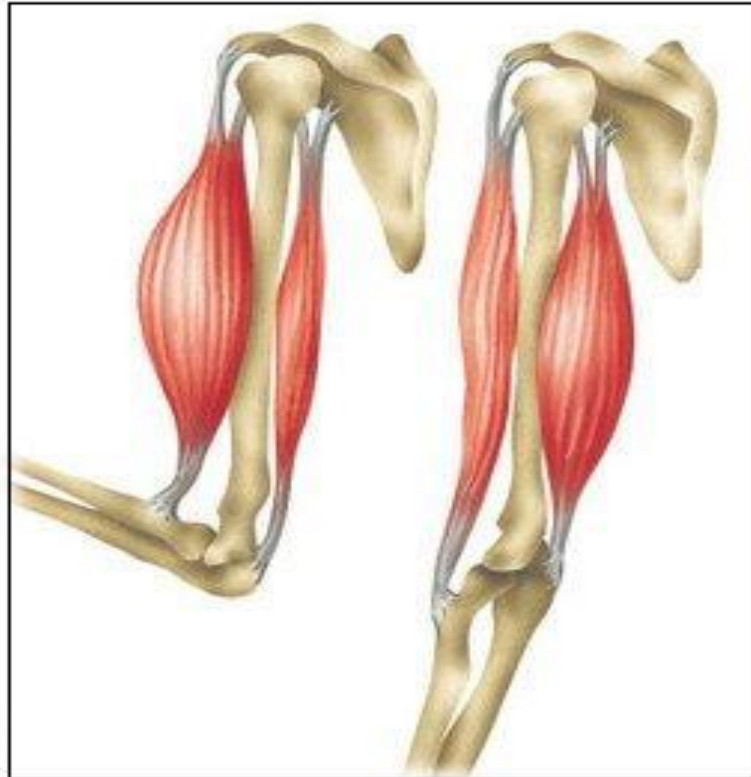


PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION DU MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

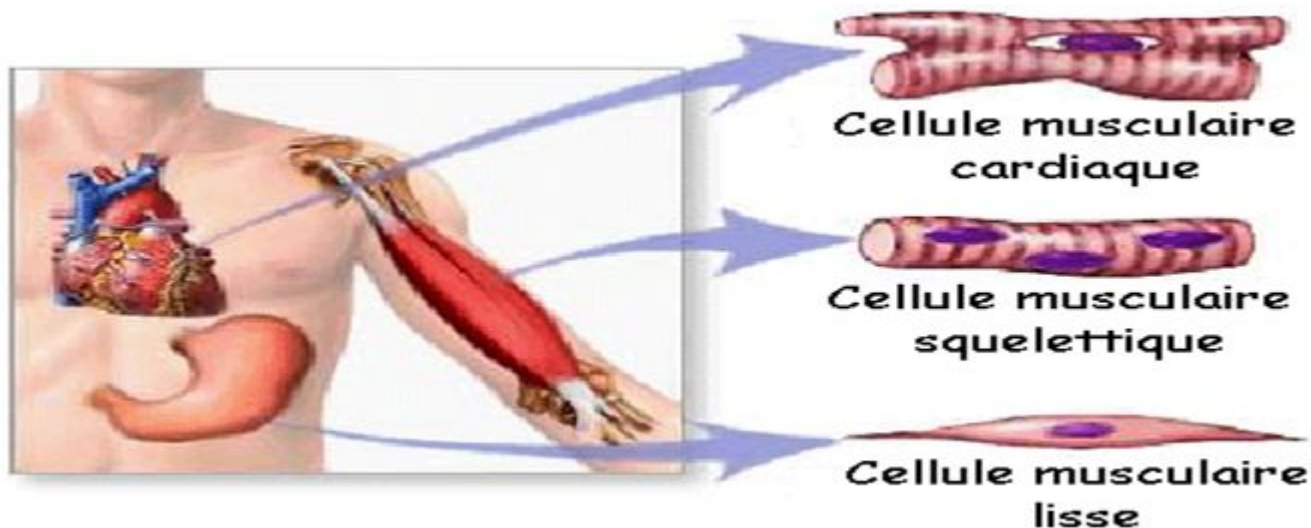


Dr SALEM.S

I- INTRODUCTION – DEFINITIONS:

3 types de muscles:

1. Muscle lisse (organes internes : intestin, l'estomac, les vaisseaux sanguins...)	Mouvement involontaire Contrôlé par le système nerveux autonome
2. Muscle strié cardiaque (cœur)	
3. Muscle strié squelettique Relie les différentes parties du squelette	Mouvement volontaire Contrôlé par le système nerveux périphérique



Le corps humain compte **639** muscles qui recouvrent tout le squelette.

La masse musculaire représente 35 % du poids du corps chez l'homme, et 28 % chez la femme



Trois fonctions essentielles

- Produisent des mouvements
- Stabilisent la position du corps
- Produisent de la chaleur: thermogenèse

- Le muscle strié squelettique

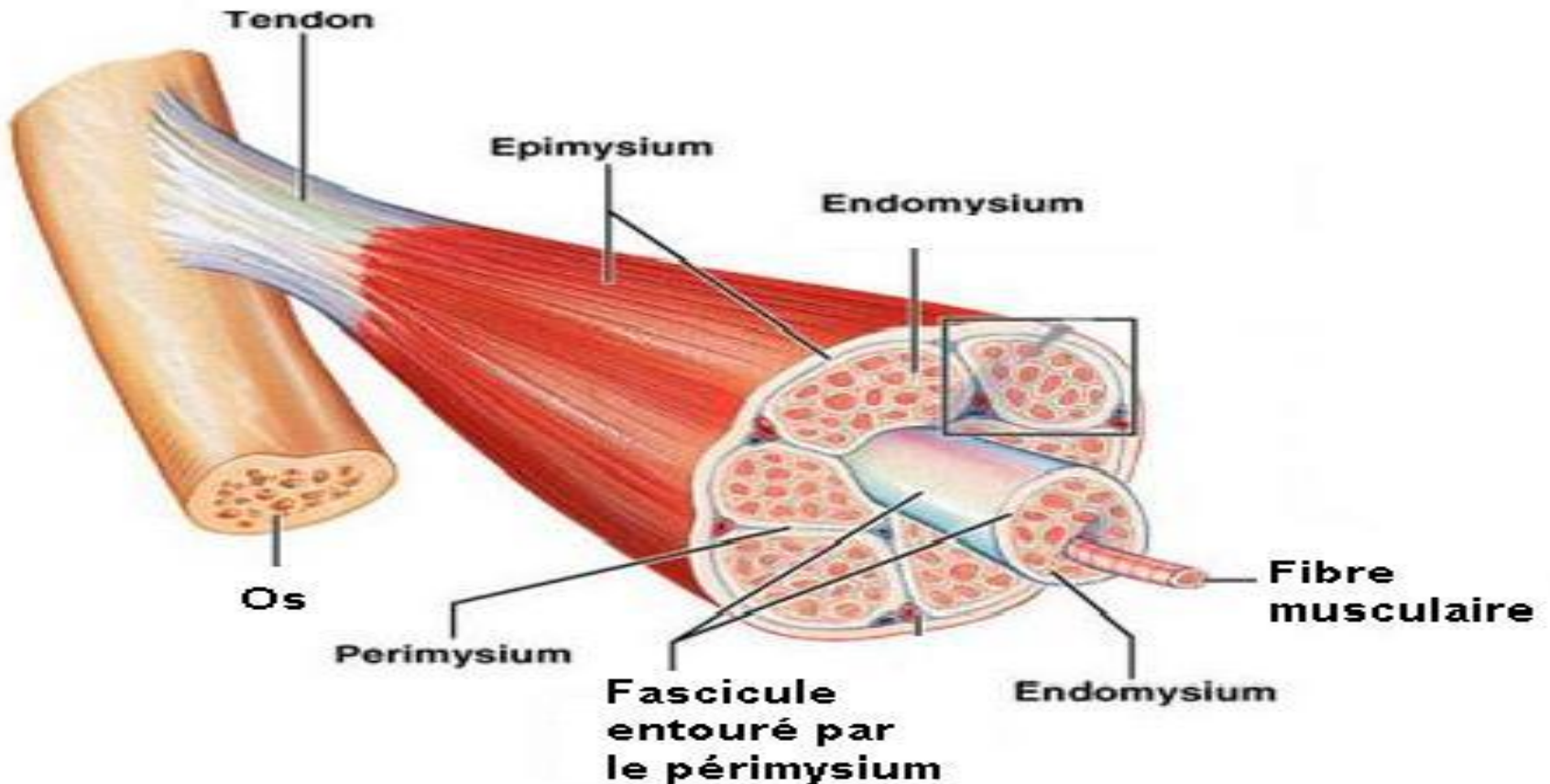
= L'organe effecteur de la motricité somatique

Ensemble des fonctions qui permettent au corps humain de se déplacer dans un milieu et d'effectuer des mouvements en mobilisant les os du squelette autour de leurs articulations.

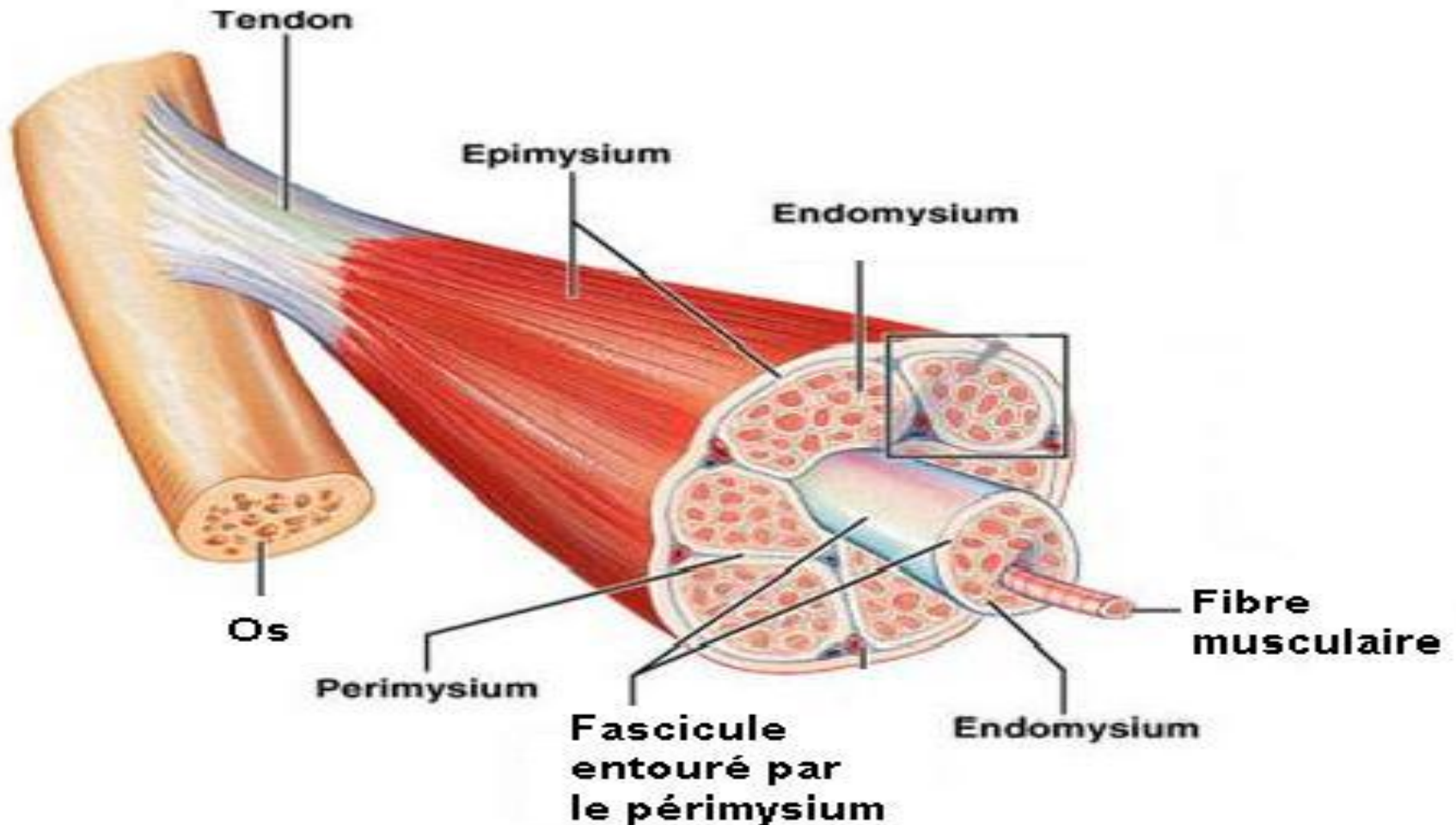
II- ANATOMIE PHYSIOLOGIQUE

1. Macroscopie:

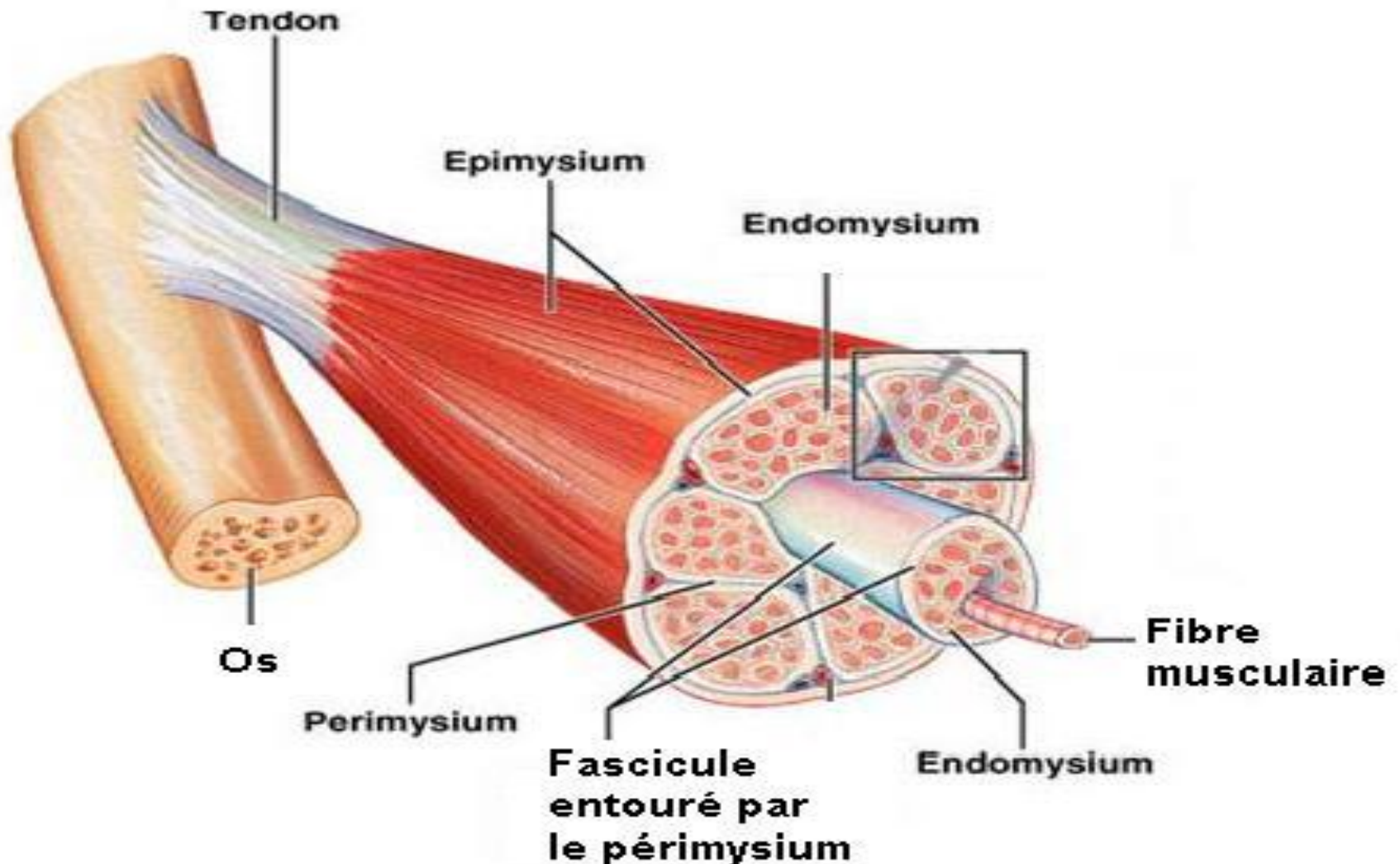
Constitué par un ensemble de faisceaux musculaires entouré d'une enveloppe commune : l'**épimysium**: tissu conjonctif dense



Chaque faisceau musculaire est constitué de plusieurs milliers fibres musculaires, il est entouré par une enveloppe appelée **périmysium**: cloison conjonctive

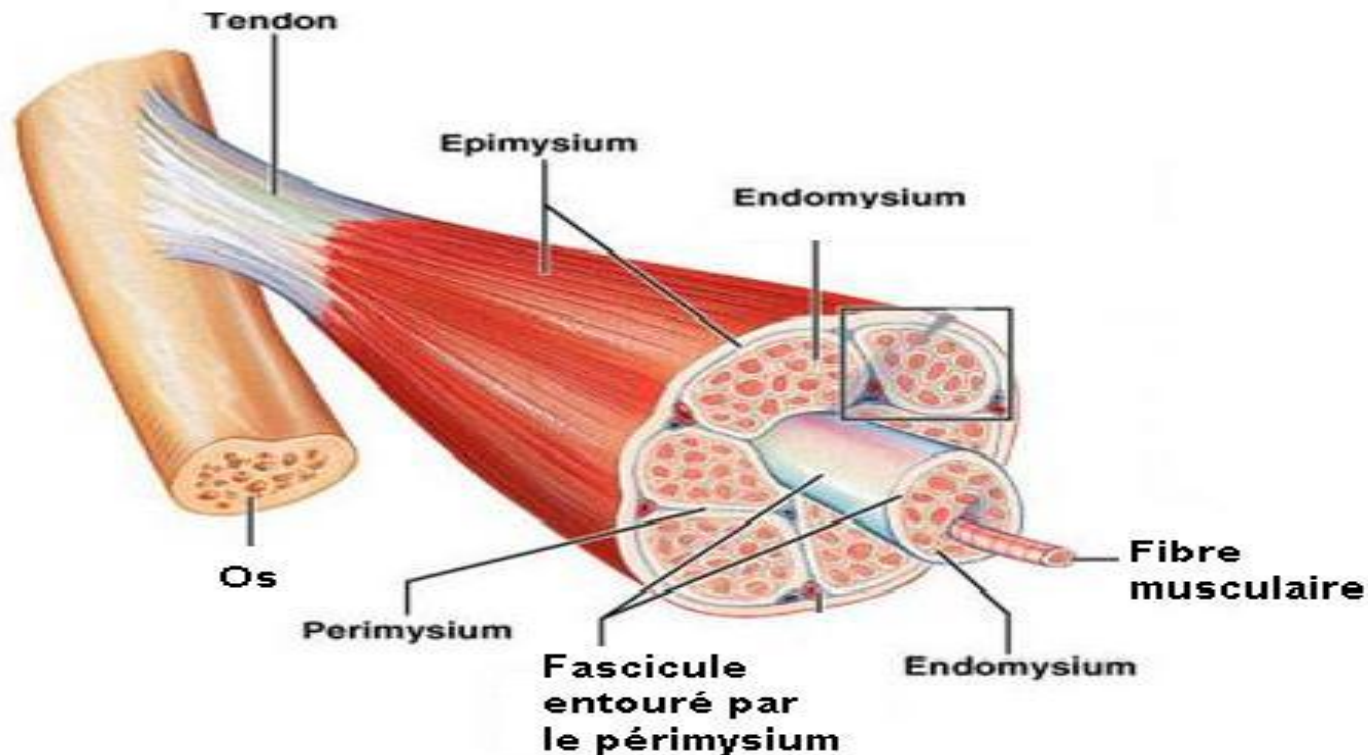


Chaque fibre musculaire est entourée par une gaine appelée **endomysium**: fine cloison de tissu conjonctif



Toutes ces enveloppent se rejoignent aux extrémités du muscle pour constituer le **tendon** qui se fixe sur l'os.

Le tendon assure la transmission mécanique des forces exercées par les structures contractiles.

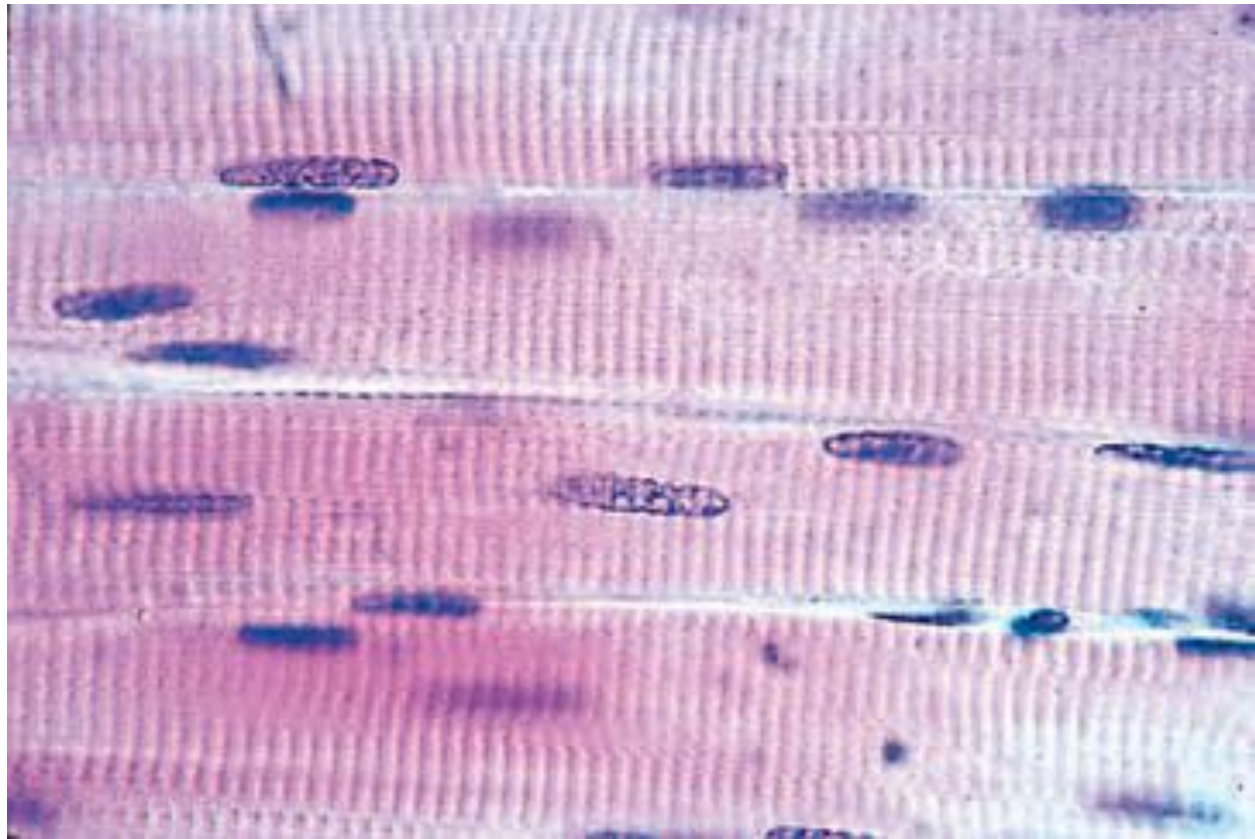


- Diamètre de la fibre musculaire = 50 – 100 μm
- Longueur = 4 mm (œil) – 30 cm (cuisse) en fonction du lieu où elle est fixée.
- La fibre musculaire contient 100 000 – 1 Million d'éléments contractiles indépendants, arrangés parallèlement = les **myofibrilles**



2. Microscopie:

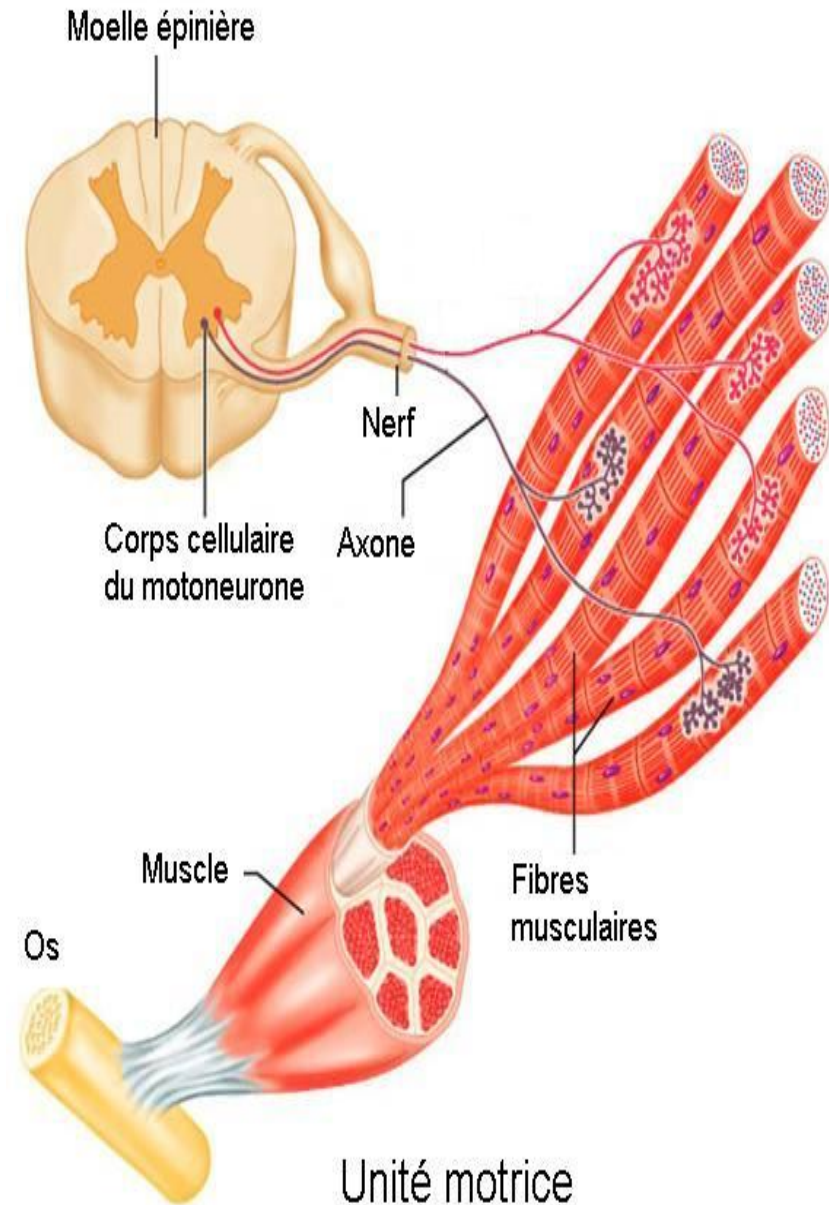
- Fibre musculaire = cellule allongée (myocyte), multinuclée (2 à 5 noyaux)
- Membrane cytoplasmique = **Sarcolemme**
- Cytoplasme = **Sarcoplasme**
 - Réticulum endoplasmique
 - Myofibrilles
 - ATP
 - Mitochondries
 - Glycogène
 - Protéines libres
 - Lipides



3. L'unité motrice:

Le muscle est contrôlé ou innervé par plusieurs **motoneurones** dont les corps cellulaires sont rassemblés dans la corne antérieure de la moelle épinière.

L'axone chemine de la m.e jusqu'au muscle dans les nerfs périphériques, ou il innerve de **100 – 1000** fibres musculaires



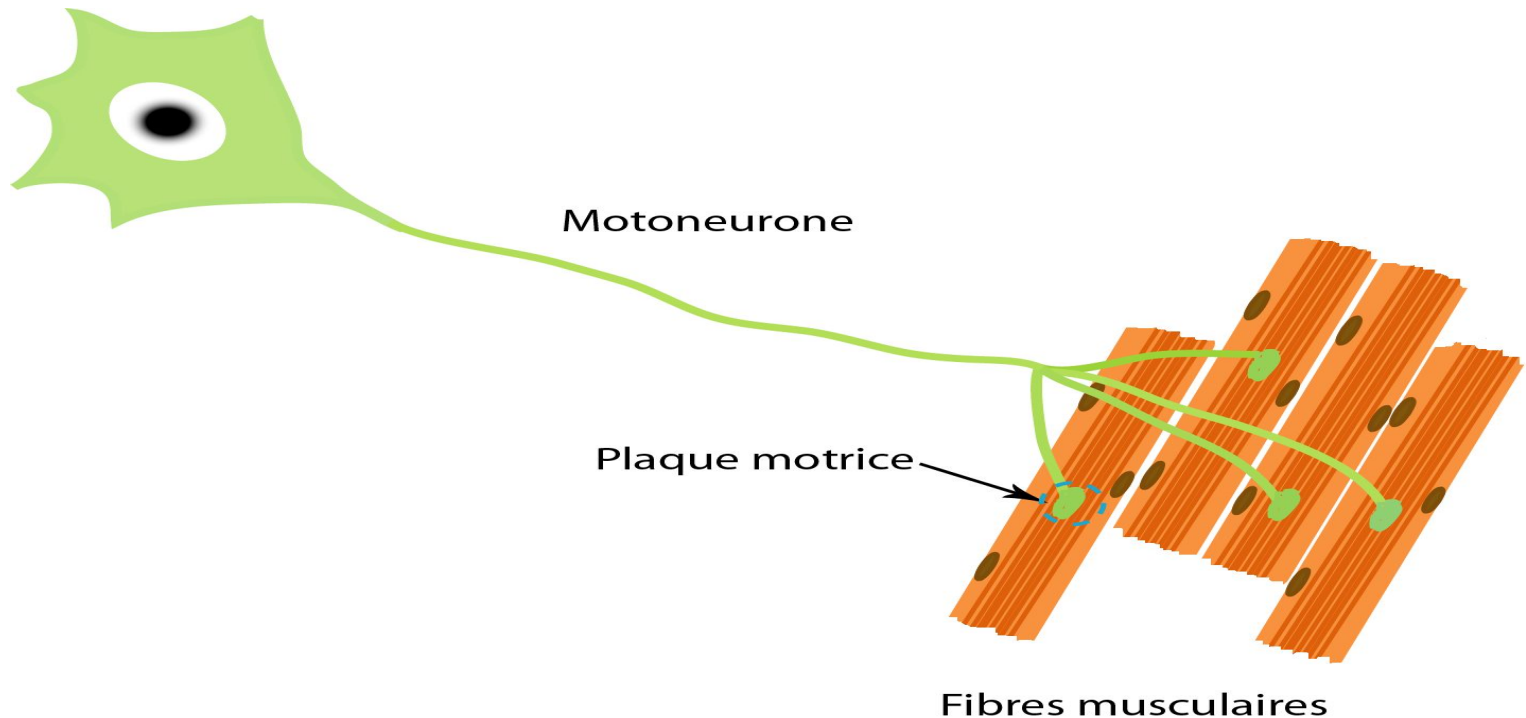
Unité motrice

=

Un motoneurone alpha ($Mn\alpha$)

+

l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve



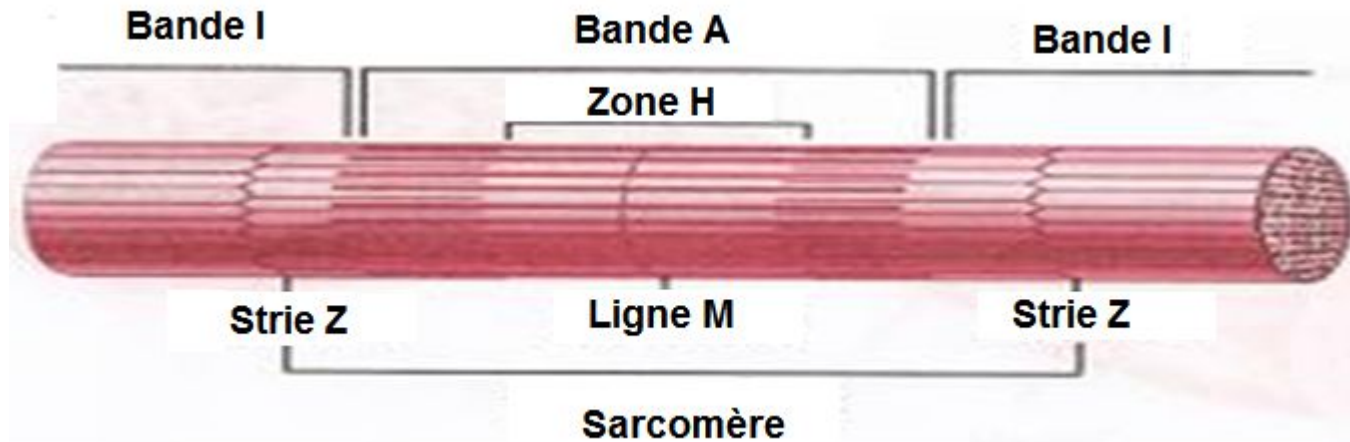
4. L'unité fonctionnelle contractile = **Le sarcomère**

Myofibrille = élément cylindrique allongé contractile.

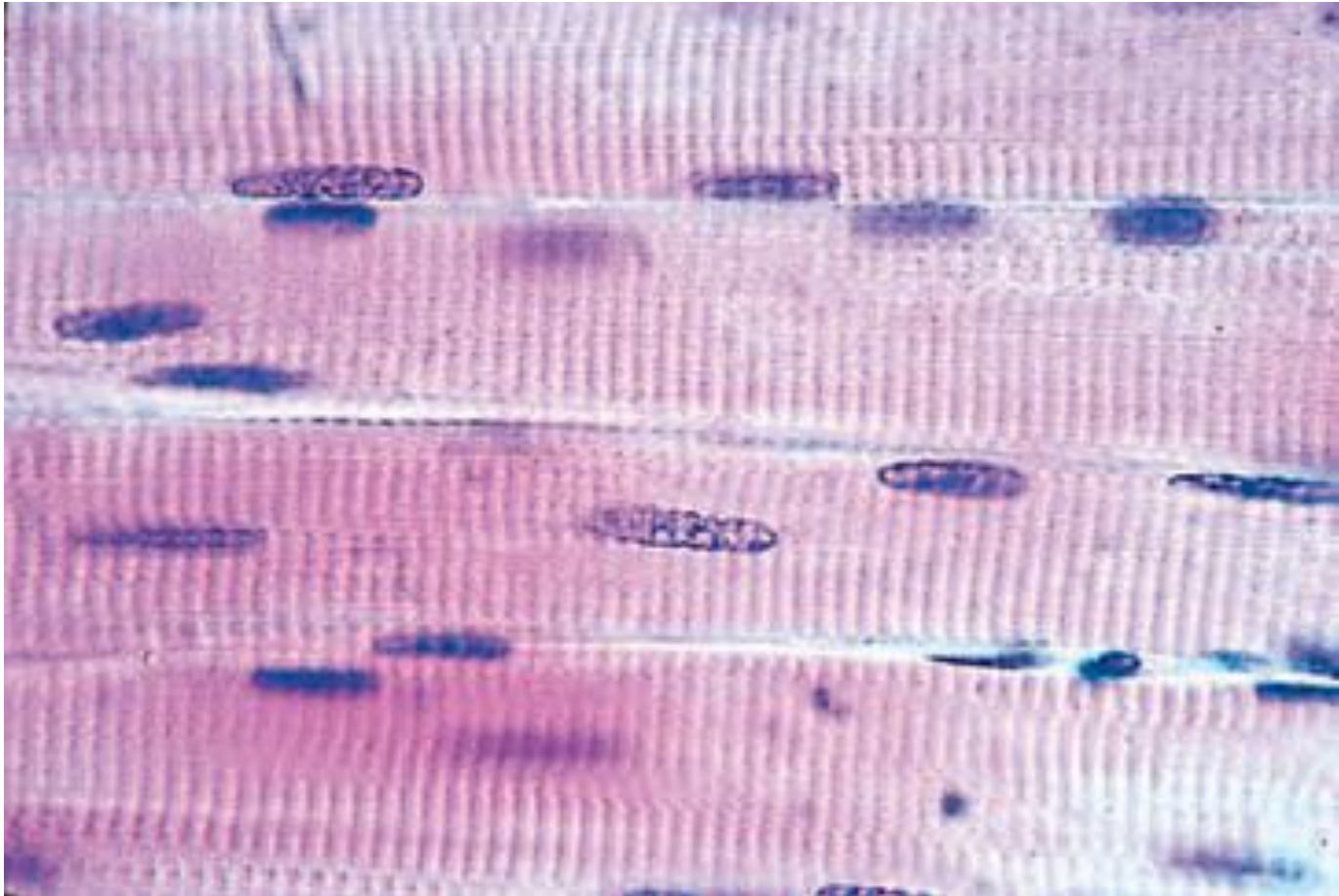
Diamètre de 1-3 μM

Au microscope optique : Alternance régulière de zones claires (**bandes « I »**) et de zones sombres (**bandes « A »**)

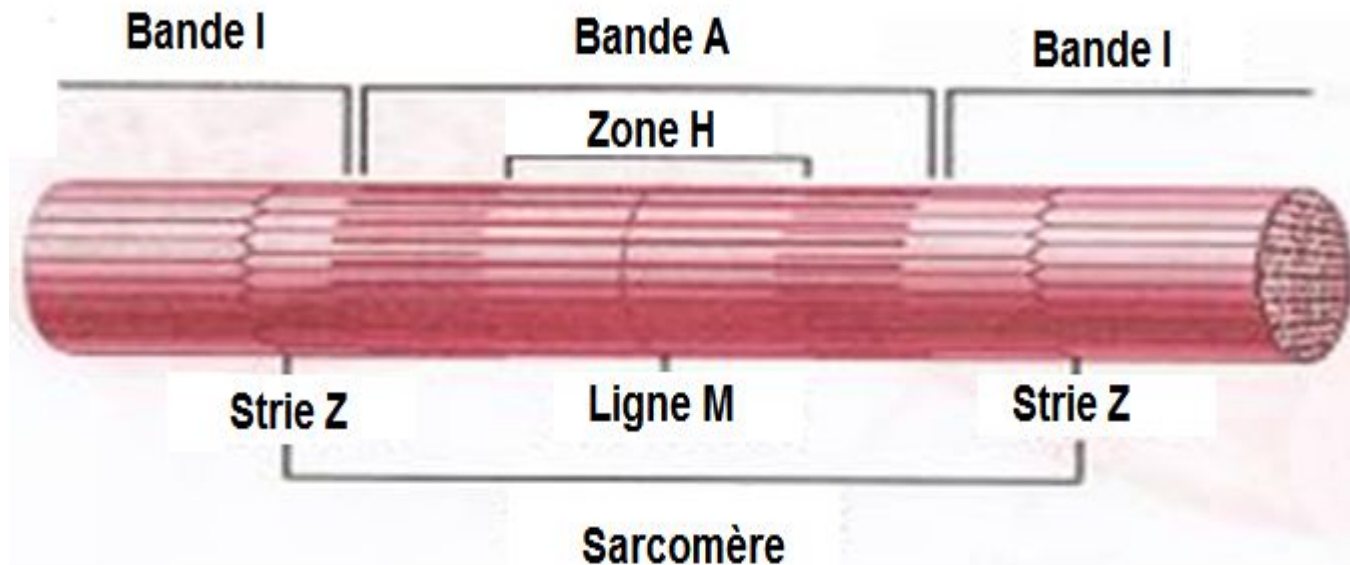
Les bandes I et A de chaque myofibrille se trouvent au même niveau donnant à la fibre musculaire son aspect strié



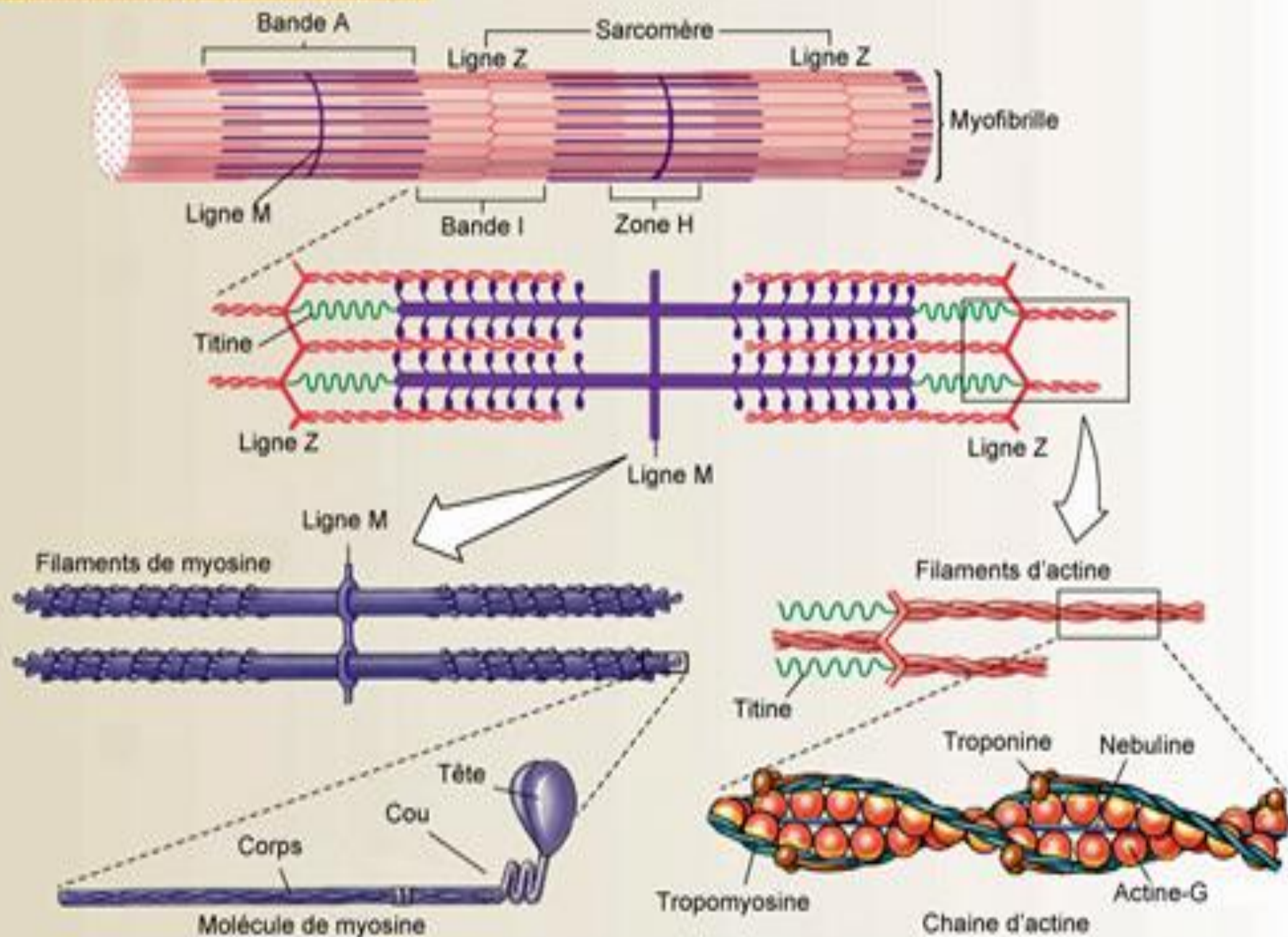
Aspect strié de la fibre musculaire



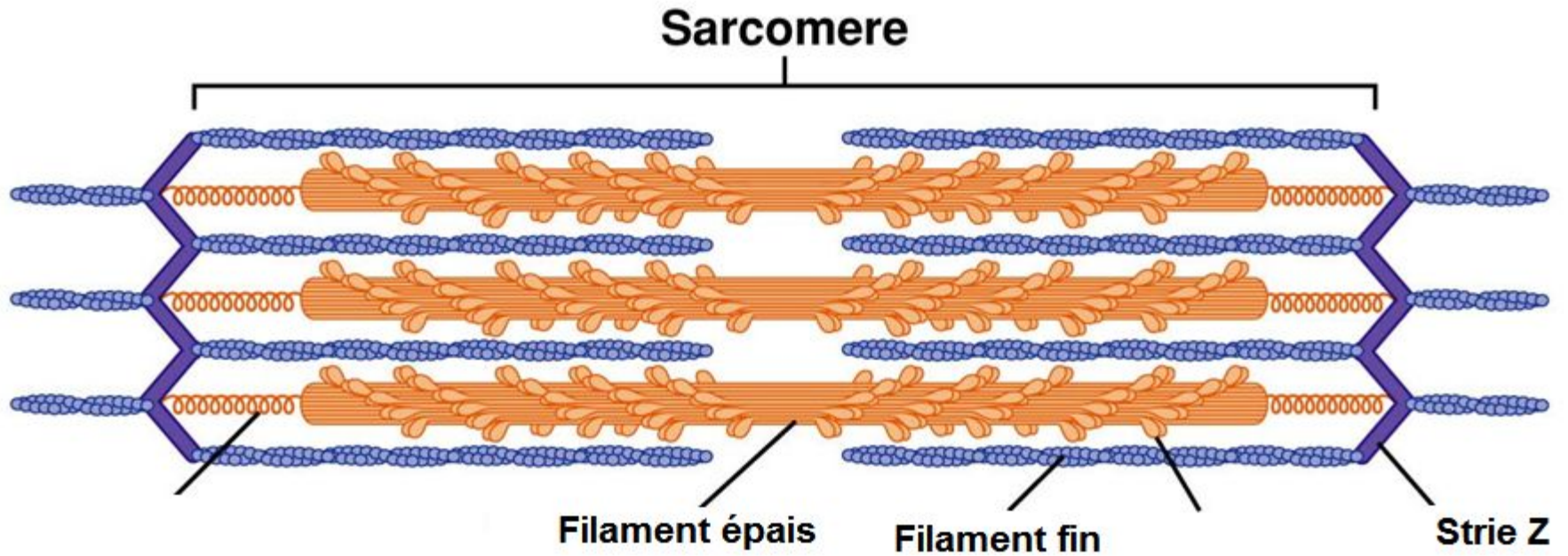
- Au milieu de chaque bande I se trouve une membrane transversale appelée **strie Z**
- La partie de myofibrille comprise entre 2 stries Z = **Sarcomère** = unité fonctionnelle contractile
- Longueur = 2,5 μm
- Au milieu de la bande A se trouve une zone claire = **zone H**
- Au milieu de la zone H se trouve la **ligne M**



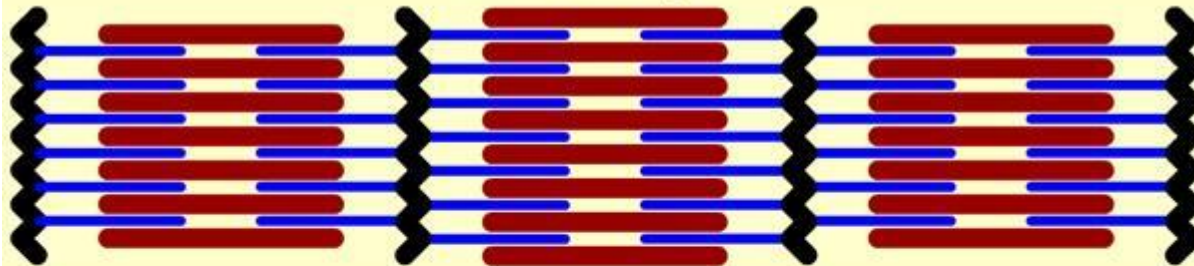
Ultrastructure d'une myofibrille



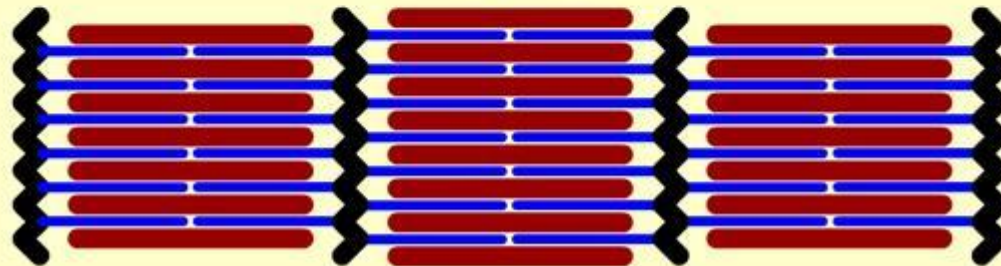
Le sarcomere

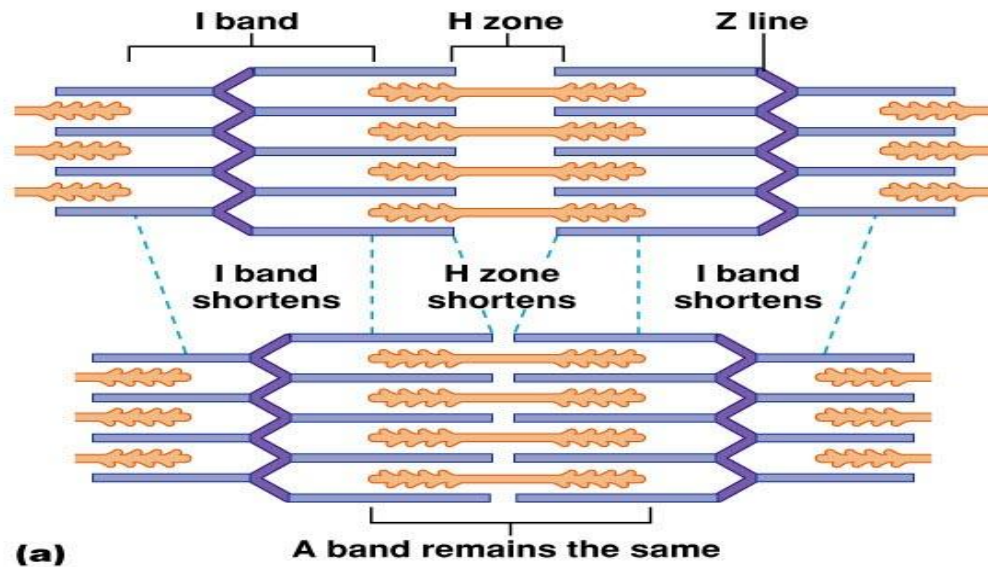


Muscle au repos:

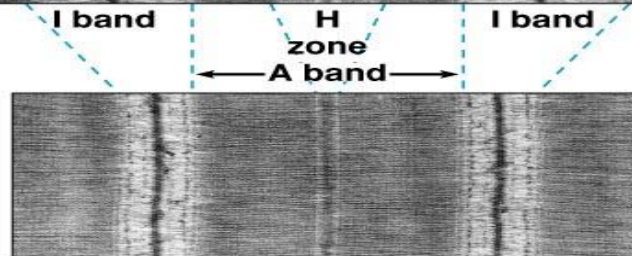
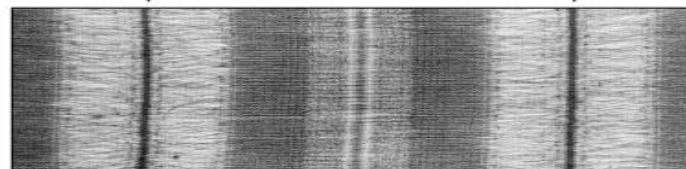


Muscle contracté:





Sarcomere (muscle relaxed)



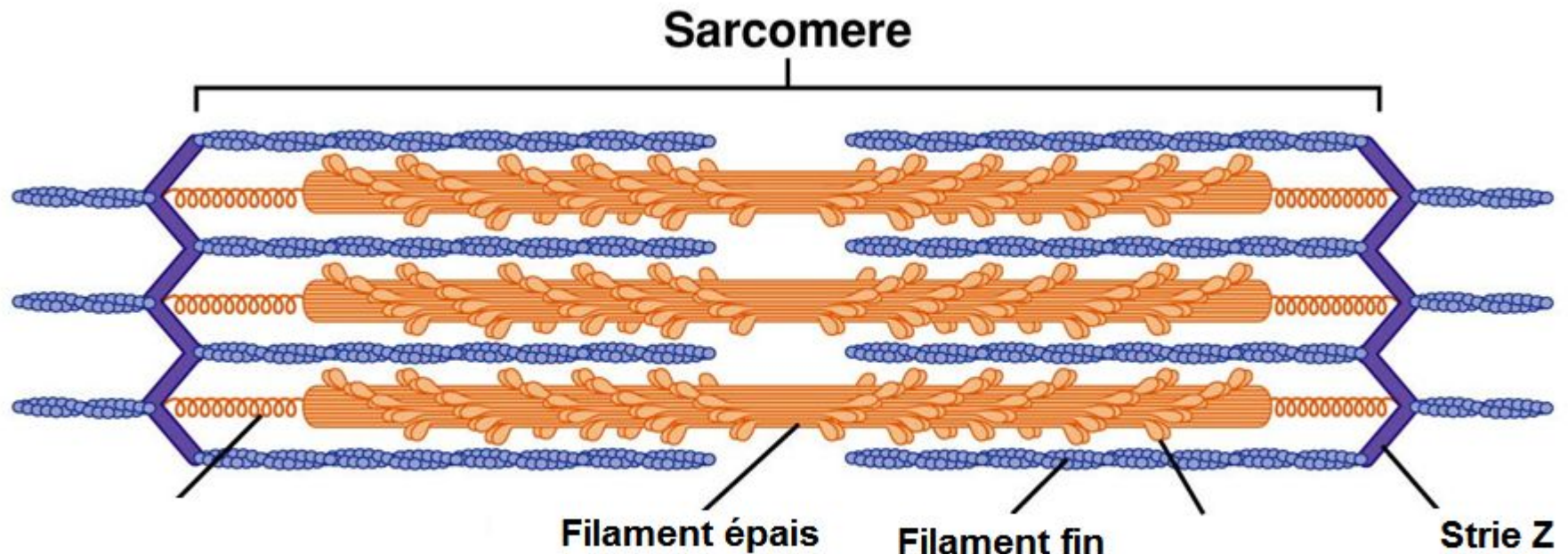
(b)

Sarcomere (muscle contracted)

- Au microscope électronique

Il existe de 2 types de filaments disposés parallèlement :

- Les filaments épais : myosine
- Les filaments fins : actine



a. Filaments épais:

150-360 molécules de **myosine**

Aspect d'un bâton de golf

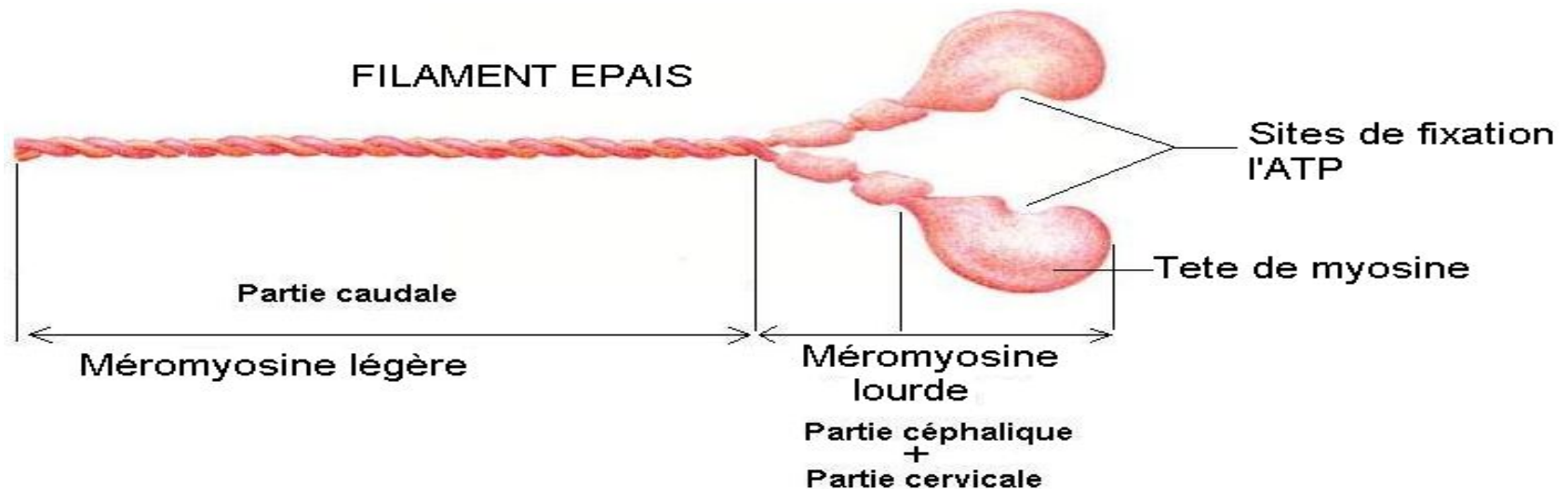
Protéines lourdes, PM = 500 kDa



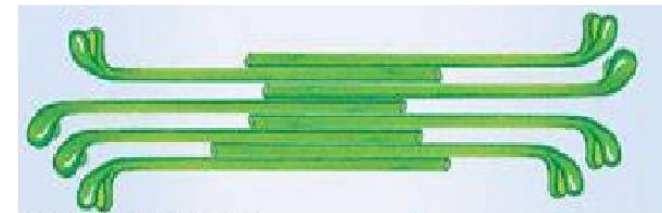
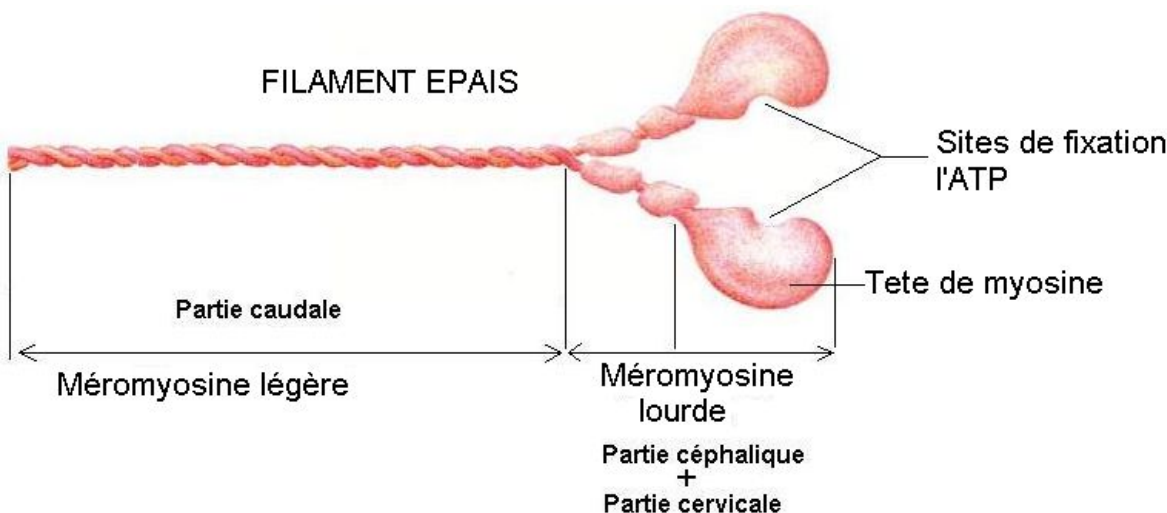
Myosine :

Partie céphalique (tête de myosine) + Partie cervicale = Méromyosine lourde

Partie caudale = Méromyosine légère.



- Tête de myosine = **site de fixation de l'ATP**
- Disposition particulière , le manche est orienté vers le centre du sarcomère
- La mobilité de la partie cervico-cephalique à la manière d'une articulation permet la fixation réversible du filament épais avec le filament fin et de leur glissement les uns sur les autres

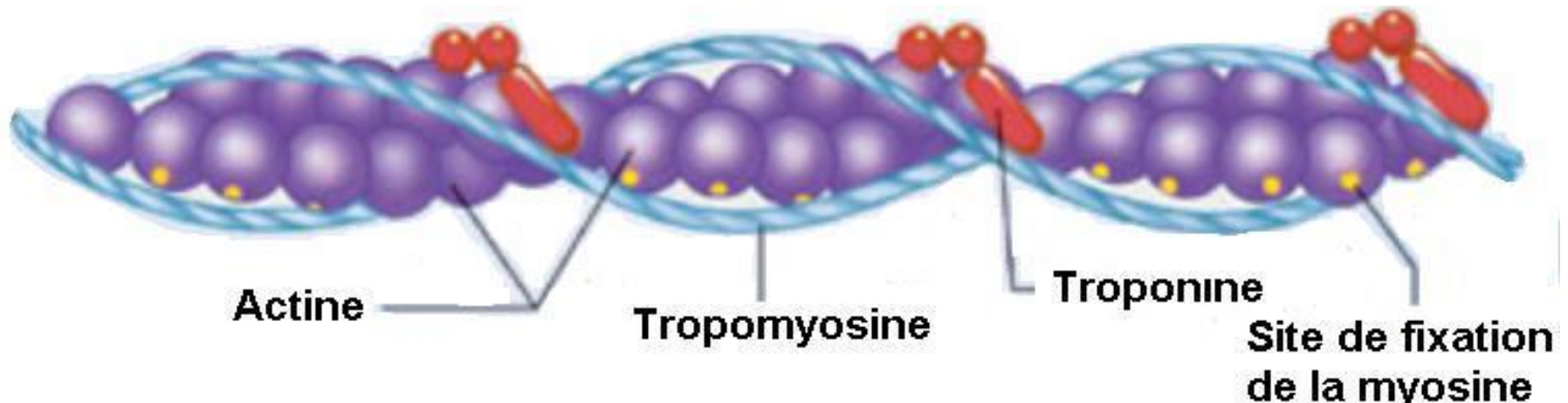


b. Filaments fins

Composés de 3 protéines :

- **Actine**
- **Tropomyosine**
- **Troponine**

FILAMENT FIN

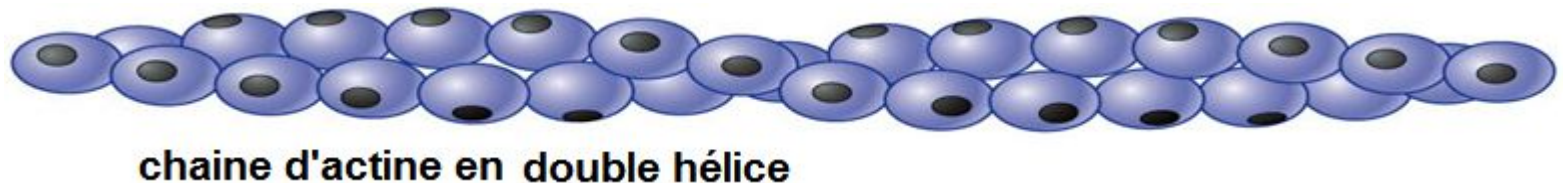
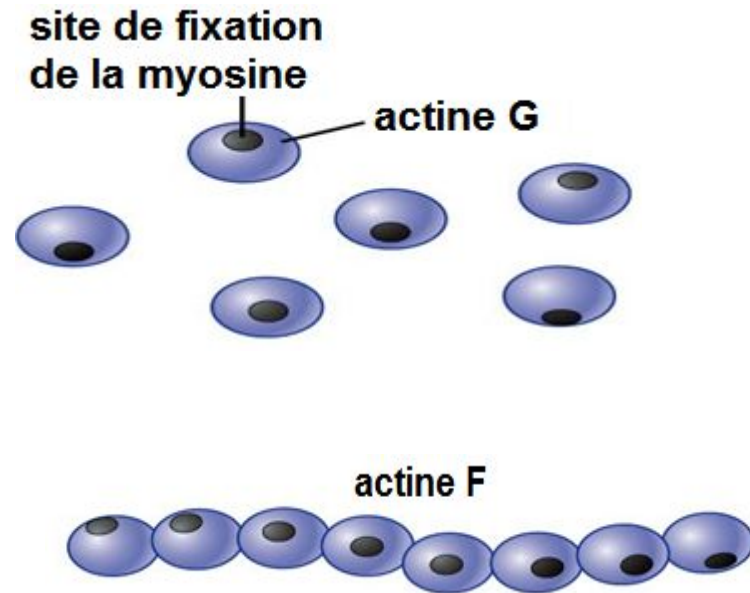


- **Actine**

Protéine globulaire, actine G

Dans une solution elle est polymérisée en Actine F = chaîne qui ressemble à un enfilement de perles.

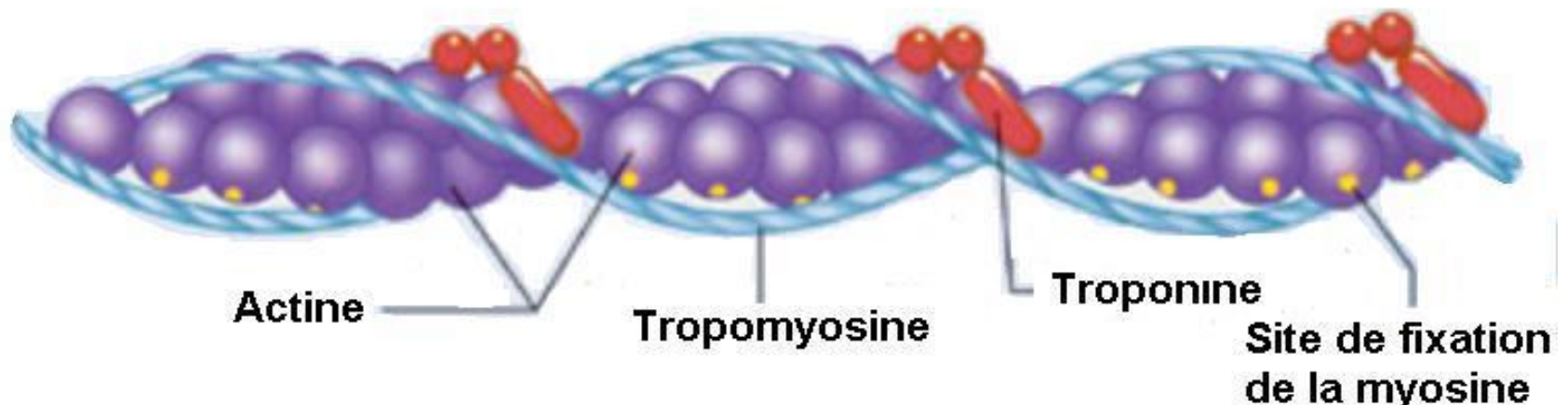
2 exemplaires de cette chaîne s'enroule à la manière d'une hélice pour former un filament d'actine



- **Tropomyosine**

Constituée de 2 chaînes polypeptidiques qui s'enroule autour du filament d'actine pour le stabiliser

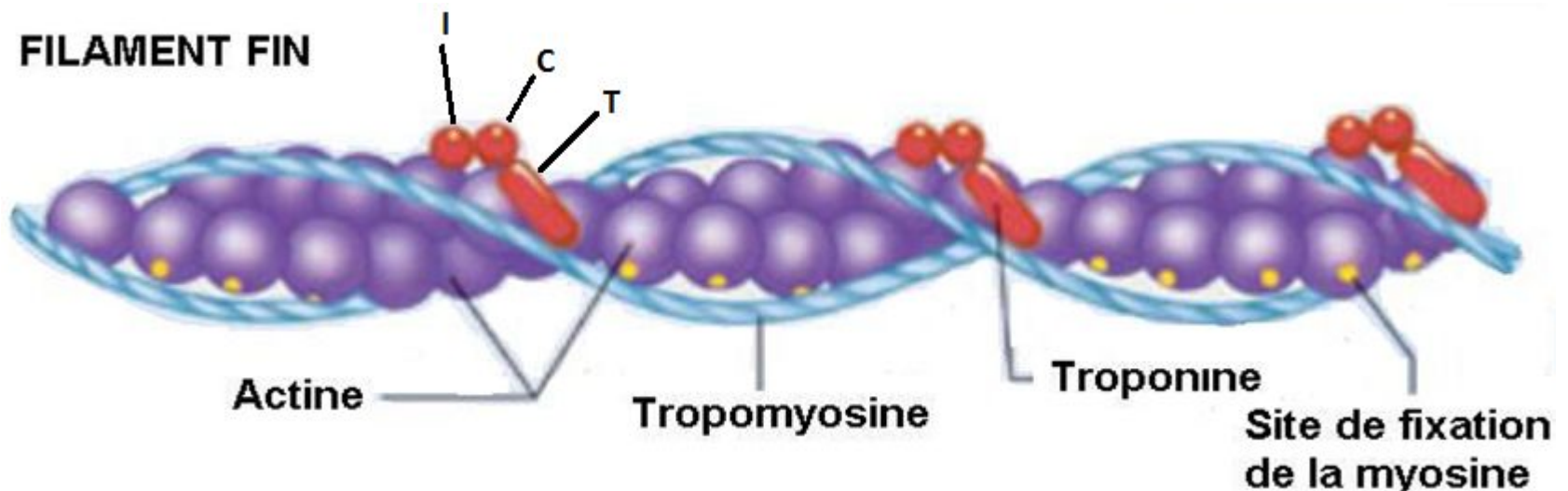
FILAMENT FIN



Troponine:

Se dispose chaque 40 nM, se compose de 3 sous unités

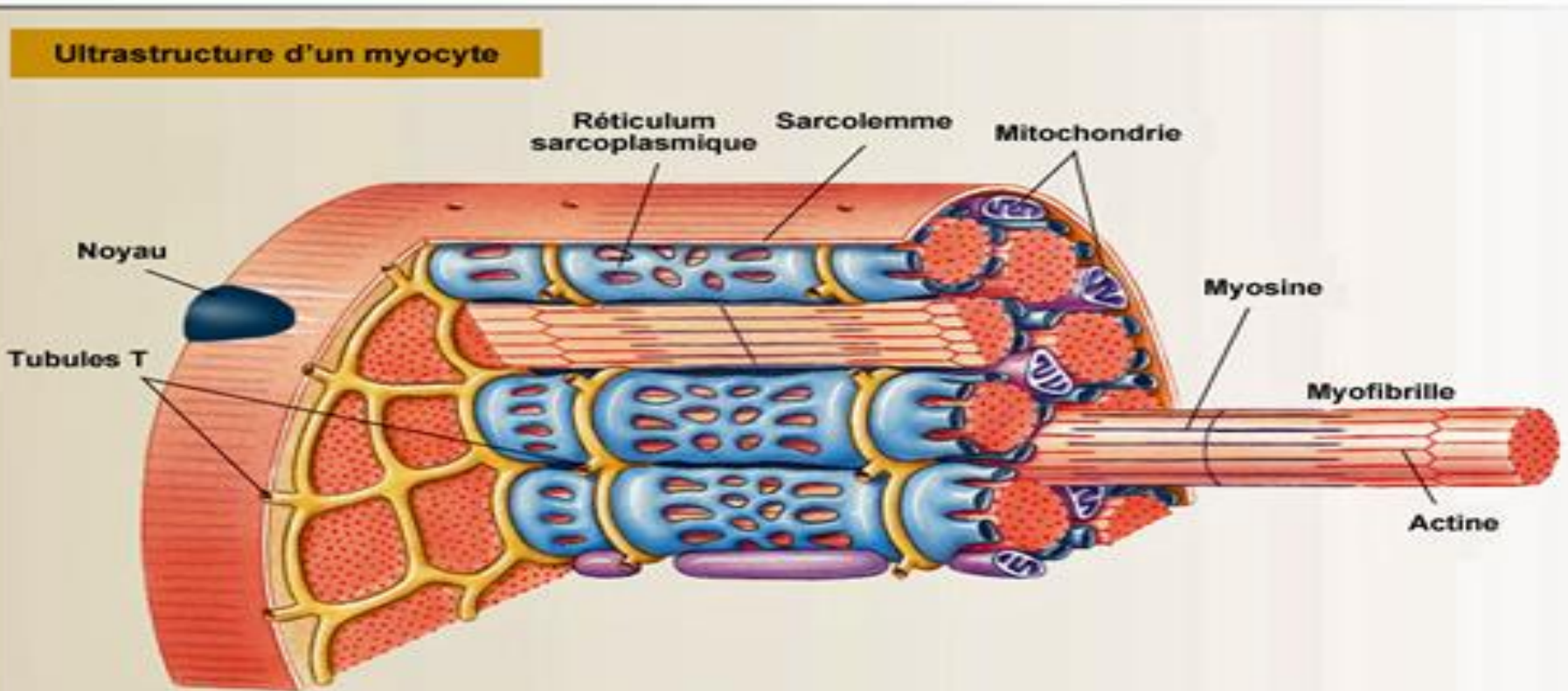
- Troponine T: responsable de la liaison avec la tropomyosine
- Troponine C: fixe le calcium
- Troponine I: inhibe l'activité ATPasique de la tête de myosine
Inhibe la fixation de la tête de myosine



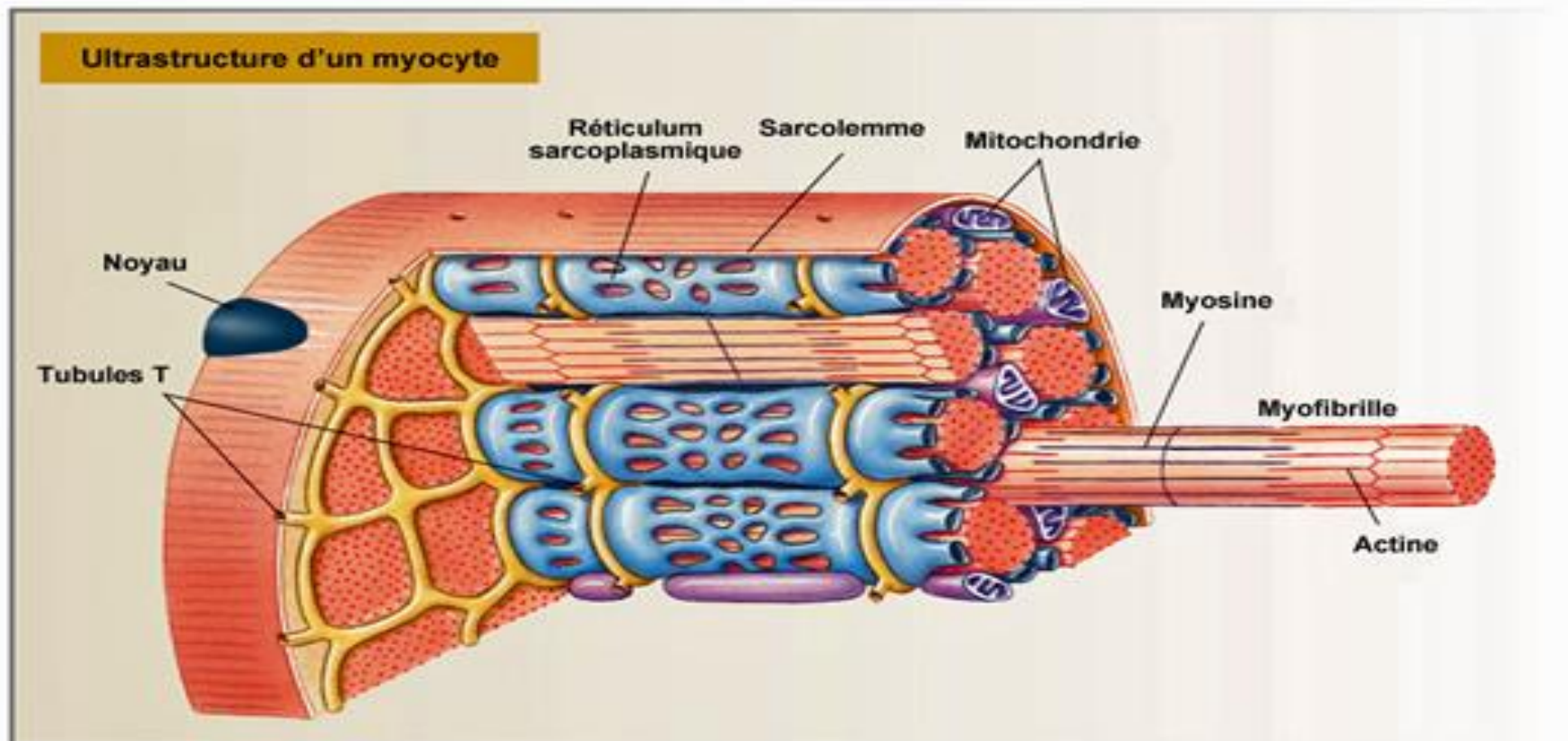
5. Réticulum sarcoplasmique:

Compartiment intracellulaire spécialisé dans le **stockage** et la **libération** du calcium

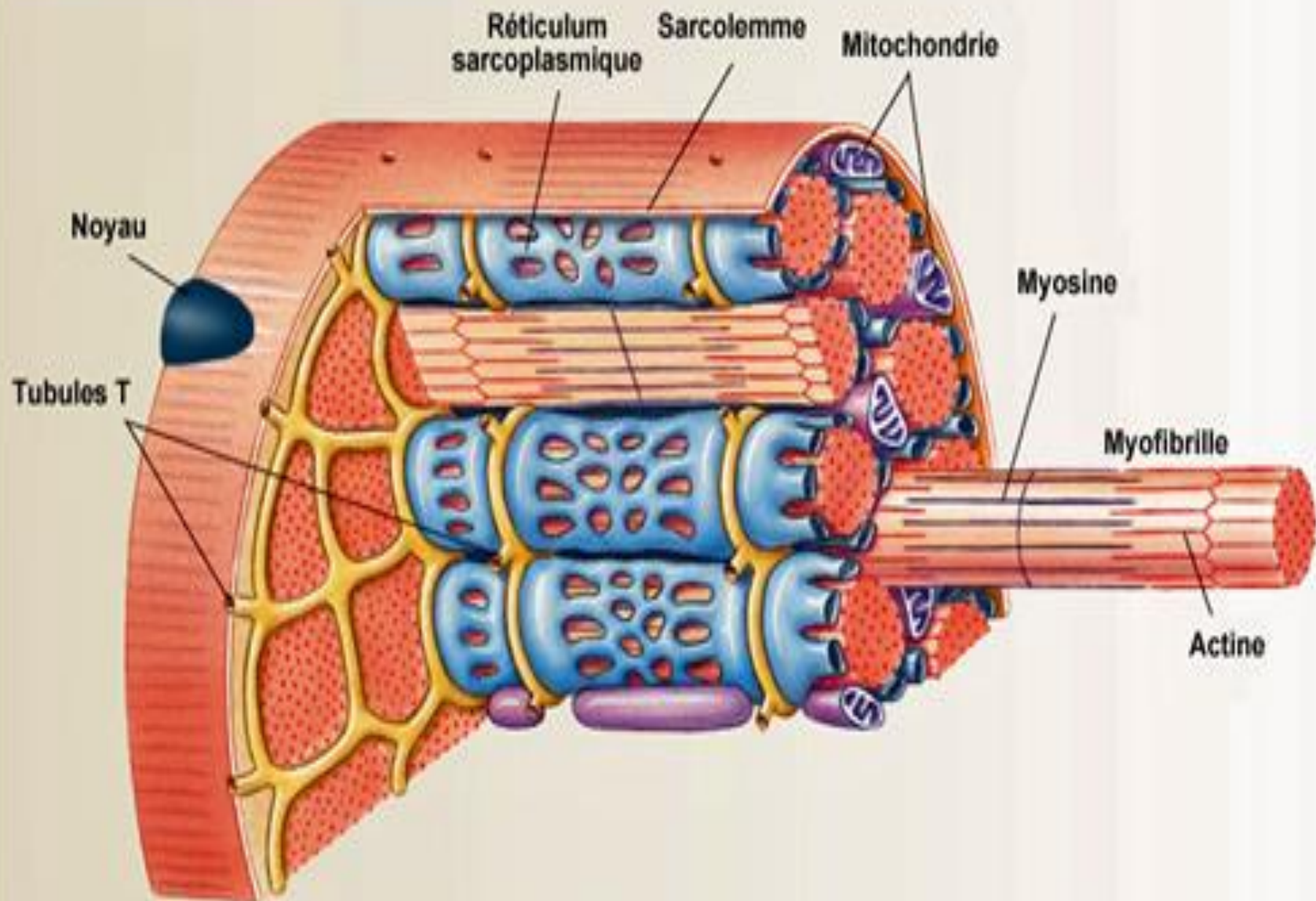
- 2 parties: - Citernes terminales
- Réticulum sarcoplasmique longitudinale



- Le sarcolemme présente des replis internes appelés **tubule transverse**, il permet de conduire le PAM jusqu'à l'intérieur de la fibre musculaire.
- L'association : 1 tubule transverse + 2 citernes terminales adjacentes = une Triade



Ultrastructure d'un myocyte

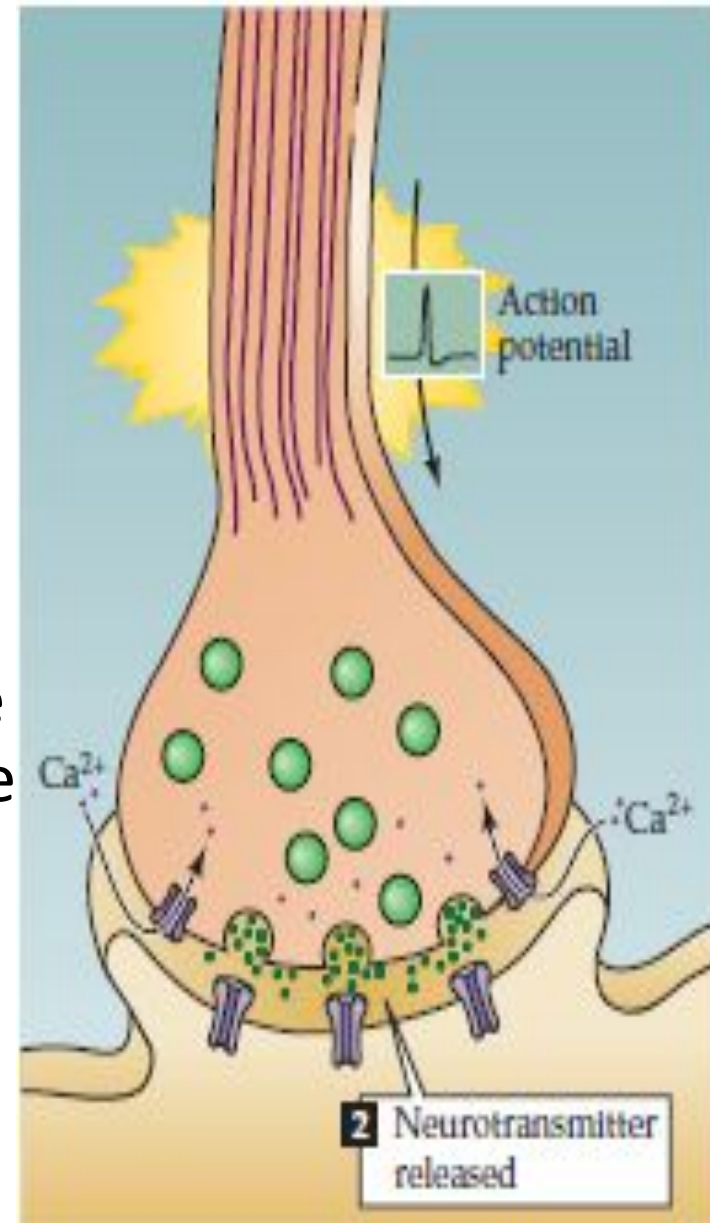


III- LA CONTRACTION MUSCULAIRE

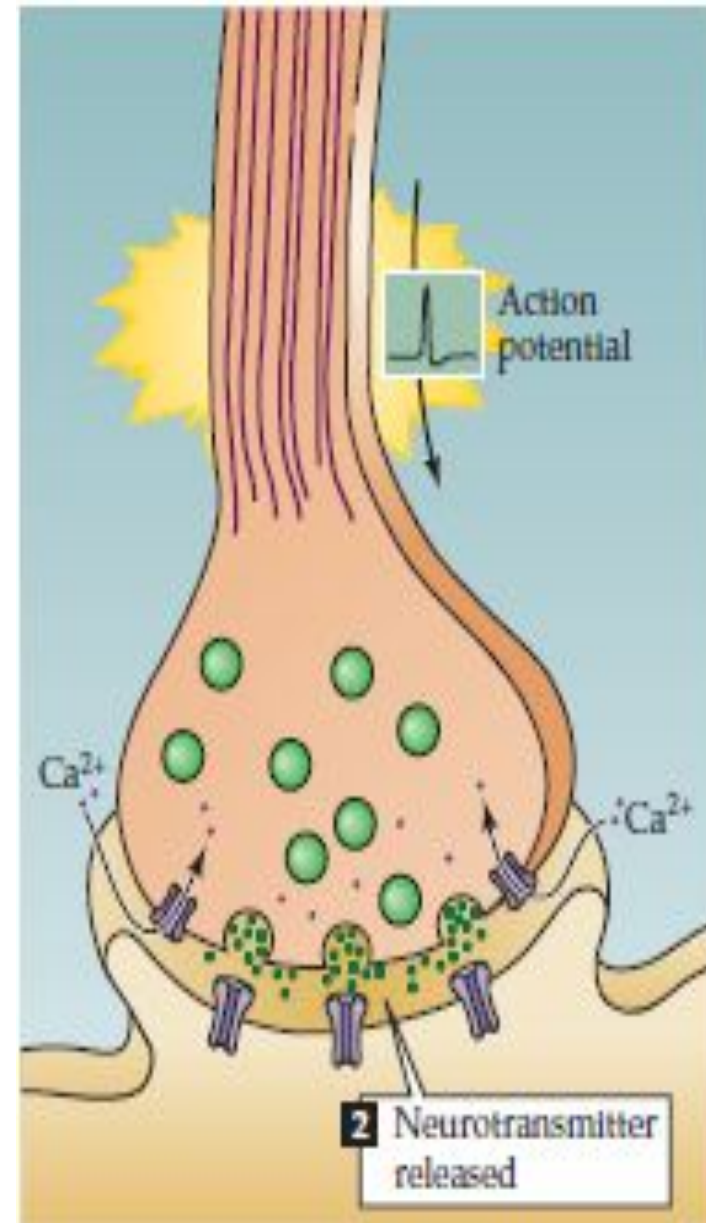
1. Mécanisme général de la contraction musculaire:

Excitation préalable des fibres musculaires par les motoneurones alpha

Le P.A arrive à la terminaison axonale et va entraîner la dépolarisation de la membrane présynaptique et la libération de l'acétylcholine dans l'espace synaptique.



- L'acétylcholine se fixe sur les récepteurs situés dans la membrane post-synaptique et entraine la dépolarisation de cette membrane, on parle de **potentiel de plaque motrice (PPM)**
- Lorsque le PPM atteint le seuil il va produire un P.A = le potentiel d'action musculaire (PAM), qui va se propager vers les extrémités de la fibre musculaire

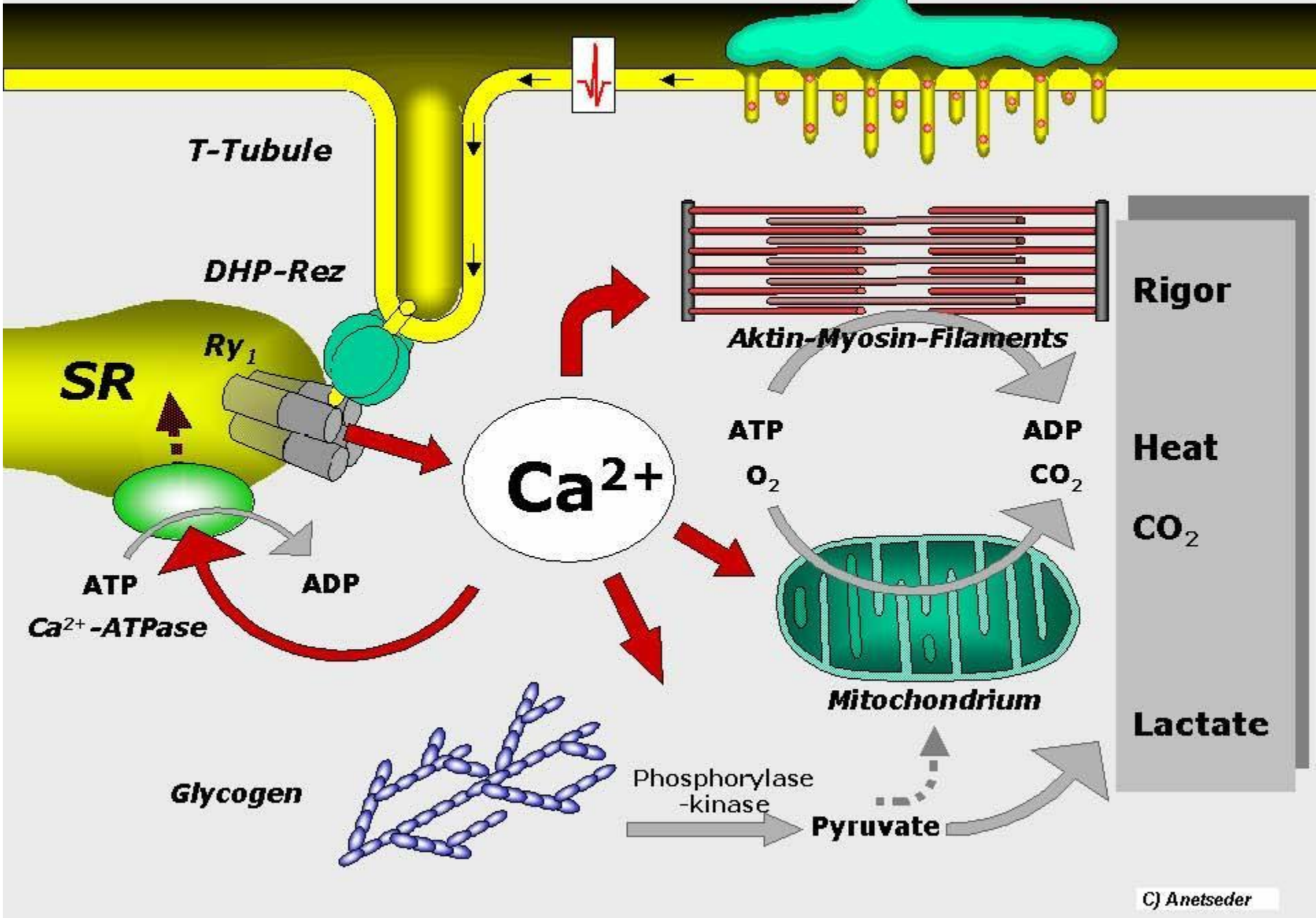


2. Couplage excitation-contraction:

Succession d'événements par laquelle le potentiel d'action musculaire transmis le long du sarcolemme entraine **le glissement des myofibrilles**

L'arrivée du PAM au niveau des triades entraine un flux de Ca^{++} depuis le réticulum sarcoplasmique vers le sarcoplasme qui va être responsable de la contraction qui implique des interactions entre les protéines des F.F et F.E

- La membrane du Tubule T contient un récepteur voltage dépendant = Récepteur à la dihydropyridine :DHPR
- La membrane des citernes terminales contient un récepteur = Récepteur à la ryanodine : RYR
- Ces 2 récepteurs sont en contact
- Lorsque le PAM pénètre le Tubule T il va activer le DHPR qui change de conformation et active le RYR qui s'ouvre et libère le Ca^{+2} stocké dans les citernes.

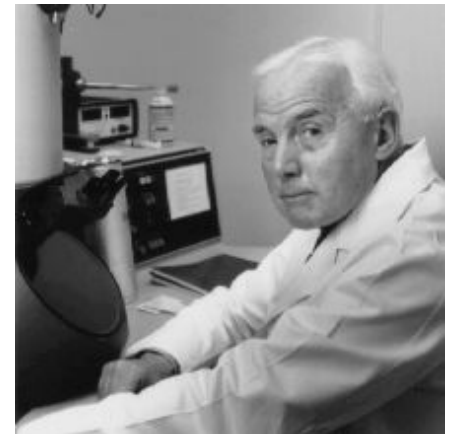
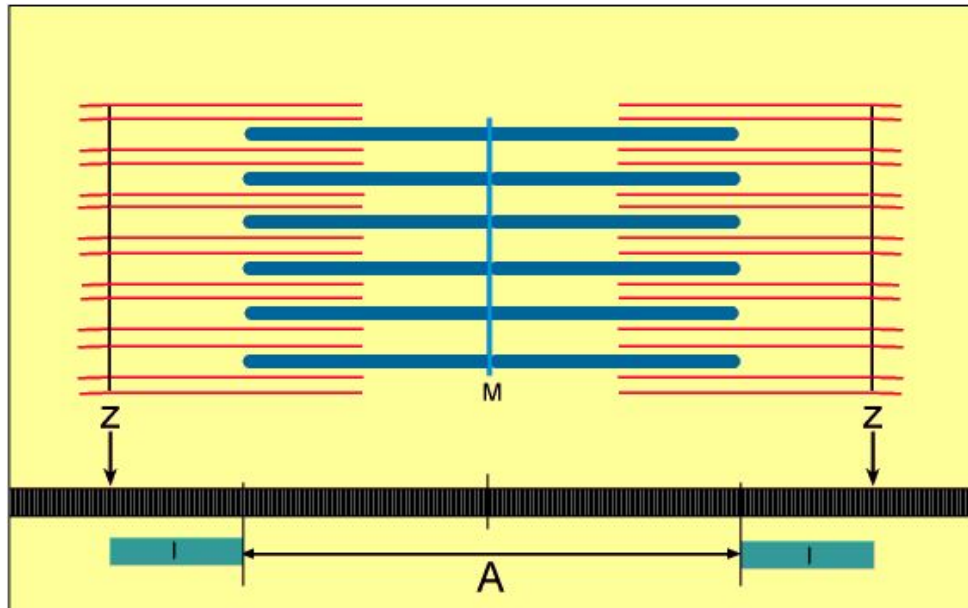


Le Ca^{+2} retourne ensuite vers le réticulum sarcoplasmique grâce à une pompe à Ca^{+2} (la calcium ATP-ase ou SERCA) qui consomme de l'ATP = **Transport actif du Ca^{+2}**

Lorsque le Ca^{+2} retourne vers le réticulum sarcoplasmique sa concentration intracellulaire va diminuer ce qui entraine un arrêt de la contraction = **Le relâchement musculaire.**

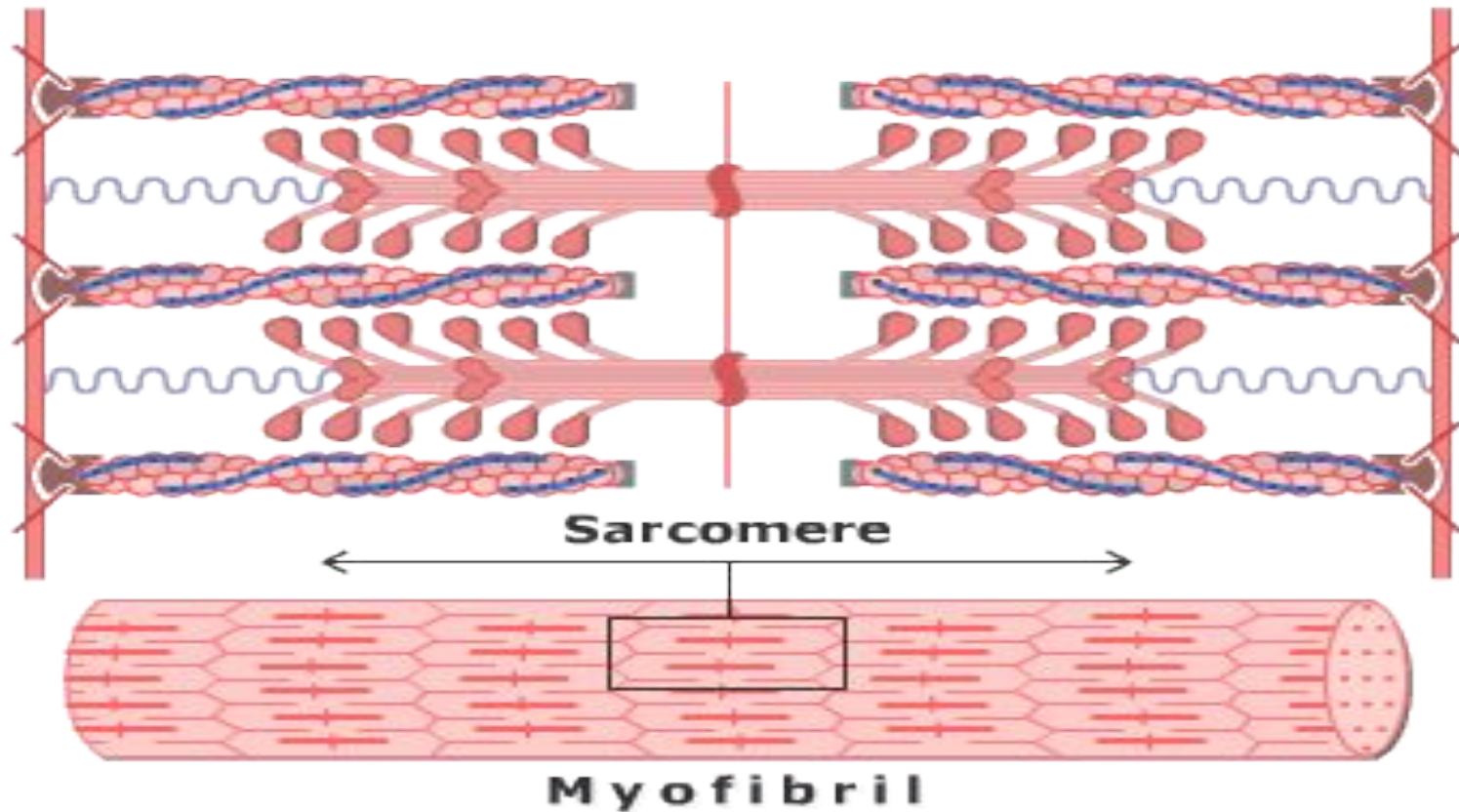
3. Mécanismes moléculaires:

La contraction musculaire correspond au **glissement** des F.F sur les F.E, de sorte que l'actine et la myosine se chevauchent d'avantage aboutissant à une diminution de la longueur de chaque sarcomère = **Théorie de Huxley 1954**

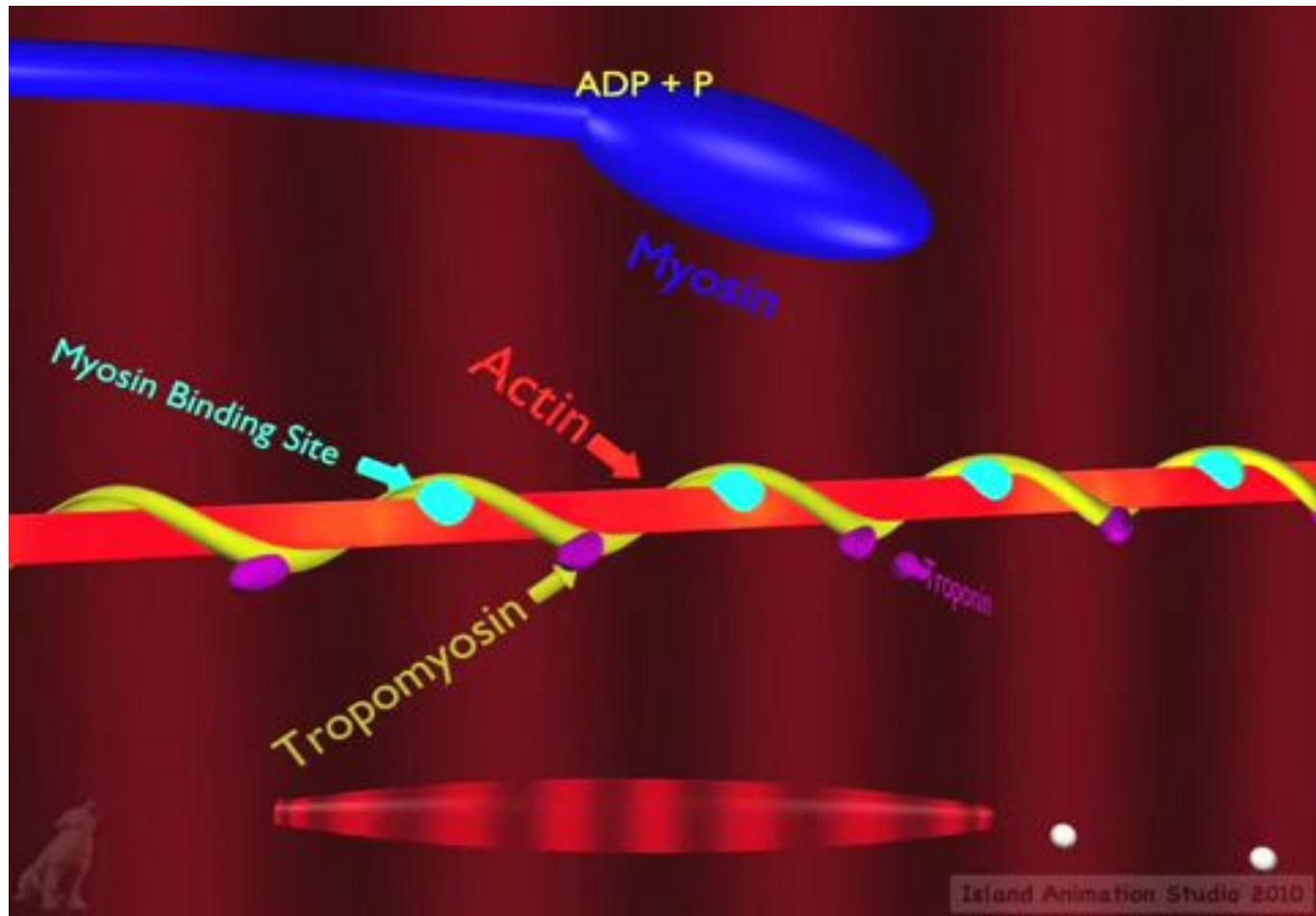


Hugh Huxley
1954

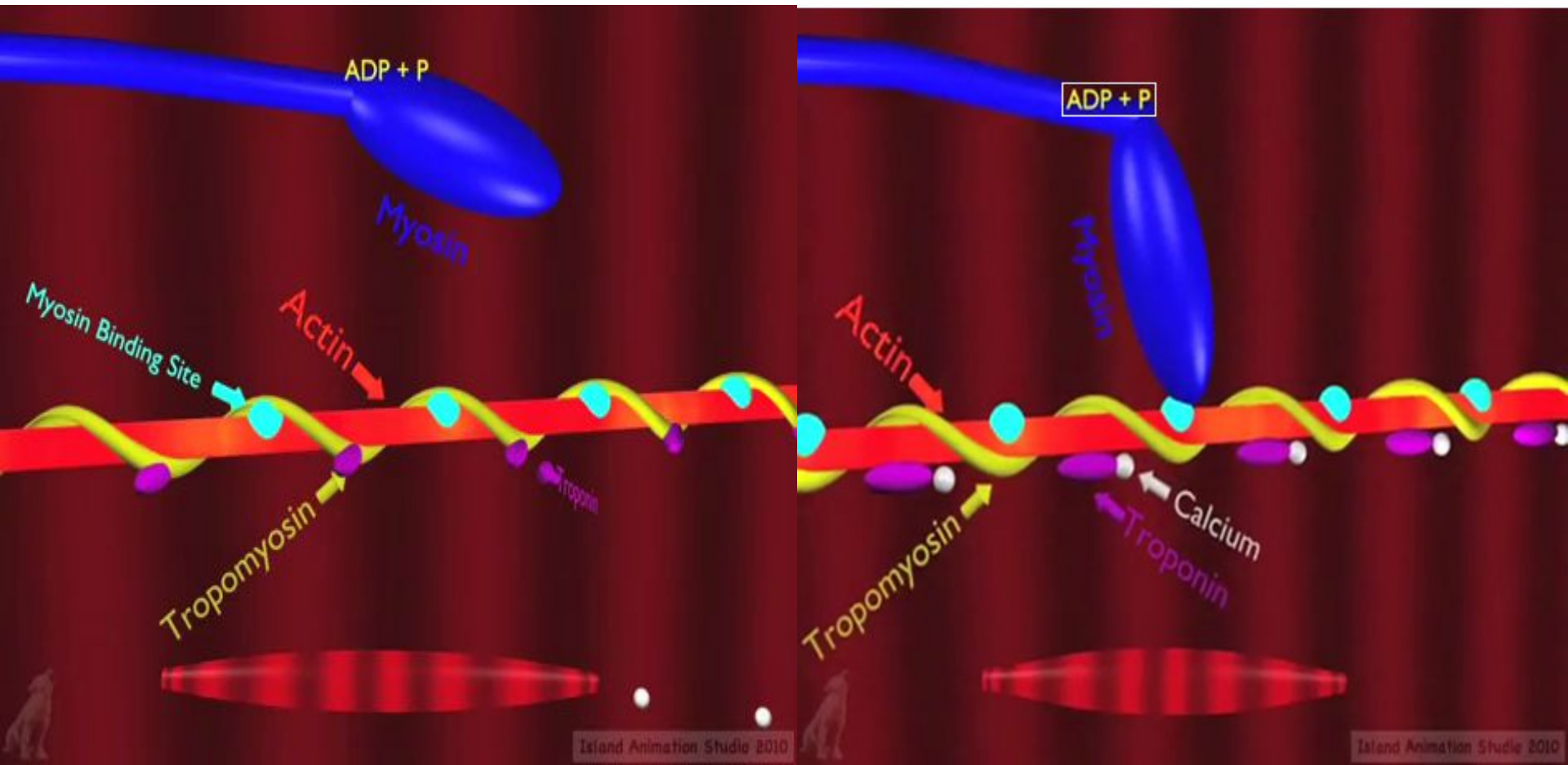
- Ce glissement est dû à des interactions cycliques qui établissent des ponts entre les filaments d'actine et les têtes de myosine



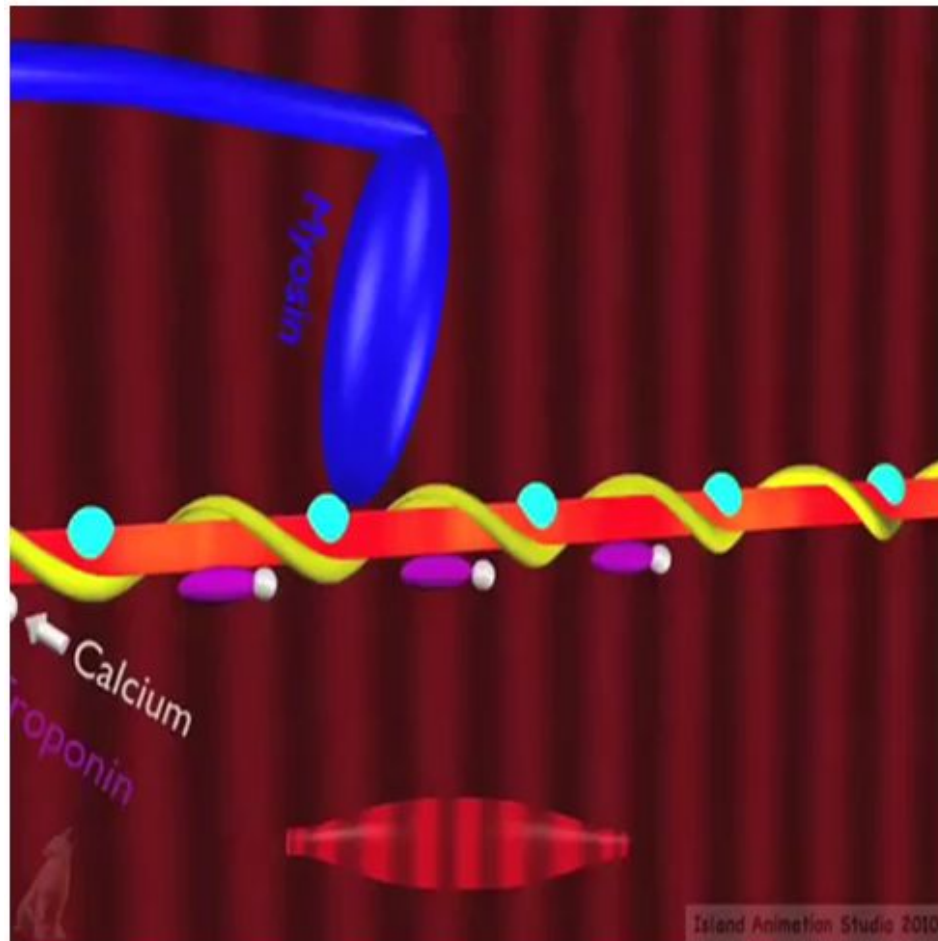
- Au repos la tropomyosine couvre les sites de fixation de la myosine sur l'actine et une molécule d'ATP est fixée sur la tete de myosine



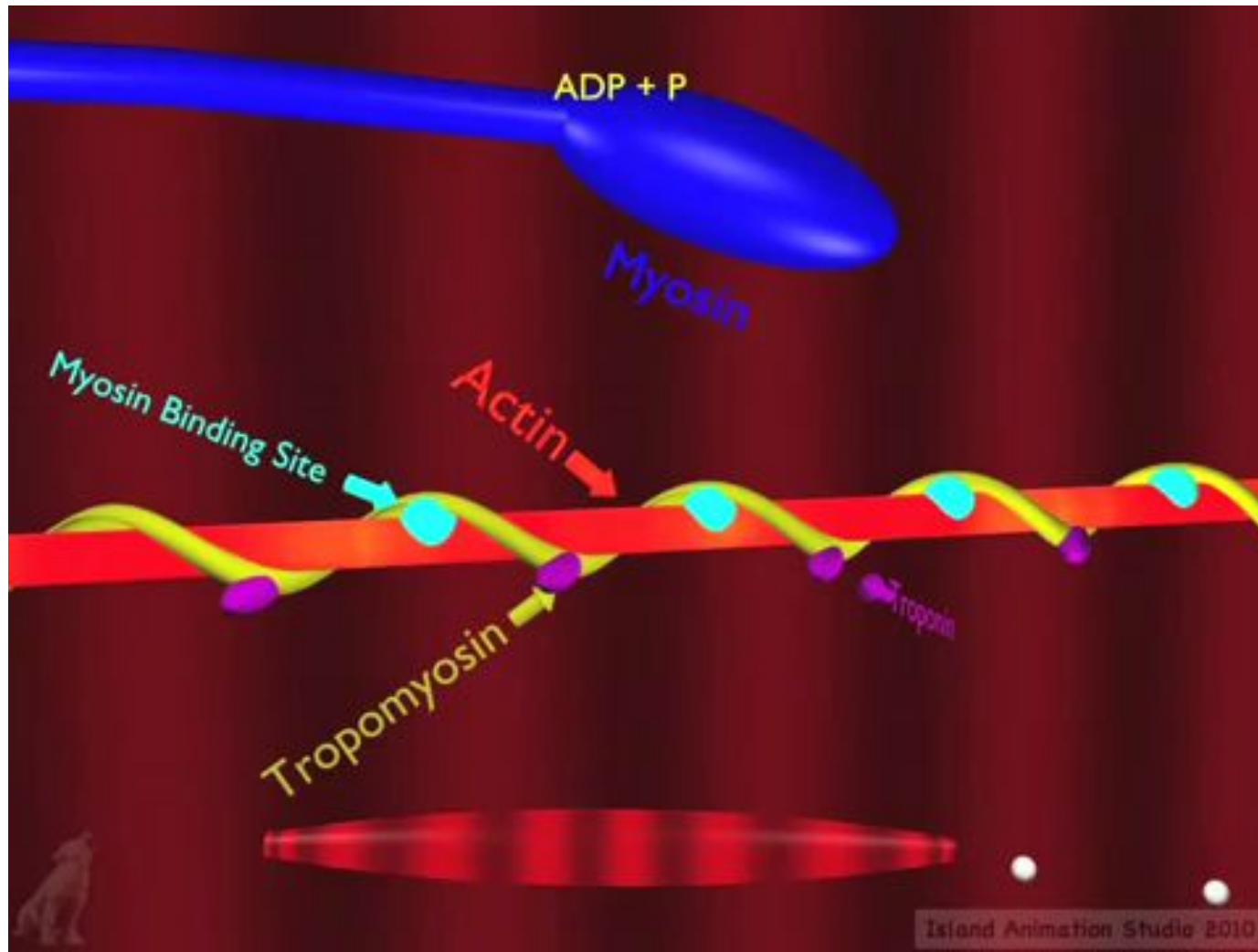
- Le Ca^{++} se fixe sur la troponine qui change de forme entrainant un déplacement de la tropomyosine loin des sites de fixation de la myosine permettant l'attachement de la tête de myosine sur l'actine

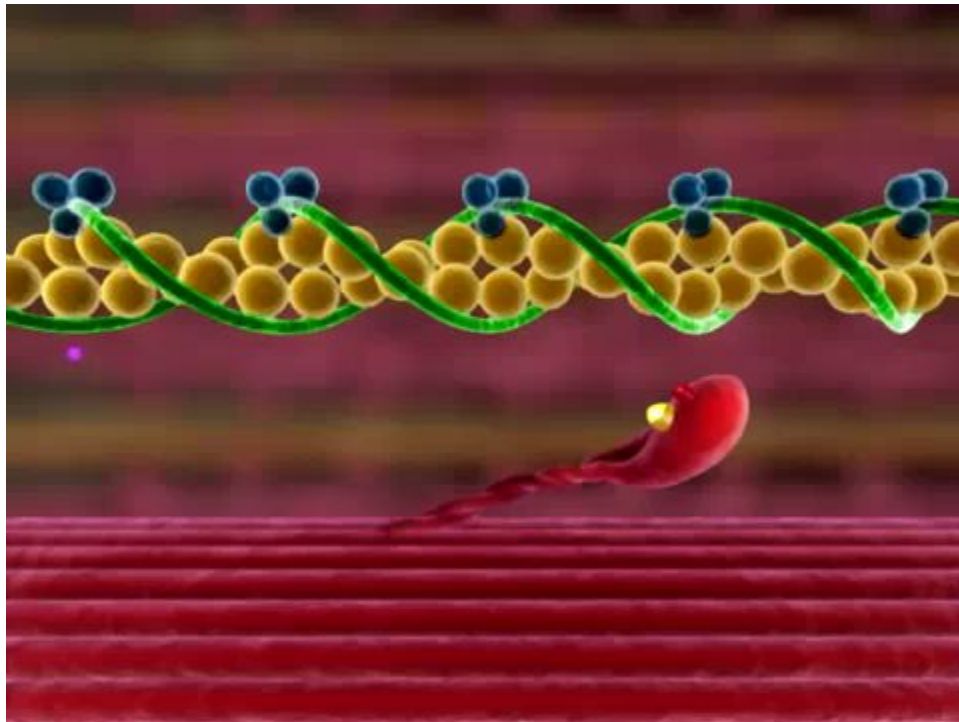


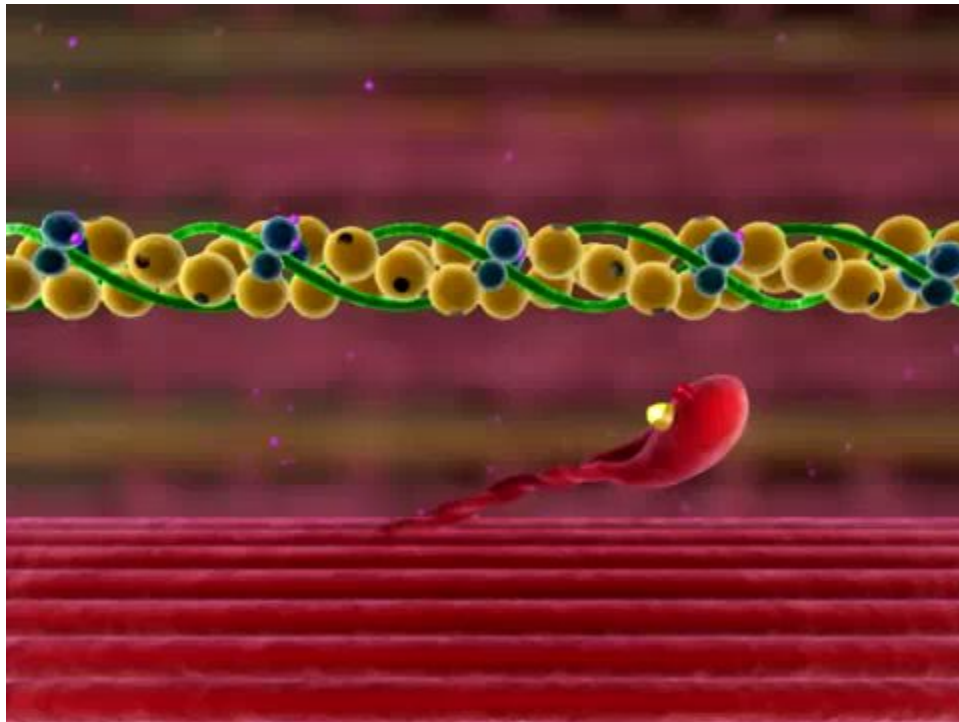
- A ce moment une molécule de Mg^{+2} se fixe sur l'ATP et celle-ci s'hydrolyse en ADP + P qui sont libérés ce qui entraîne l'inclinaison de la tête de myosine vers le centre du sarcomère ce qui fait avancer le filament d'actine auquel elle est attachée

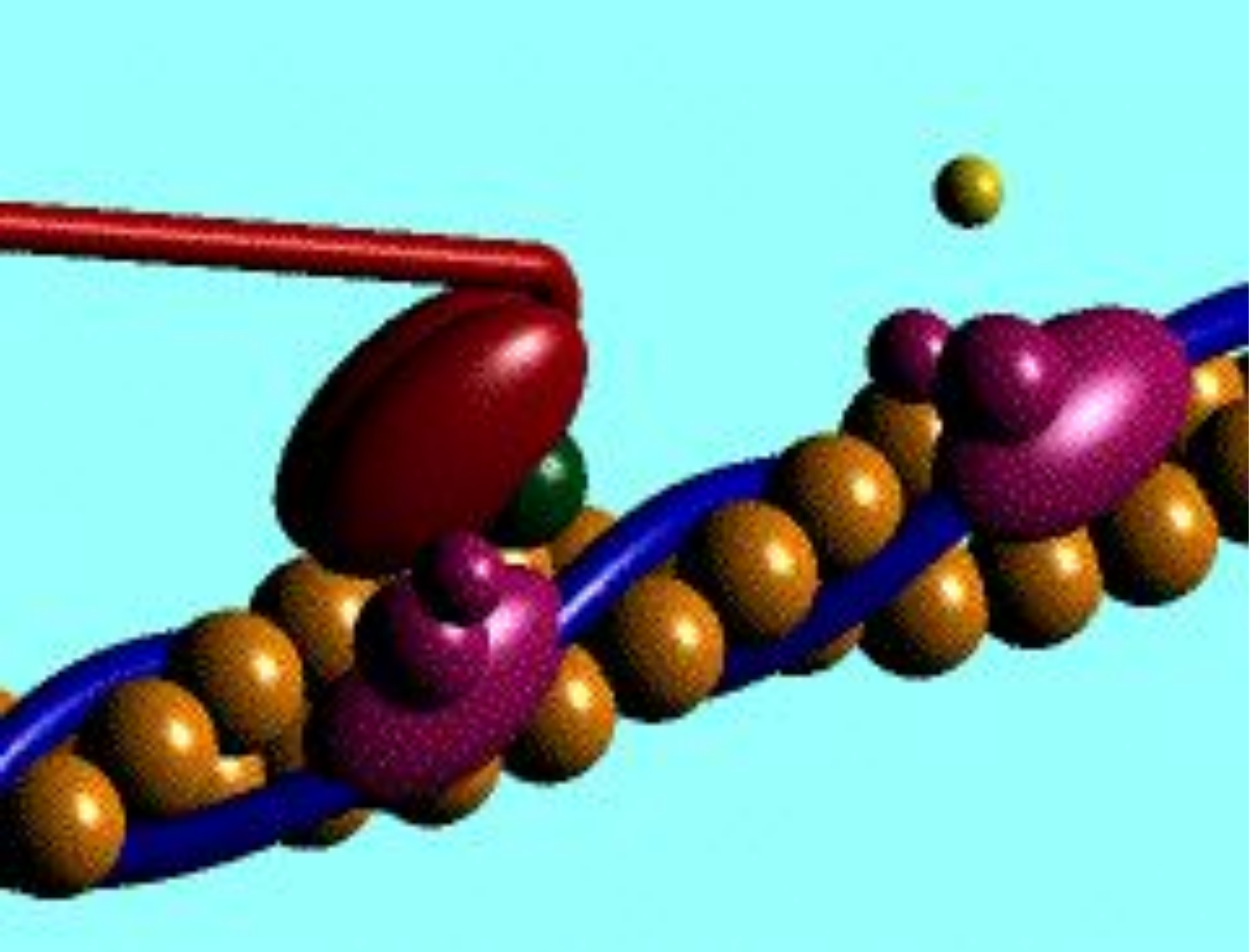


Une autre molécule d'ATP se fixe sur la tête de myosine, celle-ci se détache de l'actine et un autre cycle peut recommencer.









Conclusion:

- Le muscle strié squelettique a pour fonction principale la production de **mouvements**.
- Grace à ses propriétés mécanique et moléculaire il constitue un matériel **contractile**.
- La contraction musculaire est le résultat combiné de plusieurs mécanismes (nerveux ,chimiques ,électriques et mécaniques) dont **l'unité motrice** constitue le substratum fonctionnelle et anatomique de ce phénomène physiologique.
- L'ion **calcium** représente un élément clé de la régulation du mécanisme moléculaire de la contraction musculaire.