

MUSCLE - GENERALITES

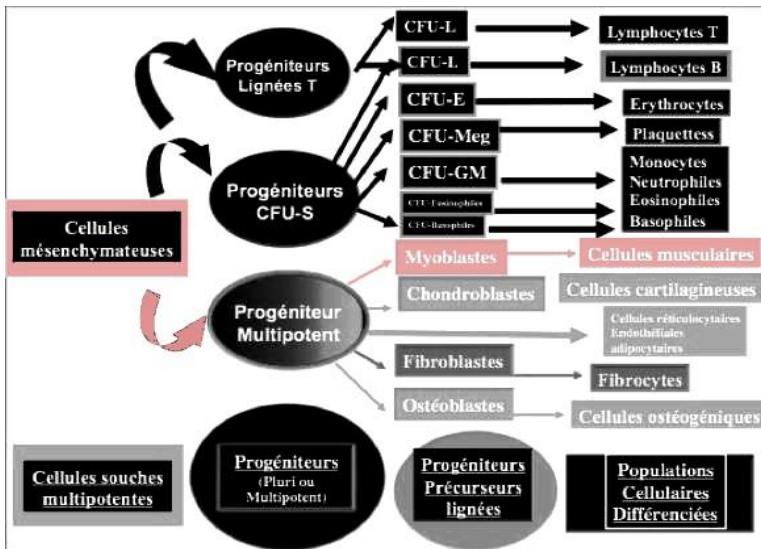
Les cellules musculaires sont **excitables** et **contractiles**, ainsi elles sont capables de développer des forces mécaniques. Ces cellules sont appelées les fibres musculaires.

Il existe 3 grands types de tissu musculaire :

TYPE	CONTRACTION	exemple
STRIÉ SQUELETTIQUE	Volontaire	<i>Tenir debout, se déplacer...</i>
LISSE	Involontaire = végétative	<i>Paroi des viscères creux (vessie, intestins...)</i>
STRIÉ CARDIAQUE	Involontaire Automatisme rythmique	

Il existe aussi des cellules contractiles qui ne sont pas agencées en tissu :

PÉRICYTES	autour des capillaires	contrôler le diamètre de leur lumière : pour contrôler le débit sanguin
MYOFIBROBLASTES		capacité de migrer dans le tissu (motilité) afin d'agir par contractions localisées
CELLULES MYOÉPITHÉLIALES	autour des systèmes glandulaires	se contractent et enserrant la glande, ce qui permet de chasser le produit de sécrétion (excréter)



ORIGINE EMBRYONNAIRE :

Une fibre musculaire dérive en majorité de la **cellule souche mésenchymateuse (CSM)** qui va d'abord donner un progéniteur multipotent qui va se différencier en précurseur (ici le myoblaste) puis en cellule différenciée (ici la cellule musculaire).

Le tissu musculaire dérive du **mésoderme**.

Exceptions : seuls les muscles de l'iris et certaines cellules myoépithéliales ont une origine différente

⇒ ils dérivent de l'**ectoblaste**.

CSM ⇒ progéniteur multipotent ⇒ myoblaste ⇒ cellule musculaire

! Il existe une dénomination particulière pour certains éléments des cellules musculaires :

- Membrane plasmique → **sarcolemme**
- Cytoplasme → **sarcoplasme**
- Réticulum endoplasmique → **réticulum sarcoplasmique**

TISSU MUSCULAIRE STRIE SQUELETTIQUE

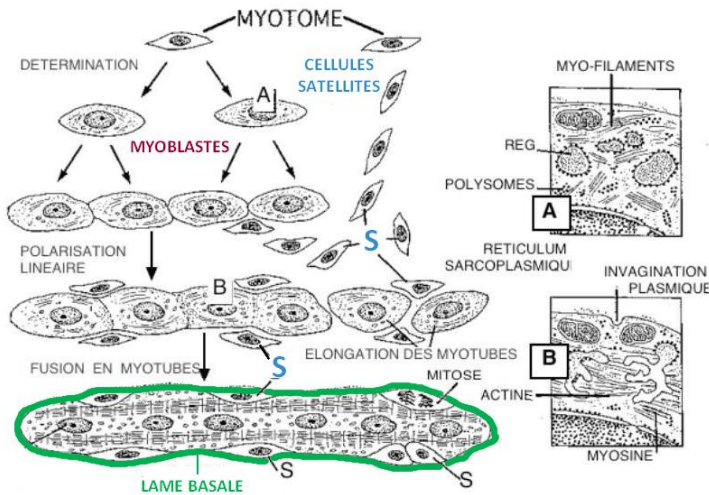


Il s'agit d'un tissu **excitable**, **contractile** et **élastique**.

Généralement, il s'insère sur le périoste (ensemble des couches de l'os) grâce aux tendons.

I. Formation d'une cellule musculaire striée squelettique

Le point de départ est la **CSM issue du myotome** (cf embryologie, permet la formation des muscles du tronc et des membres). Elle va donner :



- D'un côté des progéniteurs puis précurseurs (Myoblastes) qui vont s'agencer de manière linéaire, puis vont fusionner pour former un **myotube**.
- D'un autre côté, des progéniteurs non déterminés (cellules satellites) qui vont venir se mettre à l'**extérieur du myotube**, ils vont rester là en réserve.

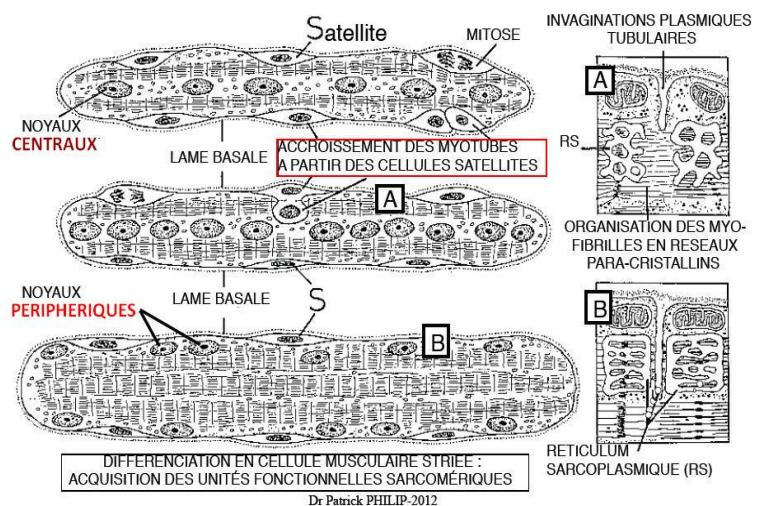
Une **lame basale** va venir englober le tout.

Les **cellules satellites vont se diviser en deux** (division asymétrique pour conserver le stock de cellules satellites) pour donner :

1 cellule satellite + **1 myoblaste** qui va fusionner avec le myotube pour l'agrandir.

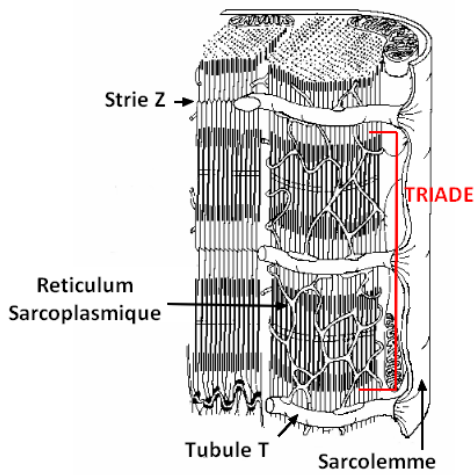
- Son noyau va rejoindre les autres **au centre** du myotube.

Ces noyaux synthétisent de l'**actine** et de la **myosine** (bâtonnets sur le schéma). La fibre musculaire va **atteindre une taille définitive** avec un nombre important d'actine et de myosine : cet amoncellement va **repousser les noyaux en périphérie de la fibre**.



Les noyaux seront à proximité des cellules satellites car elles sont toujours capables de se diviser en myoblaste pour reformer le myotube si besoin.

- **MYOBLASTE** : 1 noyau
 - **MYOTUBE** : plusieurs noyaux
 - **Cellules satellites** = progéniteurs (indifférenciées)
 - **Myoblastes** = précurseurs (différenciés)
- **CSM issue du myotome** : donne myoblastes + cellules satellites
 - **Myotube** : myoblastes fusionnés de façon linéaire
 - **Cellules satellites** : à l'extérieur du myotube
 - **Lame basale** : entoure le myotube + les cellules satellites



LES TRIADES :

Au début, chaque myoblaste possède un réticulum.

Lors de la fusion de deux myoblastes, il va y avoir une **invagination du sarcolemme** (appelée tubule T) qui va séparer les réticulum et former une **triade** : **Réticulum / Tubule T / Réticulum**.

→ Ces triades vont avoir un **rôle important dans la contraction de la fibre musculaire**.

II. Structure microscopique du TM Strié Squelettique

Le muscle squelettique possède un système mécanique à **2 composantes dominantes** :

COMPOSANTE CONTRACTILE	Composée de microfibrilles d'actine + de myosine Permet de raccourcir la fibre ⇒ la contraction • consomme de l'énergie
COMPOSANTE ÉLASTIQUE	Permet la relaxation des fibres après la contraction Apporte une force de rappel lors d'un étirement musculaire • ne consomme pas d'énergie

COMPOSANTE CONTRACTILE : on y retrouve 2 types de fibres :

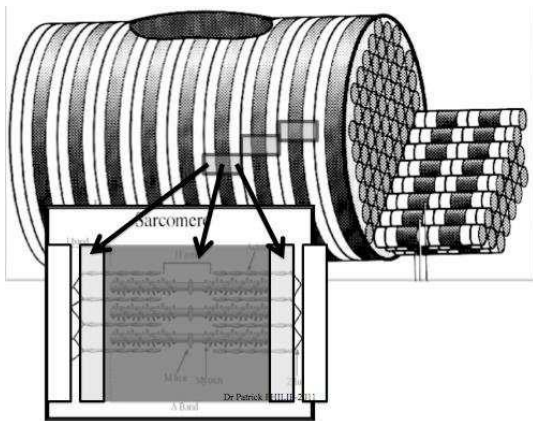
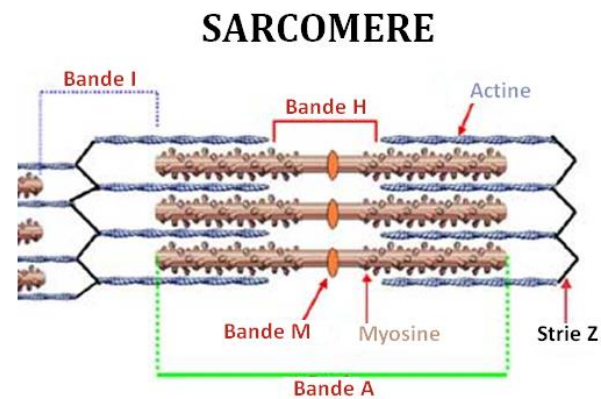
Fibres de MYOSINE (lourdes)	Fibres d'ACTINE (légères)
<p><i>Ressemble à un club de golf</i></p> <p>2 parties :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 méromyosine lourde (composée de S1 + S2) - 1 méromyosine légère (le manche du club) <p>MEROMYOSINE LOURDE :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sous unité S1 : se fixe sur l'actine (tête) • sous unité S2 : relie S1 à la MM légère <p>Filament épais de myosine</p>	<p>Au début, on a de l'actine monomérique (actine G) qui va se polymériser en actine F.</p> <p>2 brins d'actine F vont s'associer de manière hélicoïdale avec 2 filaments de tropomyosine pour former un filament d'actine.</p> <p style="text-align: center;">● Actine G — Tropomyosine ● Troponine</p> <p style="text-align: center;">Troponine ≠ Tropomyosine</p> <p>TROPONINE : c'est une molécule présente sur la tropomyosine. Elle va cacher les sites de contact actine-myosine pour empêcher une contraction permanente.</p> <p>Elle possède 3 sous unités :</p> <ul style="list-style-type: none"> • troponine C : fixe le Ca⁺⁺ • troponine T : se fixe à la tropomyosine • troponine I : inhibe les interactions actine-myosine

Différentes bandes et stries du sarcomère

Sarcomère : ensemble qui se situe entre 2 stries Z

Champ de Conheim : ensemble de plusieurs sarcomères

Strie Z	Permet de relier les filaments d'actine entre eux
Bande I	Zone autour de la strie Z, composée uniquement d'actine
Bande A	Zone composée de myosine sur toute la longueur
Bande H	Zone centrale, composée uniquement de MM légères (sans S1 = sans tête)
Bande M	Au centre de la bande M : microfibrilles reliant les filaments de myosine entre eux



On peut apercevoir au microscope optique une **striation transversale**. Ceci dû à la répétition des sarcomères qui sont positionnés de manière transversale à la fibre musculaire. Ceci est visible car il va y avoir une **alternance de zones claires (bande I) et de zones sombres (bande A)**.

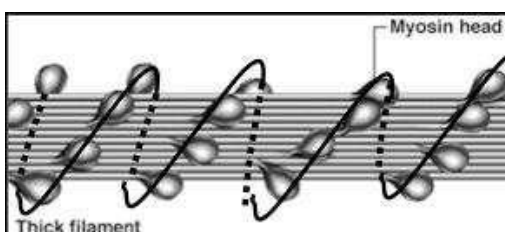
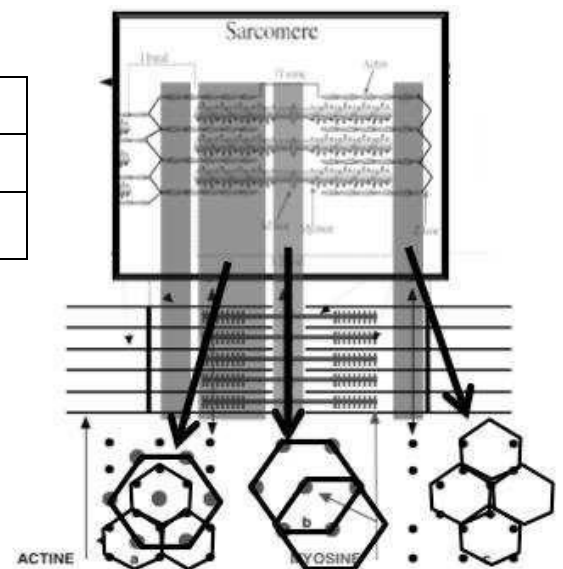
III. Structure 3D du sarcomère, structure cristalline

Sur une coupe transversale, on peut observer :

Bande I	Uniquement de l' actine	Petits hexagones
Bande H	Uniquement de la myosine	Grands hexagones
Bande A (sans la zone H)	Myosine + actine	Grands + petits hexagones

Chaque fil de **myosine** est entouré par : • 6 filaments de myosine
• 6 filaments d'actine

Chaque fil d'**actine** est entouré par : • 3 filaments d'actine
• 3 filaments de myosine



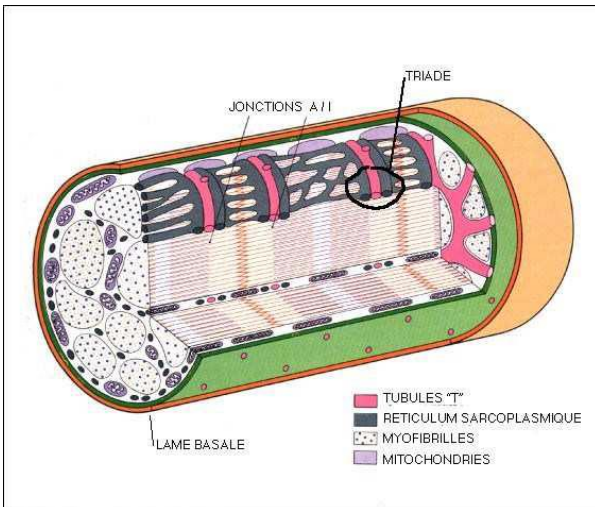
INFO : les têtes S1 sont agencées de manière **hélicoïdale (360°)**, ainsi **1 filament de myosine peut s'accrocher à 6 filaments d'actine** :

→ c'est une **structure cristalline** qui permet un coulisement parfait des fibres.

IV. La contraction

• **Onde de dépolarisation** : message du système nerveux ordonnant au muscle de se contracter

Pour permettre la contraction, il faut de l'**ATP** (= énergie). On va le retrouver à la **jonction de S1 et S2 de la myosine**. Il faut aussi libérer le site de liaison masqué par la troponine pour permettre le contact actine-myosine, sinon la contraction n'aura jamais lieu.

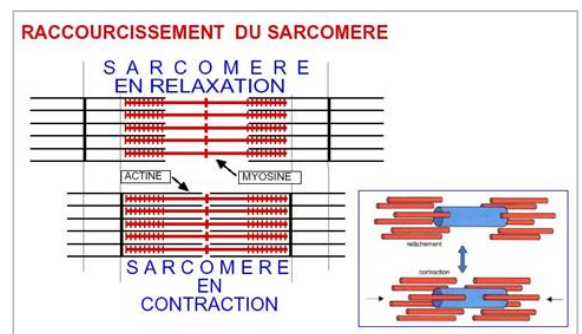


Les triades disposées **exactement à la jonction entre la bande A et la bande I**. Elles vont avoir un rôle majeur dans la propagation de l'onde de dépolarisation.

Via une fibre nerveuse, une **onde de dépolarisation va arriver au niveau des tubules T**, puis va passer les réticulums sarcoplasmiques de la fibre musculaire. Ces réticulums vont **libérer du Ca⁺⁺** dans le sarcoplasme. Ce Ca⁺⁺ va venir **se placer sur les récepteurs troponines** de l'actine (sous unité C). Cela permet un **changement de conformation** de la troponine I qui bascule pour **libérer les sites de fixation actine-myosine** et donc permettre la **contraction**.

Lors de la contraction les **fibres de myosine vont se rapprocher le plus possible de la strie Z**, ainsi le sarcomère va se **raccourcir** et la bande I va presque disparaître.

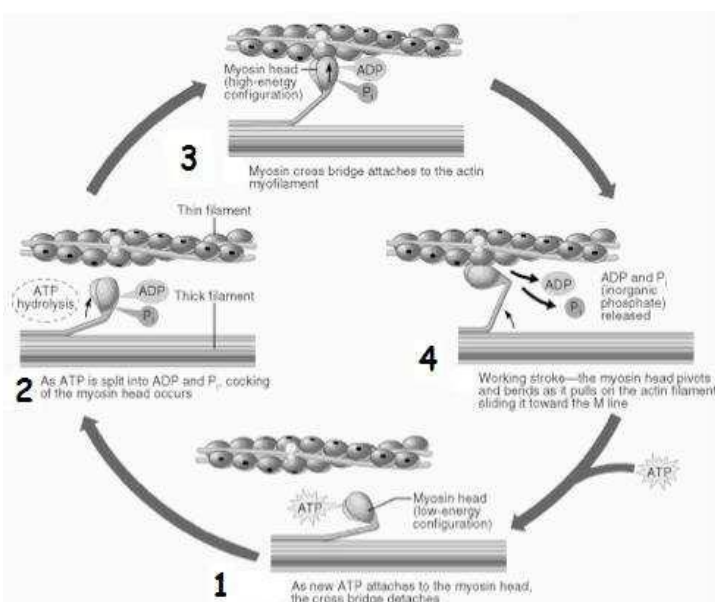
Donc la cellule se rétrécit lors de la contraction, et la membrane (= sarcolemme) se déforme.



! Il faut une **quantité importante de Ca⁺⁺** pour permettre la contraction, il y a un seuil à franchir

Onde de dépolarisation → tubule T → réticulum sarcoplasmique → libération Ca⁺⁺ dans sarcoplasme → Ca⁺⁺ sur troponine → changement conformation troponine → libération site de fixation → contraction

⌘ Comment la myosine « avance »-t-elle sur l'actine ?



- 1) Sur la tête S1 de la myosine se fixe une molécule d'**ATP**.
- 2) L'ATP va s'**hydrolyser** (ATP → ADP + Pi), permettant à la tête de **myosine de se fixer sur l'actine** (ce qu'elle ne pouvait pas faire avant) et de se charger en énergie.
- 3) La **myosine va se plier pour « avancer » sur l'actine**. Au même moment, les produits de l'hydrolyse sont relâchés.
- 4) Phase de **relaxation**, puis une nouvelle molécule d'ATP vient se fixer sur S1. *Le cycle recommence.*

DIFFERENTES FIBRES MUSCULAIRES SQUELETTIQUES

Aérobie : fonctionne en présence d'oxygène

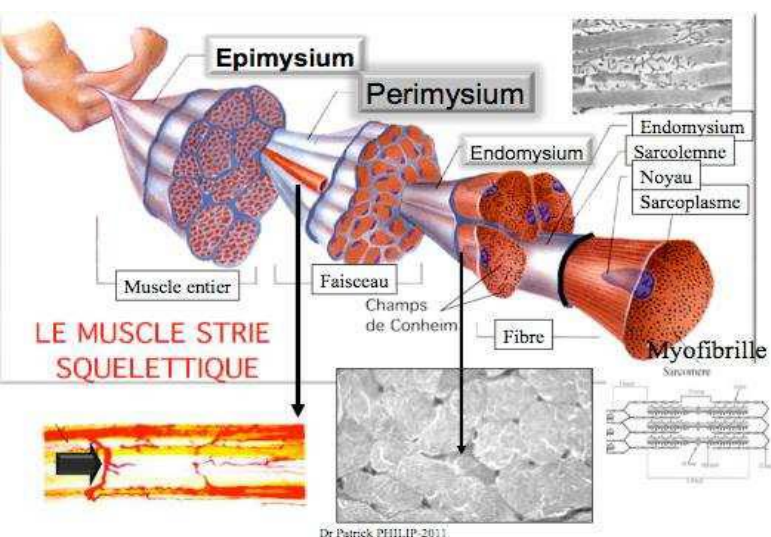
Anaérobie : fonctionne en absence d'oxygène

<p>Fibres ROUGES (<i>type 1</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • les plus volumineuses • production ATP par voie AEROBIE • contraction lente et prolongée • <u>moins fatigables</u>
<p>Fibres BLANCHES (<i>types 2</i>)</p> <p>⇒ fibres du réflexe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • production ATP par voie ANAEROBIE • contraction rapide et brève • <u>vite fatigables</u>

Avec l'âge, il y a une **diminution** considérable **des fibres de type 2** : c'est pour cela que les personnes âgées réagissent moins rapidement.

V. L'emballage du muscle

Dans muscle strié squelettique, les **noyaux sont périphériques**. ++ (≠ TM strié cardiaque)



De droite à gauche / du plus profond au plus superficiel :

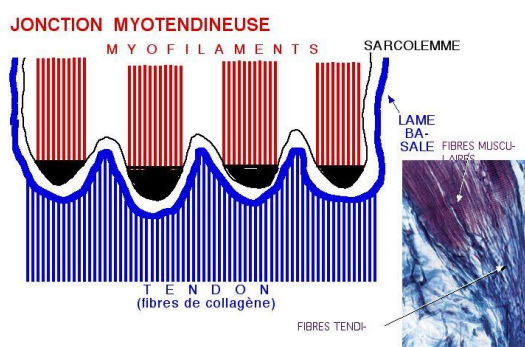
- Un sarcomère : ensemble d'actine et de myosine
- Champ de Conheim : ensemble de sarcomère
- Fibre musculaire : plusieurs champs de Conheim
- Faisceau musculaire : plusieurs fibres musculaires
- Muscle : ensemble faisceaux musculaires

Sarcomère < Fibre < Faisceau < Muscle

Endomysium < Périmysium < Epimysium

- Endomysium : membrane basale entourant la **fibre musculaire** + les cellules satellites
- Périmysium : membrane entourant chaque **faisceau musculaire**
→ *passage des nerfs + vaisseaux pour le muscle +++*
- Epimysium : membrane entourant le **muscle**

VI. La jonction myotendineuse



Il faut que cette jonction soit **très résistante**, car de nombreuses contraintes de tension vont s'y exercer. Pour cela, elle possède une structure particulière : il y a des invaginations pour augmenter la surface d'adhésion, et donc **augmenter la résistance**.

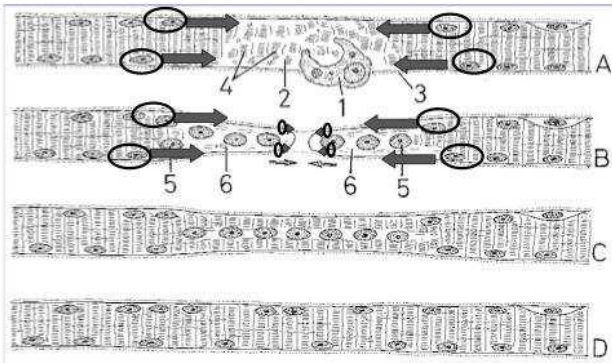
VII. La régénération des cellules musculaires

La **régénération musculaire ne peut avoir lieu que si la membrane entourant la fibre musculaire** (= l'endomysium) **est intacte**. +++ (nous n'aborderons pas le cas contraire)

Macrophage : cellule capable de se déplacer dans les tissus, pour phagocyter (manger) les débris cellulaires et pathogènes.

Il existe 2 modes de régénérations :

Régénération continue



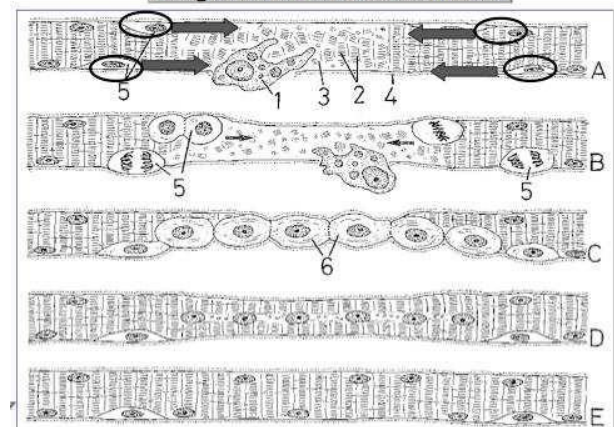
- **REGENERATION CONTINUE** : lors de **légères lésions**

Les macrophages pénètrent dans la zone lésée de la fibre et phagocytent les débris nécrotiques. Ensuite, les noyaux des fibres se déplacent les uns vers les autres. Ils se disposent en ligne (aspect transitoire de myotube). Le tout fusionne permettant de reconstituer une fibre intacte.

- **REGENERATION DISCONTINUE** : lors de **lésions plus importantes**, implique les cellules satellites car il n'y a plus assez de myoblastes

Les macrophages nettoient les débris provenant de la fibre endommagée. Les **cellules satellites commencent ensuite à se diviser**, puis à progresser les unes vers les autres pour s'aligner et fusionner pour former un myotube. Ces cellules retracent donc l'histogénèse complète de la fibre.

Régénération discontinue



TISSU MUSCULAIRE LISSE



Je vais utiliser l'abréviation « TMSS » : Tissue Musculaire Strié Squelettique

Il dérive du **mésoderme**.

Les cellules musculaires lisses ont une contraction **LENTE et SOUTENUE**, ou **RYTHMIQUE**, qui n'est pas sous le contrôle de la volonté (fonction végétative).

On le retrouve dans la paroi des vaisseaux sanguins, des canaux excréteurs des glandes, mais surtout au niveau des viscères creux (intestins, vessie, utérus...).

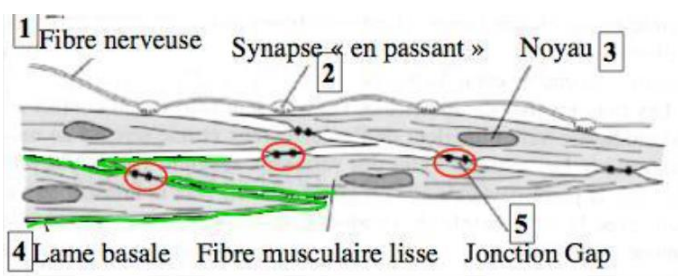
I. COMPOSITION DU TM LISSE

Le muscle lisse est un ensemble de cellules fusiformes (= en forme de fuseau). Elles possèdent un **unique noyau CENTRAL** chacune, de forme allongé ou elliptique.

→ **≠ TMSS** : une cellule multi-nucléée avec des noyaux périphériques.

La Lamé Basale ne va pas entourer chaque fibre musculaire lisse entièrement (≠ TMSS). ❌ **Pourquoi ?**

Les fibres musculaires lisses sont **reliées entre elles par des gap junctions = nexus** (jonctions inter-cellulaires), pour qu'elles puissent **communiquer**. Ainsi la membrane basale ne pourra pas faire le tour complet de la cellule car elle sera bloquée par les gap junctions.



INNERVATION

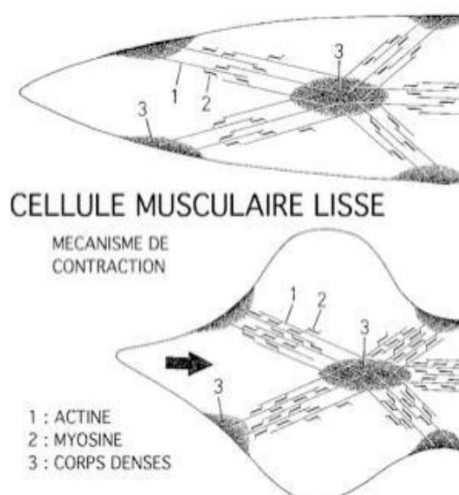
Contrairement au TMSS, **un seul nerf peut innover plusieurs cellules** en « rebondissant » sur la suivante : on parle de **synapses « en passant »**. Les cellules musculaires les plus profondes vont recevoir l'onde de dépolarisation grâce **aux gap junction**. En effet les cellules ont leur cytoplasme qui communique, donc des informations peuvent se propager de cellule en cellule.

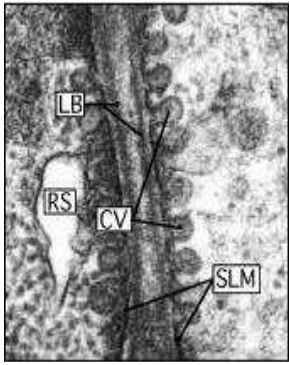


→ **Une excitation périphérique peut donc se propager à l'intérieur à l'aide des canaux ioniques intra-cytoplasmique.**

Ce muscle est qualifié de « lisse » car on n'y retrouve **pas de sarcomères**. Cependant, on retrouve quand même de l'actine et de la myosine, mais beaucoup moins que dans le TMSS : on parle d'une **organisation filamentaire**.

Ces filaments vont s'entrecroiser et s'accrocher sur les **corps denses** sur la face interne du sarcolemme, et dans le sarcoplasme. Lors de la contraction de ces filaments, la cellule va se raccourcir **dans tous les sens**, et le noyau va se replier sur lui-même, prenant la **forme d'un tire-bouchon** (cf plus loin).





Il n'existe **pas de Tubule T** dans ce tissu musculaire, mais il y a un équivalent : **les caveolae**. Leur rôle est le même : accueillir l'onde de dépolarisation et contrôler l'entrée de Ca^{++} dans le sarcoplasme. Il va permettre la contraction des fibres d'actine et de myosine, et ainsi que la contraction de la cellule.

- ⇒ Il n'y a **pas de triade** (2 Réticulums + 1 tubule T).
- ⇒ Mais on a une **invagination (caveolae) + réticulum**.

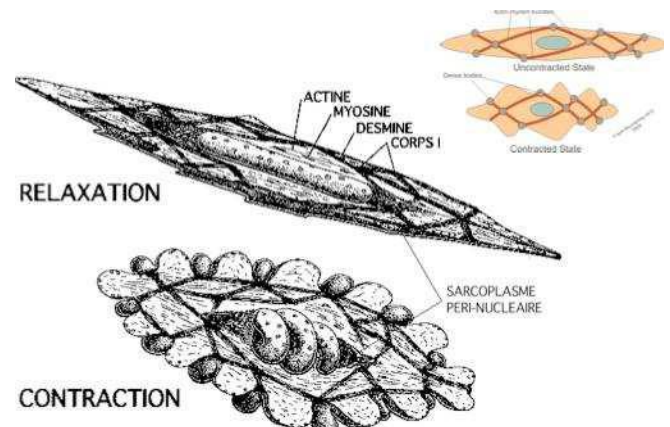
II. CONTRACTION

- Lente et soutenue
- Rythmique
- Involontaire

Les cellules étant en contact, on a un **ensemble inter-dépendant**.

Une onde de dépolarisation va arriver dans les caveolae, va atteindre les sarcoplasmes des premières cellules, permettant de relarguer du Ca^{++} . Lorsqu'une cellule va se contracter il va y avoir un **effet « cascade » grâce aux gap junctions**, et toutes les autres vont se contracter à leur tour.

Avec ce mécanisme, les **forces sont moins importantes**, mais la **contraction est beaucoup plus soutenue**. Comme il n'y a pas de structure sarcomérique, il n'y a pas de limite physique donc **le raccourcissement est plus important** que dans le TMSS.

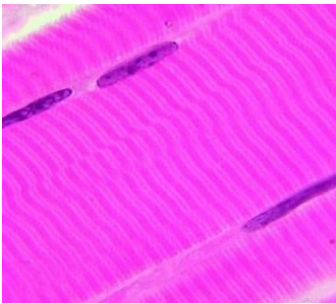
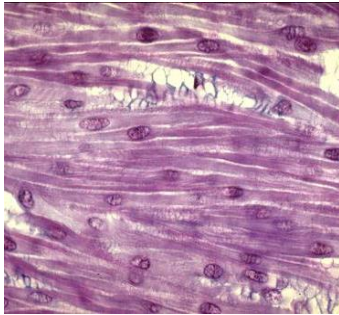
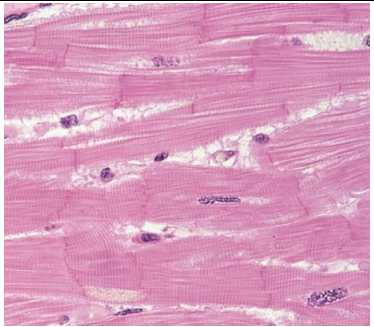


PETIT RECAP'

- Noyau **central** unique
- Organisation **filamentaire**, non sarcomérique
- La membrane basale ne fait **pas un tour complet** de la cellule
- Filaments actine + myosine sur la face interne de la membrane, reliés par des **Corps Denses**
- Cellules inter-connectées par des **gap junctions**
- Pas de triade, mais des **caveolae**
- **Une fibre nerveuse pour plusieurs cellules**
- **Contraction en cascade** par le passage du Ca^{++} via les nexus
- Déformabilité non unidirectionnelle, elle se fait **sur plusieurs axes** simultanément
- **Raccourcissement plus important**
- Contraction moins forte, mais plus **soutenue**

Voici un fat tableau récapitulatif des 3 muscles avec leurs points essentiels : **ENJOY !** 😊

NB : le professeur adore les photos dans les QCMs... après je dis ça je dis rien !

	TM Squelettique	TM Lisse	TM Cardiaque
Utilisation	Tenir debout, marcher...	Viscères creux	Coeur
Origine	Mésoderme	Mésoderme	Mésoderme
Type	Strié ➤ Sarcomères	Lisse ➤ Ø sarcomères	Strié ➤ Sarcomères
Noyau	Plusieurs Périphériques	Unique Central	Unique Central
Innervation	1 nerf pour 1 cellule	1 nerfs pour plusieurs ç	-
Contraction	Volontaire	Involontaire	Involontaire
Type d'invagination	Triade	Caveolae	Diade
Arrivée de Ca⁺⁺	Jonction stires A et I	Sarcoplasme	Strie Z
Spécificité	Régénération si membrane basale intacte	-	<ul style="list-style-type: none"> • Tissu Cardio Necteur • Ø régénération • stries scalariformes • cellules plus courtes
Autres	<ul style="list-style-type: none"> • <u>pas de Gap Junctions</u> • Actine + Myosine 	<ul style="list-style-type: none"> • Gap Junctions • Actine + Myosine 	<ul style="list-style-type: none"> • Gap Junctions • Actine Myosine
In real life...			 <i>(si si il est strié)</i>