

# Chapitre 1

# Les tissus musculaires

Pr. Olivier David COHEN  
Dr Julie MONDET

**Plan**

# Plan

- Généralités
- Le muscle strié squelettique
- Le tissu musculaire lisse
- Le tissu myocardique

# Plan

- Généralités
- Le muscle strié squelettique
  - La cellule musculaire striée
    - Histogenèse
    - Morphologie et constitution
  - Architecture : organisation tissulaire
    - Diversité des fibres musculaires
    - Faisceaux musculaires
    - Vascularisation
    - Innervation
  - Propriétés
    - Contraction
    - Régénération
- Le tissu musculaire lisse
- Le tissu myocardique

# Plan

- Généralités
- Le muscle strié squelettique
- Le tissu musculaire lisse
  - La cellule musculaire lisse
    - Morphologie et constitution
  - Architecture : organisation tissulaire
    - Répartitions et types physiologiques
    - Enveloppe conjonctive
    - Innervation
  - Propriétés
    - Régénération
    - Sécrétion
    - Contraction
- Le tissu myocardique

# Plan

- Généralités
- Le muscle strié squelettique
- Le tissu musculaire lisse
- Le tissu myocardique
  - La cellule myocardique
    - Morphologie et constitution
    - Cellules endocrines myocardiques
    - Cellules cardionectrices
  - Organisation du muscle cardiaque
    - Architecture
    - Formations conjonctives
    - Enveloppes
  - Propriétés de la cellule myocardique
    - Régénération
    - Contraction

# Généralités

- Tissu composé de cellules spécialisées dans la contraction ( $\neq$  mouvement cellulaire)
- Fonctionne sous la forme d'unités contractiles qui sont :
  - Parfois unicellulaires :
    - Cellules myoépithéliales :
      - Dans des glandes pour favoriser l'expulsion des produits de sécrétion cellulaire vers la lumière de l'acinus
      - Nombreux desmosomes. Exprime de la desmine
      - Contrôlées par le SN autonome ou par des hormones (ocytocine/glande mammaire)
    - Péricytes :
      - Semblables aux cellules musculaires lisses
      - Aplaties autour des capillaires et des veinules
      - Egalement fonction de cellule souche mésenchymateuse
    - Myofibroblastes
      - Fusiformes, riches en desmine
      - Ils sécrètent du collagène et organise la MEC après une lésion tissulaire
  - Le plus souvent organisés en tissus : les muscles

# Généralités

- Organites :
  - Sarcoplasme = cytoplasme (**en dehors** des myofibrilles)
  - Sarcolemme = membrane plasmique
  - Réticulum sarcoplasmique = REL
- 3 types de tissu musculaire

Type	Morphologie	Topographie	Contrôle	Contractions
Squelettique	Striée	Muscles squelettiques Langue, orbite	Volontaire	Intenses et de courte durée
Lisse	Lisse	Viscères, vaisseaux	Involontaire	Faibles, continues
Cardiaque	Striée	Myocarde	Involontaire	Périodiques



# **Le tissu musculaire strié squelettique**

# Généralités

- Le tissu musculaire est un ensemble de fibres musculaires
  - cellules contractiles plurinucléées
  - très longues, reliées par du tissu conjonctif
- 25% du poids du corps à la naissance, 45% à l'âge adulte

# Plan

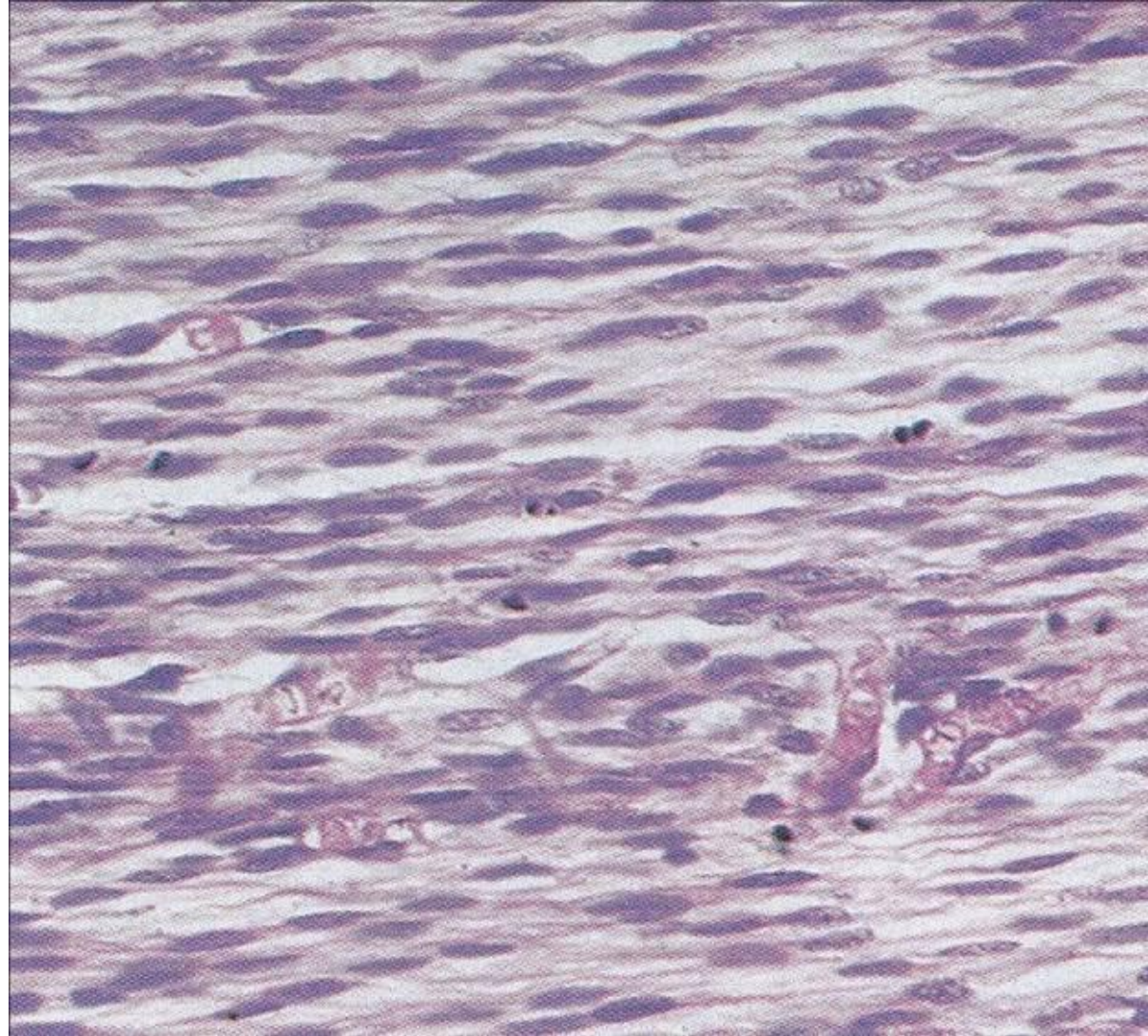
- Généralités
- Le muscle strié squelettique
  - La cellule musculaire striée
    - Histogenèse
    - Morphologie et constitution
  - Architecture : organisation tissulaire
    - Diversité des fibres musculaires
    - Faisceaux musculaires
    - Vascularisation
    - Innervation
  - Propriétés
    - Régénération
    - Contraction
- Le tissu musculaire lisse
- Le tissu myocardique

# La cellule musculaire striée squelettique : histogenèse

- Myoblastes
  - Issus des somites
  - Migration vers les différentes régions de l'embryon
  - Prolifération de cellules fusiformes mononucléées
- Formation des myotubes
  - Par fusion des myoblastes mis bout à bout
  - Différenciation des myotubes en formant des myofibrilles
- Certaines restent indifférenciées : les cellules satellites
- Le nombre de cellules musculaires est défini à la naissance ( $\uparrow$  masse musculaire =  $\uparrow$  volume cellulaire)

# Myoblastes (MO)

- Fusiformes
- Mononucléées
- Noyau central



# La cellule musculaire striée : morphologie (1)

- Long ruban
  - Plusieurs mm ou cm de long par 20 à 100  $\mu\text{m}$  de diamètre
  - Terminé par une extrémité arrondie
    - Ancrée sur une charpente conjonctive ou se poursuit avec un tendon
- Sarcolemme
  - Membrane plasmique, élastique, très résistante
  - Sépare :
    - Le milieu intra-cellulaire, riche en  $\text{K}^+$
    - Du milieu extracellulaire, riche en  $\text{Na}^+$
  - Polarisation électrique (100 mV) dont les variations peuvent être enregistrées par électromyographie (EMG)
- Noyaux
  - Nombreux, selon la taille de la cellule
  - Aplatis sous le sarcolemme, dans une zone sans myofibrilles

# La cellule musculaire striée : morphologie (2)

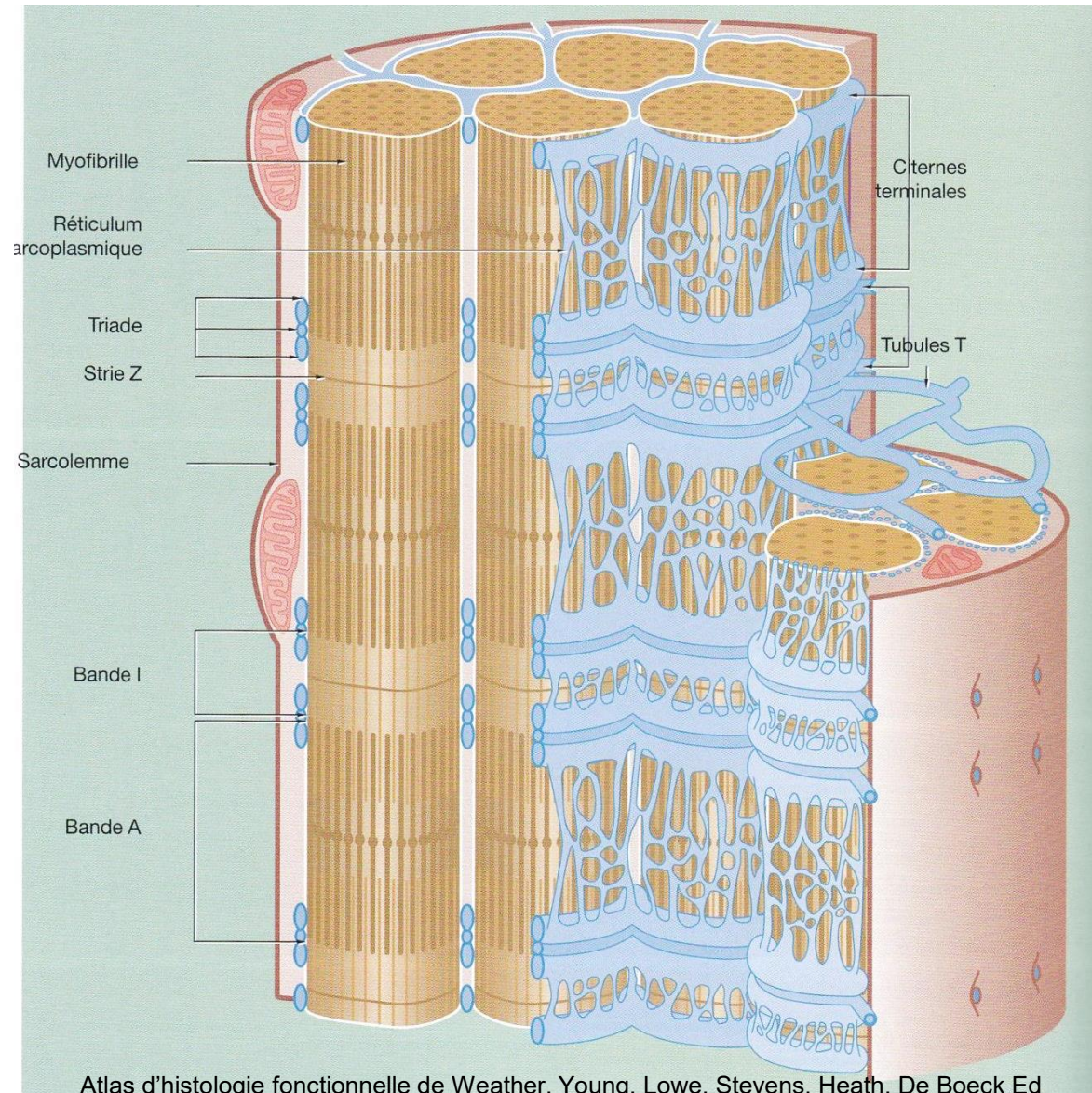
- Sarcoplasme
  - Contient eau, sels minéraux, lipides
  - Réserve importante de protéines, consommables en cas de jeûne
    - Myoglobine : chromoprotéine ferrique proche de l'hémoglobine, pigment respiratoire (fixe l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub>)
    - Dystrophine : 400 kD. Associée au sarcolemme sous la forme d'une fine couche. Renforce la membrane par son rôle mécanique. Anormale dans la myopathie de Duchenne.
  - L'Appareil de Golgi
    - Peu développé, juxtanucléaire
  - Réticulum endoplasmique granuleux (REG)
    - Peu développé avec peu de ribosomes
  - Le chondriome
    - Abondant
    - Mitochondries longues, disposées en rangées longitudinales entre les faisceaux de myofibrilles, surtout en regard des bandes I
    - Fournit l'énergie pour la contraction musculaire

# La cellule musculaire striée : morphologie (3)

- Le réticulum sarcoplasmique
  - Réseau de canaux répartis autour des myofibrilles
  - Constitué de tubes longitudinaux parallèles aux myofibrilles et de citernes terminales, perpendiculaires à l'axe de la cellule
  - Dans les citernes terminales, il y a une substance amorphe constituée de Calséquestrine, qui constitue un réservoir de calcium
    - Sa membrane contient de nombreux canaux calciques pourvus d'une ATPase  $\text{Ca}^{++}\text{Mg}^{++}$  dépendant
  - Entre deux citernes terminales, se trouve un tubule T : l'ensemble s'appelle une Triade
  - Les tubules T sont nombreux
    - Invaginations du sarcolemme qui plongent à l'intérieur de la cellule pour atteindre la jonction entre la bande A et la bande I
    - Entourent les myofibrilles et s'anastomosent entre homologues

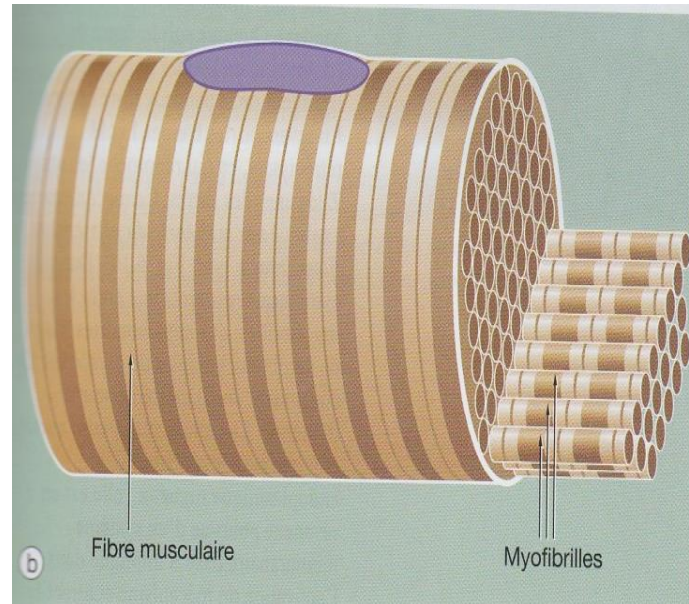


# Réticulum sarcoplasmique



# Fibres musculaires, myofibrilles, et myofilaments

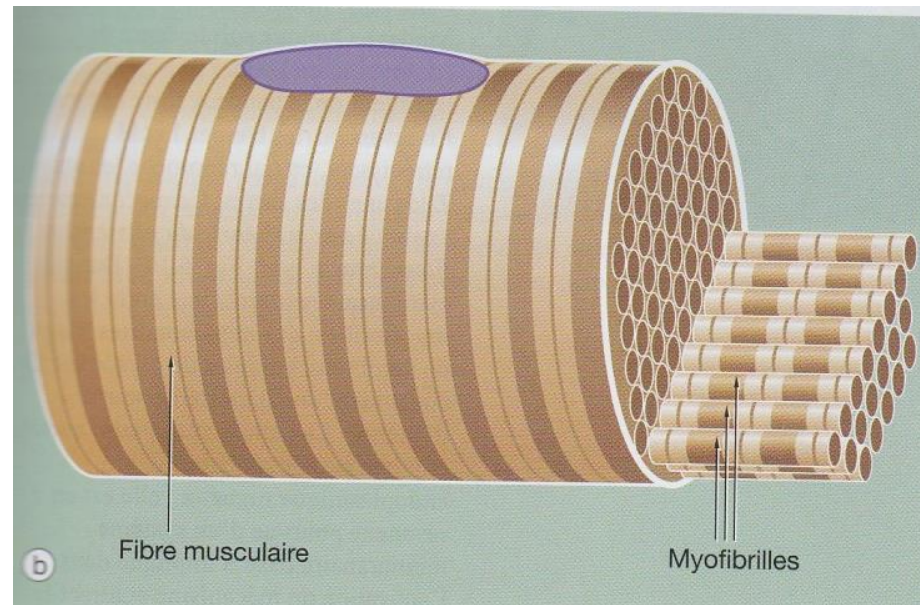
- Fibre musculaire = cellule musculaire = ensemble de myofibrilles
- Myofibrille = agrégat de myofilaments
- Myofilaments = constituants des myofibrilles, de 2 types (épais et fins)



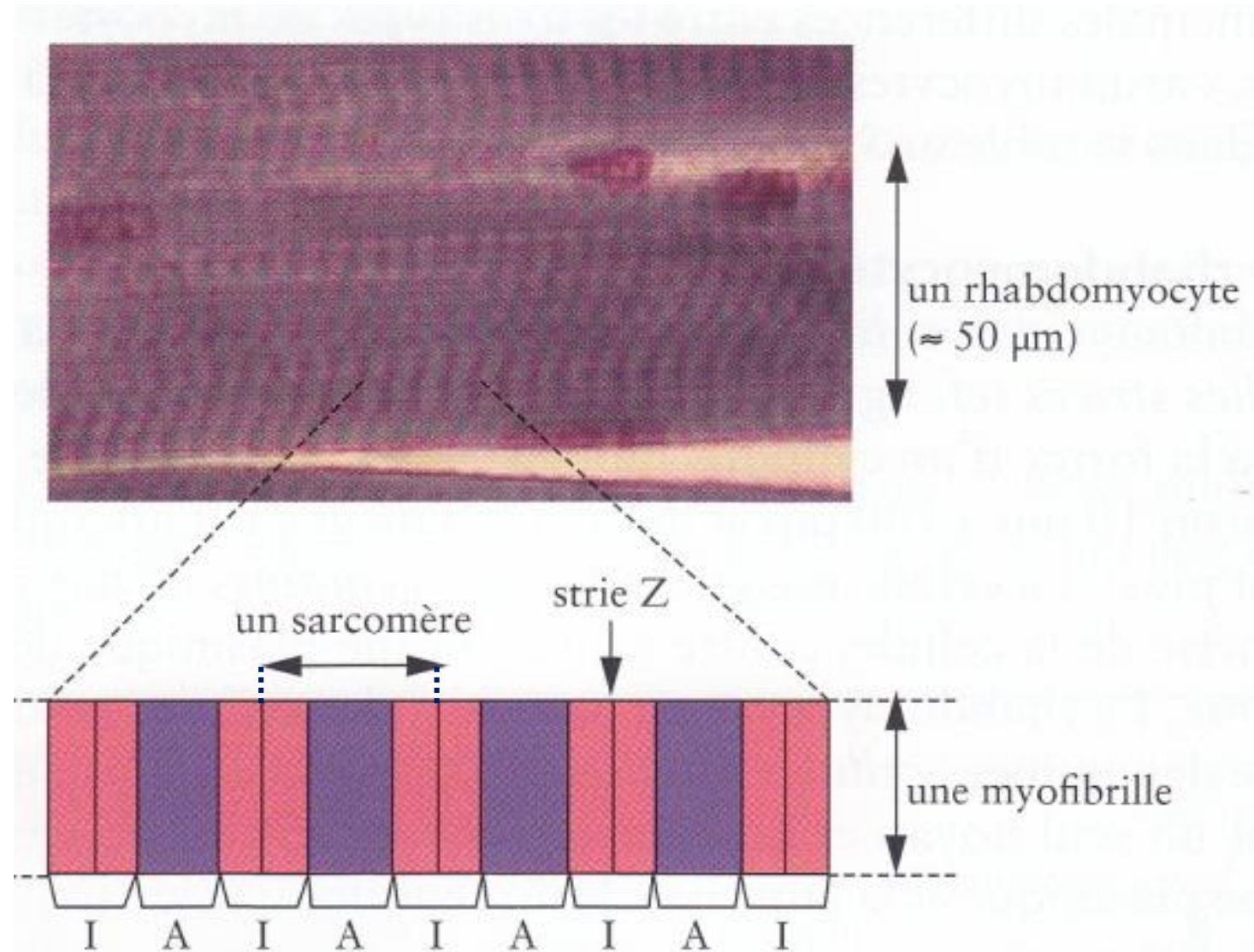


# La cellule musculaire striée squelettique : morphologie (4)

- Myofibrilles
  - En MO
    - Éléments cylindriques de 1-2  $\mu\text{m}$  de diamètre, d'une extrémité à l'autre de la fibre.
    - Groupées en faisceaux
    - Aspect de striation transversale par l'alternance de bandes sombres et claires, au même niveau d'une fibre à l'autre



# Les stries du sarcomère (MO)



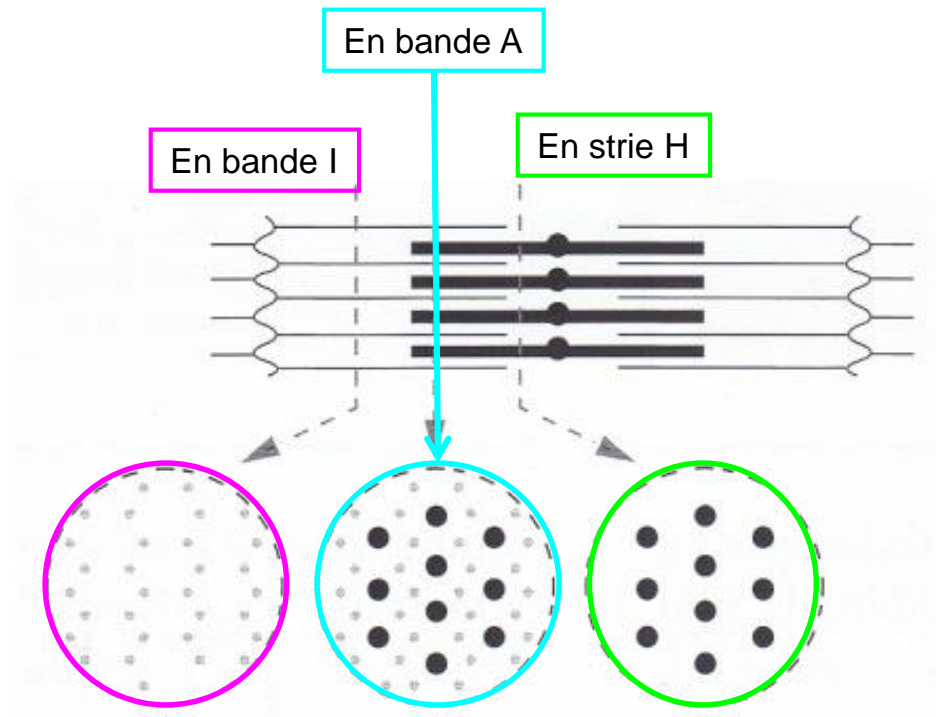
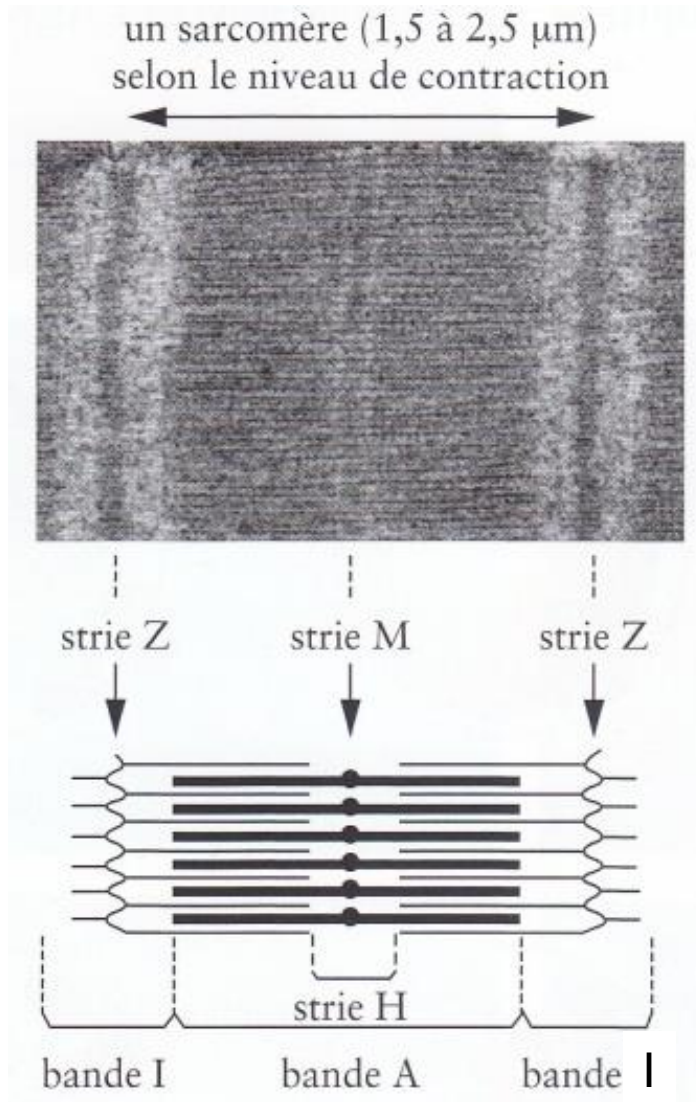
# La cellule musculaire striée : morphologie (5)

- Myofibrille (suite)
  - MO (suite)
    - Bande A (Anisotrope en lumière polarisée)
      - Sombre, de 1,5  $\mu\text{m}$  de long
      - Divisée en 2 parties égales par une bande plus claire (bande H), elle-même divisée en 2 par une bande plus sombre, la bande M
    - Bande I (Isotrope en lumière polarisée)
      - Claire de 0,8  $\mu\text{m}$  de long
      - Subdivisée en 2 par une ligne sombre : la strie Z
  - ⇒ Le sarcomère
    - = ensemble [une bande sombre (A) + 2 demi-bandes claires (I) entre deux stries Z]
    - Est l'unité motrice du muscle strié squelettique
    - Mesure de 1,5 à 2,5  $\mu\text{m}$  de long selon le niveau de contraction

# La cellule musculaire striée : morphologie (6)

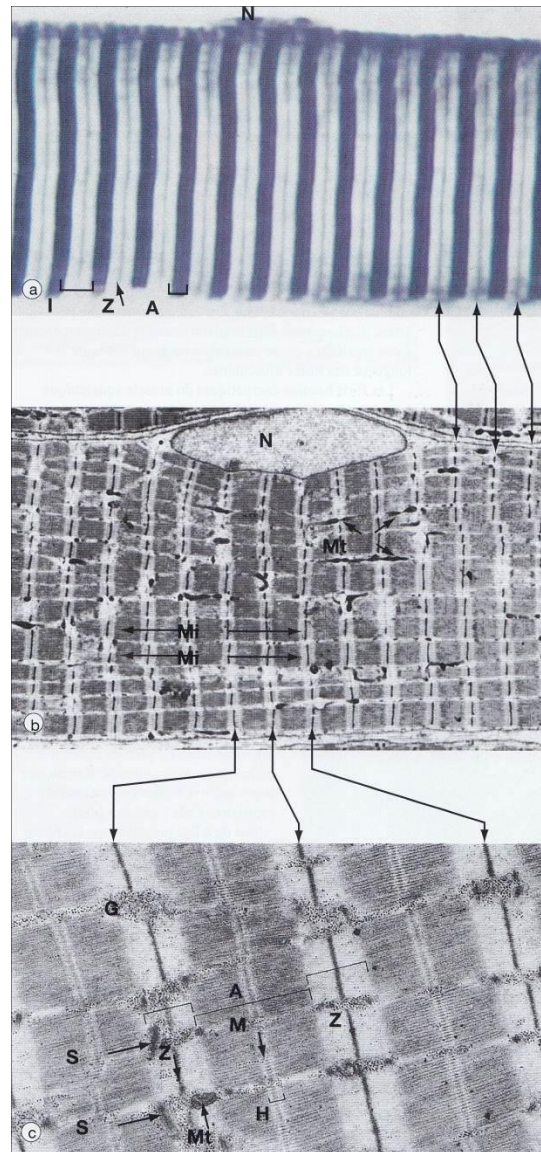
- Myofibrille en ME :
  - agrégat de myofilaments qui sont des unités fibrillaires élémentaires
  - sont de 2 types :
    - Myofilaments épais : dans les bandes A
      - 15 nm d'épaisseur / 1,5  $\mu$ m de long,
      - Tout au long de la bande A, avec des expansions latérales régulières
    - Myofilaments fins : dans les bandes I
      - 8 nm d'épaisseur / 1  $\mu$ m de long
      - De part et d'autre de la strie Z sur toute la longueur de la bande I
      - Parallèles aux filaments épais, intercalés entre eux dans la bande A
      - N'atteignent pas la ligne M en laissant de part et d'autre, une zone dépourvue de filaments fins, la bande H
  - Le support de la contraction musculaire est le glissement des filaments fins sur les filaments épais

# Les filaments du sarcomère (ME)





# Stries et myofilaments du sarcomère





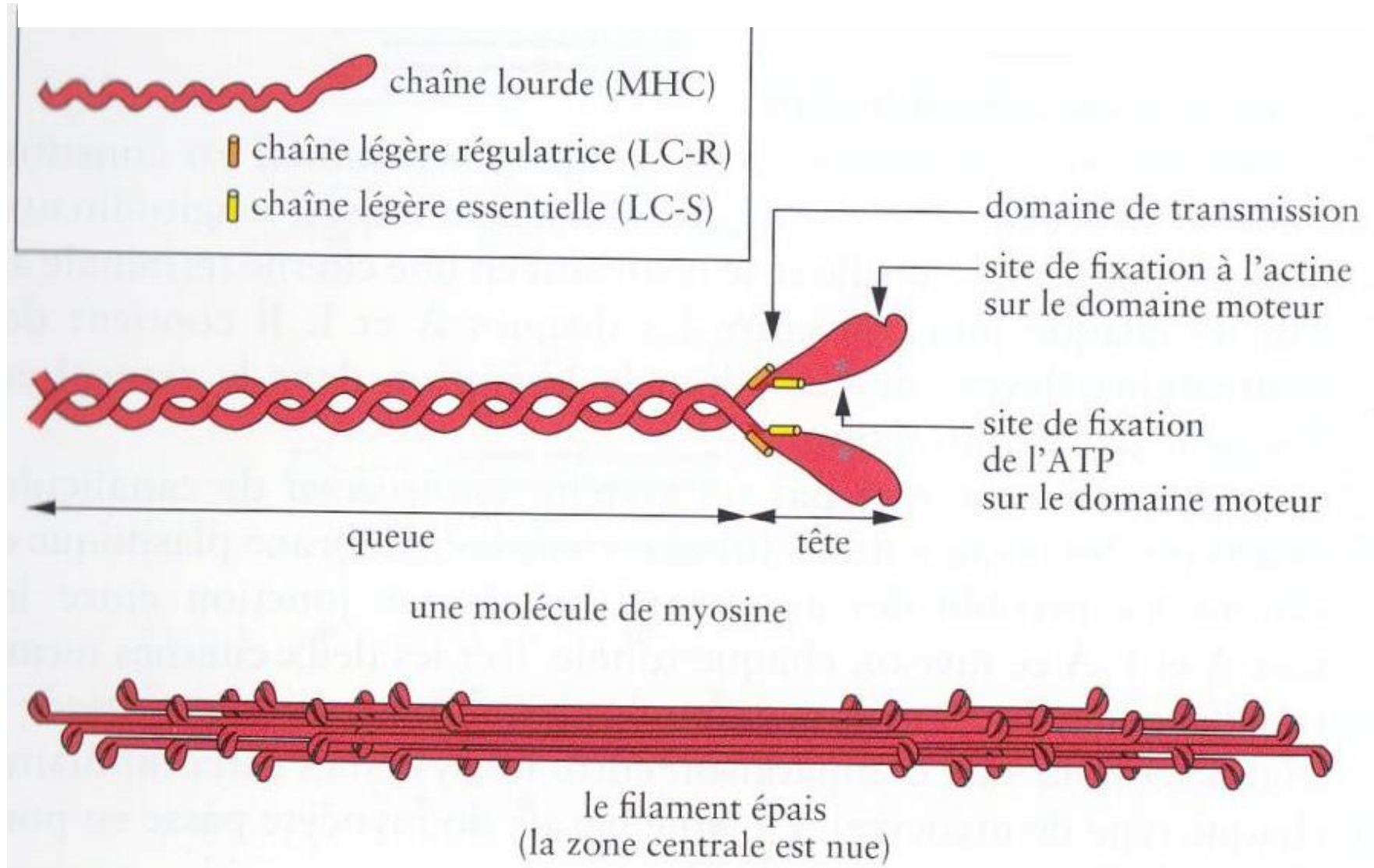
# Composition biochimique du sarcomère

- Les principales protéines sont
  - Au niveau des filaments épais : la myosine
  - Au niveau des filaments fins :
    - L'actine
    - La tropomyosine
    - La troponine
- Des protéines associées existent, en particulier :
  - L' $\alpha$ -actinine
  - La myoméline
  - La titine
  - La desmine

# Composition du filament épais

- Le filament épais est composé de Myosine
  - ATPase de 480 kD
  - Constitué de 6 chaînes polypeptidiques:
    - 2 chaînes polypeptidiques lourdes tressées, chacune terminée en tête globulaire
    - 4 chaînes légères (2 sur chaque chaîne lourde)
  - En forme de crosse de hockey
    - La tige formée des chaînes lourdes
    - Les têtes composées des chaînes lourdes sur chacune desquelles sont fixées :
      - Les 2 chaînes légères
      - Un domaine d'activité ATPasique : site de fixation de l'ATP
      - Un domaine de liaison à l'actine
  - Les têtes forment les ponts transversaux reliant les myofilaments épais et fins, par une liaison de l'actine avec la myosine
  - Le moteur de la contraction musculaire est la tête de la molécule de myosine

# La chaîne lourde de myosine

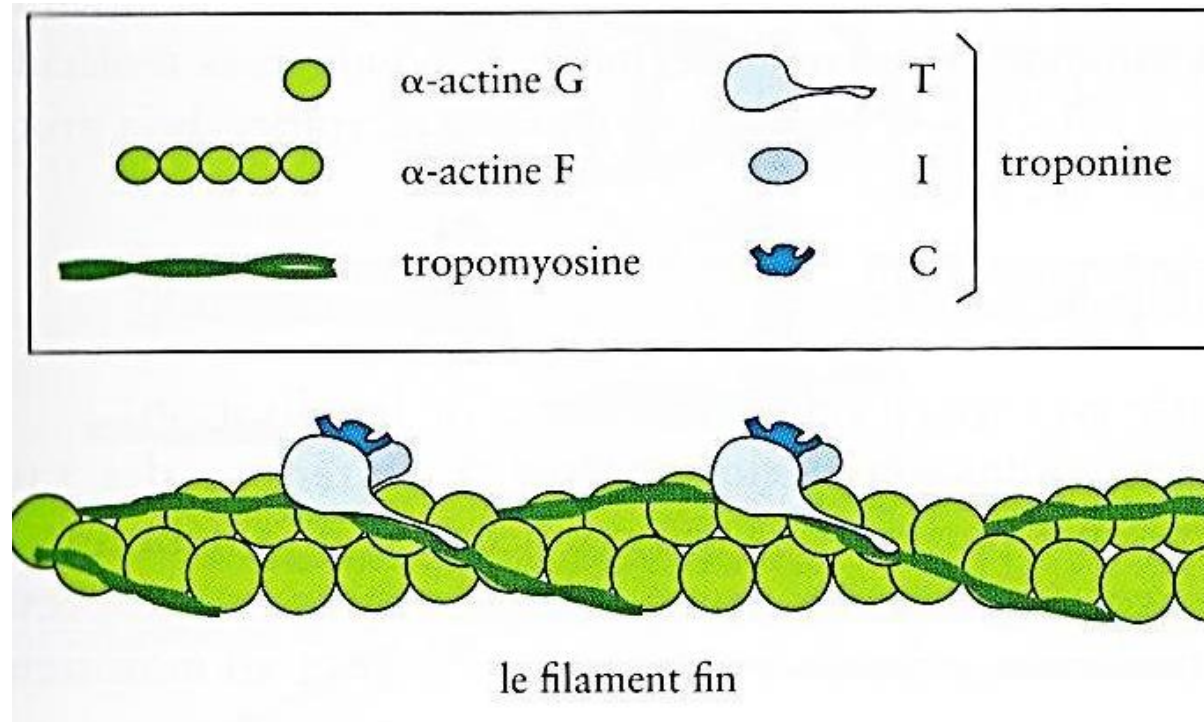


# Composition du filament fin du sarcomère

- Le filament fin est composé d'actine
  - Des monomères globulaires (Actine-G) se fixent les uns aux autres par polymérisation.
  - La polymérisation des monomères globulaires d'actine G, forment un filament d'actine F
  - Le filament fin est composé d'un double brin d'actine F torsadé, dont une extrémité se fixe sur la strie Z
- La tropomyosine
  - Constituée de 2 polypeptides presque identiques, enroulés l'un autour de l'autre
  - Chemine dans la gouttière formée par les brins d'actine-F
  - Est liée au complexe de la troponine

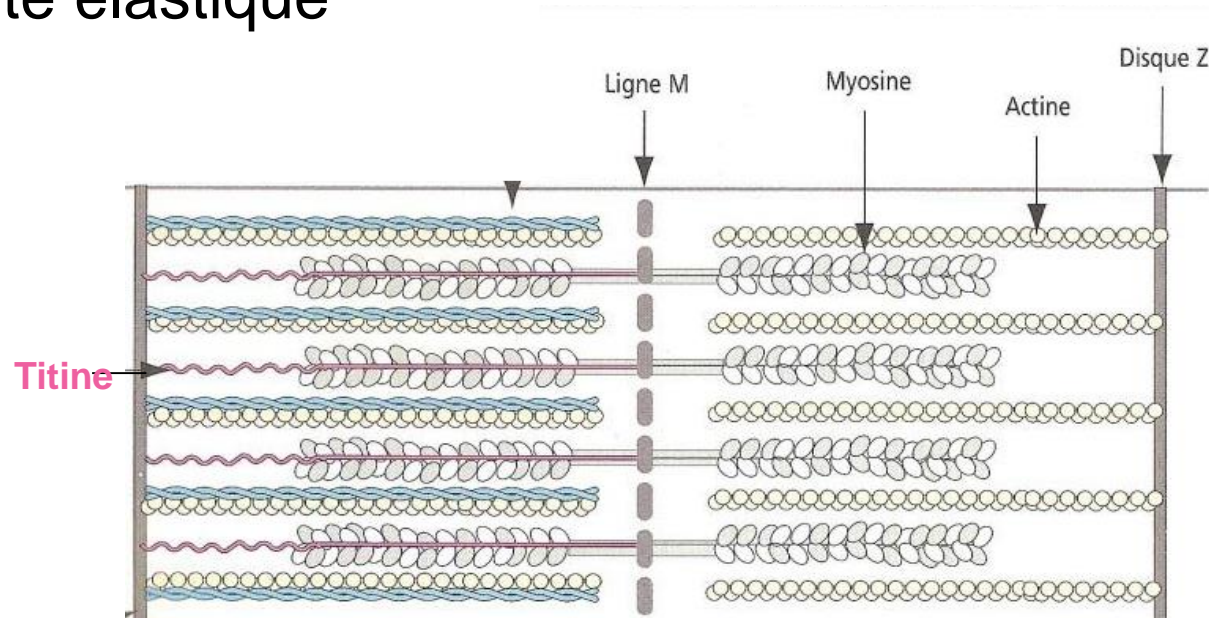
# Composition biochimique du sarcomère

- La troponine : complexe de 3 molécules :
  - Tn-T : se fixe à la tropomyosine
  - Tn-C : possède un site de fixation du calcium
  - Tn-I : se fixe à l'actine



# Protéines associées du sarcomère: la titine

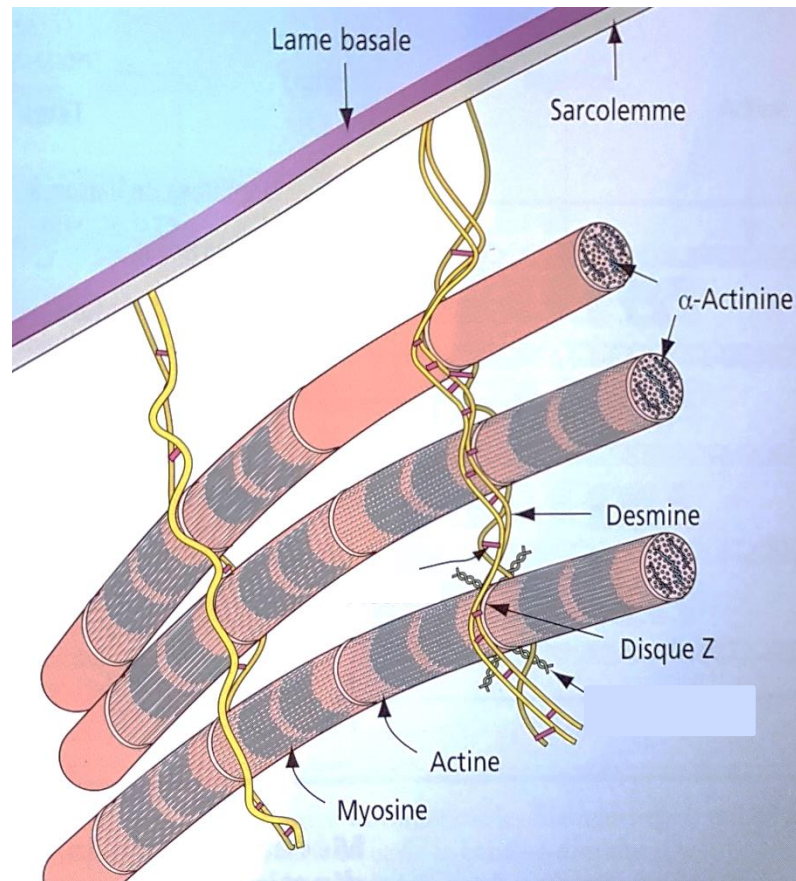
- Protéine longue, très volumineuse, parallèle aux myofilaments d'actine et de myosine
- S'étend de la strie Z à la ligne M et relie l'extrémité d'un filament épais de myosine à la strie Z
- Donne aux filaments de myosine des propriétés de détente élastique





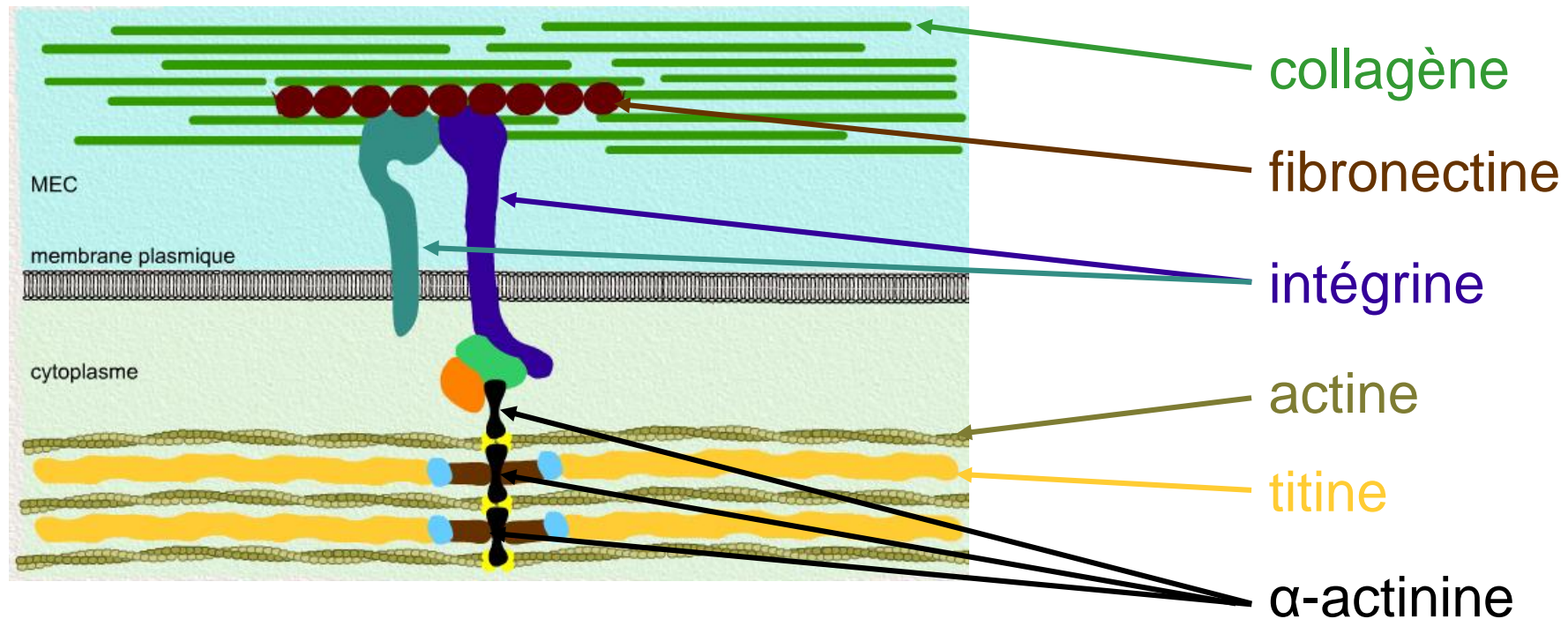
# La desmine

- Lie les myofibrilles :
  - entre elles au niveau de leurs stries Z
  - à la membrane plasmique



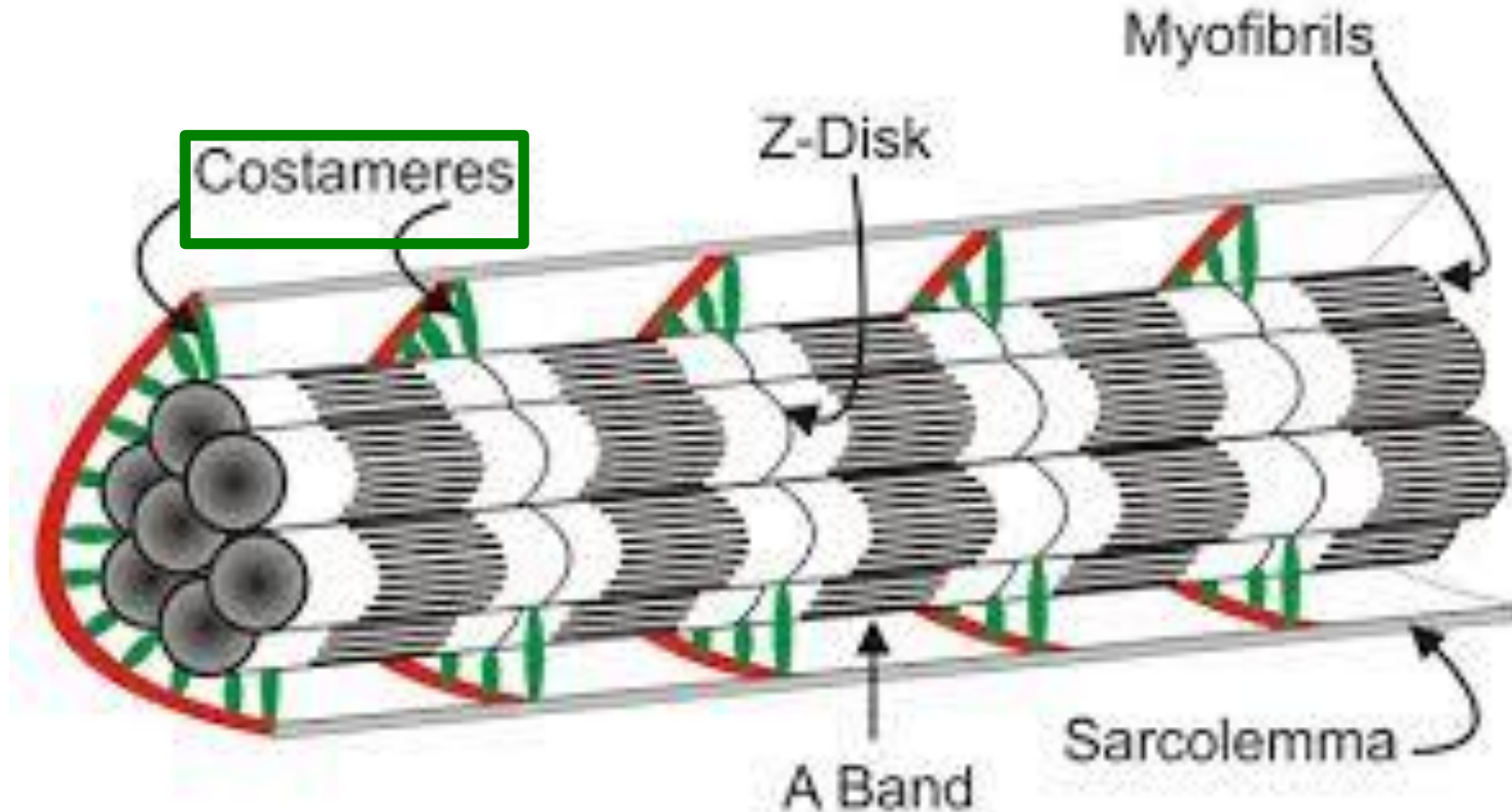
# L' $\alpha$ -actinine

- Relie les filaments d'actine au niveau de la strie Z des myofilaments
- Fixe des intégrines qui vont ancrer les stries Z des sarcomères aux protéines de la MEC, en particulier à la fibronectine





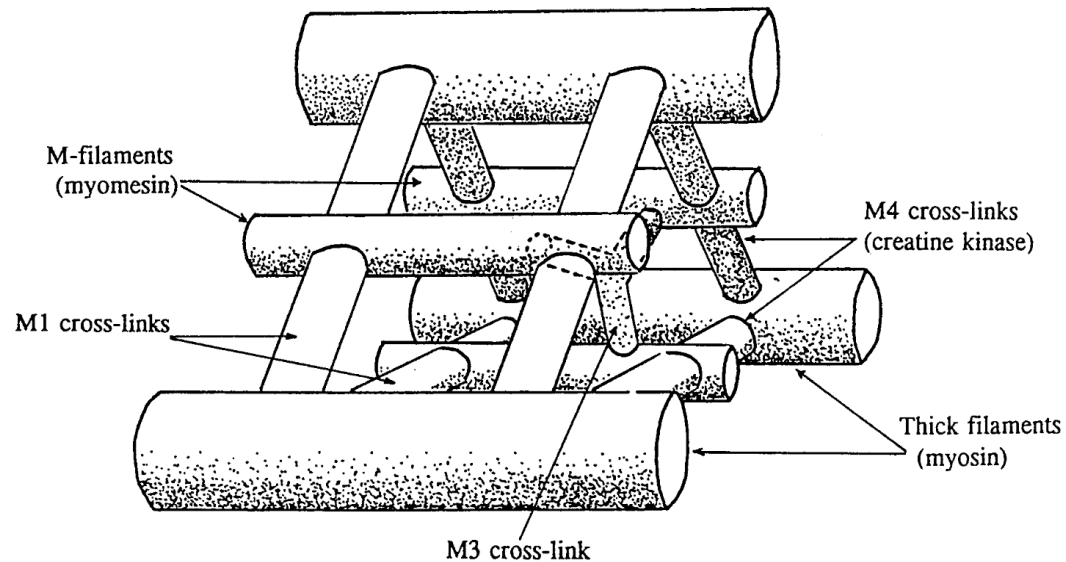
# Costamères et stries Z



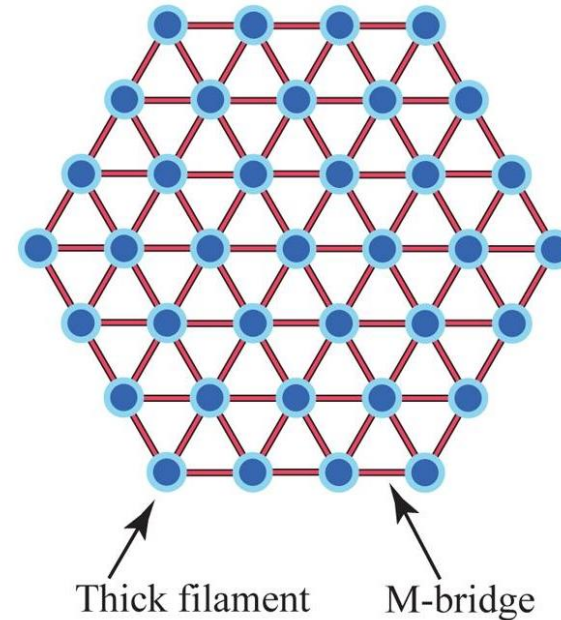
- Les costamères, correspondent à la partie intracellulaire des ancrages qui transmettent les forces de contraction du sarcomère au sarcolemme et à la matrice extracellulaire

# La myoméline dans la strie M

- La myoméline relie les filaments de myosine dans la strie M

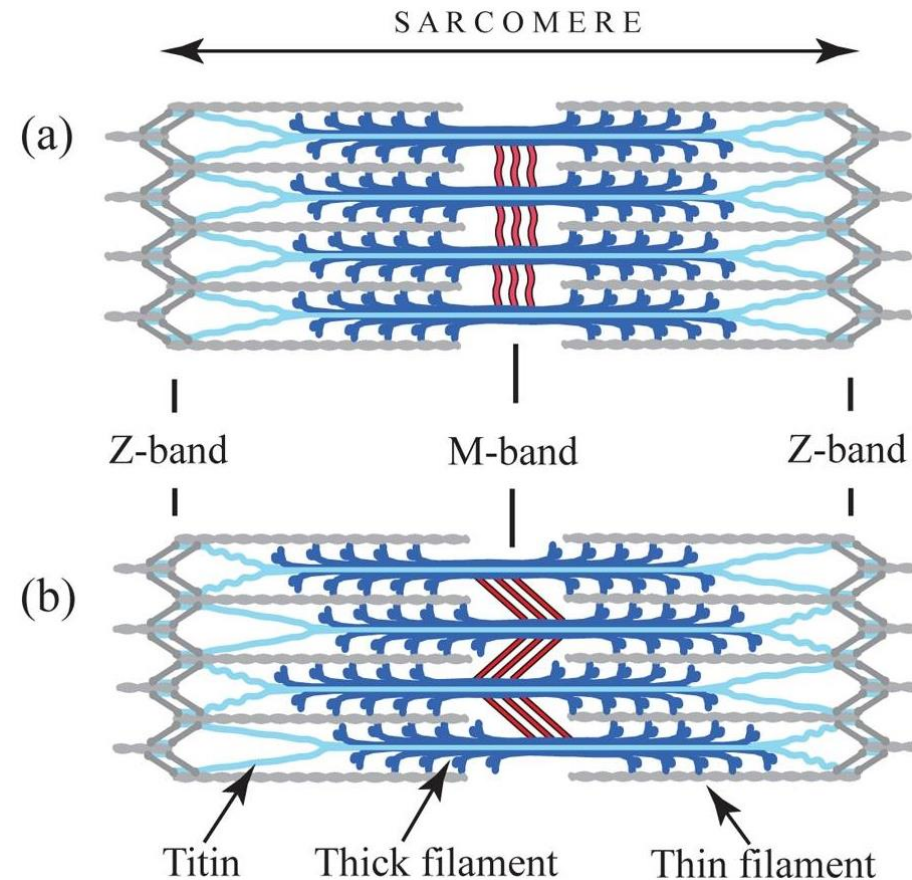


(c) M-band cross-section model



# Myoméline et strie M

- (a) Sarcomère relaxé :
  - La Myoméline est rectiligne
- (b) Après une contraction isométrique :
  - Disposition en zigzag de la myoméline
  - Tension - Glissement entre les filaments épais



# Composition biochimique des bandes

	Filaments épais	Filaments fins	Composition biochimique
<b>Bande A</b>	Oui	Oui	Têtes de la myosine
<b>Bande H</b>	Oui	Non	Queues de la myosine (En schéma hexagonal) Créatine PhosphoKinase
<b>Strie M</b>	Oui Insertion des queues de myosine	Non	Queues de myosine reliées entre elles par des ponts  Myomesine
<b>Bande I</b>	Non	Oui	Actine Troponine Tropomyosine
<b>Strie Z</b>	Non	Reliés par des ponts protéiques Insertion de l'extrémité + des filaments d'actine	$\alpha$ -actinine

# Organisation du tissu musculaire strié

- Constitué d'une diversité de fibres musculaires
  - Adaptation aux contraintes extérieures, mais de même origine
  - Différentes par leurs caractéristiques contractiles et métaboliques
- 3 types de fibres par histoenzymologie :
  - Fibres rouges, de type I, aérobies
    - Petit diamètre, riches en mitochondries, en myoglobine et en myosine ATPase
    - Contraction lente mais plus résistantes à l'activité musculaire prolongée (posture)
    - Colorable par réactions histochimiques (succinate déshydrogénase)
  - Fibres blanches, de type II, anaérobies
    - Gros diamètre, peu de vascularisation
    - Pauvres en mitochondries, en myoglobine, en myosine ATPase
    - Riches en glycogène et en enzymes glycolytiques
    - Dans les unités motrices à contraction rapide
    - Contraction intense mais brève (mouvement)
  - Fibres intermédiaires entre les types I et II

# Organisation du tissu musculaire strié

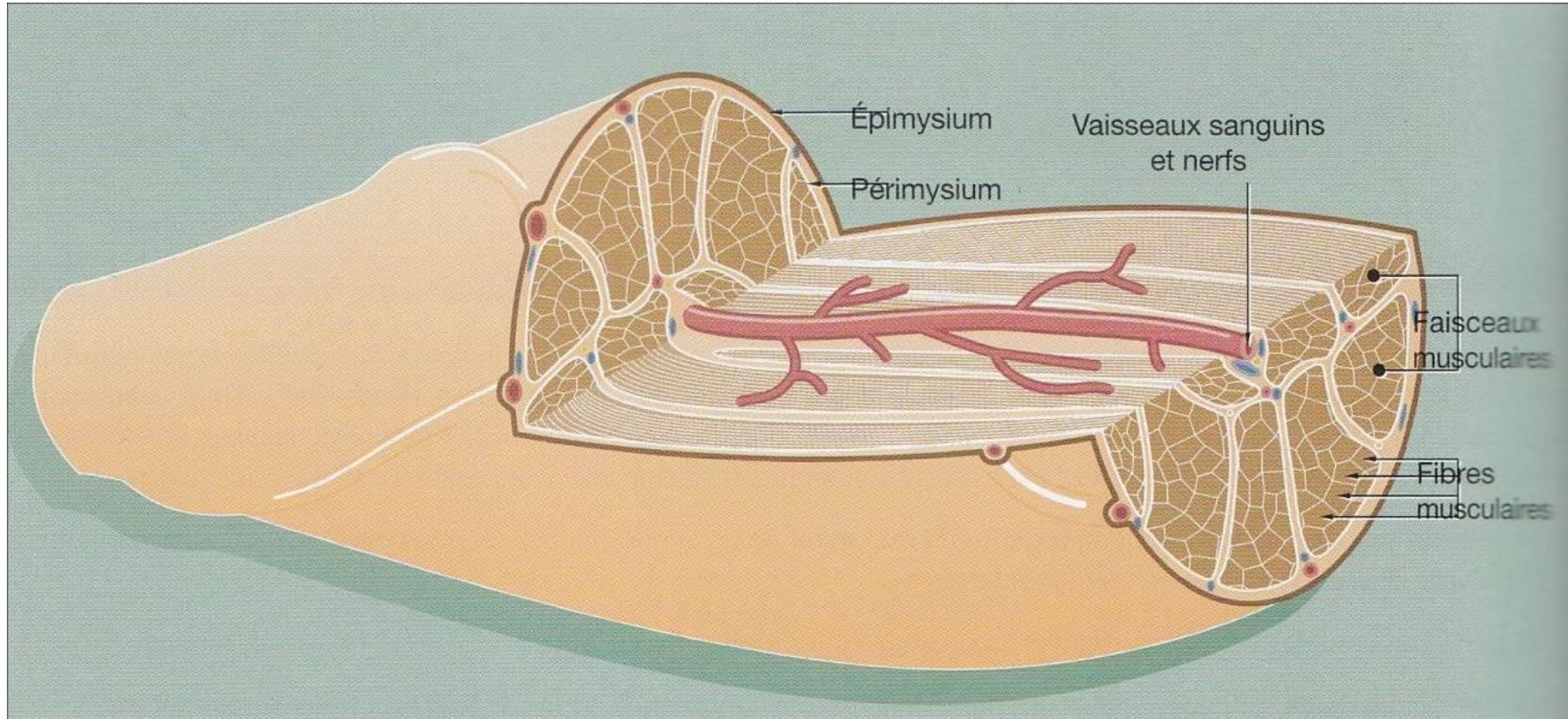
- Les cellules s'associent pour former des faisceaux primaires (I)
  - constitués de 20 à 50 cellules ;
  - chaque cellule est entourée par un mince tissu de soutien, l'endomysium (collagène et réticuline, quelques cellules, capillaires et filets nerveux).
- Le faisceau I ou fascicule est entouré par un TC lâche, le périmysium
  - qui soude les faisceaux les uns aux autres ;
  - on y trouve des artérioles et de fins fascicules nerveux.
- De nombreux faisceaux s'associent pour former le muscle qui est revêtu d'une épaisse gaine de TC dense appelé épimysium.

# Organisation du tissu musculaire strié

- Donc :
  - Les cellules sont entourées de l'endomysium
  - Les faisceaux sont entourées de périmysium
  - Le muscle est entouré de l'épimysium
- De gros vaisseaux et nerfs pénètrent dans l'épimysium et s'y ramifient avant de gagner le périmysium et l'endomysium.

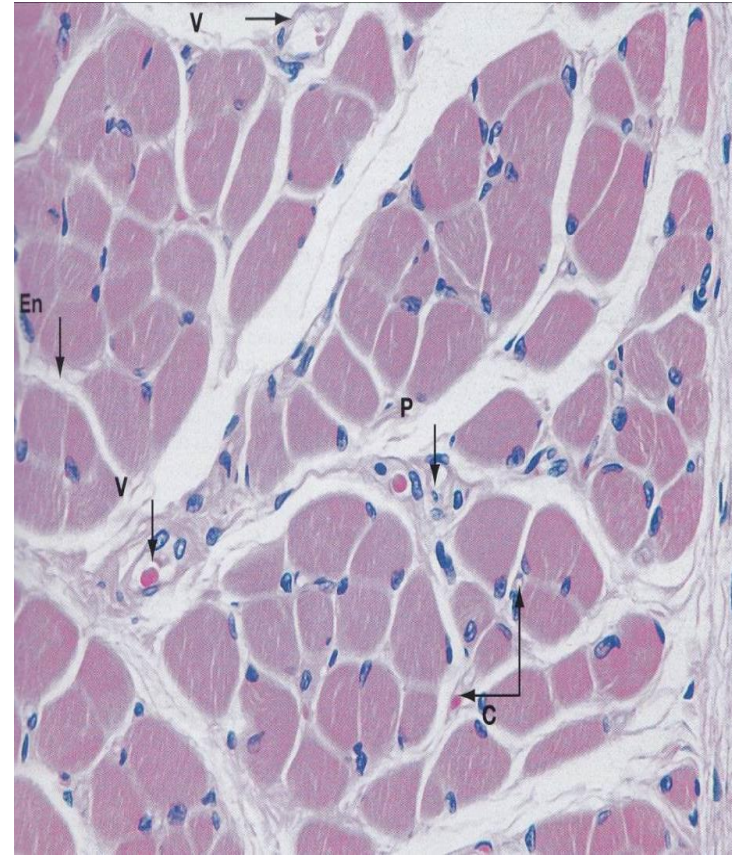
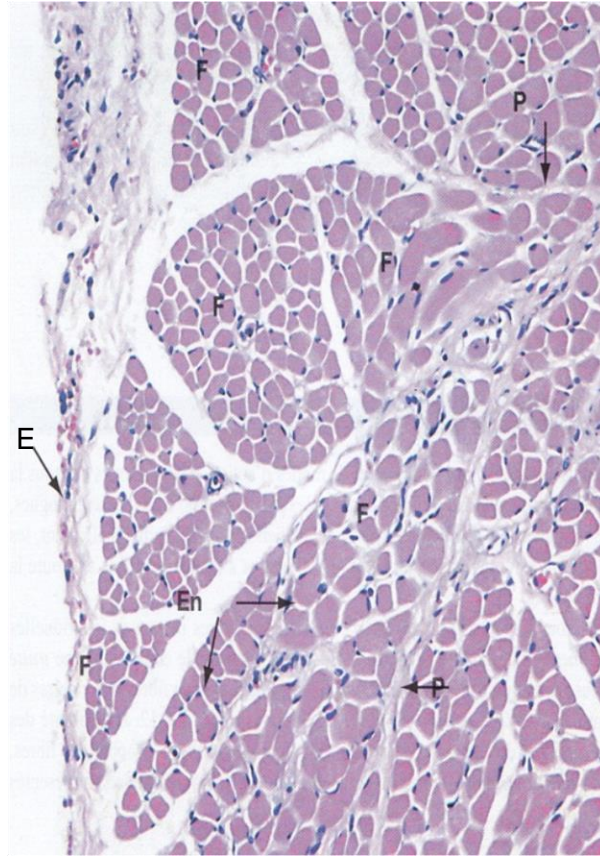


# Architecture





# Architecture observée en MO



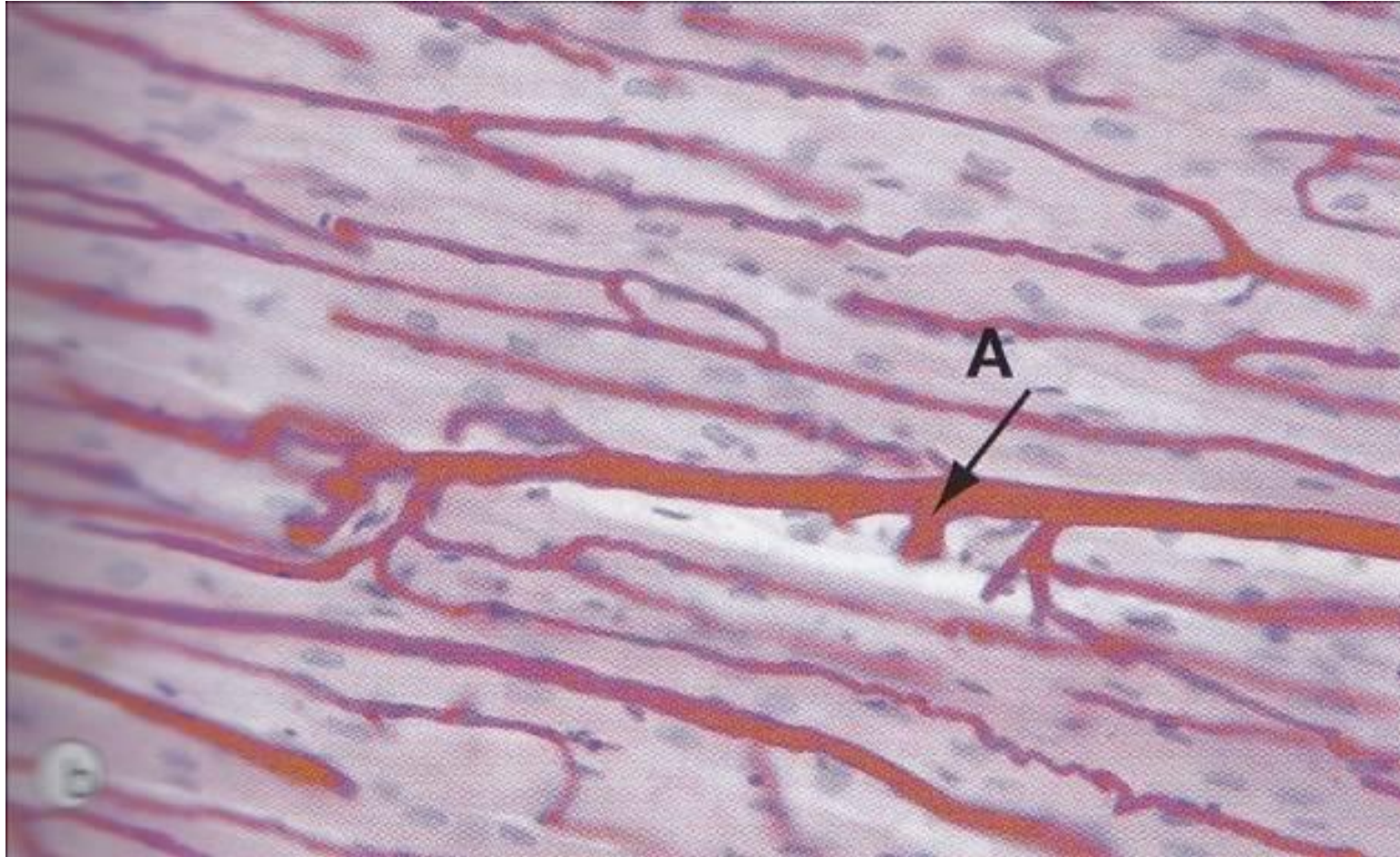
E : Epimysium      F :Faisceau musculaire  
P : Périmysium    V : Veine  
En : Endomysium   C : Capillaire

# Vascularisation du muscle squelettique

- Richement vascularisé (artériel et veineux)
  - De **gros vaisseaux** pénètrent dans l'épimysium
  - Puis se ramifient à l'intérieur, dans le périmysium en **artères périmysiales**
  - Des branches passent entre les fibres, perpendiculaires à leur grand axe pour former des **capillaires** à travers l'endomysium
  - Des anastomoses transversales entre les capillaires constituent un **fin réseau** entre chaque cellule
- Vaisseaux lymphatiques limités aux cloisons conjonctives les plus denses: à l'épimysium



# Vascularisation du muscle squelettique



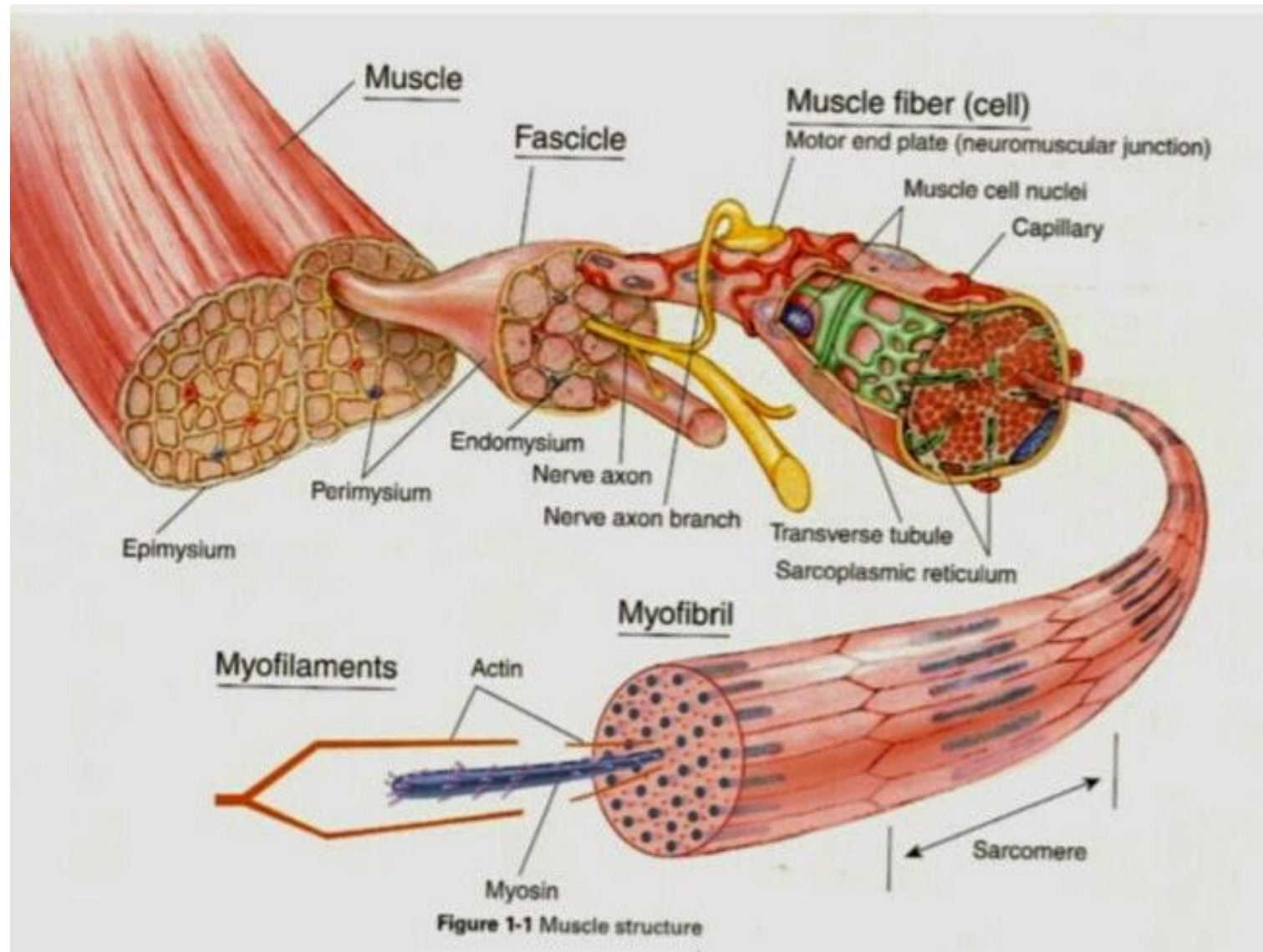
# Innervation

- Motrice
  - Axones de cellules dont les corps cellulaires sont dans la corne antérieure de la moelle épinière
  - Pénètre par le périnysium puis par l'endomysium
  - 1 axone innerve 1 à 100 fibres musculaires
  - Tension musculaire proportionnelle au nombre de fibres innervées par cet axone
  - La force musculaire dépend du nombre d'unités motrices et de leur composition
  - La plaque motrice sera étudiée dans le cours du tissu nerveux

# Innervation

- Sensitive
  - Fuseaux neuromusculaires, récepteurs à l'étirement régulant le tonus musculaire via un arc réflexe spinal
    - Fusiformes, encapsulées, remplies de lymphe
    - Parallèles aux fibres musculaires
    - Dans l'endomysium ou le périnysium

# Zoom sur la structure du tissu musculaire squelettique



# Propriétés

- Contraction
  - Description morphologique
  - Description biochimique
- Régénération

# La contraction musculaire : description morphologique

- Observation

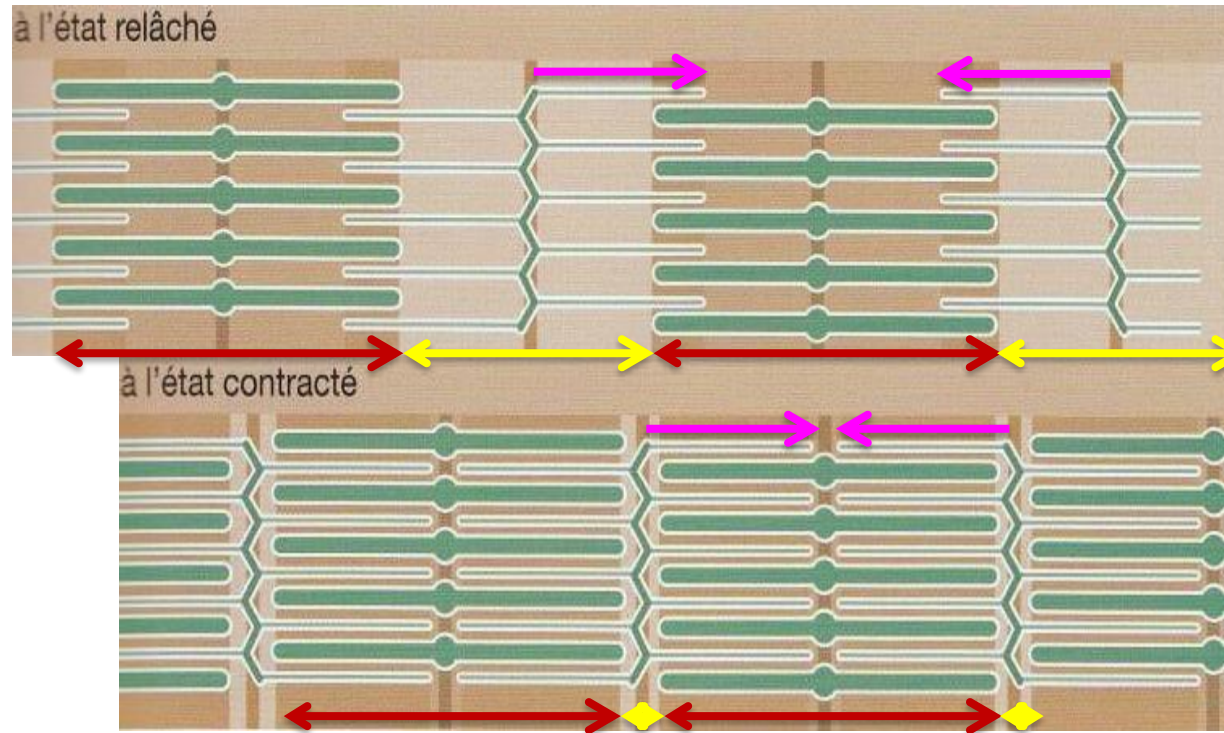
	Contraction	Etirement
Longueur du sarcomère	↓	↑
Bande A	=	=
Longueur « strie Z : bord de la bande H »	=	=
Bandes I et H	↓	↑

- Interprétation

- La longueur des filaments fins et épais n'est pas modifiée
- Les filaments fins et épais glissent les uns sur les autres et attirent les stries Z



# Sarcomère lors de la contraction



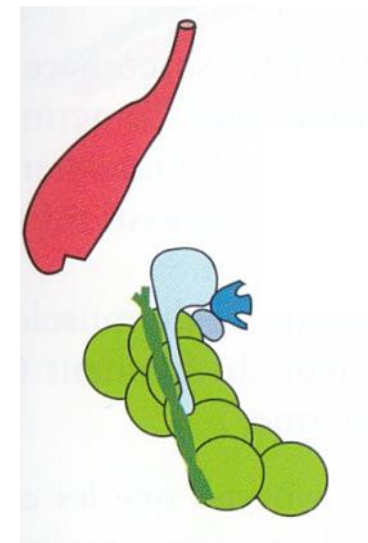
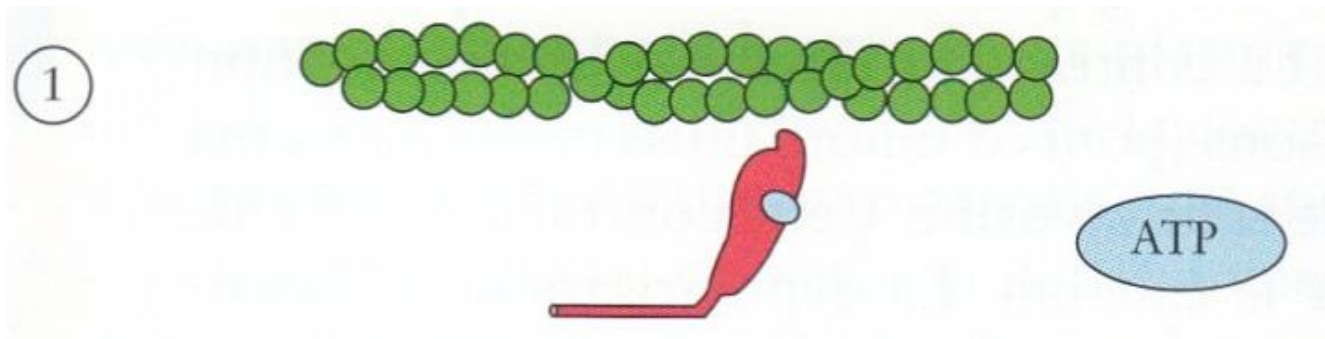
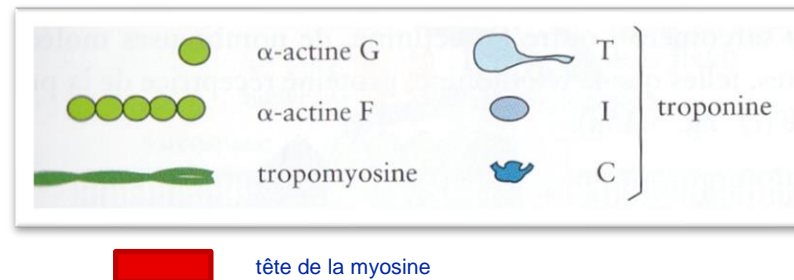
- ↔ Bande A : inchangée
- ↔ Bande I et H : diminuée
- ↔ « Strie Z : bord de la bande H » : inchangée

# Contraction musculaire : description biochimique

- Transmission d'un signal de dépolarisation à la jonction neuromusculaire
  - d'un nerf vers le muscle => contraction
- L'acétylcholine est libérée par l'axone,
  - libération par exocytose
  - fixation sur son récepteur dans le sarcolemme
- Le signal de dépolarisation est transmis par les tubules T au niveau de la jonction des bandes A et I
- Au niveau de chaque triade :
  - Transmission du signal de dépolarisation au RS
  - Libération du  $\text{Ca}^{2+}$  => Contraction

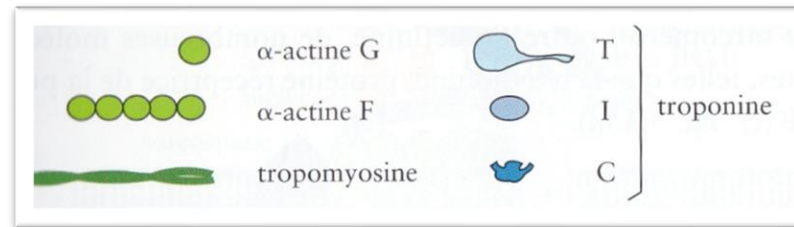
# Au repos

- En l'absence de Calcium
  - Le muscle est relâché
  - Le complexe troponine – tropomyosine bloque le site de fixation de la myosine sur le filament d'actine, en le recouvrant

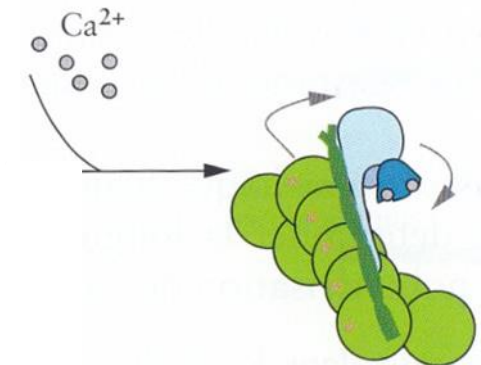
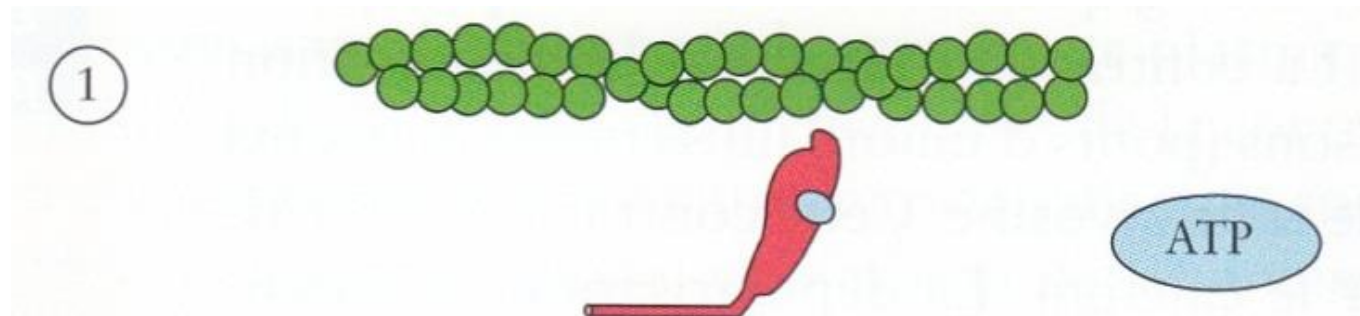


# Initiation de la contraction

- A l'arrivée du Calcium
  - Fixation du Calcium sur la troponine C
  - Changement de la configuration et déplacement du complexe troponine – tropomyosine

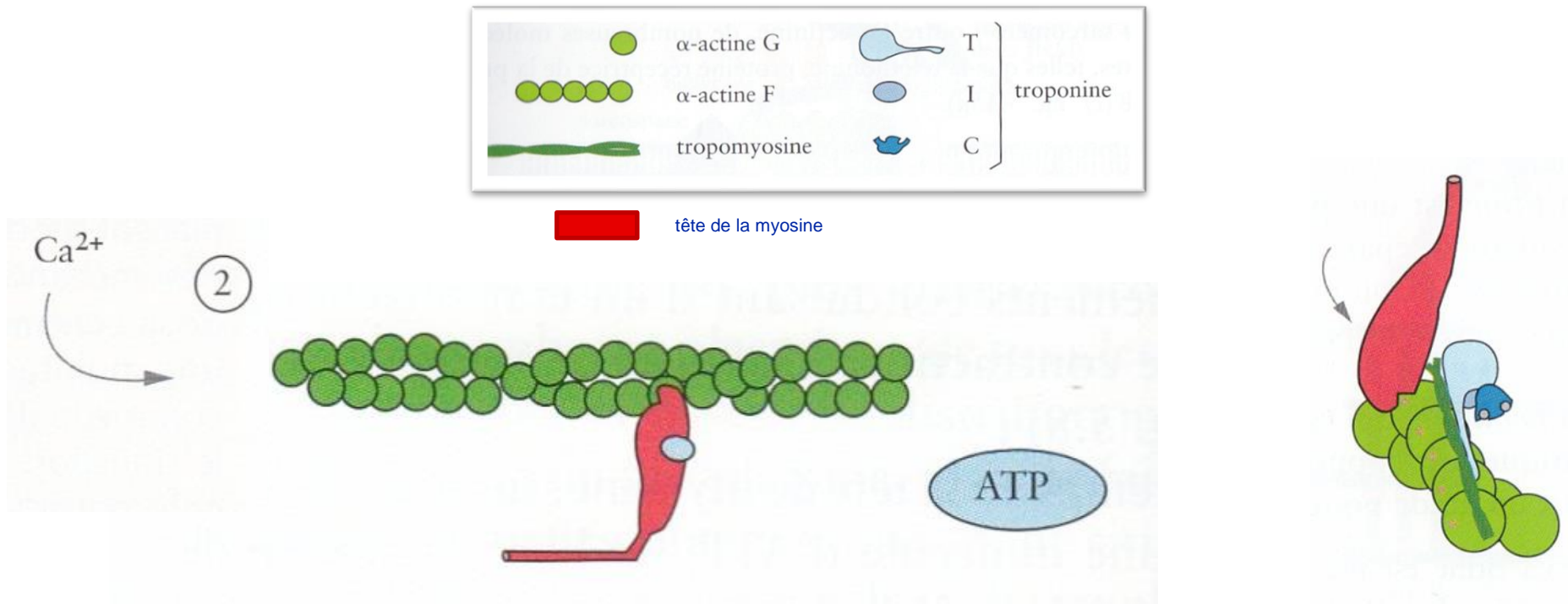


 tête de la myosine



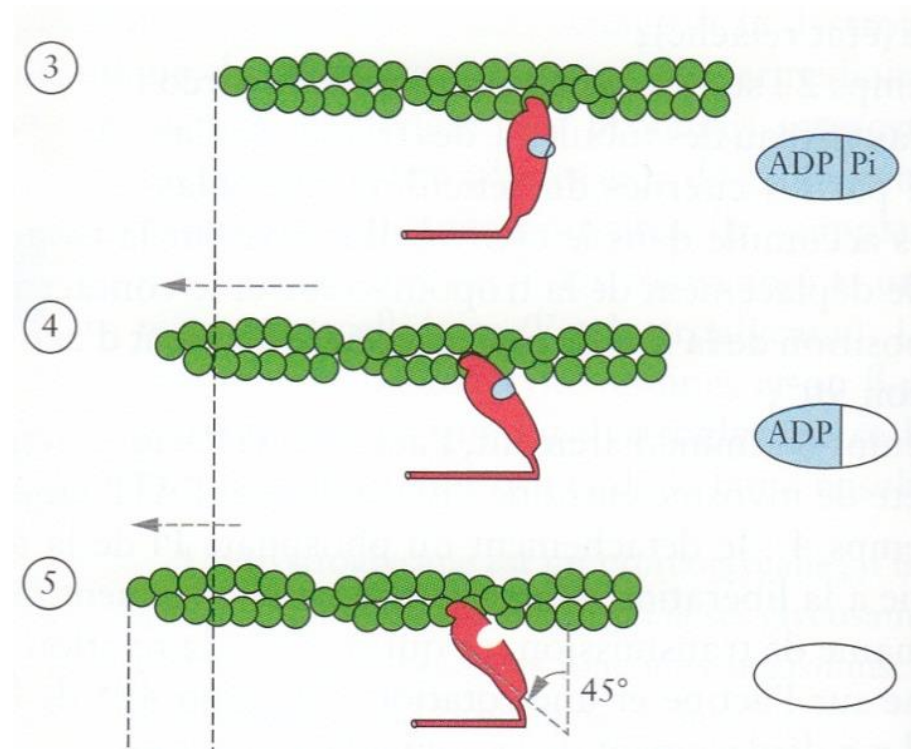
# Initiation de la contraction

- Le site de fixation de la myosine sur le filament d'actine est découvert
- Production d'ATP par la Créatine Phosphokinase (CPK)
- Fixation des têtes de myosine sur les filaments d'actine



# Le Calcium contrôle la contraction musculaire

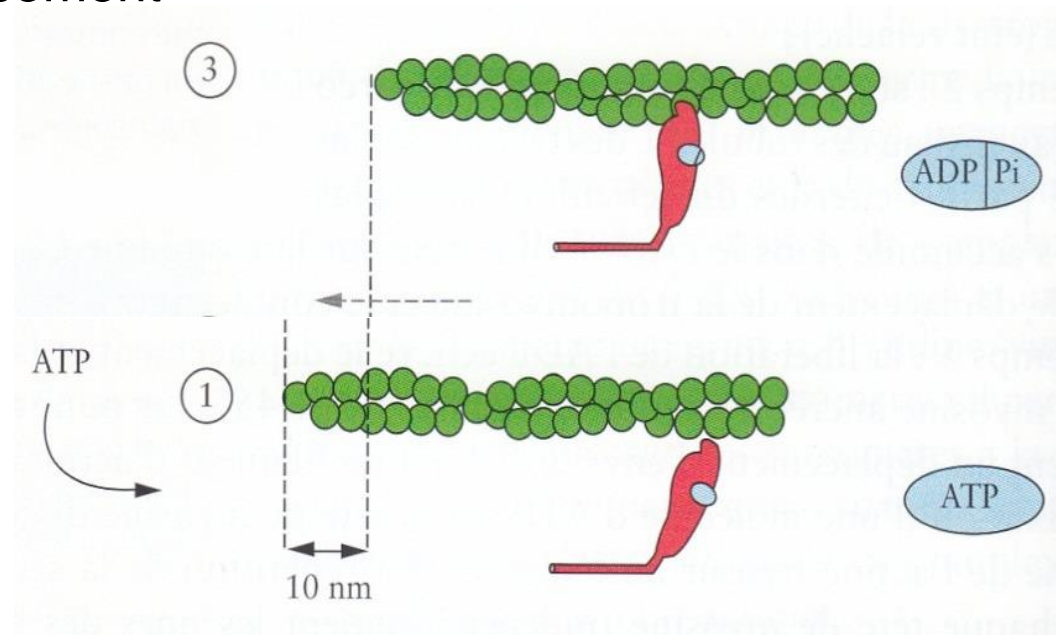
- Liaison forte actine-myosine
- Inclinaison de la tête de la myosine de  $45^\circ$
- Les filaments fins sont tirés au dessus des filaments épais





# Le Calcium contrôle la contraction musculaire

- Après ce cycle, le filament d'actine F subit une translation de 10 nm
- La tête de la myosine va se lier au site de fixation suivant de l'actine et un nouveau cycle va se produire
- Des centaines de cycles se succèdent pour produire un déplacement





# Fin de la contraction

- A la fin de la dépolarisation membranaire, le calcium est repompé dans le réticulum sarcoplasmique où il se fixe à la calséquestrine
- La contraction stoppe quand il n'y a plus de calcium

# La régénération

- La cellule musculaire est incapable de division
- La régénération nécessite :
  - l'intégrité de la membrane basale
  - Evacuation des débris par les macrophages
  - la division des cellules satellites
  - Fusion des cellules jeunes pour former un syncytium avec des noyaux centraux
  - différenciation en cellules musculaires par production importante de myofibrilles et refoulement des noyaux en périphérie

# Pathologie muscle squelettique

- Dystrophie musculaire de Duchenne
  - Faiblesse et atrophie musculaire
    - Atteint des membres, des muscles respiratoires
  - Maladie génétique récessive liée à l'X
    - Garçons atteints
    - Mutation du gène de la dystrophine
    - Dystrophine anormale
      - Protéine associée au sarcolemme
      - Empêchant la transmission des forces contractiles des sarcomères au tissu de soutien collagène pour générer le mouvement.
  - CPK plasmatiques le plus souvent augmentées

# **Le tissu musculaire lisse**

# Plan

- Généralités
- Le muscle strié squelettique
- **Le tissu musculaire lisse**
  - **La cellule musculaire lisse**
    - Morphologie et constitution
  - **Architecture : organisation tissulaire**
    - Répartitions et types physiologiques
    - Enveloppe conjonctive
    - Innervation
  - **Propriétés**
    - Régénération
    - Sécrétion
    - Contraction
- Le tissu myocardique

# Le tissu musculaire lisse - Généralités

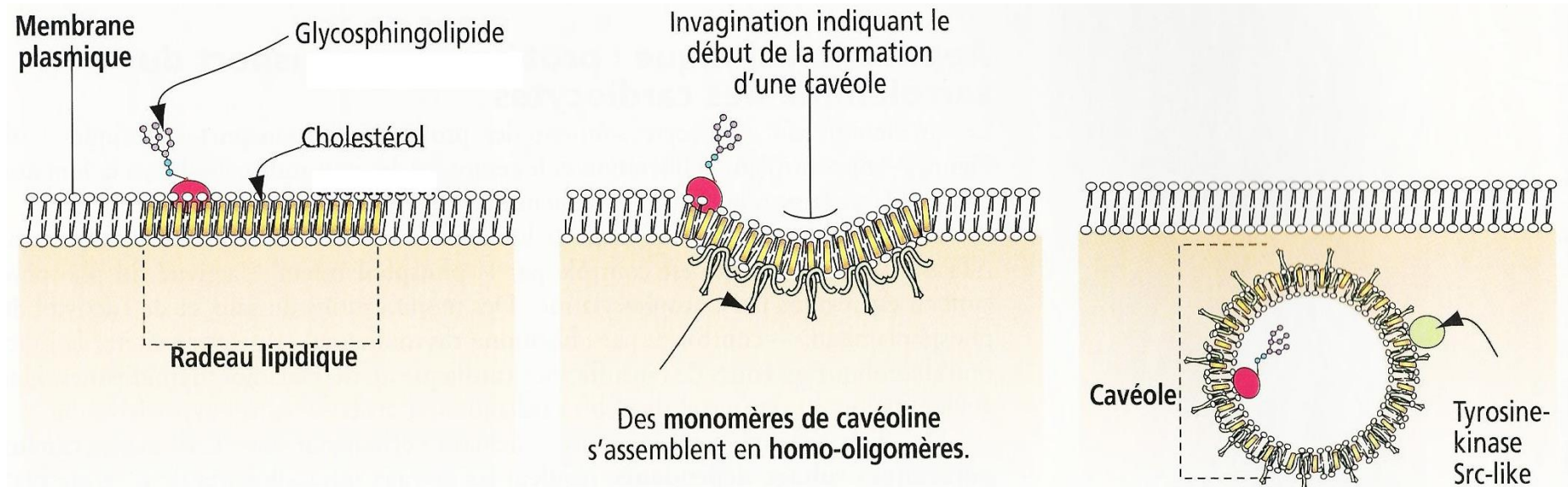
- Rôle dans la vie végétative et la régulation des grandes fonctions
- Contractions de la masse musculaire dans son ensemble
- Responsable de contractions
  - Continues relativement faibles
  - A l'origine de mouvements rythmiques ou ondulatoires
- Modulé par :
  - Le système neurovégétatif
  - Des facteurs mécaniques (étirement)
  - Des facteurs hormonaux (ocytocine)
- Indépendante de la volonté



# Cellule musculaire lisse

- Fusiforme, de petite taille avec une membrane plasmique doublée d'une lame basale,
  - Sans tubule T
  - Avec de nombreuses invaginations à partir de radeaux lipidiques, à l'origine des cavéoles C.

# Les cavéoles C



- Vésicules de pinocytose formées à partir des invaginations des radeaux lipidiques
- Concentrent des molécules de signalisation impliquées dans des fonctions cellulaires.
- Transmettent les signaux de dépolarisation à un réticulum sarcoplasmique très sommaire.
- Rôle de système tubulaire T primitif

# Cellule musculaire lisse

- Noyau unique, allongé, central
- Le cytoplasme
  - Est finement granuleux, condensé à la périphérie
  - Contient peu de myoglobine :
  - Des mitochondries, ribosomes, REG, AG assez développés
  - Des cavéoles C près de la membrane plasmique
  - Un laci de filaments

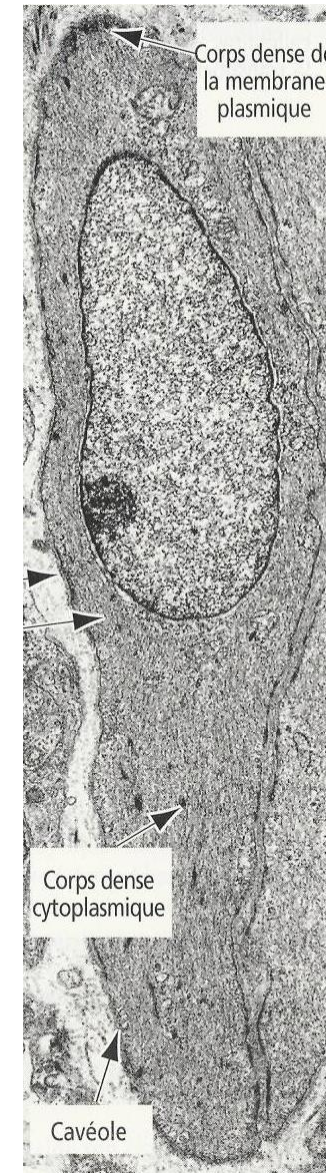
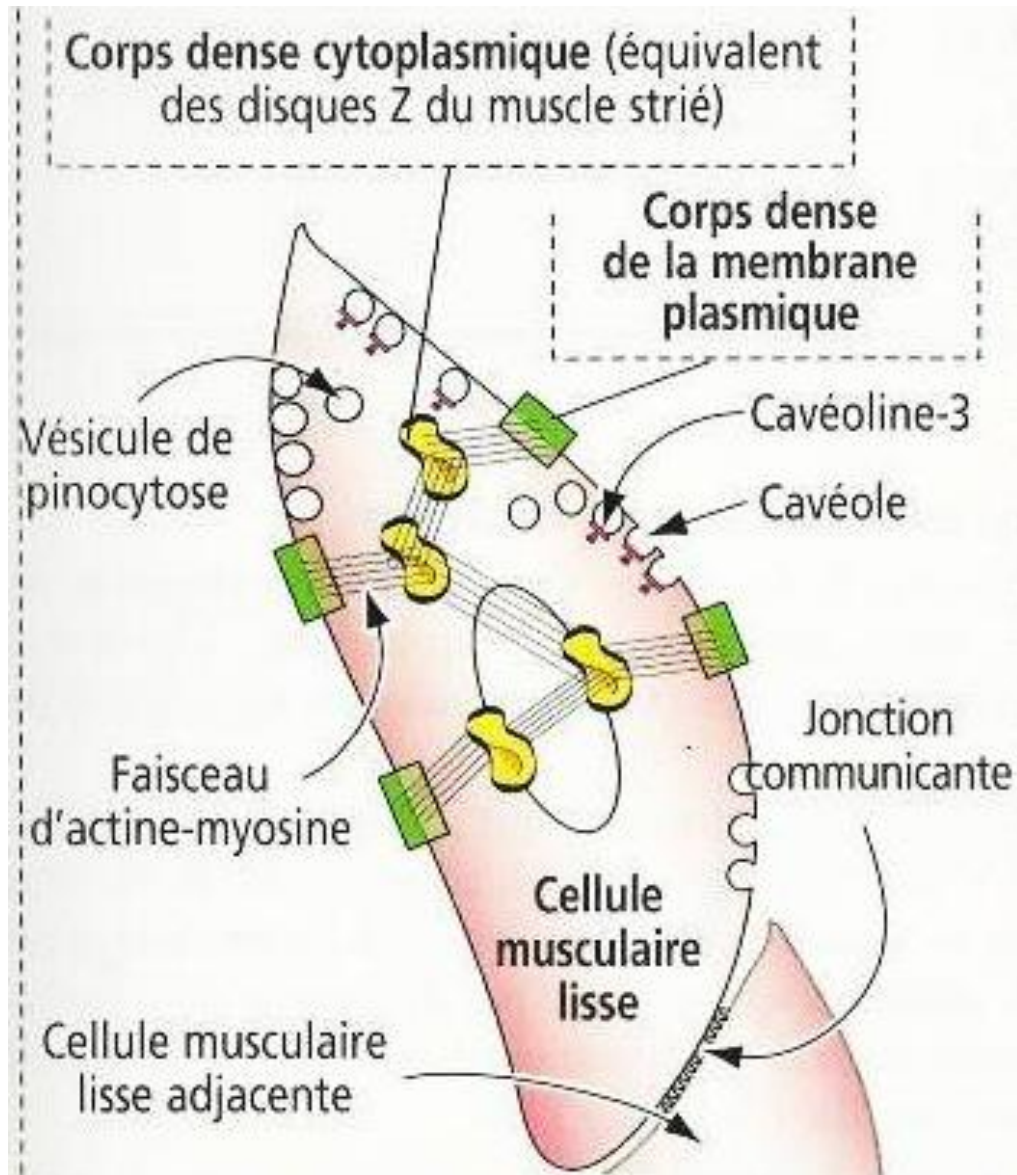
# Filaments

- Organisés en réseaux, mais pas en sarcomères
- Surtout des filaments fins d'actine,
  - Associés à des filaments de tropomyosine,
  - Mais sans troponine
- Plus rarement des filaments épais de myosine
  - Différente de celle du muscle squelettique
  - Ne se fixe à l'actine que si la chaîne légère de la myosine est phosphorylée. Cette phosphorylation permet la contraction cellulaire
- Des filaments intermédiaires de desmine et de vimentine
  - Fixent les corps denses à la membrane plasmique

## Les corps denses des muscles lisses

- Les corps denses cytoplasmiques sont attachés à la membrane plasmique par des filaments intermédiaires de desmine et de vimentine
- Ils constituent le lieu de fixation des filaments d'actine et de myosine associés
- Ils représentent donc un équivalent des stries Z du muscle squelettique
- Lors de la contraction des complexes actine-myosine, leur attachement aux corps denses provoque le raccourcissement de la cellule.

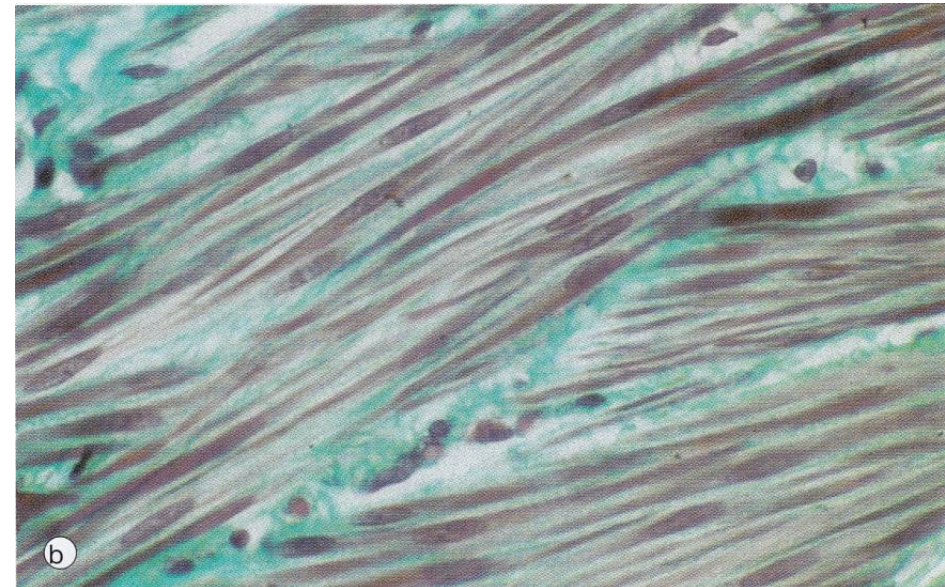
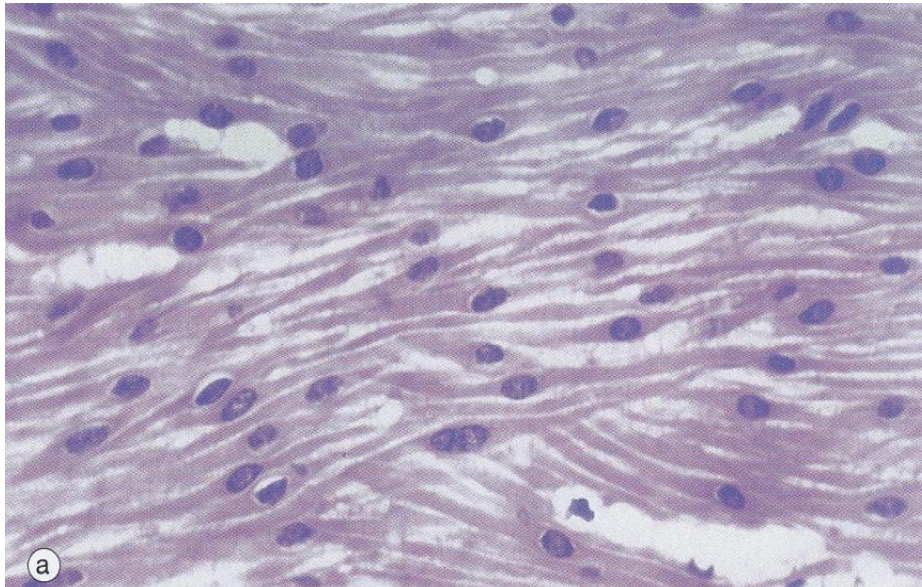
# Les corps denses





# Organisation du muscle lisse

- Rassemblées en faisceaux ramifiés, irréguliers
- Souvent forme des tuniques de la paroi d'organes creux
- Disposition variable selon la localisation
  - Plexiforme dans les organes creux
  - Spirale dans les vaisseaux



# Organisation du muscle lisse

- Enveloppe conjonctive
  - Autour de chaque cellule musculaire lisse
  - Autour des faisceaux musculaires
- Innervation par des fibres amyéliniques du SN végétatif
  - Terminaisons adrénergiques et cholinergiques, au voisinage des cellules
- La synergie de contraction :
  - Soit par transmission simultanée à plusieurs fibres/cellules
    - Muscles lisses multi-unitaires
    - Grandes artères, canaux de l'appareil de la reproduction mâle, iris de l'oeil
  - Soit par transmission intercellulaire par les jonctions communicantes
    - Muscles lisses unitaires
    - Paroi des viscères creux

# Propriétés

- Régénération
- Activité de sécrétion
- Contraction

# Propriétés

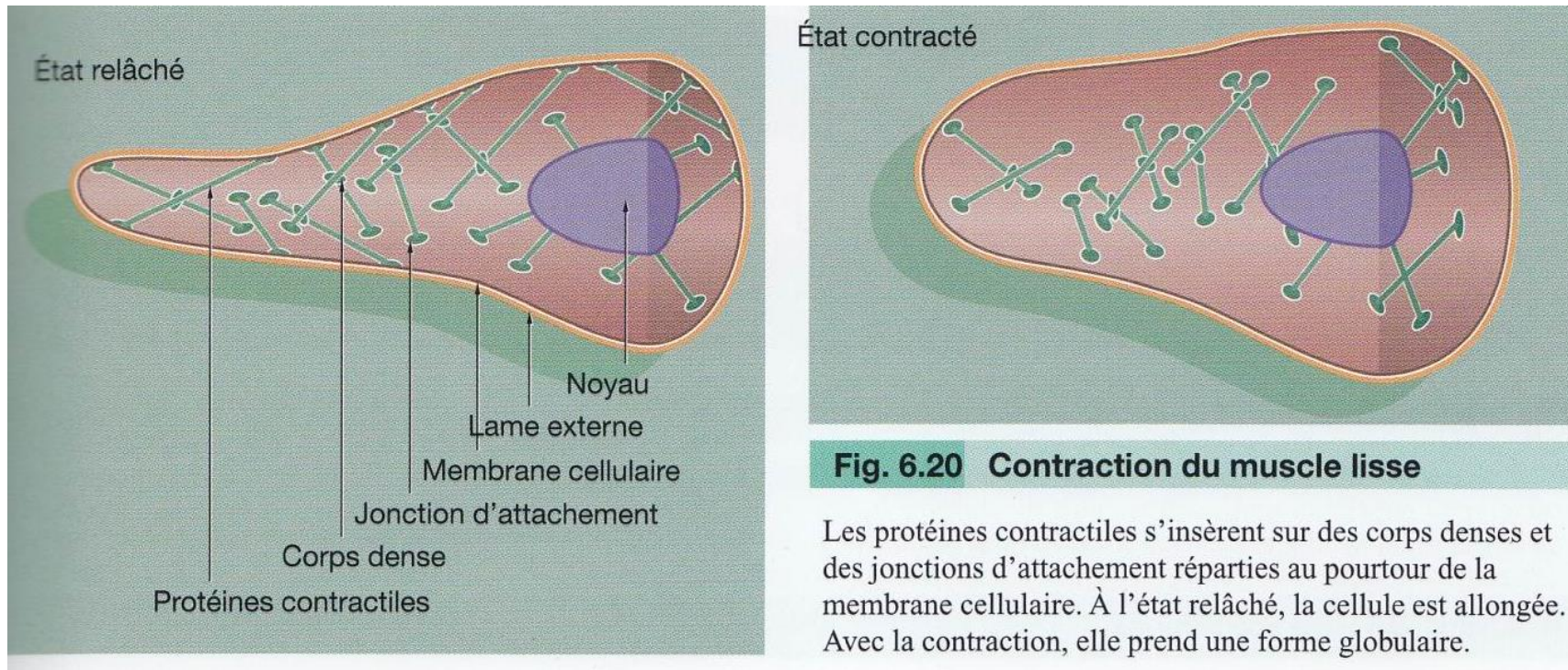
- Régénération : capacité faible sauf pour :
  - Les péricytes des vaisseaux
  - L'utérus gravide où il y a :
    - hypertrophie : : ↑ volume cellulaire
    - et hyperplasie cellulaires : ↑ nombre cellulaire
- Sécrétion
  - Parfois de certains éléments de la matrice extra-cellulaire
    - Collagène
    - Elastine

# Propriétés : la contraction

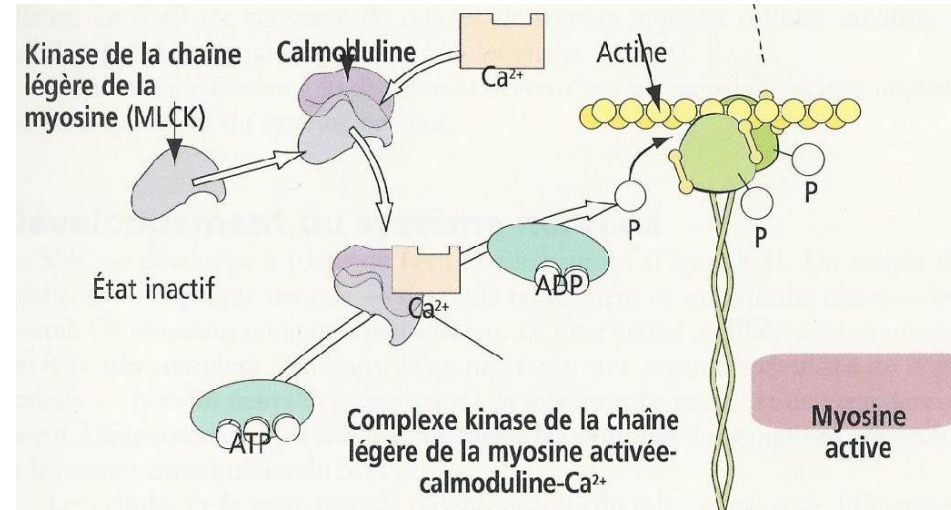
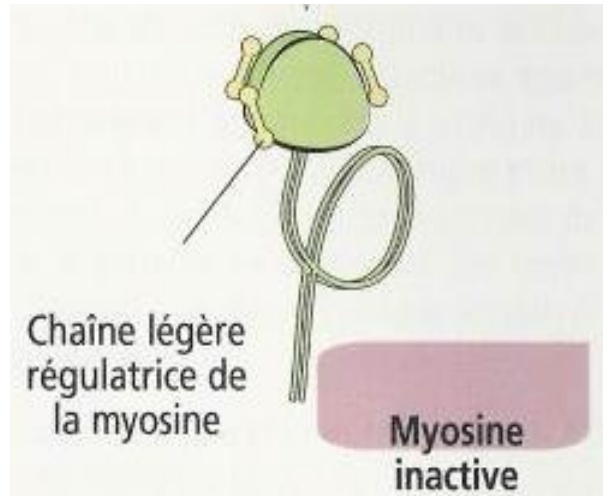
- Lente, mais durable (consomme peu d'énergie)
- Les cellules deviennent globulaires
- Les étapes de la contraction sont :
  - Excitation de la membrane
  - Libération du  $\text{Ca}^{++}$  dans le cytoplasme à partir du RE
  - Fixation du Ca à la calmoduline
  - Activation par le complexe « calmoduline :  $\text{Ca}^{++}$  » d'une kinase de la chaîne légère de la myosine
  - Phosphorylation de la chaîne légère de la myosine
  - Elongation de la myosine et son assemblage en filaments
  - Exposition sur la tête de la myosine du site de fixation de l'actine
  - Fixation de la myosine aux filaments d'actine
  - Glissement des filaments d'actine (comme pour les muscles squelettiques et contraction cellulaire)



# Contractions des cellules musculaires lisses



# Régulation de la contraction du muscle lisse



- Régulation par la phosphorylation de l'une des chaînes légères de la myosine (chaîne légère régulatrice)
- L'activité de la kinase de la chaîne légère de la myosine (MLCK) est régulée par le complexe calmoduline- $Ca^{2+}$
- Fixation de la calmoduline sur la MLCK induite par l'augmentation du  $Ca^{2+}$  cytosolique
- Phosphorylation de la chaîne légère de la myosine par le complexe MLCK – calmoduline- $Ca^{2+}$



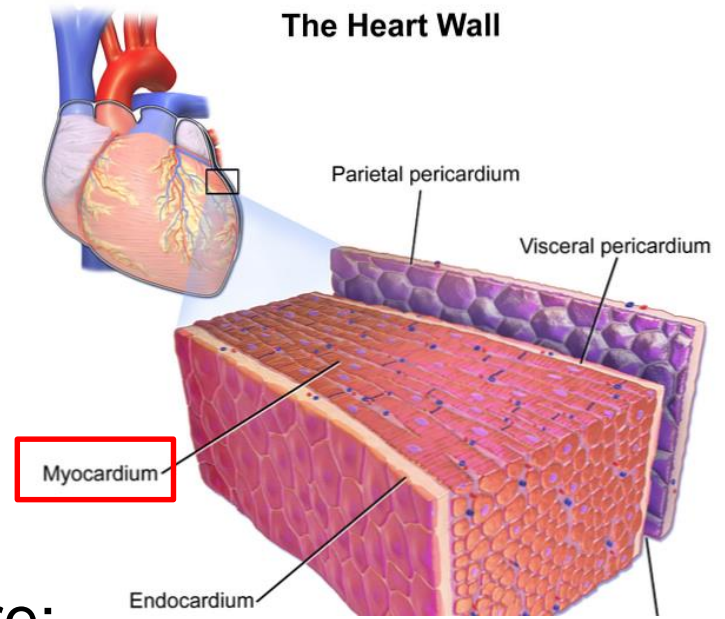
# **Le tissu myocardique**

# Plan

- Généralités
- Le muscle strié squelettique
- Le tissu musculaire lisse
- Le tissu myocardique
  - La cellule myocardique
    - Morphologie et constitution
    - Cellules endocrines myocardiques
    - Cellules cardionectrices
  - Organisation du muscle cardiaque
    - Architecture
    - Formations conjonctives
    - Enveloppes
  - Propriétés de la cellule myocardique
    - Régénération
    - Contraction

# Le tissu myocardique

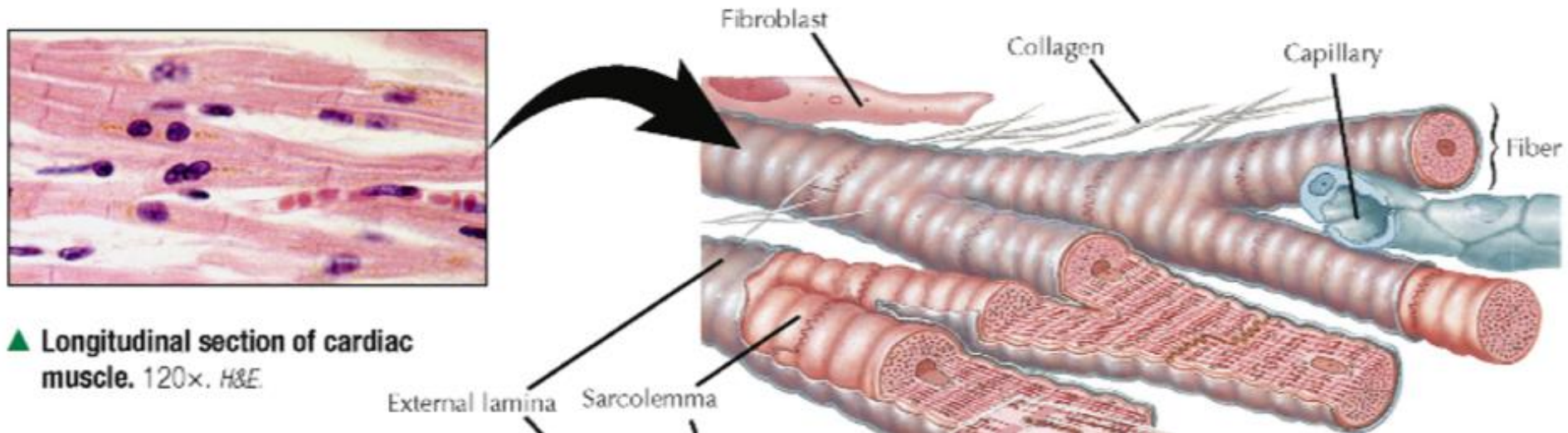
- Tunique moyenne du cœur entre :
  - L'endocarde à l'intérieur
  - Le péricarde, à l'extérieur



- Caractéristiques intermédiaires entre:
  - Le muscle lisse
  - Le muscle squelettique
- Contractions :
  - puissantes mais continues
  - Initiées de façon intrinsèque, mais modulées par des facteurs neurovégétatifs et hormonaux

# Cellules myocardiques

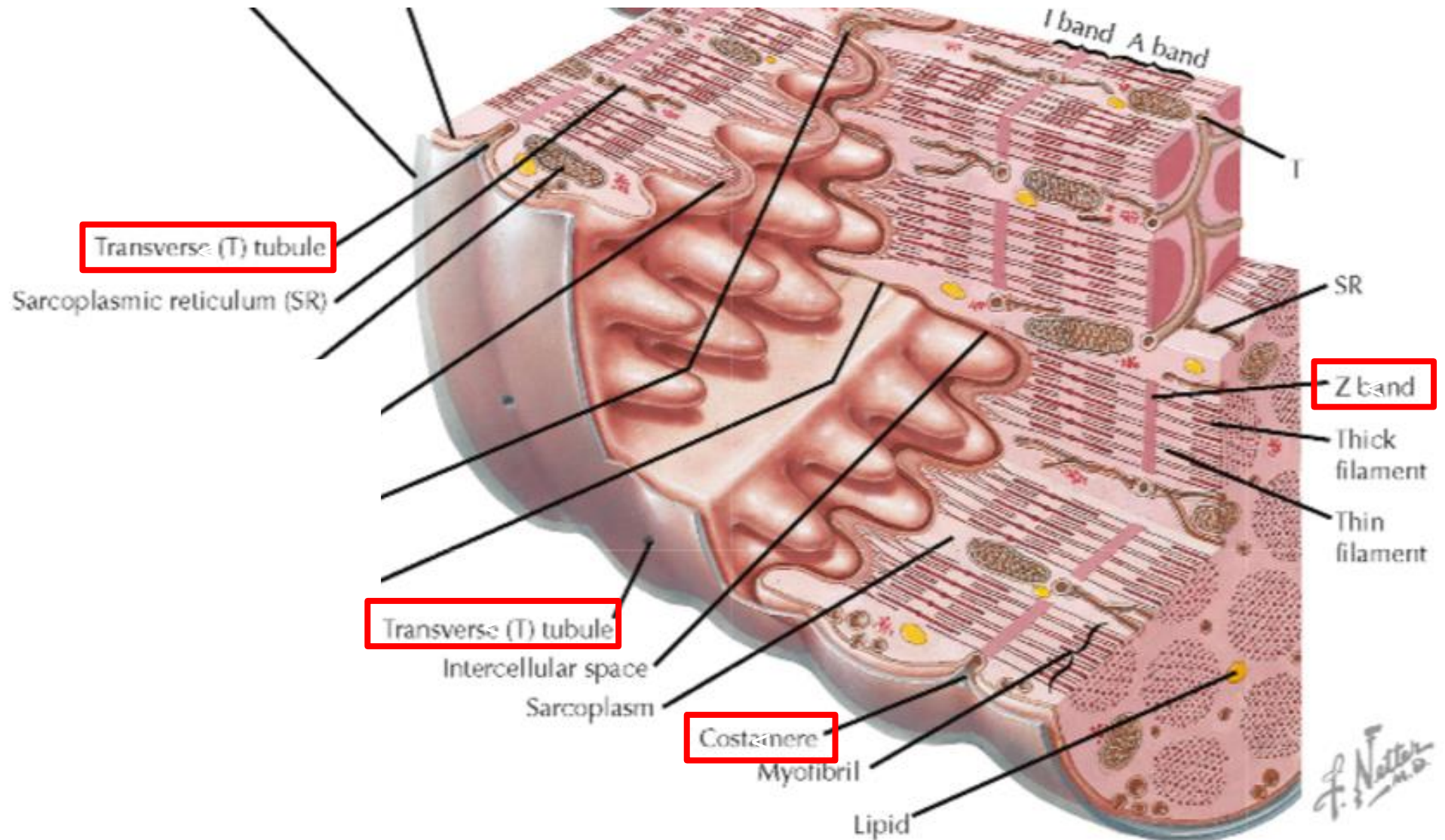
- Cylindriques, 80 $\mu$ m
- Forment un réseau tridimensionnel par ses extrémités ramifiées
- Noyau le plus souvent unique, central



# Membrane plasmique

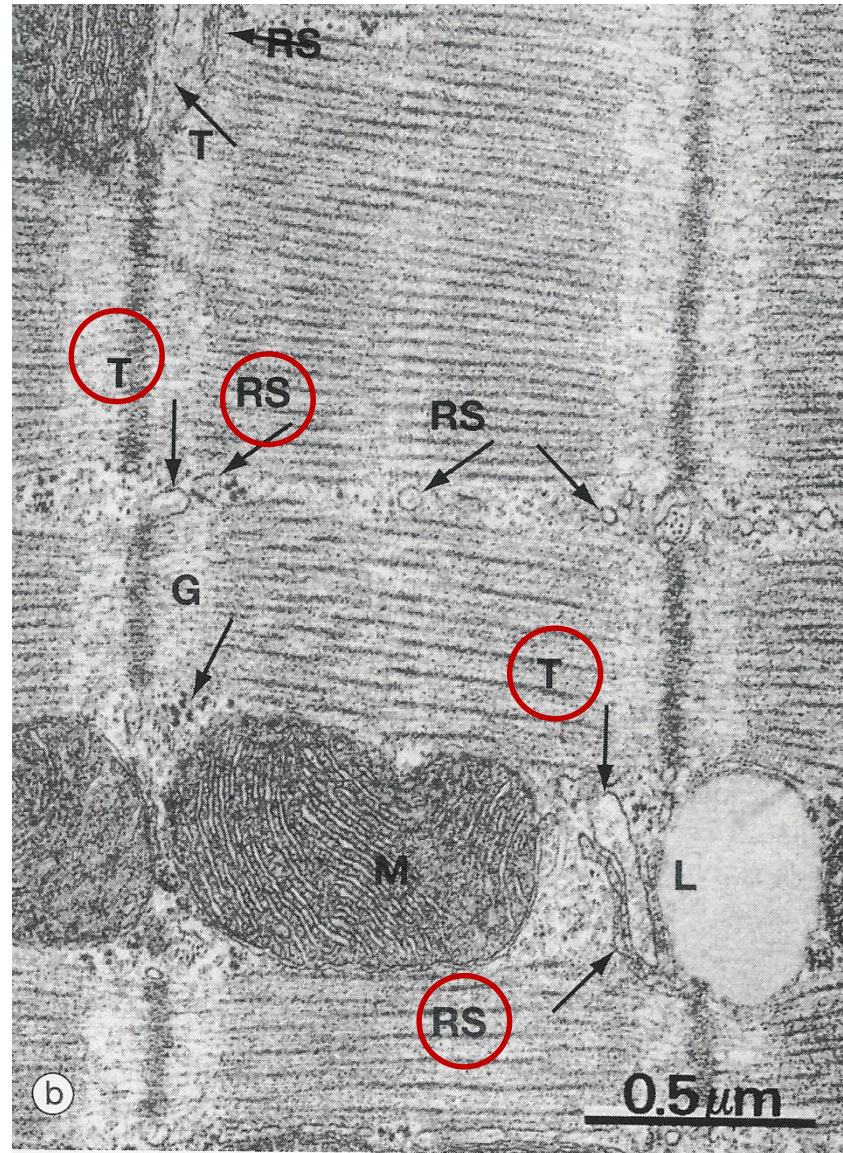
- Membrane cellulaire typique avec des tubules T, mais différents de ceux du muscle squelettique:
  - en regard des stries Z (mais pas à la jonction bandes A/bandes I)
  - Plus nombreux et plus longs
  - Forment une **diade** (au lieu d'une triade) avec **une seule** citerne transversale du réticulum sarcoplasmique (au lieu de deux)

# Schéma : myocarde en ME

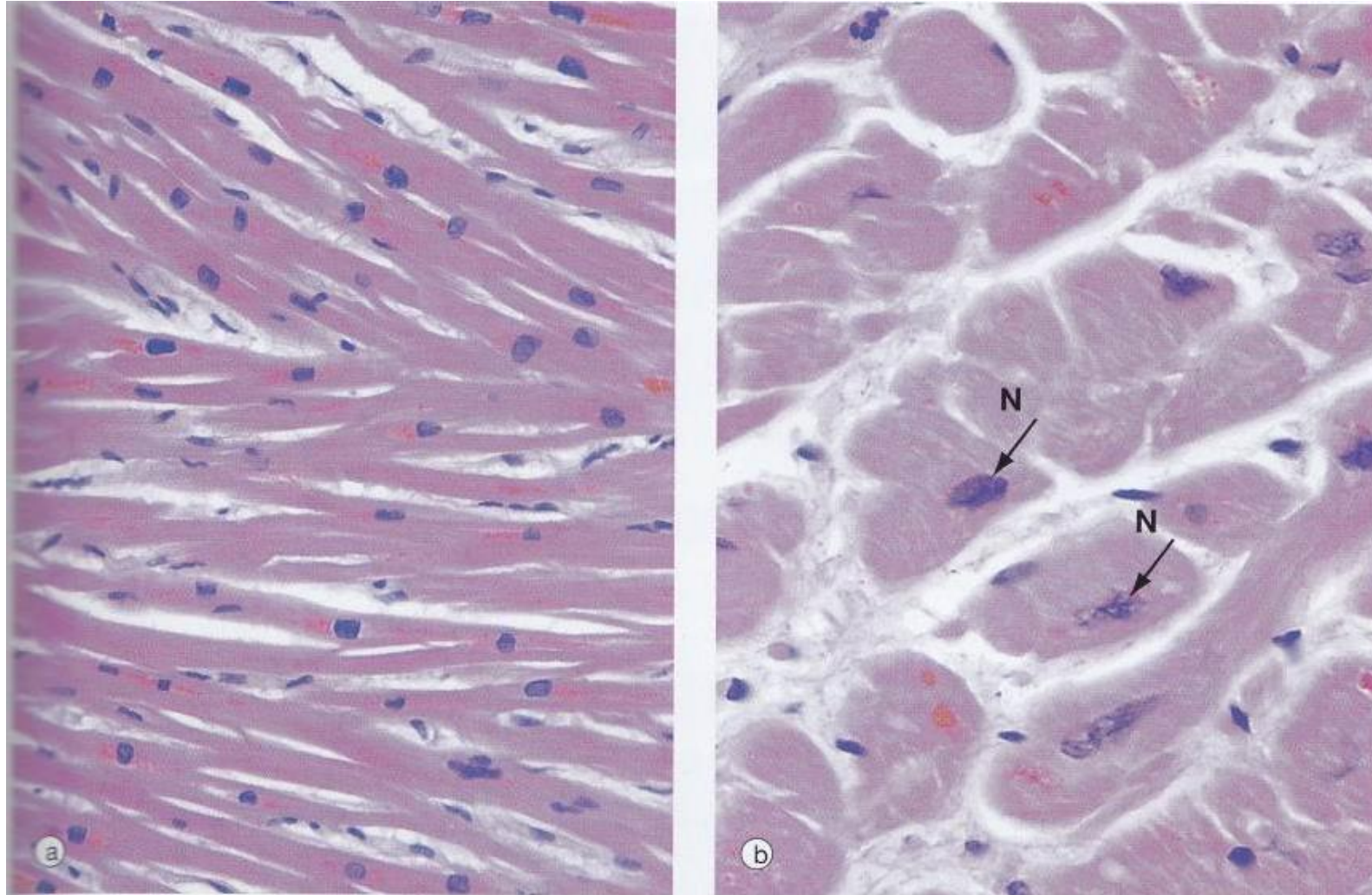




# Diade myocardique (ME)

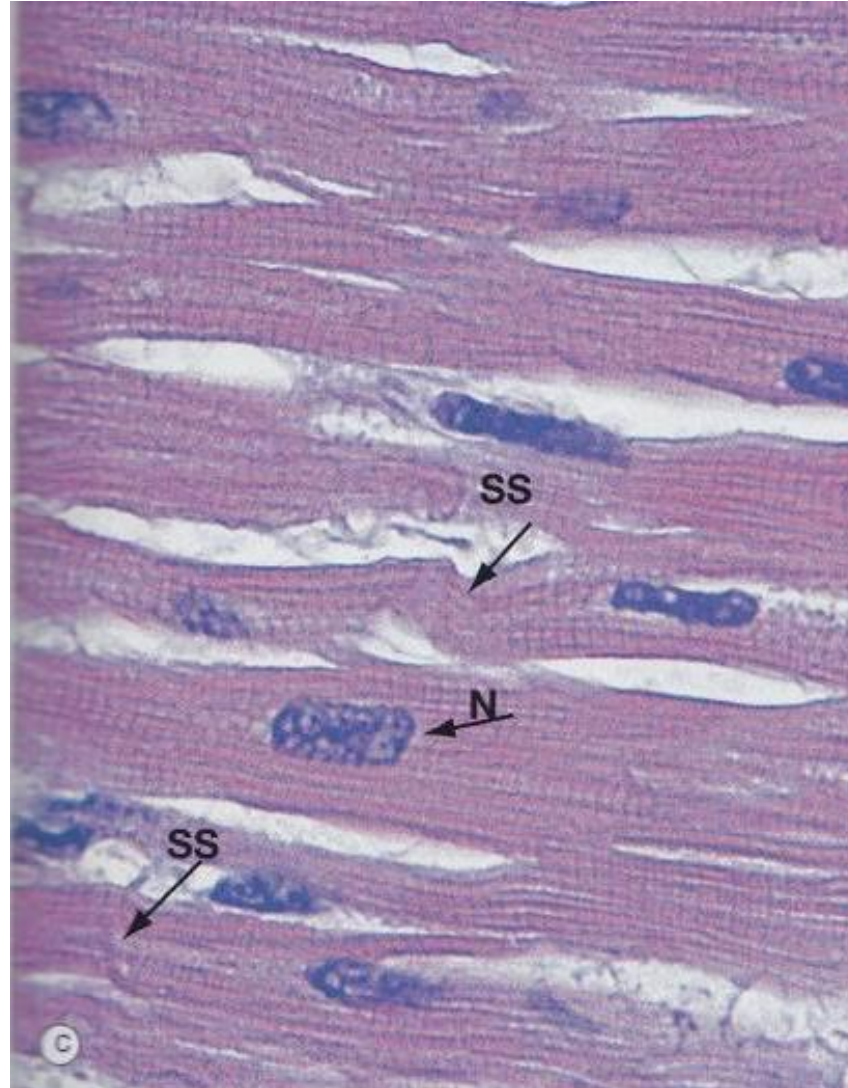


# Le muscle cardiaque en MO





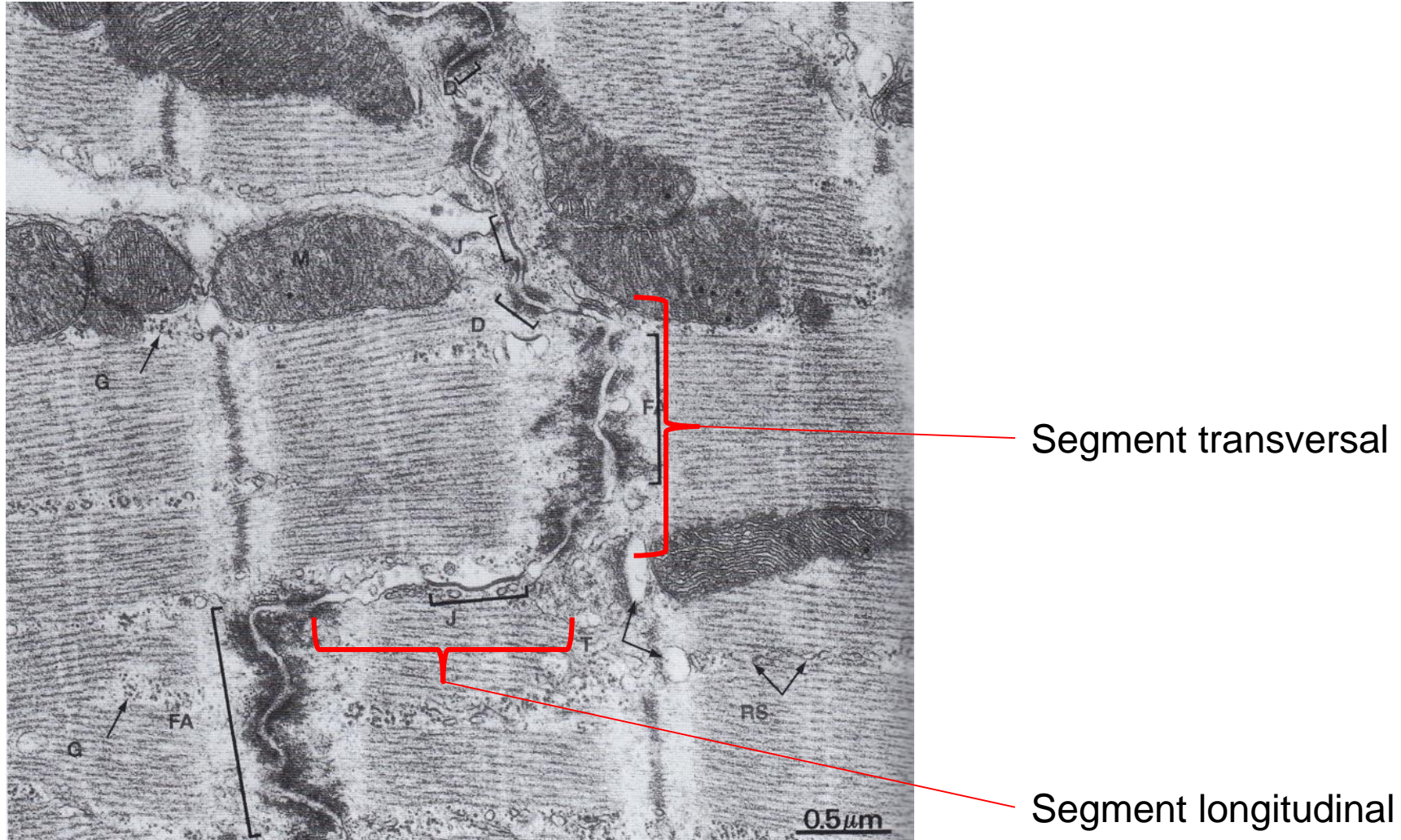
# Le muscle cardiaque en MO



# Membrane plasmique

- Forment des stries scalariformes
  - Stries denses de 2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
  - Sur toute la longueur de la cellule
  - En marches d'escalier avec alternance de :
    - segments transversaux indentés et irréguliers
    - et de segments longitudinaux, plus lisses

# Strie scalariforme



D desmosome E cellule endothéliale F fibroblaste FA fascia adherens G glycogène  
ID interdigitation J jonction communicante L leucocyte LE lame externe M mitochondries  
RS réticulum sarcoplasmique S sarcomère T tubule T

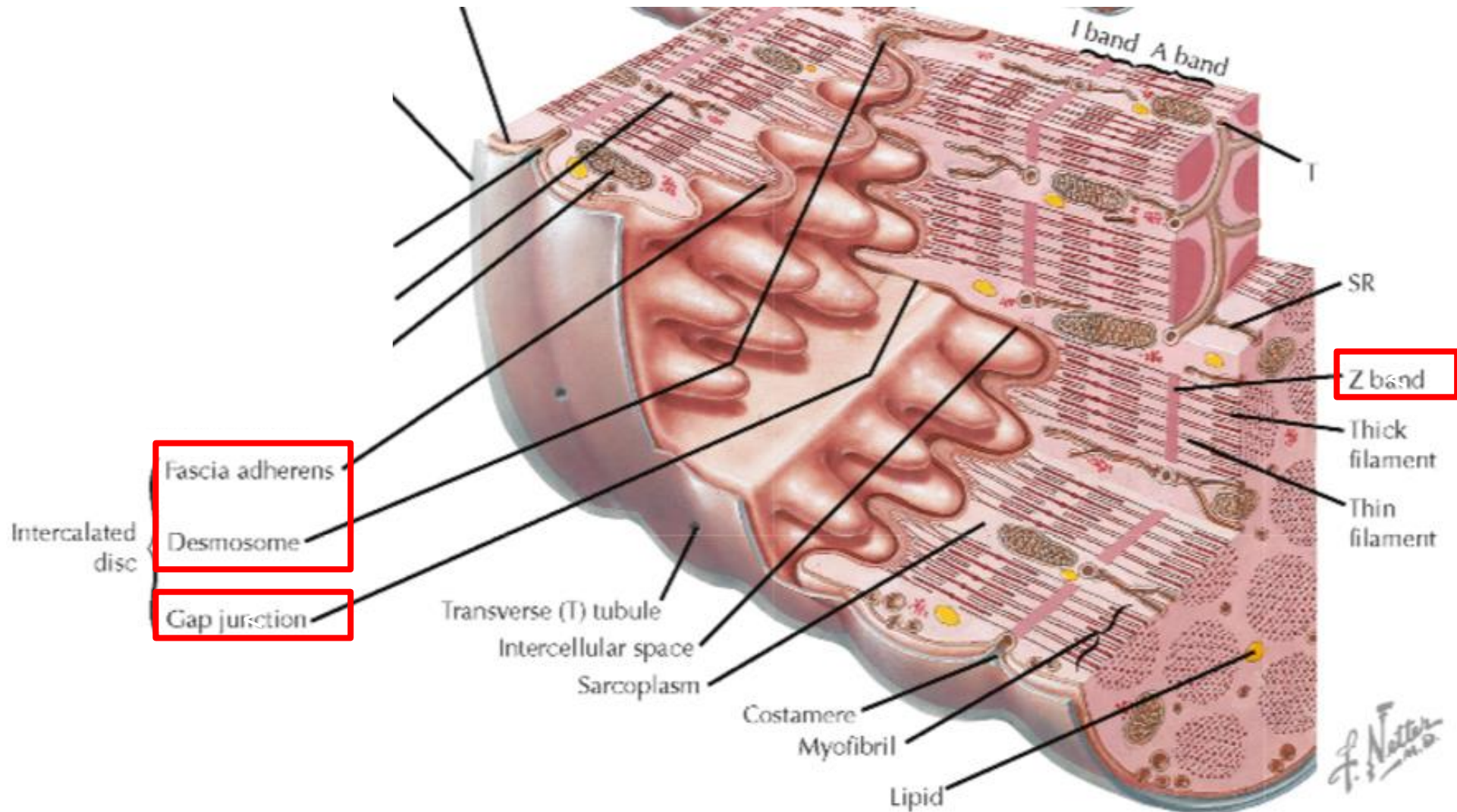
# Stries scalariformes

Segments de morphologie, rôles et constitution différentes

Portions	Transversales	Longitudinales
Aspects	Irréguliers	Lisses
Rôles	Couplage mécanique	Conduction de l'excitation
Jonctions cellulaires spécialisées	Desmosomes et Facia Adherens	Jonctions communicantes (Gap Junction)



# Schéma : myocarde en ME



# Le muscle cardiaque



D desmosome E cellule endothéliale F fibroblaste FA fascia adherens G glycogène  
ID interdigitation J jonction communicante L leucocyte LE lame externe M mitochondries  
RS réticulum sarcoplasmique S sarcomère T tubule T

# Organites

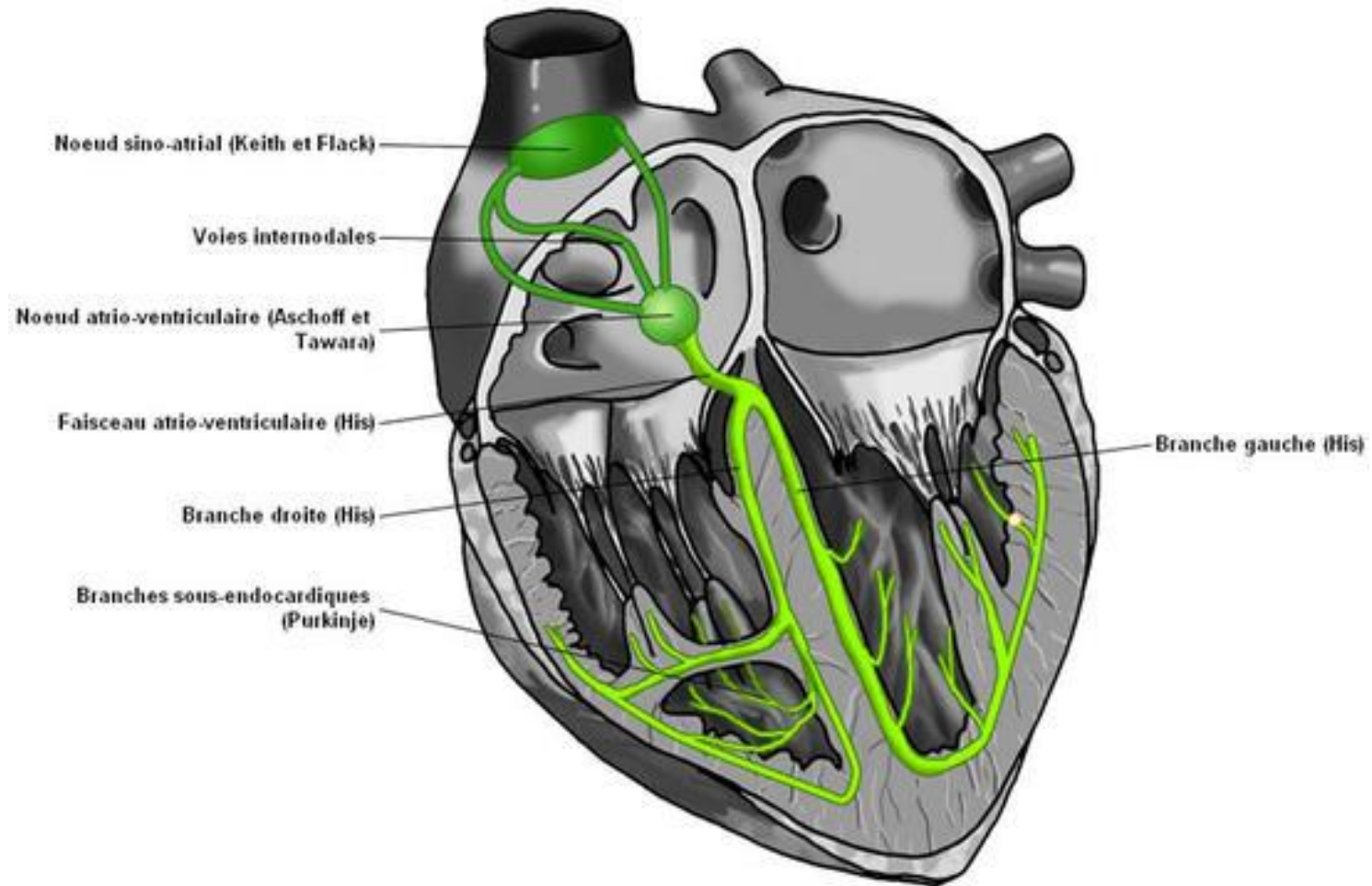
- Chondriome très abondant avec :
  - Des mitochondries de grande taille avec de nombreuses crêtes
  - Alignées le long des myofibrilles
- RE lisse en réseau irrégulier entre les myofibrilles et le sarcolemme
- AG périnucléaire avec un peu de REG
- Gouttelettes lipidiques ou dépôts de lipochrome fréquents
- Myofibrilles identiques à celles des muscles squelettiques mais avec une strie Z plus épaisse



# Organisation du muscle cardiaque

- **Différentes couches**
  - Myocarde
    - En un réseau de fibres musculaires séparées par de très nombreux capillaires
    - Dans l'espace intercellulaire, le tissu de soutien est très discret.
  - Endocarde
    - Tapisse les cavités
    - En continuité avec l'endothélium des vaisseaux
  - Epicarde et péricarde
    - Recouvre le myocarde
    - Constitué de mésothélium et de tissu conjonctif vascularisé
- **Vascularisation**
  - Artères coronaires, veines et capillaires non fenêtrés
- **Innervation**
  - par système nerveux autonome qui régule le rythme cardiaque

# Le système de Purkinje



# Organisation du muscle cardiaque

- Le tissu cardionecteur : le système de Purkinje
  - Induit la contractilité intrinsèque du tissu myocardique
  - Nœud sino-auriculaire (Keith et Flack)
    - Myocytes très ramifiés avec peu de myofilaments
    - Dépolarisation spontanée modulée par le SN autonome
  - Le nœud auriculo-ventriculaire (Aschoff Tawara)
  - Le faisceau auriculo-ventriculaire
    - Myocytes = fibres de Purkinje
    - Cellules plus larges que les cellules myocardiques ordinaires
    - Myofibrilles en périphérie autour d'une grande quantité de glycogène
- Cellules endocrines
  - Myocytes avec des granulations sécrétrices
  - contenant un précurseur peptidique : le facteur atrial natriurétique



# Propriétés

- Régénération
  - Absente, car il n'y a pas de cellules satellites
- Contraction
  - Double mécanisme
    - Myofibrilles identiques au muscle squelettiques
    - Système de phosphorylation de l'une des chaînes légères de la myosine identique au muscle lisse
  - Autostimulation par le système de Purkinje
  - Modulée par le système neurovégétatif :
    - L'innervation sympathique : accélération
    - L'innervation parasympathique : ralentissement

# Pathologie des cellules myocardiques

- Athérome d'une artère coronaire
  - ↓ du calibre, du débit sanguin, de l'oxygénation du myocarde
    - = Angor ou angine de poitrine
  - Oblitération => mort cellulaire myocardique = infarctus du myocarde
    - Conséquence mécanique : possibilité d'insuffisance cardiaque en cas de perte importante de la fonction contractile du myocarde, voire d'arrêt cardiaque
    - Conséquences électriques : possibilité d'un trouble du rythme par une altération de la conduction de la dépolarisation, comme la fibrillation ventriculaire

**Bon travail !**

# Mentions légales

---

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.