

**République Algérienne et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche**  
**scientifique**  
**Université de Mostaganem**

# ***Physiologie du muscle strié***

***Présenté par Dr Benchohra***  
***Année Universitaire 2014-2015***

# Plan

- I-Introduction.
- II-Caractéristiques générales.
- III- Structure et fonctionnement des muscle squelettiques.
- IV- Ultrastructure et composition moléculaire des myofilaments.
- V-Conclusion.

# *1/-Introduction:*

- La principale caractéristique du tissu musculaire, du point de vue fonctionnel, est son aptitude à transformer une énergie chimique (sous forme d'ATP) en énergie mécanique dirigée.
- Les muscles sont donc capables d'exercer une force.
- On peut considérer les muscles comme les « moteurs » de l'organisme. La mobilité du corps dans son ensemble résulte de l'activité des muscles squelettiques. Les muscles squelettiques se distinguent des muscles des organes internes, dont la plupart font circuler des liquides et d'autres substances dans les canaux de notre organisme.

## ***II/-Caractéristiques générales:***

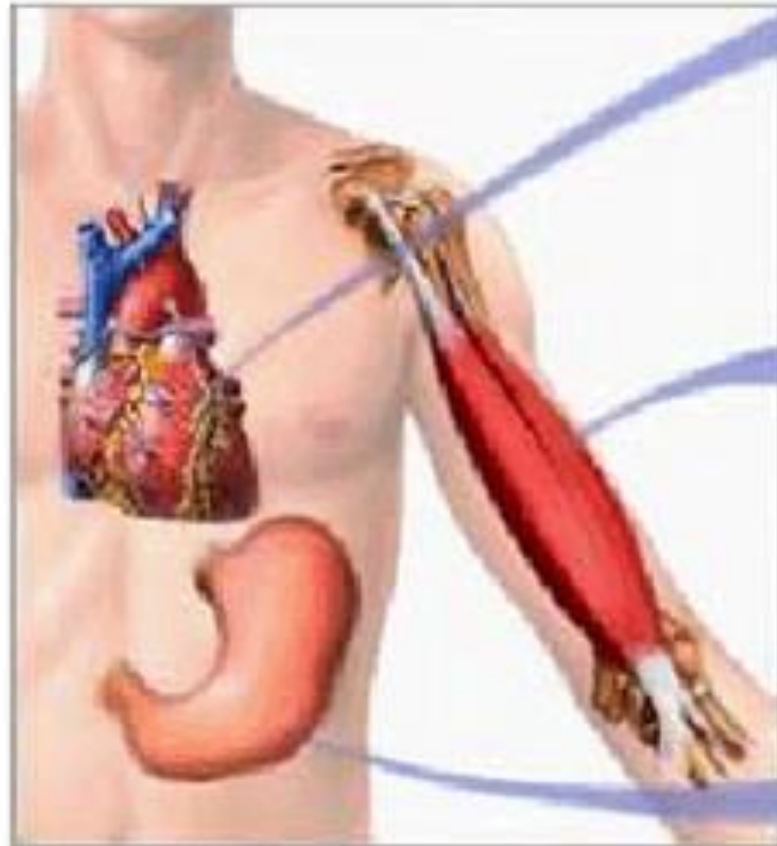
- L'embryologie.
- Les différents types de muscle.
- Les fonctions du tissu musculaire.
- Les caractéristiques fonctionnelles du tissu musculaire.

# A/-L'embryologie:

- Au cours de l'embryogenèse, chaque cellule musculaire est formée par la fusion de plusieurs centaines de **myoblastes** qui s'allongent formant des faisceaux parallèles multinucléés. Les noyaux initialement centraux dans chaque myoblaste se déplacent vers la périphérie et les myofibrilles apparaissent dans le cytoplasme de telle sorte que, chez l'adulte, chaque cellule musculaire constitue un syncytium contenant des centaines de noyaux situés immédiatement sous la membrane plasmique.

## ***B/-Les différents types de muscle:***

Il existe trois types de tissu musculaire : **squelettique, cardiaque et lisse**. Ces trois types diffèrent par la structure de leurs cellules, leur situation dans le corps, leur fonction, et par le mode de déclenchement de leurs contractions.



Cellule musculaire  
cardiaque



Cellule musculaire  
squelettique



Cellule musculaire  
lisse

### leurs 3 points communs :

1- quel que soit leur type, toutes les cellules musculaires (aussi appelées myocytes) ont une forme allongée, et c'est pour cette raison qu'on les nomme **fibres musculaires**.

2- la contraction musculaire est assurée par deux sortes de *myofilaments*, qui sont les équivalents musculaires des *microfilaments* contenant de **l'actine et de la myosine**, ces deux **protéines jouent un rôle dans la motilité et les changements de forme d'un grand nombre de cellules de l'organisme** .

3- la troisième et dernière ressemblance se rapporte à la terminologie. Les préfixes ***myo ou mys*** (**deux racines signifiant «muscle»**) ou ***sarco*** (**«chair»**). Par exemple, la membrane plasmique des fibres musculaires se nomme **sarcolemme** ( ***lemma*** = **enveloppe**), et le cytoplasme de la fibre musculaire est appelé **sarcoplasme**.



# a/- Le tissu musculaire squelettique :

- Se présente sous forme de *muscles squelettiques* qui recouvrent le squelette osseux et s'y attachent. Les fibres musculaires squelettiques sont les fibres musculaires les plus longues, elles portent des bandes bien visibles nommées **striés** et peuvent être maîtrisées volontairement.
- Bien qu'ils soient parfois activés par des réflexes, les muscles squelettiques sont aussi appelés muscles volontaires parce qu'ils sont soumis à la volonté. Donc le tissu musculaire squelettique est caractérisé par trois mots clés: **squelettique, strié, volontaire**.
- Les muscles squelettiques peuvent se contracter rapidement et vigoureusement, mais ils se fatiguent facilement et doivent prendre quelque repos après de courtes périodes d'activité. Ils sont capables d'exercer une force considérable. Le muscle squelettique est également doté de remarquables facultés d'adaptation.

## ***b/-Le tissu musculaire cardiaque :***

- Il n'existe que dans le coeur: il représente la plus grande partie de la masse des parois de cet organe. Le muscle cardiaque est strié, comme les muscles squelettiques, mais il n'est pas volontaire: nous n'exerçons aucune maîtrise consciente sur notre rythme cardiaque. Les mots clés à retenir pour ce type de muscle sont donc : ***cardiaque, strié, involontaire***. *Le muscle cardiaque se contracte à un rythme relativement constant déterminé par le centre rythmogène (centre de régulation intrinsèque situé dans la paroi du coeur), mais d'autres centres nerveux permettent d'en régir l'accélération pendant de courts moments.*

## c/-Le tissu musculaire lisse :

- Il est dans les parois des organes viscéraux creux comme l'estomac, la vessie et les organes des voies respiratoires. Les muscles lisses ne sont pas striés et, comme le muscle cardiaque, ne sont pas soumis à la volonté. Pour les décrire avec précision, on peut dire qu'ils sont *viscéraux, non striés et que leurs mouvements sont involontaires. Les contractions des fibres musculaires lisses sont lentes et continues. Si le muscle squelettique peut se comparer à un véhicule rapide qui perd rapidement de la puissance, le muscle lisse est plutôt semblable à un moteur robuste qui continue de fournir un travail régulier sans se fatiguer.*

## **C/-Les fonctions du tissu musculaire:**

- Les muscles de notre organisme exercent quatre fonctions importantes : ils produisent le mouvement, maintiennent la posture, stabilisent les articulations et dégagent de la chaleur.

# 1/-Le mouvement:

- Presque tous les mouvements du corps humain et de ses parties sont dus à des contractions musculaires (ou résultent pour le moins du mouvement des filaments d'actine et de myosine qui se trouvent aussi dans d'autres types de cellules). Les muscles squelettiques assurent la locomotion et la manipulation, et ils vous permettent de réagir rapidement aux événements qui surviennent dans votre environnement. Par exemple, grâce à leur rapidité et à leur puissance, vous pourriez bondir au dernier moment pour éviter une voiture. Notre vision dépend en partie de l'action des muscles squelettiques (oculomoteurs) qui orientent Nos globes oculaires, et c'est par la contraction des muscles faciaux que nous pouvons exprimer notre joie ou notre colère sans recourir à la parole.

## **2/-Le maintien de la posture :**

- Le fonctionnement des muscles squelettiques qui déterminent notre posture atteint rarement le seuil de la conscience. Leur action est cependant presque constante: ils effectuent sans cesse des ajustements infimes grâce auxquels nous pouvons conserver notre posture assise ou debout .

## **3/-Stabilité des articulations :**

- Au cours même de la traction qu'ils exercent pour déplacer les os, les muscles stabilisent les articulations de notre squelette. Les muscles squelettiques contribuent à la stabilité des articulations qui sont peu renforcées ou dont les surfaces articulaires ne sont pas complémentaires, comme celles de l'épaule et du genou.

## **4/-Dégagement de chaleur :**

- Enfin, comme aucune «machine» n'est parfaitement efficace, il y a perte d'énergie sous forme de chaleur pendant les contractions musculaires. Cette chaleur revêt une importance vitale parce qu'elle maintient l'organisme à une température adéquate: les réactions biochimiques peuvent ainsi s'effectuer normalement. Comme les muscles squelettiques représentent au moins 40% de notre masse corporelle, ce sont eux qui dégagent le plus de chaleur.



## ***D/-Caractéristiques fonctionnelles des muscles:***

- Le tissu musculaire possède certaines propriétés particulières qui lui permettent de remplir ses fonctions. Ces propriétés sont l'excitabilité, la contractilité, l'extensibilité et l'élasticité.

## A/- L'excitabilité :

- C'est la faculté de percevoir un stimulus et d'y répondre. (*Un stimulus est un changement dans le milieu interne ou l'environnement.*)
- *En ce qui concerne les muscles, le stimulus est habituellement de nature chimique (par exemple une hormone, une modification locale du pH ou un neurotransmetteur libéré par une cellule nerveuse), et la réponse est la production et la propagation, le long du sarcolemme, d'un courant électrique (ou potentiel d'action) qui est à l'origine de la contraction musculaire.*

## **B/-La contractilité :**

- C'est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée. C'est cette aptitude qui rend les muscles si différents de tous les autres tissus.

## **C/-L'extensibilité :**

- C'est la faculté d'étirement. Lorsqu'elles se contractent, les fibres musculaires raccourcissent, mais lorsqu'elles sont détendues, on peut les étirer au-delà de leur longueur de repos.

## **D/-L'élasticité :**

- C'est la possibilité qu'ont les fibres musculaires de raccourcir et de reprendre leur longueur de repos lorsqu'on les relâche.

# **III/-Structure et Fonctionnement des Muscles squelettiques :**

- On va voir les différents niveaux d'organisation des muscles squelettiques, en allant de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique.

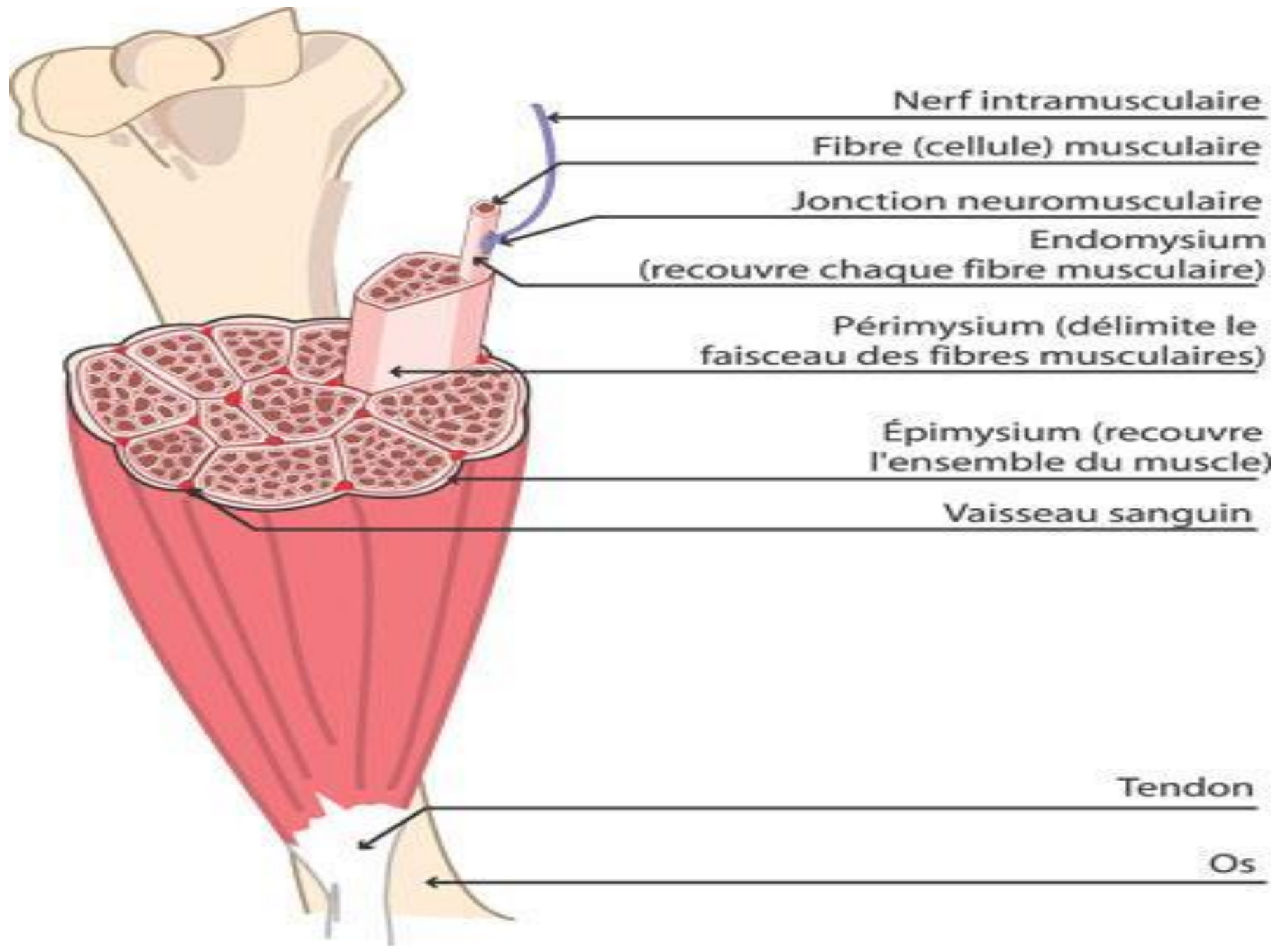
# *A/- Anatomie macroscopique d'un muscle squelettique :*

- Chaque muscle squelettique est un organe bien délimité dont la majeure partie comprend des centaines, voire des milliers de **fibres musculaires**; le muscle renferme également du tissu conjonctif, des vaisseaux sanguins et des neurofibres. On peut facilement étudier à l'oeil nu la forme d'un muscle, l'agencement de ses fibres et ses points d'insertion.

# 1/- Enveloppes de tissu conjonctif:

Chaque fibre se trouve à l'intérieur d'une fine gaine de tissu conjonctif lâche appelée **endomysium**. Plusieurs fibres et leur endomysium sont placées côte à côte et forment un ensemble nommé **faisceau** (*fascis = faisceau, bande*); *chaque faisceau est à son tour délimité par une gaine plus épaisse de tissu conjonctif, le périmysium. Les faisceaux sont regroupés dans un revêtement plus grossier composé de tissu conjonctif dense orienté, l'épimysium, qui enveloppe l'ensemble du muscle. À l'extérieur de l'épimysium, le fascia, une couche encore plus grossière de tissu conjonctif dense orienté, regroupe les muscles d'un même groupe fonctionnel et recouvre aussi certaines autres structures.*





Toutes ces gaines de tissu conjonctif constituent un ensemble continu incluant aussi les tendons qui relient les muscles aux os. Lorsque les fibres musculaires se contractent, elles tirent donc sur leurs différentes gaines, lesquelles, à leur tour, transmettent la force à un os spécifique.

Comme toutes les cellules de l'organisme, les fibres musculaires squelettiques sont molles et fragiles. Les couches de tissu conjonctif soutiennent chaque cellule, renforcent l'ensemble du muscle et procurent au tissu musculaire son élasticité naturelle. Elles fournissent également les voies d'entrée et de sortie des vaisseaux sanguins et des neurofibres qui desservent le muscle.

## **2/-Innervation et irrigation sanguine :**

- L'activité normale d'un muscle squelettique est tributaire de son innervation et d'un approvisionnement sanguin abondant. Contrairement aux fibres musculaires cardiaques et lisses, qui peuvent se contracter en l'absence de toute stimulation nerveuse, chaque fibre musculaire squelettique est dotée d'une terminaison nerveuse qui régit son activité.

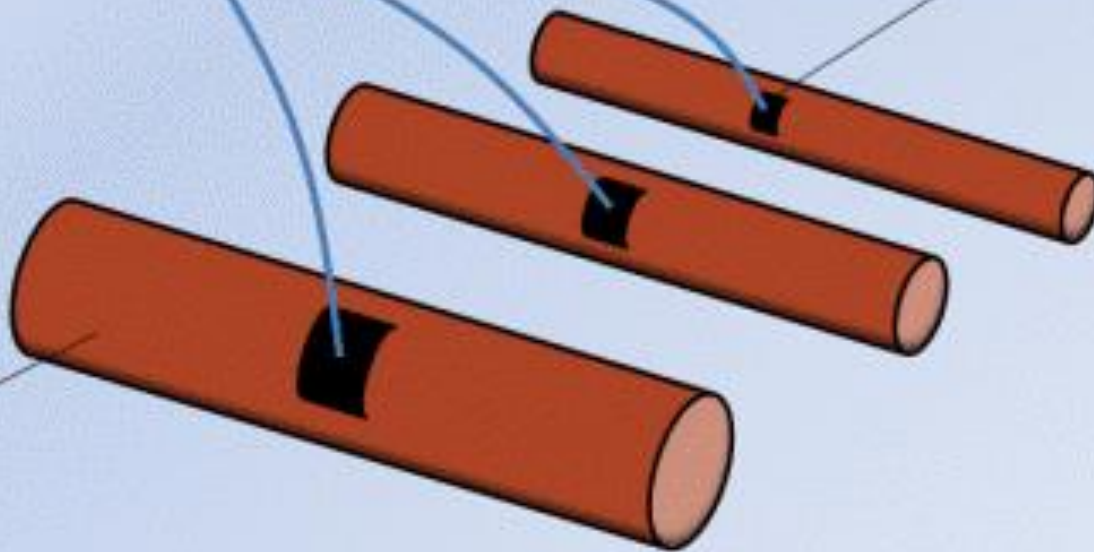
Moelle épinière



Motoneurone

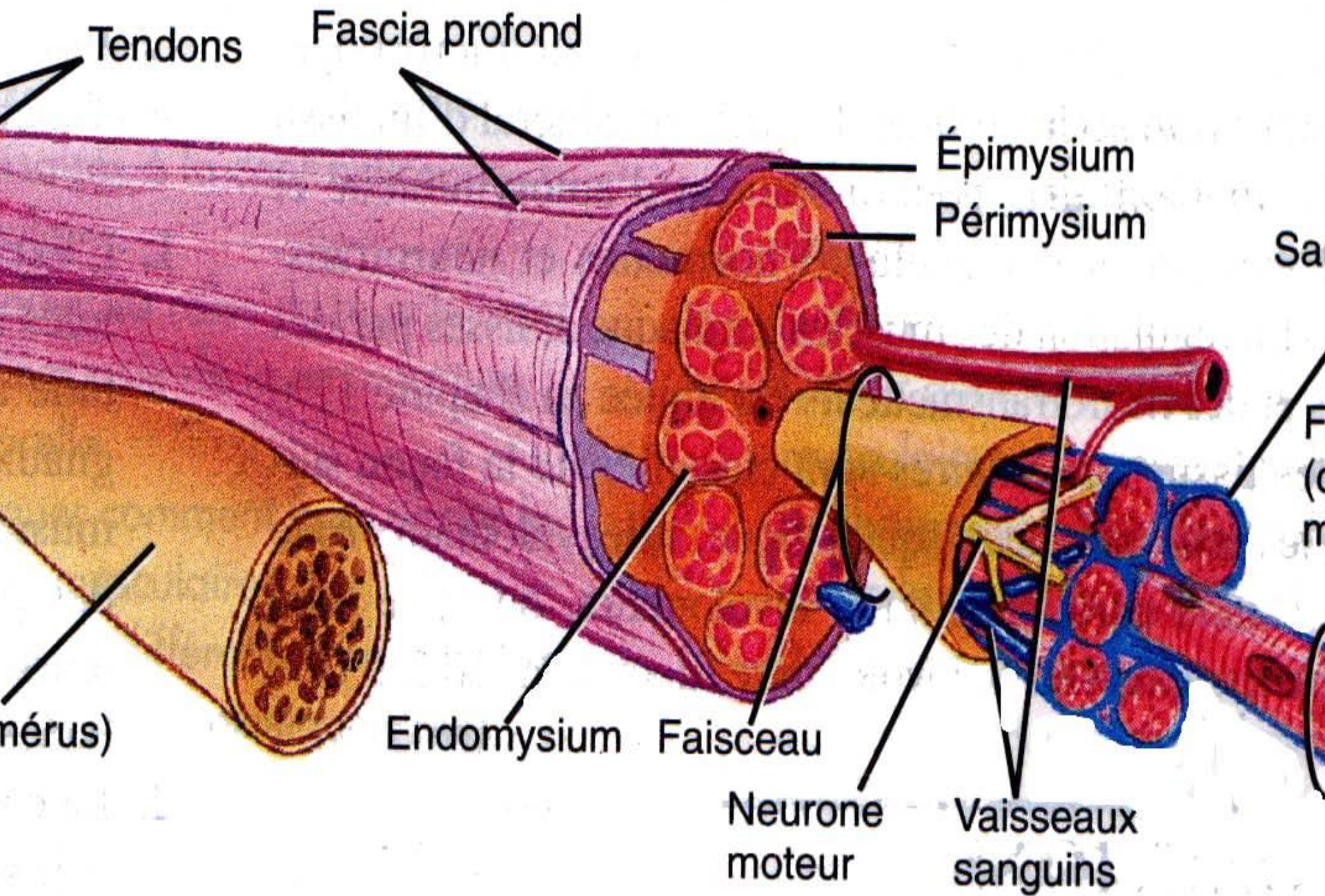
Plaque motrice

Fibre musculaire



La contraction des fibres musculaires représente une énorme dépense d'énergie, d'où la nécessité d'un approvisionnement plus ou moins continu en oxygène et en nutriments par l'intermédiaire des artères. En outre, les cellules musculaires produisent de grandes quantités de déchets métaboliques qui doivent être évacués par les veines pour assurer l'efficacité de la contraction. De façon générale, chaque muscle est desservi par une artère et une ou plusieurs veines.

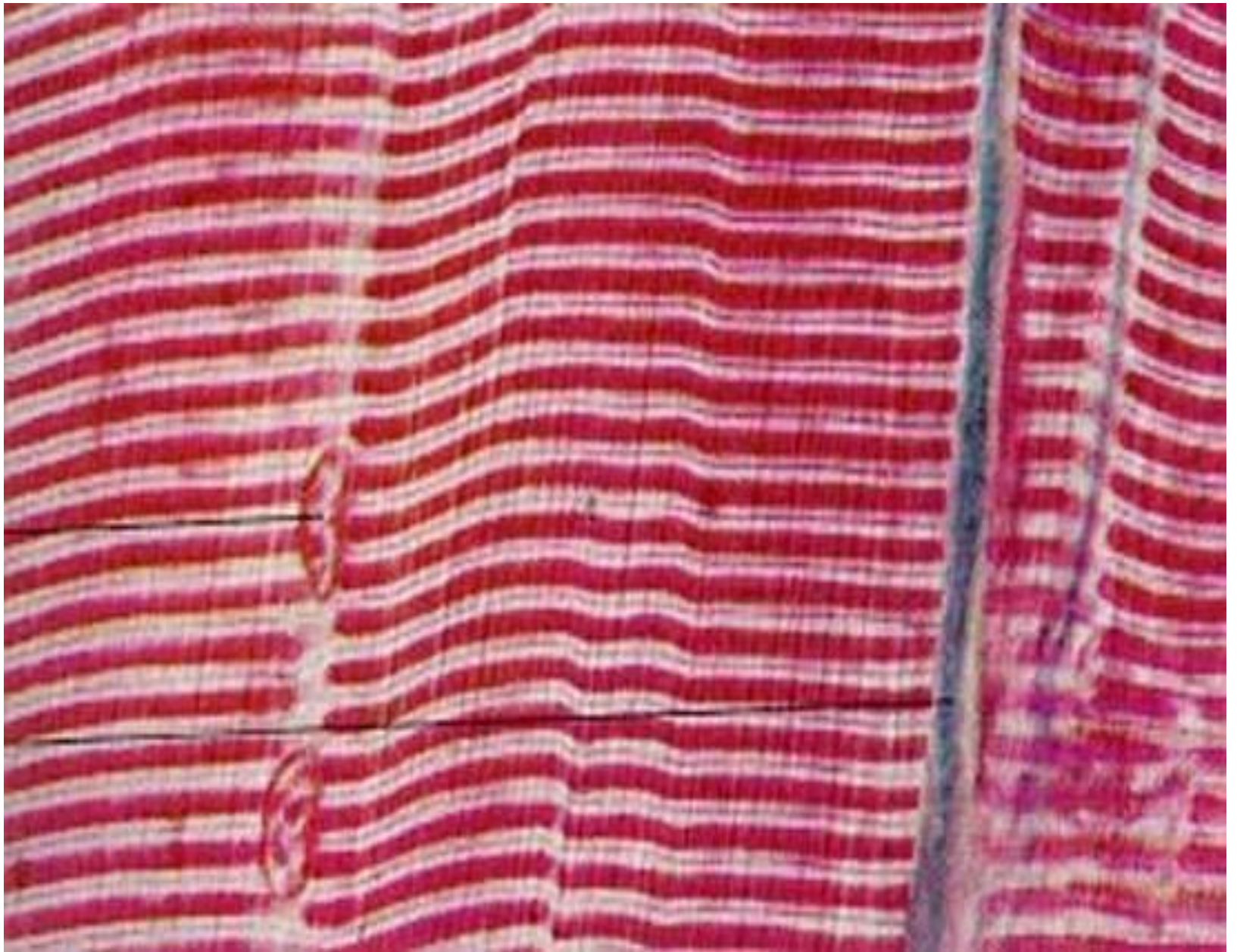




## ***B/-Anatomie microscopique d'une fibre musculaire squelettique :***

- Chaque fibre musculaire squelettique est une longue cellule cylindrique renfermant de nombreux noyaux ovales situés juste au-dessous du **sarcolemme**. Si on les compare aux autres cellules de l'organisme humain, les cellules des muscles squelettiques sont énormes.







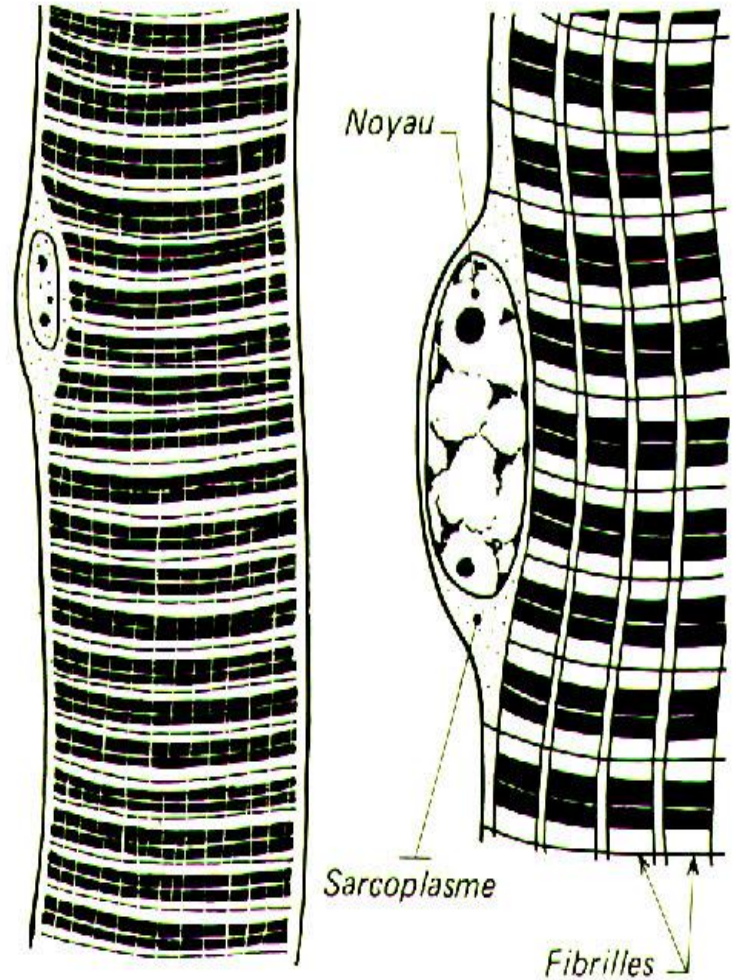
**\*\*\**La membrane plasmique:***

La membrane plasmique entoure la cellule

C'est le **sarcolemme**.

**\*\*\**Les noyaux:***

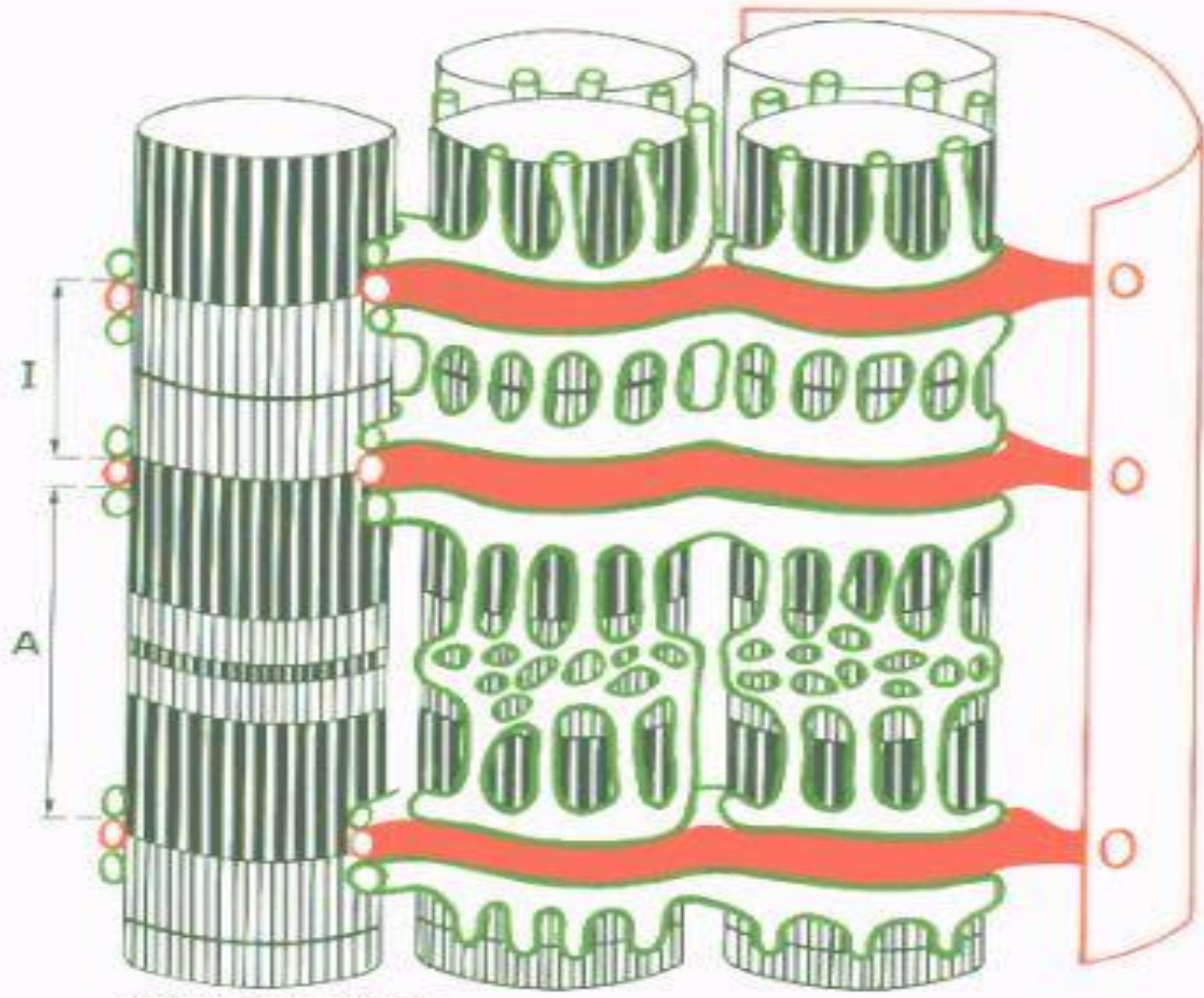
Plusieurs centaines de noyaux sont en périphérie de la cellule contre la membrane plasmique. Ils sont ovoïdes allongés dans le sens de la fibre.



Fibres musculaires striées. A droite, portion de fibre très grossie.

**Le sarcoplasme** d'une fibre musculaire est comparable au cytoplasme des autres cellules, mais il abrite des réserves importantes de glycogène ainsi que de la myoglobine, une protéine qui se lie à l'oxygène et n'existe dans aucun autre type de cellule. La myoglobine est un pigment rouge qui constitue un réservoir d'oxygène à l'intérieur de la cellule musculaire; elle s'apparente à l'hémoglobine, le pigment qui transporte l'oxygène dans les globules rouges du sang. Les cellules musculaires contiennent les organites habituels ainsi que des organites fortement modifiés, soit les myofibrilles et le réticulum sarcoplasmique. Les tubules T (ou tubules transverses) sont des modifications particulières du sarcolemme de la fibre musculaire.



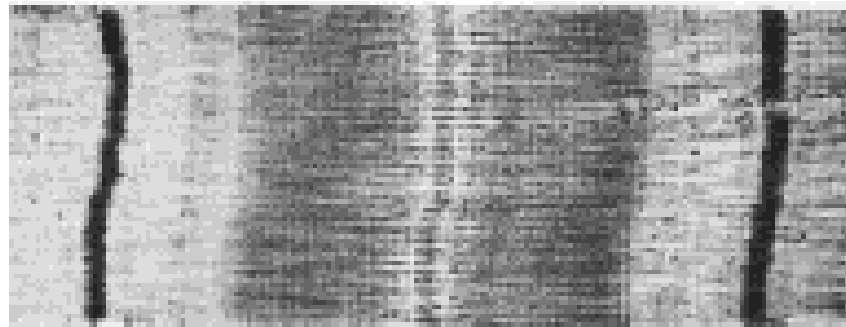


adapted from Fawcett

## **Myofibrilles :**

Chaque fibre musculaire comporte un grand nombre de myofibrilles parallèles qui parcourent toute la longueur de la cellule . Les myofibrilles sont si serrées les unes contre les autres qu'elles semblent coincer entre elles les mitochondries et les autres organites. Selon sa taille, chaque cellule peut posséder des centaines ou des milliers de myofibrilles, qui constituent environ 80 % de son volume. Les myofibrilles représentent les éléments contractiles des cellules des muscles squelettiques, et chaque myofibrille comprend elle-même une chaîne d'unités contractiles adjacentes encore plus petites nommées sarcomères.

Sarcomere



Z line

Z line

Thin filaments

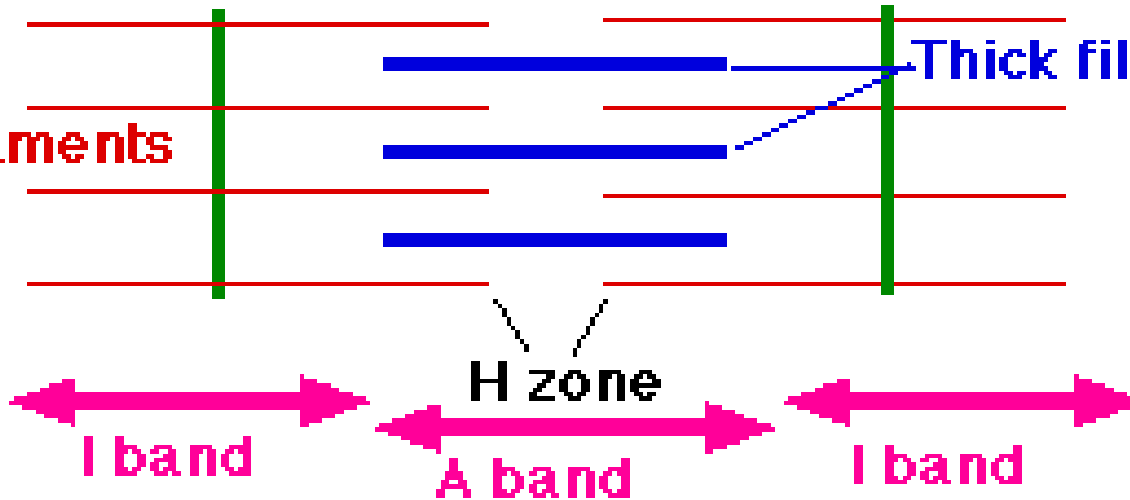
Thick filaments

H zone

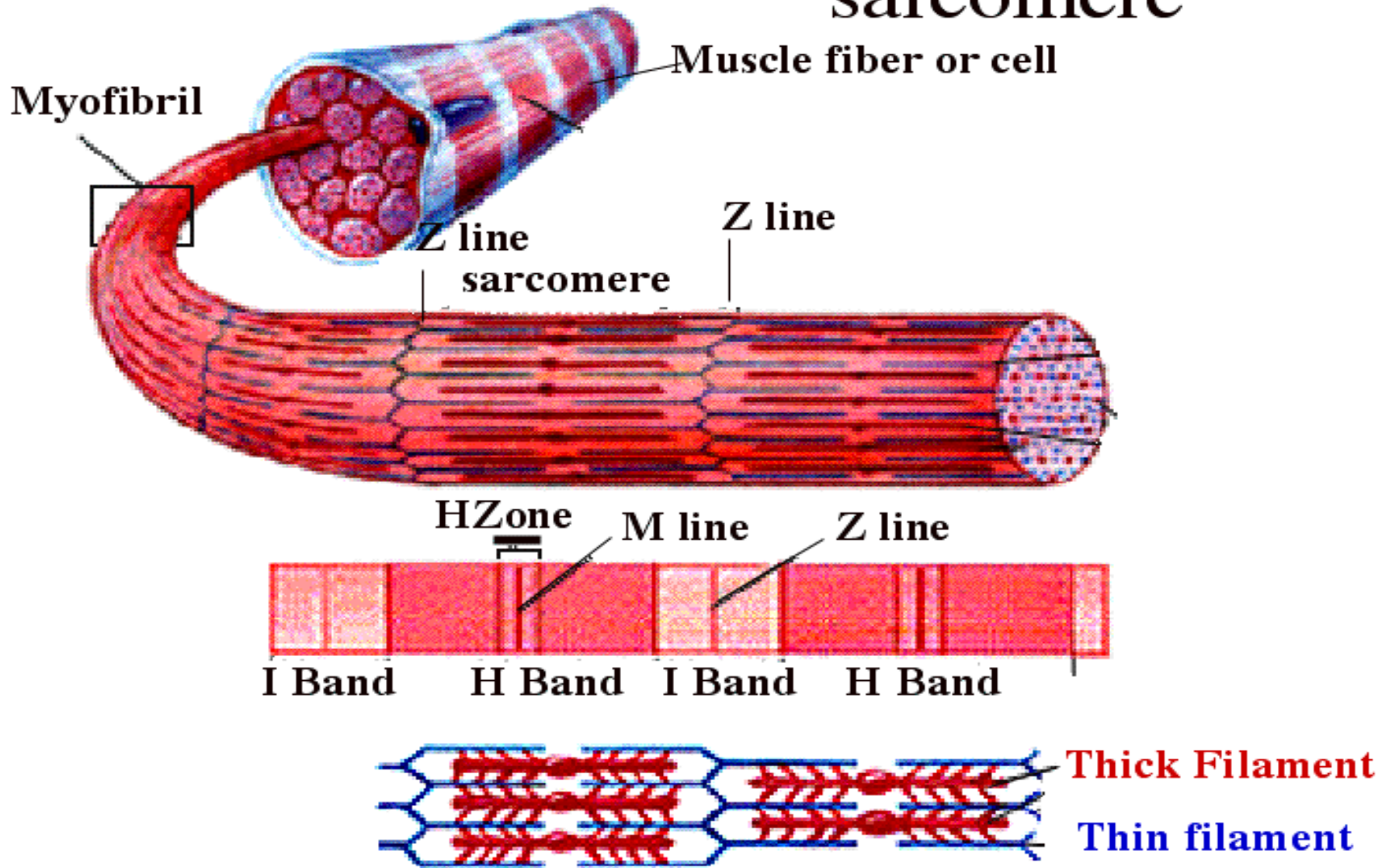
I band

A band

I band



# sarcomere



**Stries, sarcomères et myofilaments.** Sur la longueur de chaque myofibrille, on remarque une alternance de bandes foncées et claires. Les bandes foncées sont appelées **bandes A** parce qu'elles sont ***anisotropes***, *c'est-à-dire qu'elles polarisent la lumière visible*. Les bandes claires nommées **bandes I**, sont ***isotropes***, ou non polarisantes. Dans une fibre musculaire intacte, les bandes des myofibrilles sont presque parfaitement alignées et se poursuivent sur toute la largeur de la cellule; c'est pour cette raison que l'ensemble de la cellule paraît strié.

Chaque bande A est coupée en son milieu par une rayure plus claire appelée **zone H**. Les zones H ne sont visibles que sur les fibres musculaires au repos. Chaque zone H est divisée en deux par une ligne sombre, **la strie M**.



Au milieu des bandes I, on remarque également une zone plus foncée que l'on nomme strie Z. La région d'une myofibrille comprise entre deux stries Z successives est appelée sarcomère; c'est la plus petite unité contractile de la fibre musculaire. Chaque *unité fonctionnelle du muscle squelettique est donc une très petite portion de myofibrille, et on peut se représenter chaque myofibrille comme une chaîne de sarcomères placés bout à bout.*

Au niveau moléculaire, on constate que les stries des myofibrilles sont formées par la disposition ordonnée de deux types de filaments de protéines, ou myofilaments, à l'intérieur des sarcomères.

Les filaments épais parcourent toute la longueur de la bande A. Les filaments minces enrobent les filaments épais et s'étendent le long de la bande I et d'une partie de la bande A.

*Vue au microscope, la zone H de la bande A paraît moins dense parce que les filaments minces ne longent pas les filaments épais dans cette région. La strie M, située au centre de la zone H, est rendue légèrement plus foncée par la présence de brins qui relient entre eux les filaments épais adjacents. La strie Z est en fait une couche de protéines en forme de pièce de monnaie qui constitue le point d'attache des filaments minces et qui unit aussi les myofibrilles entre elles sur toute l'épaisseur de la cellule musculaire.*

*Une vue longitudinale des myofilaments, Dans les régions renfermant à la fois des filaments épais et minces, chaque filament épais est entouré de six filaments minces, et chaque filament mince se trouve au milieu d'un triangle formé par trois filaments épais.*

# **IV- Ultrastructure et composition moléculaire des myofilaments:**

# A/-Les filaments épais :

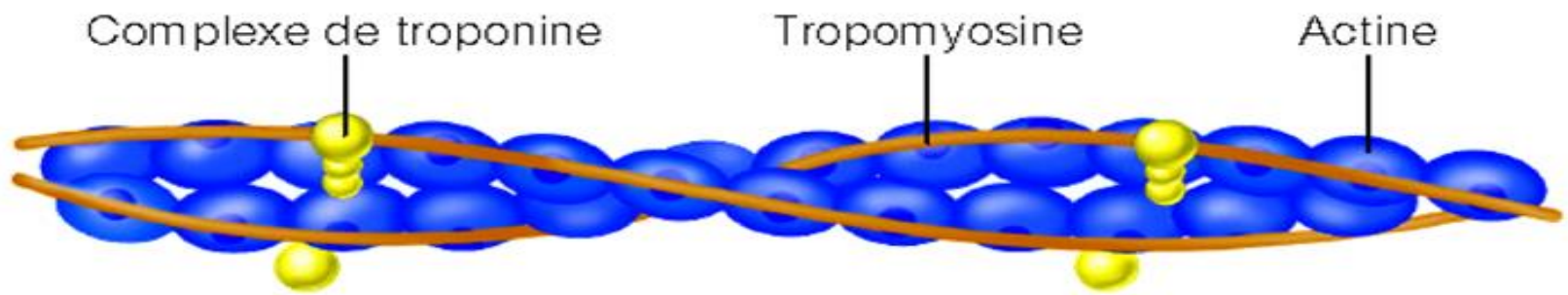
- D'un diamètre allant de 12 à 16 nm comprennent essentiellement une protéine appelée myosine. La molécule de myosine possède une structure très particulière : semblable à un bâton de hockey, sa tige cylindrique, ou *axe*, se termine à l'une de ses extrémités par une tête sphérique comportant elle-même deux lobes (*expansions latérales bilobées*). Ces extrémités sont parfois appelées *ponts d'union* parce qu'elles interagissent (*se lient*) avec des sites de liaison (ou sites actifs) spécifiques situés sur les filaments minces qui les entourent. Ainsi ce sont les têtes de myosine qui génèrent la tension exercée lors de la contraction de la cellule musculaire. Dans un sarcomère, chaque filament épais compte environ 200 molécules de myosine.

*Les molécules de myosine sont regroupées de telle sorte que leurs tiges représentent la partie centrale du filament et que les lobes de leur tête sphérique sont orientés dans des directions opposées. Par conséquent, la partie centrale du filament épais est lisse, mais ses extrémités sont garnies de têtes de myosine disposées de façon hélicoïdale autour de son axe. Les têtes des molécules de myosine portent des sites de liaison de l'ATP, ainsi que des ATPases qui dissocient l'ATP en ADP + P, par une action enzymatique.*

## **B/- Les filaments minces :**

- D'un diamètre de 5 à 7 nm sont principalement composés d'actine. Les polypeptides qui forment les sous-unités de l'actine (nommés *actine globulaire* ou *actine G*) portent des sites de liaison sur lesquels les têtes de myosine se fixent lors de la contraction. Les monomères d'actine G sont regroupés en polymères d'actine fibreuse ou *actine F*, qui s'allongent en de longs fils. L'épine dorsale de chaque filament mince est constituée de deux brins d'actine F enroulés l'un autour de l'autre; ces brins ressemblent à deux fils garnis de perles et tordus ensemble, selon un arrangement hélicoïdal. Plusieurs protéines de régulation sont aussi présentes.

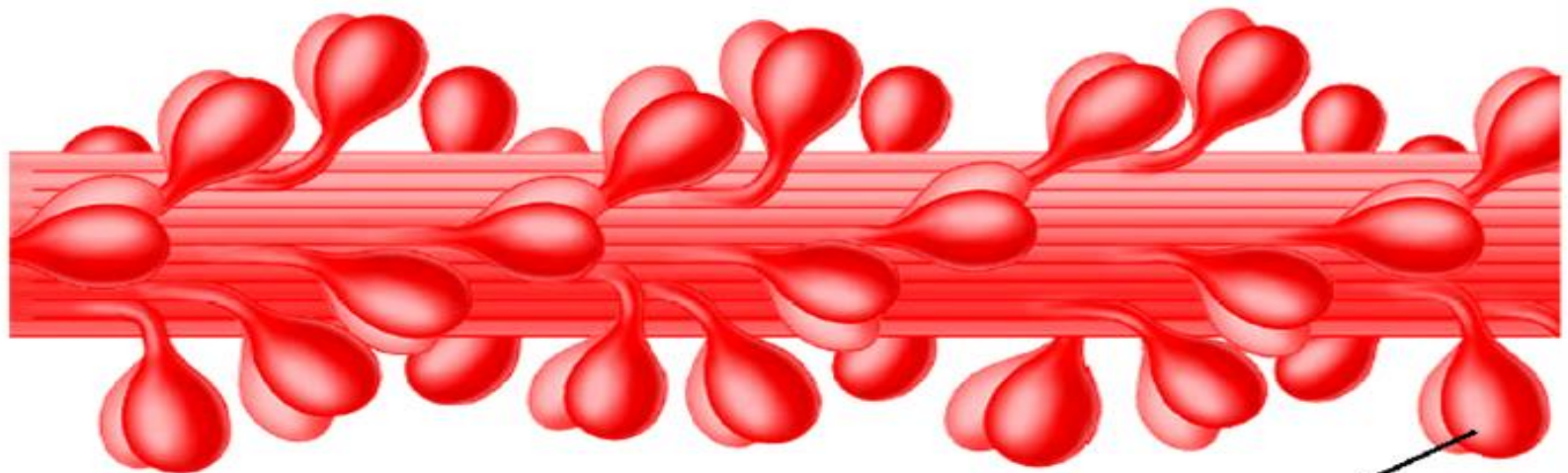
*La tropomyosine, une protéine cylindrique, entoure l'actine F et la rigidifie. Des molécules de tropomyosine sont placées bout à bout le long des chaînes d'actine F. La dernière des protéines importantes du filament mince, la troponine, est en fait un complexe de trois polypeptides dont chacun remplit une fonction spécifique. L'un de ces polypeptides (TnI) se lie à l'actine; un autre (TnT) se lie à la tropomyosine et l'aligne avec l'actine; le troisième (TnC) se lie aux ions calcium. La troponine et la tropomyosine contribuent à la régulation des interactions myosine-actine qui se produisent au cours de la contraction.*



**a) Filament d'actine**



**b) Molécule de myosine**

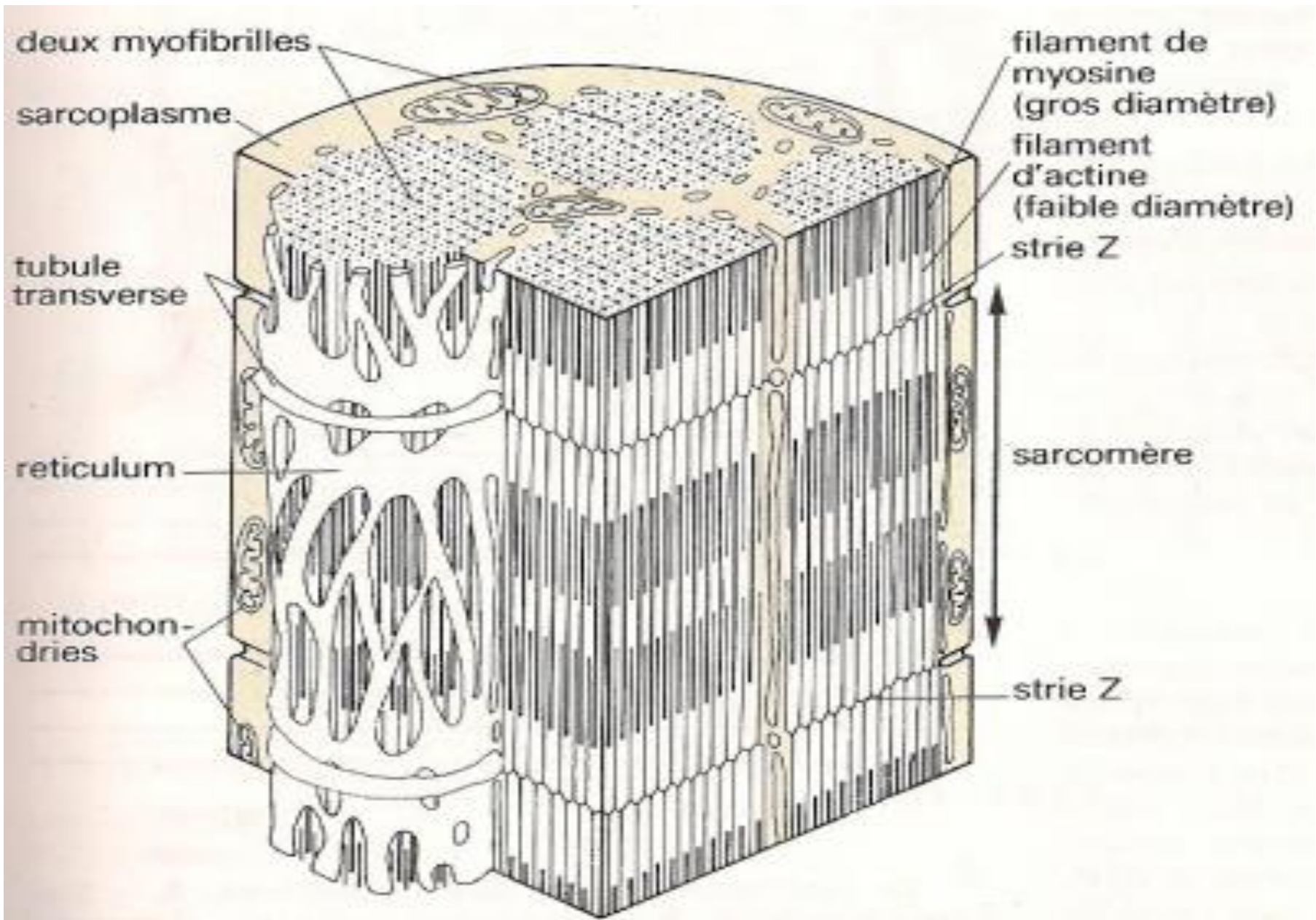


**c) Filament de myosine**

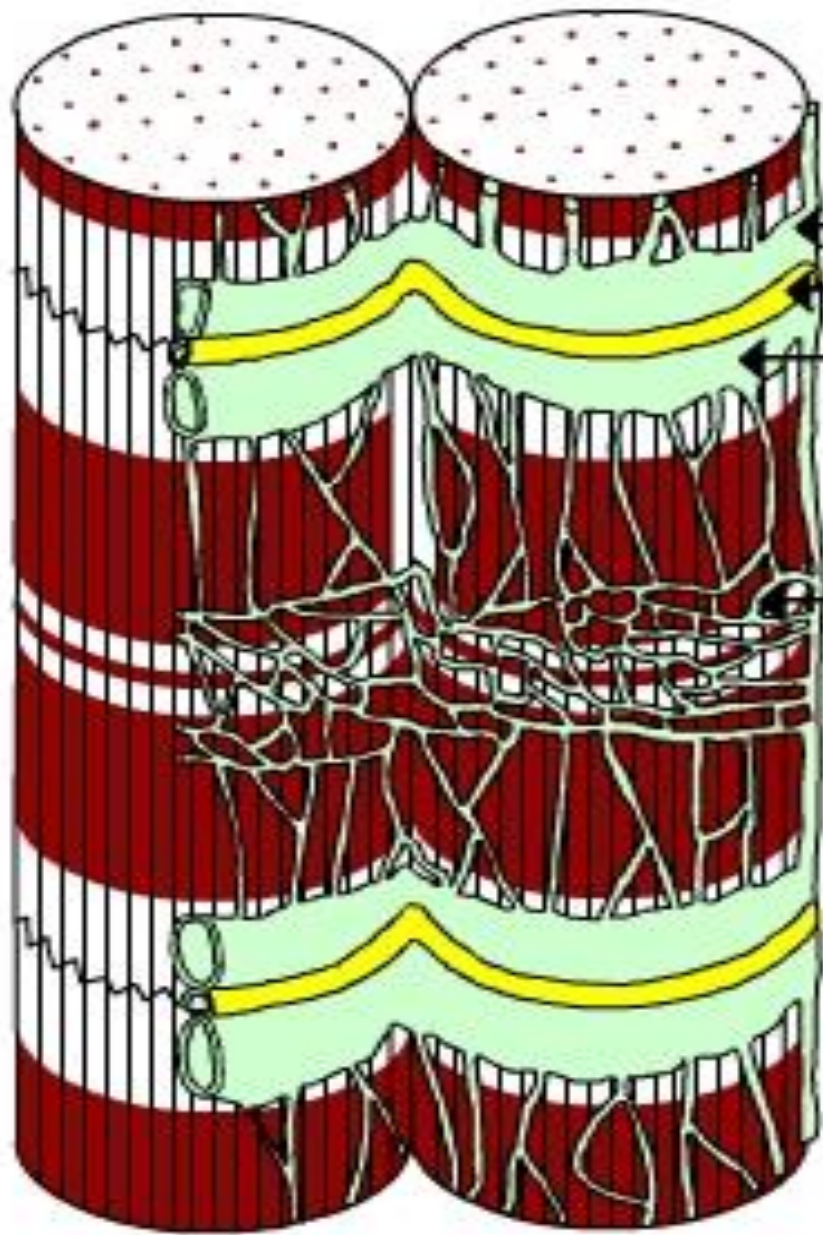


## C/- Réticulum sarcoplasmique et tubules T :

- Le **réticulum sarcoplasmique (RS)**, situé à l'intérieur de chaque cellule musculaire, est une forme complexe de réticulum endoplasmique lisse. Son réseau de tubules parcourt les intervalles étroits qui existent entre les myofibrilles ; il est parallèle aux myofibrilles et enlace chacune d'elles. Au niveau des zones H et des jonctions des bandes A et I, les tubules sont fusionnés latéralement. Les canaux en cul-de-sac accolés aux jonctions des bandes A et I sont appelés citernes terminales.



À la jonction des bandes A et I, le sarcolemme de la cellule musculaire constitue un long tube creux nommé tubule T (ou tubule transverse), qui pénètre en profondeur dans la cellule et dont la lumière communique avec le liquide interstitiel de l'espace extracellulaire. Chaque tubule T s'enfonce loin à l'intérieur de la cellule, où il passe entre les citernes terminales du RS, formant ainsi des triades, qui sont des regroupements de trois structures membranaires (c'est-à-dire la citerne terminale située à l'extrémité d'un sarcomère, un tubule T et la citerne terminale du sarcomère adjacent). De même qu'ils se faufilent d'une myofibrille à l'autre, les tubules T envoient des ramifications autour de chaque sarcomère. Le réseau formé par les milliers de tubules T de chaque cellule musculaire porte le nom de *système transverse, ou système T*.

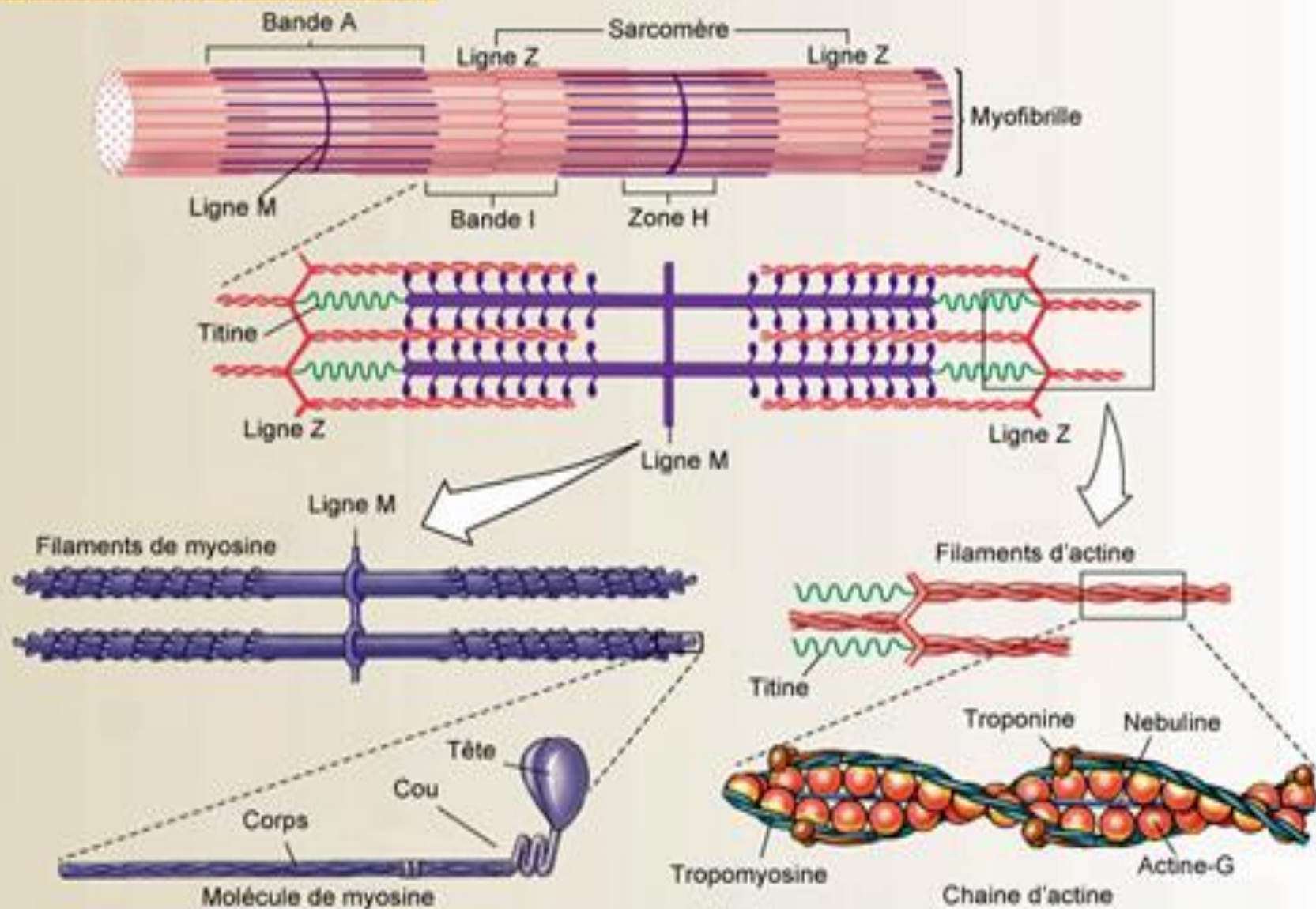


- Citerne terminale
  - Tubule T
  - Citerne terminale
  - Reticulum sarcoplasmique
- Triade

Les tubules T jouent le rôle d'un réseau de communication rapide : étant donné qu'ils sont en continuité avec le sarcolemme, qui reçoit l'influx nerveux, ils peuvent acheminer cet influx profondément dans la cellule et à presque tous les sarcomères. De plus, les tubules T constituent une voie d'entrée qui met le liquide interstitiel (contenant du glucose, de l'oxygène et divers ions) en contact intime avec les parties profondes de la cellule musculaire. La fonction principale du réticulum sarcoplasmique consiste à régler la concentration intracellulaire de calcium ionique : il emmagasine le calcium et le libère «sur demande» lorsqu'une stimulation entraîne la contraction de la fibre musculaire. Nous verrons bientôt l'importance de cette fonction.



## Ultrastructure d'une myofibrille



## **V/-Conclusion:**

- Le muscle strié constitue par ses propriétés mécanique et moléculaire un véritable matériel contractile.
- La contraction musculaire est un ensemble de mécanismes nerveux, chimiques, électriques et mécaniques dont l'unité motrice constitue l'unité fonctionnelle et structurale de ce phénomène physiologique.