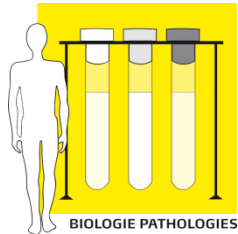




# Des cellules contractiles aux systèmes musculaires squelettique, lisse et cardiaque

Orthophonie (DUO) 1<sup>ère</sup> année  
Novembre 2024



Dr. J. Myzia

[J-myzia@chu-montpellier.fr](mailto:J-myzia@chu-montpellier.fr)

Service de Physiologie clinique,  
unité d'exploration métabolique et musculaire  
CHU Lapeyronie

# Plan

1. Structure, ultrastructure et fonction
2. Mécanisme de la contraction d'une fibre musculaire:  
Couplage excitation-contraction
3. Muscle strié squelettique cardiaque et muscle lisse :  
Physiologie comparative

# 1. Structure, ultrastructure et fonction

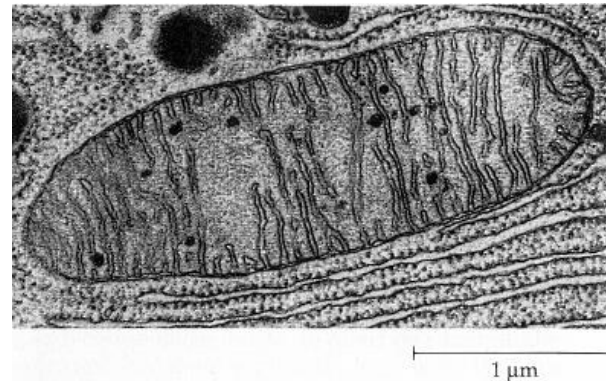
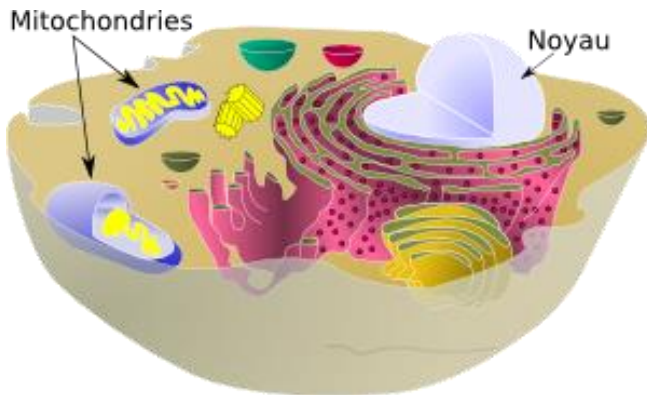
# • Généralités

- 40% poids corporel (différence homme et femme 32 %)
- 637 muscles striés squelettiques chez l'Homme
- 25% dépense énergétique de base
- Fonctions :
  - Mouvements - Déplacements – Posture
  - Fonctions végétative
  - Thermogénèse
- Transformateur d'énergie
- Unité fonctionnelle = unité motrice

# A/ Fonction de Transformation d'énergie

➔ **ATP = énergie des cellules**

- ✓ Utilisation de substrats énergétiques : Glucides, Lipides
- ✓ Dégradation par le cycle de Krebs : Riche contenu enzymatique
- ✓ Oxydation mitochondriale : utilisation O<sub>2</sub>, substrats et production d'ATP



➔ **Organe principal pour la production d'ATP  
+ Consommation d'O<sub>2</sub> +++**

## B/ Fonction de Mouvement

 Cinq propriétés des muscles:

**Excitabilité**



**Percevoir un stimulus chimique et y répondre**

**Contractilité**



**Capacité de se contracter**

**Élasticité**



**Capacité de s'étirer et de reprendre sa taille au repos**

**Extensibilité**



**Faculté d'étirement au delà de la longueur de repos**

**Plasticité**



**Adaptation au type d'effort selon l'entraînement suivi**

# 1/ Structure et niveaux d'organisation du muscle strié squelettique

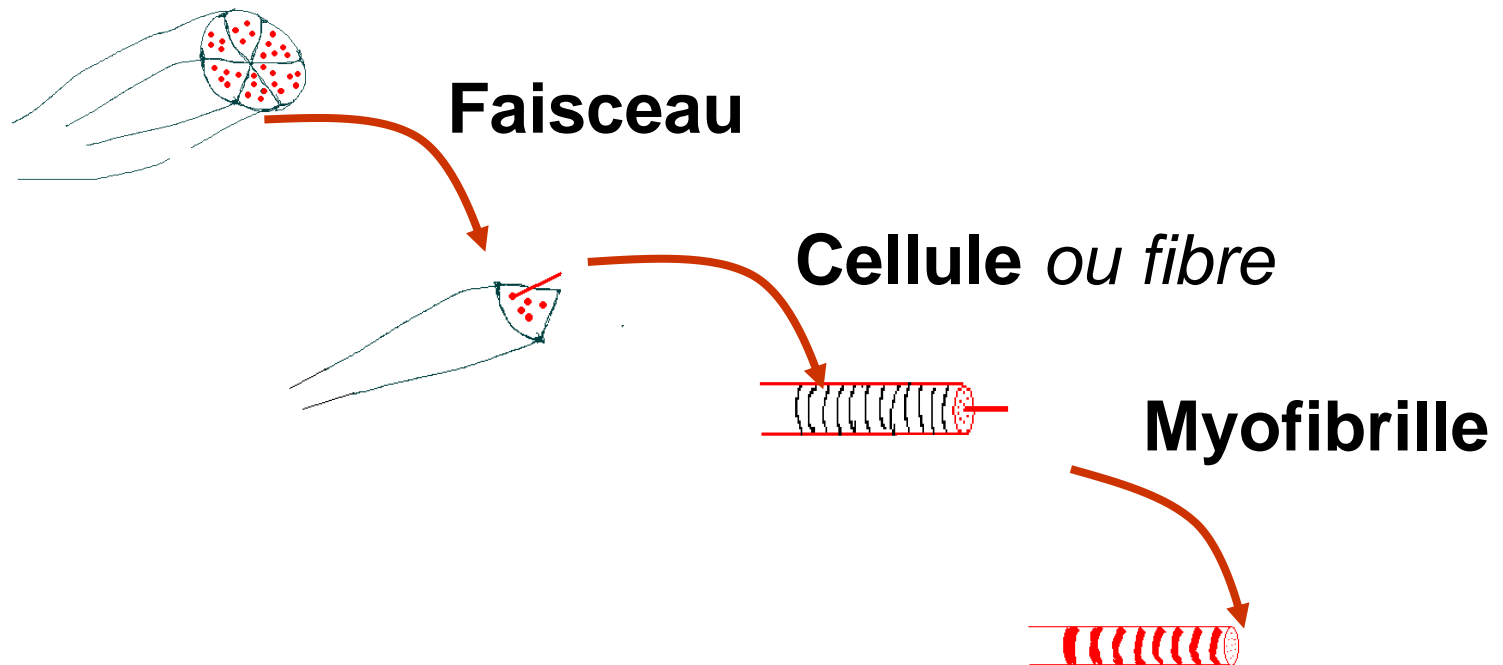
<b>Structure</b>	<b>Description</b>	<b>Enveloppe</b> <i>(tissu conjonctif)</i>
<b>Muscle</b>	Cellules musculaires Gaines de tissu conjonctif Vaisseaux Fibres nerveuse	<b>Epimysium</b> <i>recouvre l'ensemble du muscle</i>
<b>Faisceau musculaire</b>	Cellules musculaires séparées / gaine	<b>Périmisium</b> <i>délimite les faisceaux de fibres</i>
<b>Fibres (cellules) musculaires</b>	Cellule multinucléée allongée Apparence striée	<b>Endomysium</b> <i>recouvre chaque fibre</i>

# 1/ Structure et niveaux d'organisation du muscle strié squelettique

<b>Structure</b>	<b>Description</b>
Myofibrille	Élément contractile cylindrique Striée : sarcomères bout à bout
Sarcomère	Unité contractile
Myofilaments	Filaments fins et épais

# 1/ Structure et niveaux d'organisation du muscle strié squelettique

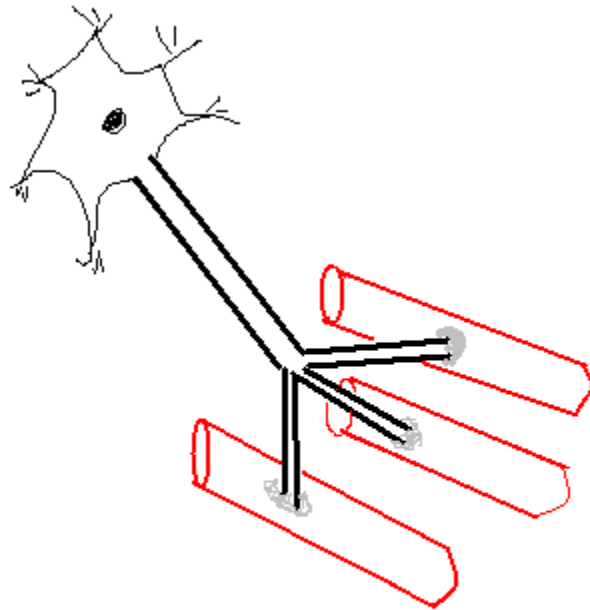
## Muscle



## 2/ Organisation fonctionnelle : l'Unité Motrice

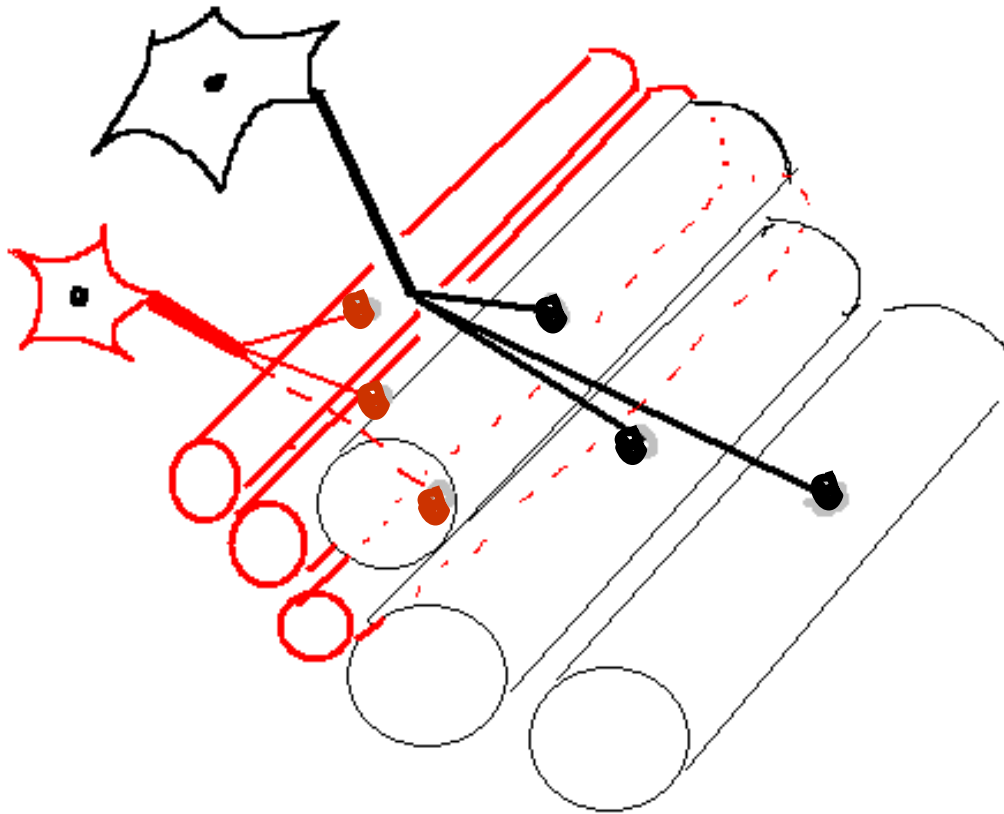
- 1 UM = 1 Motoneurone + Cellules musculaires qui en dépendent
- 50 à 2000 unités motrices / muscle strié squelettique
- Nombre de fibres musculaires / UM : dépend de la taille et de la finesse d'action
  - muscles oculo-moteurs : ~15 fibres/UM
  - muscle quadriceps : ~2000 fibres/UM

- Aspect morphologique d'une Unité motrice



+ les fibres  
musculaires

- 1 muscle = plusieurs unités motrices
- 1 unité motrice = 1 motoneurone + cellules musculaires ayant les mêmes caractéristiques



Toutes les fibres d'une U.M. ont les mêmes caractéristiques :

- **Histologiques** (ex : diamètre, densité mitochondriale)
- **Biochimiques** (activités enzymatiques, contenu en myoglobine) physiologiques (réponse contractile)

## Conséquences fonctionnelles

- Activation simultanée de toutes les fibres lors de la stimulation du motoneurone
- ↗ la force d'un muscle = recrutement de nouvelles U.M.  
⇒ gradation de la force

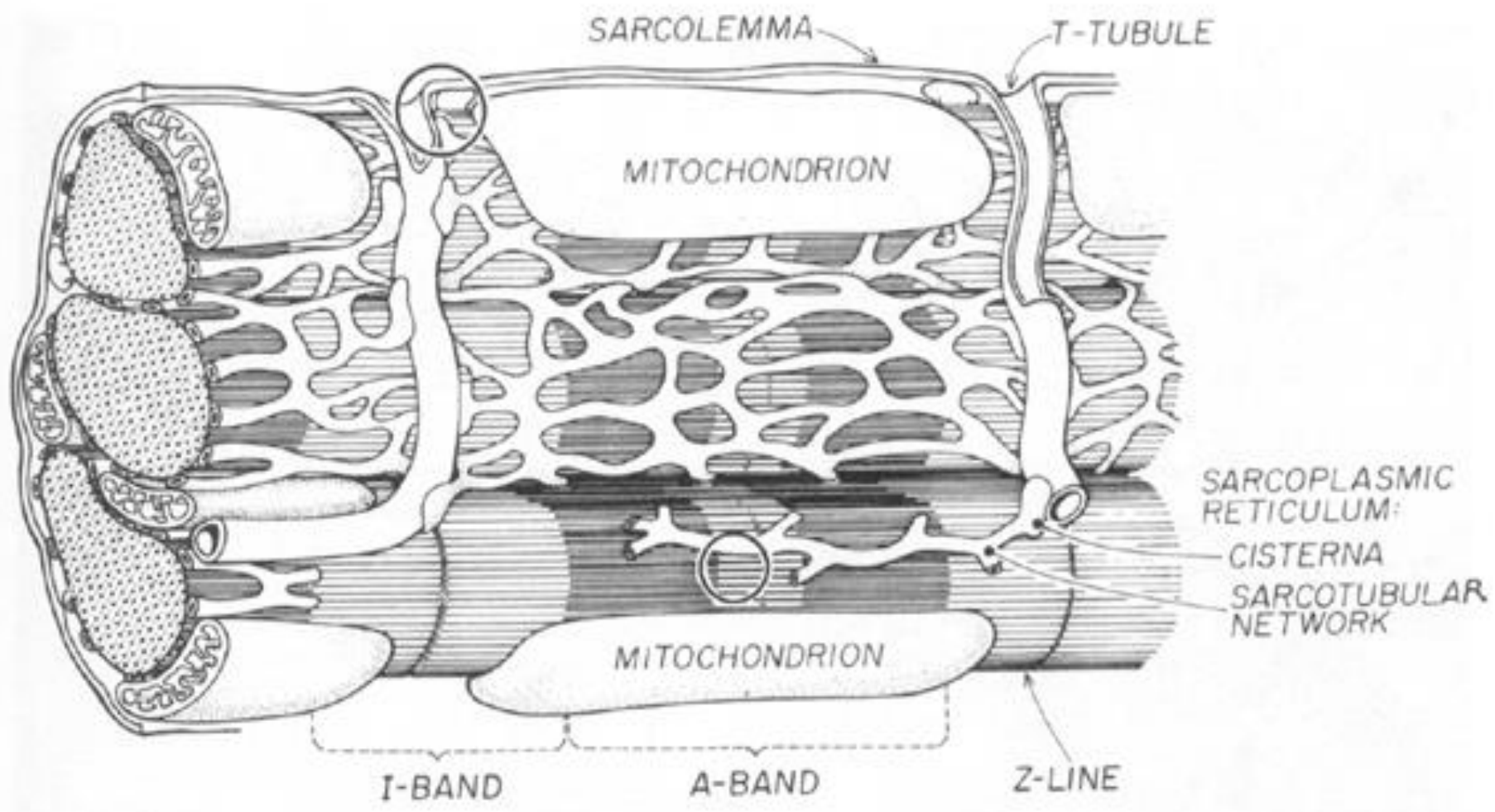
## 3/ Ultrastructure de la fibre musculaire

### 3-1/La membrane plasmique ou sarcolemme

- Le sarcolemme est composé de :

La membrane plasmique + La membrane basale (matrice extracellulaire différenciée)

- Lieu du « potentiel de plaque motrice » et de propagation du potentiel d'action musculaire

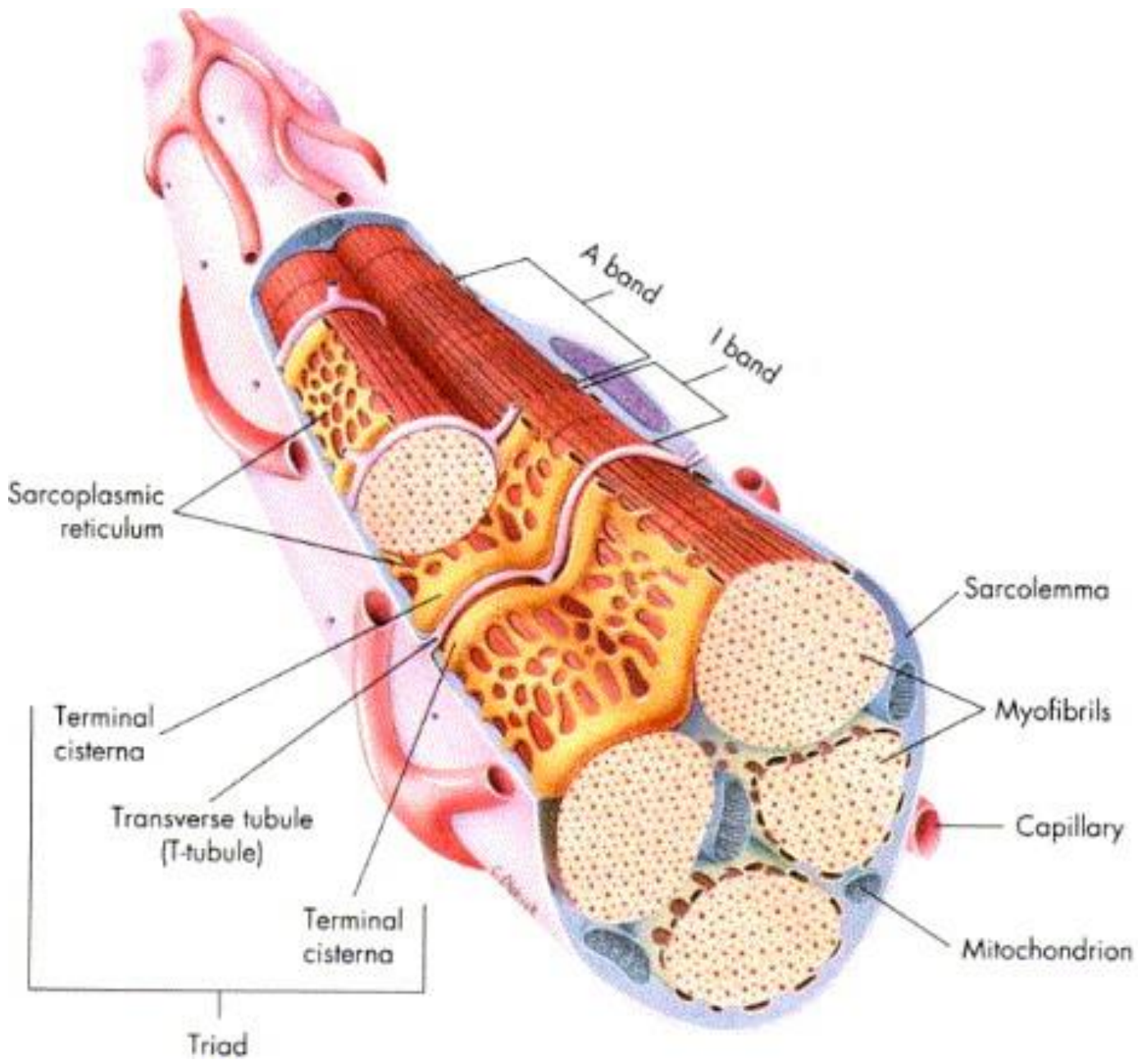


### 3/ Ultrastructure de la fibre musculaire

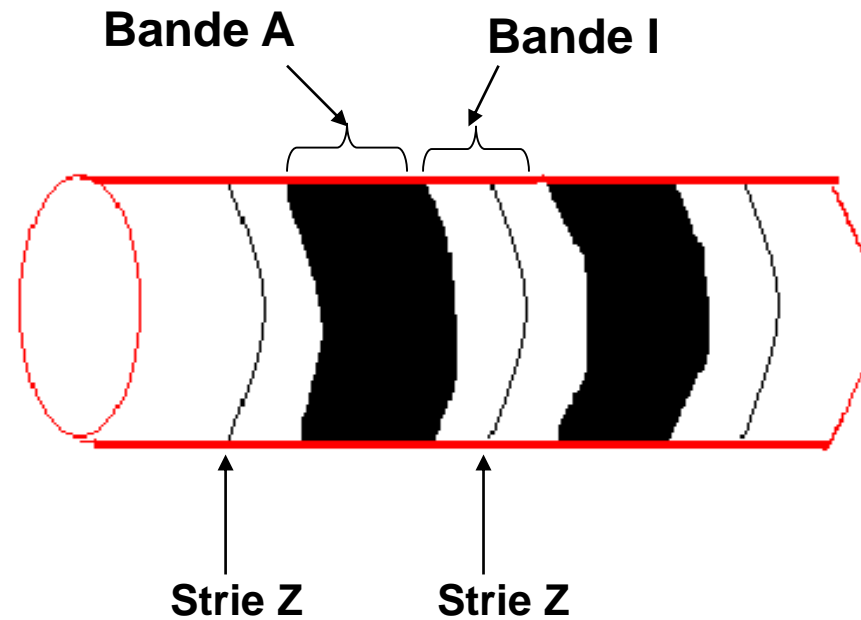
- Structure intimement liée à l'appareil contractile :
  - ⇒ Importance ++ du système tubulaire transverse ou « système T » : invaginations à intervalles réguliers (tubules T)
- Structure soumise à des tensions mécaniques lors de la contraction :
  - ⇒ Importance de complexes glycoprotéiques transmembranaires et protéines de soutien associés à la dystrophine

# Les myofibrilles

- 1 fibre musculaire = plusieurs milliers de myofibrilles parallèles /axe de la fibre
  - Structure cylindrique (1 à 2  $\mu\text{m}$  de diamètre)
  - Aspect « strié » : alternance de bandes sombres (A) et de bandes claires (I)
  - Composée d'**une chaîne de sarcomères**
  - 1 Sarcomère =
    - unité contractile du muscle
    - assemblage de myofilaments fins et épais + protéines de soutien
    - délimité par 2 stries Z

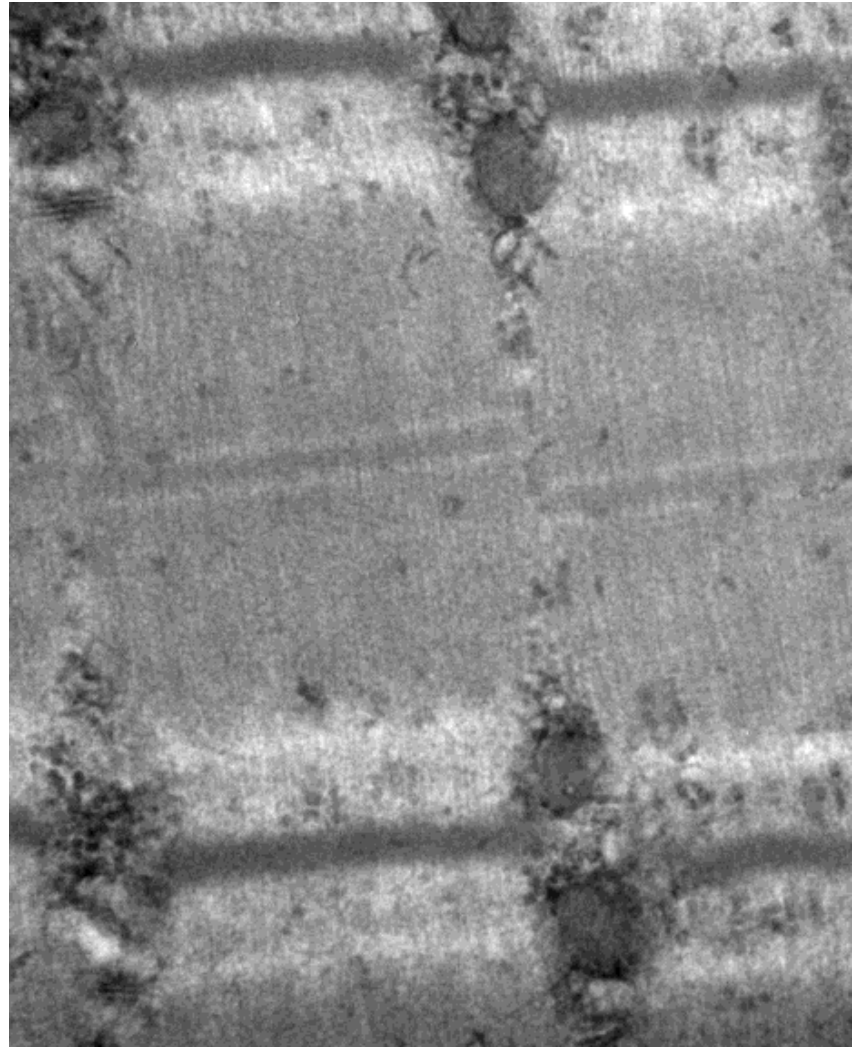
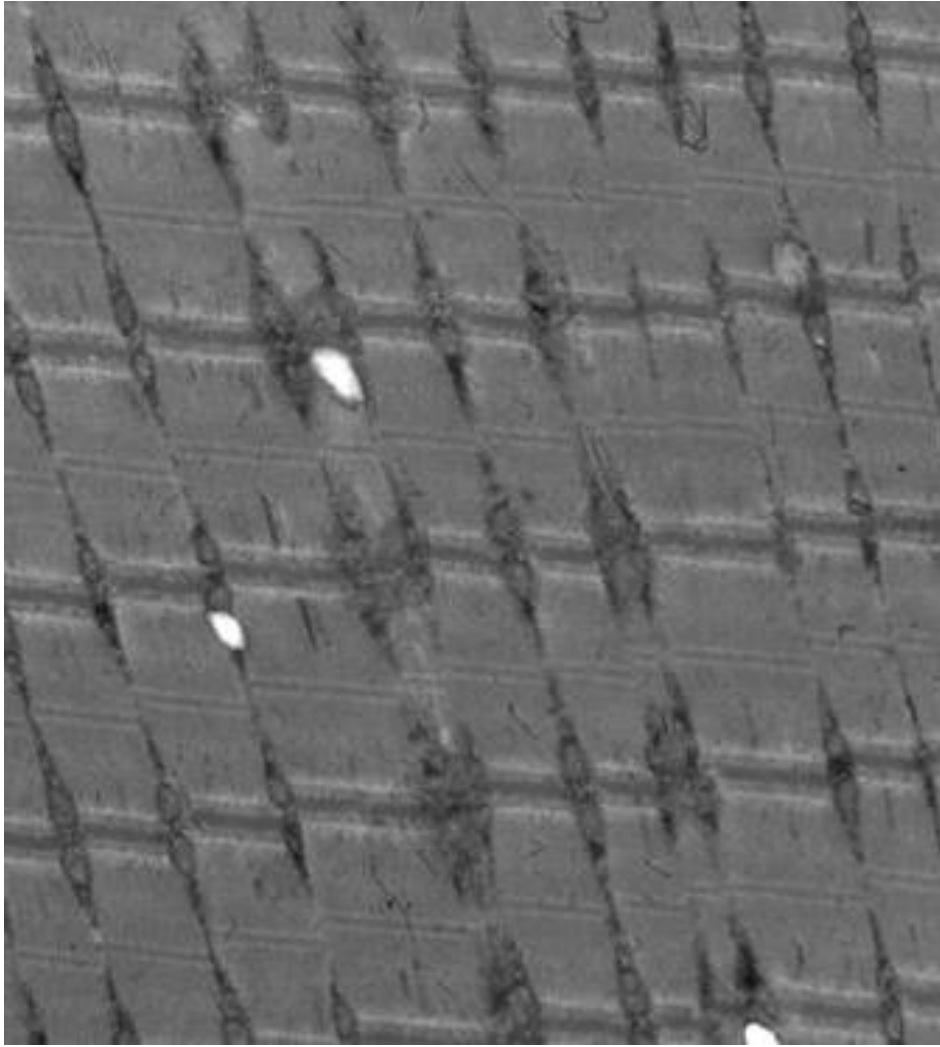


- Aspect d'une myofibrille

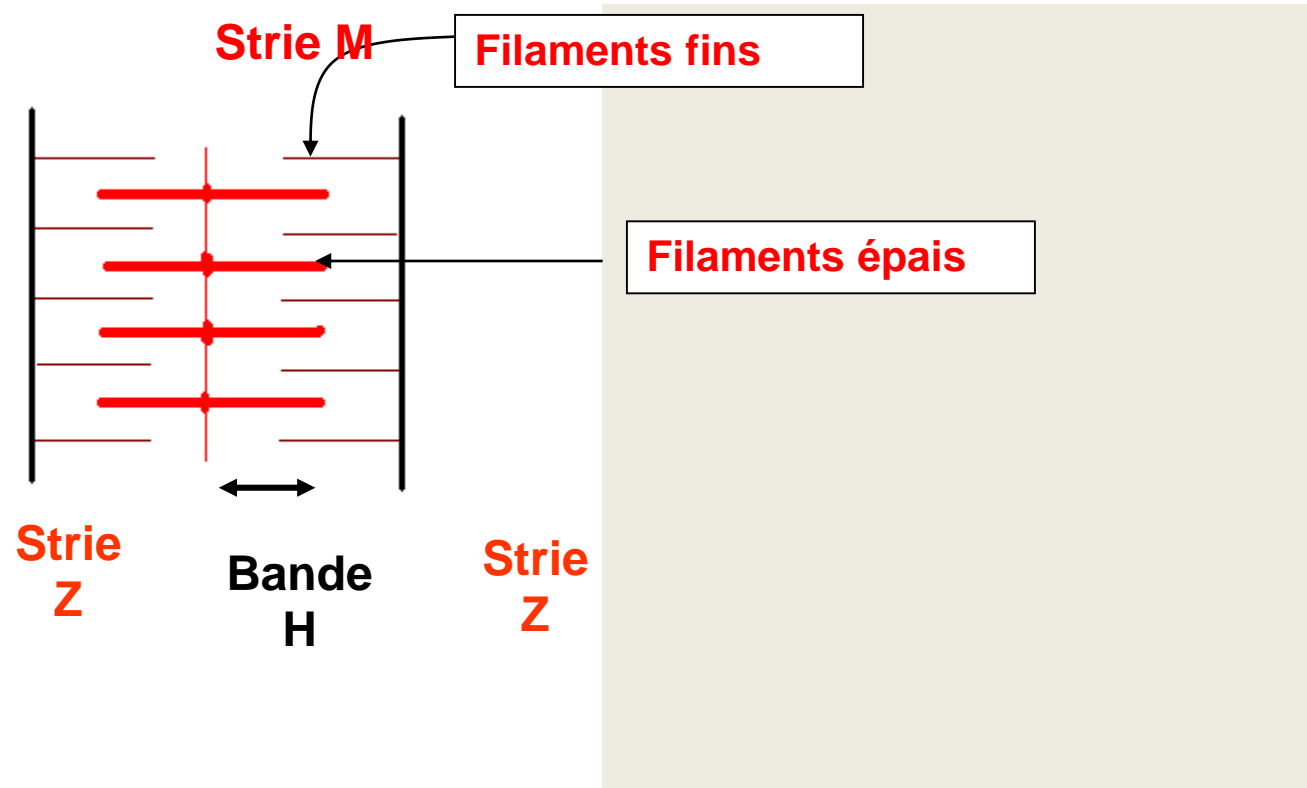


A = anisotrope I = isotrope

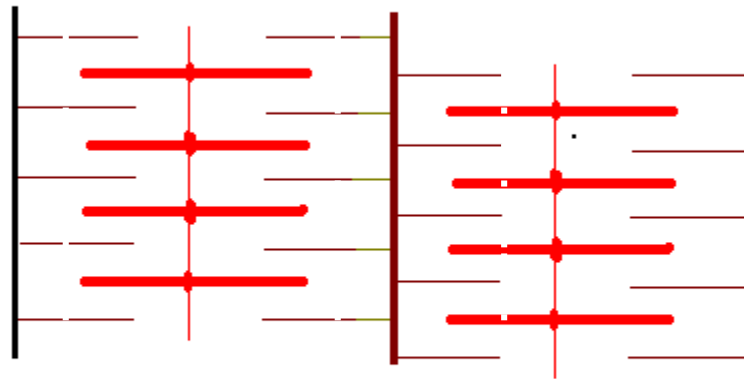
Lumière polarisée



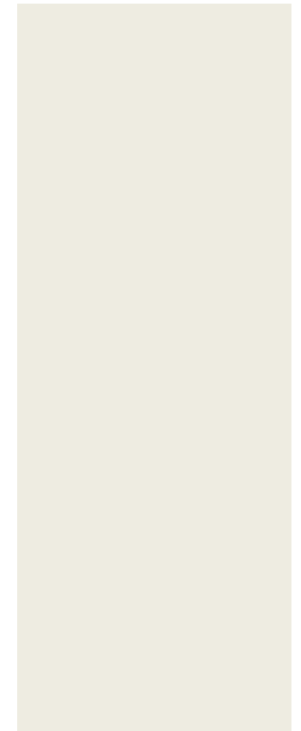
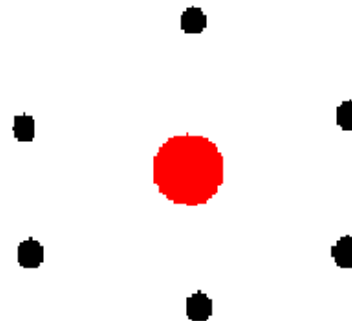
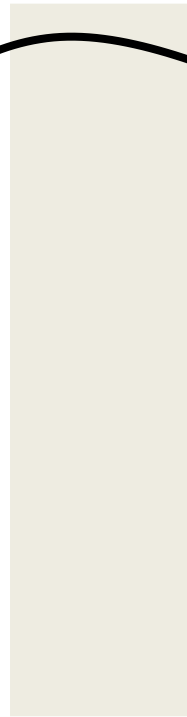
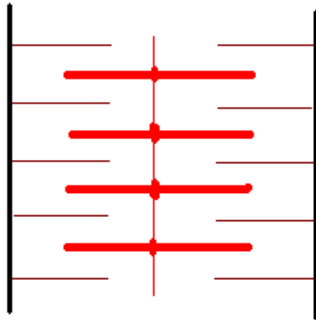
- Aspect d'un sarcomère



- Aspect de 2 sarcomères juxtaposés dans 1 myofibrille



Répartition filaments fins / épais : 6 / 1



# • Les filaments épais

Assemblage longitudinal de molécules de Myosine (300 à 400)

- 1 molécule de Myosine =
  - 2 chaînes lourdes (200 kD)
  - + 4 chaînes légères (20 kD)
- Chaînes lourdes :
  - 2 chaînes enroulées en double hélice
    - = segment en bâtonnet ou queue
  - tête globulaire (extrémité renflée) de myosine
    - = activité ATPasique (*partie motrice*)
  - cou ou région charnière (*partie mobile*)

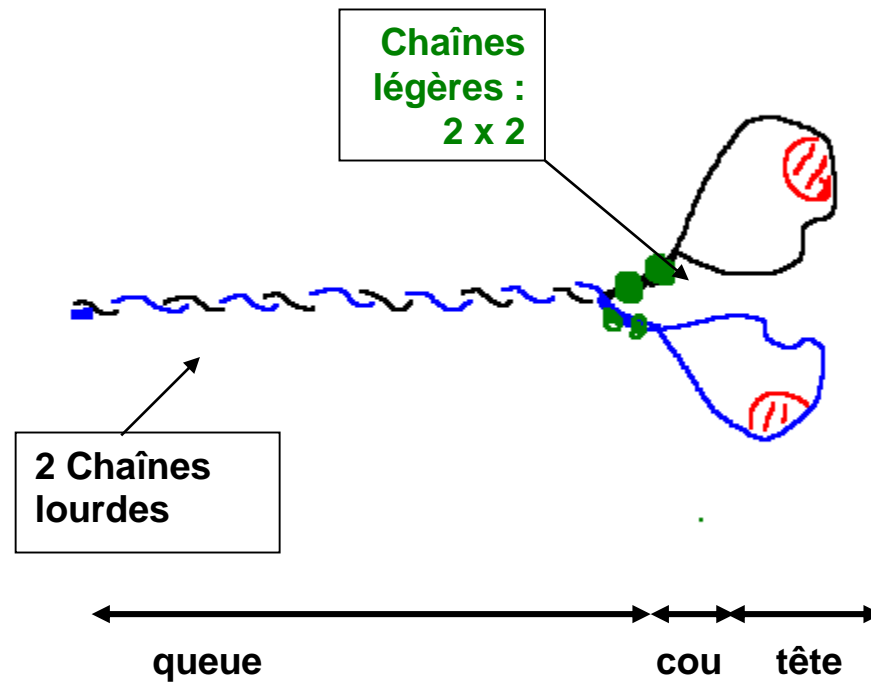
Chaînes légères :

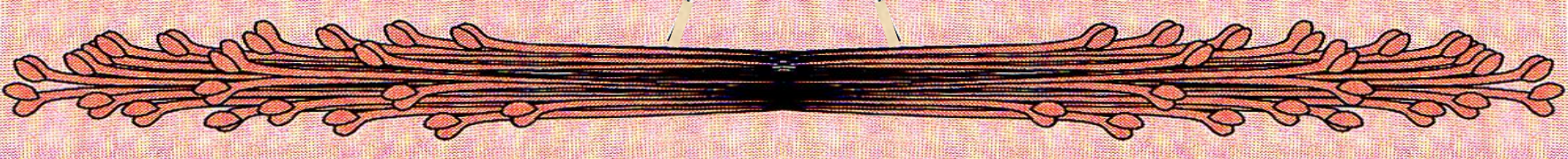
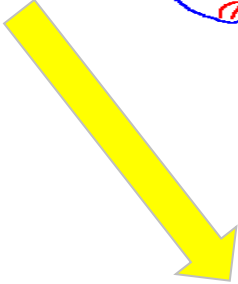
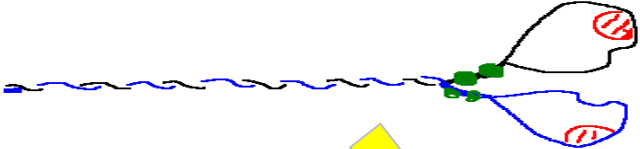
- 2 chaînes légères par tête de myosine

Dans le sarcomère :

- orientation des chaînes lourdes/ queues de myosines
- Pont transversal : les têtes de chaîne lourde de myosine débordent sur les côtés

- Molécule de myosine





# • Les filaments fins

- 3 éléments protéiques

Actine

Tropomyosine

Troponine

- 1 molécule d'Actine (G)

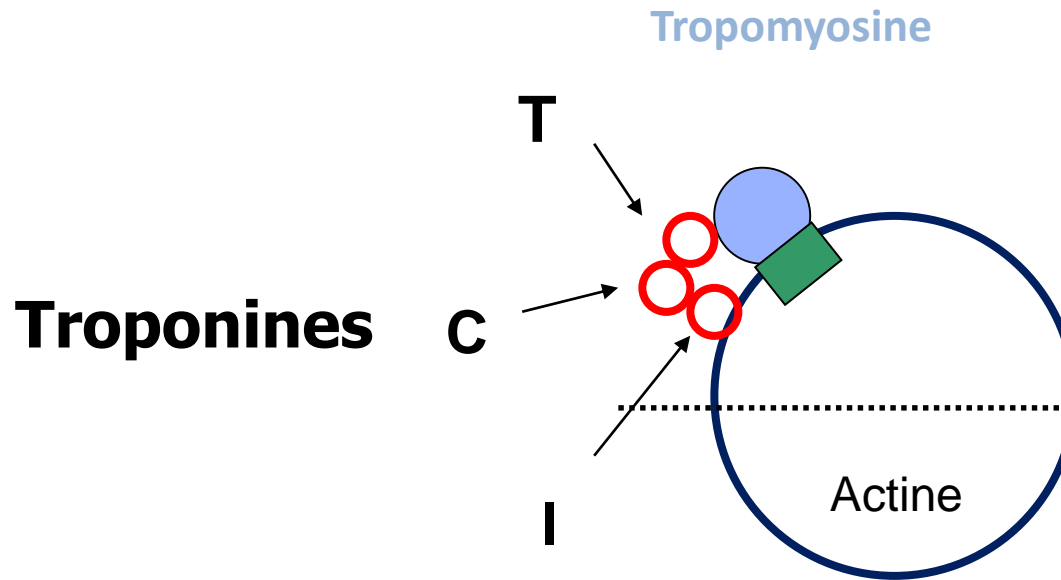
- Protéine Globulaire de PM = 41 kD

- Polymérisée en double hélice de filaments fins (2 chaînes = F)

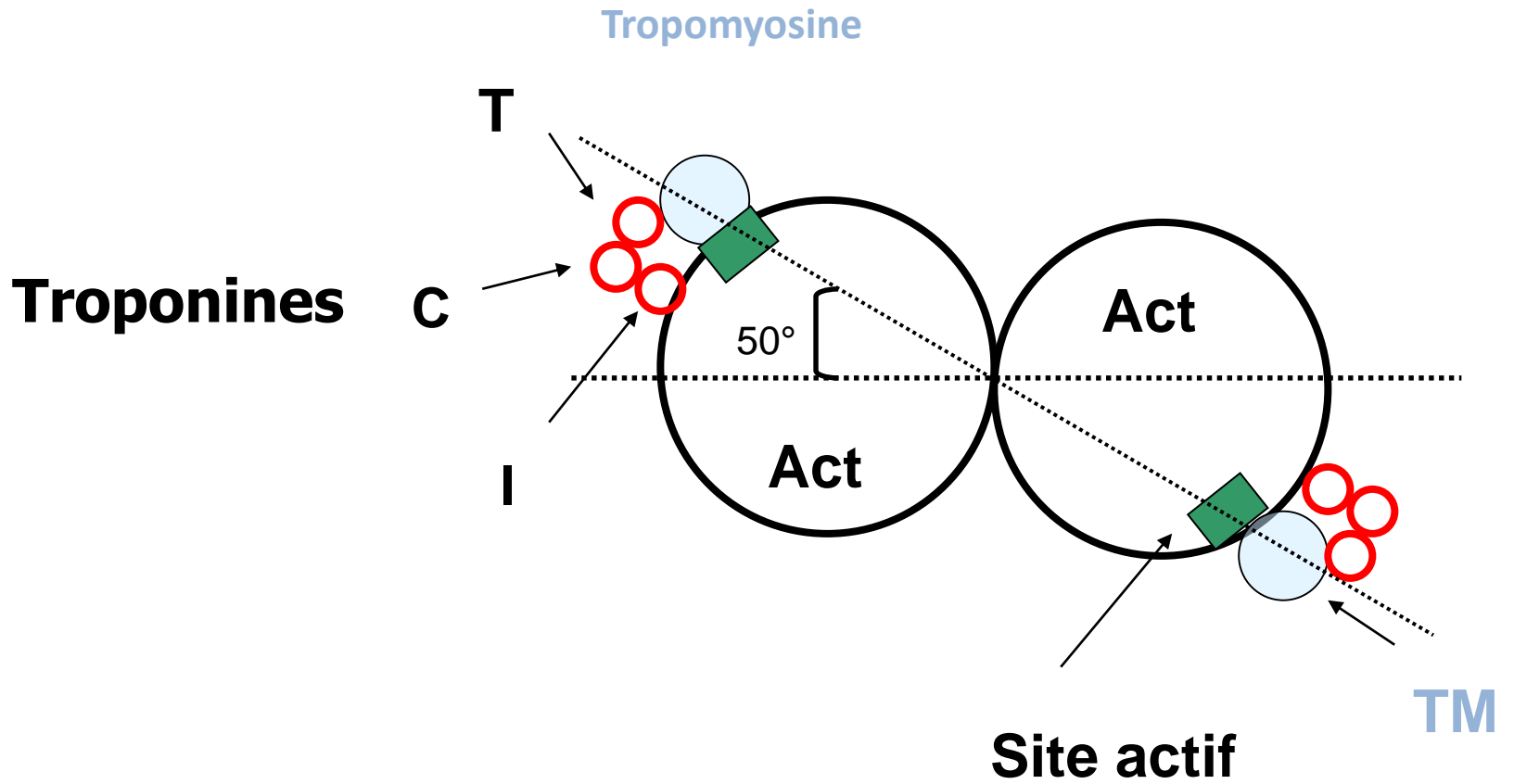
- site actif : ADP

- site de liaison pour la myosine

- Les filaments fins



- Les filaments fins

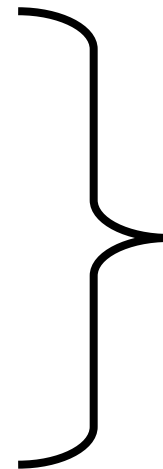


# Le réticulum endoplasmique (sarcoplasmique)

- Réseau dense de petits canaux
- Entoure les myofibrilles

- Citernes terminales

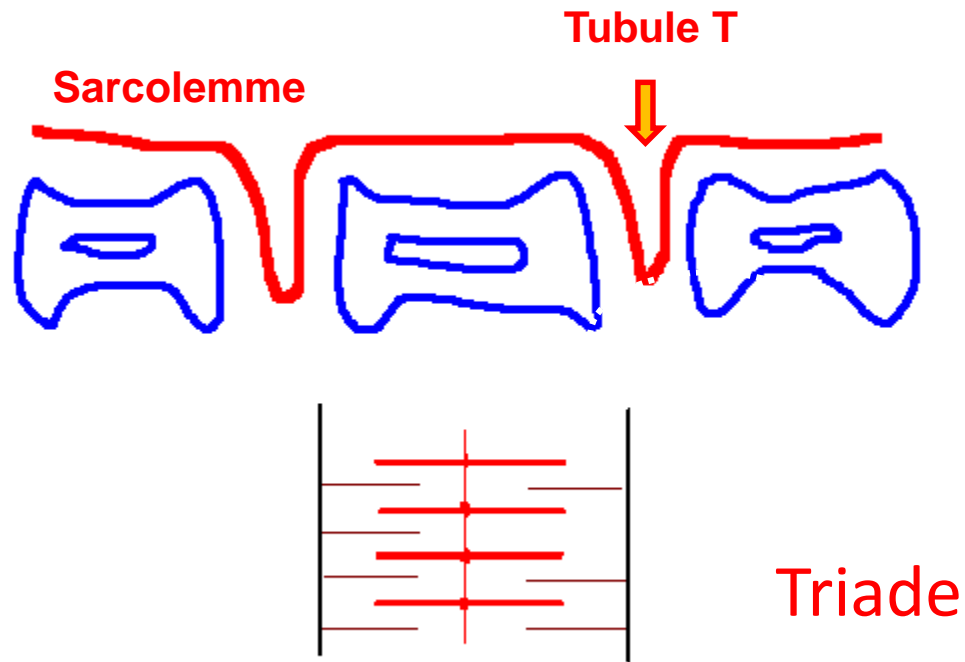
- Système T (sarcolemme)



aux extrémités  
du sarcomère

1 tubule T + 2 citernes terminales = **TRIADE**  
(rôle +++ dans le phénomène d'initiation de la contraction)

- La triade



## 2. Mécanisme de contraction d'une f. musculaire:

Couplage excitation-contraction

## **A/ Contraction par glissement**

- le sarcomère se raccourcit

mais

- pas de changement de longueur des filaments fins et épais



contraction = glissement vers l'intérieur des filaments d'actine / myosine  
("protéines contractiles")

## B/ Phénomènes moléculaires

- Repos
- Têtes de myosine : à distance de l'actine par interposition de TM

Activité **ATPasique** de la tête de myosine:



⇒ **Maintien de la tête à 90° de l'actine**

- **Initiation de la contraction**

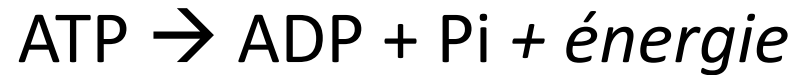
- Levée de l'interposition par la T.M
- Sites actifs de l'actine découverts

⇒ **Interaction (pont) Actine-Myosine**

- **Contraction**

- Bascule de la tête de Myosine  $90^\circ \rightarrow 45^\circ$
- Glissement des filaments fins
- Energie fournie par l'ATP
- Bascule de la tête de myosine
  - libération d'ADP + Pi
  - fixation d'1 ATP sur la tête de myosine
  - séparation de la liaison Actine-Myosine

- à nouveau, transformation :



⇒ Tête de myosine “réarmée”

⇒ Fixation possible sur un autre site de l’actine



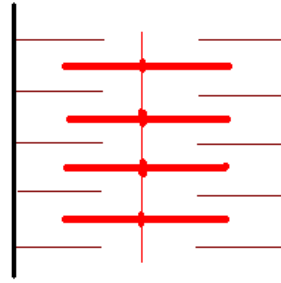
Nécessité de répétitions de liaison

“Actine-Myosine” car 1 glissement

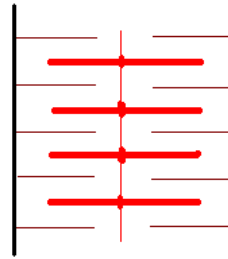
⇒  de longueur de sarcomère de 0,6%

# Variation d'aspect des sarcomères lors de la contraction

Repos

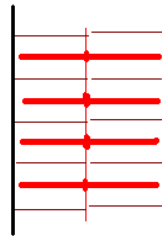


Contraction incomplète



Bandes A ?  
Bandes I ?  
Stries Z ?

Hypercontraction



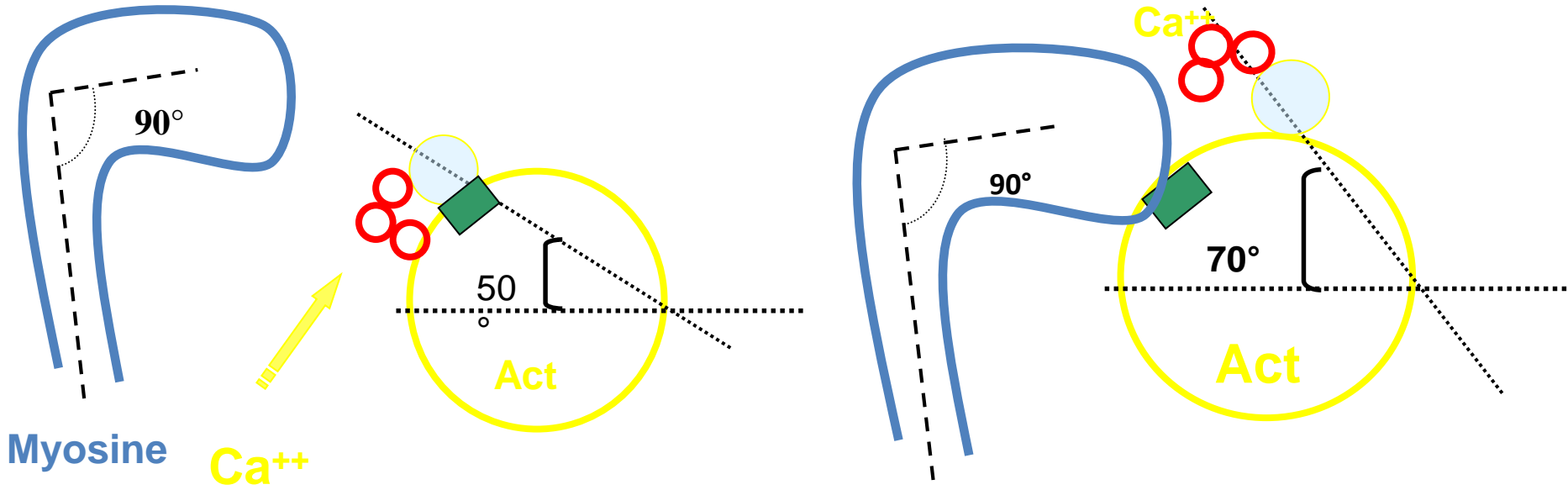
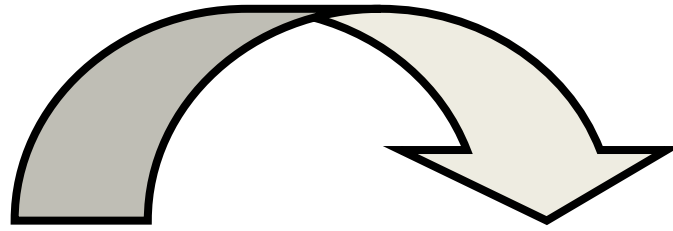
## C/ Le couplage excitation-contraction

### 1. Le P.A. du muscle

- Mécanismes de production et propagation : similaires à ceux du nerf
- Durée P.A. fibre musculaire ( $\approx 5$  ms) > P.A. fibre nerveuse ( $\approx 1$  ms)
- Vitesse de conduction  $\approx 3$  à  $5 \text{ m.s}^{-1}$
- Apparition au milieu de la fibre
  - propagation bidirectionnelle
  - activation de  $\approx$  tous les sarcomères simultanément

## 2. Rôle du $\text{Ca}^{++}$

- **Repos** :  $[\text{Ca}^{++}]$  Réticulum sarcoplasmique  $>$  sarcoplasme  $\times$  2000 (pompe calcique RS )
- **Excitation**
  - P.A propagé au Système T (RDHP)
  - $\Rightarrow$  libération de  $\text{Ca}^{++}$  du RS (RYR) vers le sarcoplasme
  - $[\text{Ca}^{++}]_{\text{sarcopl.}} \times 100$
  - Fixation  $\text{Ca}^{++}$  sur Troponine C
  - Libération de la liaison Tnl – Actine
  - $\Rightarrow$  glissement de la T.M.
  - $\Rightarrow$  sites actifs de l'Actine : découverts
  - $\Rightarrow$  interaction Actine-Myosine



- **Arrêt de l'excitation**

- Arrêt de création de P.A  $\Rightarrow$  arrêt libération de  $\text{Ca}^{++}$
  - Le  $\text{Ca}^{++}$  est recapté par le R.S par une pompe active
  - $\blacktriangledown$   $[\text{Ca}^{++}]$  sarcoplasmique
  - Fixation : Tnl – Actine
- $\Rightarrow$  T.M. masque les sites actifs de l'Actine
- $\Rightarrow$  **Relaxation**

**Le maintien de la contraction nécessite  
la répétition de nouveaux P.A.**




### 3. Muscle strié squelettique cardiaque et lisse :

Physiologie comparative

# Généralités

- **Propriétés communes aux 3 types de muscle**  
Filaments fins et épais  
Interaction déclenchée par le  $\text{Ca}^{++}$   
Utilisation de l'ATP comme source d'énergie
- **Mais de nombreuses différences ou spécificités**  
Structure, organisation, mode d'excitation ...

# 1/ Morphologie

<b>Muscle</b>	<b>Squelettique</b>	<b>Cardiaque</b>	<b>Lisse</b>
Forme et apparence	Cellules autonomes, très longues, multinucléées+ stries transversales 	Chaînes de cellules ramifiées à 1 ou 2 noyaux, striées 	Cellules fusiformes, mononucléées, non striées 
Terminaisons neuro-musculaires bien individualisées	Oui	Pas de motoneurone	Pas de motoneurone

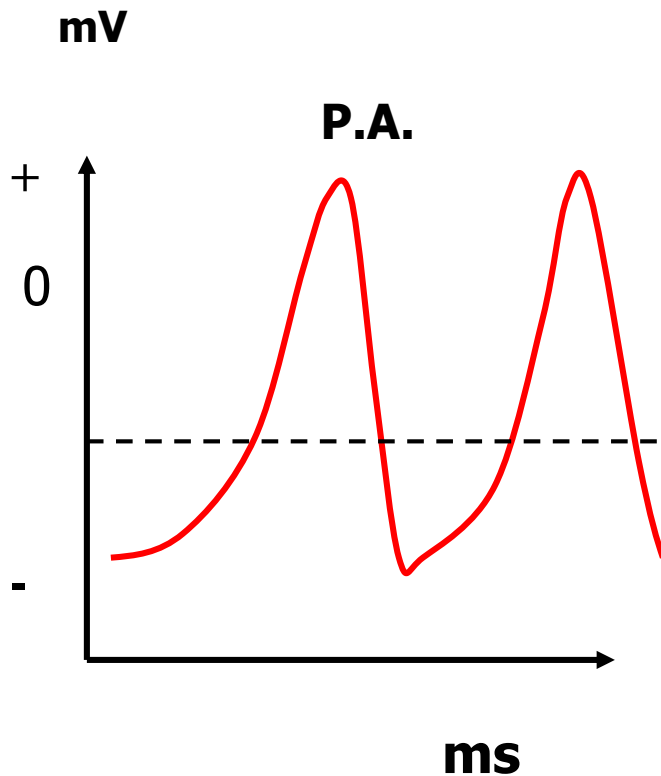
## 2/ Potentiels d'action

### 2-1/ Aspects du potentiel d'action des cellules musculaires lisses

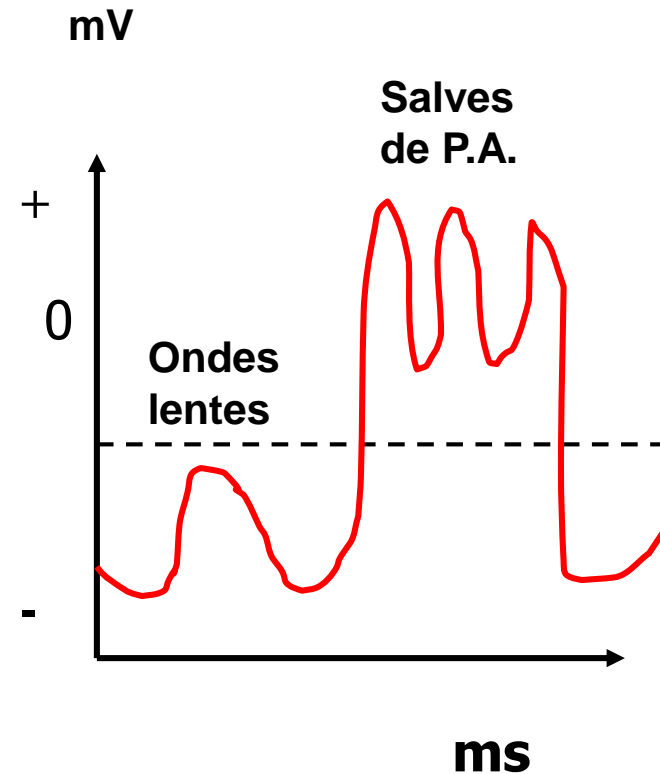
Différents types d'activité électrique

- Cellules musculaires lisses à activité électrique auto-entretenu
- Cellules musculaires lisses sans activité auto-entretenu

- Activité électrique auto-entretenu

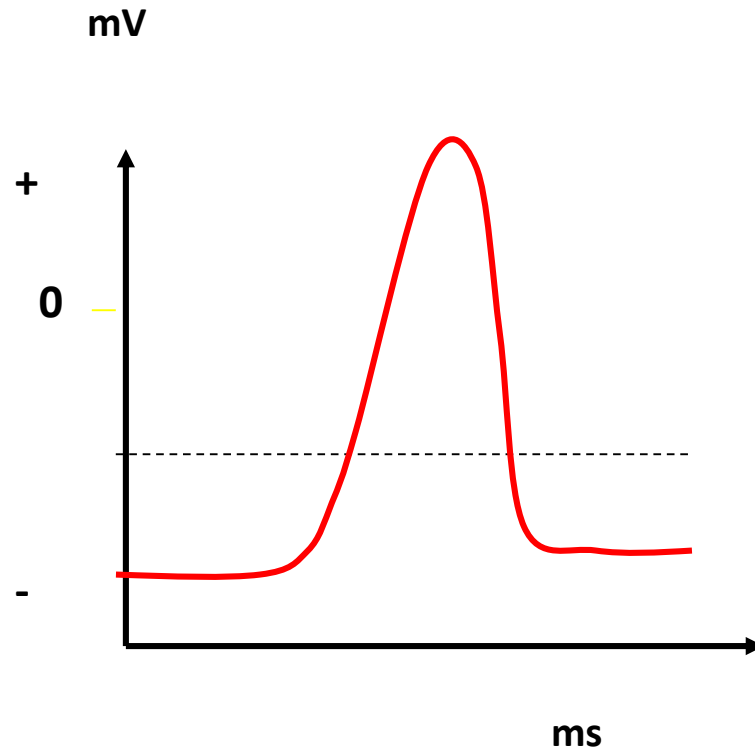


**Activité pacemaker**



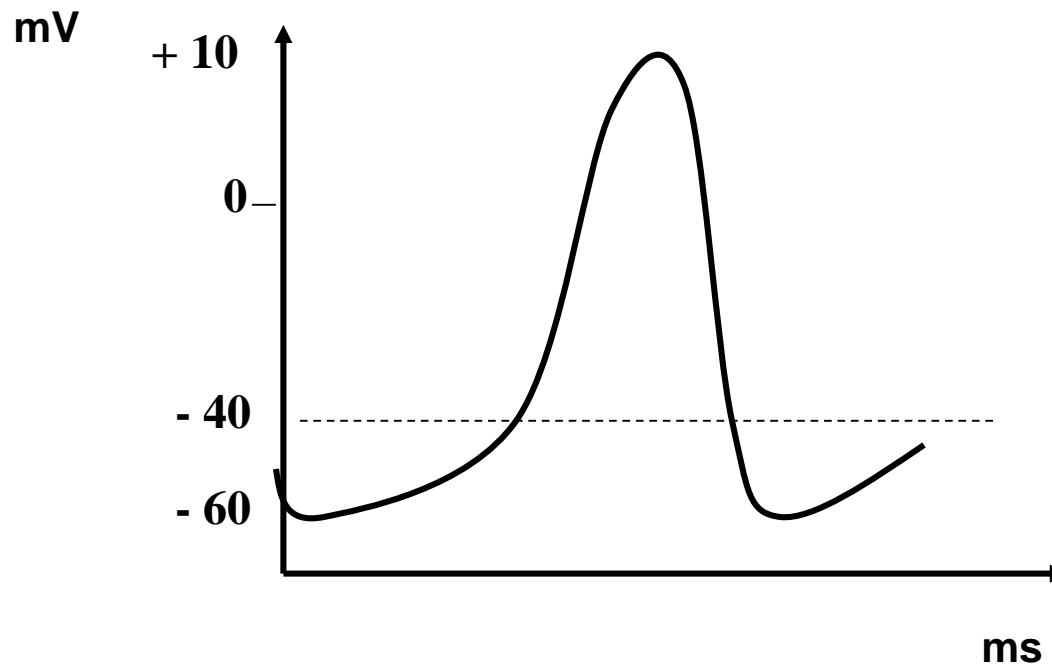
**Potentiel à ondes lentes**

-Exemple de P.A. d'une cellule musculaire lisse sans activité auto-entretenu

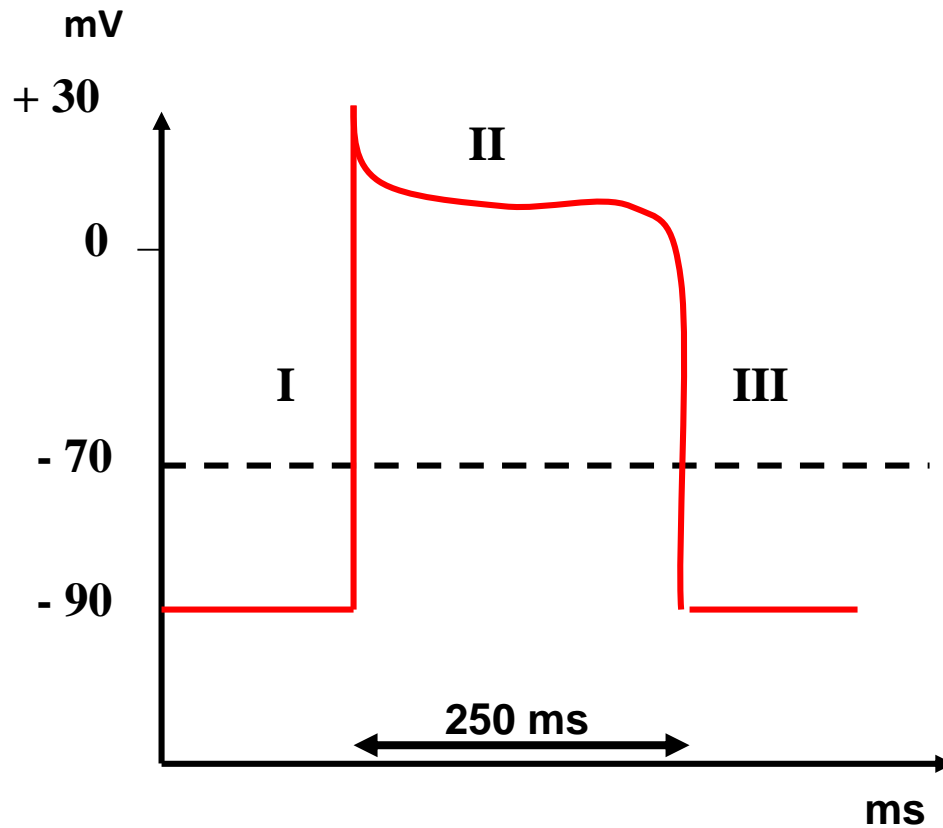


## 2-2/ Aspects du potentiel d'action des cellules cardiaques

- Activité pacemaker (cellules du tissu nodal)



- Potentiel d'action d'une cellule contractile du muscle cardiaque



- I = entrée rapide de  $\text{Na}^+$
- II = entrée lente de  $\text{Ca}^{++}$
- III = sortie rapide de  $\text{K}^+$

Caractéristique	Squelettique	Cardiaque	Lisses : Unitaires - Multiunitaires
<b>Situation</b>	Fixé / squelette	Cœur	Vaisseaux - Viscères - Voies urinaires...
<b>Rôle de la stimulation nerveuse</b>	Déclenchement et gradation de la contraction	Module : contraction et gradation	Déclenche ou module : contraction et gradation
<b>Modification/ hormones</b>	Non <i>(sauf hypothyroïdie)</i>	Oui	Oui
<b>Troponine et Tropomyosine</b>	Oui	Oui	Non
<b>Tubules T</b>	Oui	Oui	Non
<b>Actine+Myosine activé / Ca<sup>++</sup></b>	Oui	Oui	Oui
<b>Source d'↗Ca<sup>++</sup></b>	RS	LEC et RS	LEC et RS
<b>Site de régulation (Ca<sup>++</sup>)</b>	Troponine	Troponine	Myosine
<b>Mécanismes d'action du Ca<sup>++</sup></b>	Déplace le complexe <i>Troponine-Tropomyosine</i>	Déplace le complexe <i>Troponine-Tropomyosine</i>	Phosphorylation têtes de myosine => aptes à se lier à l'actine
<b>Vitesse de contraction <i>ATPase myosine</i></b>	Rapide ou lente selon le type de fibre	Lente	Très lente