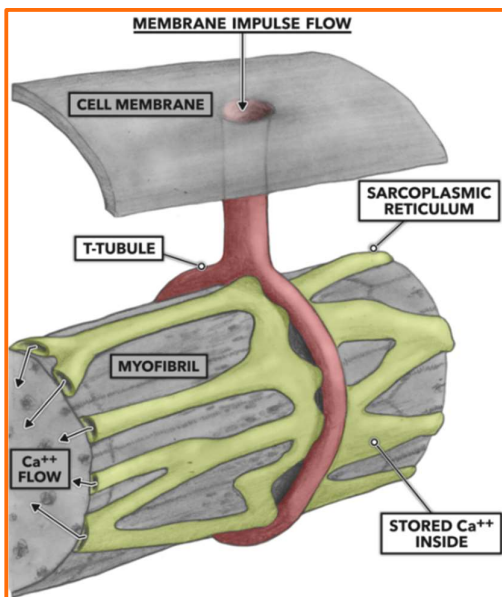
« *Premièrement : le sarcolemme.* »

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**.
Glucose qui est un **facteur énergétique** pour les **myocytes**.

« *Deuxième élément : ce sont les tubules T.* »

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



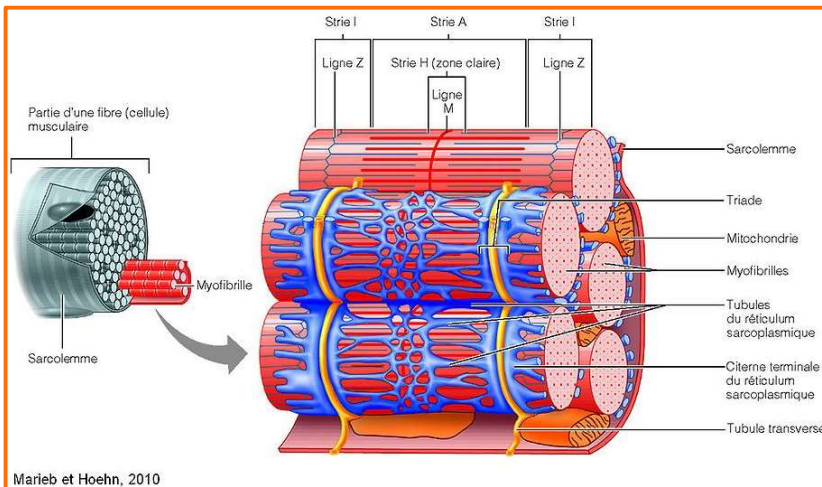
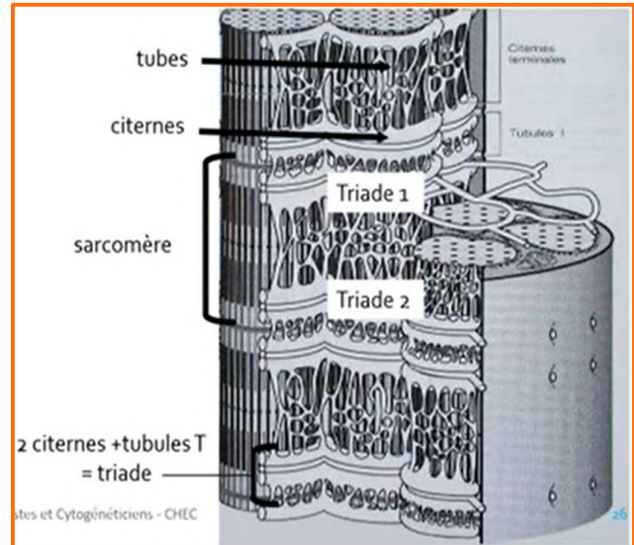
- ➔ Ils **penètrent à l'intérieur du cytoplasme** et **cheminent autour des myofibrilles** entre les **citernes terminales** du **réticulum sarcoplasmique** (que nous voyons juste après).
- ➔ Les **tubules T** sont présents au niveau de la **jonction des bandes A et I**.
- ➔ Ils renferment de **nombreux canaux calciques**.
- ➔ Et comme nous le verrons, **leur rôle** est la **transmission de l'onde de dépolarisation**.

Ce schéma c'est surtout pour que vous voyez et comprenez bien ce qu'on entend par « invaginations du sarcolemme ».

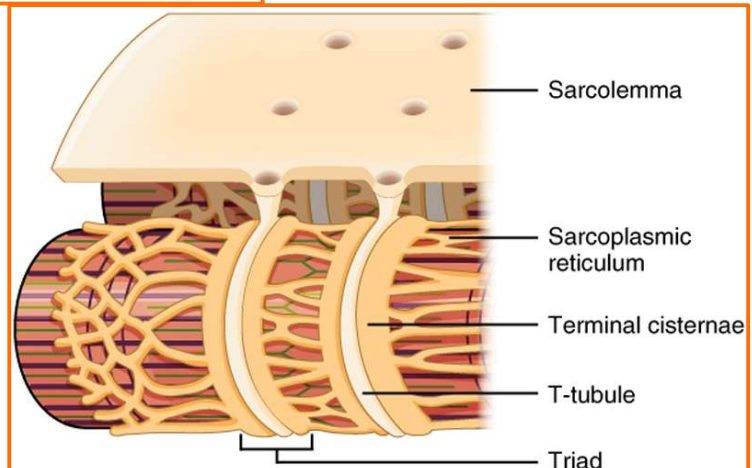
« Le troisième élément est le réticulum sarcoplasmique. »

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

- ➔ Ces **citernes** sont reliées entre elles par un **système de tubules longitudinaux** qui sont moulés sur les myofibrilles.
- ➔ Ces **citernes** contiennent du **calcium**.
- ➔ Si l'on regarde maintenant l'association au sein de la cellule, on voit que **deux citernes terminales sont associées aux tubules T**. C'est ce que l'on nomme une **triade** (donc 2 citernes + 1 tubule T = 1 triade).
- ➔ Cette **triade** est située au niveau de la **jonction des bandes A et I**.
- ➔ En somme, **il y a deux triades par sarcomère**.



Deux schéma pour toujours plus de visualisation et de liens avec ce qu'on a déjà vu !



Le tutorat est gratuit en plus d'être génial. Toute reproduction ou vente est interdite.

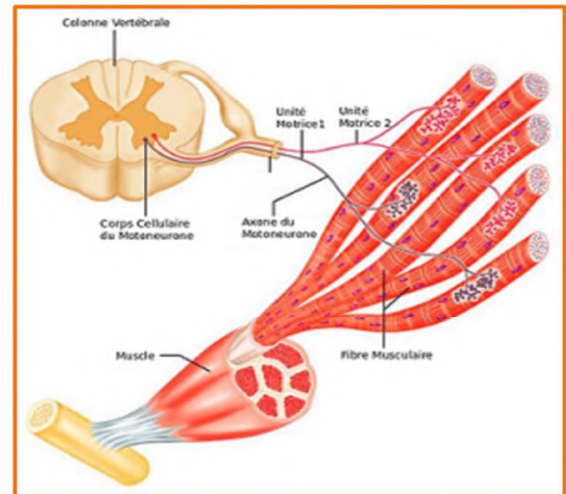
III) Innervation de la cellule squelettique

Nous avons vu que la **contraction des MSS** est sous le contrôle du **système cérébrospinal**. 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 innerver **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**, comme nous le voyons sur cette photo de ME.

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

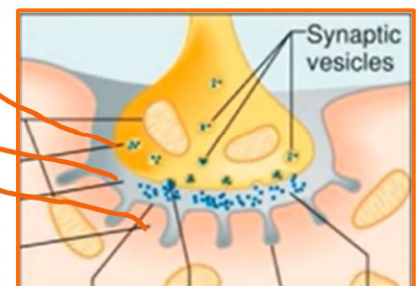
A) **Structure de la plaque motrice**

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**.

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 (= terminaison axonale)
- ➔ L'espace synaptique (= fente synaptique)
- ➔ La zone post-synaptique



- ➔ L'espace pré-synaptique contient de très nombreuses mitochondries.

Il contient aussi de très nombreuses vésicules contenant un neurotransmetteur : l'acétylcholine.

L'espace pré-synaptique est délimité par la membrane plasmique de l'axone.

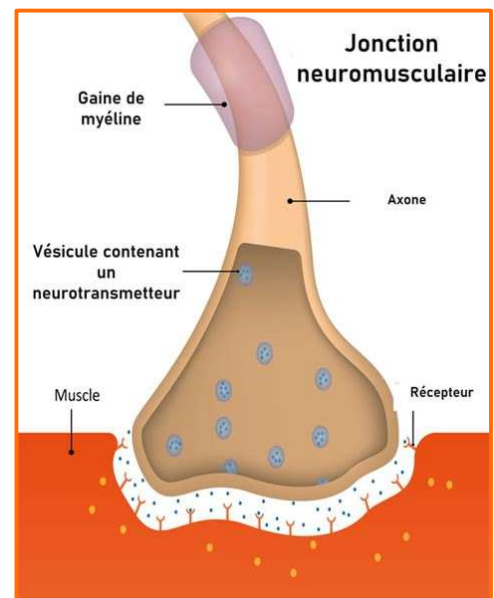
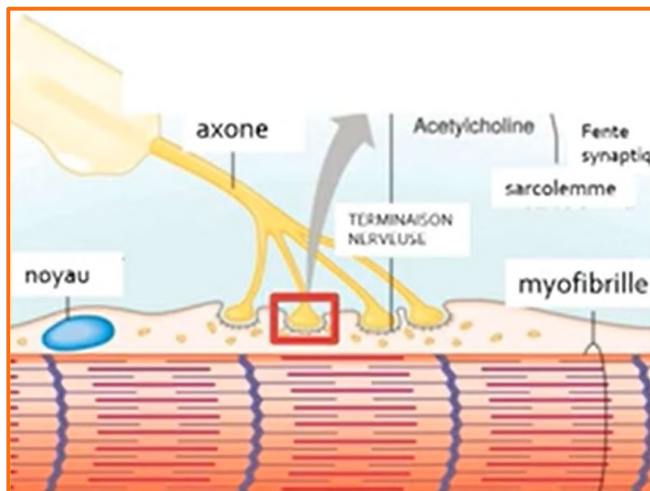
- ➔ Deuxième région : la **fente synaptique**. C'est l'espace entre l'axone et le myocyte.

Cet espace mesure environ 60 nm.

La **fente synaptique** 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 (vous vous en doutez) de détruire l'acétylcholine après son action.

- ➔ La troisième zone c'est la **région post-synaptique**. Cette région correspond au **sarcolemme du myocyte**, formant (comme vous le voyez sur le schéma) de très nombreux replis.

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

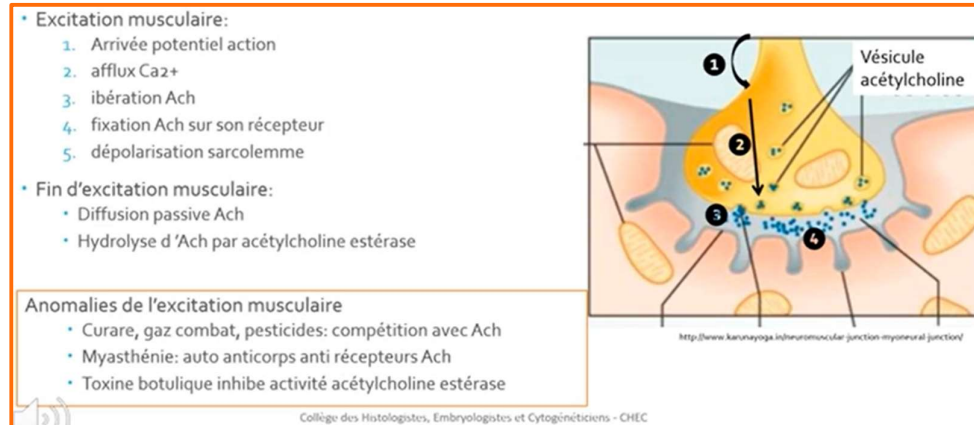


Au niveau du **sarcoplasme**, on observe aussi de nombreux noyaux, des mitochondries, des ribosomes et du glycogène.

Voyons maintenant comment fonctionne la **plaque motrice** pour transmettre le signal de contraction au muscle.

B) Activité de la plaque motrice

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



Première étape : arrivée du **PA** qui chemine le long de l'axone et qui arrive à son extrémité au niveau de la plaque motrice.



Deuxième étape : lorsqu'il arrive au niveau de la plaque motrice, le **PA** provoque un **afflux de calcium** dans la région pré-synaptique.



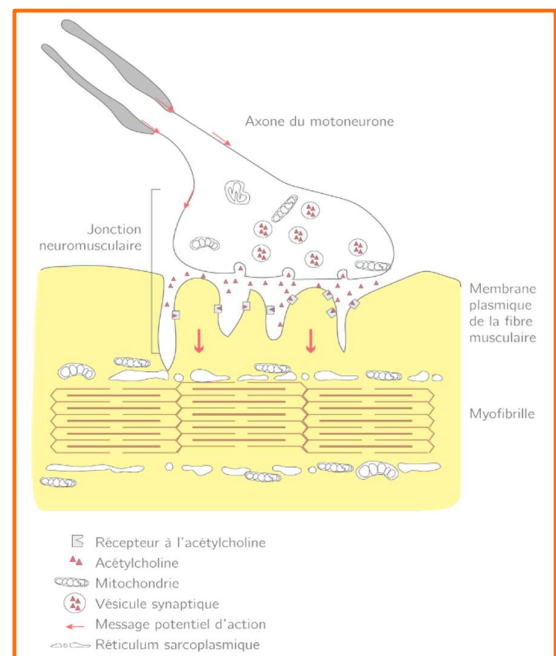
Troisième étape : cet afflux de calcium déclenche la **libération des vésicules d'acétylcholine** qui sont stockées au niveau de l'espace pré-synaptique. Ces vésicules sont **libérées dans la fente synaptique**.



Quatrième étape : les **molécules d'acétylcholine** traversent la fente synaptique et se fixent sur leur **récepteur**, sur la membrane du myocyte.



Cinquième étape : au niveau de la membrane du myocyte, 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**.



Le tutorat est gratuit en plus d'être génial. Toute reproduction ou vente est interdite.

Au niveau de la plaque motrice, à la fin de l'excitation musculaire, on observe un **diffusion passive de l'acétylcholine hors de la fente** et aussi une **hydrolyse de l'acétylcholine** grâce à une **enzyme** : **l'acétylcholinestérase** (qu'on vient de voir plus haut).

« 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** (c'est bien ce qu'on a vu plus haut : le rôle des tubules T est la transmission de l'onde de dépolarisation).

De cette manière, l'onde de **dépolarisation** arrive au niveau des **triades**.

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**.

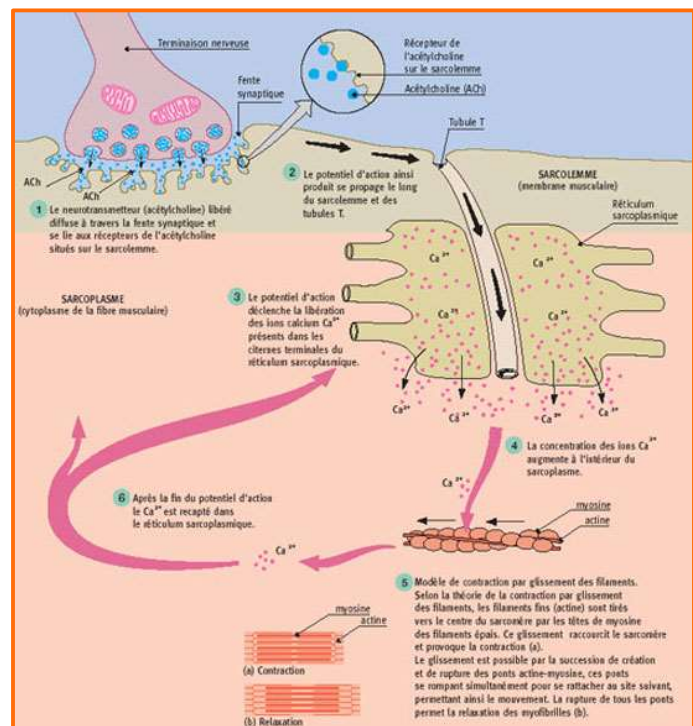
Lorsqu'il y a **arrêt de l'excitation** et de la **dépolarisation**, le **calcium** retourne à l'intérieur des citernes.

Schéma non tiré du cours donc pas de panique si vous trouvez des trucs écrits qui diffèrent, n'en prenez pas compte.

Sinon, ici on voit bien la diffusion en longueur du PA, puis en profondeur via les tubules T.

Ensuite, on ne voit pas es récepteurs au niveau des triades mais il faut s'imaginer qu'ils s'activent et qu'ils provoquent donc l'ouverture des canaux calciques des citernes.

Puis le calcium est libéré et provoque la contraction des myofibrilles (que nous verrons juste après) avant de retourner dans les citernes à la fin de la dépolarisation.



Anomalies de l'excitation musculaire :

On peut observer une **inhibition de la transmission neuromusculaire**, par **compétition avec l'acétylcholine**.

Par exemple : les **curares**, qui sont utilisés en médecine pour l'anesthésie, agissent de cette façon, les **gaz de combats** et **certaines pesticides** aussi.

De la même façon, une **pathologie inhibe la transmission neuromusculaire** : c'est 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**.

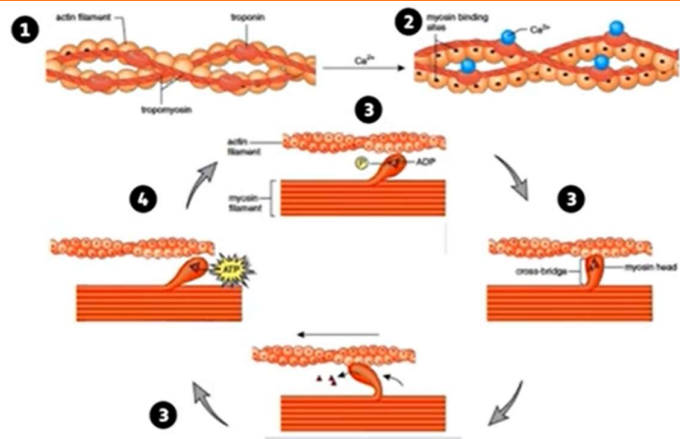
Par exemple : la **toxine botulique**, qui **inhibe l'activité de l'acétylcholinestérase**.

IV) 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. Etat Repos sarcomère
2. Sortie Ca^{2+}
 - Fixation Ca^{2+} sur troponine (TnC)
 - Rupture liaison Tnl – actine
 - Glissement tropomyosine
 - Exposition des sites de fixation à la myosine
3. Liaison tête myosine sur actine
 - Activation complexe myosine-ATPase
 - Libération d'énergie => rotation tête myosine
 - Traction sur le filament actine
4. Arrêt de la contraction
 - Fixation ATP
 - Retour à la position de repos



http://encyclopedia.lubopitko-bg.com/The_Role_of_Actin_and_Myosin.html

Collège des Histologistes, Embryologistes et Cytogénéticiens - CHEC

Lorsque le **sarcomère** est à l'état de **repos**, comme il est indiqué sur la figure 1, l'**ATPase de la myosine** est **inactive**.

A son arrivée le **calcium**, qui est sorti des citernes, **se fixe** sur l'**unité C** de la **troponine**, ce qui est symbolisé par le schéma numéro 2.

La **fixation du calcium sur la troponine** induit une **rupture de la liaison** entre la **sous-unité I** de la **troponine**, et l'**actine**.

Ceci provoque un **glissement de la tropomyosine** dans la double hélice d'**actine**. Ce **glissement de la tropomyosine** provoque l'**exposition des sites de fixation à la myosine**.

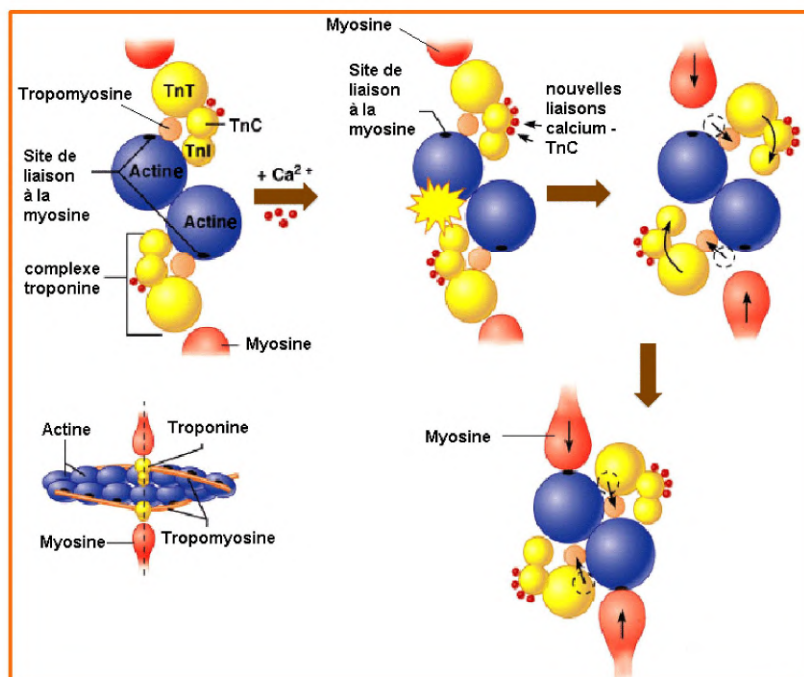
Ainsi, les **têtes de myosines** peuvent **se fixer** sur le **filament d'actine**.

Au niveau des **têtes de myosine**, 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 millimètre en direction** de la **strie M**.

Ceci provoque une **traction sur le filament d'actine**. C'est ce que l'on voit sur le schéma 3. Et donc un **raccourcissement du sarcomère**.

A la **fin de la contraction**, la **fixation de l'ATP** provoque une **rupture de la liaison actine-myosine** et un **retour à la position de repos**. C'est ce que l'on voit sur le schéma numéro 4.



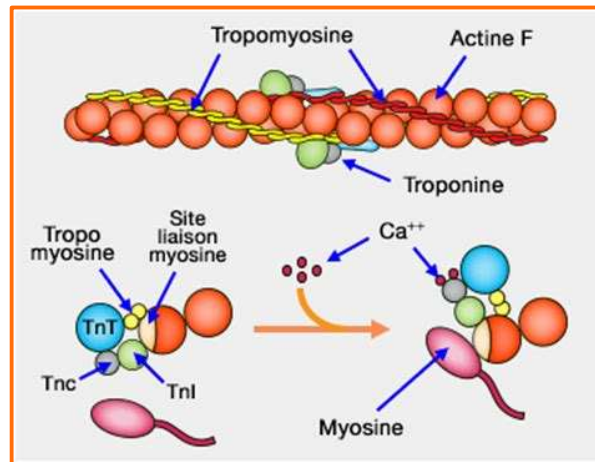
Ce schéma c'est essentiellement pour bien visualiser cette histoire de fixation du calcium sur la Troponine C et tout ce qui s'en suit.

Pour tout ce qui est déplacement des myofibrilles, regardez le schéma du cours qui est juste au-dessus.

Au cas où :

- ➡ TnT = Troponine T
- ➡ TnC = Troponine C
- ➡ TnI = Troponine I

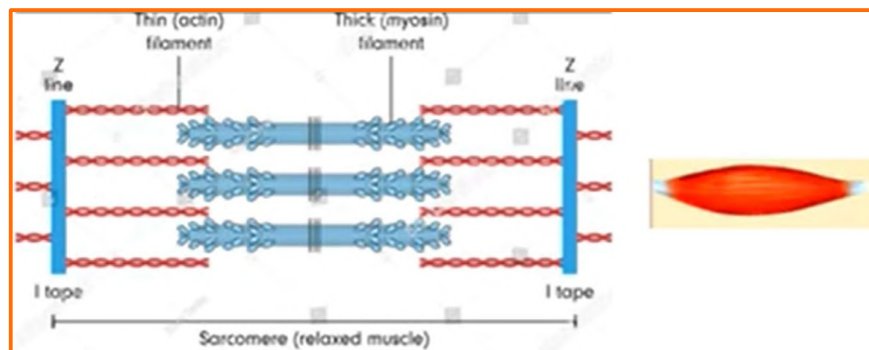
Autre schéma pour bien comprendre ce qu'il se passe lors de la fixation du calcium à la TnC.



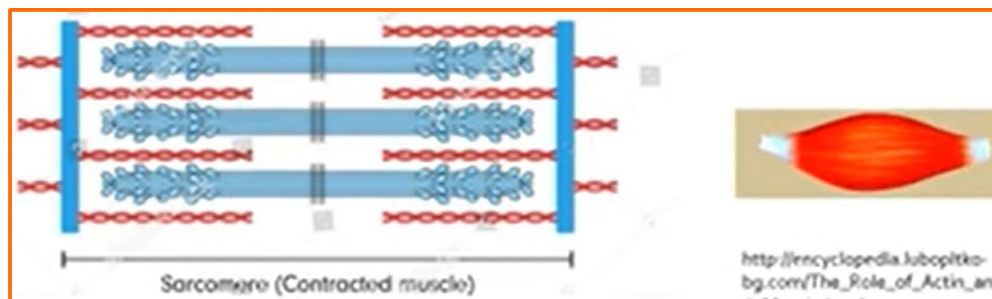
B) A l'échelle du sarcomère

Voyons maintenant comment s'effectue ce phénomène à l'échelle du sarcomère : le **déplacement des têtes de myosine**.

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



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 DEDIIIS

Tout d'abord dédié à toi pour être arrivé au bout de cette fiche. Effectivement c'est plus long que la version TTR mais à force vous verrez ce cours c'est que du kiffe, et si vous avez du mal avec je suis là pour vous le faire comprendre et vous le faire aimer !

Et puis comme le dit Oscar : plus c'est long plus c'est bon

Dédi à Oskour du coup, légende vivante du tutorat et qui m'a apporté énormément pendant mes deux P1. Je t'aime mec <3

Dédi à Carla, Lou-Anne et Elly que j'aime très fort et sans qui je n'aurais clairement pas pu aller jusqu'au bout, merci pour tout !

Dédi au serveur Brain in FIIRREEE, ce havre de paix et d'amour qui m'a sauvé la LAS 2 et dédié à Margaux aussi du coup <3

Dédi à Mina, qui m'a aussi beaucoup soutenu notamment en m'envoyant des photos de Mussmuss tous les jours une semaine avant le concours (elle aura aussi sa dédié bien sûr)

Dédi à tous les copains du tutorat, aux CT et comme toujours à mes formidables co-tuts ! Il faudrait une fiche trois fois plus longue que celle-ci pour vous dire à quel point vous êtes géniaux <3

Dédi à mes fillotes en qui je crois fort et qui vont tout déchirer !!!!

*Bref, amour sur tout le monde, plein de bisous histologiques et couraaaaage
bonnes révisions !!!!*