



# Le tissu musculaire

## Généralités

Le tissu musculaire est spécialisé dans la reproduction d'un travail mécanique, la contraction et de répondre à un stimulus par un raccourcissement. Il est caractérisé par :

1. **L'excitabilité** : les cellules musculaires sont capables de percevoir un stimulus et de répondre.
2. **La conductibilité** : possibilité de transmettre le stimulus.
3. **La contractilité** : pouvant se contracter grâce à des protéines appelées **actine** et **myosine** (**myofilaments**). Les contractions de ce muscle sont brèves, rapides et volontaires.

Sur la base de critères histologiques et physiologiques, on subdivise les tissus musculaires en trois groupes : le tissu musculaire strié squelettique, le tissu musculaire lisse et cardiaque. La musculature striée (squelettique et cardiaque) génère des mouvements rapides, alors que le muscle lisse n'exprime que des mouvements lents.

### **Le système musculaire permet :**

- Le mouvement de toute
- Le maintien de la posture
- La stabilisation des articulations
- La production de chaleur

## 1- Le tissu musculaire lisse

Le tissu musculaire lisse est très répandu dans l'organisme, à contraction involontaire, il est sous le contrôle du système nerveux végétatif sympathique. Il participe ainsi à la régulation des grandes fonctions physiologiques (digestive, respiratoire est circulatoire).

### **1-1 Structure de la cellule musculaire lisse**

La cellule musculaire lisse (léiomyocyte) est fusiforme avec un corps cellulaire renflé et deux extrémités effilées. Sa longueur varie selon la localisation (15  $\mu\text{m}$  au niveau des petits vaisseaux sanguins) à (500  $\mu\text{m}$  au niveau de l'utérus). Le noyau allongé, central, renferme un à deux nucléoles. Le cytoplasme= (le sarcoplasme) est homogène contient les organites groupés dans les deux cônes du noyau (centrioles, appareil de Golgi, mitochondries réticulum sarcoplasmique granulaire, ribosomes libres et des grains de glycogène. La partie restante est entièrement occupée par du matériel **myofibrillaire dépourvu de striation transversale**, orienté parallèlement au grand axe de la cellule. La cellule est limitée par une membrane plasmique appelée sarcolemme qui recouvre sur l'ensemble de la surface cellulaire, de nombreuses petites invaginations, Il n'existe pas de tubule et ne possèdent pas de jonctions neuromusculaires.

## 1-2. Le système myofilamentaire

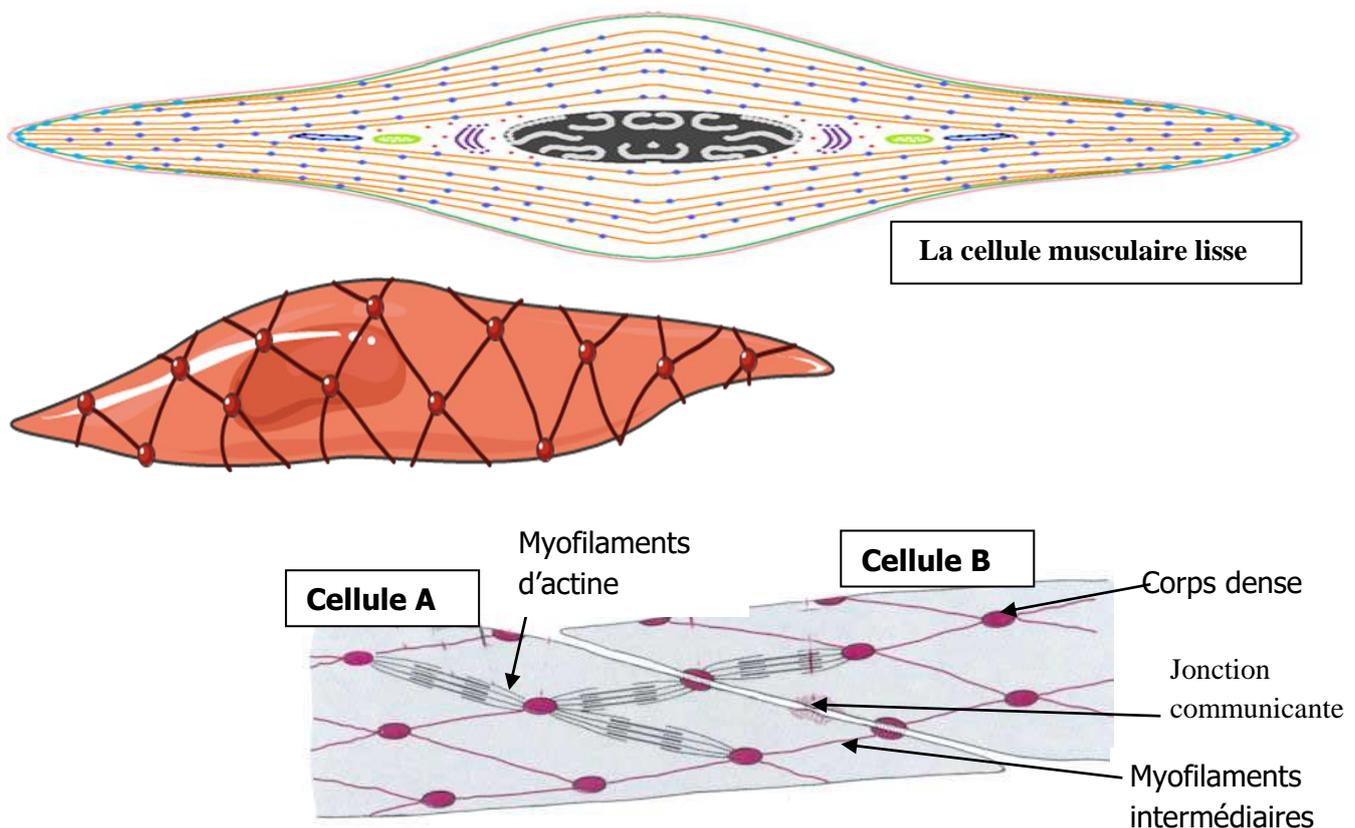
Il est constitué par un réseau de myofibrilles orientées selon le sens de la longueur de la cellule et qui ne s'agencent pas selon une organisation sarcomérique.

Le matériel protéique contractile est de deux types :

- **Les myofilaments fins d'actine** : (50-80 Å de diamètre) bien visible en microscope électronique. L'actine est 15 fois plus abondante que la myosine. Sont dépourvus de troponine C.
- **Les myofilaments épais de myosine** : sont peu abondants et sont disposés entre les faisceaux d'actine dans une proportion d'un myofilament épais pour 15 myofilaments fins. Ils n'entrent pas en contact avec les corps denses. Ils ont de (135-175 Å de diamètre) et 1.5 µm de long.

Il existe un troisième type les filaments **intermédiaires (desmine et vimentine)**, 100 Å n'interviennent pas dans la contraction mais réalise une sorte de squelette pour la cellule.

Les filaments d'actines sont maintenus en place par deux structures : les **ancrages** (en contact avec la **membrane plasmique**) et les **corps denses** (situés dans le **sarcoplasme** sur lesquels se fixent les myofilaments d'actine). Les **corps denses** sont considérés comme équivalent des **stries Z** des muscles striés.



## 1-3 Organisation et distribution des cellules musculaires lisses (léiomyocytes) dans l'organisme :

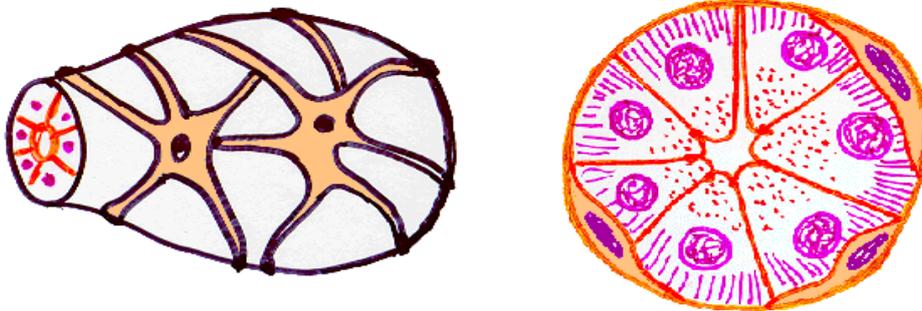
- A. **Cas des cellules isolées dans du tissu conjonctif** : les cellules peuvent être dispersées dans des tissus conjonctifs plus ou moins lâches. On trouve ce type de cellules :
- Dans de la capsule ou le stroma de certains organes pleins tels que **la prostate**
  - Dans le tissu sous cutané tels que le scrotum et le **mamelon du sein**.
  - Dans le chorion des **villosités intestinales**.

**B.** Le plus souvent elles sont **groupées pour former des tuniques** : c'est le cas le plus fréquent tels que vaisseaux sanguins, vaisseaux lymphatiques, tube digestif, voies respiratoires, urinaires et génitales. Elles forment **la plus grosse partie de la paroi d'un organe creux** : l'utérus constituant le myomètre.

**C.** Soit **groupées pour former un véritable petit muscle**, observés à la base des poils (les muscles arrecteurs).

**1-4 Les cellules musculaires atypiques** : il existe d'autres cellules contractiles diffuses dans divers tissus :

- **Péricytes** : entourent les capillaires, contrôlent et gèrent le débit vasculaire.
- **Myofibroblastes** : possèdent à la fois des caractères de léiomyocytes (actine, desmine, corps denses, contractilité) et de fibroblastes. Jouent un rôle important dans la plasticité et la migration cellulaire dans le tissu conjonctif.
- **Les cellules myoépithéliales** : d'origine épiblastiques, facilitent l'évacuation de la sécrétion glandulaire (Exp : glande mammaire, glande salivaire).

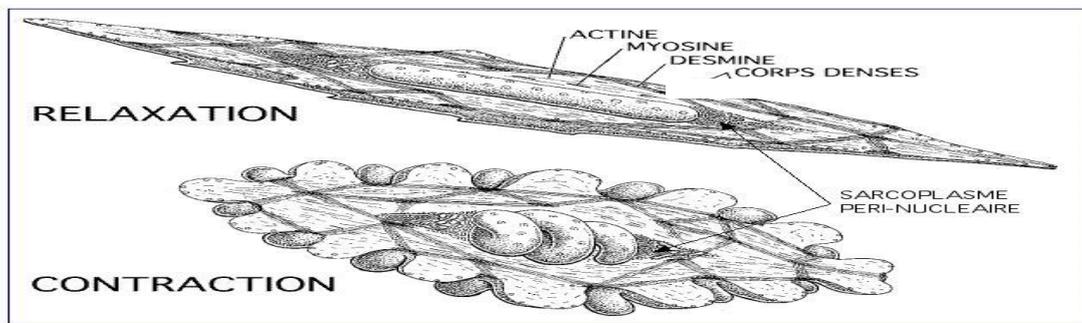


**Cellules myoépithéliales**

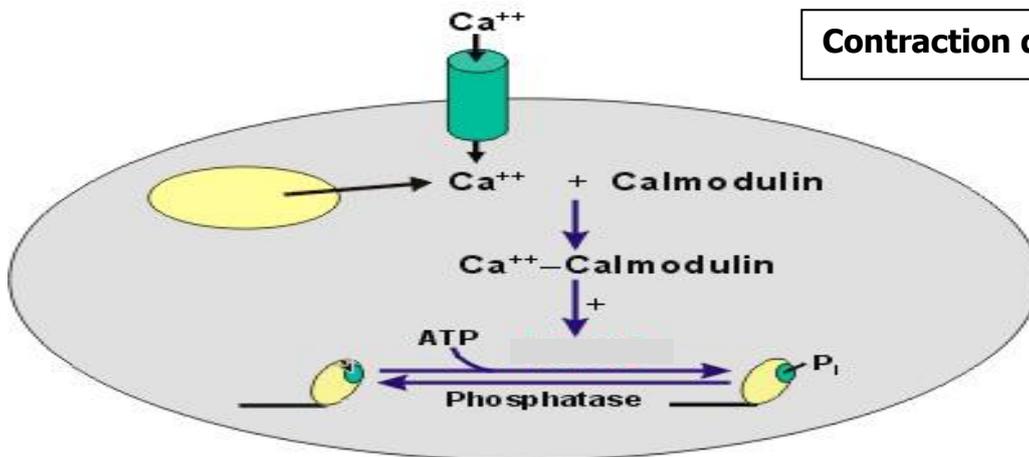
### 1-5 La contraction des cellules musculaires lisses

La contraction des cellules musculaires lisses peut être déclenchée :

- Par un **influx nerveux** (génération d'un potentiel d'action) ou par une **stimulation hormonale**
- Le premier événement est l'afflux de calcium dans le cytoplasme (le  $Ca^{++}$  provient soit du réticulum endoplasmique lisse (REL), soit du milieu extra-cellulaire).
- Le  $Ca^{++}$  est le médiateur de la contraction, se concentre dans les cavéoles (sont par leur rôle assimilées aux tubules T des cellules musculaires striées).
- Le  $Ca^{++}$  se lie à la calmoduline et le complexe formé (calcium-calmoduline), active une kinase qui assure la phosphorylation de myosine.
- L'interaction actine-myosine est identique au muscle strié.
- Les contractions sont prolongées ou lentes (Estomac). La contraction musculaire lisse utilise moins d'ATP.
- Au cours de la grossesse, la progestérone (d'origine placentaire) maintient le myomètre au repos
- L'ocytocine (d'origine hypothalamique) déclenche les contractions utérines de l'accouchement.



### Contraction du muscle lisse



## 2- Le tissu musculaire strié squelettique

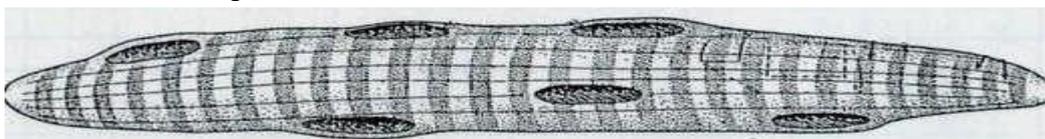
### 2-1 La structure de la cellule musculaire striée (Rhabdomyocyte)

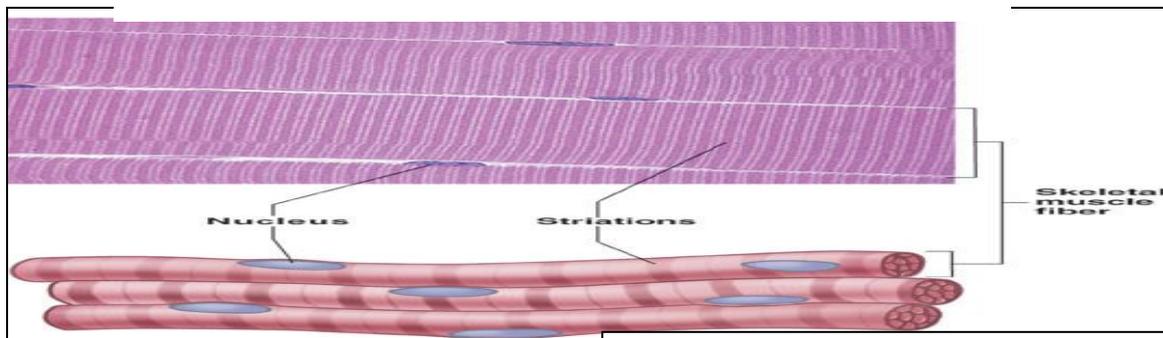
Les muscles striés squelettiques sont responsables de la mobilité des différentes portions du corps. Ce sont des muscles volontaires contrôlés par le SN central et qui répondent à une stimulation par un raccourcissement responsable d'un mouvement.

La fibre musculaire striée squelettique est cylindrique dont la longueur varie de 20 à 130  $\mu\text{m}$  pour les muscles les plus courts, à quelques dizaines de cm (de 10 à 30 cm). Elles contiennent plusieurs noyaux, on peut dénombrer jusqu'à plusieurs milliers de noyaux dans une seule fibre. Ces derniers sont allongés dans le sens de la fibre et situés à la périphérie du sarcoplasme. Présentent une striation transversale caractéristique. Celle-ci résulte d'un agencement spécifique de myofilaments qui forment des myofibrilles.

Le sarcoplasme contient de nombreuses formations : app. de Golgi, mitochondrie, enclaves lipidiques et glycogéniques, de l'ATP, phosphagène, de nombreux enzymes et de la myoglobine (c'est une protéine, contenant du fer et de la même façon que l'hémoglobine, elle capte l' $\text{O}_2$  et le  $\text{CO}_2$ ).

Il possède aussi la particularité de renfermer deux systèmes tout à fait spéciaux : **le réticulum sarcoplasmique lisse et le système T** (qui est un système transversal de canalicules étroits formés par des invaginations tubulaires de la membrane plasmique de la fibre). Chaque fibre est limitée à la périphérie par une membrane plasmique d'environ 7 nanomètres doublée extérieurement par la lame basale de 30 à 40 nm, l'ensemble correspond au sarcolemme.

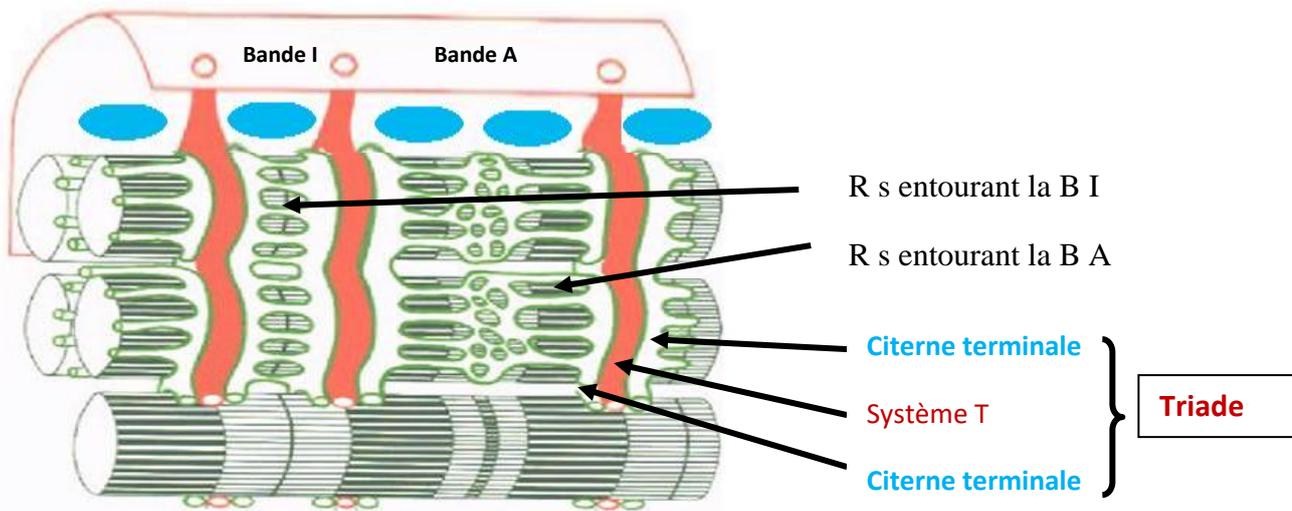




Structure de la fibre musculaire striée squelettique

## Le Réticulum Sarcoplasmique Lisse

- Réseau de **tubules longitudinaux** entourant les myofibrilles
- Il se termine par des **citernes terminales**
- **2** citernes terminales + **1** système T constituent une **triade**.
- Il y'a **2 triades** / sarcomère.



**2-2 La structures des myofibrilles :** Elles parcourent toute la longueur de la fibre musculaire striée parallèlement entre elles. Elles constituent 2/3 de la masse du cytoplasme. Leur structure est hétérogène avec une alternance de **bandes sombres A** (anisotropes en lumière polarisée) et de **bandes claires I** (isotropes)

-**La bande sombre A :** est une structure de 1.5  $\mu\text{m}$  de long. Dans sa partie centrale, on trouve une zone plus claire appelée strié de Hansen ou bande H qui est divisée en deux partie égales par une ligne sombre : la ligne M.

-**La bande claire I :** sa longueur est de 0.8 $\mu\text{m}$ . Elle est divisée en deux par la strie Z.

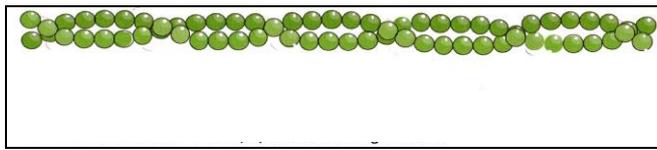
On appelle sarcomère ou case musculaire de Krause, un segment de myofibrille compris entre deux stries Z, un sarcomère comprend : un disque A, 2 demi de disque I, une strie H et une strie M. Un sarcomère mesure 2.5 micromètres de long au repos.

## 2-3 La structure moléculaire des protéines contractiles au microscope électronique :

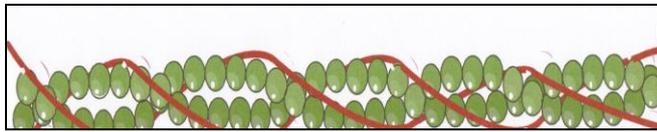
Le sarcomère est constitué de :

- I. Les myofilaments fins d'actine** sont les constituants majoritaires de la bande I, de 50-70  $\text{Å}$  de diamètre. Ils sont constitués de trois éléments :
  - **des molécules d'actine** (protéines globulaires)
  - **des molécules de tropomyosine** qui s'enroule autour des molécules d'actine
  - **des molécules de troponine** qui s'insèrent de manière périodique sur les molécules d'actine et sont constituées de 3 sous-unités :

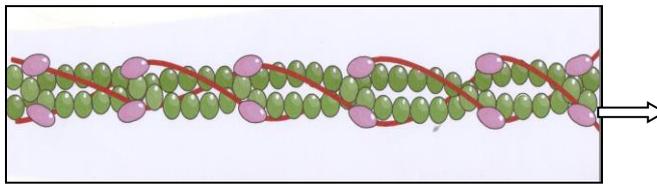
- 1- La troponine **I (inhibitrice)** qui masque au repos le site d'interaction de l'actine avec la myosine
- 2- La troponine **C** qui est capable de fixer le **calcium**
- 3- La troponine **T** qui se lie à la **tropomyosine**



- L'actine est une protéine de forme globulaire

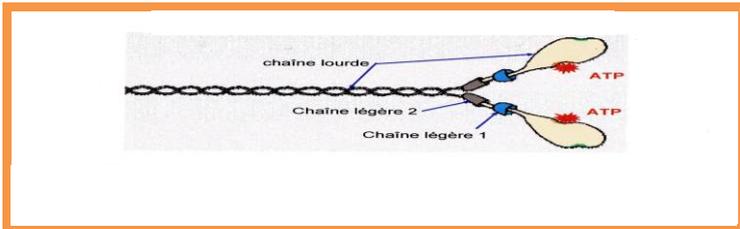


- Les filaments fins d'actine sont formés par l'association de deux protéines: La **tropomyosine** et la **troponine**

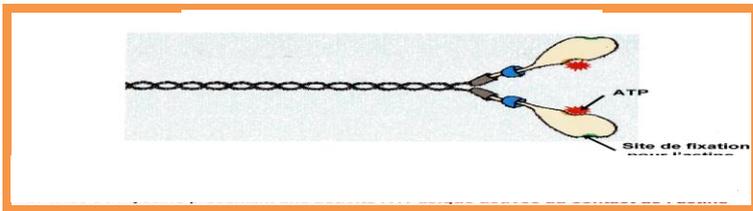


- La troponine est un complexe de trois sous unités peptidiques (C, I, T)

**II. Les myofilaments épais de myosine de 100A° de diamètre**



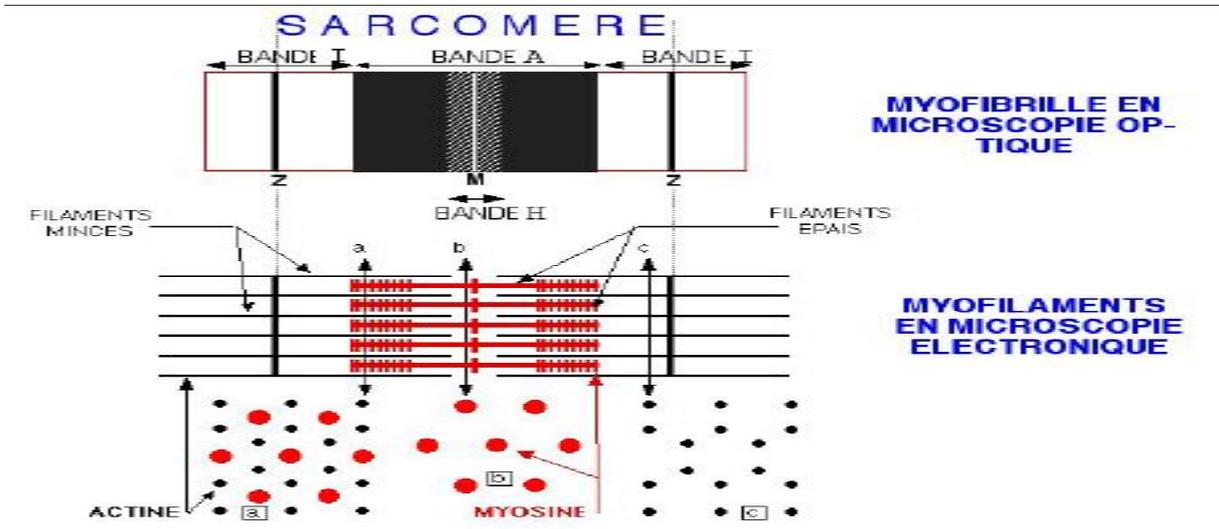
- La molécule de myosine est constituée de 2 chaînes lourdes identiques et de 2 chaînes légères



- Les têtes de myosines possèdent deux sites de fixation: L'un pour l'ATP, l'autre pour l'actine

**- La répartition des myofilaments dans le sarcomère :**

La bande A correspond au chevauchement des myofilaments épais de myosine et des myofilaments fins d'actine. La strie H correspond aux filaments épais seuls et la bande I aux myofilaments fins seuls

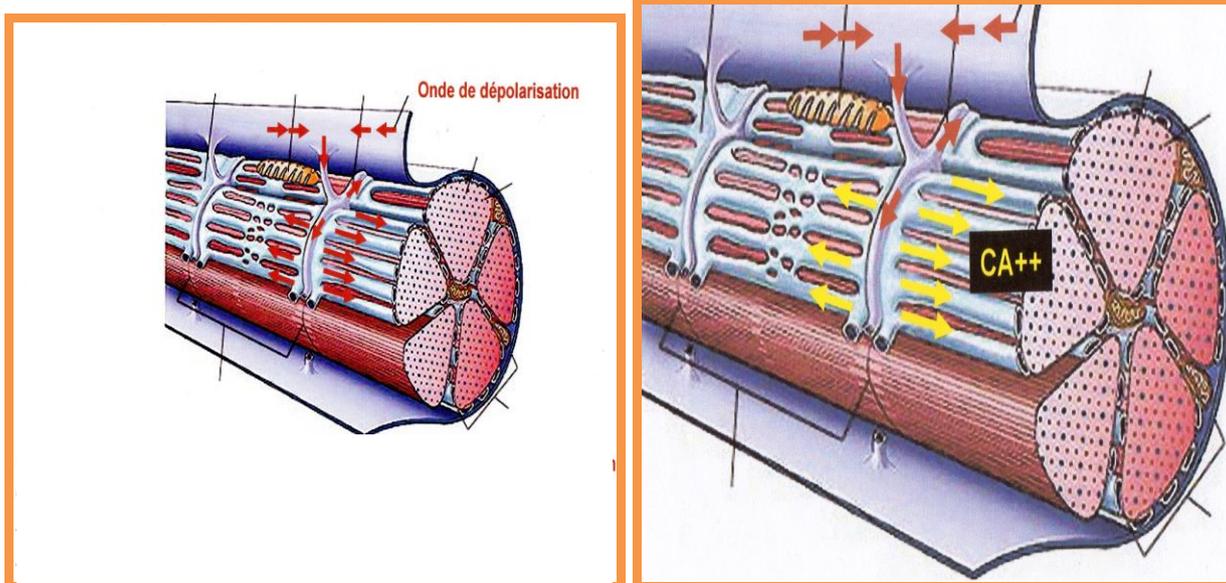


### - Mécanisme de la contraction

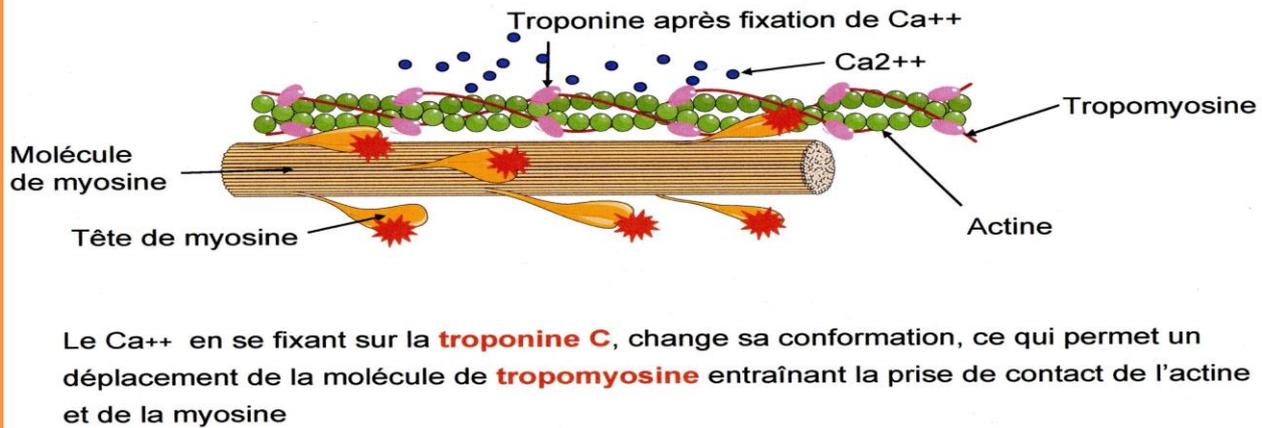
La longueur du sarcomère varie selon l'état du muscle (contracté ou étiré), ce qui détermine des modifications de la configuration de certaines bandes. Au cours de la contraction le sarcomère se raccourcit de 20-50% par rapport à sa longueur initiale.

Dès que l'influx nerveux arrive à la plaque motrice, la membrane plasmique (le sarcolemme) se dépolymérise. La propagation de l'onde de dépolymérisation se poursuit dans le système T puis elle est transférée aux citernes terminales du réticulum sarcoplasmique. Ces derniers libèrent le calcium en direction de chaque sarcomère. Par la suite l'actine et la myosine se lient et glissent l'un par rapport à l'autre à l'intérieur de la bande A. La réaccumulation des ions de calcium dans les citernes indique l'arrêt de l'hydrolyse de l'ATP et donc le relâchement (relaxation) du muscle. Au microscope photonique le mécanisme de la contraction musculaire se manifeste par une diminution de la taille des sarcomères, cependant la longueur de la bande A reste inchangée, alors que celle des bandes I et H se réduisent progressivement.

Lorsque le muscle s'étire, les bandes I et H s'élargissent alors que la bande A reste toujours inchangée.

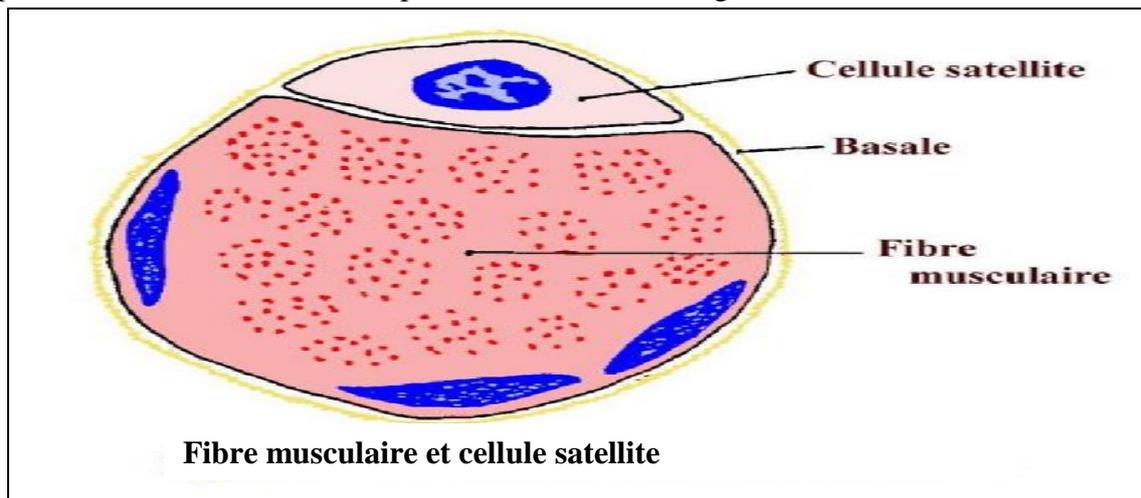


## LES PHÉNOMÈNES MOLÉCULAIRES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE



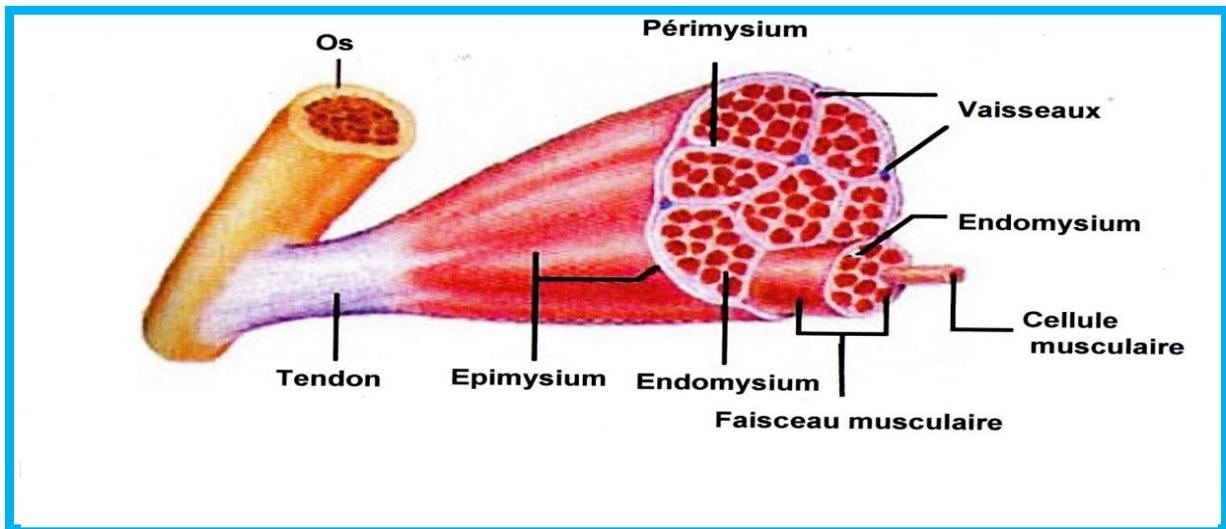
### 2-4 Les cellules satellites (régénération des fibres musculaires striées sq.)

Le muscle squelettique de l'adulte comporte des cellules satellites mononucléées situées entre les fibres et la lame basale. Représentant environ 5% du nombre des noyaux. Elles possèdent une potentialité myogénique et peuvent, en cas de lésion musculaire, s'activer et concourir à la formation de nouvelles fibres musculaires ou à la réparation des fibres altérées. Ce processus constitue la régénération musculaire.



**2-5 Le tissu conjonctif** : Les fibres musculaires striées squelettiques les unes des autres d'un tissu conjonctif formé de fibre de collagène et de réticulines, une substance fondamentale et des cellules conjonctives (fibroblastes et adipocytes).

- L'Epimysium (aponévrose)** : est un tissu conjonctif fait de f. de collagène, celui-ci entoure l'ensemble du muscle.
- Le périmysium** : les fibres musculaires striées sont groupées dans un muscle en paquet de 30 – 50 fibres, qui constituent un faisceau. Chaque faisceau est entouré par un tissu conjonctif plus abondant que pour l'endomysium.
- L'endomysium** : ce tissu conjonctif enveloppe chaque fibre et la sépare des fibres voisines.



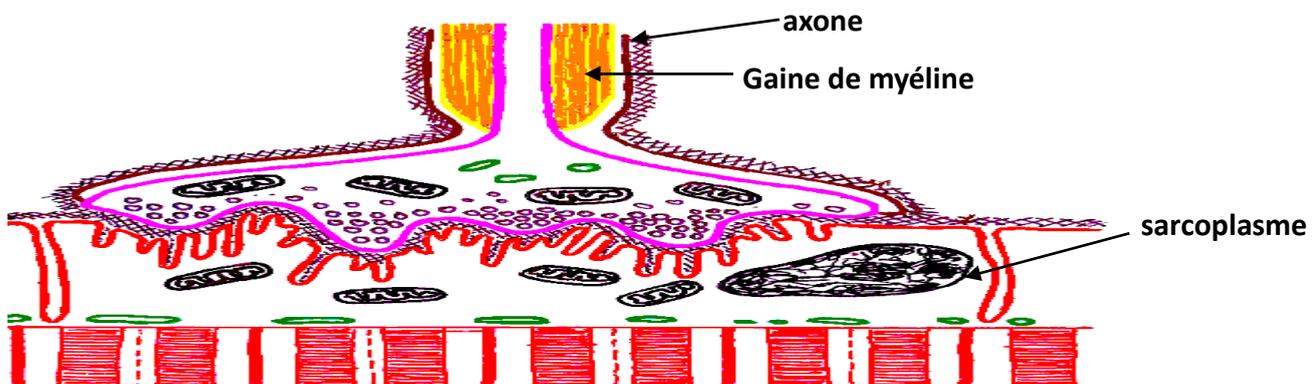
## 2.6 Innervation du muscle strié squelettique

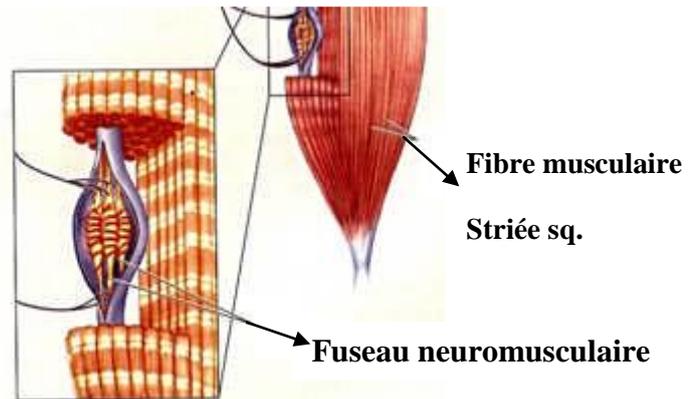
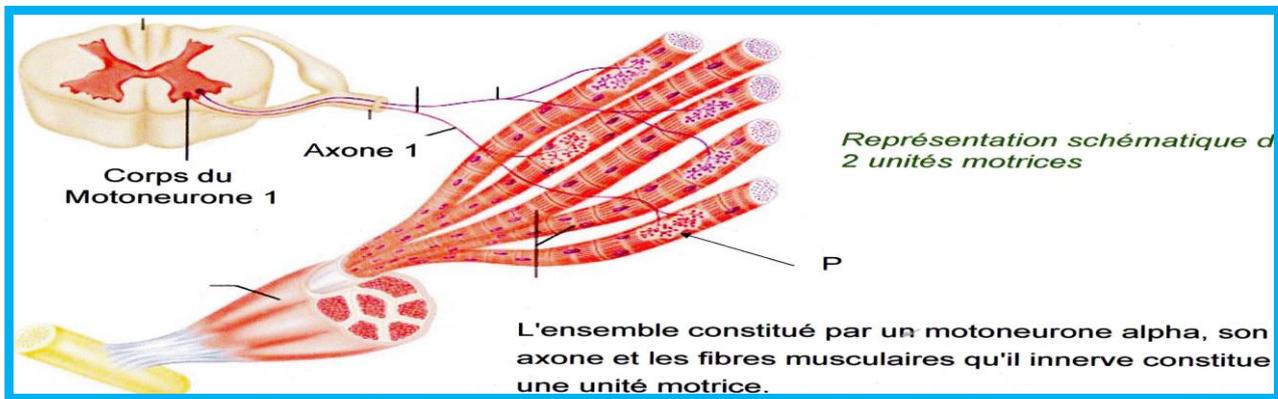
### 1. L'innervation motrice

L'ensemble des fibres musculaires sous contrôle d'un motoneurone constitue une unité motrice. La zone de contact entre la terminaison nerveuse et le sarcoplasme de la fibre musculaire **constitue la plaque motrice** au niveau de laquelle s'effectue la jonction **neuromusculaire**. Lorsque le nerf stimule la fibre musculaire, il y a la libération d'un neurotransmetteur dans la fente synaptique (acétylcholine).

La plaque motrice comporte :

- Une région pré synaptique au niveau de la terminaison axonale contenant des mitochondries, des vésicules synaptiques emplies d'acétylcholine
- Une fente synaptique d'environ 60 nm
- Une région post synaptique, la fibre musculaire contient à ce niveau de nombreux noyaux tandis que le sarcoplasme est riche en mitochondries.





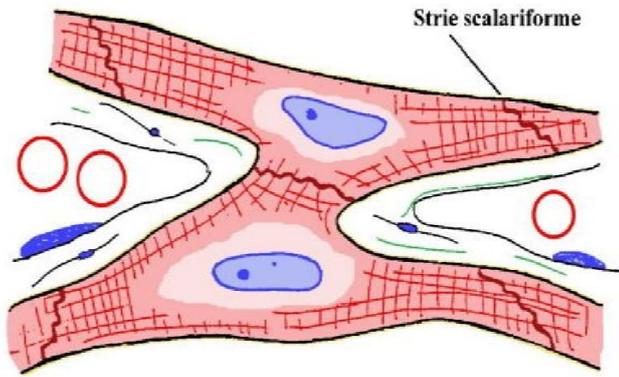
### 3. Le tissu musculaire strié cardiaque (myocarde)

Est contrôlé par un dispositif particulier de commande automatique à contraction rythmique et involontaire. On rencontre deux grands types cellulaires :

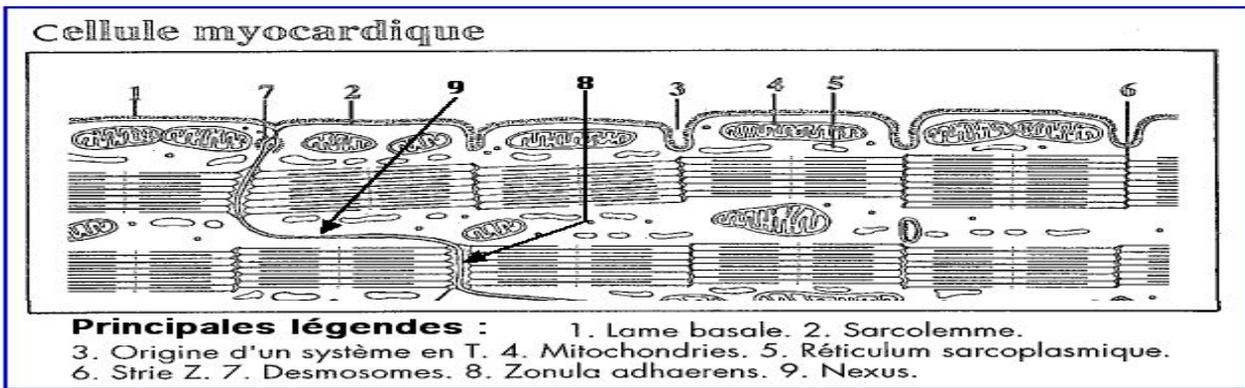
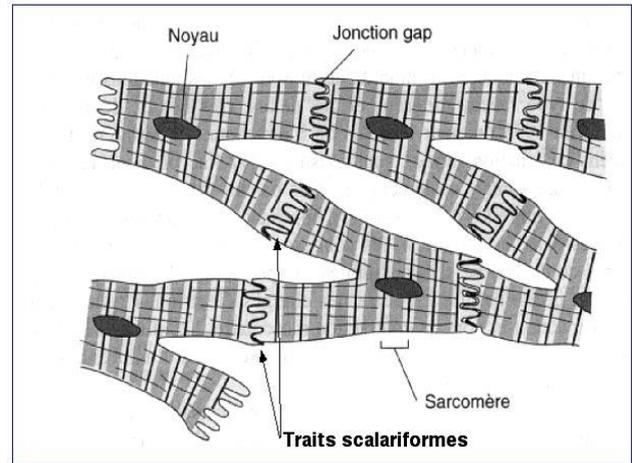
- **Les fibres musculaires myocardiques**
- **Les cellules nodales** : sert à la transmission de l'onde d'excitabilité à tout le myocarde.

La structure de la **cellule myocardique** : c'est une cellule grossièrement cylindrique, de taille variable (30-130 $\mu$ m de long) le diamètre est de 5-20 $\mu$ m dont les extrémités sont ramifiées et bifurquées. La cellule myocardique possède un noyau unique, allongé situé au centre de la cellule. Des stries denses transversales très spécialisées (stries scalariformes ou disques intercalaires) disposées en marche d'escalier, séparent les fibres musculaires les unes des autres et également propagent les forces de tension créées par les contractions myofibrillaires (sont propre au tissu cardiaque).

Le sarcoplasme est caractérisé par la présence d'un matériel contractile identique à la cellule musculaire striée squelettique. Il existe une très grande richesse en mitochondries de grande taille, appareil de Golgi, ATP, phosphagène, myoglobine, le système T et nombreux enzymes... La fibre myocardique est limitée par un sarcolemme. Le glycogène est plus abondant que dans les f.m.s.s. La cohésion des cellules est assurée par des dispositifs de jonction de types : macula adhérence, zonula adhérence. Ces dispositifs permettent la cohésion, la transmission de la tension développée par la contraction des myofibrilles et aussi la diffusion de l'excitation d'une cellule à une autre à travers le cœur.



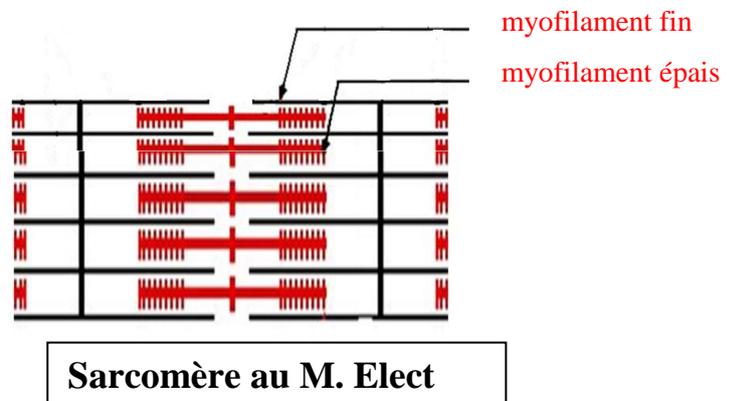
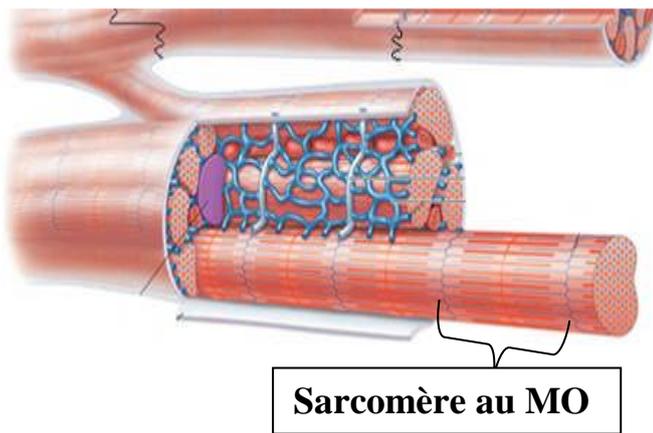
- Cellules myocardiques en microscopie optique.



Au **microscope photonique** chaque myofibrille est subdivisée en plusieurs sarcomères de même structure que ceux du muscle striée squelettique. Cependant les sarcomères sont plus **courts** et les **bandes I** plus étroites.



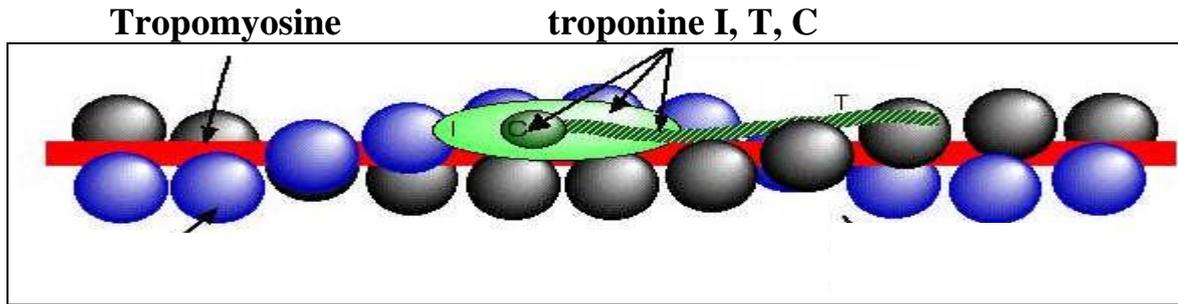
Au **microscopie électronique** on observe des myofilaments et des molécules contractiles de même nature que celles du muscle striée squelettique.



**Les myofilaments fins** présents partout sauf au niveau de bande H. Ils sont constitués de :

- Actine

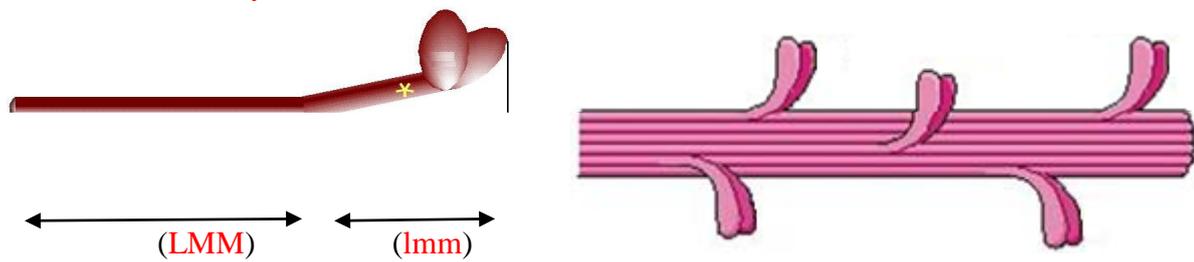
- Troponine I, T, C
- Tropomyosine



Ultrastructure du myofilament fin des F M S M.

**myofilaments épais** sont présents qu'au niveau de la Bande A.  
ils sont constitués de :

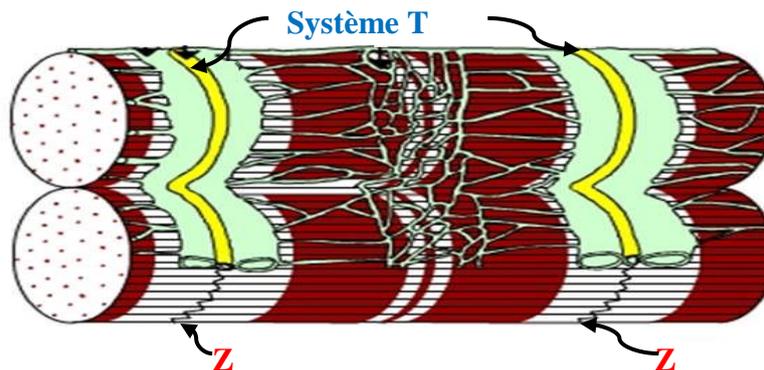
**Myosine** : **meromyosine Légère (LMM)**  
**meromyosine lourde (lmm)**



ULTRASTRUCTURE DE LA MOLECULE DE MYOSINE ET DE MYOFILAMENTS EPAIS  
DES F M S M

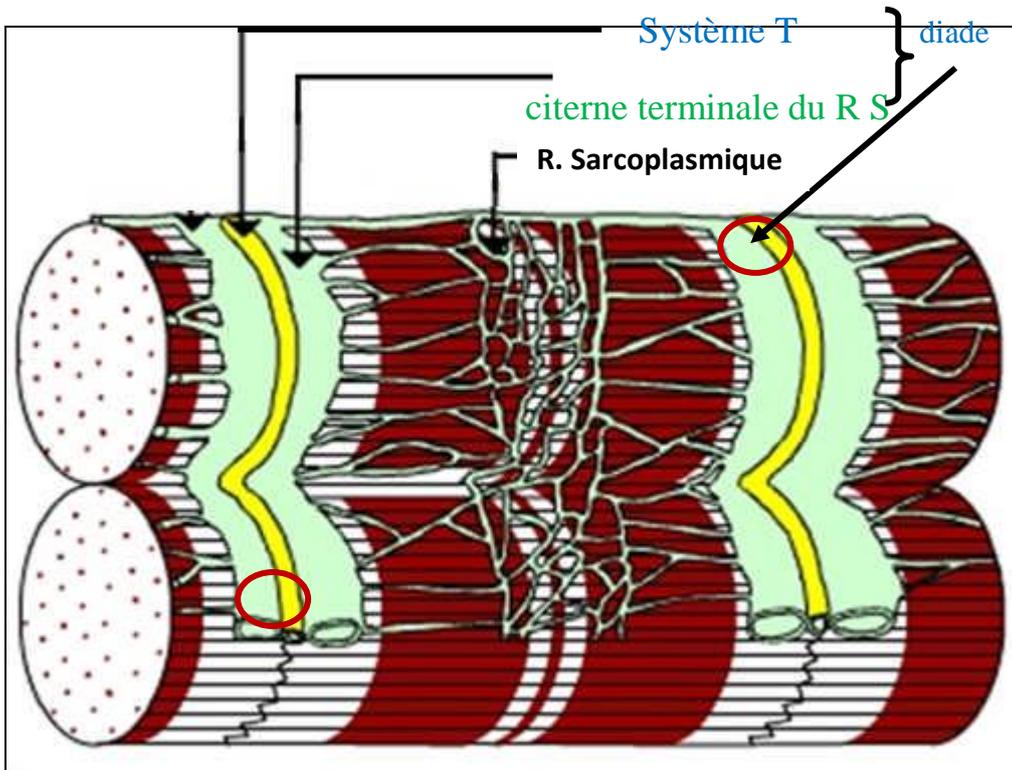
**Les Systèmes T** de la F M S M : (systèmes transverses).

- Ce sont des tubules plus larges que ceux de la f.m.s.s.
- Ils entourent complètement le sarcomère.
- On les observe au niveau des stries Z.
- Ils constituent un lieu de passage du calcium.



### Le Reticulum Sarcoplasmique

- ✚ Il est moins développé que celui de la f.m.s.s.
  - ✚ Il se termine par des **citernes terminales**.
  - ✚ 1 **citernes terminale** + 1 **système T** = **diade**.
- Il y'a 2 **diades** par sarcomère.



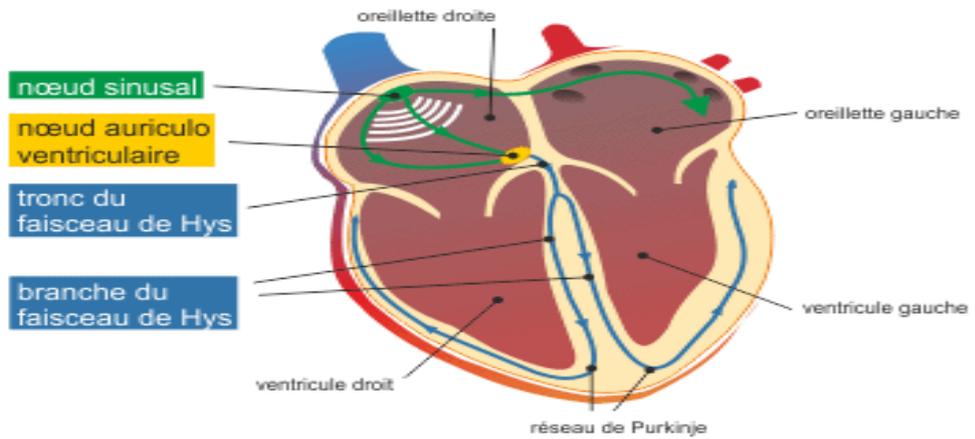
## B- Les cellules cardionectrices

Il existe dans le cœur un ensemble de cellules appelées cardionectrices dont la fonction est d'assurer la formation et la propagation du stimulus à tout le myocarde afin que les contractions des oreillettes et des ventricules se succèdent harmonieusement et permettent au cœur d'assurer efficacement son rôle de pompe. Le tissu cardionecteur comporte deux éléments structuraux, d'une part « les nœuds » constitués par des amas cellulaires et formant le tissu « nodal », d'autre part les « faisceaux ».

- **Le nœud sino auriculaire** : Le rythme des battements est déterminé par l'activité des cellules musculaires du nœud sinusal, se localise dans l'oreillette droite.
- **Le nœud auriculo ventriculaire**
- **Le faisceau de Hys** : ces branches réalisent le réseau de Purkinje.

Le stimulus naît à partir du nœud sino auriculaire (nœud sinusal) qui agit comme stimulateur (pace maker) crée le rythme sinusal, arrive au nœud auriculo ventriculaire et en dernier vers le réseau de Purkinje. Ce rythme est régulé par le système végétatif autonome. Histologiquement, deux types de cellules sont distingués parmi les cellules cardionectrices :

- Les cellules nodales** : situées dans le nœud sino auriculaire, le nœud auriculo ventriculaire et le faisceau de Hys. Elles sont plus petites que les cellules myocardiques, d'aspect fusiforme, contiennent un réseau fibrillaire discret (striation transversale) et sont riches en glycogène.
- Les cellules de Purkinje** : sont situées dans les branches de faisceau de His et le réseau de Purkinje autour des ventricules, sont volumineuses avec 1 à 2 noyaux centraux, présentant un cytoplasme clair, très riche en glycogène, la forme de la cellule est irrégulière.



### La Contraction des F.M.S.M

On la compare à la contraction du muscle squelettique.

Le **muscle squelettique** à besoin d'un stimulus nerveux, le **muscle cardiaque** s'excite lui-même

#### Caractères de la contraction :

- involontaires,
- brèves,
- rythmiques,
- automatiques,
- continues.

**La Régénération des F.M.S.M** : En cas de lésion il y'a réparation par l'endomysium (tissu conjonctif lâche). Il n'y a pas de **cellules mésenchymateuses**, ni de **cellules satellites**.

