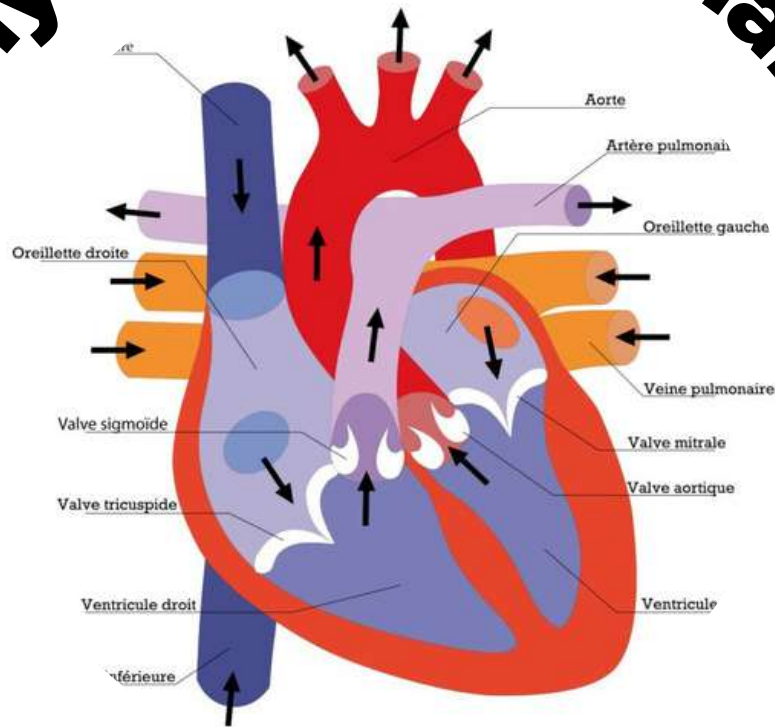


Physiologie Animale



SCIENCES DE LA VIE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

LES MUSCLES

INTRODUCTION GENERALE

Pr. BENNIS N.

Qu'est ce qu'un muscle?

- **Muscle = tissu capable de générer une force et de la transmettre.**
- Génération de la force
- **Système enzymatique + appareil contractile → conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique.**
- Transmission de la force
- **Organisation du muscle (niveau cellulaire et tissulaire)**
 - \$ **Transmission de la force musculaire générée**
 - \$ **Raccourcissement du muscle ou opposition à son allongement.**

INTRODUCTION

- **La fonction de contraction est le résultat de la mise en jeu d'un mécanisme contractile suite à une excitation provenant du SNC et grâce à un système d'apport d'énergie qui transforme l'énergie chimique en une énergie mécanique.**

INTRODUCTION

Les cellules musculaires sont des cellules spécialisées, leur fonction principale est d'engendrer les forces et les mouvements.

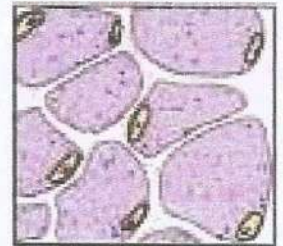
- **Selon leur structure, leurs propriétés contractiles et leur mécanisme de régulation on distingue:**
 - **Le Muscle lisse**
 - **Le Muscle strié** dont il existe 2 types :
 - **Le muscle squelettique**
 - **Le muscle cardiaque**

Les différents types de muscles

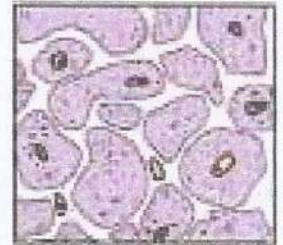
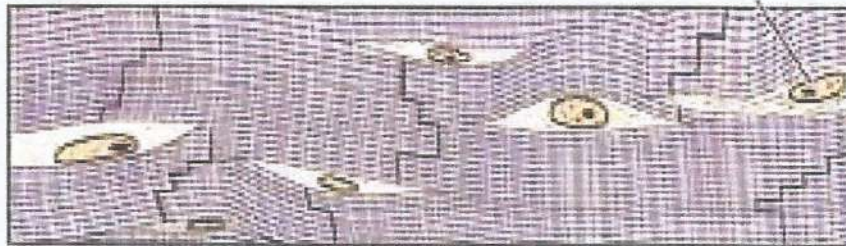
- **Les muscles striés squelettiques**: motricité & ventilation pulmonaire
- **Le myocarde** : muscle cardiaque
- **Les muscles lisses**: motilité (digestive, bronchique, sphincter, vasculaire,...)

Les différents types de muscles

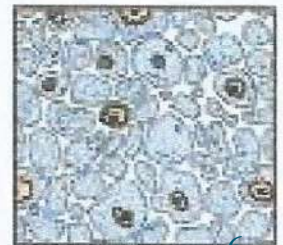
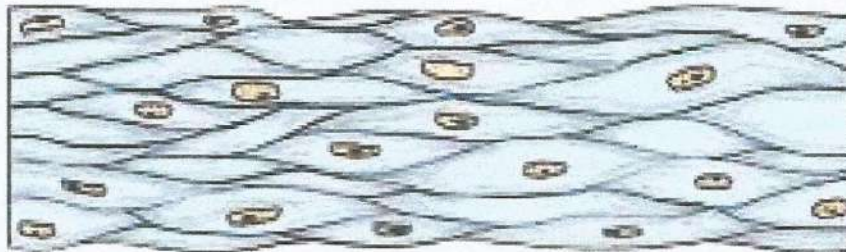
**Cellules musculaires striées
squelettiques.**



**Cellules musculaires striées
cardiaques (cellules
myocardiques)**



Cellules musculaires lisses

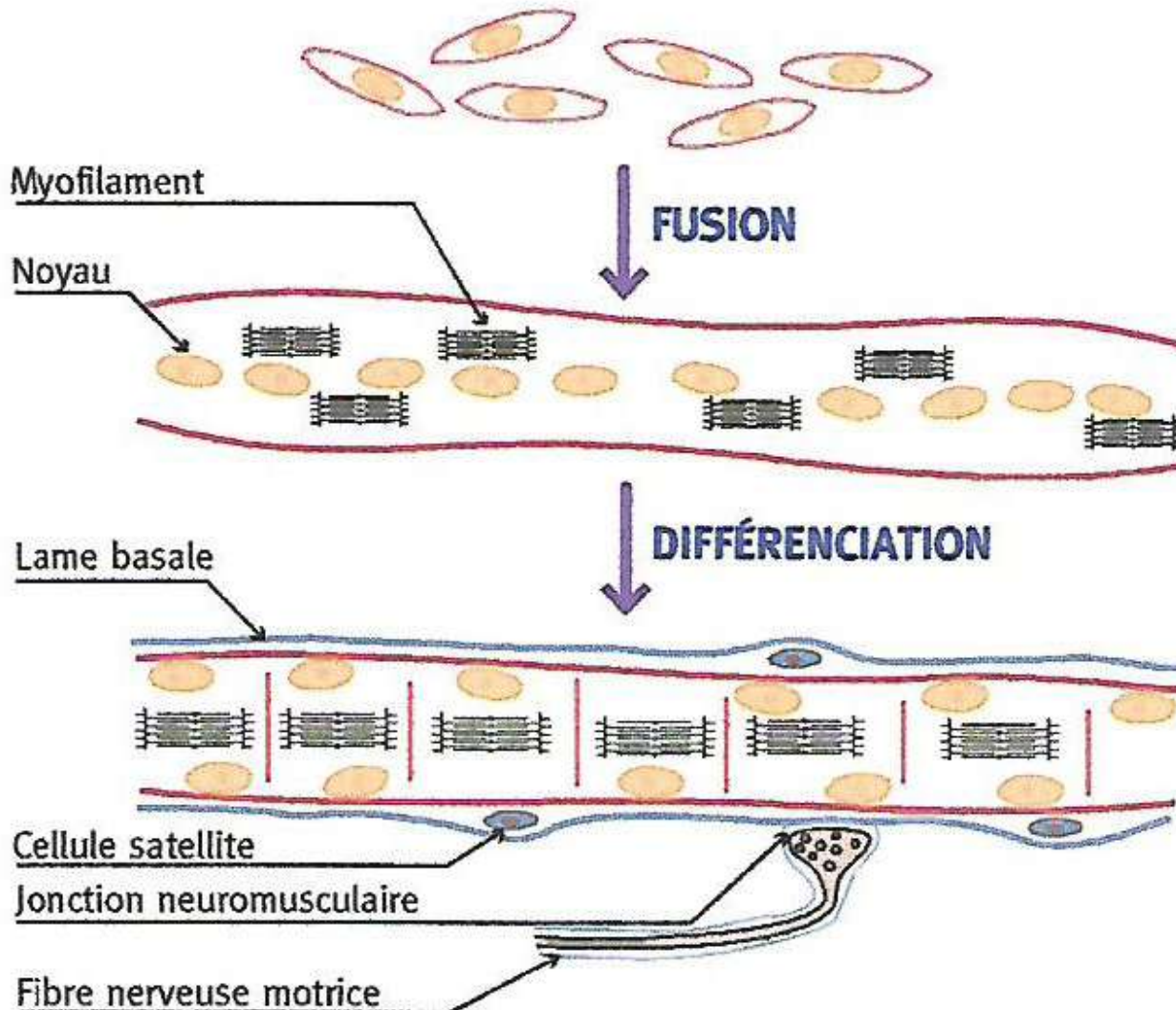


Les fonctions essentielles du muscle squelettique

3 fonctions :

- **La production de mouvement**
- **La stabilisation** des positions du corps (tonus, posture) et **régulation** du volume des organes
- **La génération de chaleur** : thermogenèse, frisson,...

Le développement du muscle squelettique



1er stade : Myoblastes

Ce sont des cellules fusiformes possédant un noyau unique.

2e stade : Myotubes

Plusieurs myoblastes fusionnent avec des myoblastes voisins, les noyaux s'accolent et forment une chaîne centrale, les myofilaments sont périphériques.

3e stade : Fibre musculaire

Les noyaux prennent une position périphérique alors que les myofilaments sont localisés au centre de la fibre musculaire.

Les muscles squelettiques

- Les muscles squelettiques sont constitués de cellules appelées **cellules musculaires squelettiques** ou **fibres musculaires**.
- Ils recouvrent le squelette osseux et s'y attachent ,
- Très longues cellules
- Plusieurs noyaux
- Muscles striés = sarcomères
- Innervé par le système nerveux somatique
- Contrôle volontaire → Muscles volontaires
- Contrôle réflexe
- Se fatigue facilement
- Capable d'exercer une force considérable.

Le muscle cardiaque

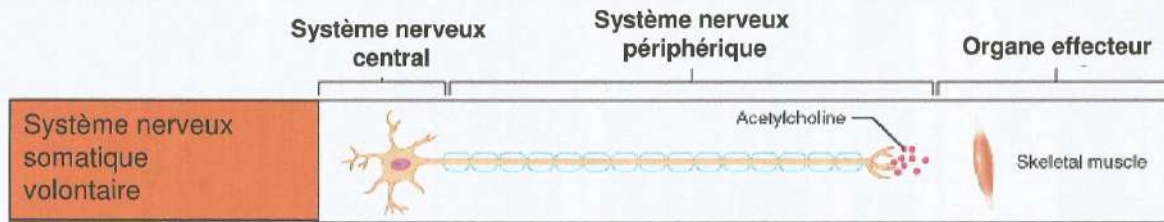
- Le tissu musculaire cardiaque n'existe que dans le cœur.
- Le tissu musculaire représente la plus grande partie du poids du cœur.
- Muscle striés = sarcomères.
- Un noyau par cellule.
- Automatisme cardiaque : la contraction musculaire cardiaque se fait à un rythme constant (déterminé par un centre rythmogène contenu dans le cœur).
- Contrôle nerveux : système nerveux autonome.
- Contrôle hormonal et par des facteurs intrinsèques.
- Pas de contrôle volontaire.

Le muscle lisse

- Dans les parois des organes creux, comme l'estomac, la vessie, les voies respiratoires, le tube digestif, l'utérus, les vaisseaux sanguins. On parle de **muscles viscéraux**.
- Ils ne sont pas striés
- Un noyau par cellule
- Contractions lentes et continues
- Contractions involontaires
- Présente assez souvent un automatisme
- Contrôle nerveux : système nerveux autonome
- Contrôle hormonal.

Muscles squelettiques

Le muscle squelettique :
Le Système nerveux somatique: un neurone



Régulation par le système nerveux

• Muscles involontaires

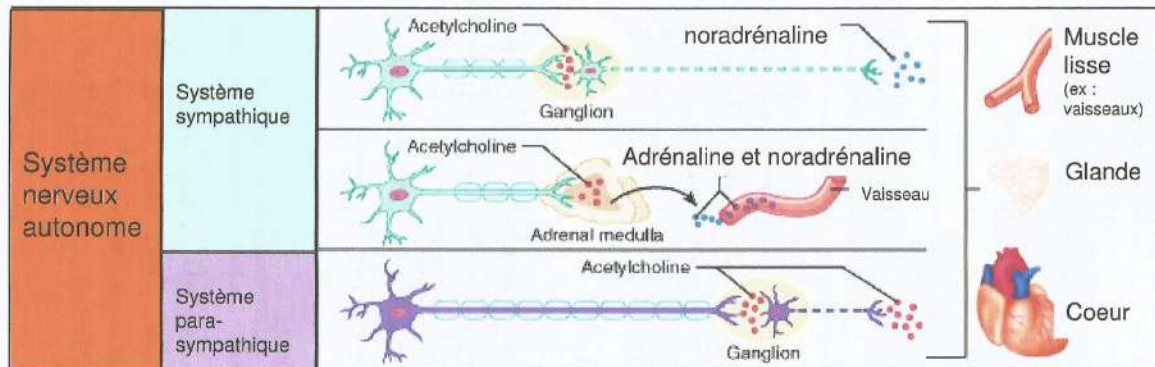
Muscles involontaires :
le Système nerveux autonome

Neurone préganglionnaire

Corps cellulaire dans le SNC

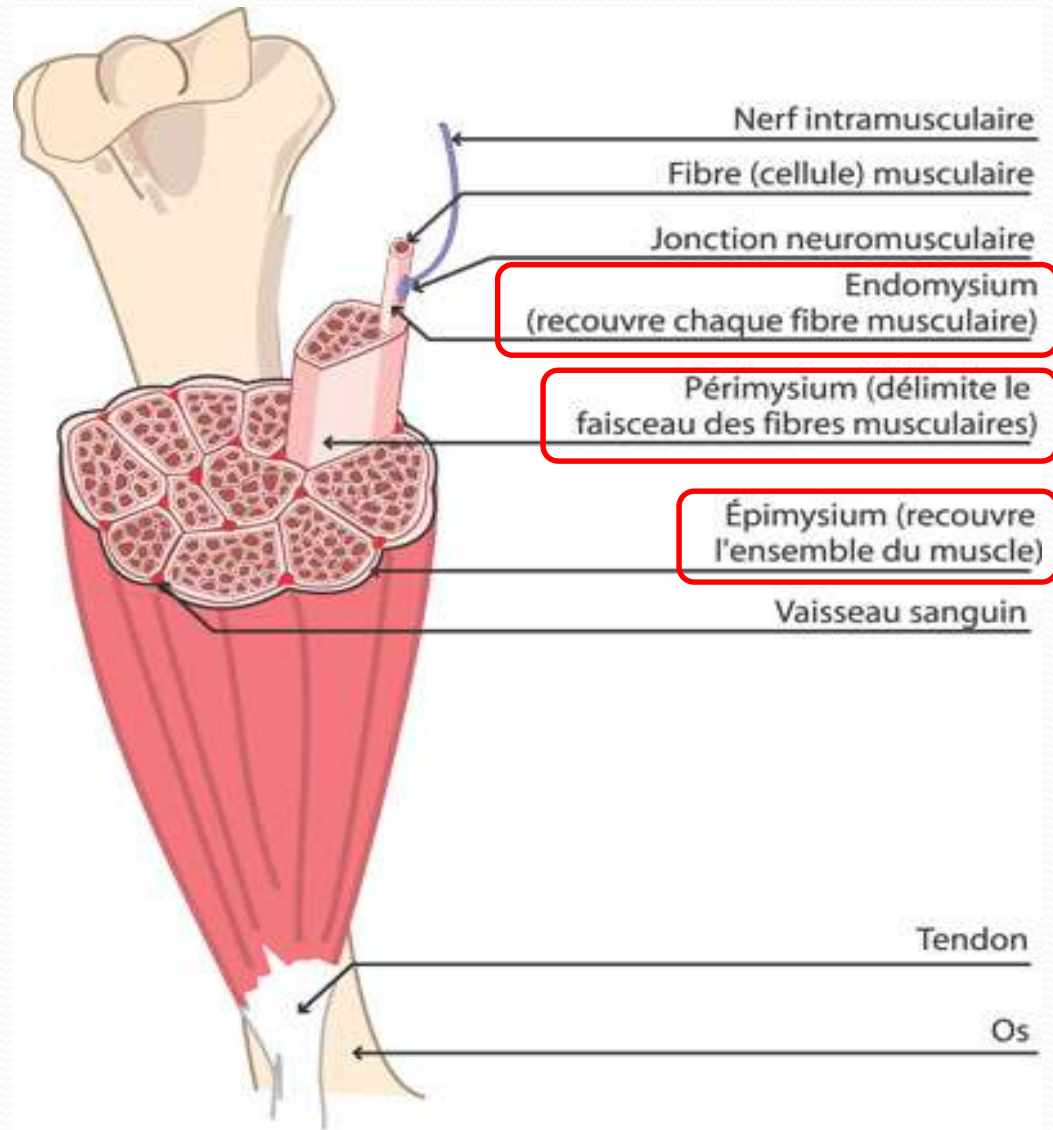
Neurone post ganglionnaire.

Corps cellulaire dans un ganglion périphérique et
terminaison dans l'organe effecteur

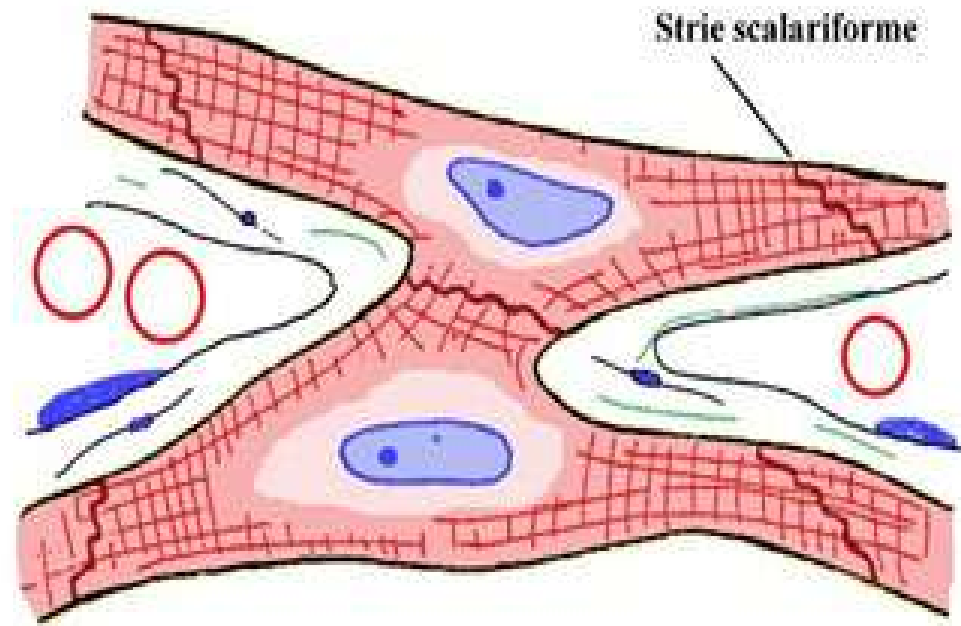
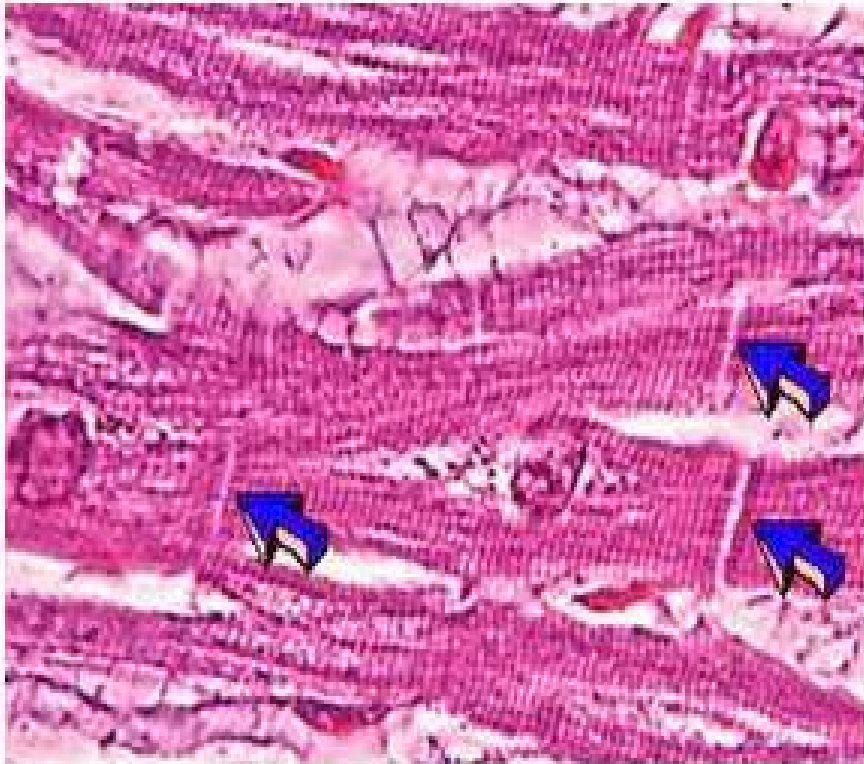


Key:
 — = Preganglionic axons (sympathetic) - - - = Postganglionic axons (sympathetic) — = Myelination
 — = Preganglionic axons (parasympathetic) - - - = Postganglionic axons (parasympathetic)

Organisation anatomique du muscle squelettique

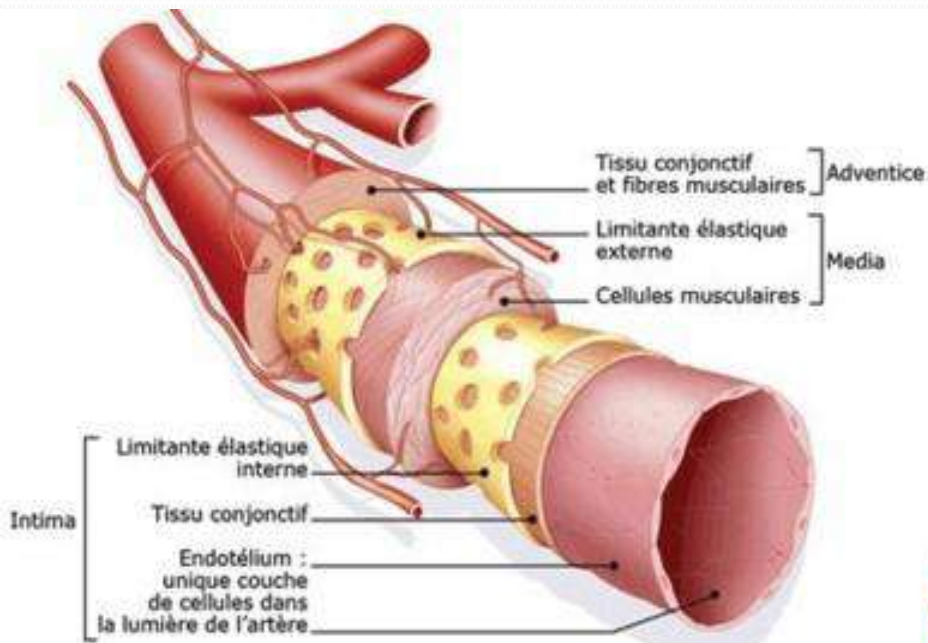


Le muscle cardiaque



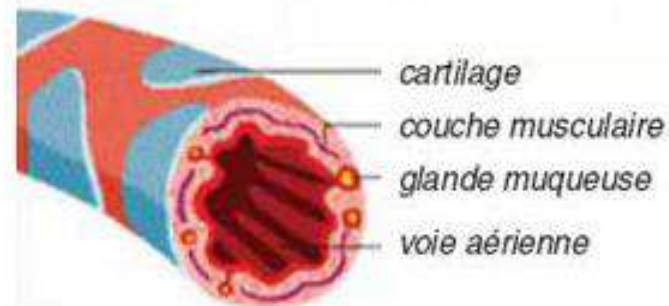
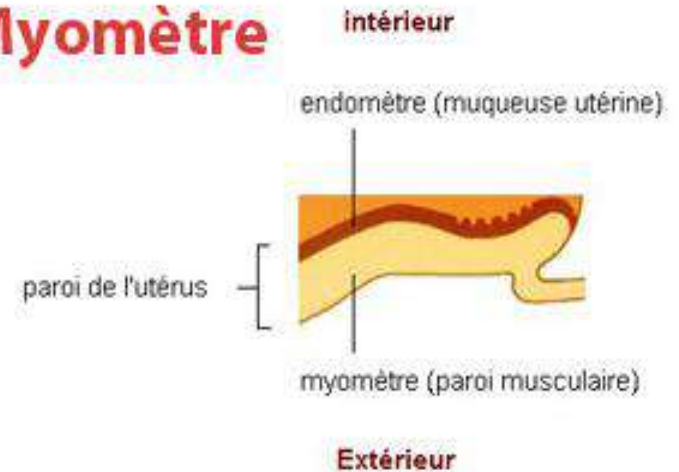
Cellules myocardiques en microscopie optique.

Le muscle lisse



Paroi artérielle

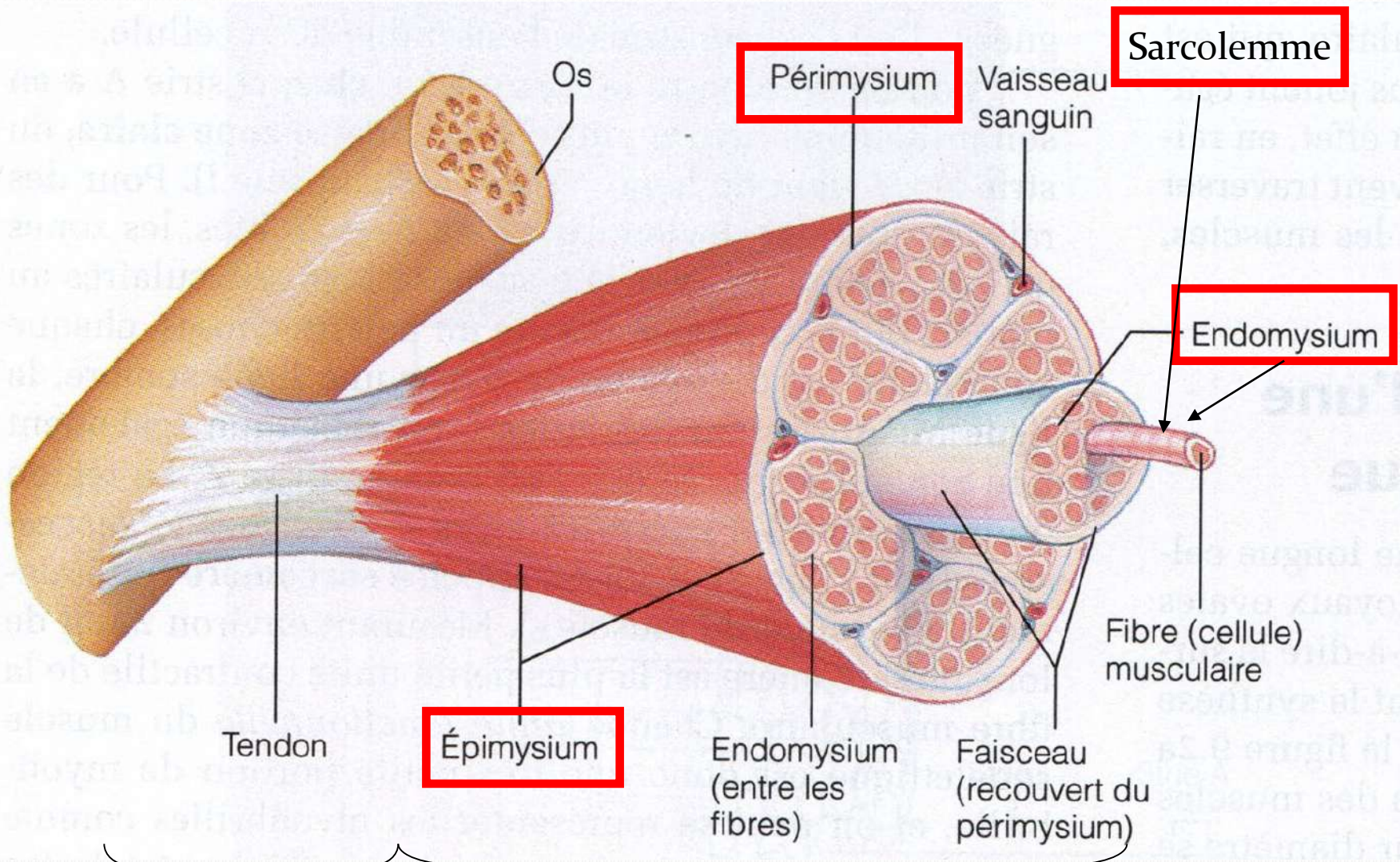
Myomètre



Bronche

Anatomie du muscle

Niveau macroscopique : le muscle



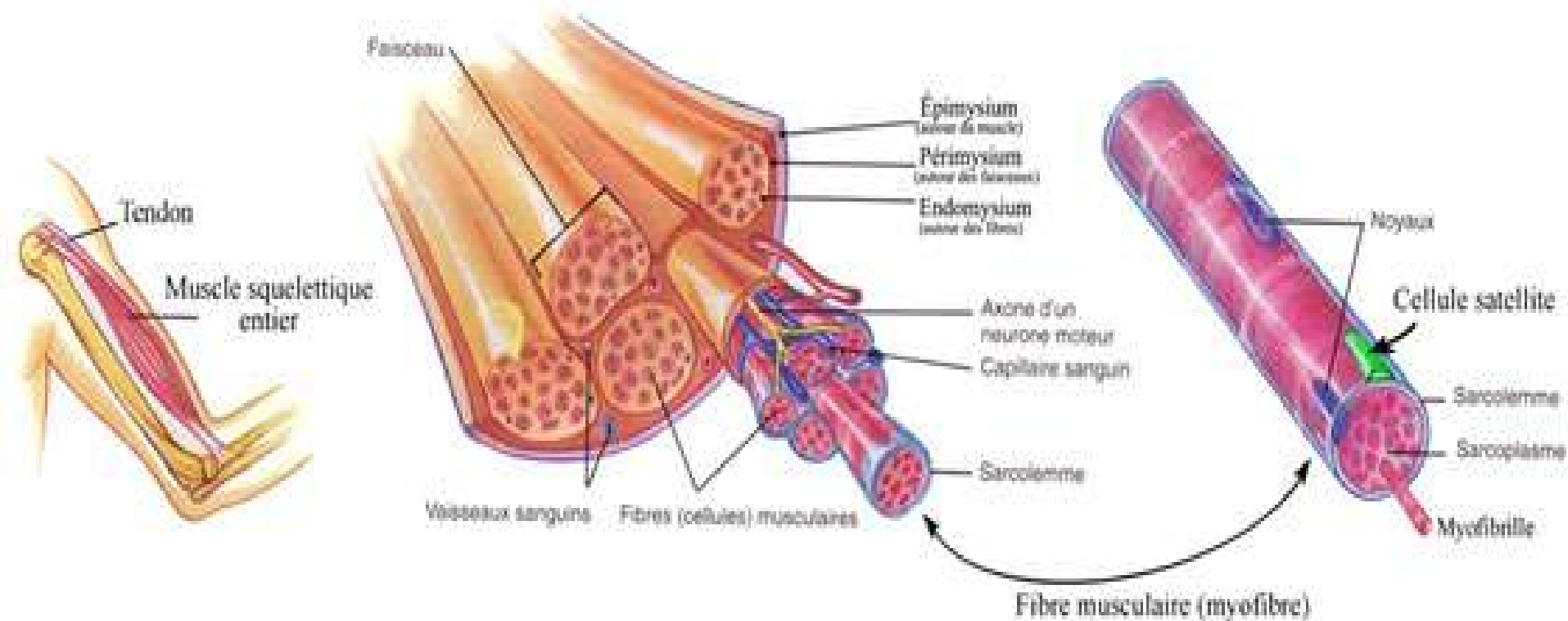
Tendon

Corps musculaire



Le corps musculaire est constitué de plusieurs centaines - milliers de fibres musculaires regroupées en faisceaux.

Muscle strié squelettique: organisation cellulaire

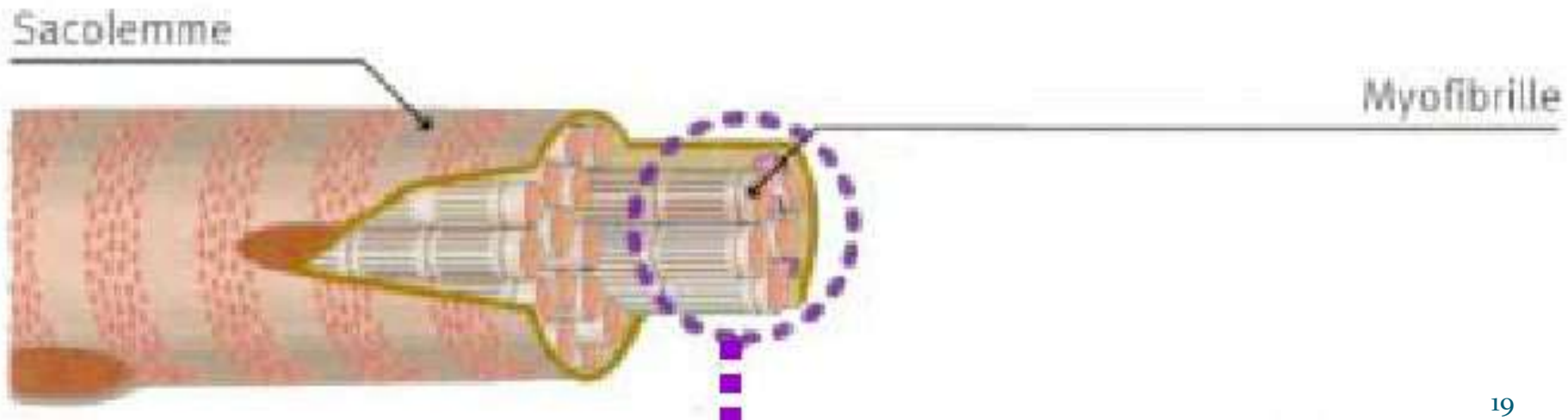


Niveau microscopique : la fibre (cellule) musculaire

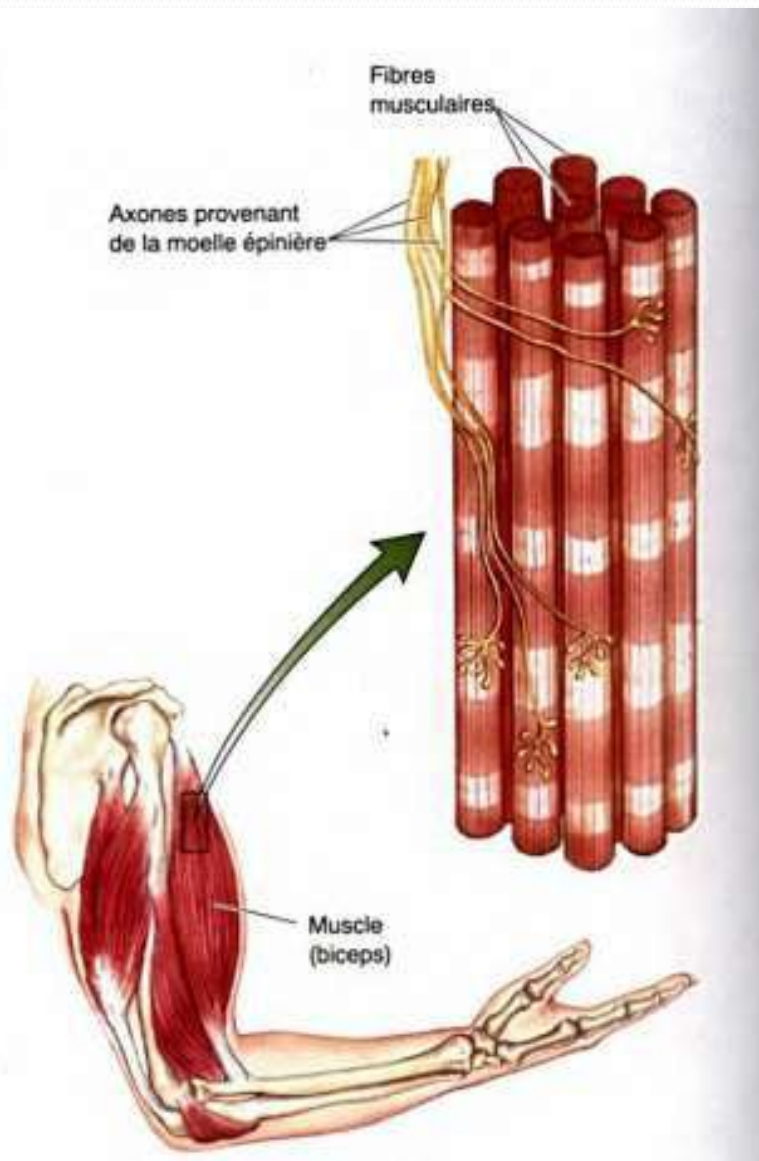
C'est une cellule géante très allongée avec plusieurs noyaux.
Diamètre = 10 à 100 μm et longueur = 1 mm à 30 cm.

Les plus courtes et les plus épaisses : force importante

Les plus longues et fines = mouvements rapides et grande amplitude



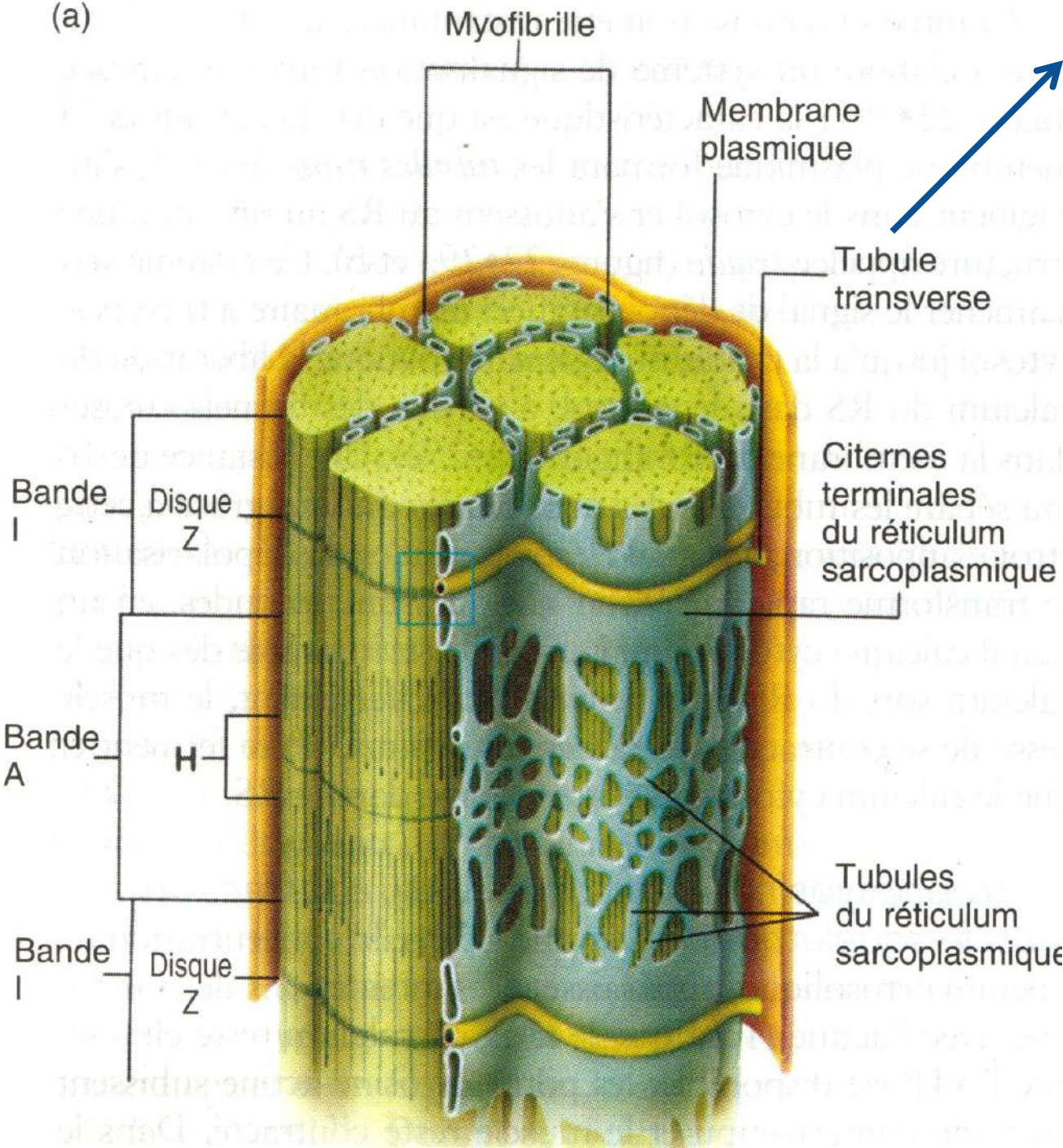
Structure d'une fibre musculaire



Les fibres musculaires résultent de la fusion de plusieurs cellules musculaires (**syncytium**). Ces cellules ont plusieurs particularités:

- le **sarcolemme** est la membrane plasmique d'une fibre musculaire
- on appelle **sarcomère** la plus petite unité contractile du muscle
- **système réticulo-sarcoplasmique (RS)**: il est composé de tubules T (transverse), en contact avec le milieu extérieur, et du système L (longitudinal), qui est purement intracellulaire.

(a)



Tubules

transverses (tubules T) :

invaginations du sarcolemme qui forment des tubes étroit qui traversent la fibre.

Réticulum

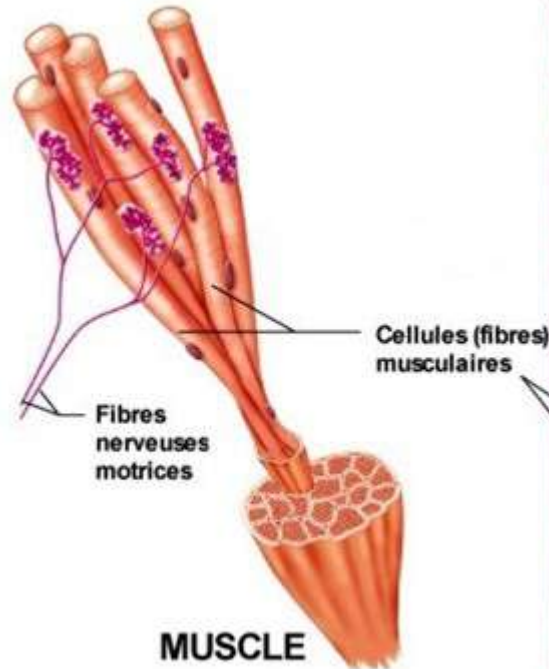
sarcoplasmique (endoplasmique) :

réseau de tubules qui parcourt les intervalles entre les myofibrilles;

Citernes

terminales : ce sont les terminaisons du réticulum sarcoplasmique. Ce sont des réserves de Ca^{2+} .²¹

Muscle strié squelettique: organisation cellulaire



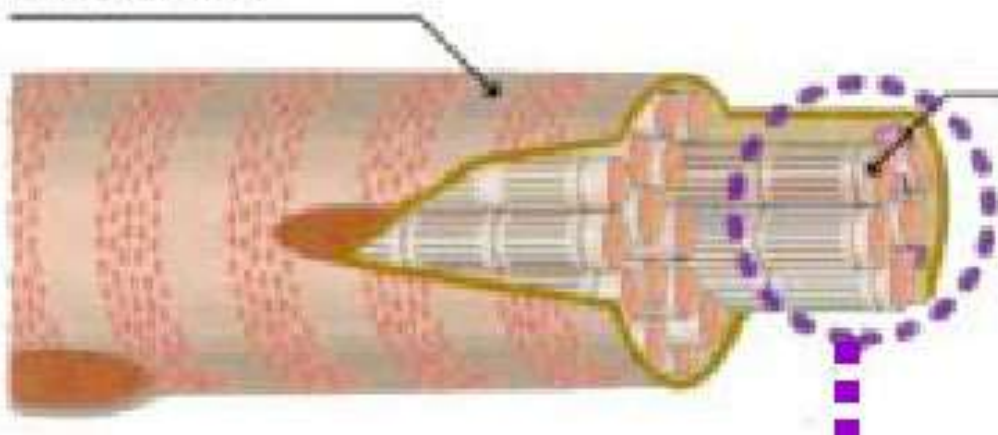
Présence de plusieurs noyaux par cellule suite à la fusion de cellules mononuclées: les **myoblastes** (au cours du développement embryonnaire) ou les **cellules satellites** (au cours de la régénération après la naissance).

Niveau ultramicroscopique : les myofibrilles

Elles se regroupent parallèlement les unes aux autres pour constituer la fibre musculaire.

Chaque myofibrille est composée d'une succession d'unités nommées « sarcomères ». C'est ce qui donne l'aspect strié (alternance régulière de bandes claires et sombres)

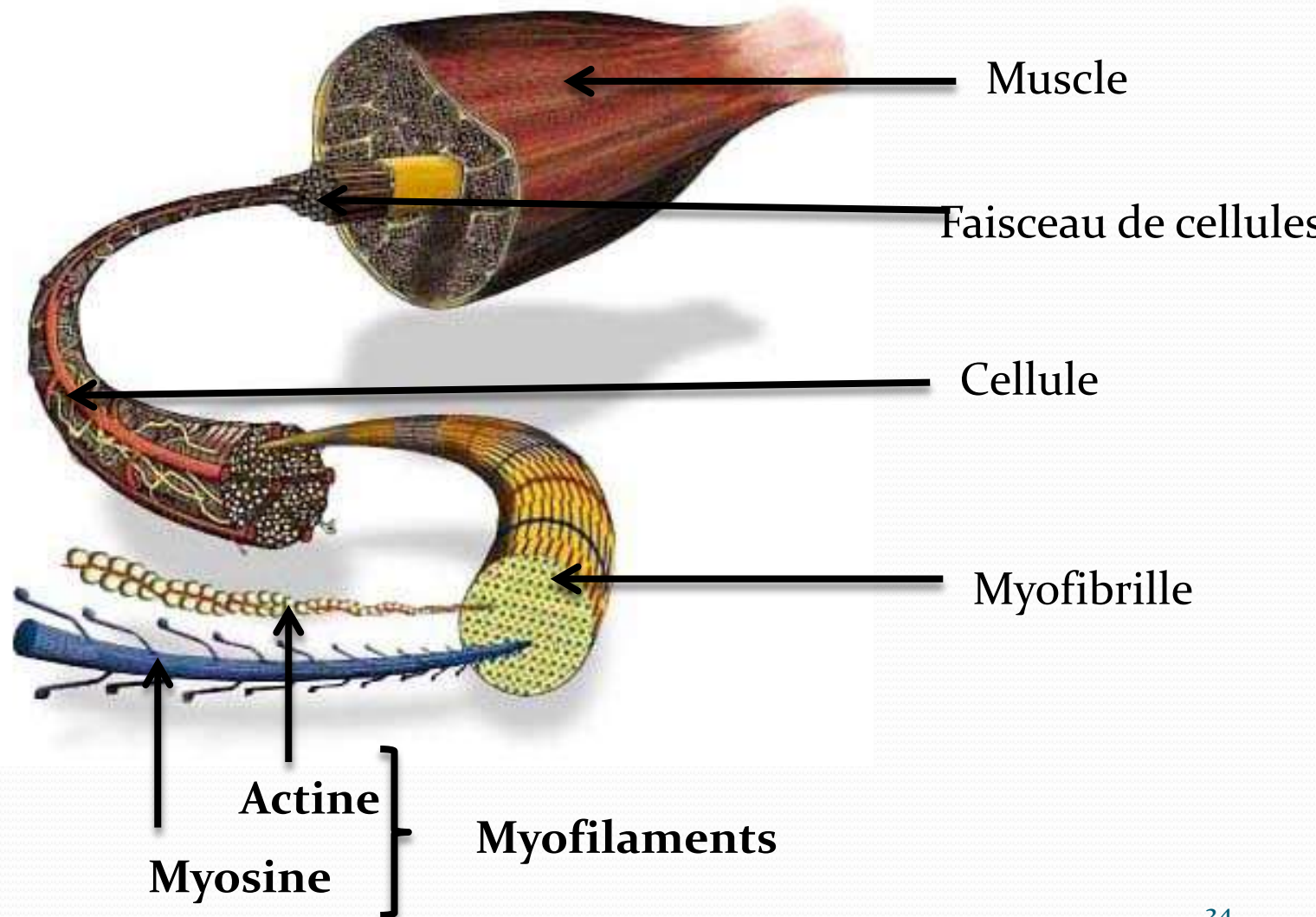
Sarcolemme



Myofibrille

Muscle strié squelettique: organisation cellulaire: Myofilaments

L'essentiel du cytosquelette musculaire est constitué de **myofibrilles** qui sont les éléments contractiles des cellules des muscles squelettiques. Chaque myofibrille est composée d'une chaîne d'unités contractiles répétitives, les **sarcomères**.

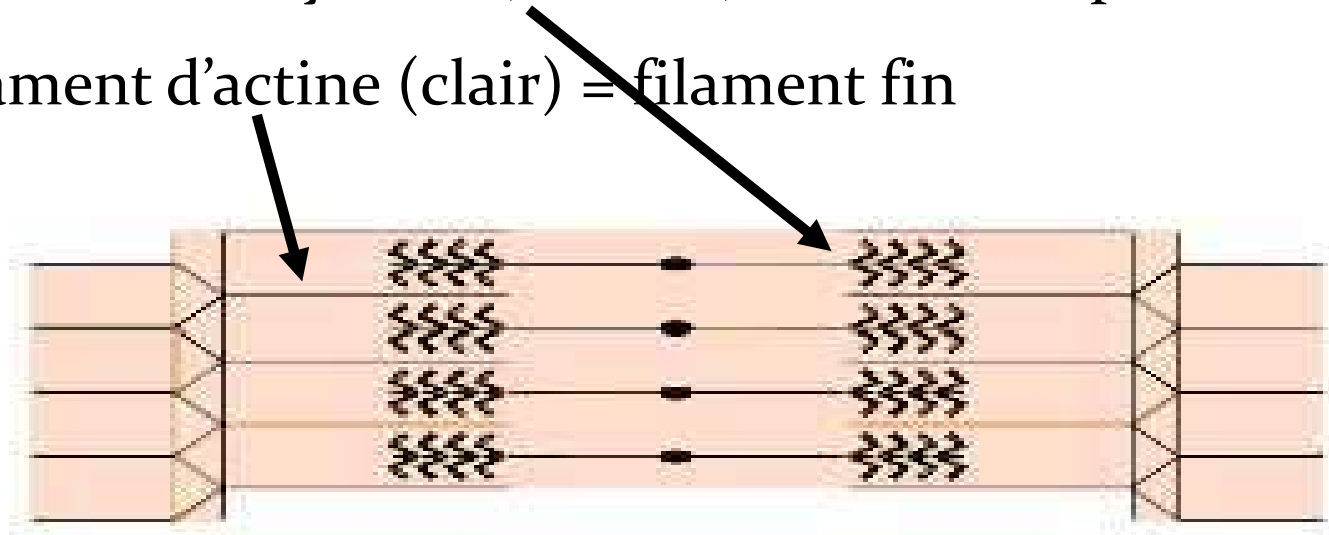


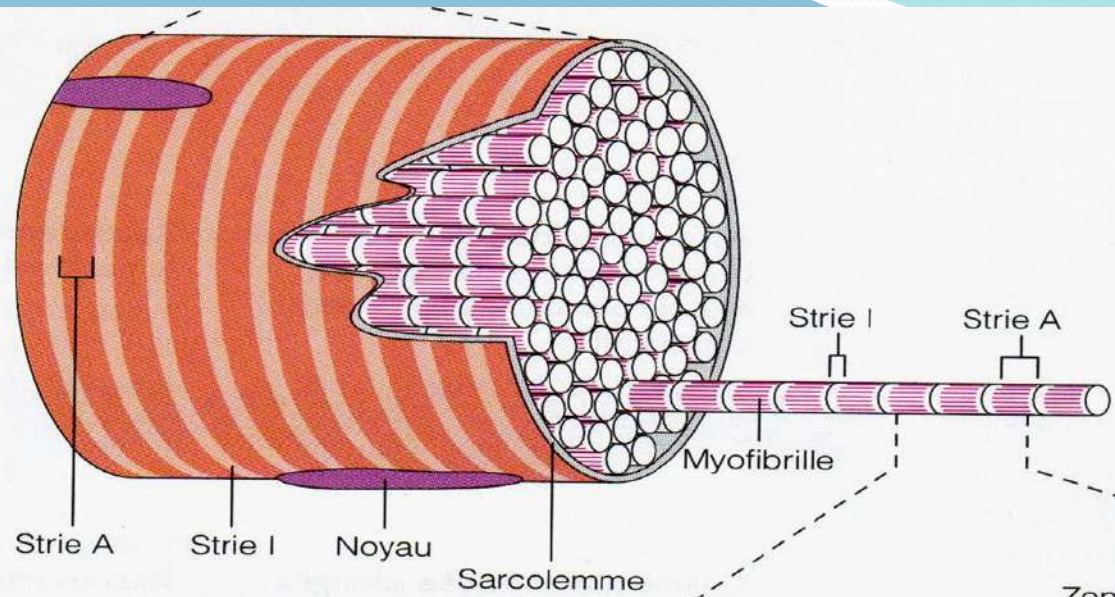
Niveau ultramicroscopique : le sarcomère

Le sarcomère = unité contractile du muscle

L'alternance des bandes sombres et claires correspond à l'alternance entre 2 types de myofilaments :

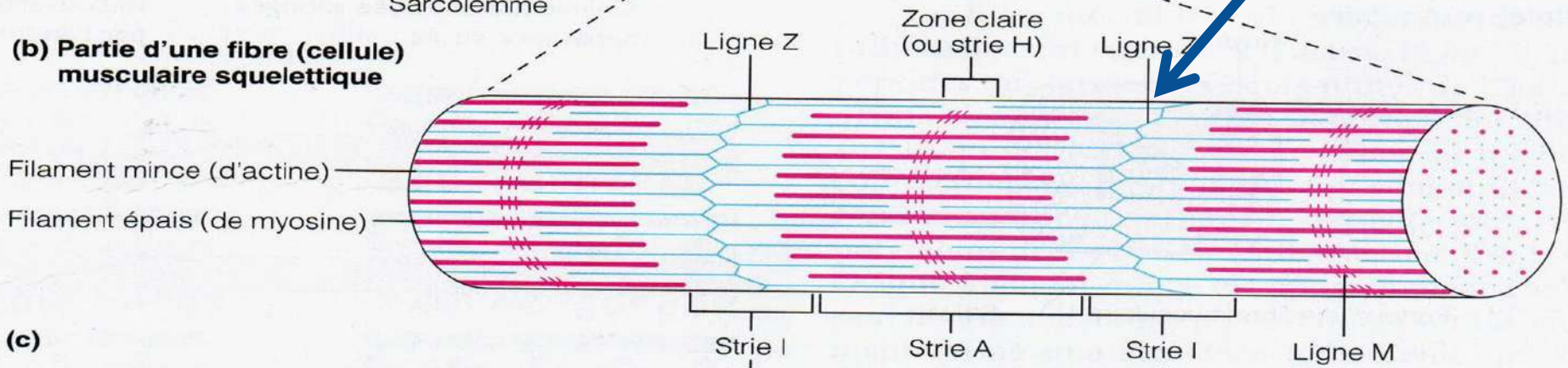
- myofilament de myosine (sombre) = filament épais
- myofilament d'actine (clair) = filament fin



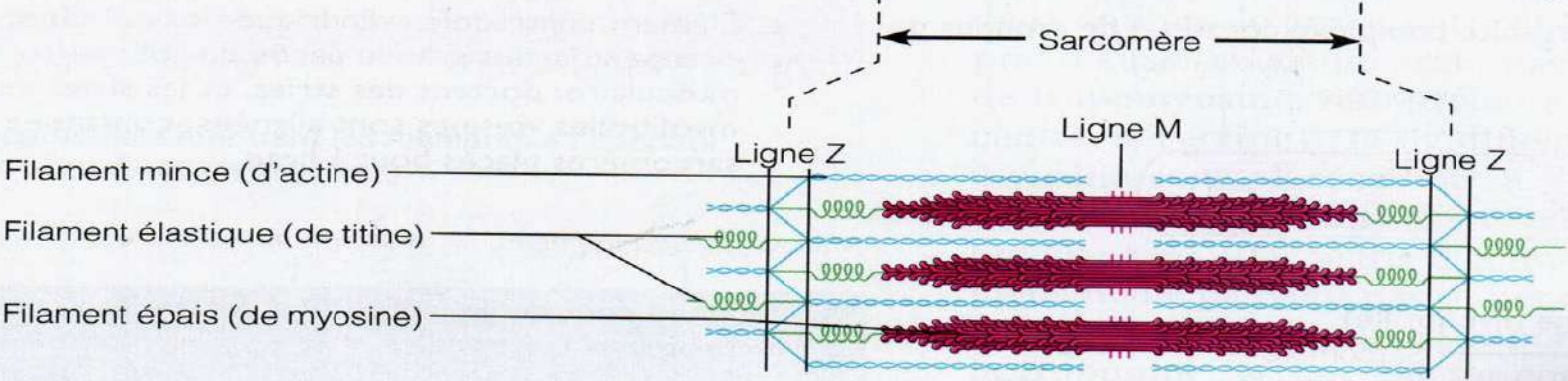


(b) Partie d'une fibre (cellule) musculaire squelettique

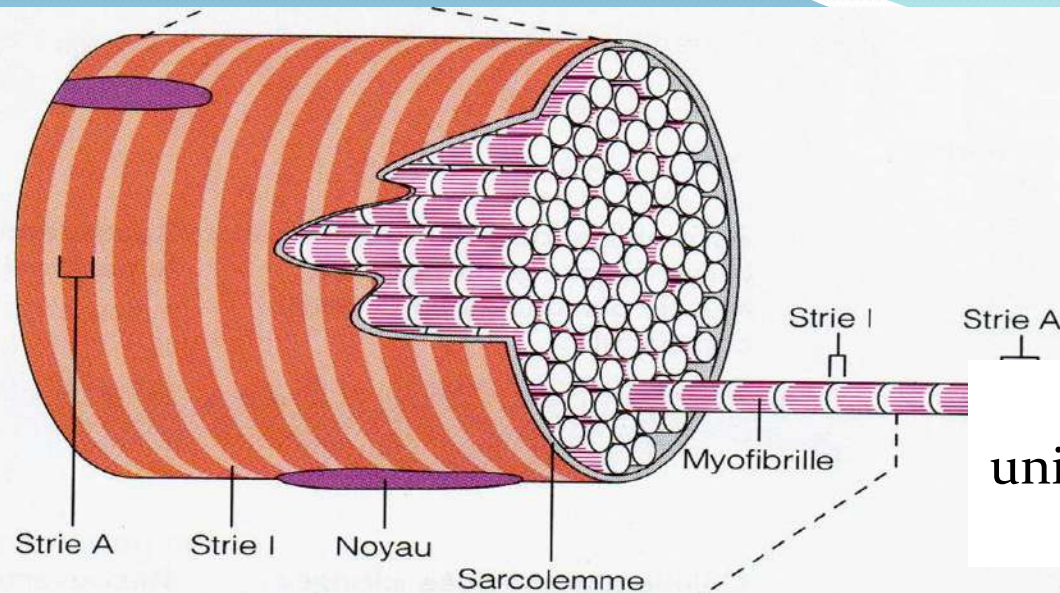
Les lignes Z délimitent le sarcomère. Correspond aux sites de jonctions entre les sarcomères



(c)

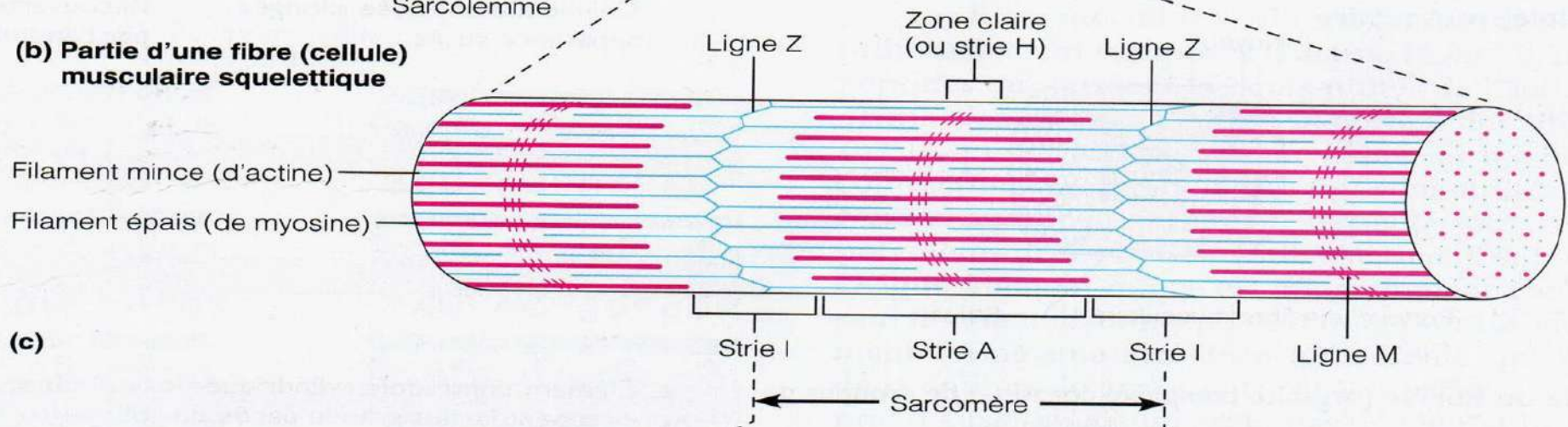


(d)

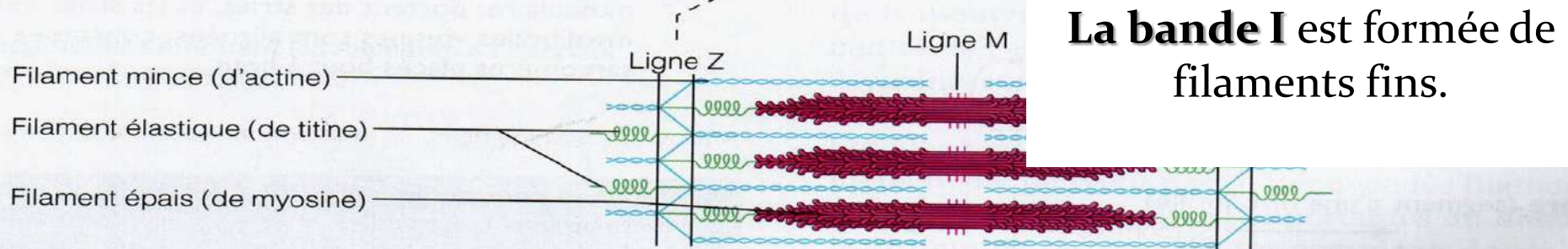


La zone H est formée uniquement de filaments épais.

(b) Partie d'une fibre (cellule) musculaire squelettique

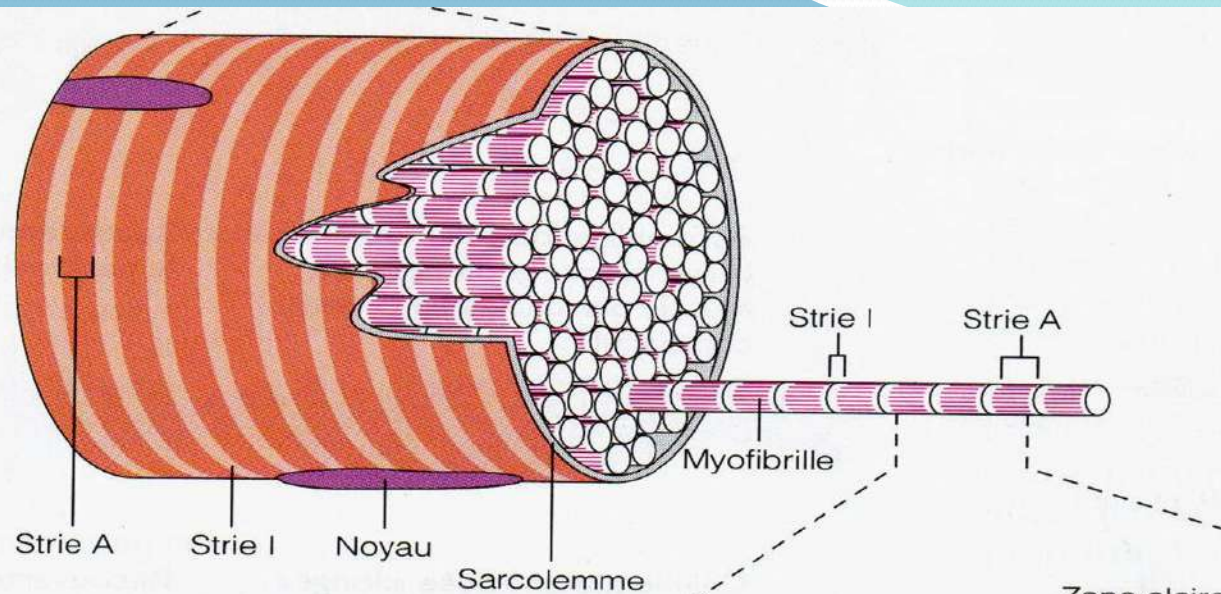


(c)



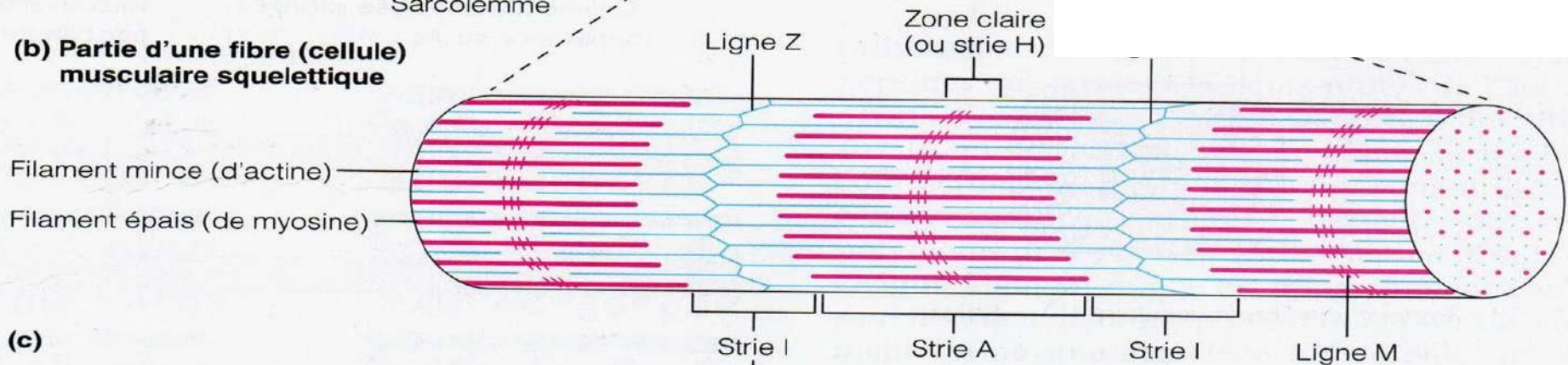
(d)

La bande I est formée de filaments fins.



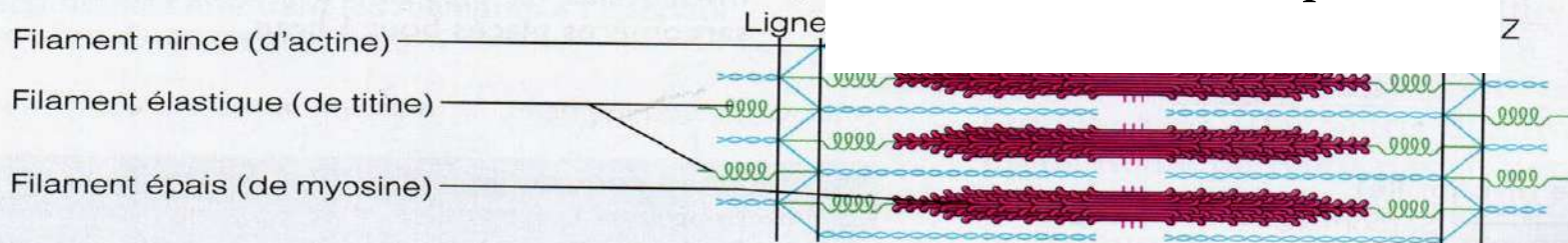
(b) Partie d'une fibre (cellule) musculaire squelettique

La ligne M est formée par l'union des filaments épais.



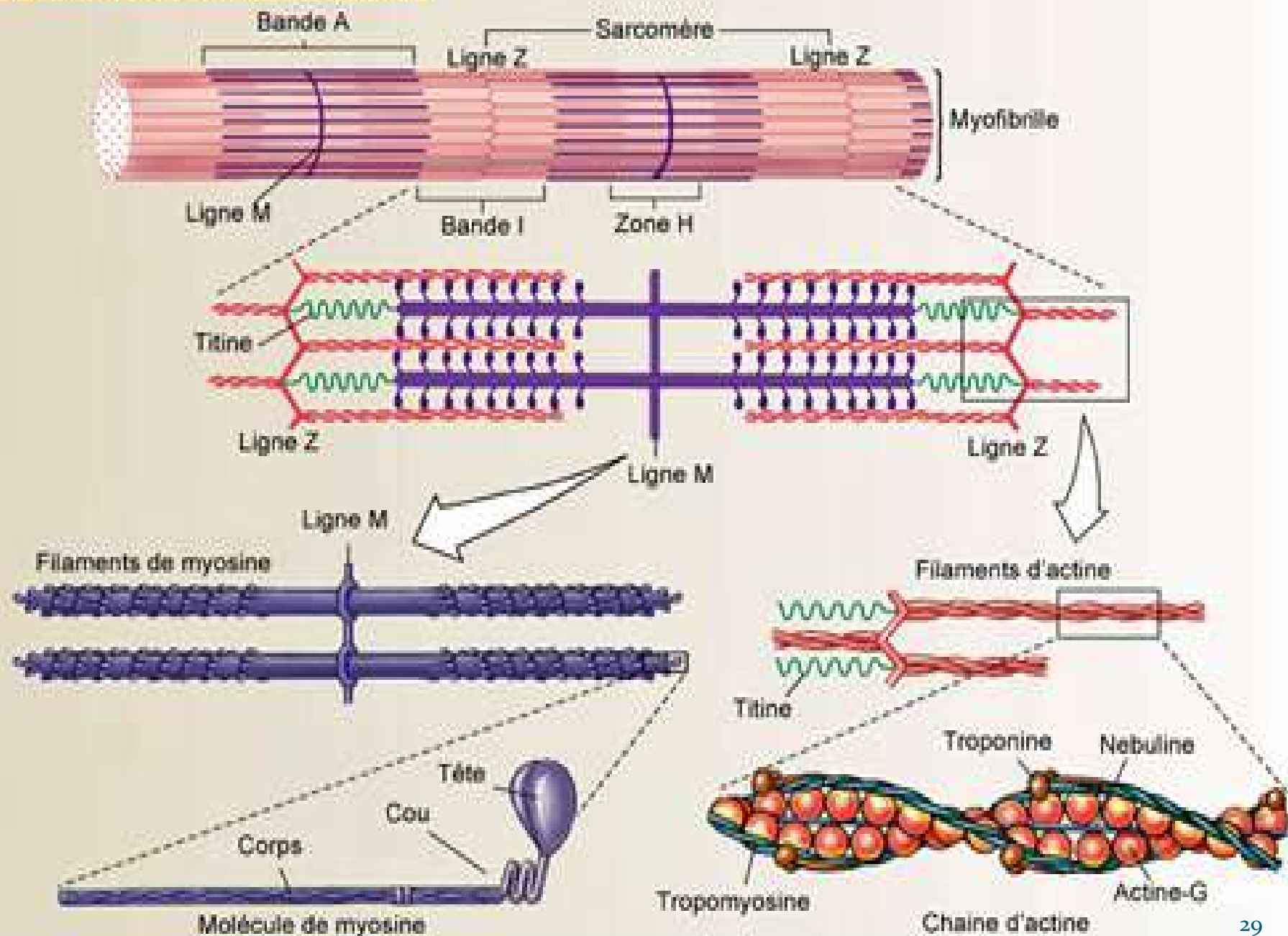
(c)

La bande A est formée de filament fins et épais.



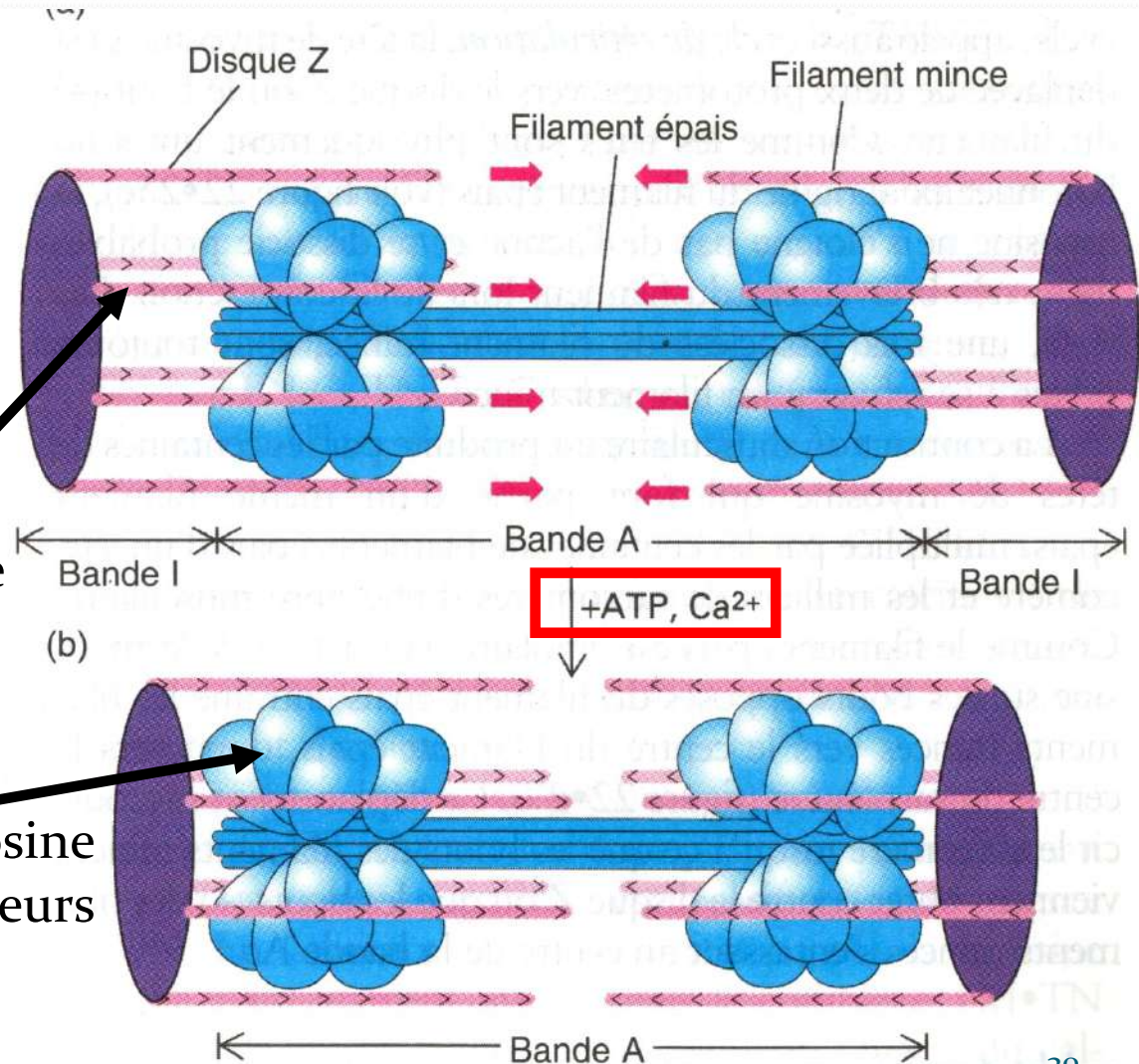
(d)

Ultrastructure d'une myofibrille



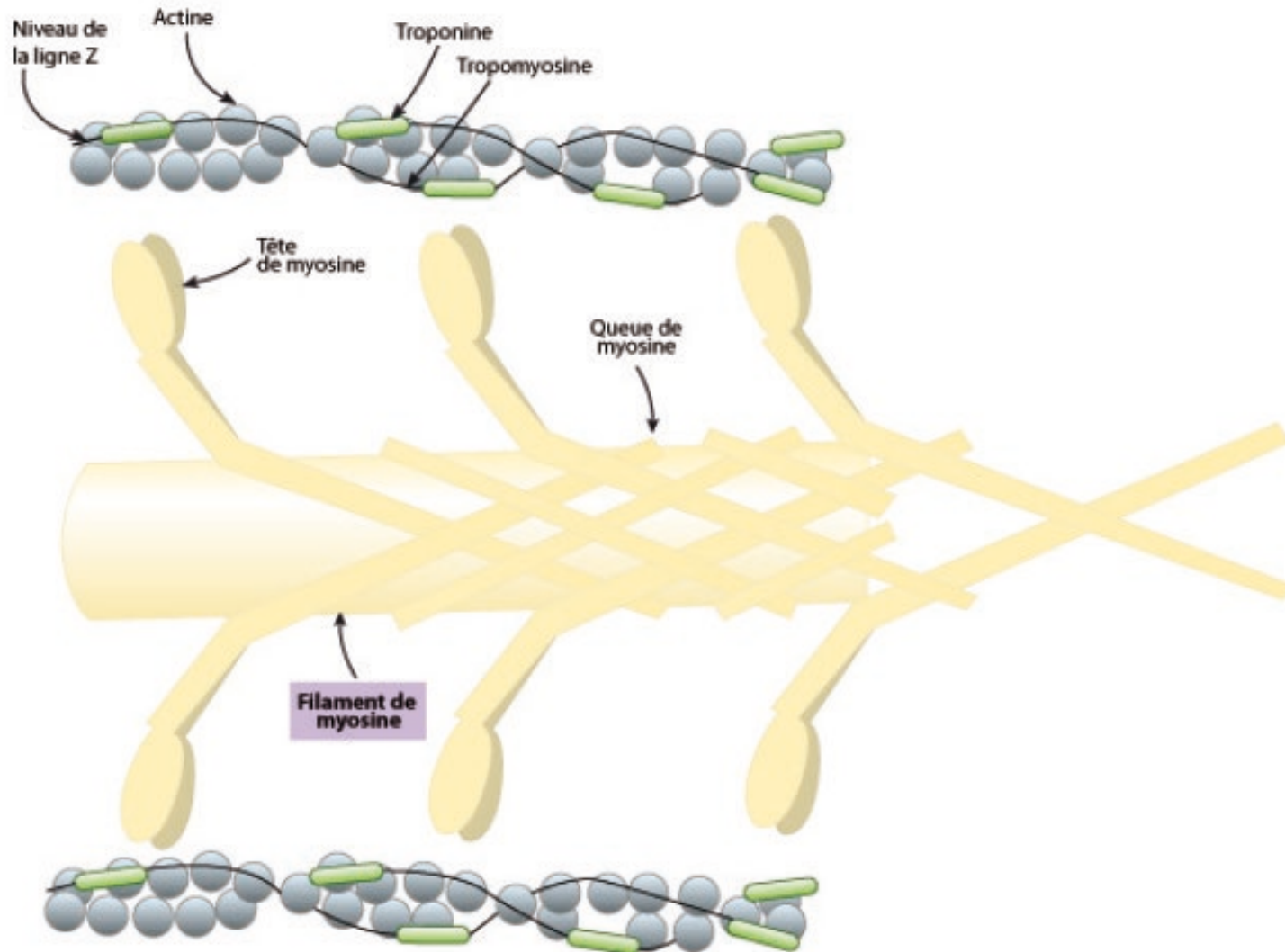
Niveau ultramicroscopique : sarcomère et myofilaments

- Au milieu des filaments fins d'actine, s'intercalent les filaments épais de myosine

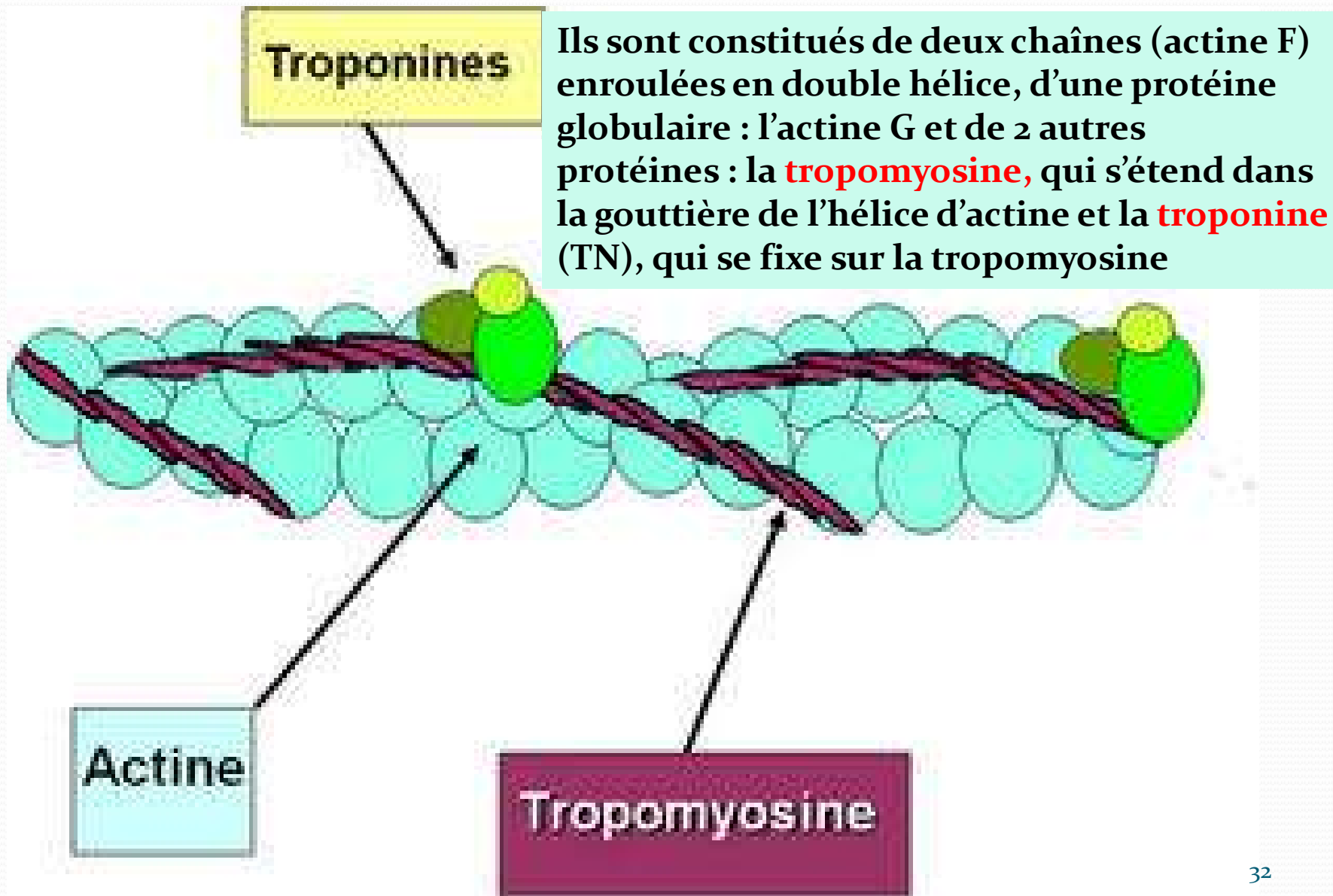


- Les filaments fins d'actine = fixés aux stries Z
- Les filaments épais de myosine = assemblage de plusieurs molécules de myosine

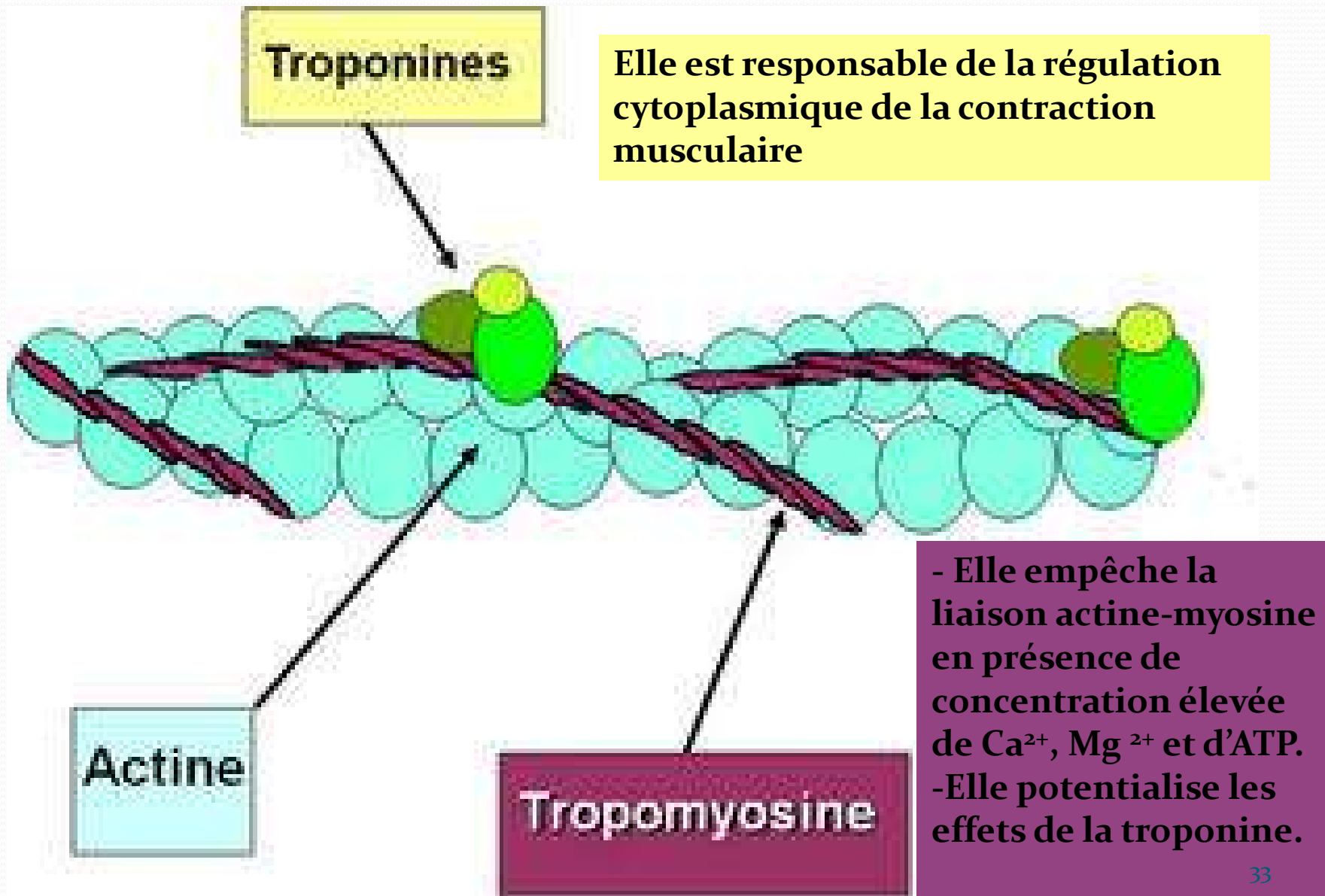
Muscle strié squelettique: organisation moléculaire: filaments épais myosine



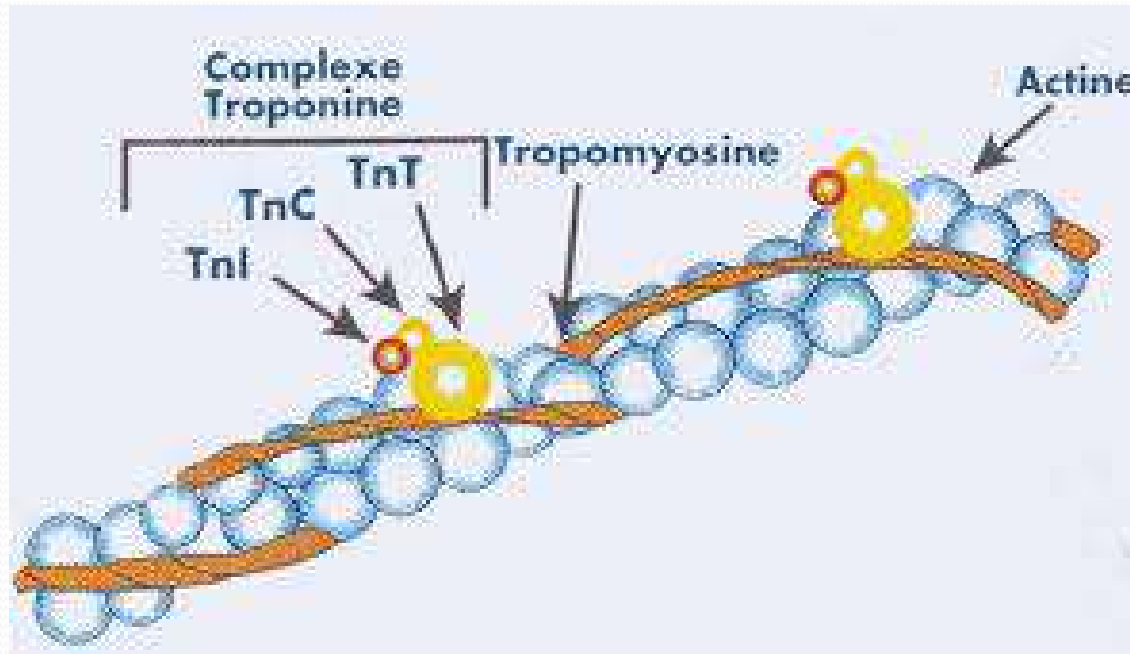
Muscle strié squelettique: organisation moléculaire: filaments fins Actine



Muscle strié squelettique: organisation moléculaire: filaments fins Actine



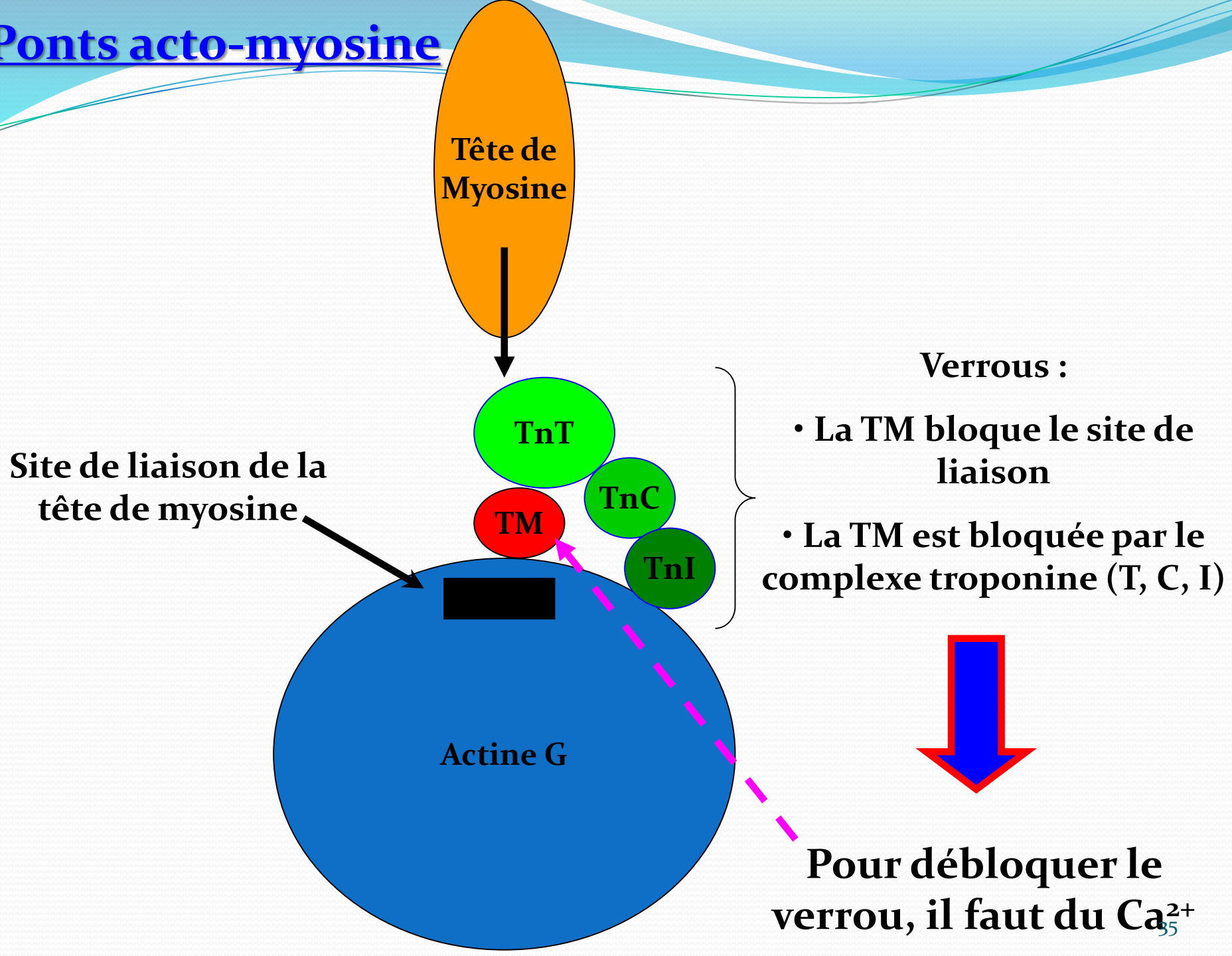
Muscle strié squelettique: organisation moléculaire: filaments fins Actine



Elle est constituée de 3 peptides :

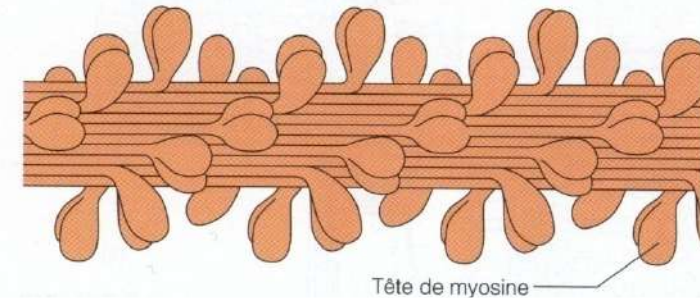
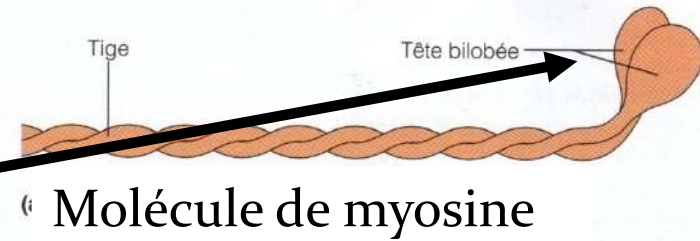
- **TNT** : lie le complexe troponine à la tropomyosine,
- **TNI** : inhibe en permanence l'interaction actine-myosine en absence de Ca^{2+} ,
- **TNC** : fixe le Ca^{2+} libéré du RS. La fixation du Ca^{2+} sur TNC augmente l'affinité de celle-ci pour TNI, modifie la conformation de TNC. La fixation du calcium sur la troponine déclenche la contraction en levant l'inhibition exercée en permanence par la fraction TNI complexe troponine.

Ponts acto-myosine



Niveau ultramicroscopique : les myofilaments

Tête de myosine

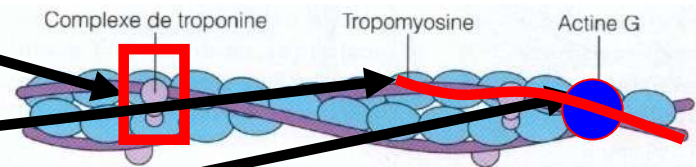


Myofilament de myosine (épais)

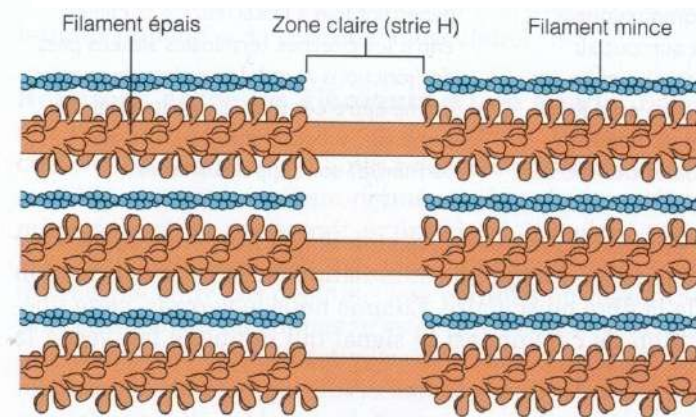
Complexe de troponine

Tropomyosine

Actine G



Myofilament d'actine (fin)



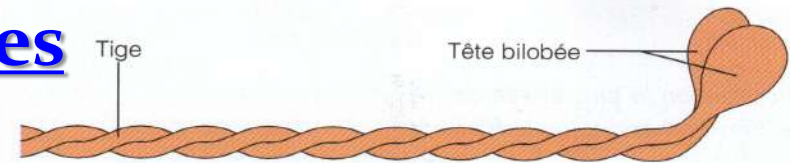
(d) Coupe longitudinale montrant les filaments à l'intérieur d'un sarcomère d'une myofibrille

Pour que le sarcomère se raccourcisse (glissement actine / myosine), il faut que la tête de myosine se fixe d'abord sur l'actine (formation de ponts acto-myosine), puis se contracte pour permettre le glissement de l'actine

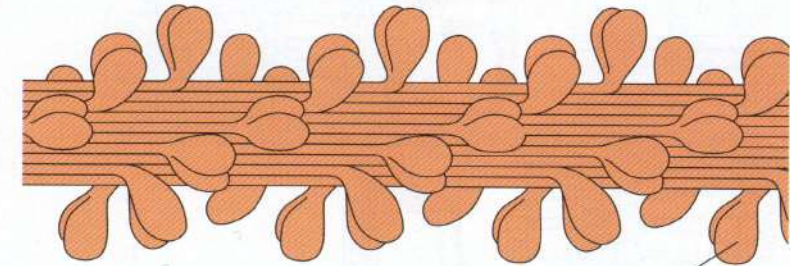
Niveau ultramicroscopique : les myofilaments

- Au repos, les liaisons entre actine et myosine sont empêchés par l'inhibition exercée par 2 protéines : la **troponine** et la **tropomyosine**. Elles bloquent le site actif de l'actine pour la tête de myosine et empêche la formation du pont acto-myosine.

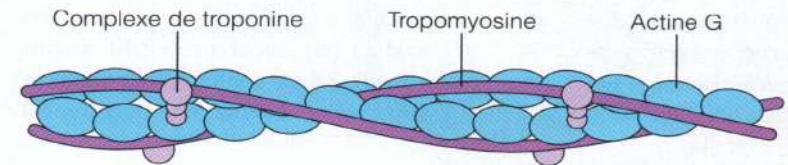
- Verrous placés entre les filaments fins et épais.



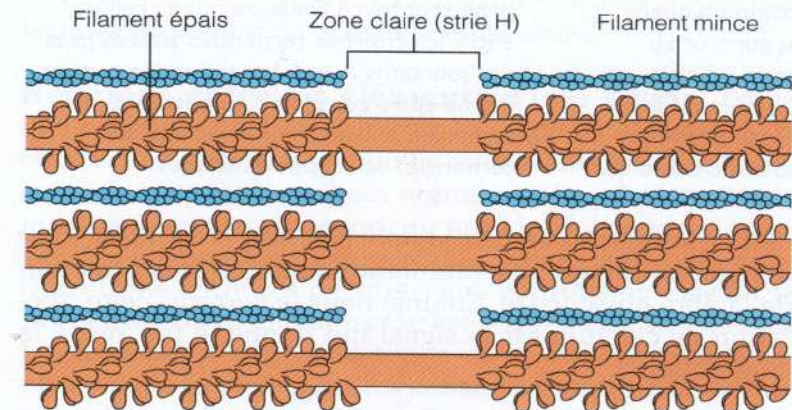
(a) Molécule de myosine



(b) Partie d'un filament épais



(c) Partie d'un filament mince



(d) Coupe longitudinale montrant les filaments à l'intérieur d'un sarcomère d'une myofibrille

Ponts acto-myosine

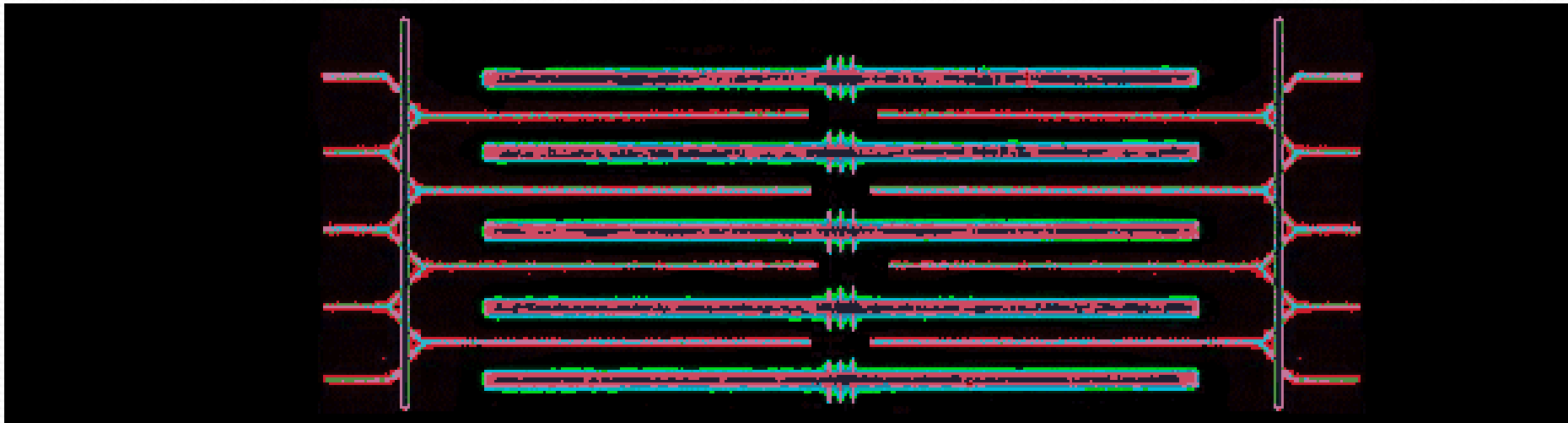
L'affinité de la TnC (troponine C) pour le calcium a pour effet de faire pivoter sur elles-mêmes les molécules de troponine et de tropomyosine afin de libérer le site de liaison de la tête de myosine sur l'actine



Mécanisme de la contraction: **contraction de la cellule** **musculaire squelettique**

Niveau ultramicroscopique : sarcomère et myofilaments

Contraction d'un sarcomère = glissement des filaments d'actine sur les filaments de myosine

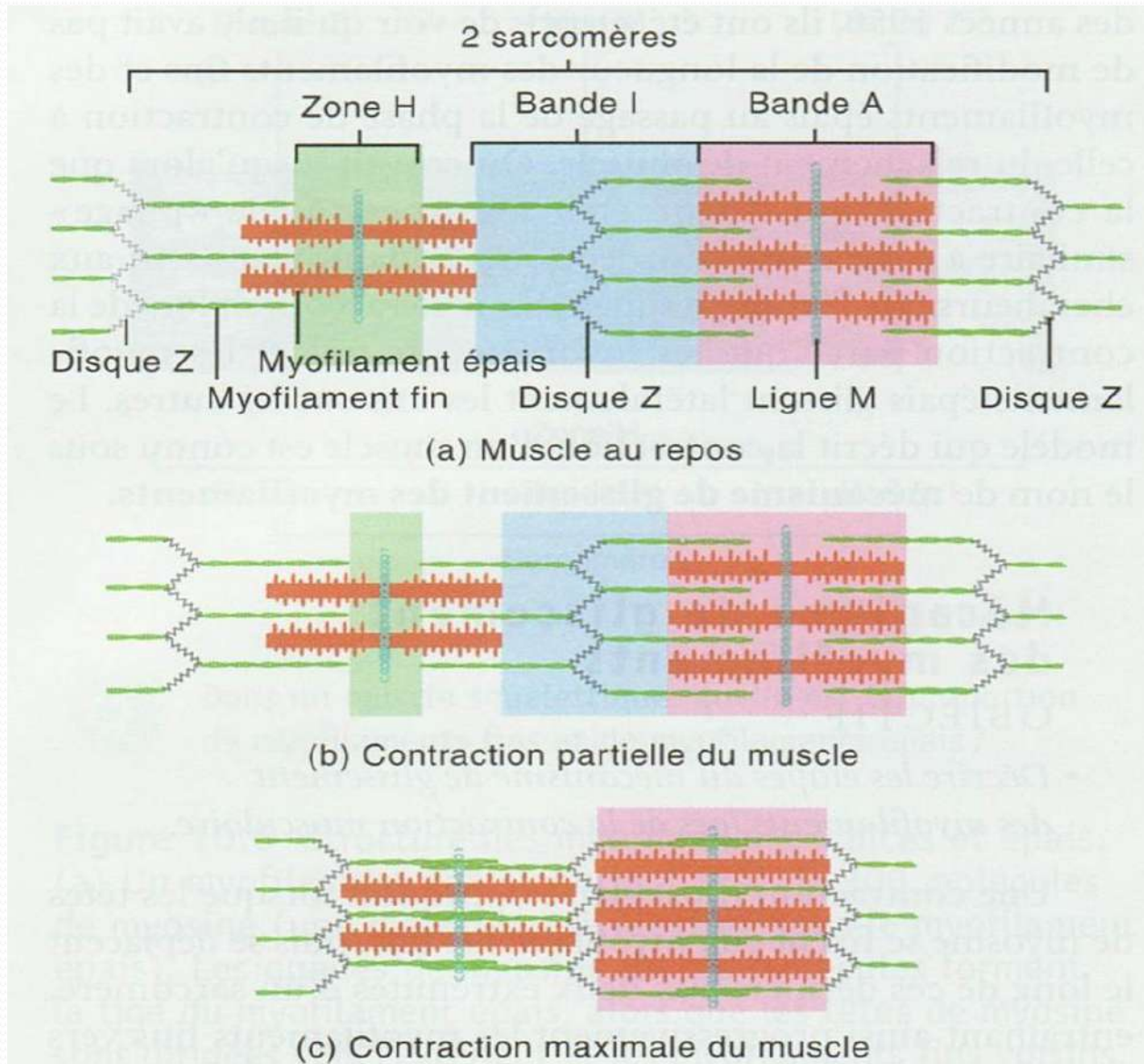


Niveau ultramicroscopique : sarcomère et myofilaments

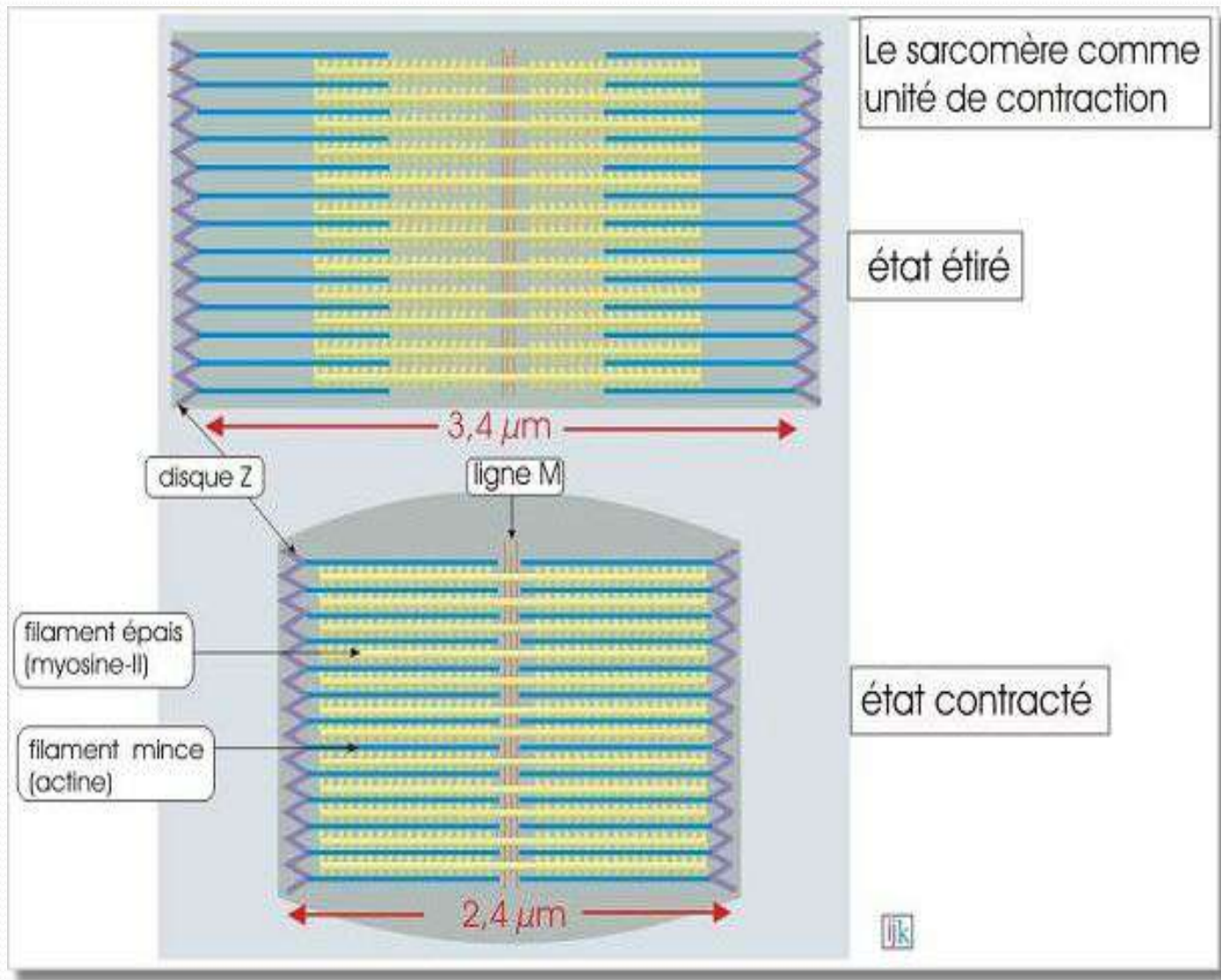
Pendant la **contraction musculaire**, les sarcomères se raccourcissent (et donc les muscles aussi).

ATTENTION : la longueur des myofilaments ne varie pas

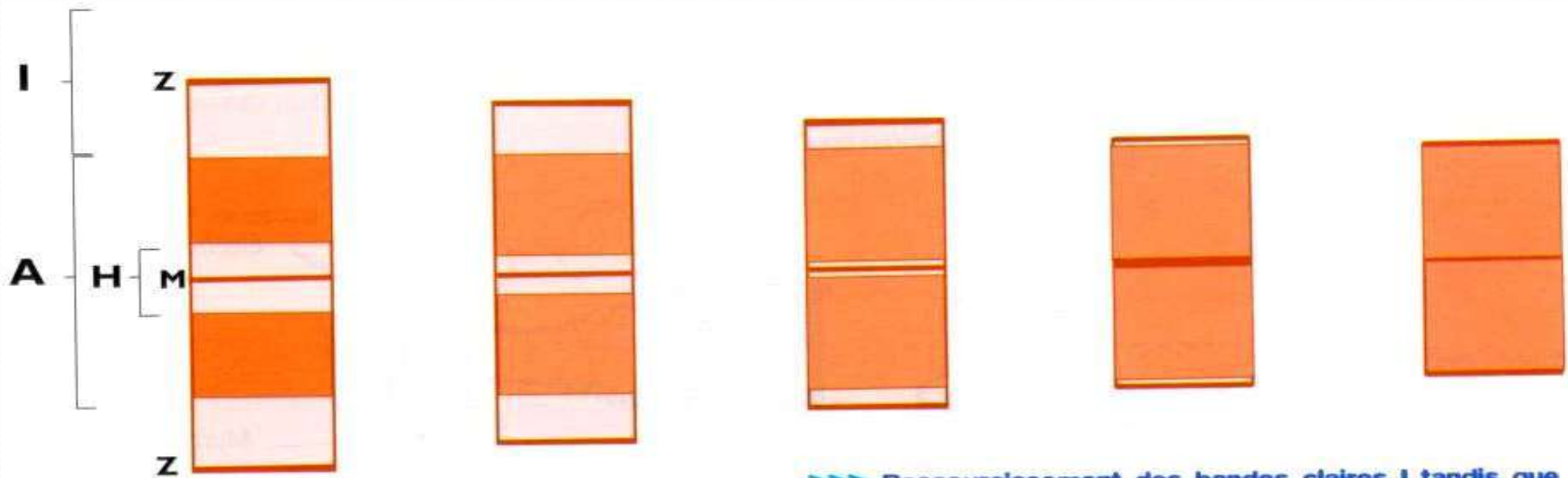
Mécanisme de contraction par glissement des filaments



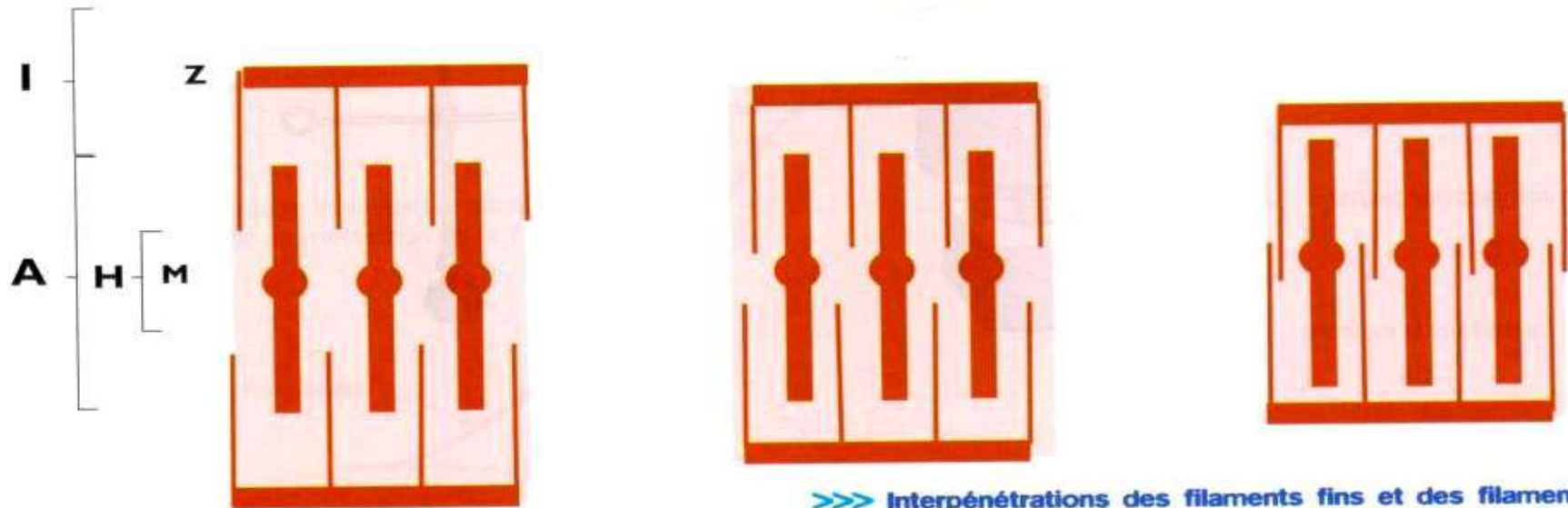
Mécanisme de contraction par glissement des filaments



Mécanisme de contraction par glissement des filaments

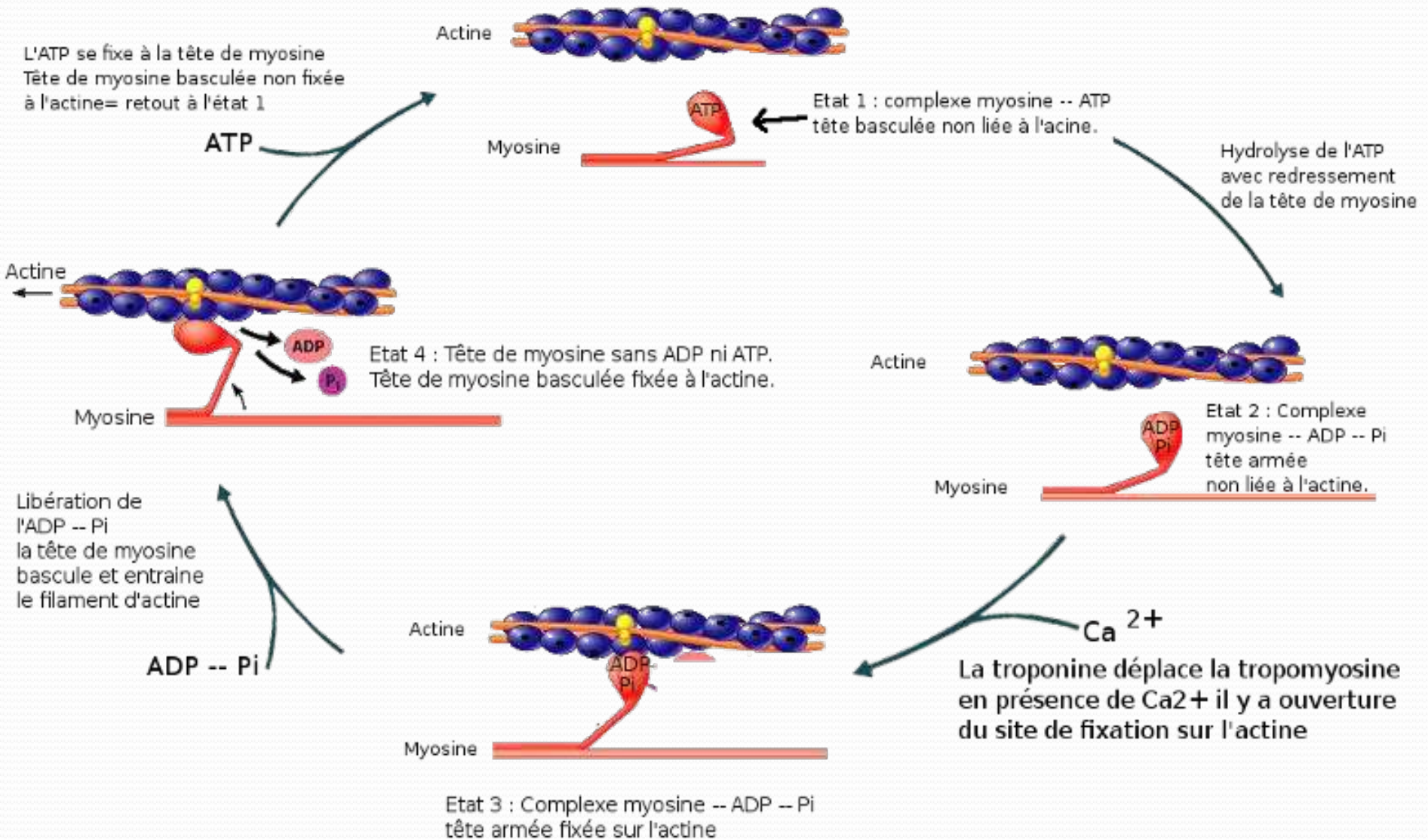


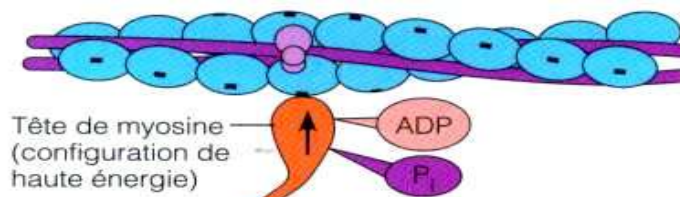
>>> Raccourcissement des bandes claires I tandis que les bandes A conservent une longueur constante.



>>> Interpénétrations des filaments fins et des filaments épais lors de la contraction. Les deux sortes de filaments gardent une longueur constante.

Cycle des interactions entre actine et myosine au cours d'une contraction musculaire.

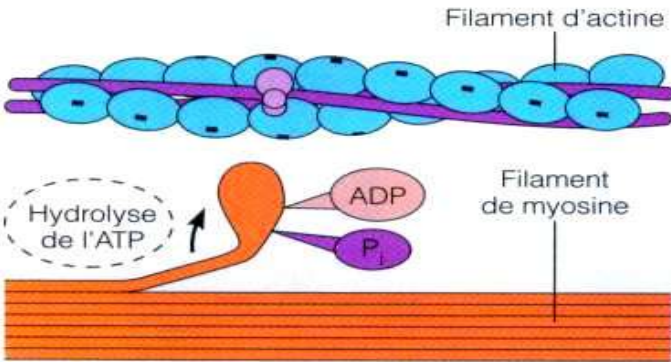




Tête de myosine
(configuration de
haute énergie)

ADP
 P_i

① La tête de myosine se lie au myofilament
d'actine



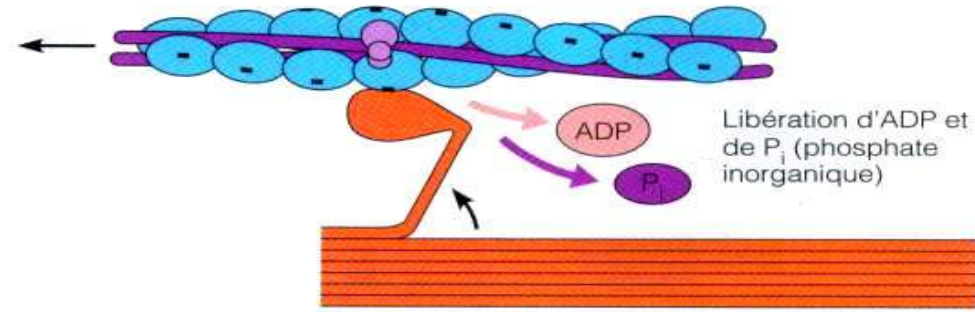
Filament d'actine

Filament
de myosine

Hydrolyse
de l'ATP

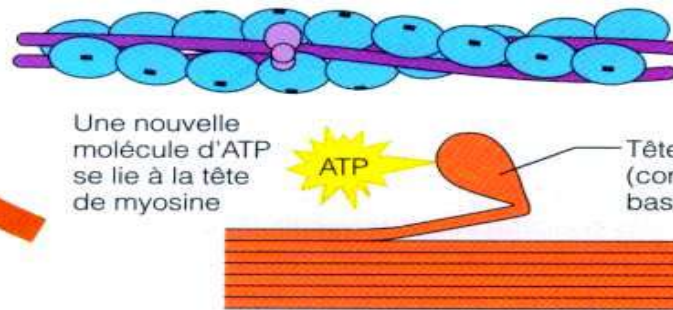
ADP
 P_i

④ La tête de myosine est mise sous tension
lorsque l'ATP est dissocié en ADP et P_i



Libération d'ADP et
de P_i (phosphate
inorganique)

② Phase active : la tête de myosine pivote et
se replie en tirant le filament d'actine

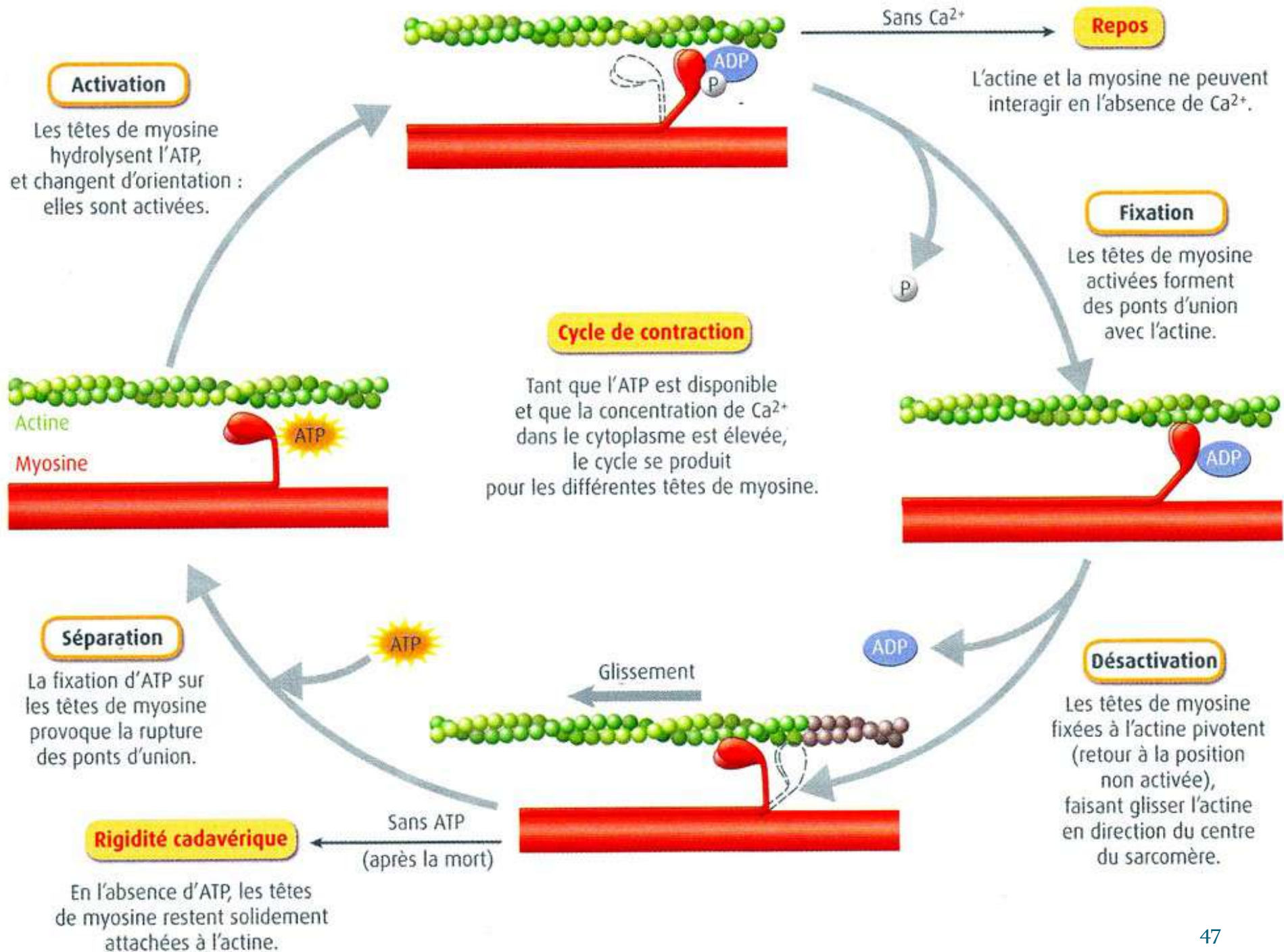


Une nouvelle
molécule d'ATP
se lie à la tête
de myosine

ATP

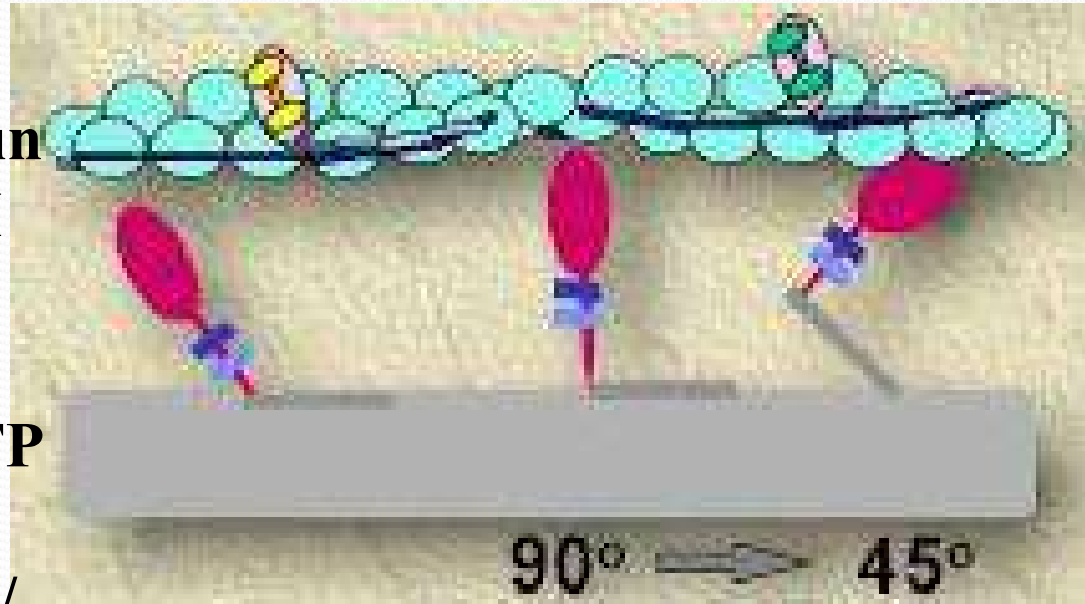
Tête de myosine
(configuration de
basse énergie)

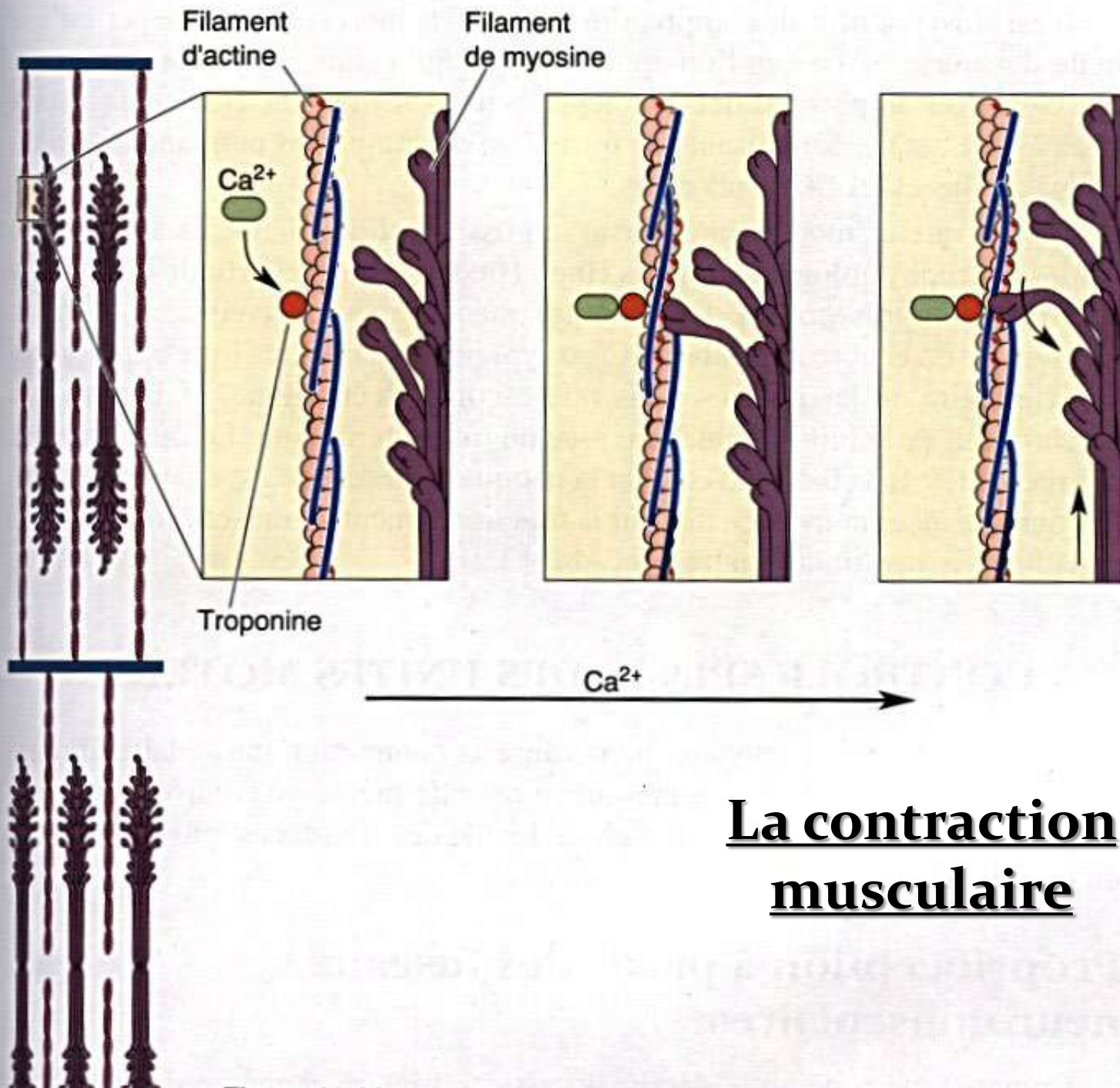
③ La tête de myosine se détache pendant qu'une
nouvelle molécule d'ATP s'y attache



Cycle des ponts

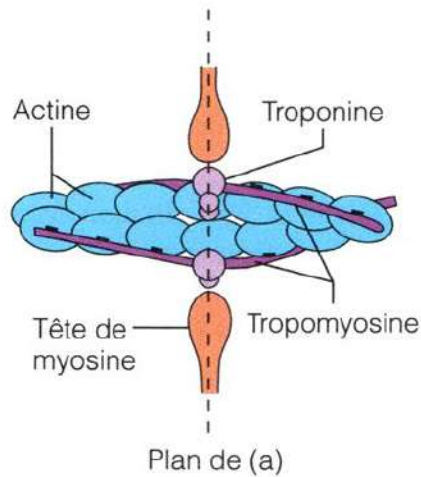
En présence d'ATP, haute affinité pour l'actine. La liaison à l'actine (à 90°) entraîne la libération d'ADP et P_i et un changement de conformation (45°). Le résultat de cette force est un glissement **de 10 nm** des filaments d'actine le long des filaments de myosine (et un raccourcissement des zones H et I). (Le cycle s'arrête là en absence d'ATP). La liaison d'une nouvelle molécule d'ATP diminue alors l'affinité pour l'actine. La séparation actine / myosine entraîne la dégradation de l'ATP en ADP + P_i , etc...



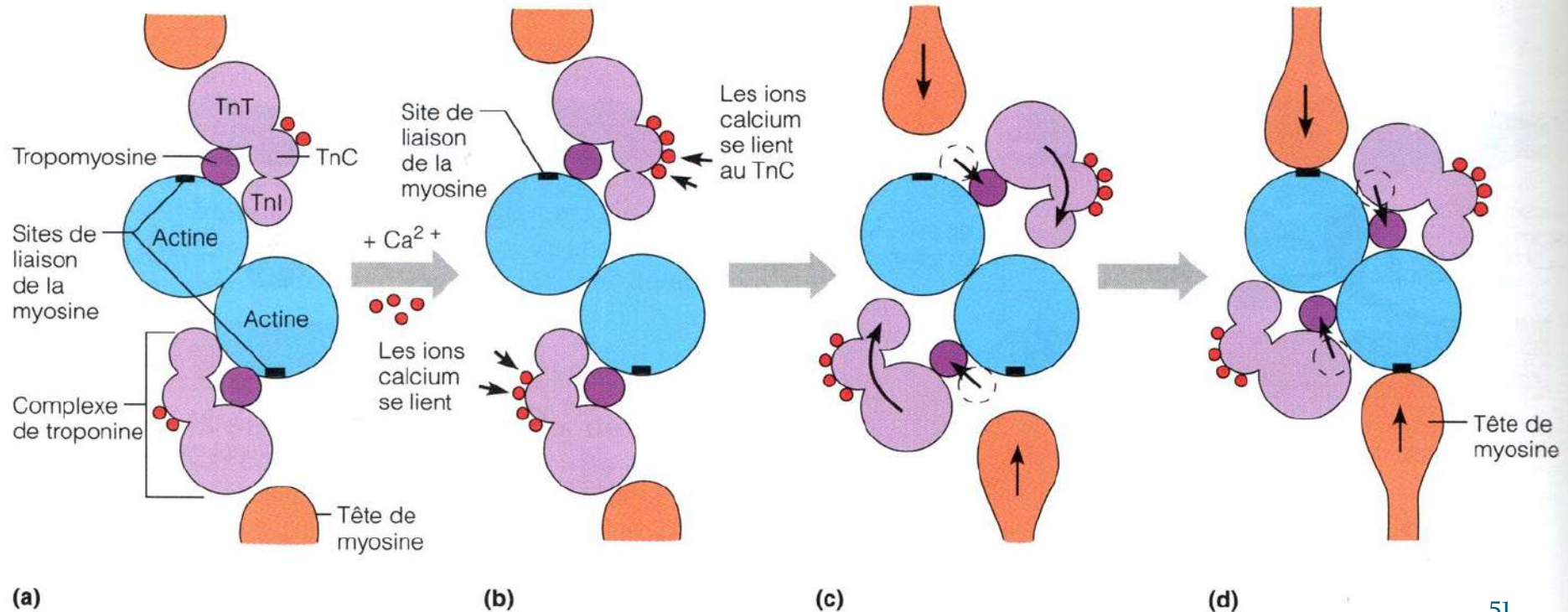
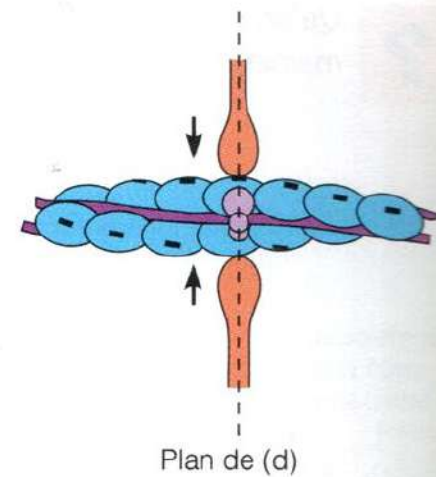


La contraction musculaire

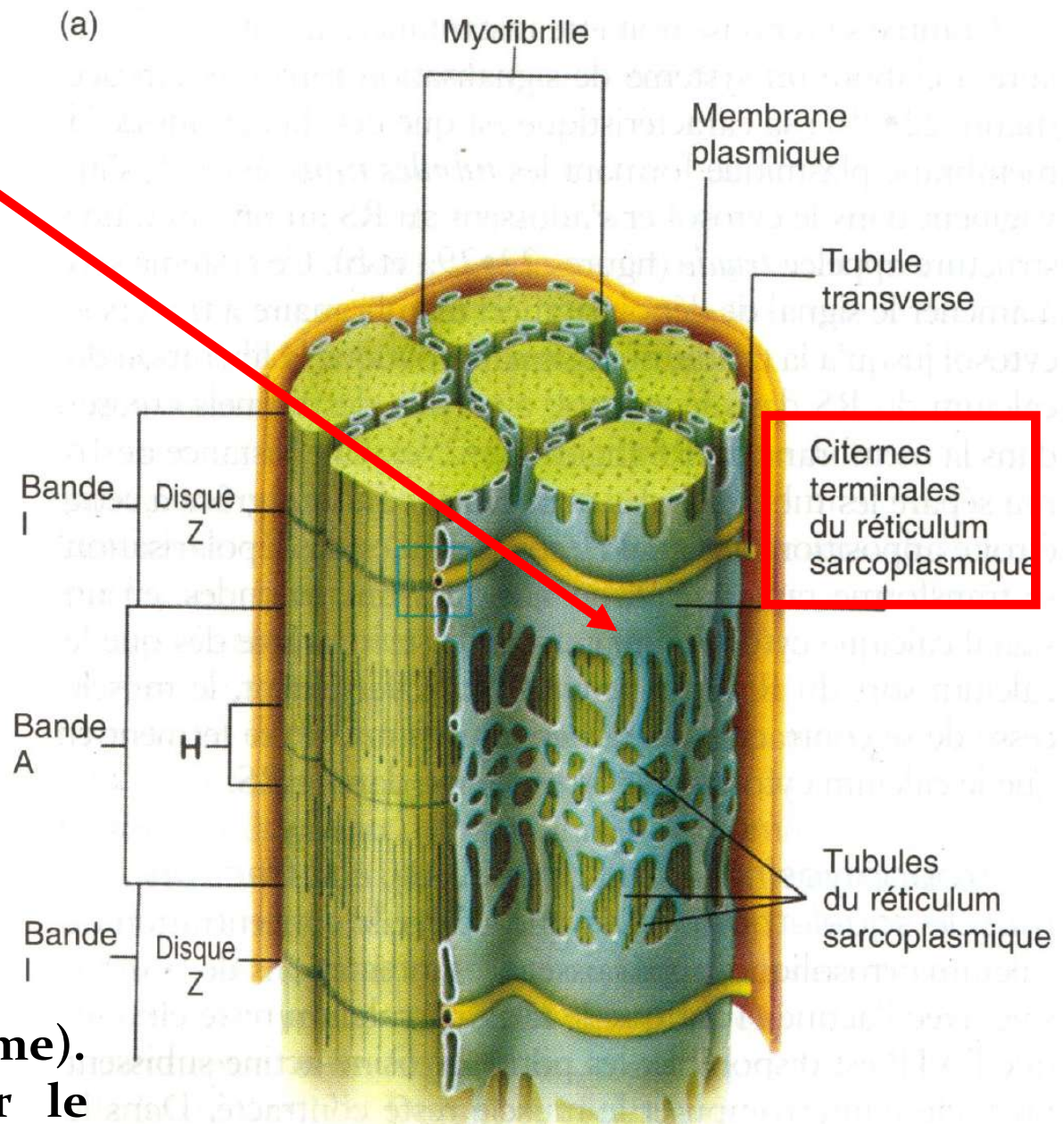
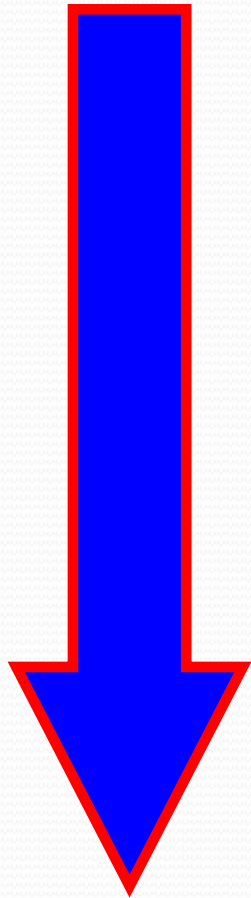
Ponts acto-myosine



Déblocage du verrou et formation des ponts acto-myosine. Rôle du Ca^{2+}

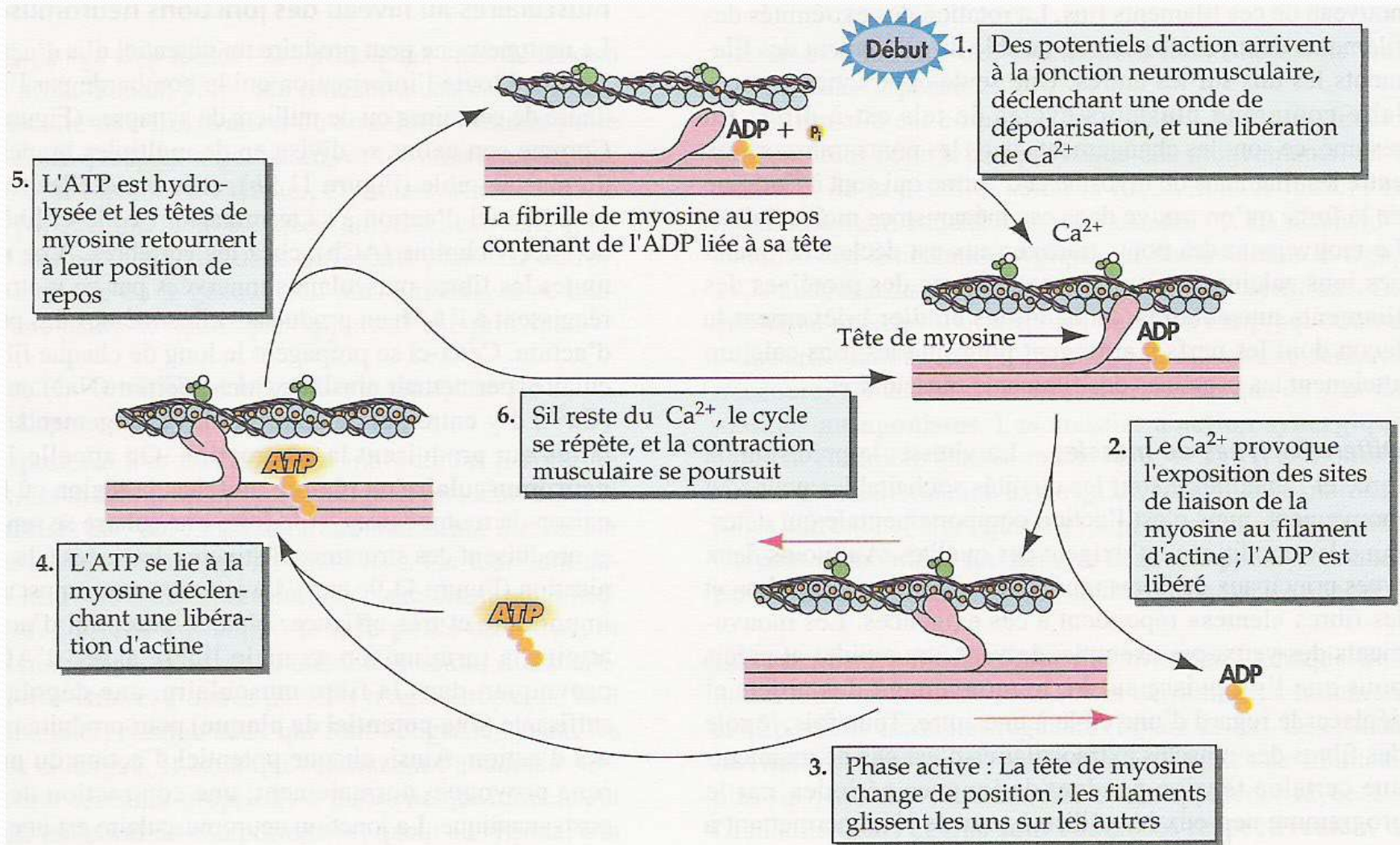


D'où vient le Ca^{2+} ?

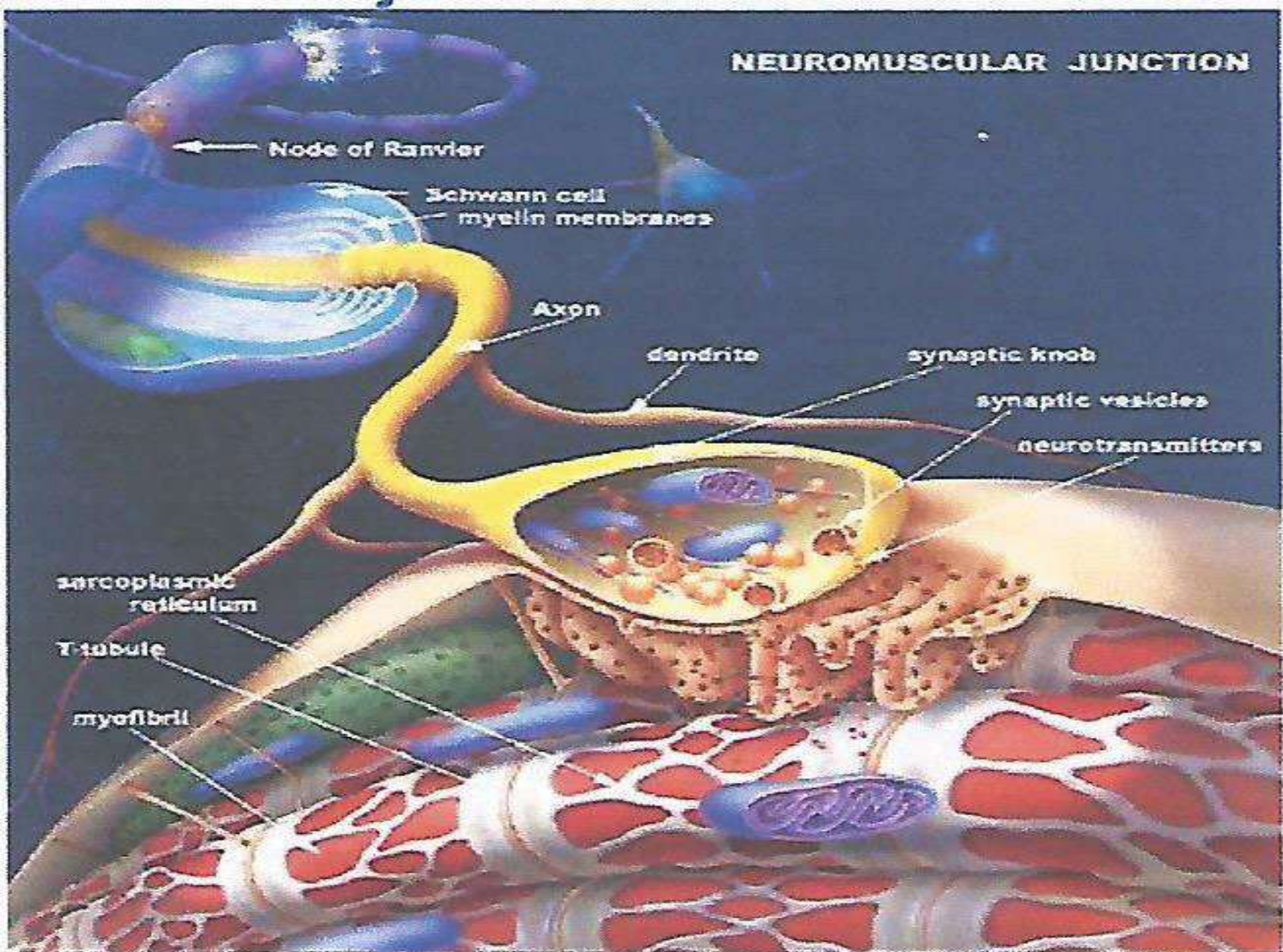


Du cytoplasme (sarcoplasme).
Le Ca^{2+} a été libéré par le
réticulum sarcoplasmique
dans le sarcoplasme

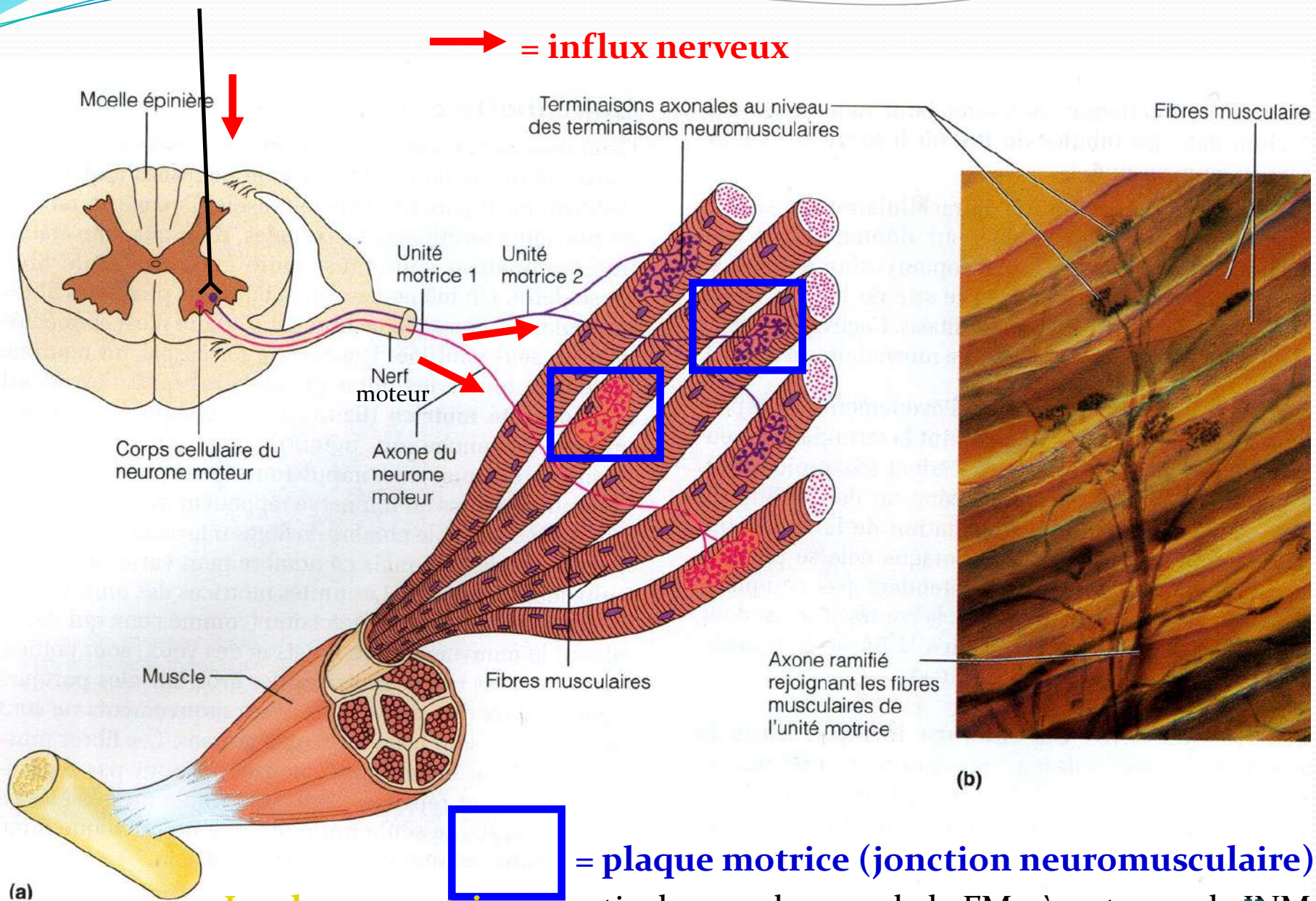
Contraction musculaire



NEUROMUSCULAR JUNCTION



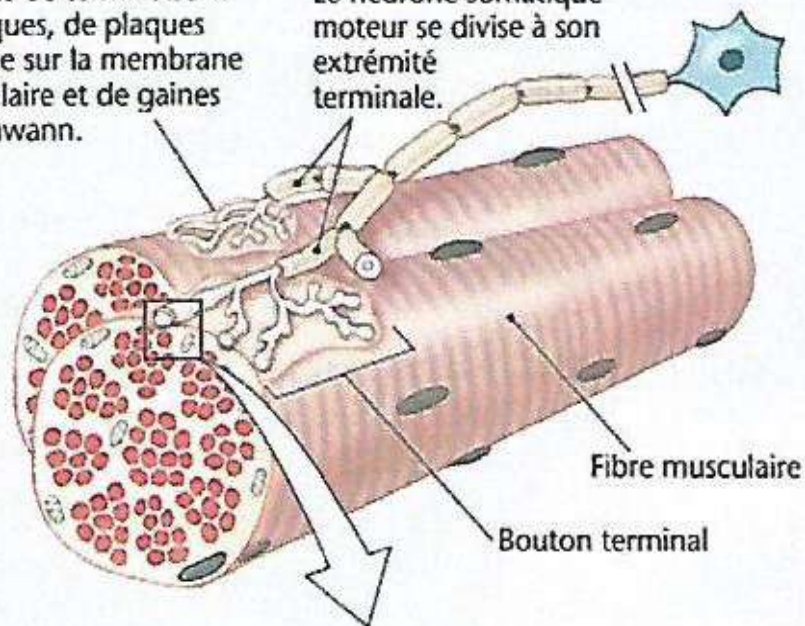
Contraction musculaire



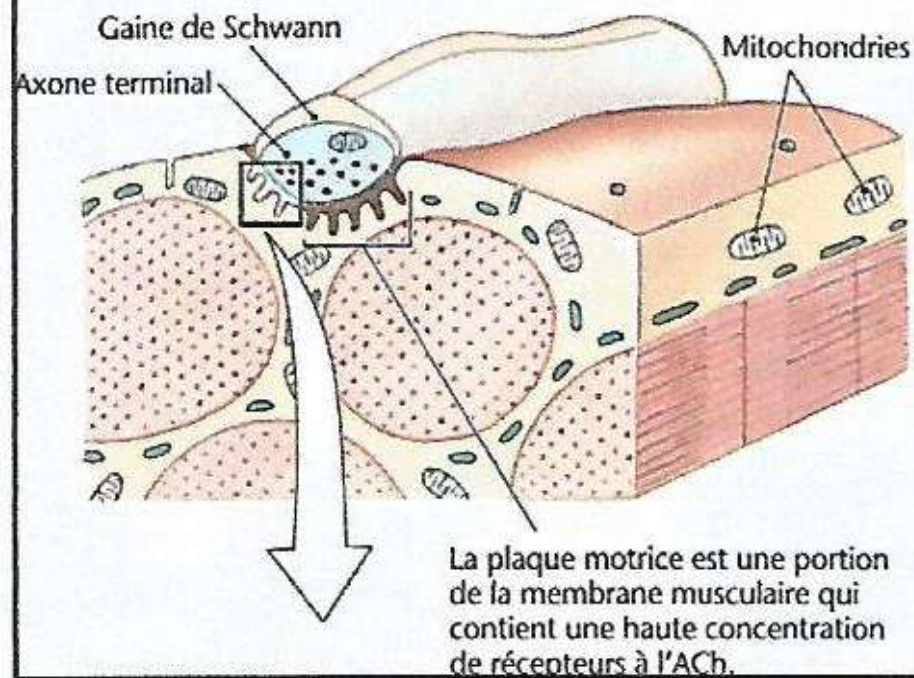
- **La plaque motrice** = partie du sarcolemme de la FM où se trouve la JNM

La jonction neuromusculaire est faite de terminaisons axoniques, de plaques motrices sur la membrane musculaire et de gaines de Schwann.

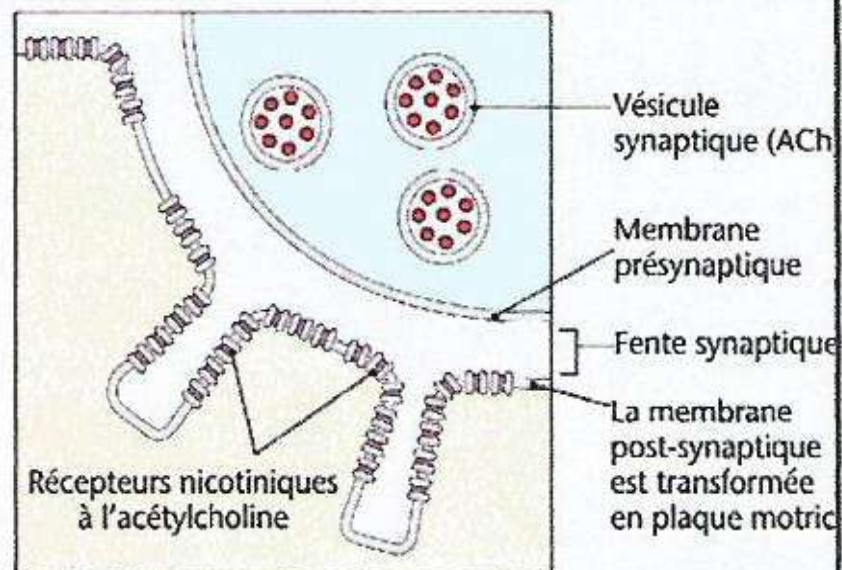
Le neurone somatique moteur se divise à son extrémité terminale.



Fibre musculaire
Bouton terminal



La plaque motrice est une portion de la membrane musculaire qui contient une haute concentration de récepteurs à l'ACh.



© Pearson Education

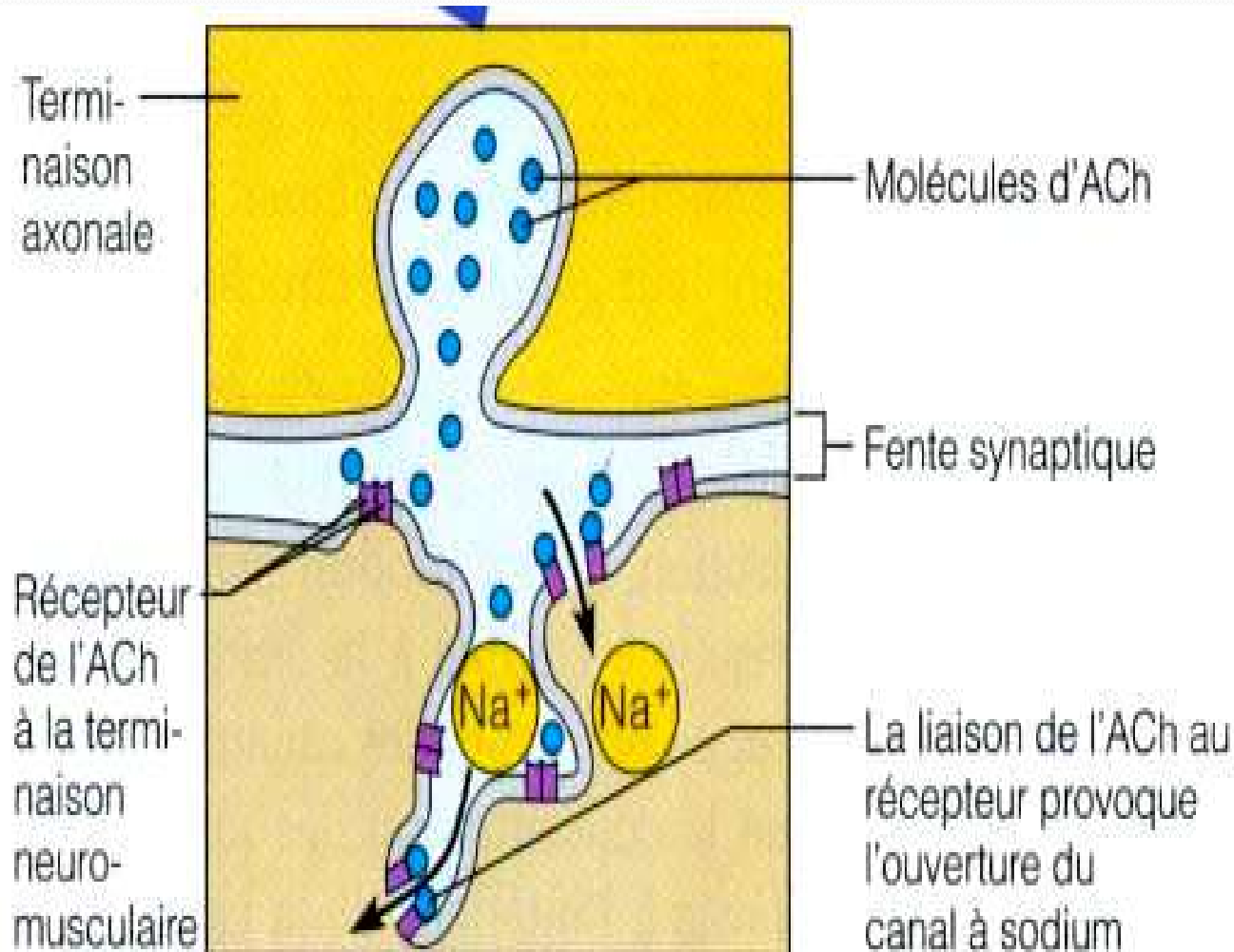
La JNM = synapse entre l'axone des MN et la fibre musculaire.

Quand l'influx nerveux arrive au bout de l'axone, il libère de l'acétylcholine.

L'acétylcholine va se fixer à la surface de la fibre musculaire, à des endroits spécialisés où l'on trouve une grande quantité de récepteurs à l'acétylcholine.

L'Ach se lie à ses récepteurs de la plaque motrice, ce qui provoque l'ouverture des canaux Na^+ et la dépolarisation de la plaque motrice appelée potentiel de plaque motrice ou

PPM



Genèse du potentiel de plaque motrice (ppm) et du PA

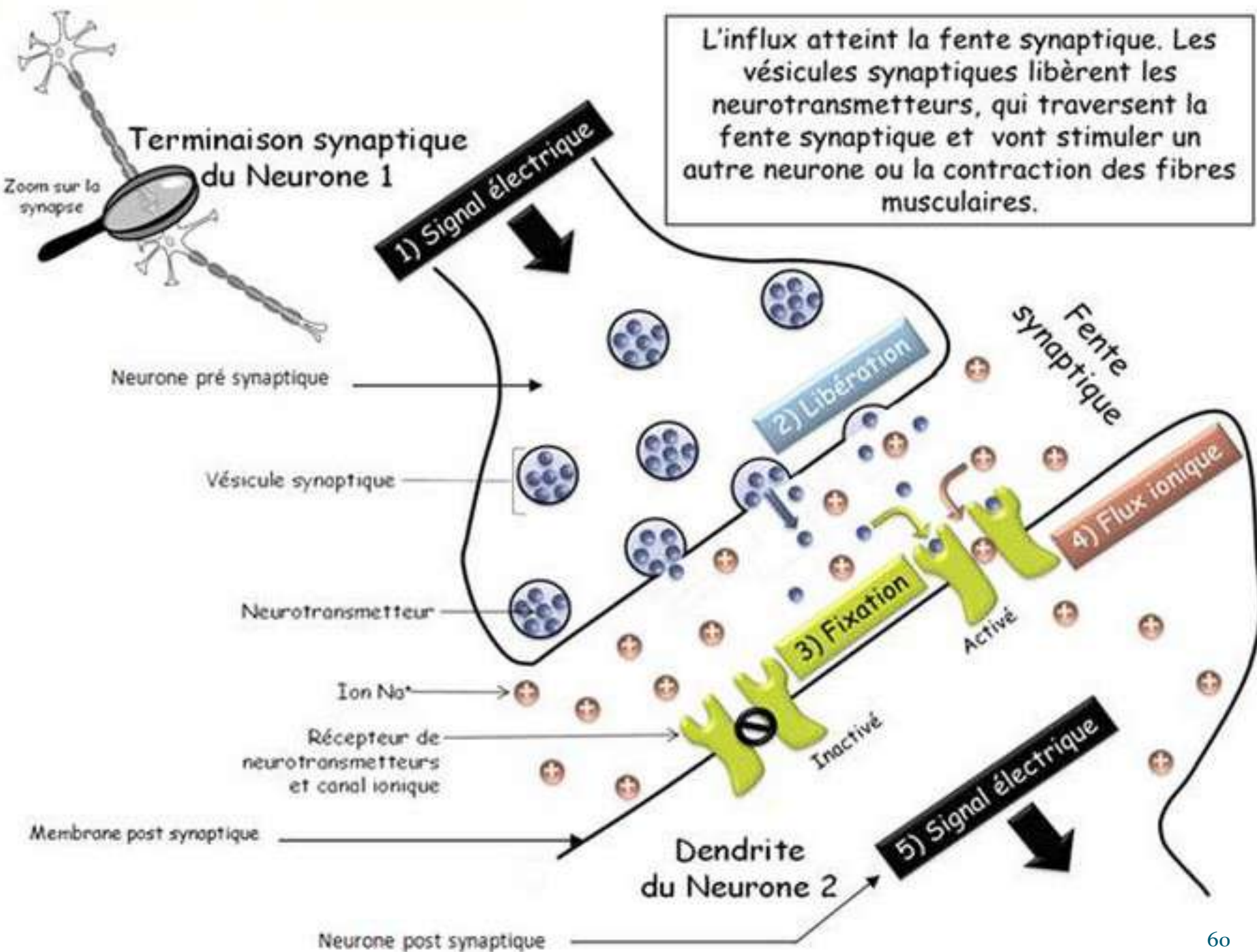
- 1) PA de l'axone moteur envahit la terminaison nerveuse
- 2) Les vésicules synaptiques contenant de l'Ach libèrent leurs contenus dans la fente synaptique
- 3) Les molécules d'Ach diffusent à travers la fente et se lient aux récepteurs nicotiniques sur la membrane post-synaptique
- 4) Cela provoque l'ouverture des canaux ioniques ; ce qui provoque la **dépolarisation** de la membrane musculaire dans la zone de la plaque motrice
= ppm
- 5) **Lorsque le ppm atteint le seuil, la membrane musculaire génère un PA qui se propage le long de la fibre (dans les deux sens).**

Libération du Ca^{2+} par le réticulum sarcoplasmique

6) Le PA va pénétrer à l'intérieur des fibres musculaires grâce aux tubules transverses.

7) **Le PA parcourt les tubules transverses** et les dépolarise. Cela provoque **l'ouverture des canaux calciques du réticulum sarcoplasmique**. Il y a donc une **libération de Ca^{2+} dans le sarcoplasme**.

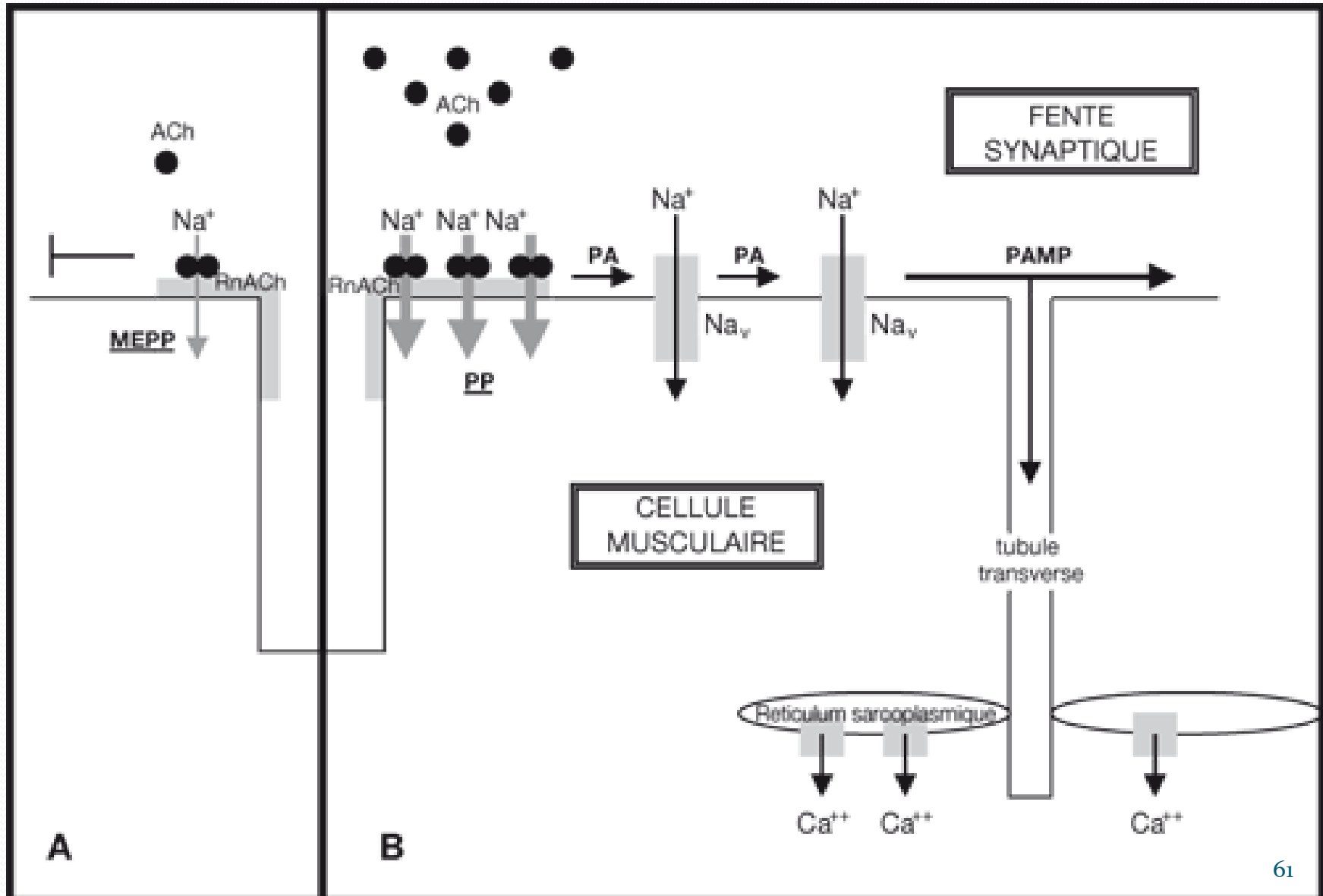
8) Le Ca^{2+} va se lier à la TnC.... Il y aura donc un pontage actine-myosine



Phase post-synaptique de la transmission neuromusculaire.

Au repos, la fixation d'un quantum d'ACh provoque un PPM.

La fixation d'un grand nombre de molécules d'ACh provoque une dépolarisation de la membrane post-synaptique à l'origine de la contraction musculaire.



(a)

Myofibrille

Membrane
plasmique

Tubule
transverse

Libération de Ca^{2+}

Citernes
terminales
du réticulum
sarcoplasmique

Bande I
Disque Z

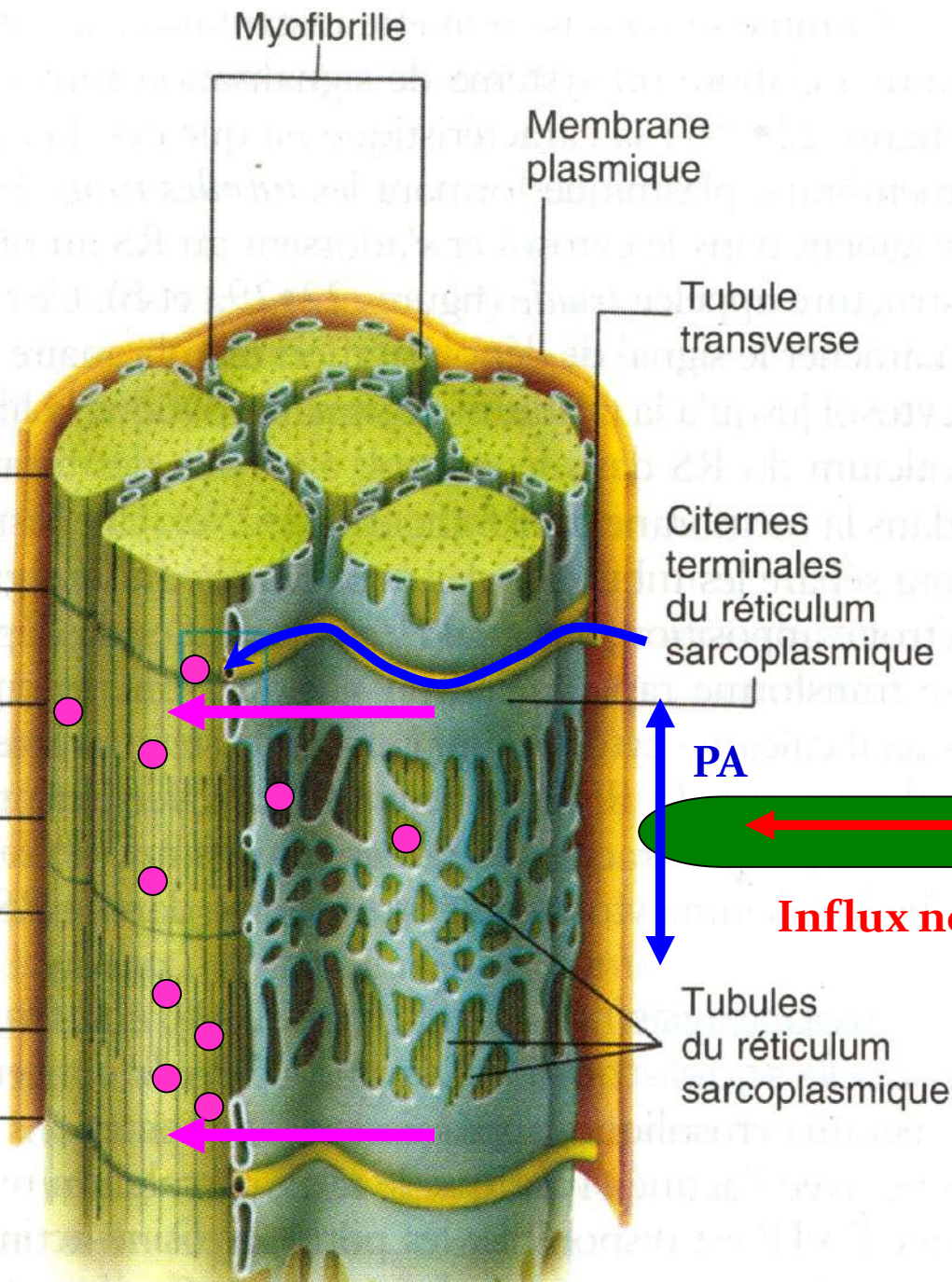
Bande A
H

Bande I
Disque Z

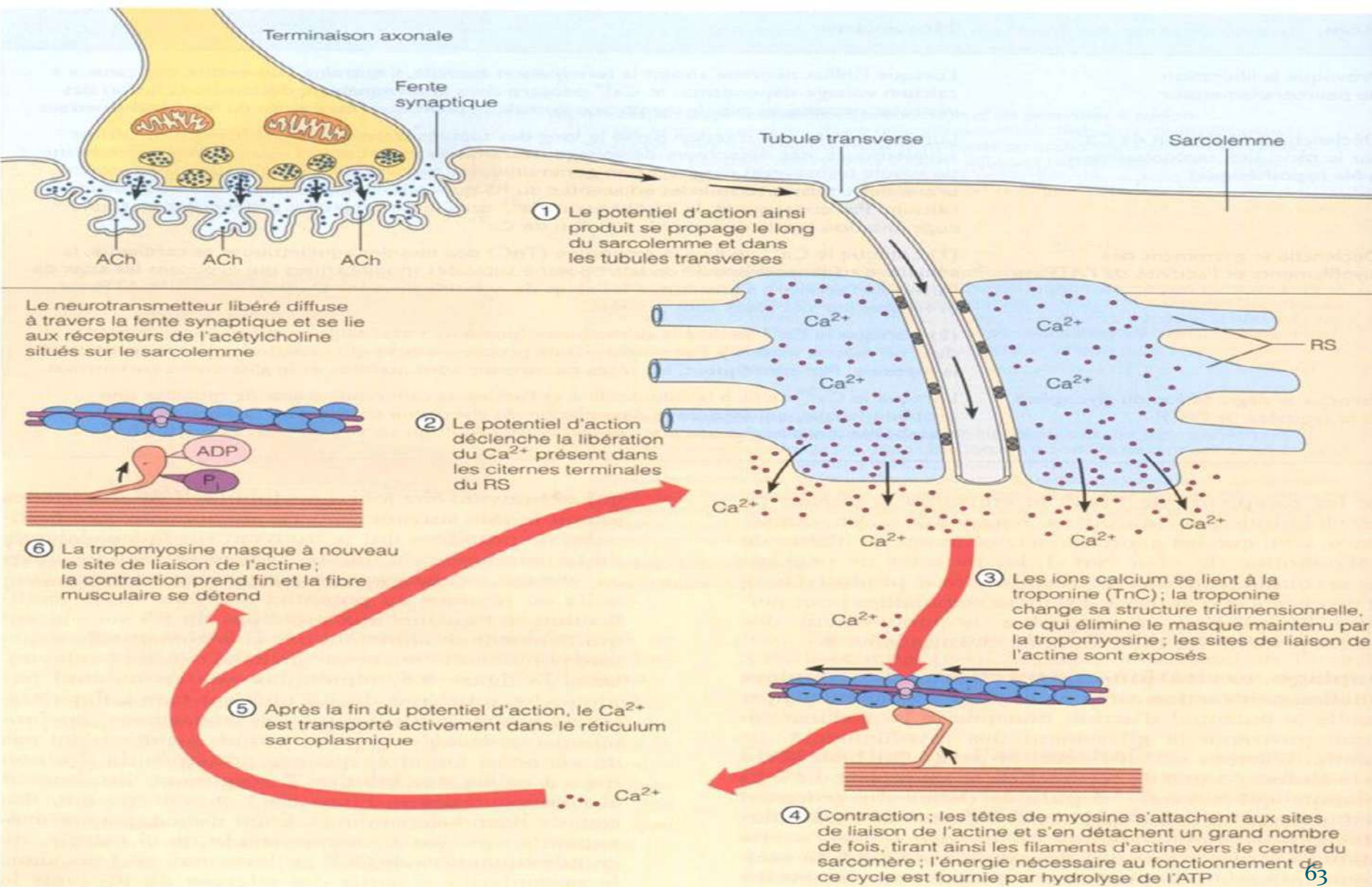
PA

Influx nerveux

Tubules
du réticulum
sarcoplasmique



Mécanismes de la contraction



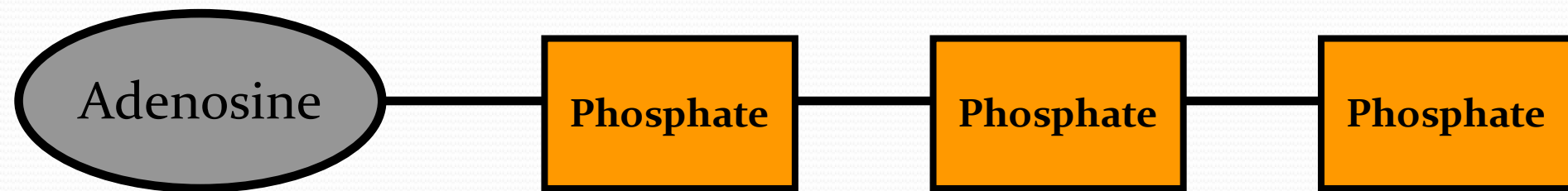
La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

Une fois le pont acto-myosine formé, il faut que les filaments fin d'actine glissent sur les filaments épais de myosine pour provoquer le raccourcissement des sarcomères et donc la contraction du muscle.

Pour cela, il faut de l'ATP.

La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

L'ATP est une molécule qui reçoit l'énergie provenant de la dégradation des molécules de lipides, protéines et glucides et qui transmet cette énergie aux fonctions cellulaires.

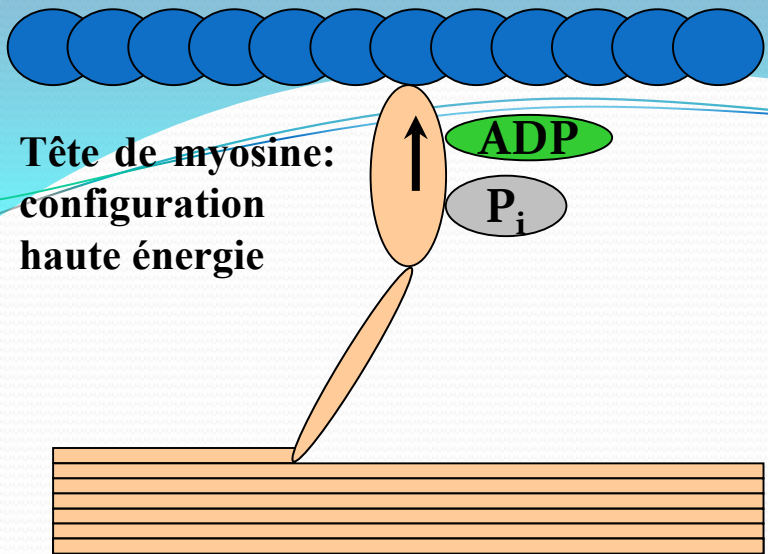


Stockage de l'énergie = dans les liaisons covalentes entre les groupements phosphate.

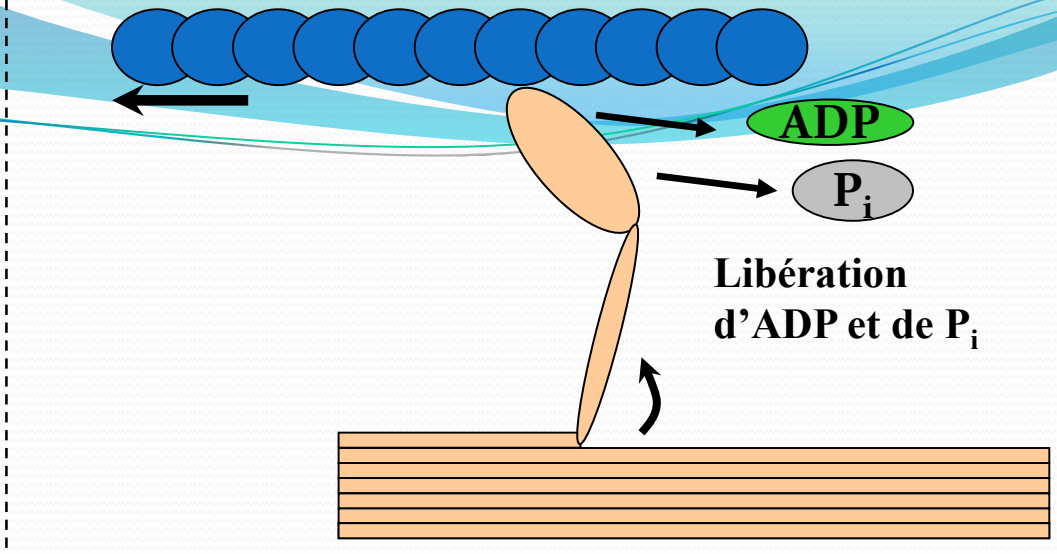
La rupture d'une de ces liaisons libère une quantité importante d'énergie (7kcal/mole) : **ADP + Pi + Energie**

La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

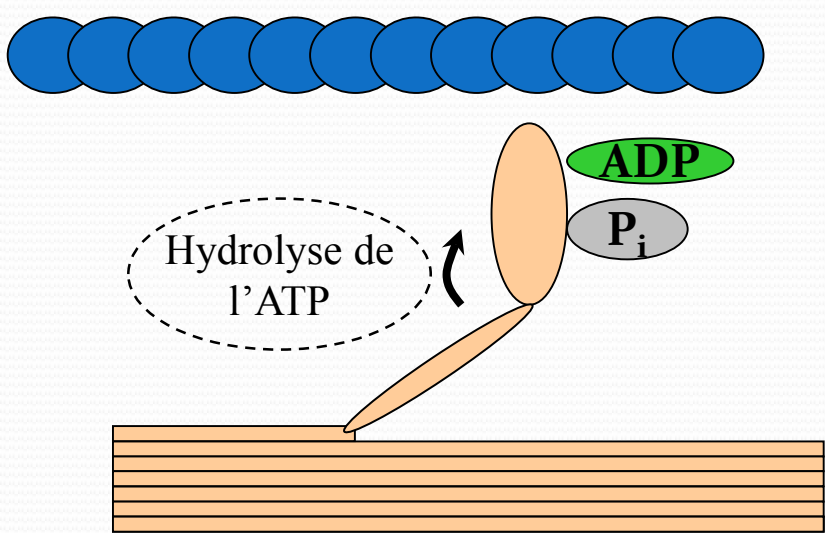
- dégradation d'ATP → production d'énergie
- Cette énergie est convertie en mouvement de la tête de chaque molécule de myosine, qui, ensembles, donnent un micromouvement de glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère.
- Sur leur lancée, les têtes de myosine se détachent des sites où elles étaient fixées et vont chercher d'autres sites voisins pour à nouveau les faire glisser



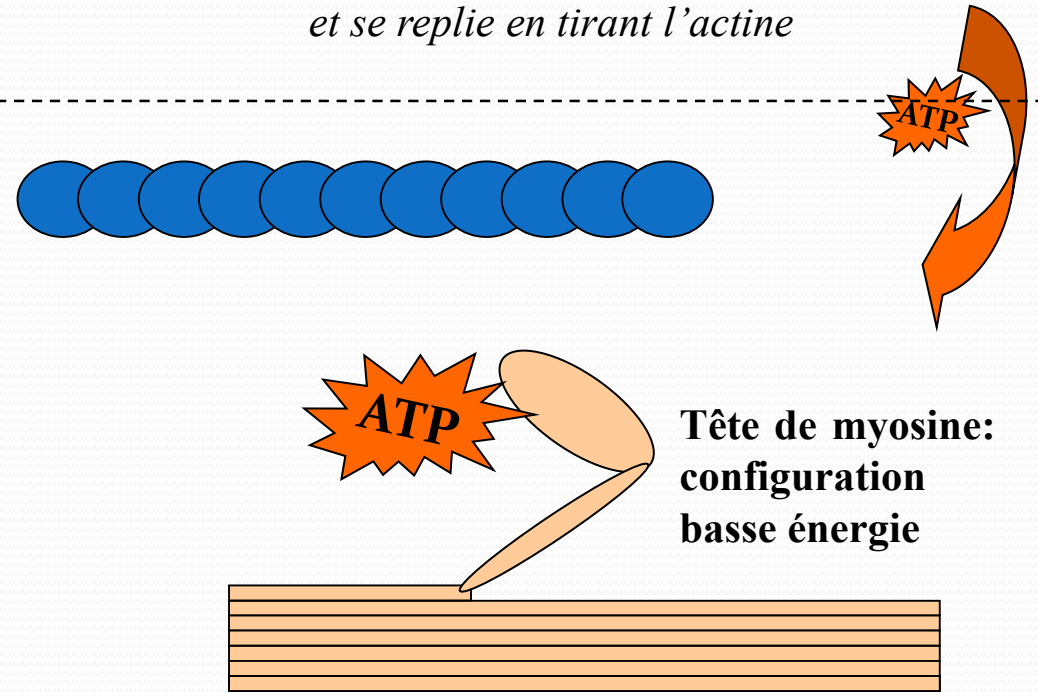
1) La tête de myosine se lie à l'actine



2) Phase active: la tête de myosine pivote et se replie en tirant l'actine



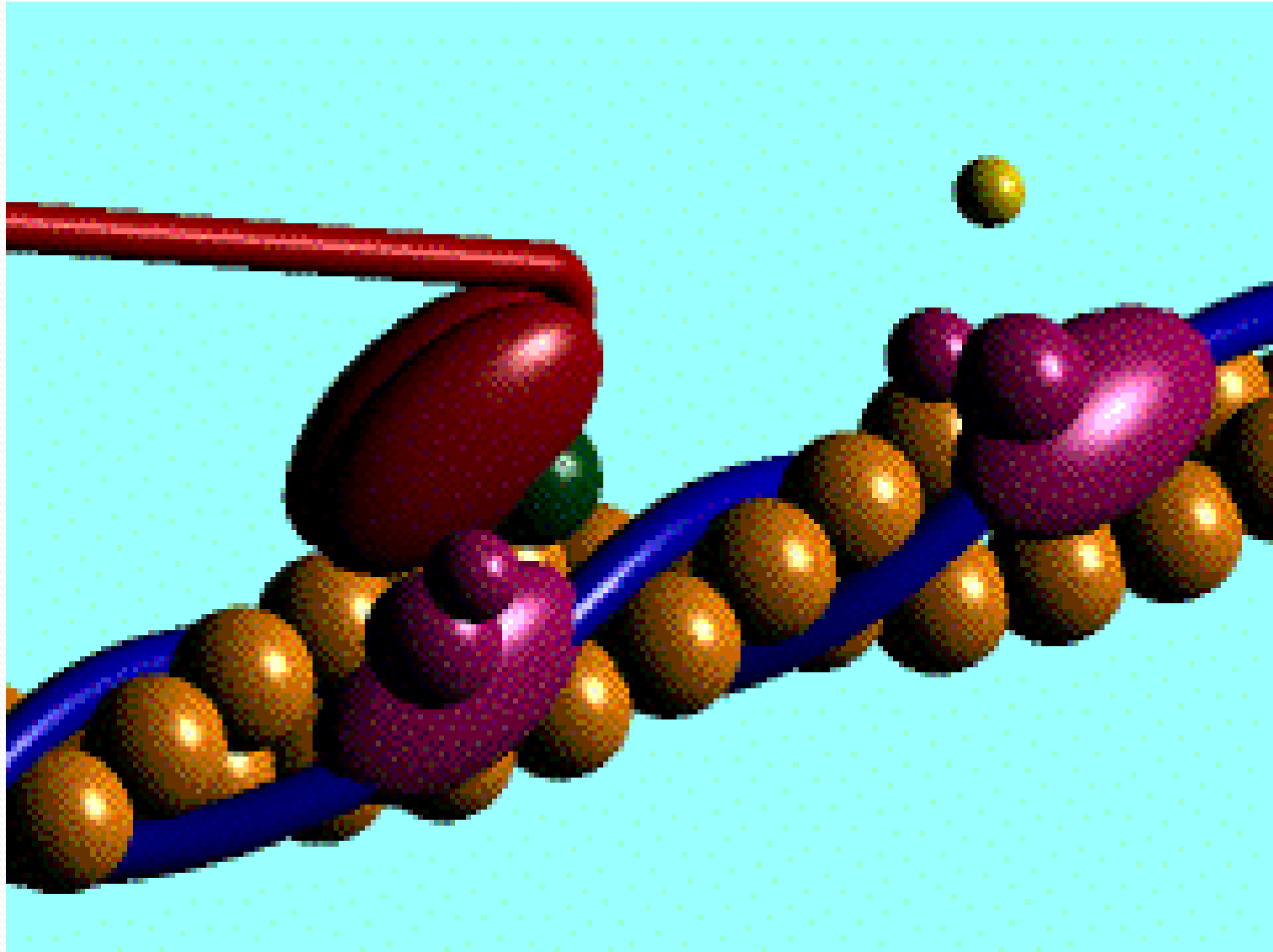
4) Mise sous tension de la tête de myosine quand l'ATP est dissocié en ADP et P_i



3) Détachement de la tête de myosine pendant qu'une nouvelle molécule d'ATP s'y attache

La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

Glissement de l'actine sur la myosine



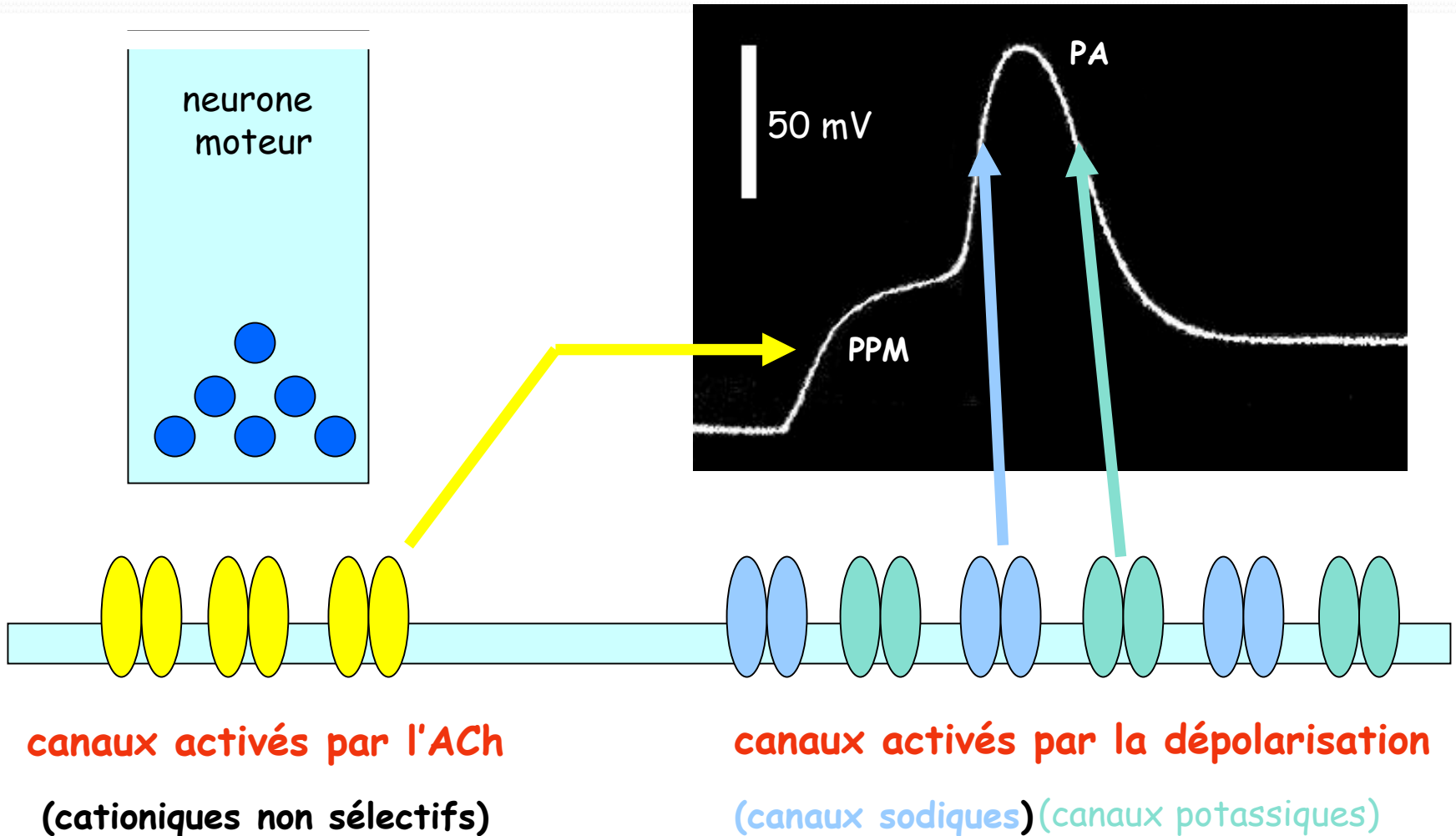
Le relâchement

- Tant que durent les influx nerveux, ces mécanismes se répètent.
- Lorsque les PA cessent, le Ca^{2+} est aspiré par les citernes (pompes à Ca^{2+}).
 - ➔ tropomyosine vient se replacer en position initiale (verrouillage du site de liaison).

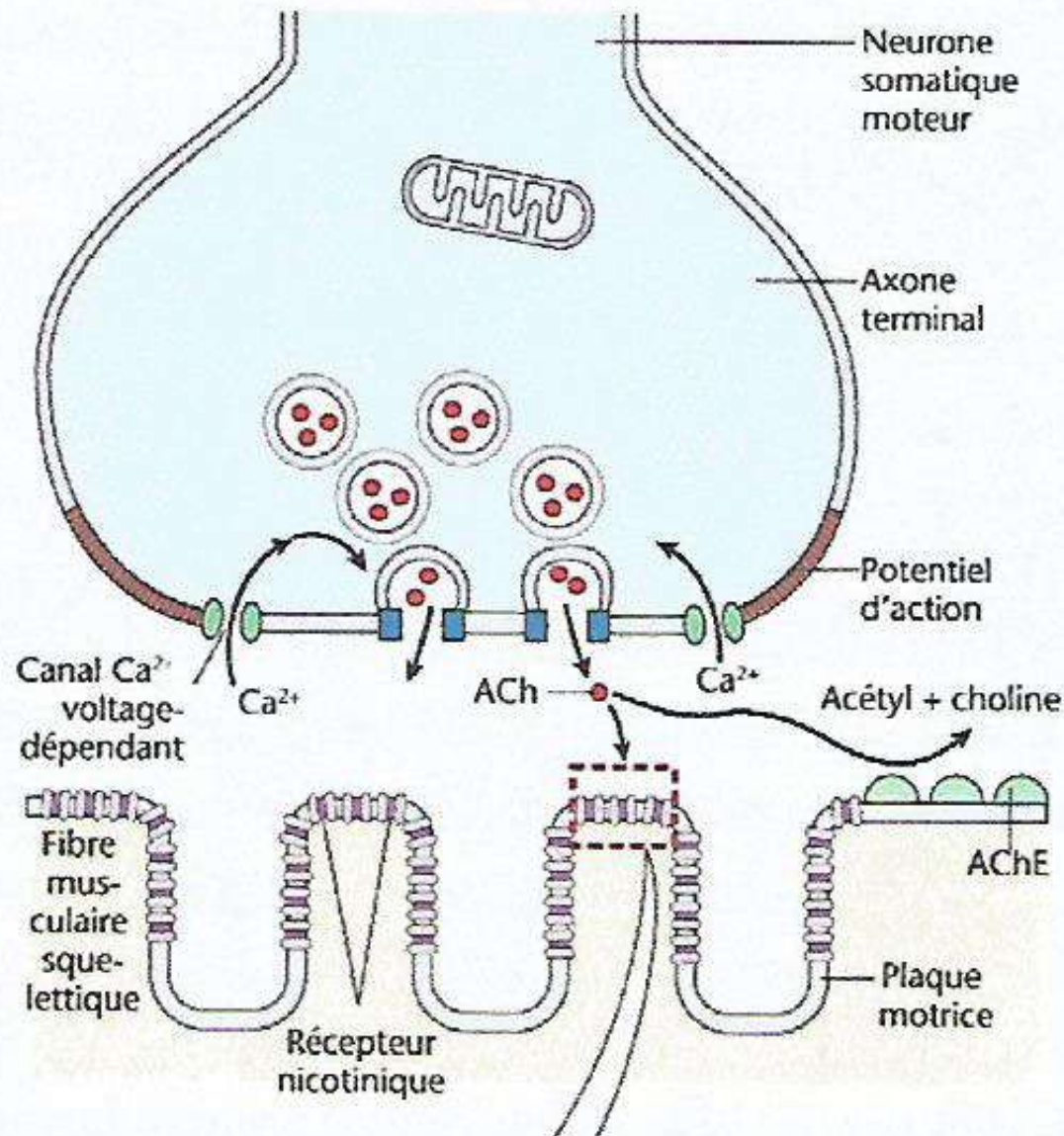
La genèse du PA de fibre musculaire

- Est à l'origine de la contraction . Elle s'effectue au niveau de la plaque motrice via une stimulation nerveuse.
- Lorsqu'un **PA** arrive au niveau de la terminaison axonale, la membrane nerveuse se dépolarise. Cette dépolarisation induit l'ouverture **de canaux calciques voltages-dépendants**. Le flux **de calcium** à l'intérieur de la terminaison axonale déclenche une **fusion des vésicules d'acétylcholine avec la membrane** ce qui induit une libération de ce médiateur dans la fente synaptique.

Du PPM au PA

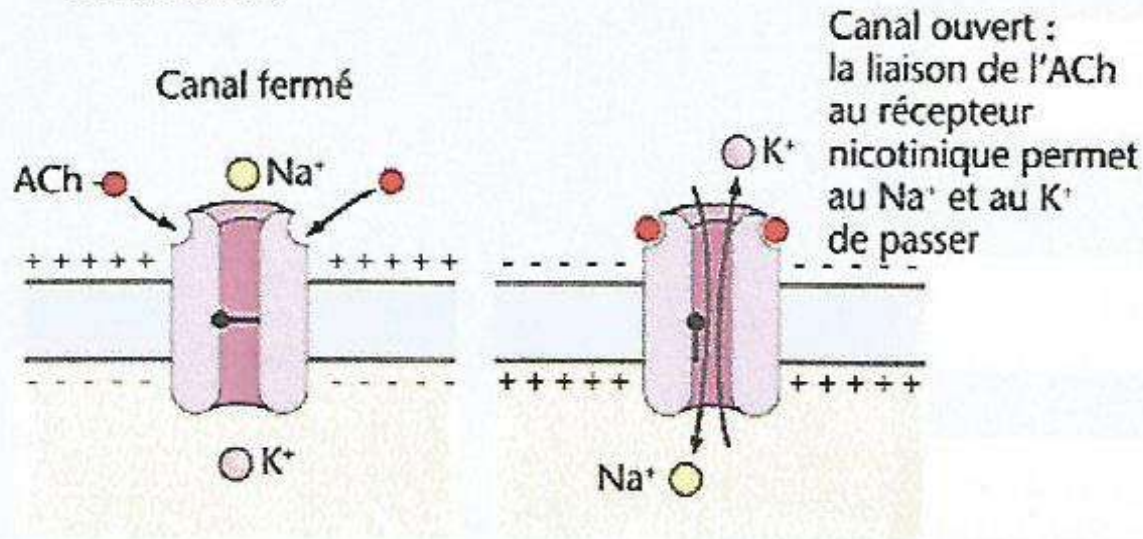


(a) L'acétylcholine (ACh) se lie aux récepteurs nicotiniques ou est métabolisée par l'acétylcholinestérase (AChE).





(b) Le récepteur cholinergique nicotinique fixe deux molécules d'ACh, ouvrant un canal non spécifique pour les cations monovalents.

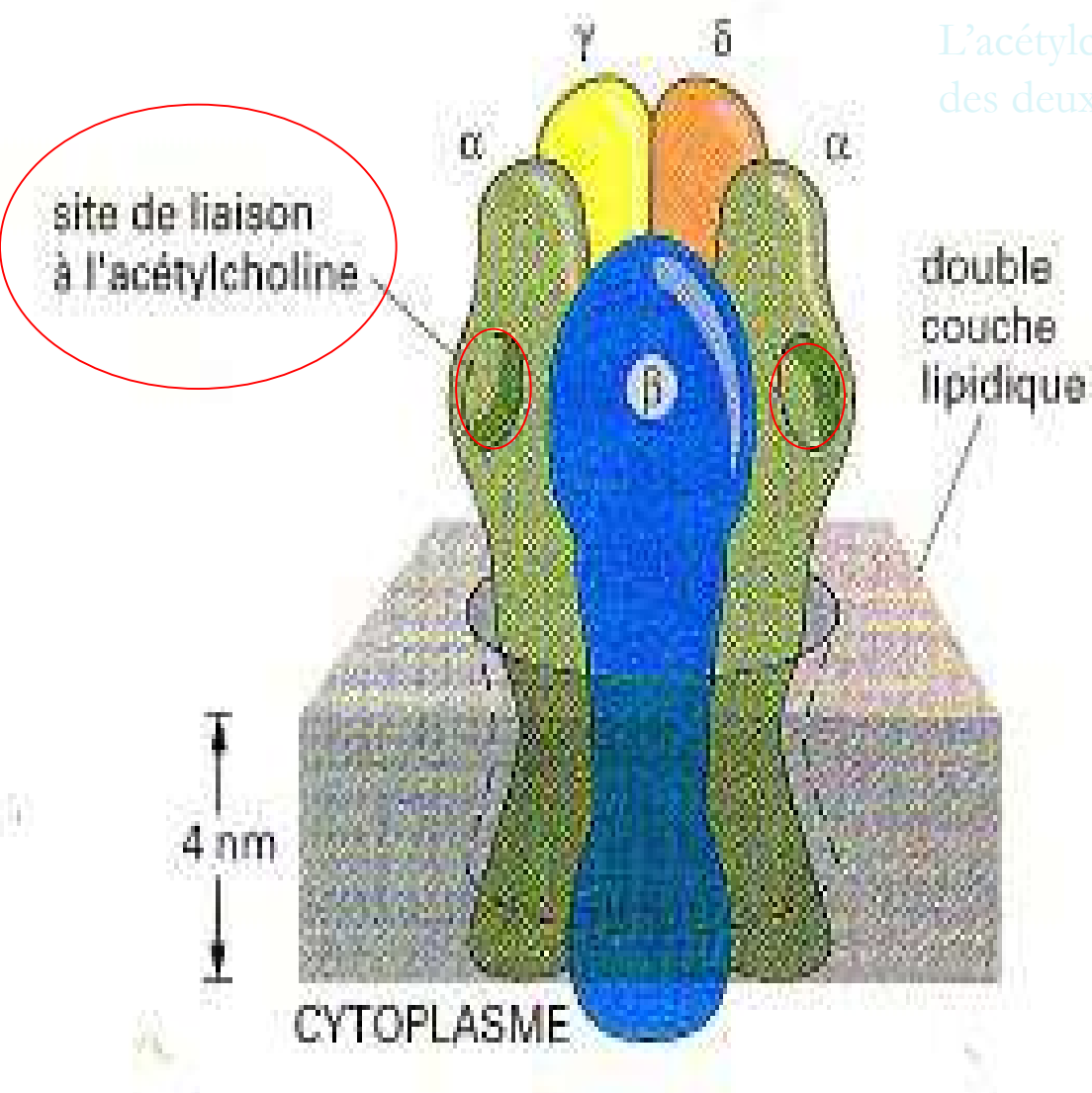


© Pearson Education France

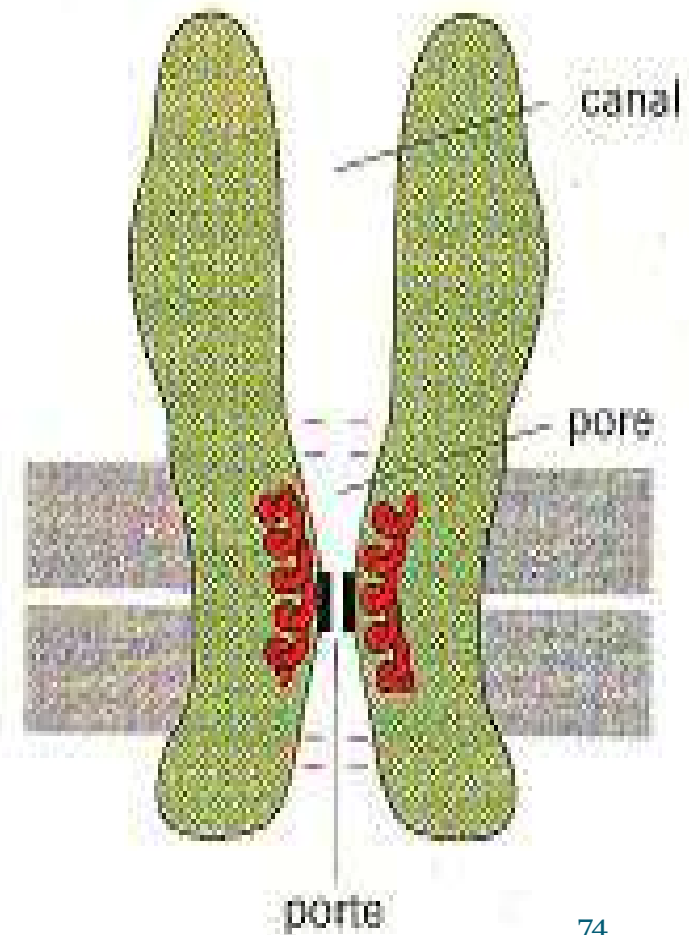
Comme dans un neurone, la fixation du neurotransmetteur à son récepteur va déclencher à la surface de la fibre musculaire un nouvel influx nerveux.

Celui-ci, en se propageant rapidement dans toute la fibre grâce à son organisation particulière, va la faire se contracter.

Site de fixation de l'Ach



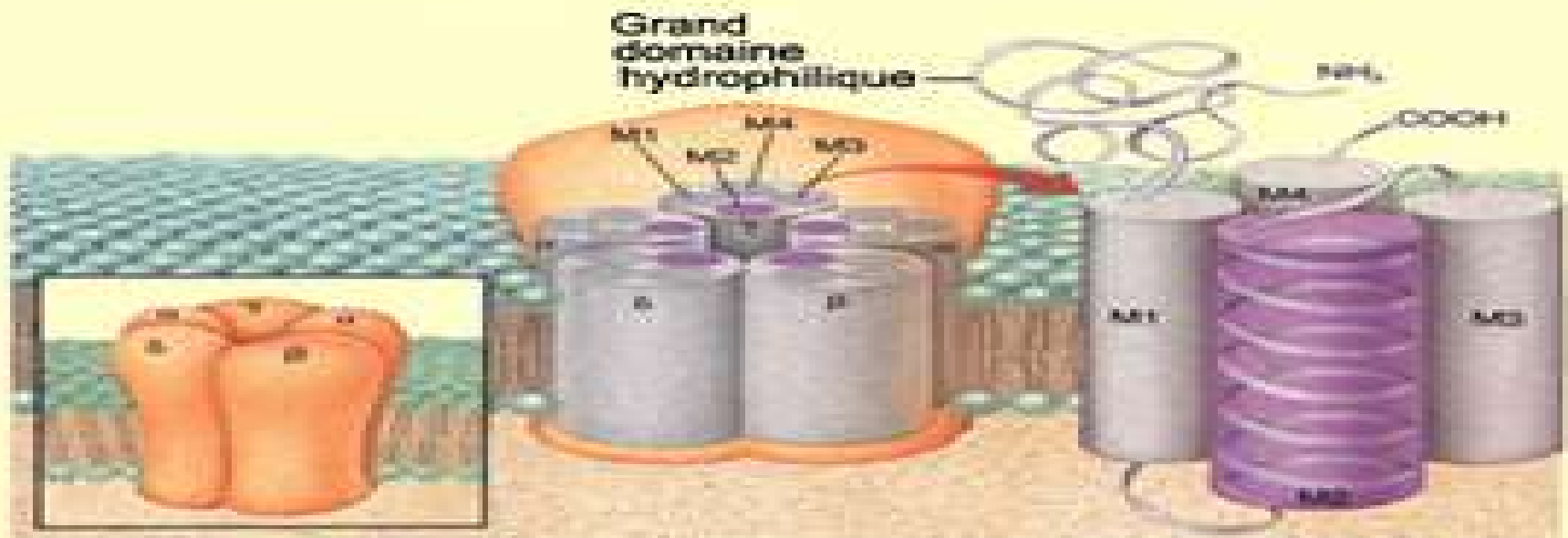
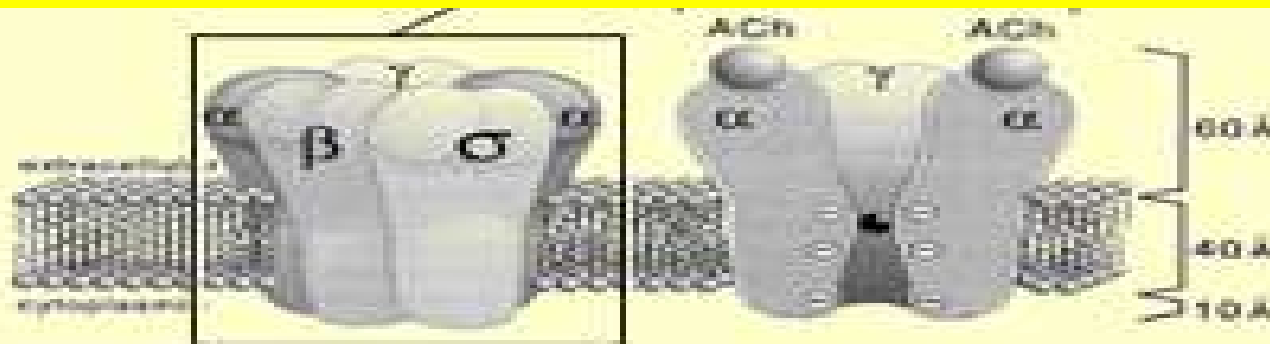
L'acétylcholine se fixe sur la partie extra-cellulaire des deux sous-unités α de cette protéine canal,



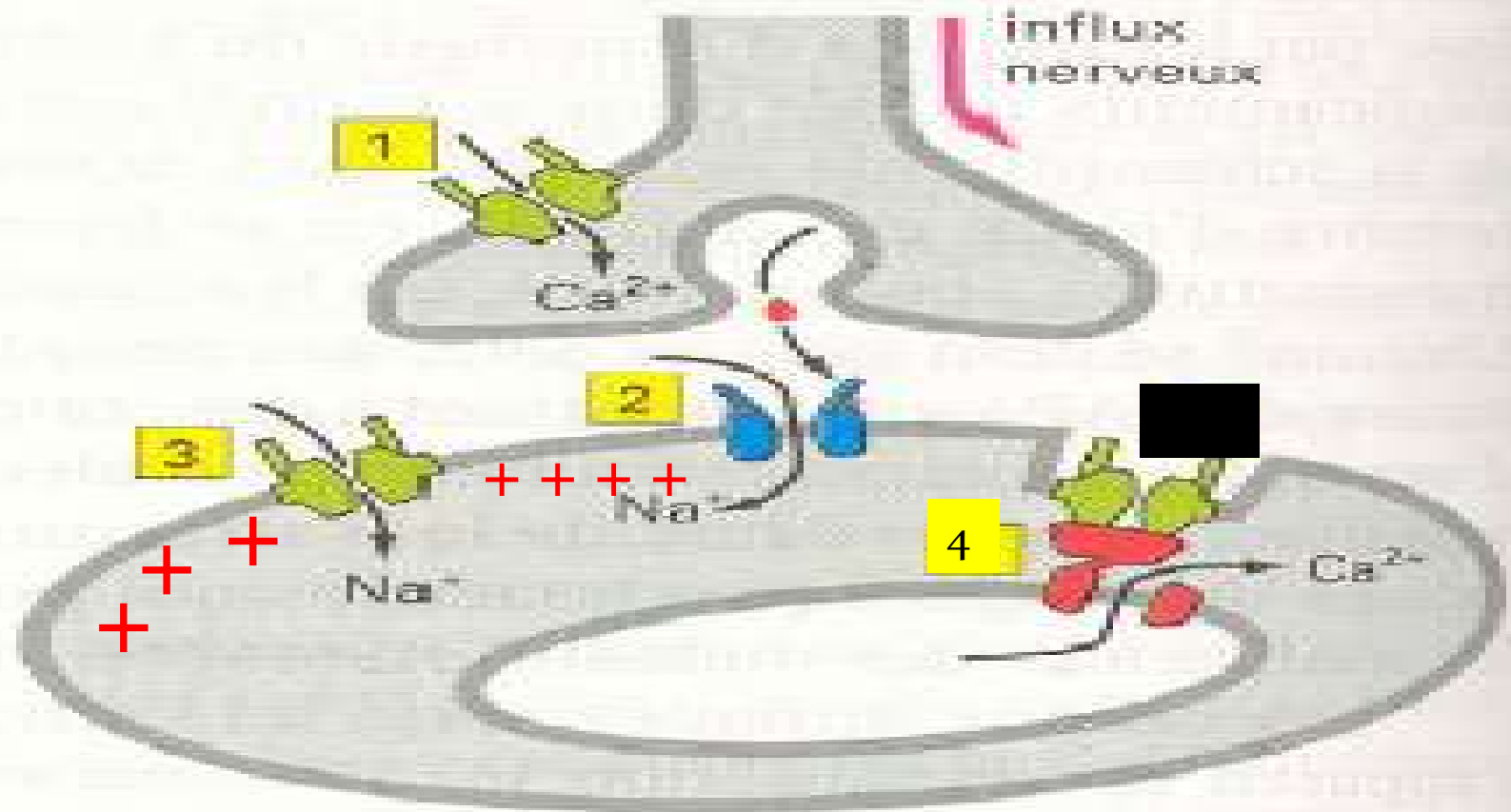
M1,M2,M3,M4

Chaque sous-unité comprend elle-même quatre domaines hélicoïdaux transmembranaires identifiés M1 à M4.

l'Ach provoque la transconformation des protomères du canal
Dans chaque sous-unité, c'est la partie M2 de ces hélices qui forment la paroi du canal ionique.



JONCTION NEUROMUSCULAIRE ACTIVÉE



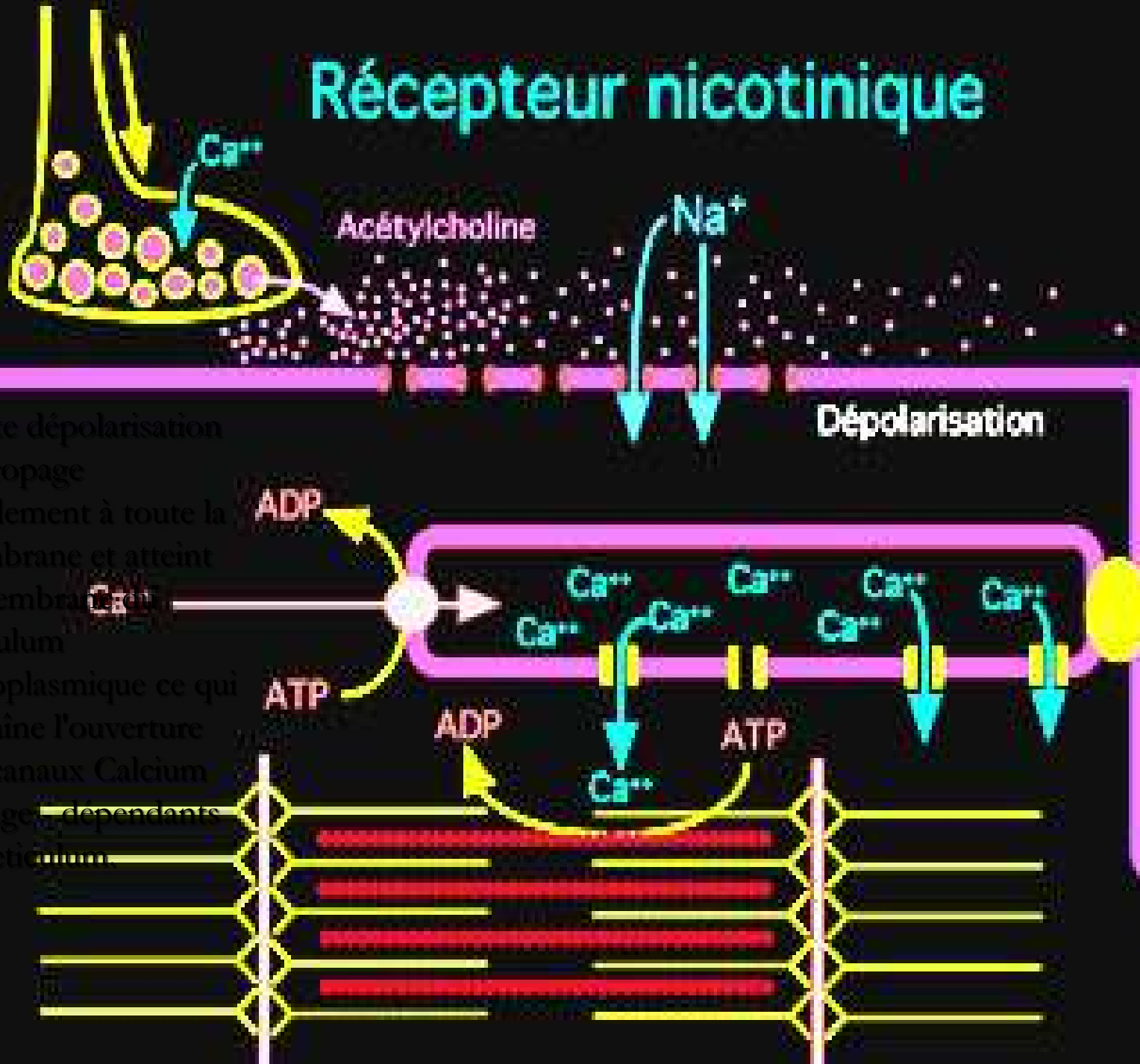
2. Cette entrée d'ions dépolarise la membrane plasmique..

3. La dépolarisation agit sur

des canaux Na-voltage-dépendants

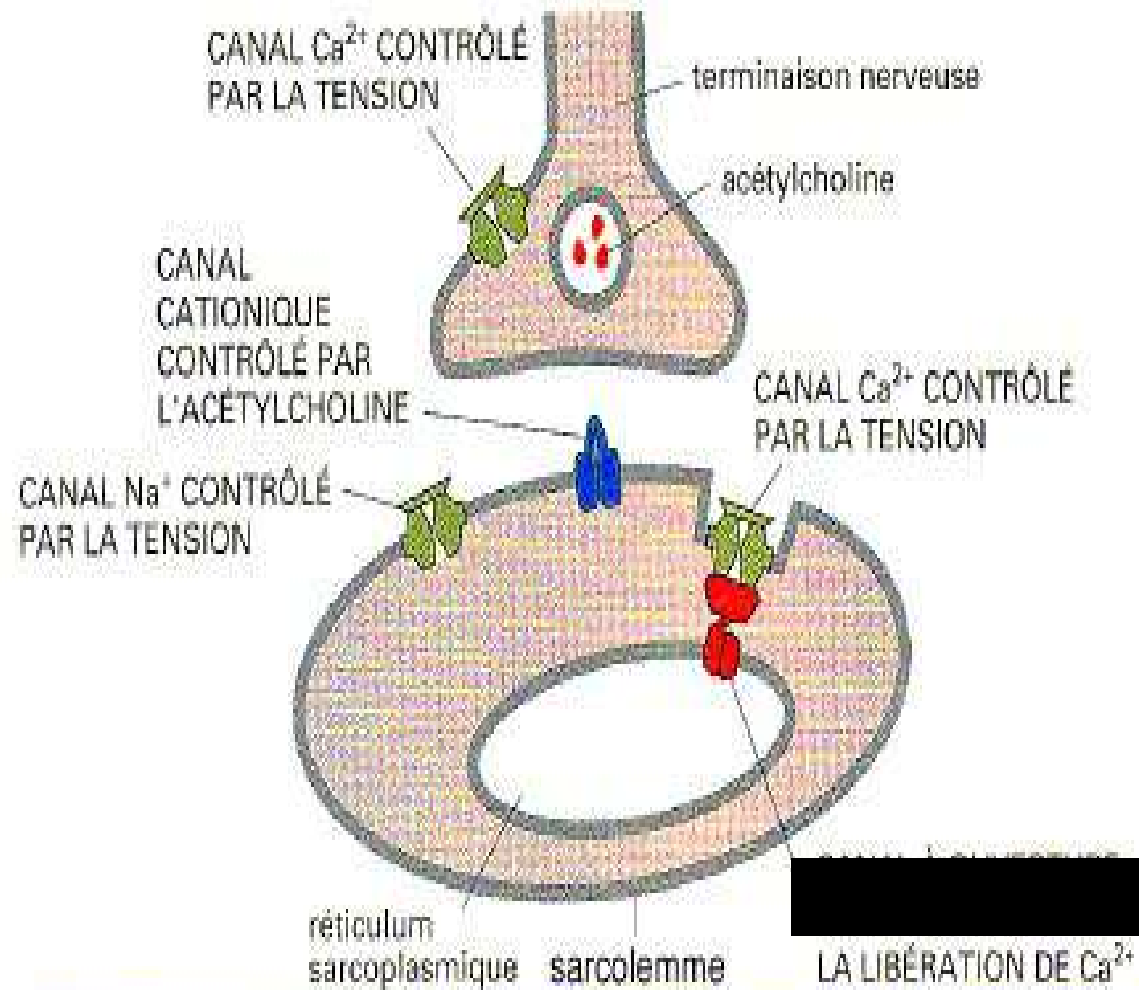
qui s'ouvrent en laissant entrer de plus en plus de Na, ce qui va dépolariser davantage la cellule musculaire

Récepteur nicotinique

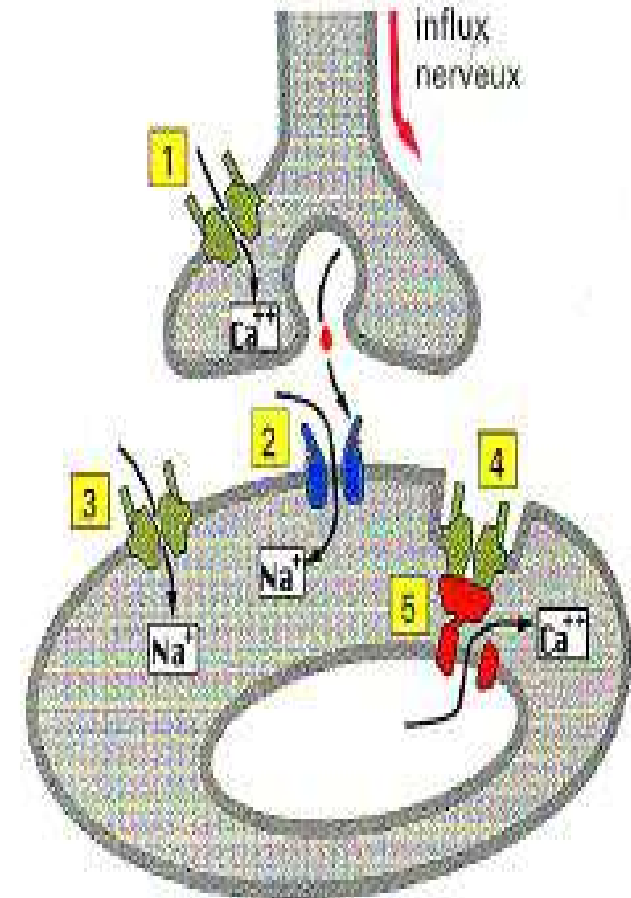


■ cette dépolarisation se propage rapidement à toute la membrane et atteint la membrane du réticulum sarcoplasmique ce qui entraîne l'ouverture des canaux Calcium voltage-dépendants du réticulum.

LA TRANSMISSION NEUROMUSCULAIRE NÉCESSITE L'ACTIVATION SÉQUENTIELLE DE 4 SÉRIES DIFFÉRENTES DE CANAUX IONIQUES



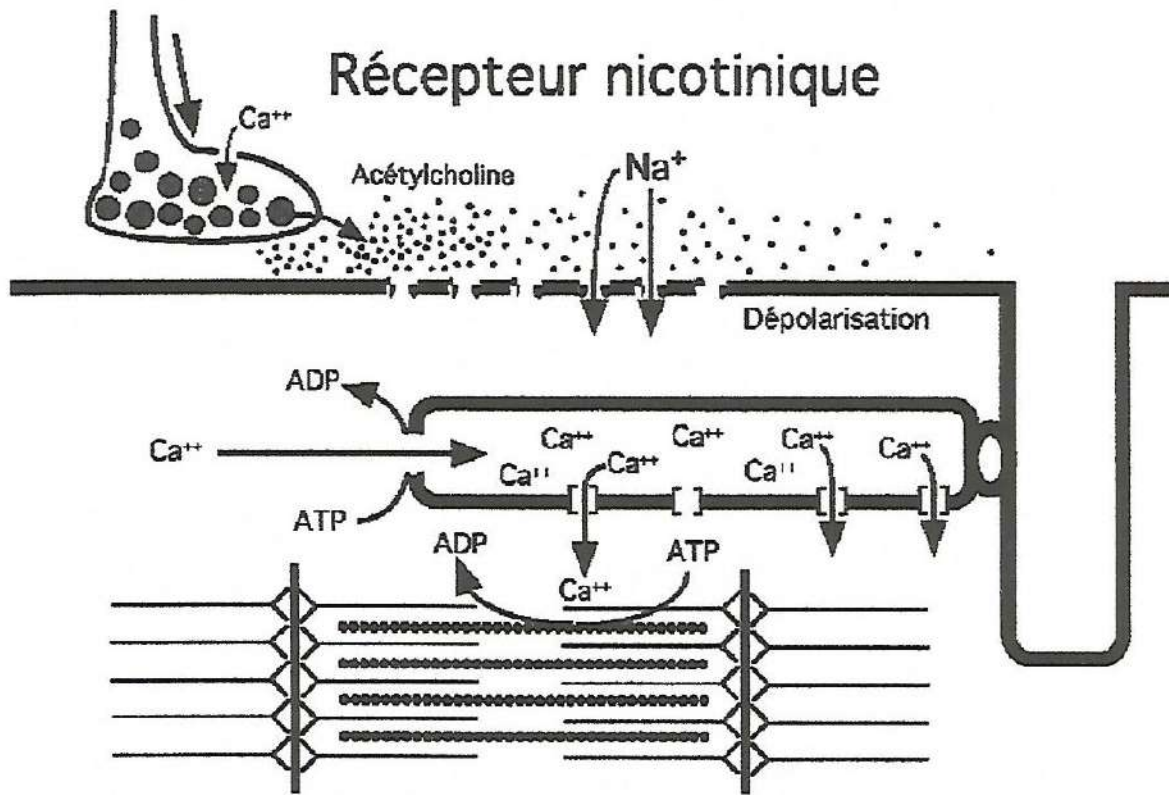
JONCTION NEUROMUSCULAIRE AU REPOS



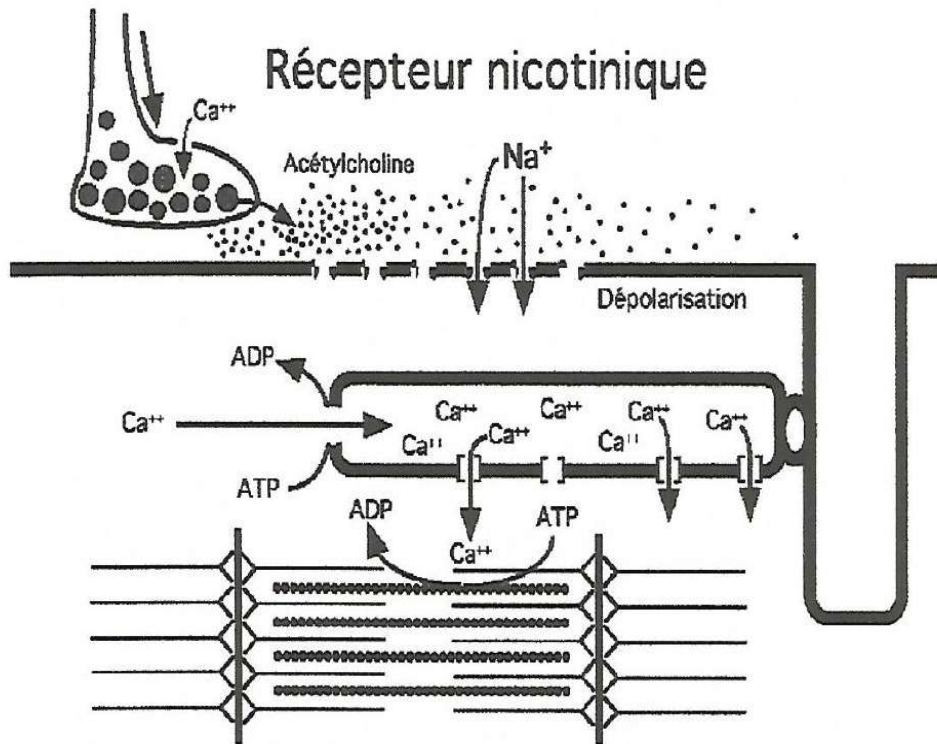
JONCTION NEUROMUSCULAIRE ACTIVÉE

Le récepteur nicotinique

L'action de l'Ach est d'augmenter la perméabilité de la membrane à tous les ions et particulièrement le Na^+ . Suite à l'ouverture des canaux ioniques cholinergiques : moduls par un ligand ou chimio-dépendants. La partie protubérante de ce canal sert de récepteur à l'Ach. Celle-ci entraîne des modifications de la conformation du canal pendant 1 ms environ.



Le récepteur nicotinique

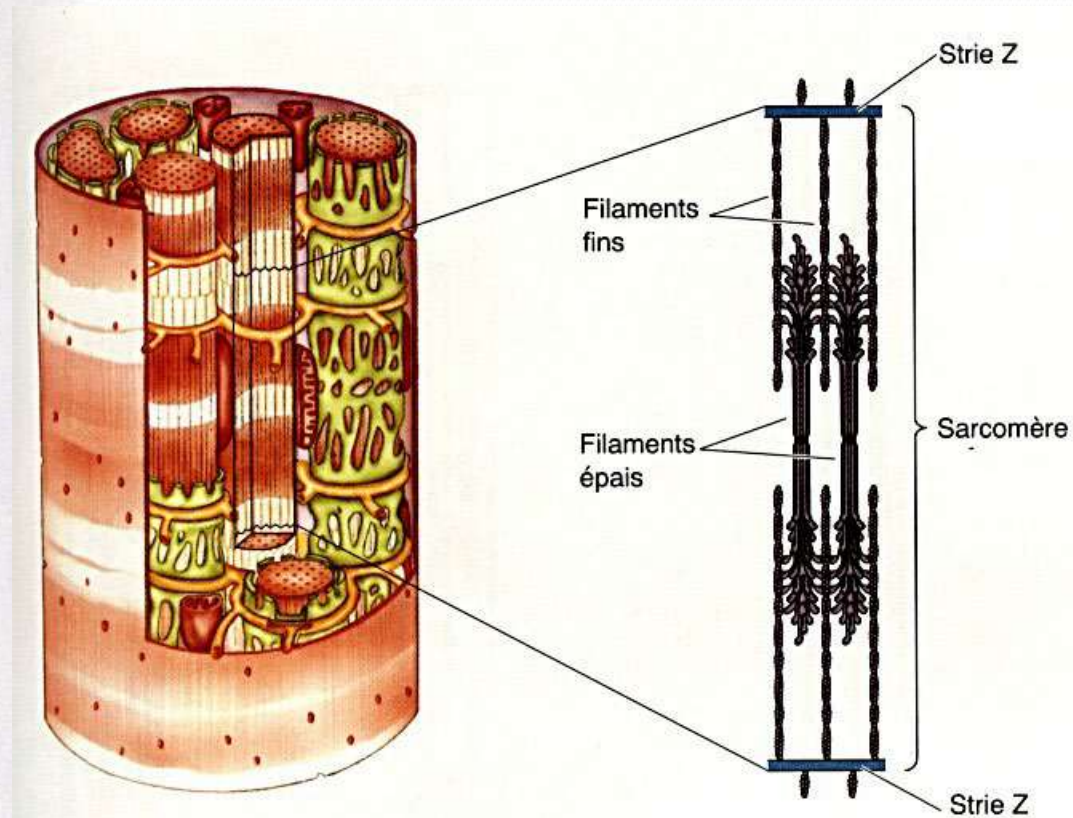
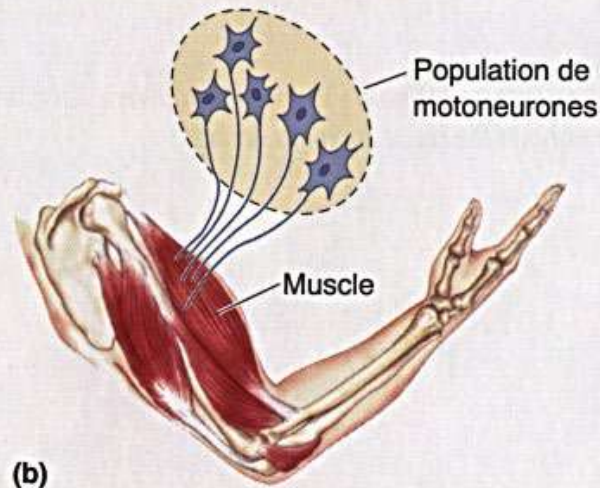
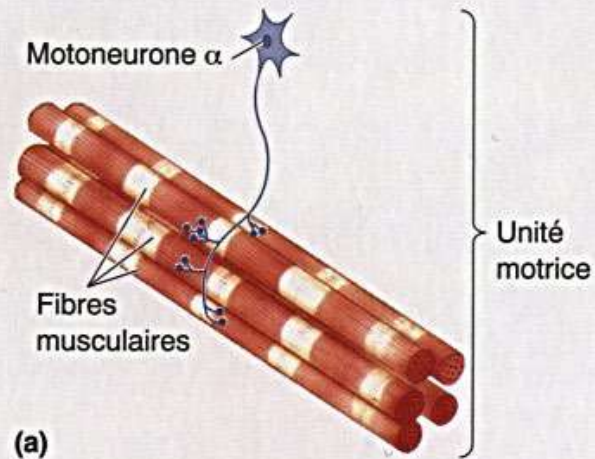


L'entrée des Na^+ dépolarise la mb plasmique, la **dépolarisation** se propage rapidement à toute la mb et en particulier aux stries T qui sont en contact avec la membrane du RS dans lequel, au repos le calcium s'est accumulé grâce aux pompes à calcium. La dépolarisation de la membrane plasmique entraîne **l'ouverture des canaux calcium du réticulum** et la libération dans le sarcoplasme tout autour des myofibrilles.

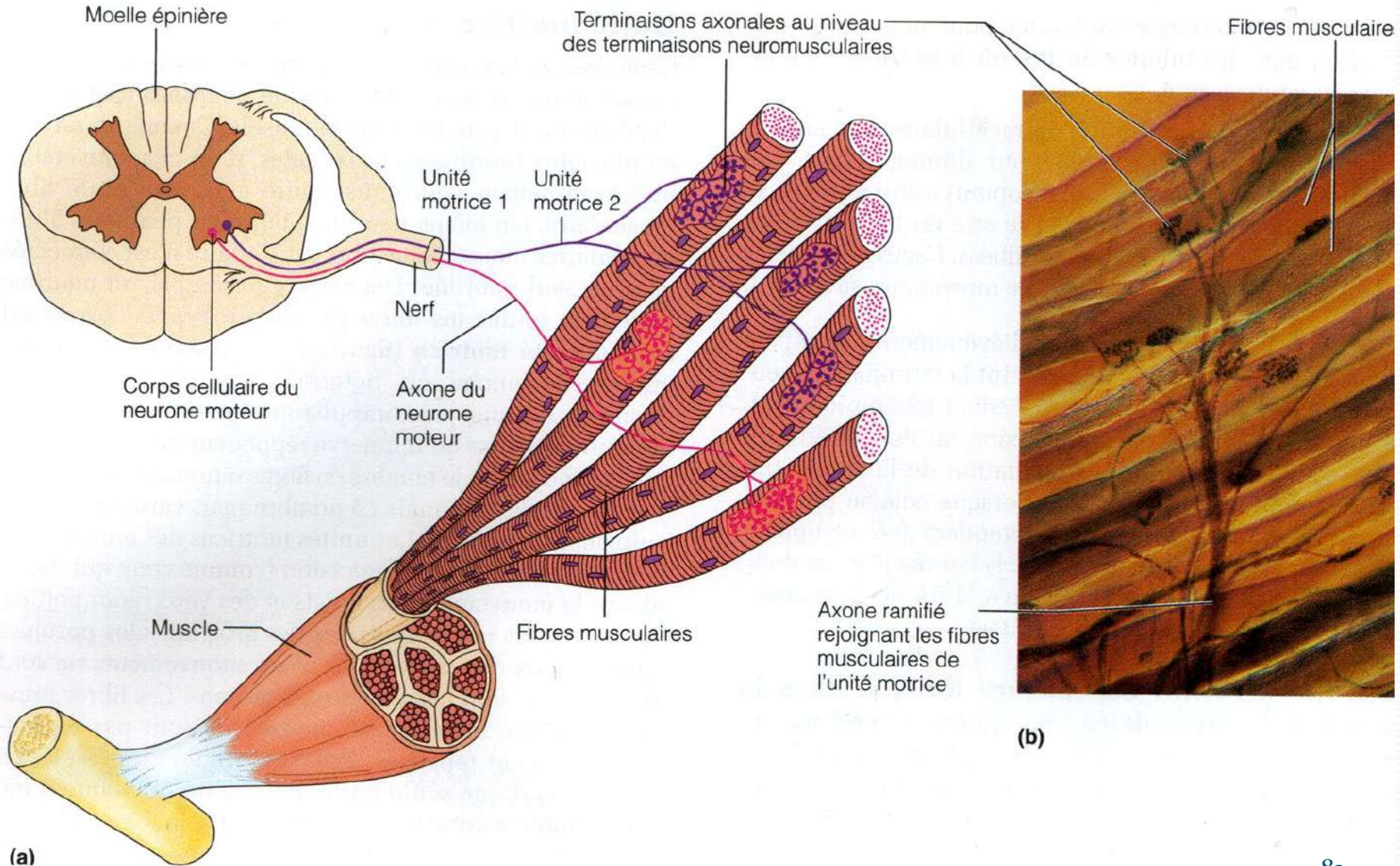
MECANISME DE LA TRANSMISSION NEUROMUSCULAIRE

- Le PA qui envahit la terminaison pré-synaptique induit la libération de l'Ach qui diffuse vers la membrane post-synaptique et, après fixation sur un récepteur membranaire, y induit des changements de perméabilité qui engendrent le PPM.
- L'action sur la membrane post-synaptique ne dure que pendant un temps très court car l'acétylcholine est rapidement détruite par la cholinestérase.

Notion d'Unité motrice



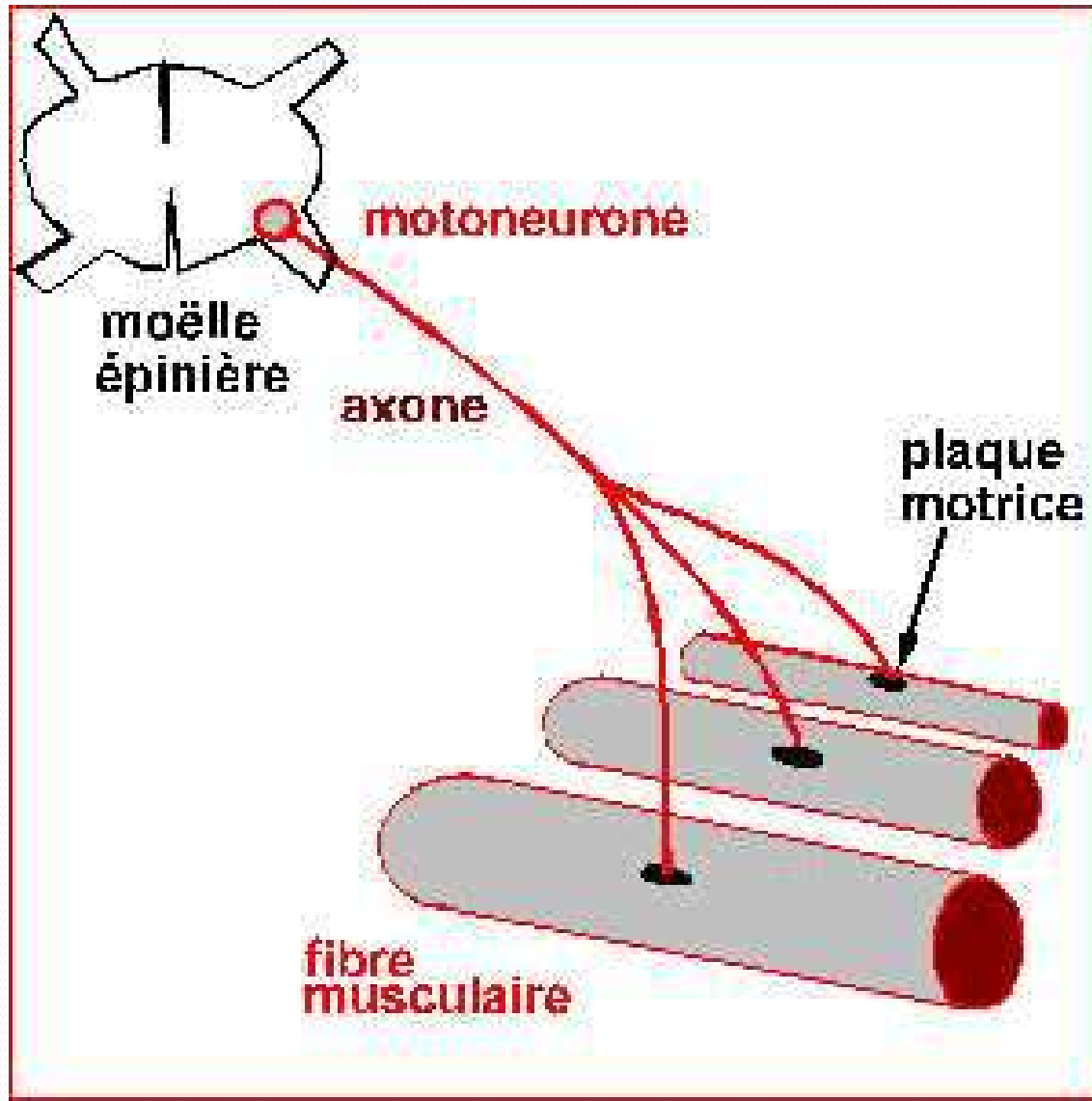
Les unités motrices

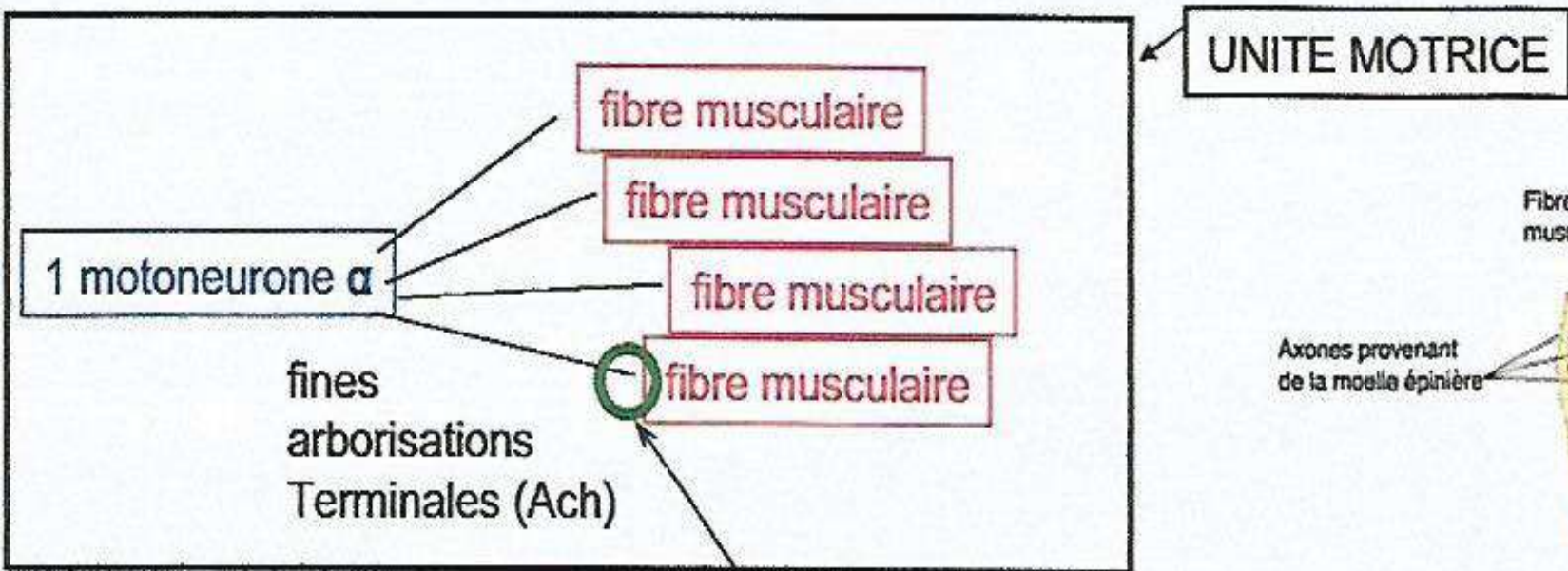


Les unités motrices

- Un même motoneurone peut régir plusieurs fibres musculaires (pas forcément regroupées)
- **Le motoneurone α** est un neurone dont le corps cellulaire se situe dans la moelle épinière, et la terminaison sur le sarcolemme.
- L'ensemble formé par un motoneurone et toutes les fibres musculaires qu'il dessert est appelé **Unité Motrice**
- **Toutes les fibres musculaires innervés par le même motoneurone ont les mêmes propriétés**

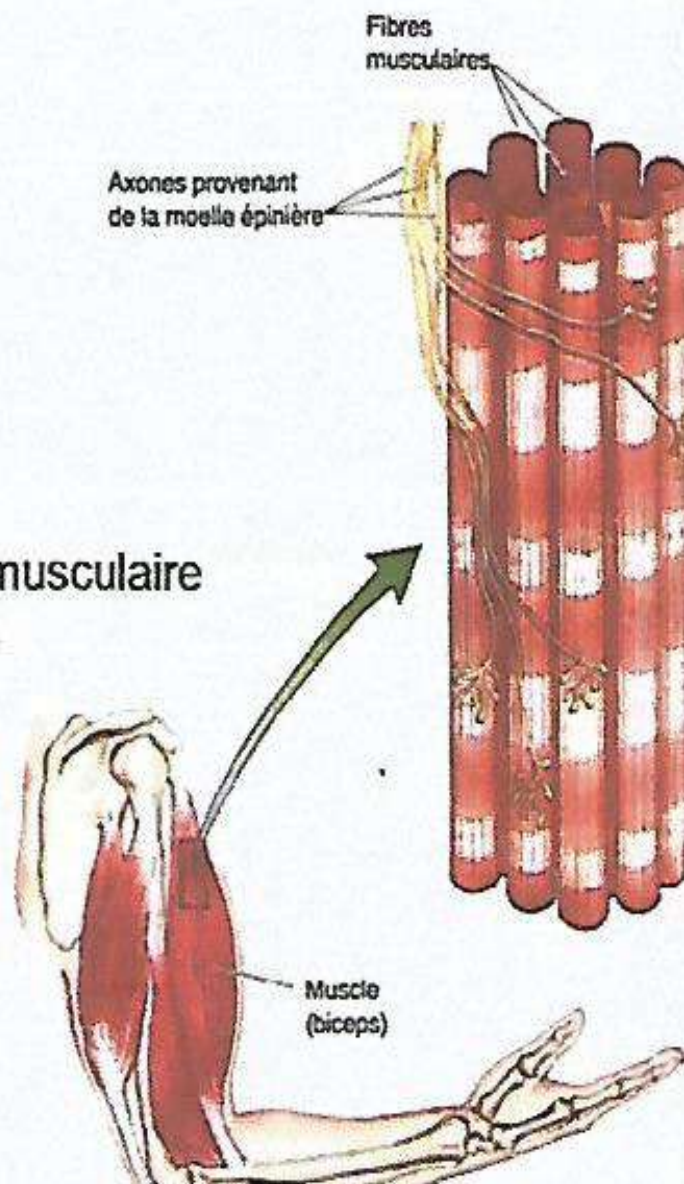
Les unités motrices

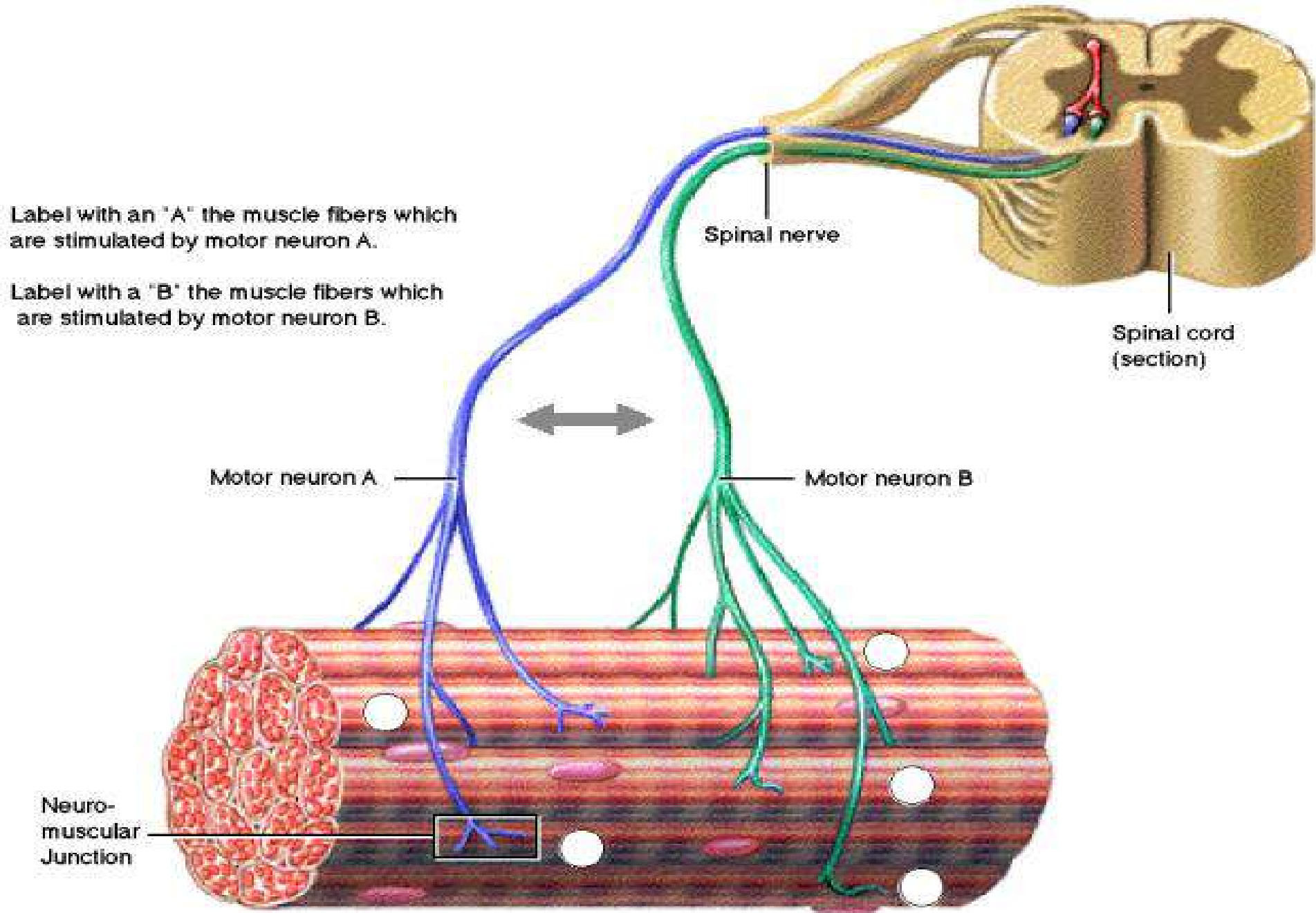




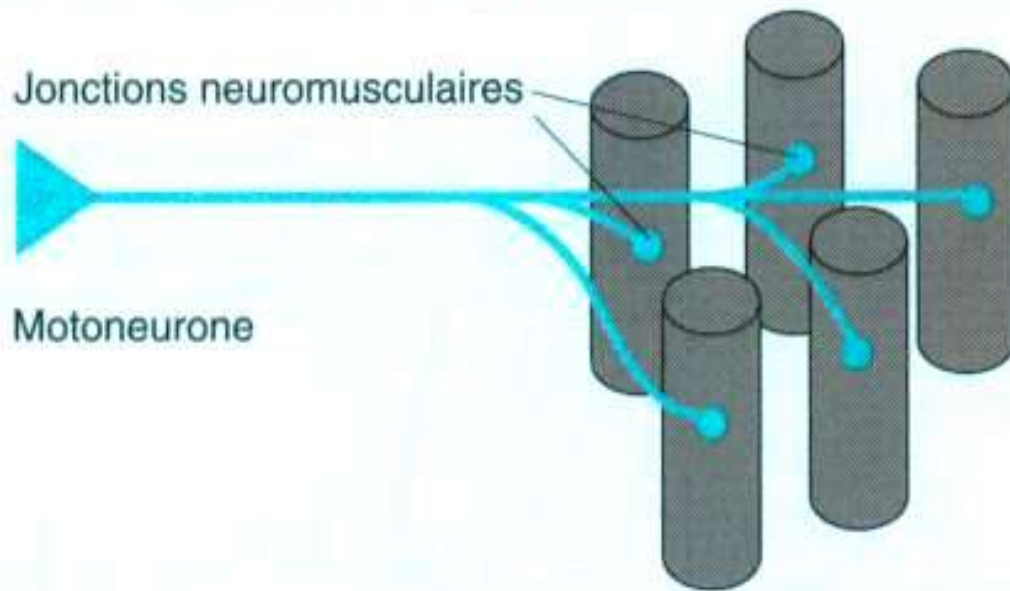
Jonction neuro-musculaire
(plaque motrice)

On appelle **unité motrice** l'ensemble constitué par **un motoneurone et les fibres musculaires qu'il innerve**. La taille des unités motrices est variable. Elle peut aller de 3 fibres pour les muscles oculaires, jusqu'à 1000 fibres pour les muscles de la jambe.

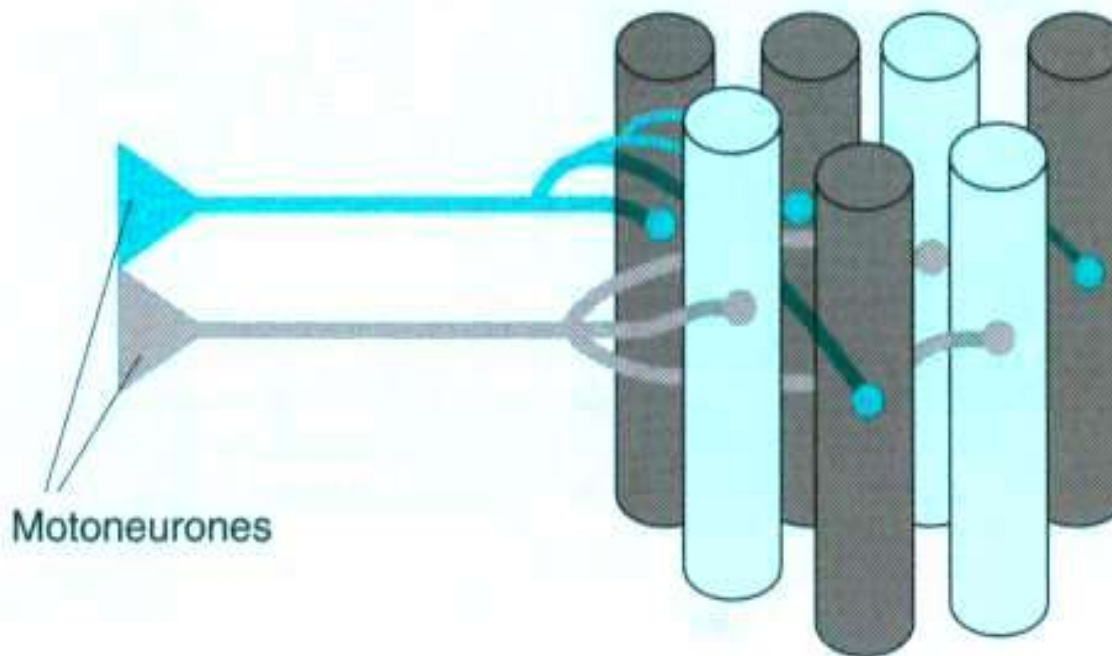




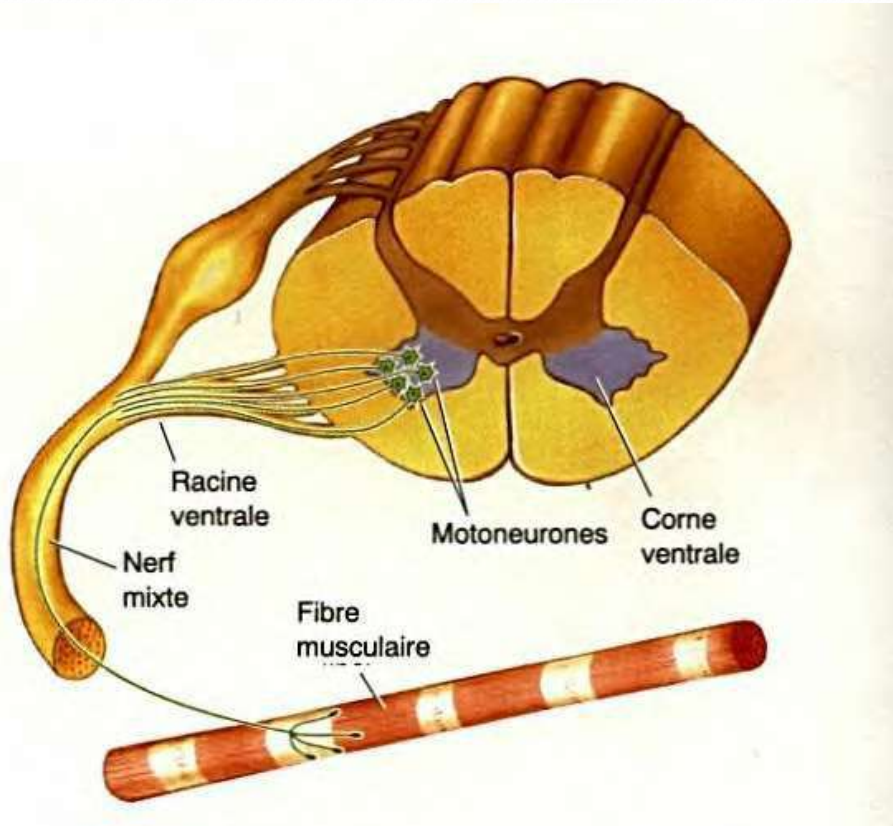
a) UNE UNITÉ MOTRICE ISOLÉE



b) DEUX UNITÉS MOTRICES



Innervation des muscles striés

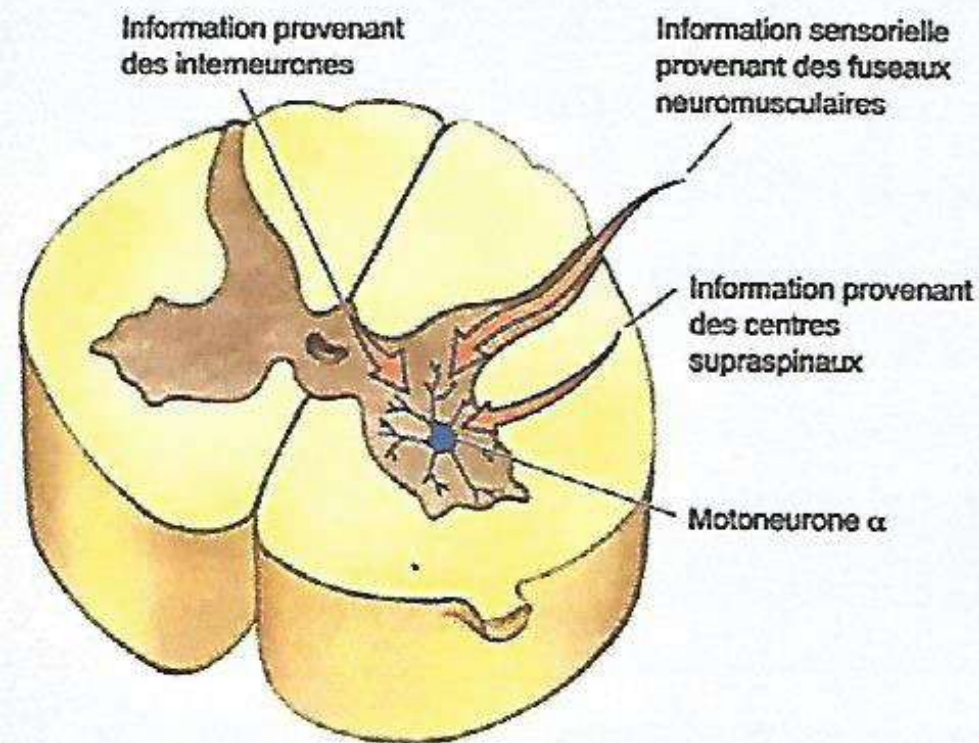


- L'innervation motrice provient des **motoneurones α**
- Corps cellulaire localisé dans la **corne ventrale de la SG** de la moelle épinière.
- Les axones des MN α forment les racines ventrales et se joignent aux racines dorsales pour former un **nerf mixte (moteur et sensitif)**.

Motoneurone: Définition

- **Un motoneurone**, ou **neurone moteur**, est une cellule nerveuse qui est directement connectée à un muscle et commande sa contraction. Il peut agir sur un petit ou un grand nombre de **fibres musculaires**, l'ensemble étant appelé une **unité motrice**. Les motoneurones contrôlent donc **les mouvements** du corps.
- Il existe deux (*ou trois*) types de **motoneurones** :
 - **les alpha (α)** qui innervent les fibres musculaires responsables de la contraction,
 - **les gamma (γ)** qui innervent les fuseaux neuromusculaires
 - (*Et les bêta (β) qui innervent les deux types de fibres*).

Informations reçues par les MN



Les motoneurones reçoivent trois types d'informations:

- a) celles qui proviennent des **centres supraspinaux(SNC)**,
- b) des informations sensorielles provenant des **récepteurs sensoriels**
- c) celles qui proviennent des **interneurones locaux de la SG.**



Caractéristiques fonctionnelles du muscle squelettique



Excitabilité
contractilité
Elasticité
Extensibilité
Plasticité
Tonicité

Excitabilité

Faculté de percevoir un stimulus et d'émettre un signal électrique : PA.

Le stimulus physiologique est de nature chimique (N.T). Le PA déclenche les contractions.

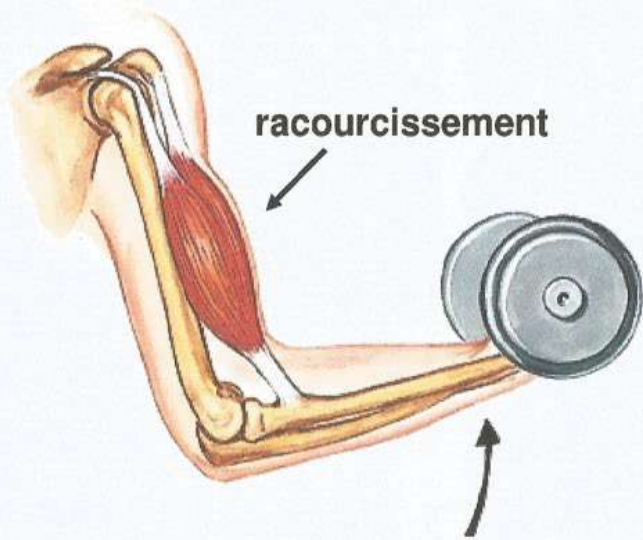
Il existe plusieurs sortes d'excitants du muscle

- **Un excitant naturel**, l'IN transmis au muscle par son nerf moteur et qui provoque une contraction physiologique.
- **Des excitants artificiels** (mécanique, chimique, thermique et physique) qui provoquent une contraction accidentelle ou expérimentale. Des excitants artificiels le plus utilisé est l'excitant électrique, par ce qu'il est d'une application facile et est exactement dosable. On l'emploie pour l'expérimentation physiologique, mais, aussi en clinique humaine pour le diagnostic de certains traitements.
- On peut l'appliquer selon 2 méthodes :
- **Une méthode indirecte** : en plaçant les 2 électrodes stimulantes sur le nerf moteur qui s'épanouit sur la peau donc l'excitation est transcutanée.
- **Une méthode directe** : en les plaçant sur le muscle lui-même,

Contractilité

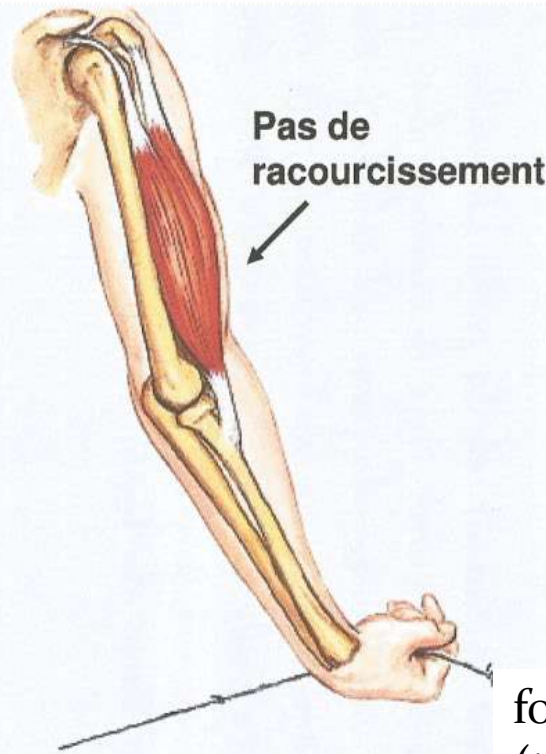
Capacité du muscle à se contracter puis à retrouver son état d'origine. Cette « contraction » se traduit par un raccourcissement et/ou un développement de force.

Contraction isotonique ou isométrique



Contraction
anisométrique (ou isotonique)

Raccourcissement du muscle,
déplacement d'un segment de membre
(mouvement).



contraction isométrique

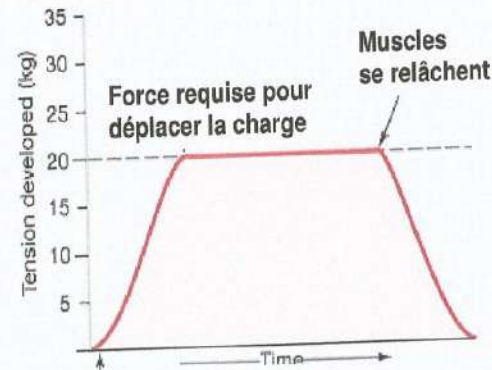
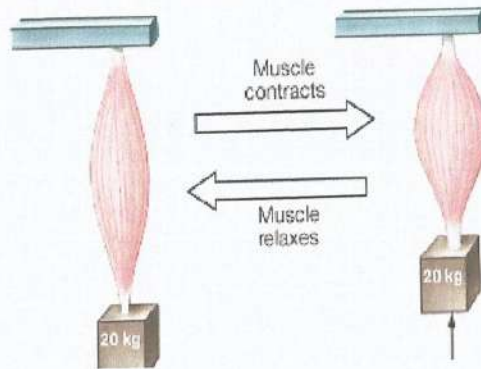
Pas de mouvement (maintien de posture)



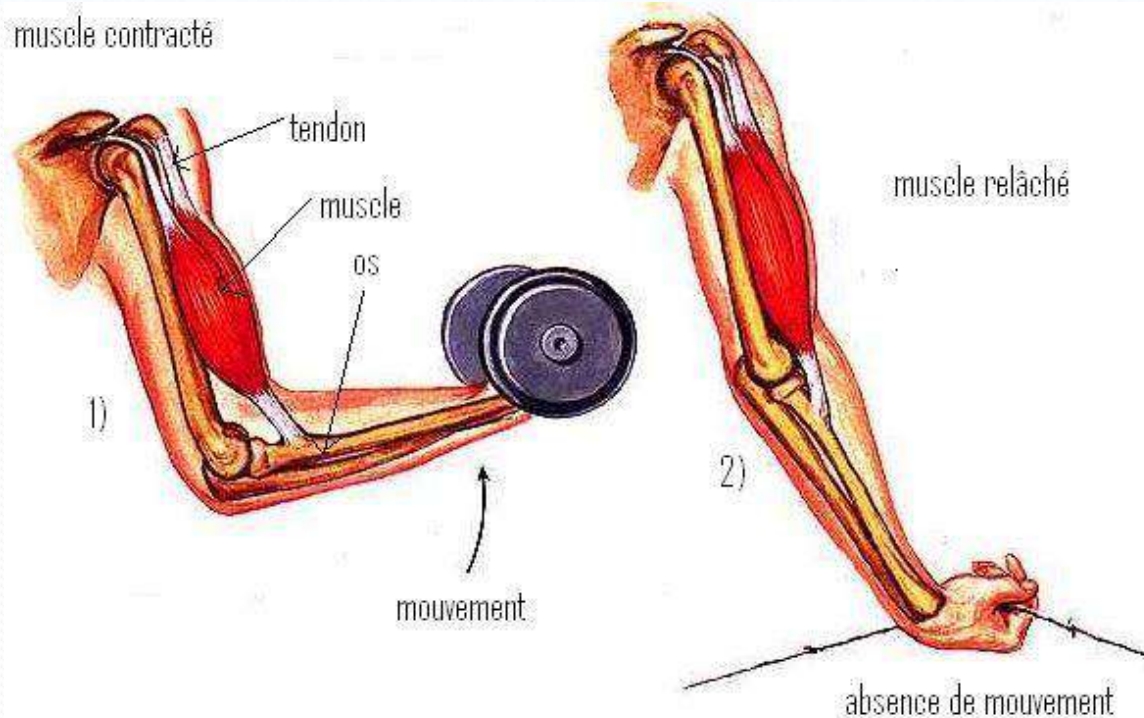
force importante
(tension) sans mouvement. Sa
raccourcissement

Contraction isotonique

(a) Isotonic contraction: muscle contracts, shortens, and creates enough force to move the load.

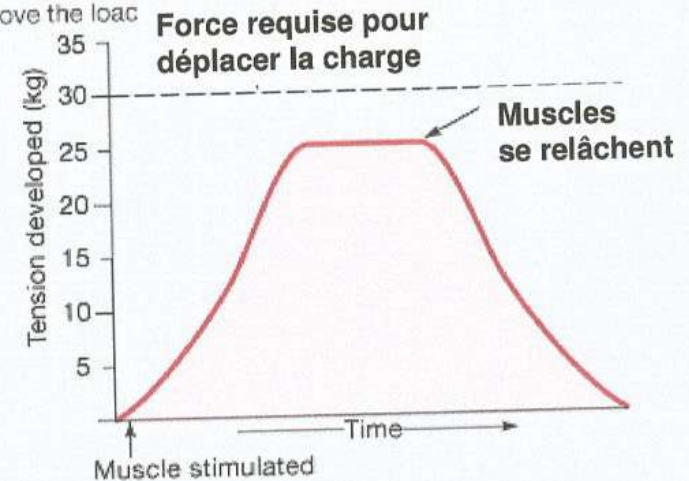
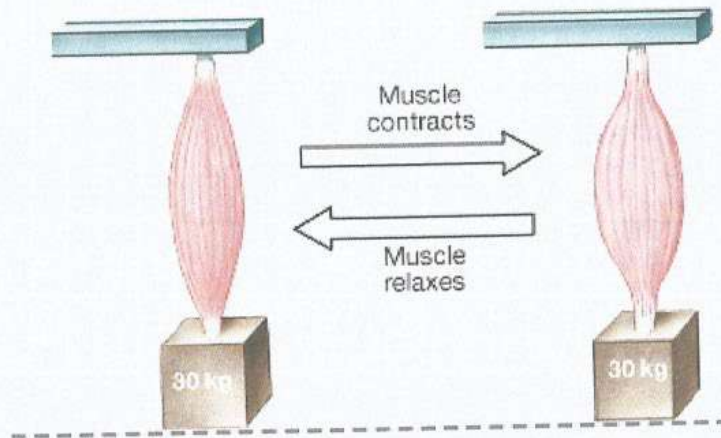


muscle contracté



Contraction isométrique

(b) Isometric contraction: muscle contracts but does not shorten. Force cannot move the load

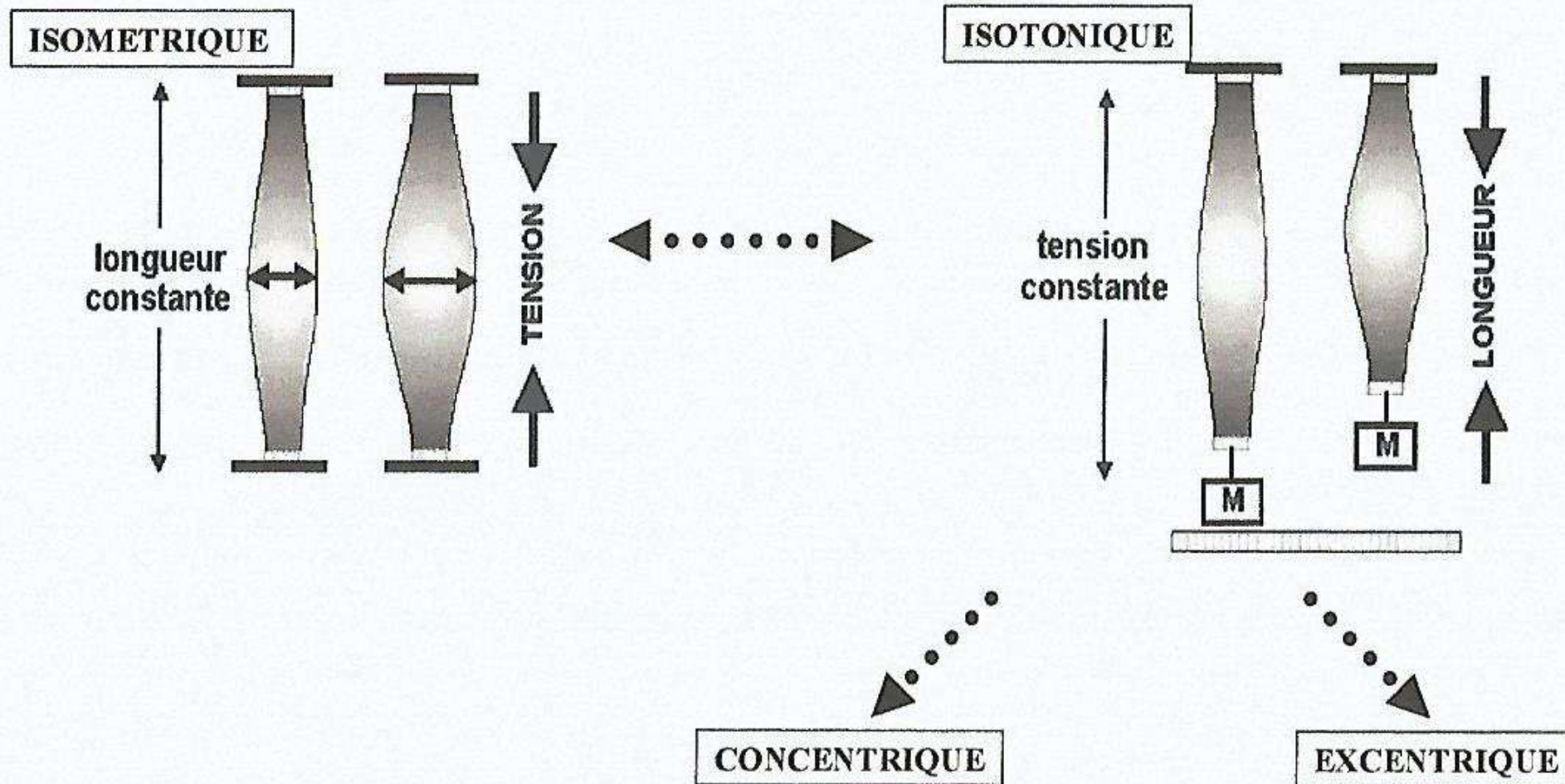


La longueur du muscle est gardée constante et à mesure que le niveau de contraction augmente, la tension développée augmente.

Contraction musculaire sans raccourcissement

Contraction du muscle squelettique

* Types de contraction



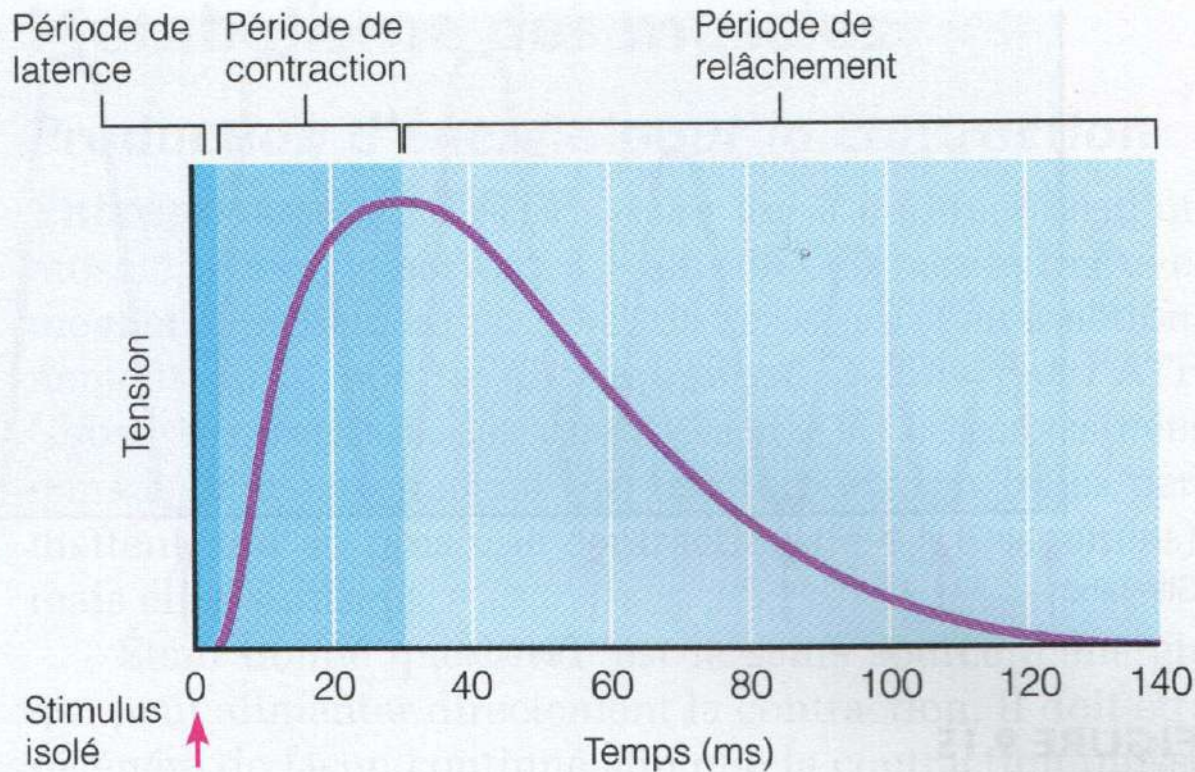
Les propriétés essentielles du muscle squelettique

Elasticité : C'est la propriété d'un corps, d'une structure de se déformer sous l'influence d'une (de) force(s) externe(s) puis de reprendre sa forme initiale quand la (les) contrainte(s) cesse(nt).

Tonicité : Capacité à garder un état certain de contraction même au repos.

La secousse musculaire

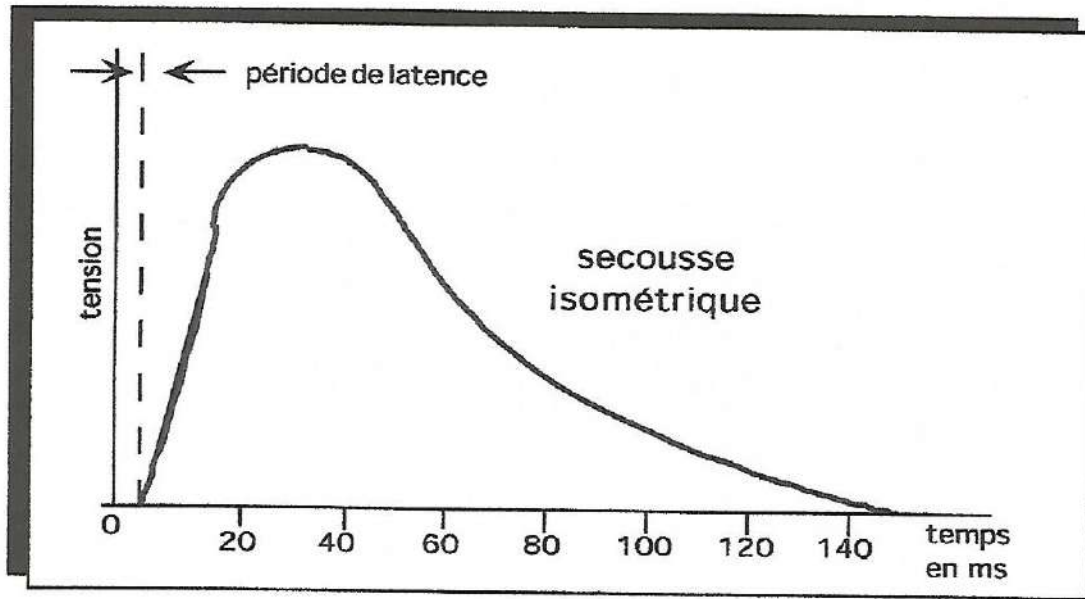
- C'est la réponse d'un muscle à un seul stimulus liminaire de courte durée: le muscle se contracte rapidement, puis se relâche.
- +/- vigoureuse (selon le nombre d'UM recruté)



(a)

La secousse musculaire

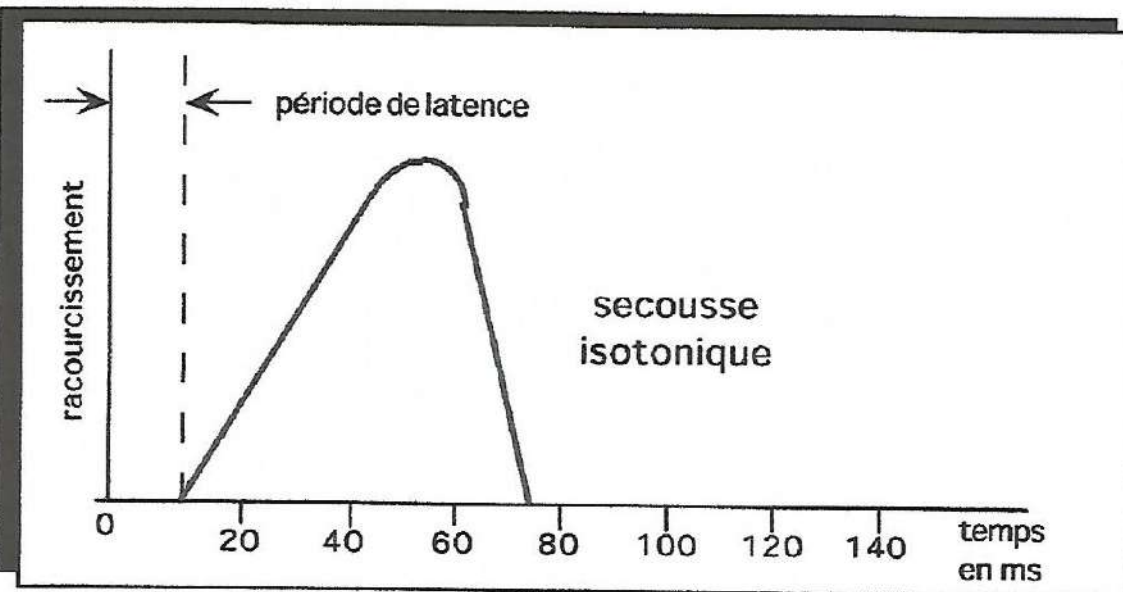
1. **Période de latence**: les quelques premières millisecondes qui suivent la stimulation (le temps du couplage excitation-contraction)
2. **Période de contraction**: laps de temps qui s'écoule entre le début du raccourcissement et le maximum de la force de tension : pic du myogramme (10 à 100 ms)
3. **Période de relâchement**: retour du Ca^{2+} dans le RS (10 à 100 ms)



La contraction

isométrique: quand la **longueur du muscle reste constante** et la force développée varie.

Exemple: au cours de la résistance d'un muscle à la flexion de l'organe dont il commande le mouvement.



Contraction isotonique:

quand la **longueur du muscle varie** et la force développée reste constante. Exemple: au cours d'une marche légère.



Physiologie: fibre **musculaire**

Physiologie: fibre musculaire

- Les fibres musculaires comme les cellules nerveuses entretiennent de part et d'autre de leur membrane une d.d.p. ou un potentiel de repos qui témoigne de la polarisation de la membrane.
- Toute contraction musculaire est immédiatement précédée d'une dépolarisation qui se manifeste d'abord au niveau de la jonction neuromusculaire ou plaque motrice sous l'action de l'acétylcholine libéré par l'IN

PA fibre musculaire isolée

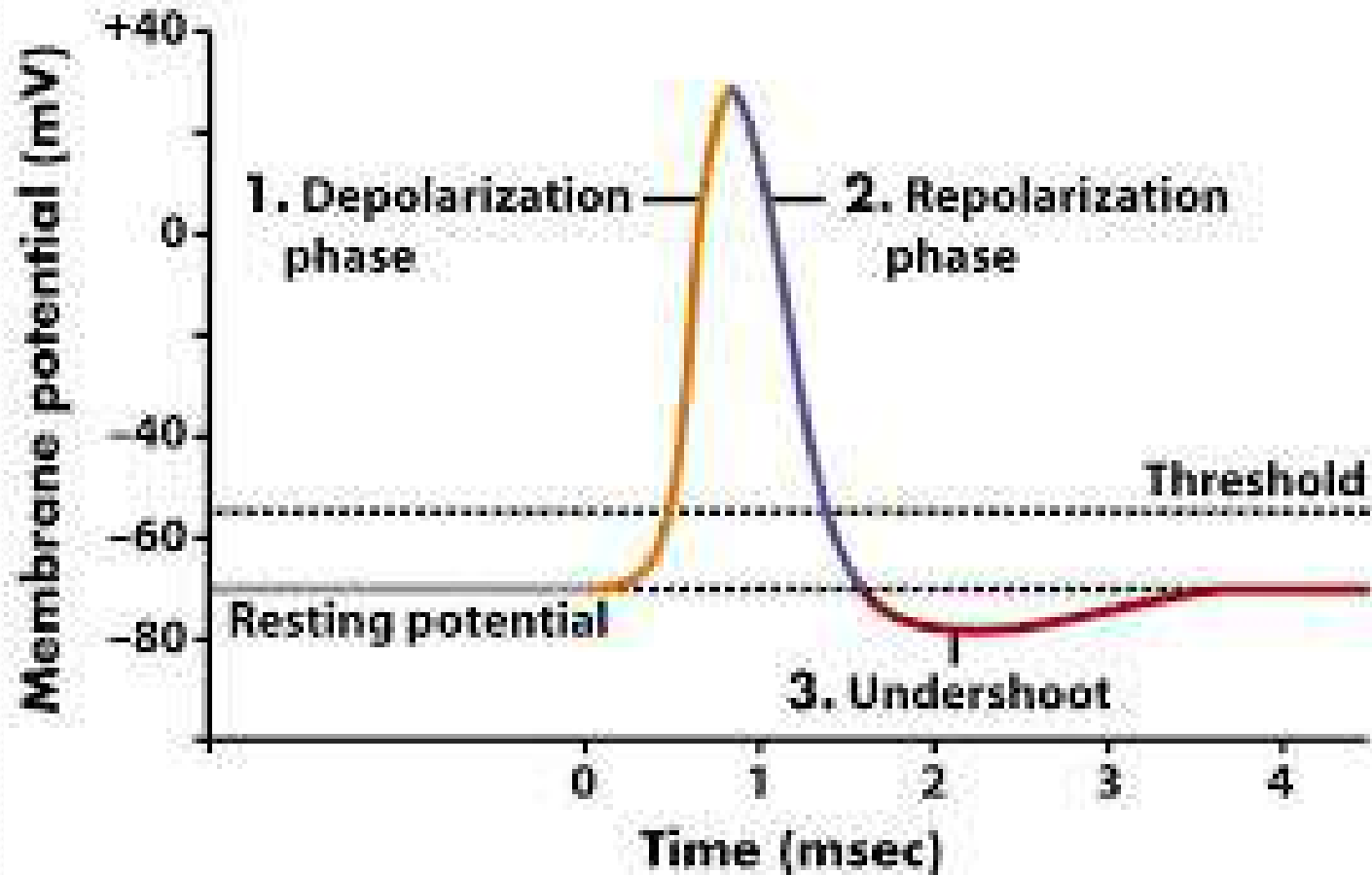
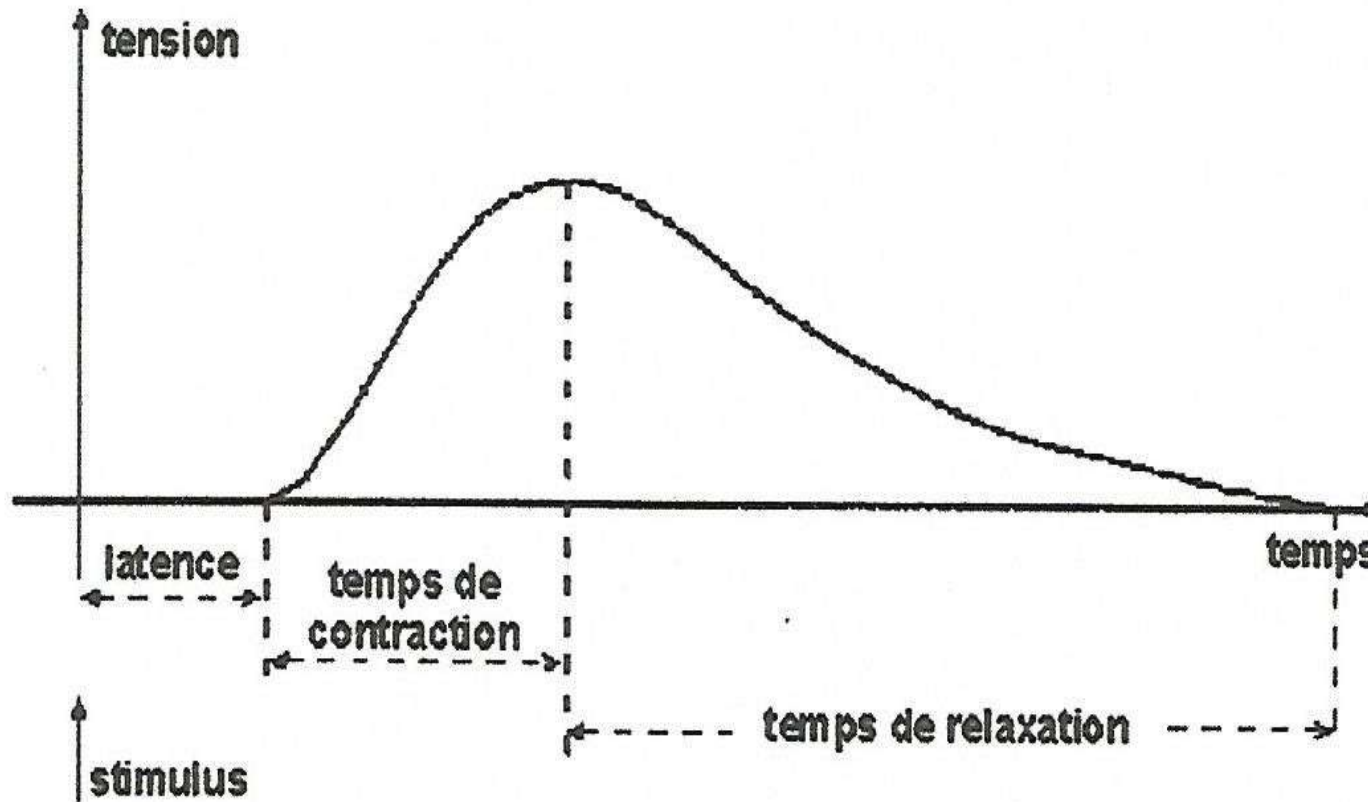


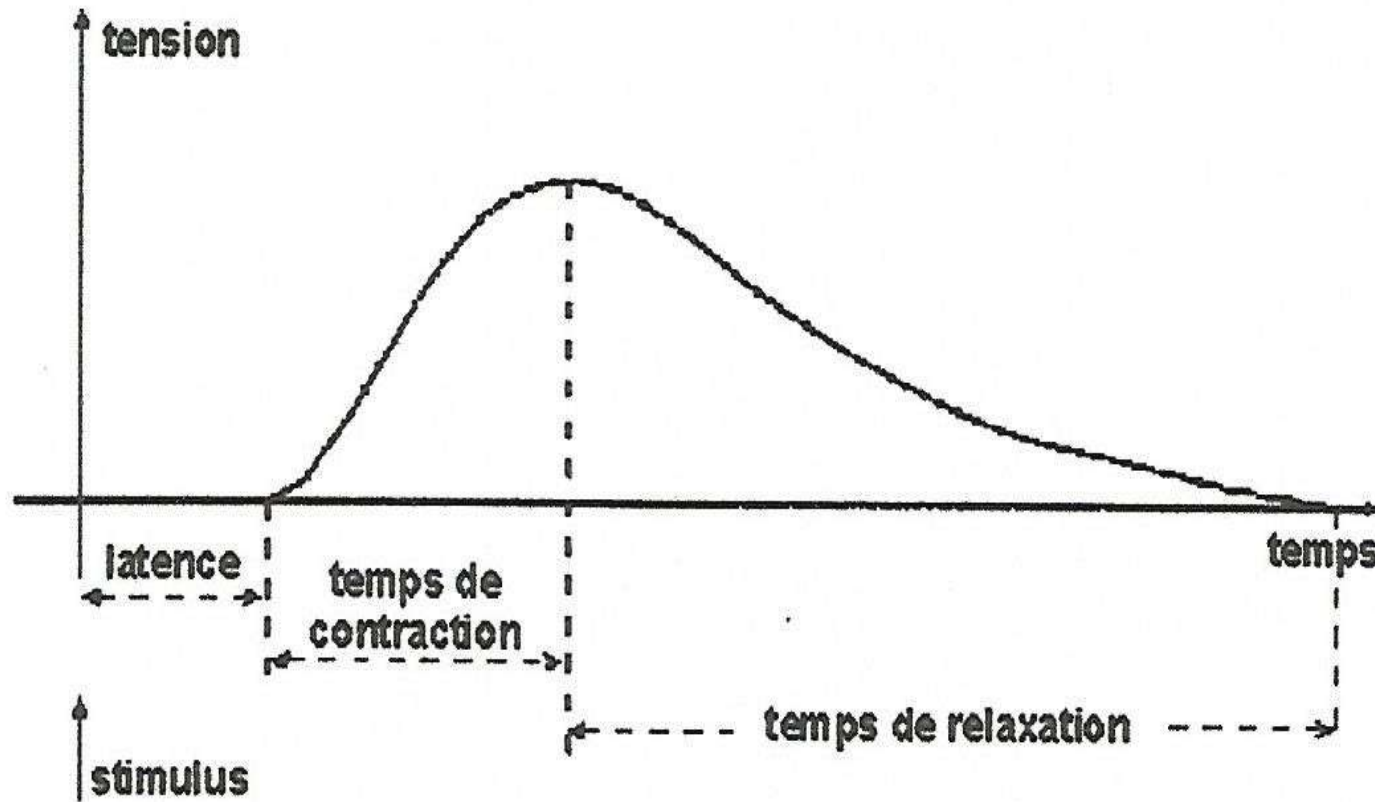
Figure 45-5 Biological Science, 6e
© 2004 Pearson Education, Inc.

Réponse mécanique d'une fibre musculaire à une stimulation unique



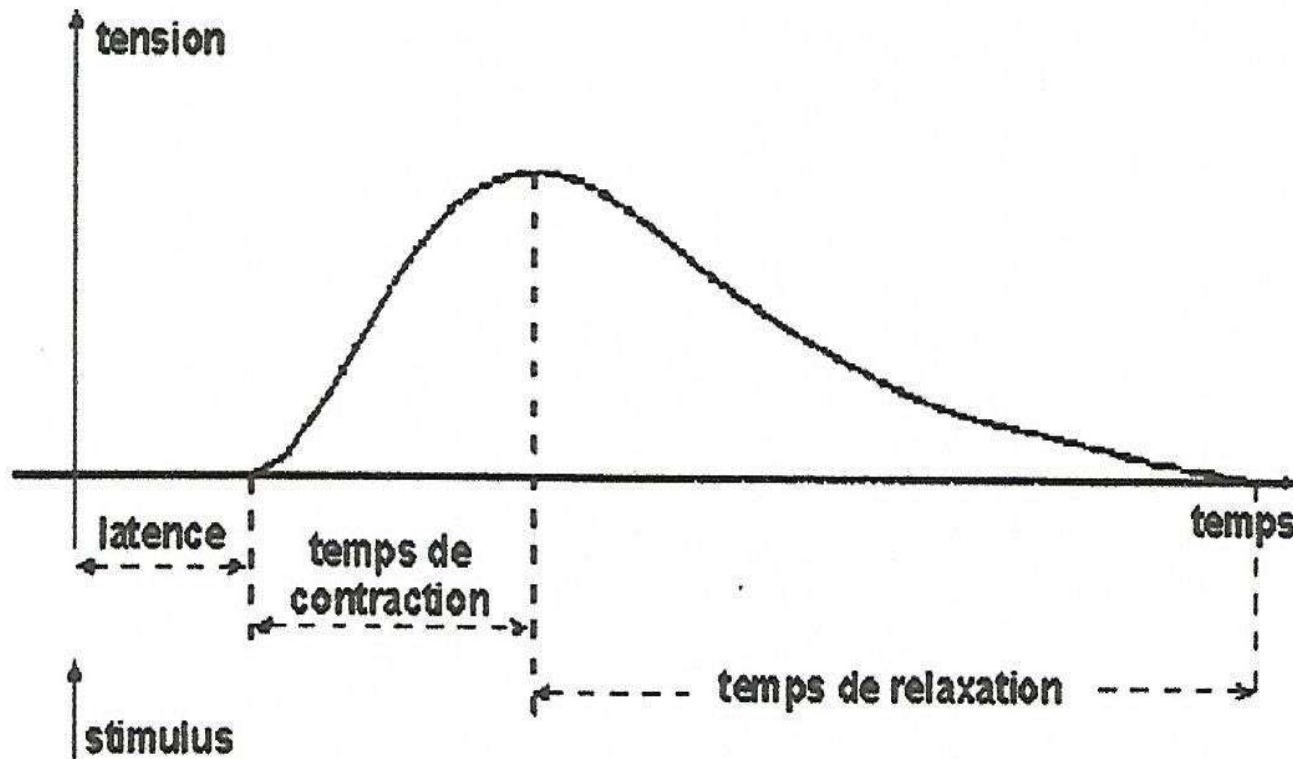
Le potentiel de repos de la membrane est presque égal au E_k , donc, l'ouverture du canal n'entraîne pas le transfert net d'un nombre significatif de K^+ à travers la membrane.

Réponse mécanique d'une fibre musculaire à une stimulation unique



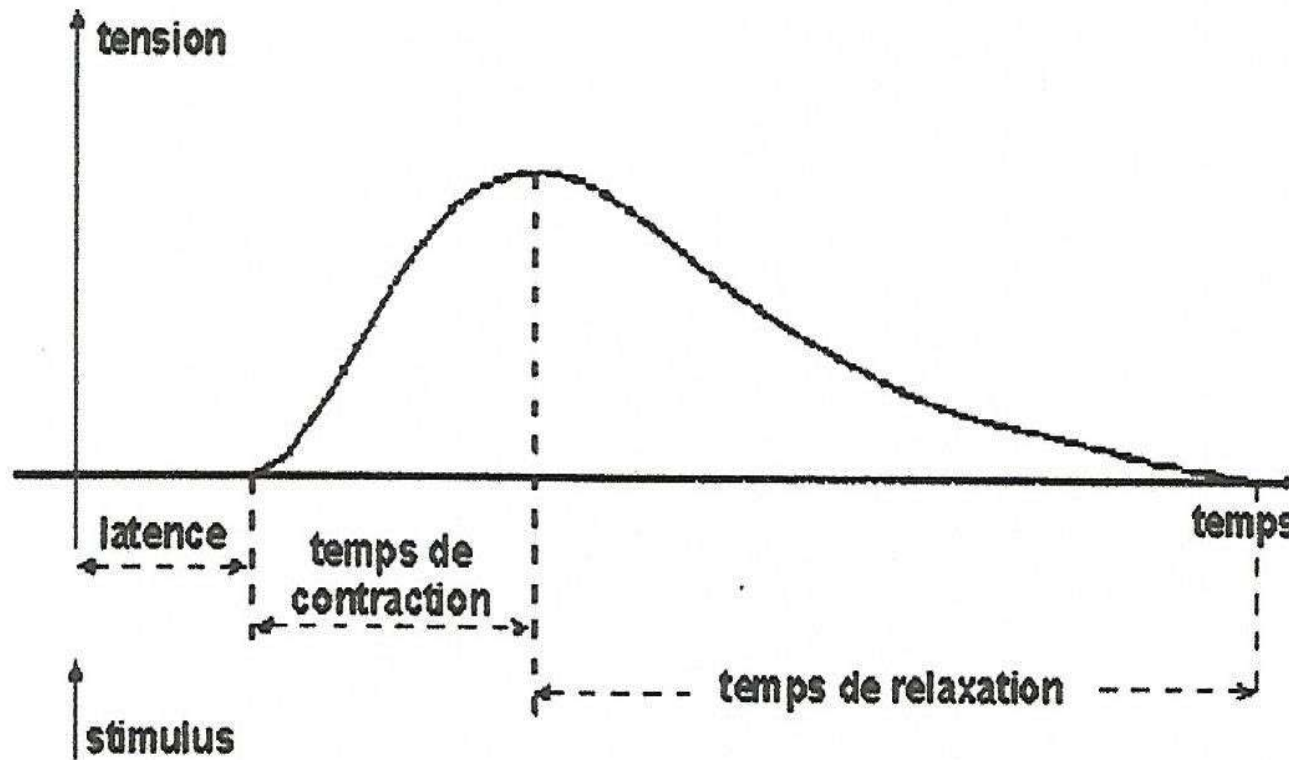
La concentration de Na^+ et Ca^{2+} est + grande à l'ext. qu'à l'int. de la fibre musculaire et leur P de Nernst est de polarité inverse à celle du P de membrane. Ainsi l'ouverture des canaux cholinergiques permet aux Na^+ et Ca^{2+} de pénétrer rapidement à l'int. de la fibre musculaire. Mais, étant donné que la concentration de Ca^{2+} est plus faible que celle de Na^+ , l'ouverture des canaux cholinergiques ne permet pratiquement qu'un influx très rapide d'ions Na^+ à l'intérieur de la cellule.

Réponse mécanique d'une fibre musculaire à une stimulation unique



La phase ascendante du PA est due à une augmentation rapide de la perméabilité membranaire du Na^+ (P_{Na}), suivie peu après par une augmentation de la perméabilité au K^+ qui déclenche **la repolarisation**. L'augmentation de la P_{K} est due à la dépolarisation qui l'accroît lorsque le P de membrane est réduit de plus de 20 mV.

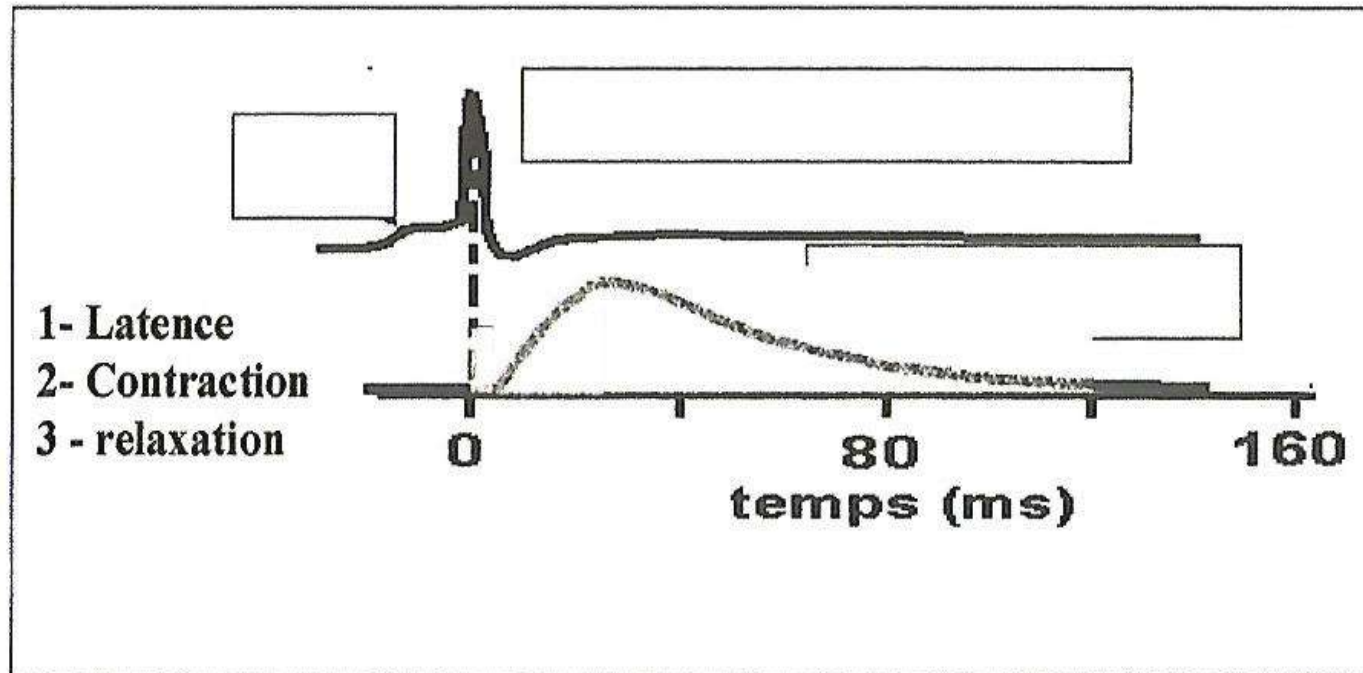
Fibre musculaire isolée: loi de tout ou rien



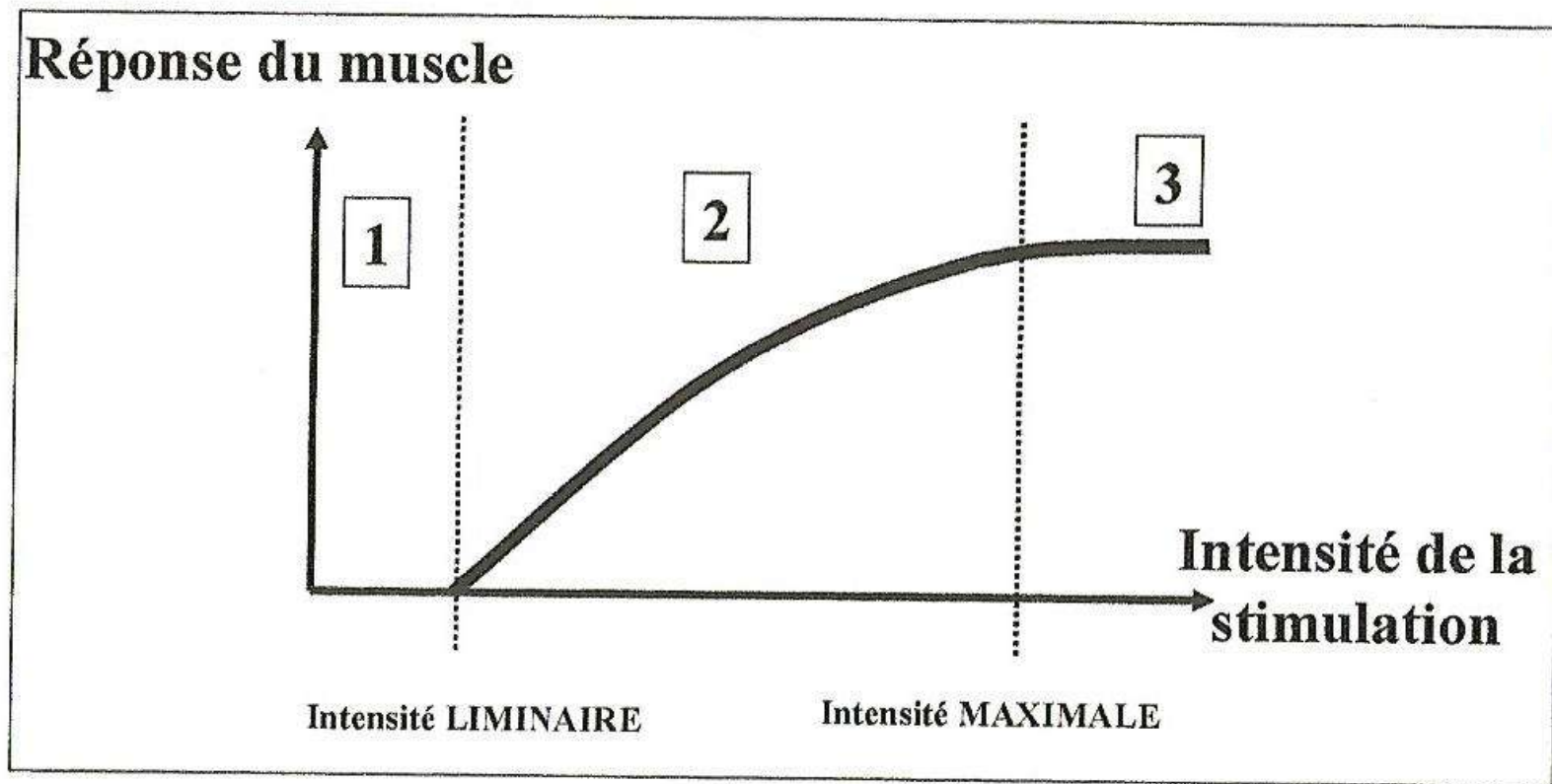
Le changement du potentiel de membrane produit par le PA est le stimulus efficace déclenchant la contraction. La cellule se contracte graduellement en fonction de la dépolarisation. Le caractère tout ou rien de la secousse isolée est la conséquence de la qualité tout ou rien de la variation du potentiel de membrane

Contraction du muscle squelettique:

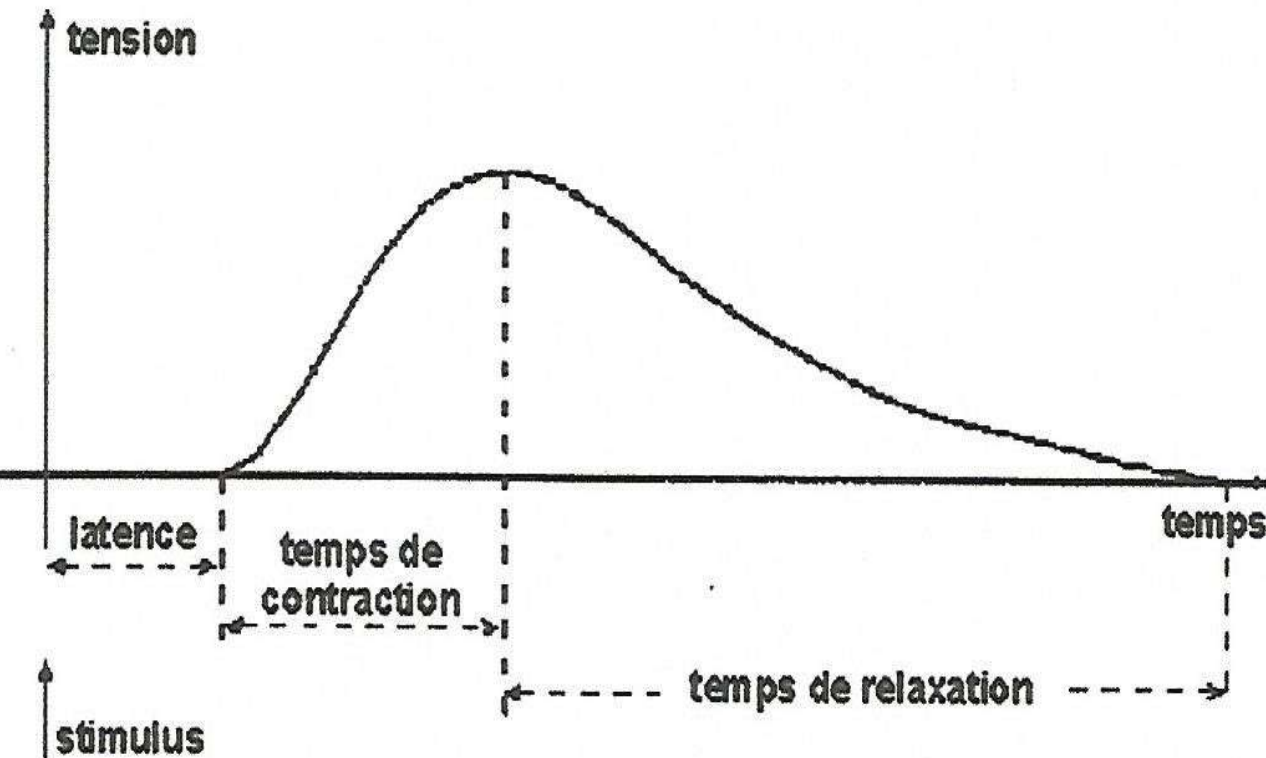
« secousse isolée »



Contraction du muscle squelettique: Sommation spatiale: RECRUTEMENT



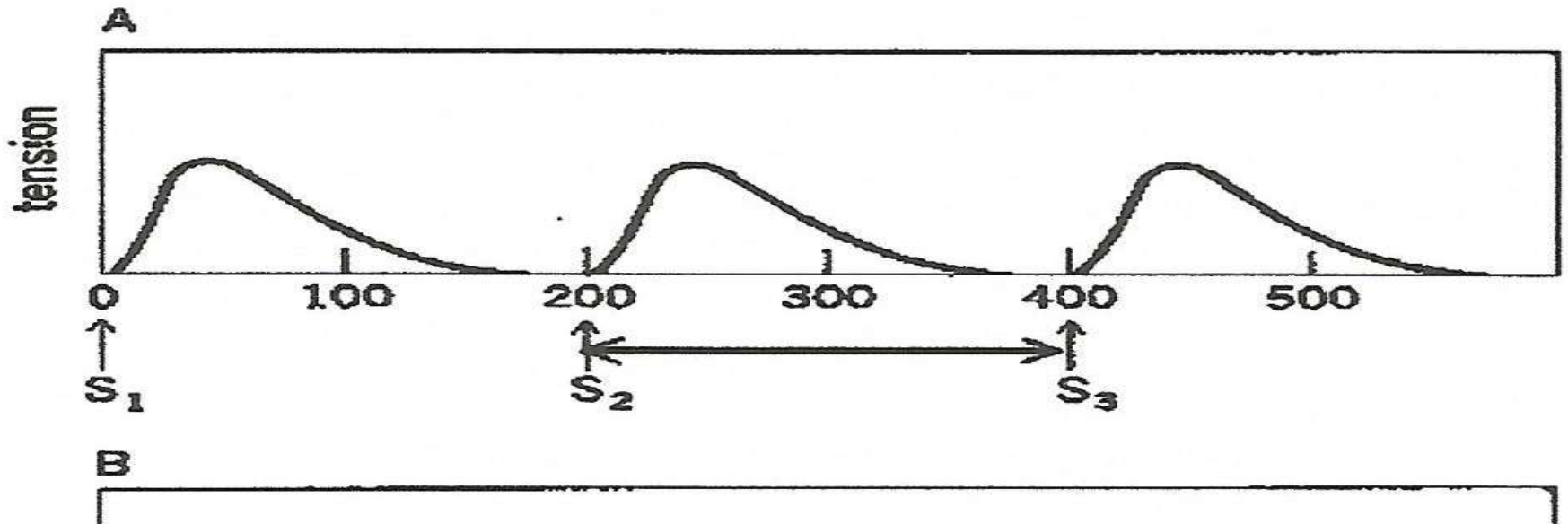
Cas de la stimulation unique du muscle entier



La période de **décontraction** ou relaxation **phase d'énergie décroissante** qui va du sommet de la secousse au point où le muscle est revenu à son état antérieur à l'excitation et dont la durée est toujours supérieure à celle de la phase précédente. Cette période est due à l'ouverture des **canaux K** qui entraîne rapidement la repolarisation.

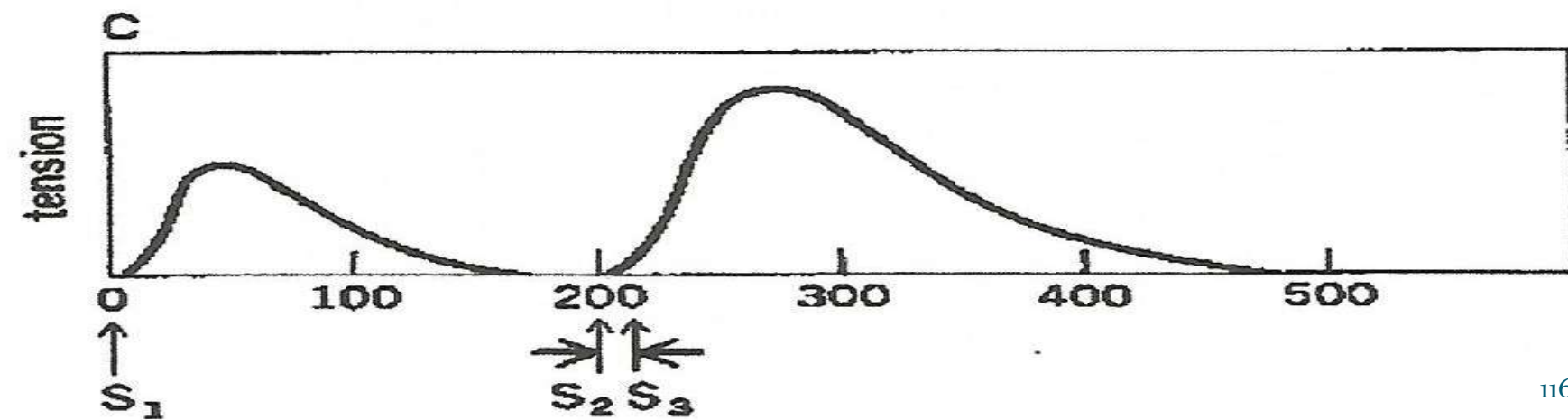
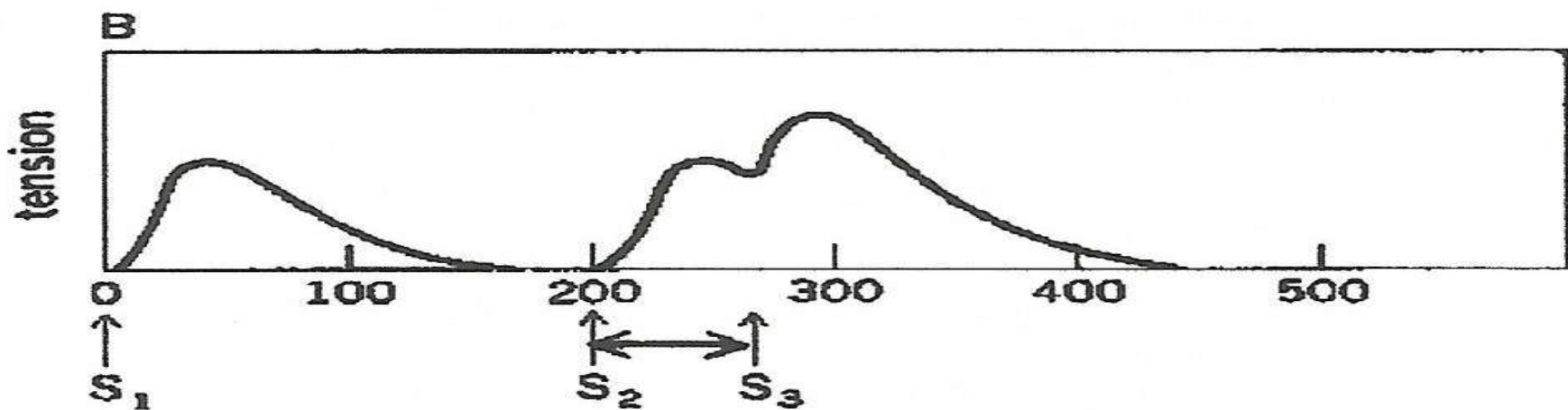
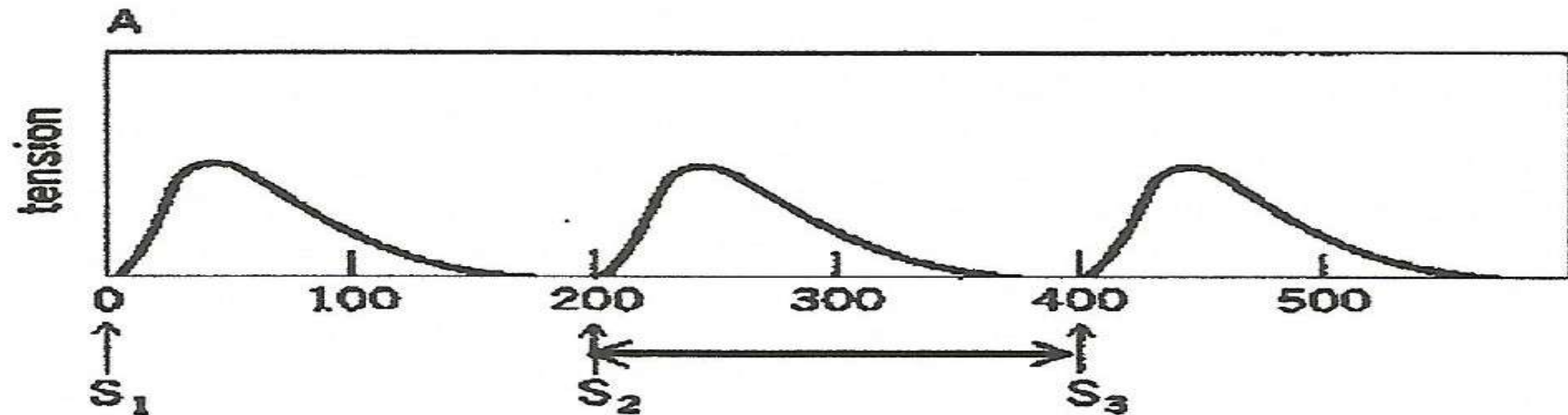
\$ La période de latence

Cas de 2 stimulations

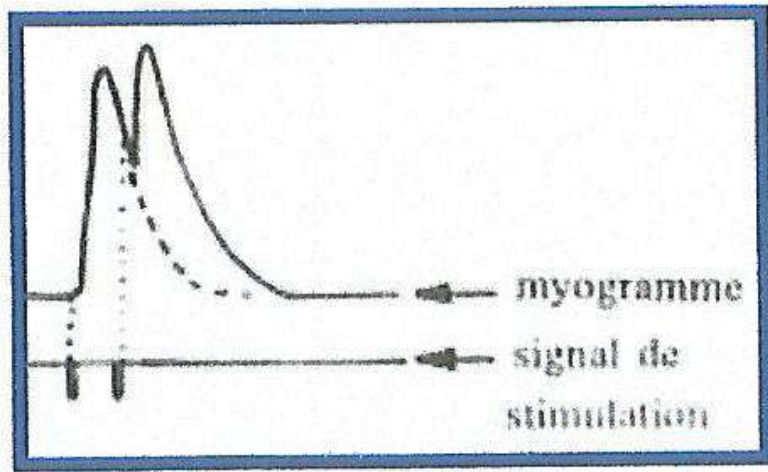


Si on applique deux stimulations efficaces de même intensité telle que la deuxième stimulation arrive au muscle alors qu'il a achevé sa secousse relative, on obtient deux secousses isolées de même amplitude.

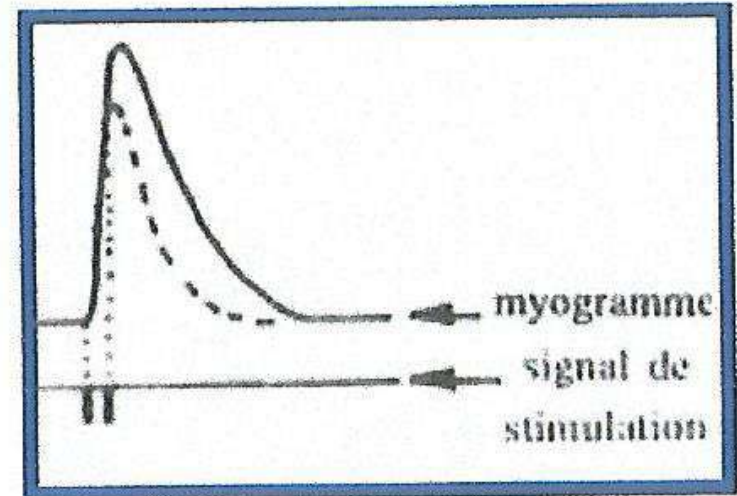
Si la deuxième stimulation atteint le muscle pendant le temps de latence relatif à la première stimulation, le muscle répond par une seule secousse d'amplitude



Cas de 2 stimulations

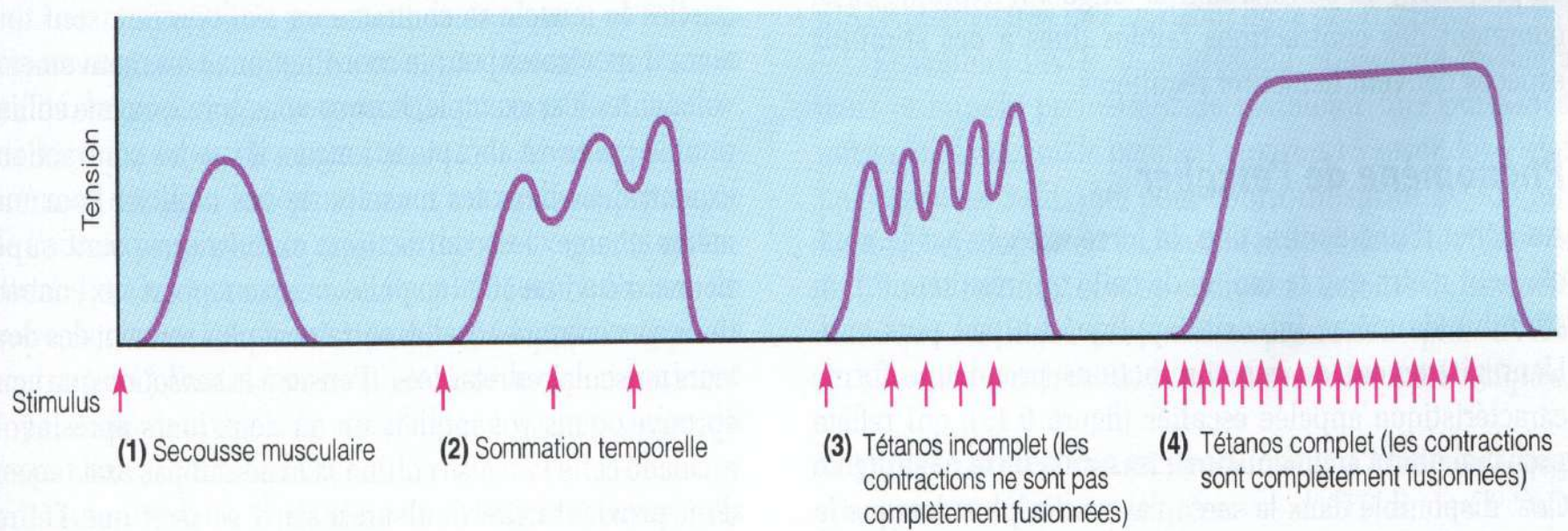


Si la deuxième stimulation atteint le muscle alors qu'il est **en phase de relâchement** de la secousse consécutive à la première stimulation, le muscle répond par une secousse d'amplitude plus importante. On dit alors, qu'il y a une **sommation partielle** et la **fusion des deux secousses est incomplète**.



Si la deuxième stimulation atteint le muscle alors qu'il est **en phase de contraction** de la secousse consécutive à la première stimulation, le muscle répond par **une seule secousse d'amplitude plus grande** que la normale comme si le muscle a reçu une seule excitation : **sommation totale**.

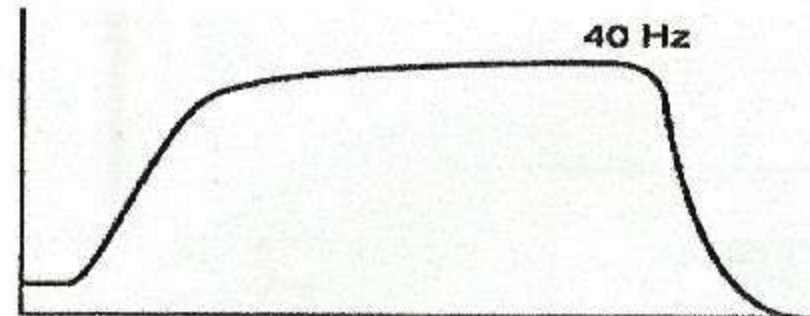
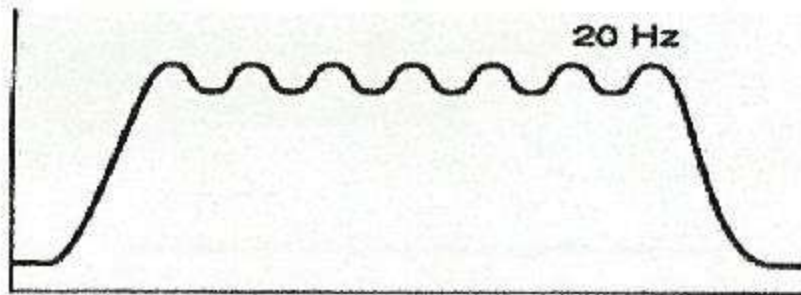
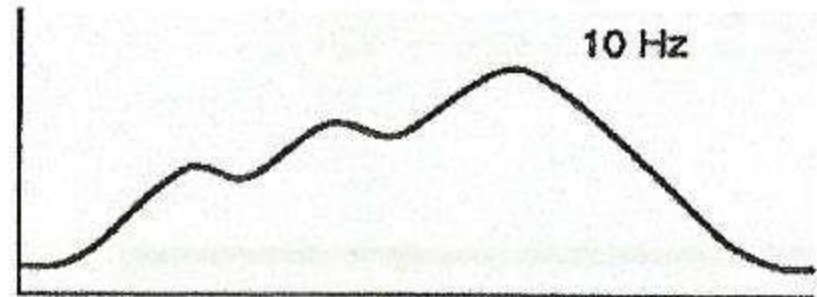
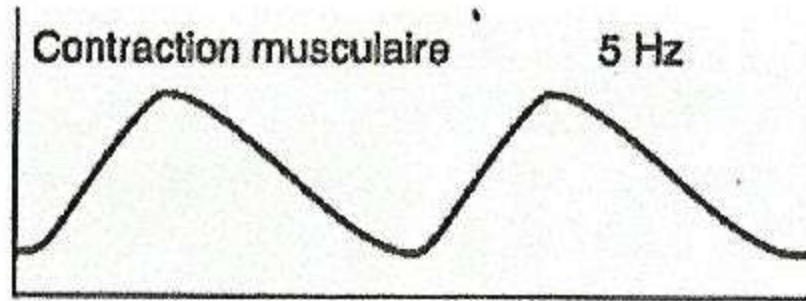
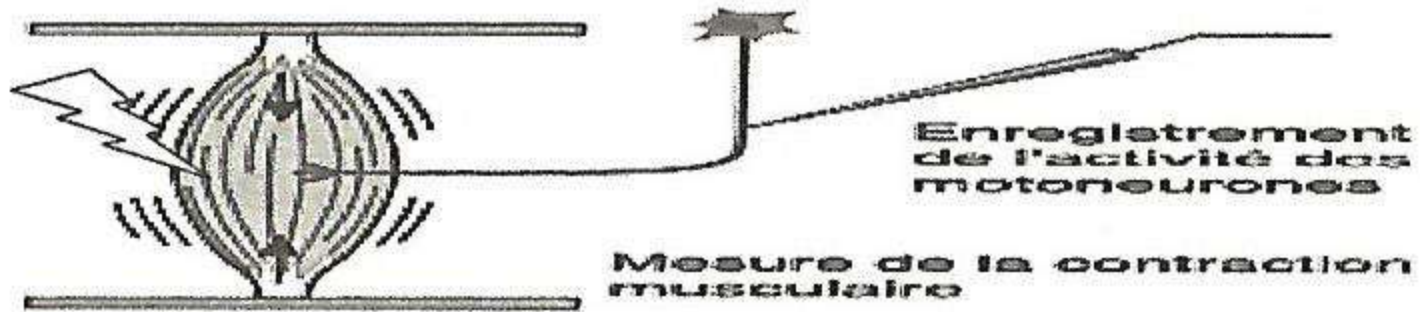
Sommation temporelle et téтанos



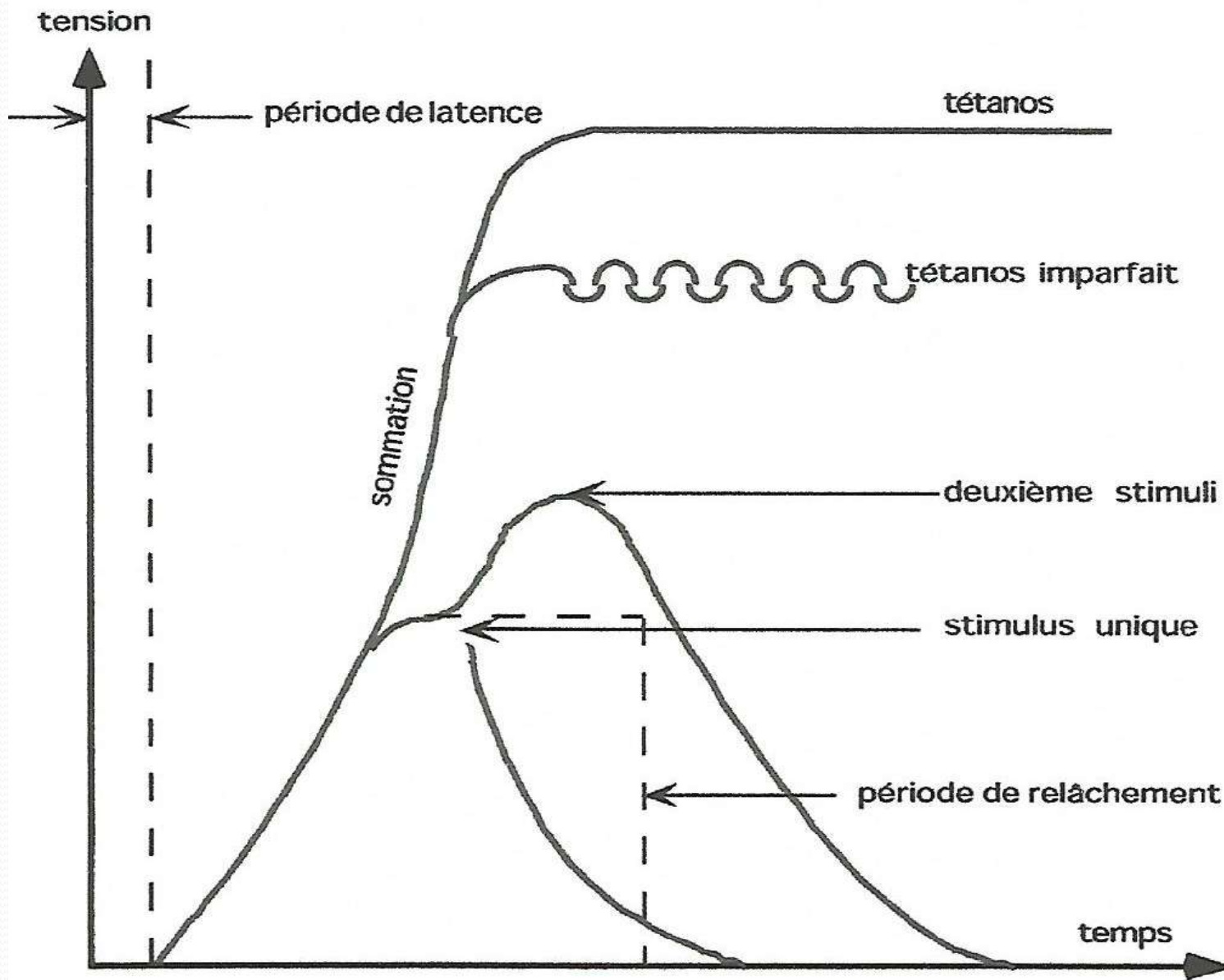
Sommation temporelle et téтанos

- Si 2 stimulations identiques sont appliquées à un muscle dans un court intervalle, la seconde contraction sera plus vigoureuse que la première.
 - **sommation temporelle** (le second stimulus survient avant que le muscle soit complètement détendu)
- **Le téтанos** : mode habituel de contraction musculaire dans notre organisme : les neurones moteurs envoient des volées d'influx provoquant des secousses.

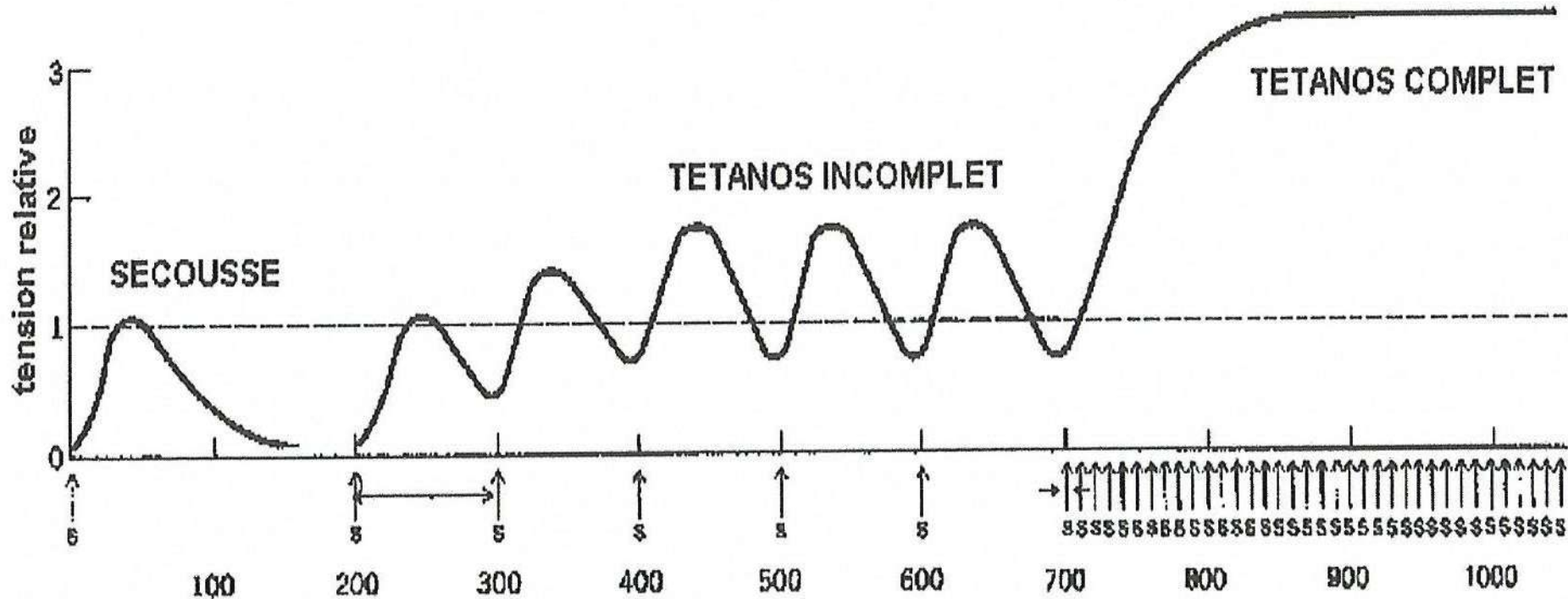
Contraction du muscle squelettique: Sommation temporelle : TETANOS



Cas de stimulations répétées

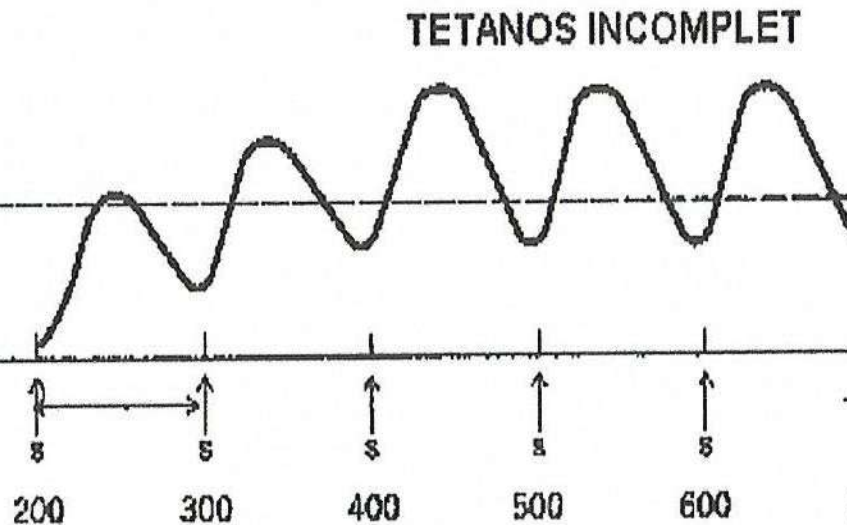


Cas de simulations répétées : la seconde excitation intervient au cours de la période de décontraction



La seconde secousse se superpose à la première. Ensuite les excitations se répètent à la même cadence. On enregistre finalement un tracé d'oscillations successives qui monte jusqu'à un maximum puis se maintient en plateau jusqu'à la fin de l'excitation → **tétanos imparfait**.

Cas de stimulations répétées : **Tétanos imparfait**



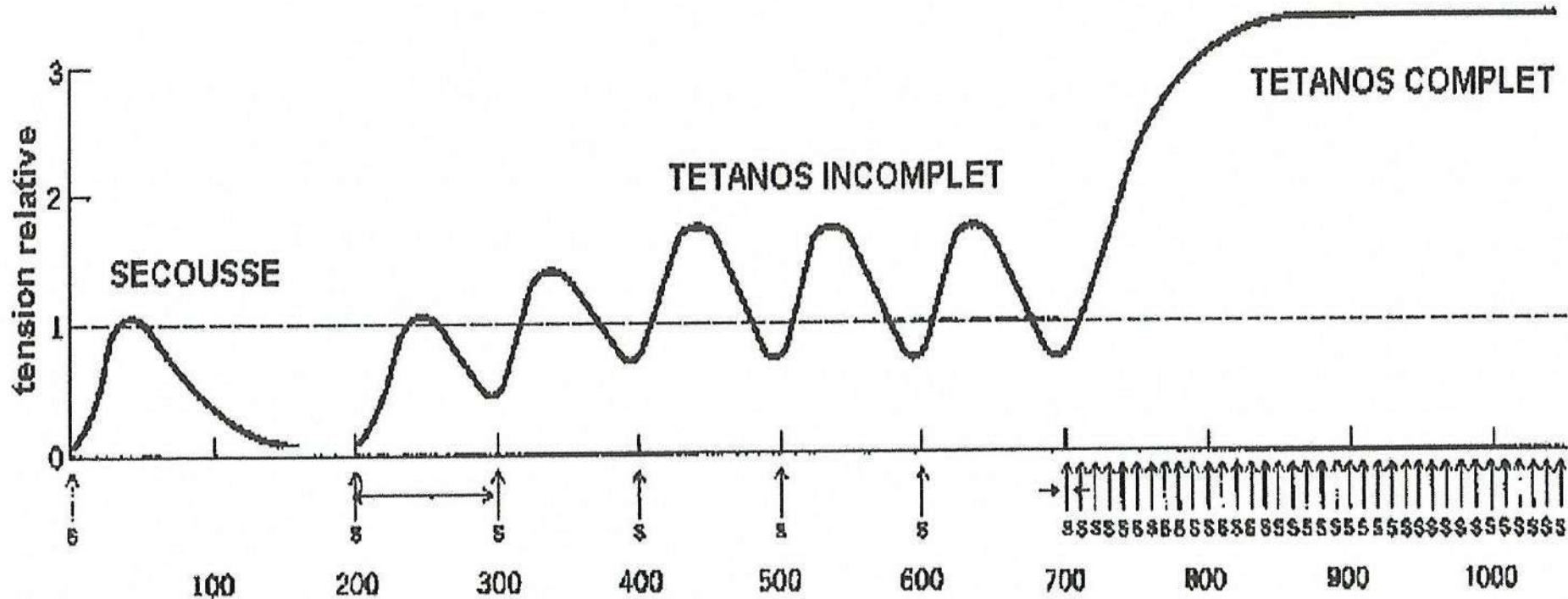
Interprétations: Le phénomène d'escalier résulte surtout des changements de concentrations d'électrolytes. Lorsqu'une série de contraction débute, on constate :
Une augmentation nette de la concentration des ions Ca^{++} à l'intérieur de la fibre musculaire. Cette augmentation est attribuable :

- Au mouvement des ions Ca^{++} vers l'int. de la membrane à chaque PA.
- La concentration des ions Ca^{++} augmente dans le cytosol à cause de la libération de ces ions à partir du réticulum sarcoplasmique.

Une diminution de la concentration intracellulaire de K^+ et une augmentation de celle de Na^+ , ce qui induit une augmentation du taux de libération de Ca^{++} .

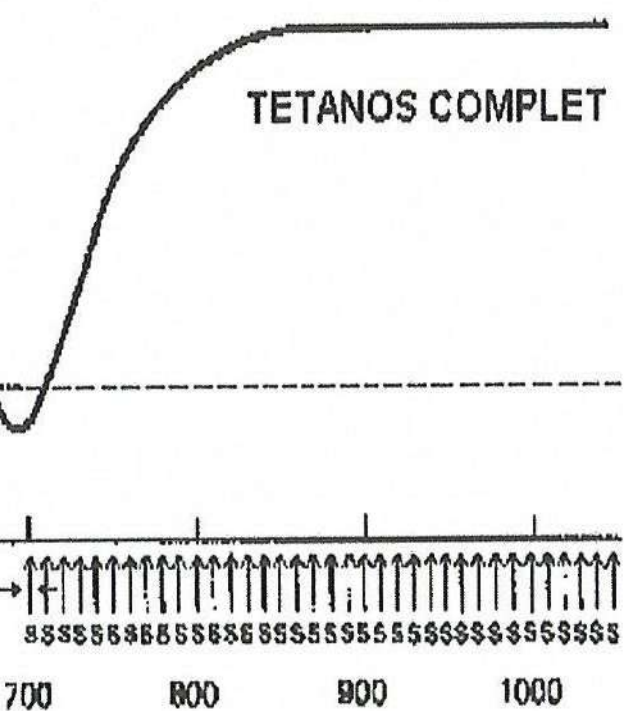
Cas de stimulations répétées : la seconde excitation intervient au cours de la période de contraction

période de contraction



On enregistre , la courbe atteint d'emblée un niveau élevé et s'y maintient sous la forme d'un plateau rectiligne ➔
Tétanos parfait.

Cas de stimulations répétées : **Tétanos parfait**



Interprétations: La téτανisation résulte partiellement de **la viscosité du muscle**, mais, également de la nature du processus contractile lui-même :

\$ Les fibres musculaires sont remplies d'un liquide visqueux, le sarcoplasme et entourés d'aponévroses résistant au changement de longueur du fait de leur viscosité. Ces **facteurs de viscosité jouent donc un rôle dans la fusion des contractions successives.**

\$ **La concentration du Ca^{++} libre** dans les myofibrilles demeure donc constamment au-delà de la concentration nécessaire à l'activation maximale du processus contractile ce qui engendre un **stimulus ininterrompu de la contraction.**

Sommation spatiale

- **La force de la contraction dépend de la sommation spatiale : nombre d'unités motrices qui se contractent simultanément**
- La stimulation nerveuse d'un nombre croissant d'unités motrices d'un même muscle entraîne une force croissante exercée par ce muscle.
 - contractions musculaires faibles et précises : nombre relativement peu élevé d'unités motrices sont stimulées
 - contraction avec force : grand nombre d'unités motrices recrutées

Les différents types de fibres musculaires

Types d'unités motrices

- Les muscles squelettiques sont formés de fibres musculaires de 2 types différents:
 - les fibres de types I ;
 - les fibres de types II.
- Les fibres I ont une activité ATPasique faible,
- Les fibres II ont une activité ATPasique forte.
- Les fibres musculaires innervées par un même motoneurone sont toutes de même type. On peut ainsi parler d'unités motrices de type I et d'unités motrice de type II, qui diffèrent par leurs propriétés structurales et fonctionnelles.

Les types de fibres musculaires

	Fibres ST	Fibres FTa	Fibres FTb
Diamètre	Faible	Important	Important
Couleur (Myoglobine)	Rouge (élevée)	Rose (intermédiaire)	Blanche (faible)
Vascularisation	Importante	Intermédiaire	Faible
Propriétés contractiles	Faible et longue	Intermédiaire	Forte et brève
Activité ATPasique	+	+++	+++
Source ATP	Oxydation	glycolyse	Glycolyse
Enzymes anaérobies	Faible	Intermédiaire	Forte
Fatigabilité	+	++	+++
Enzymes Krebs	+++	++	+
Nbre Mitochondries	+++	++	+

Les types de fibres musculaires

- En moyenne la plupart des muscles contiennent :
 - environ 50 % de fibres ST
 - 25 % de fibres FTa
 - 25 % FTb
- Le % exact de ces fibres varie en fonction du muscle

Unité de type I Petite Unité Lente

Les petites unités motrices (petits motoneurones-fibres lentes oxydatives, résistantes à la fatigue) recrutées pour des niveaux d'excitation synaptique faible, ont une activité tonique quasi permanente (motricité statique

Unité de type II Grande Unité Rapide

A l'opposé, le recrutement des grandes unités motrices n'intervient que quand la volée excitatrice est importante: ces unités motrices ont une activité phasique, liée à des mouvements rapides de grande amplitude (motricité cinétique).³¹

Principe général de la production d'énergie



ATP = Adénosine triphosphate

ADP = Adénosine diphosphate

P1 = phosphate non organique (minéral)

E = Energie

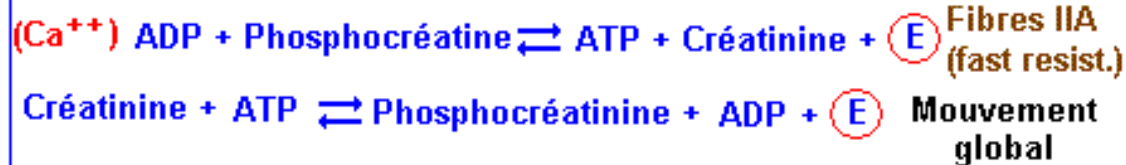
APPLICATION AU MOUVEMENT (trois régimes de fonctionnement)

AEROBIE dépense énergétique faible



Fibres I
Posture

ANAEROBIE ALACTIQUE dépense énergétique moyenne

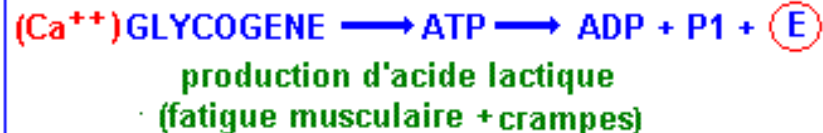


Fibres IIA
(fast resist.)



Mouvement
global

ANAEROBIE LACTIQUE dépense énergétique forte



Fibres IIB
(fast fatig.)
Mouvement
sélectif

Puissance(KJ)

400

**Fibres II B (Fast fatigable)
Fonction phasique sélective**

Anaérobie lactique

200

**Fibres II A (Fast résisitant)
Fonction phasique globale**

Anaérobie alactique

60

**Fibres I (Slow)
Fonction posturale**

Aérobie

6mn

20mn

1h30

4h

20h

x Temps

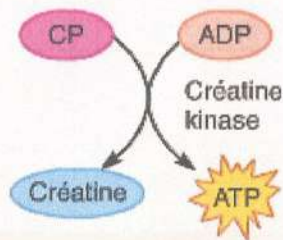
img 16

Le métabolisme

(a) Phosphorylation directe

Réaction couplée de la créatine phosphate (CP) et de l'ADP

Source d'énergie : CP

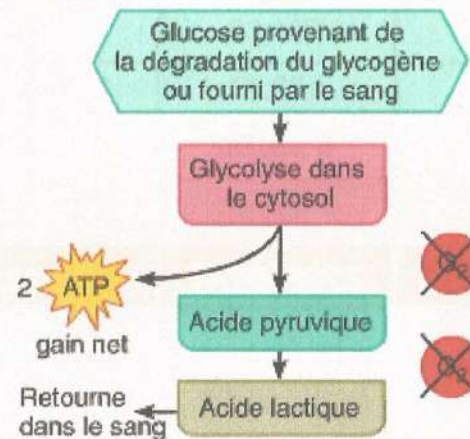


Utilisation d'oxygène : aucune
Produits : 1 ATP par molécule de CP, créatine
Durée de la réserve d'énergie : 15 s

(b) Voie anaérobie

Glycolyse et formation d'acide lactique

Source d'énergie : glucose

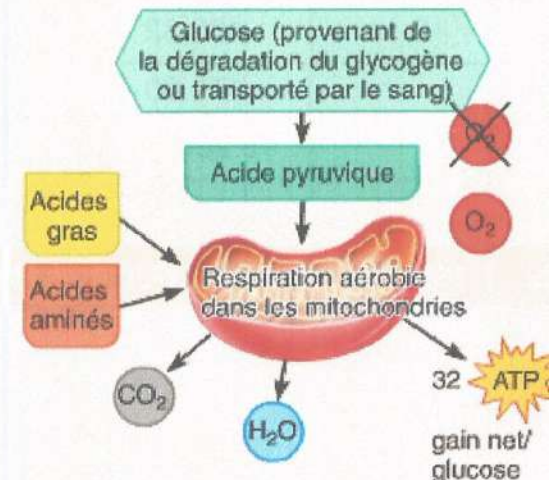


Utilisation d'oxygène : aucune
Produits : 2 ATP par molécule de glucose, acide lactique
Durée de la réserve d'énergie : 60 s ou un peu plus

(c) Voie aérobie

Respiration cellulaire aérobie

Sources d'énergie : glucose ; acide pyruvique ; acides gras libres provenant du tissu adipeux ; acides aminés provenant du catabolisme protéinique



Utilisation d'oxygène : nécessaire
Produits : 32 ATP par molécule de glucose, CO_2 , H_2O
Durée de la réserve d'énergie : plusieurs heures

Figure 9.19 Voies de régénération de l'ATP durant l'activité musculaire. La voie la plus rapide est la phosphorylation directe (a); la plus lente est la voie aérobie (c).

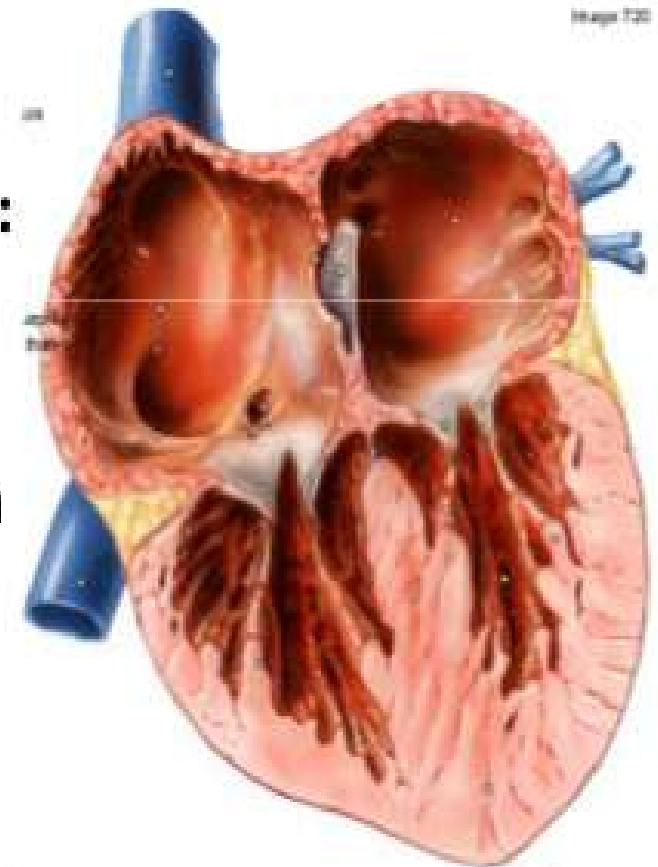


PHYSIOLOGIE DU MUSCLE CARDIAQUE

Le cœur

Morphologie interne

- Le cœur est divisé par la **cloison cardiaque** en 2 moitiés:
 - ✓ Droite (cœur droit)
 - ✓ Gauche (cœur gauche).
- Chaque moitié est subdivisé en 2 cavités:
 - ✓ Atrium (oreillette).
 - ✓ Ventricule.



Les enveloppes cardiaques

Structure

De l'intérieur à l'extérieur:

- **Endocarde:**

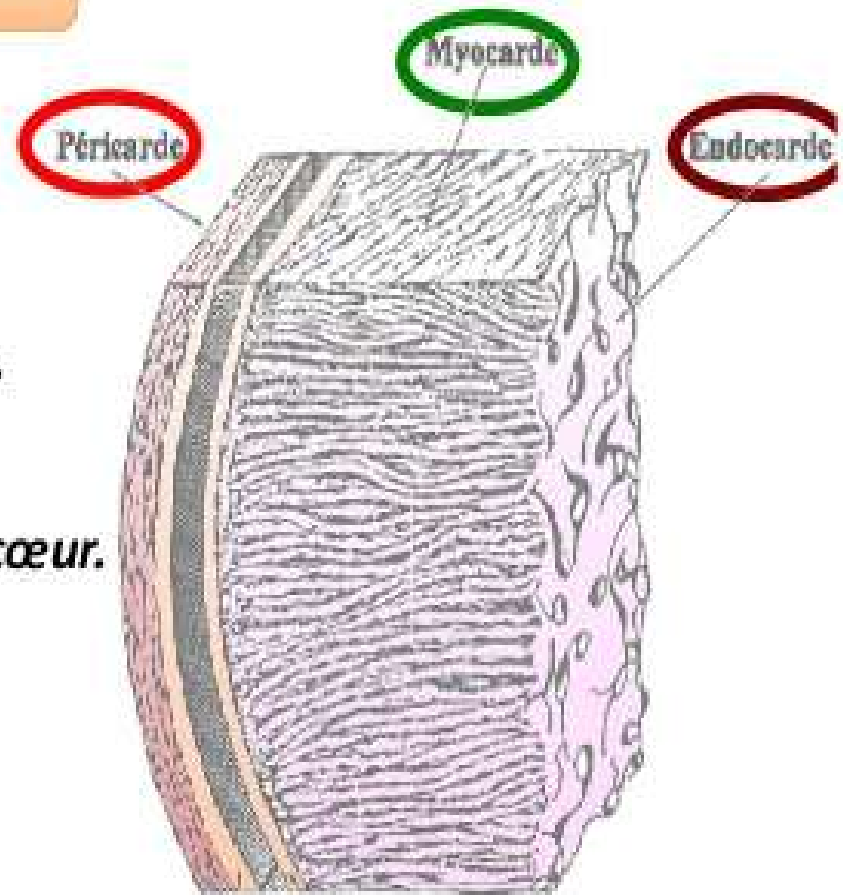
Tapisse les cavités cardiaques.

- **Myocarde:**

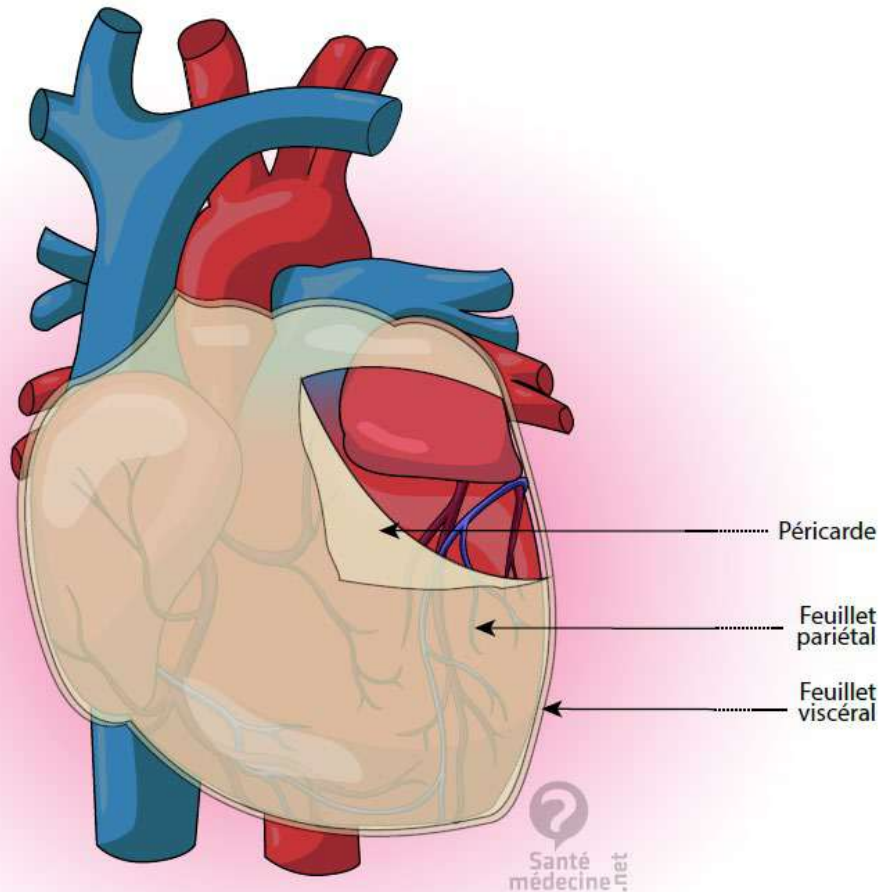
Forme la masse musculaire du cœur.

- **Péricarde:**

Enveloppe le cœur.

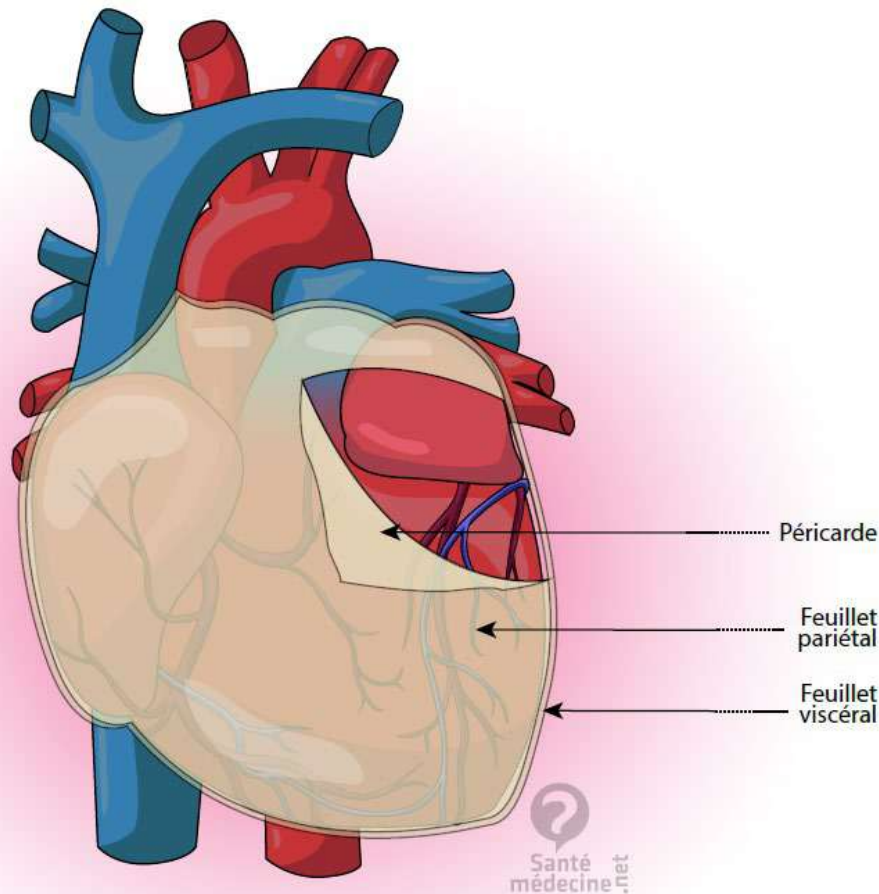


LE PERICARDE



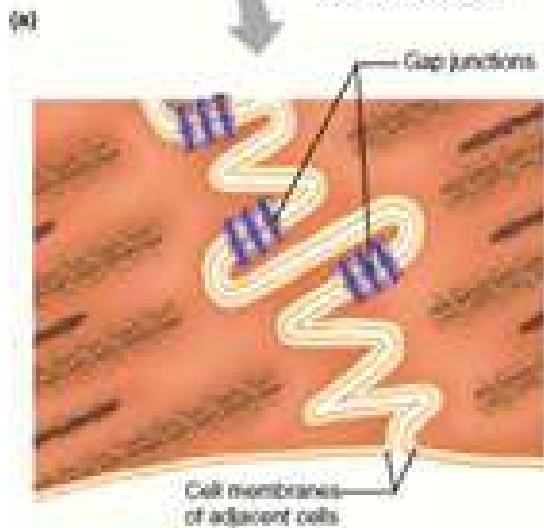
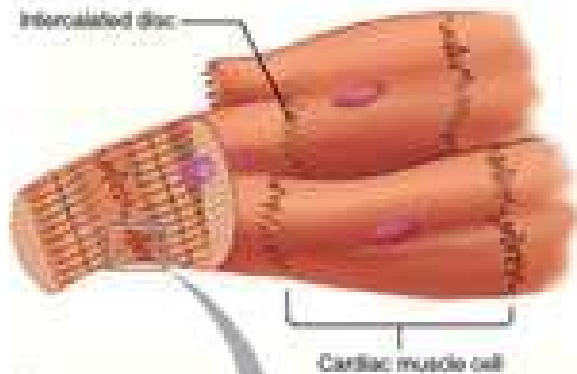
Le coeur est enveloppé par le péricarde, qui se compose de 2 feuillets séparés par une cavité virtuelle remplie de liquide. Le feuillet interne est fixée au myocarde; le feuillet externe, quant à lui, est beaucoup plus lâche.

ROLE DU PERICARDE



- Il protège le cœur et le soutient afin que les structures vitales de la cage thoracique (sternum, vaisseaux sanguin, etc) conservent toujours la même position par rapport au cœur.
- Il permet l'expansion et la contraction du cœur, par ex. en cas d'efforts (battements cardiaques importants). Par ailleurs, il contribue à ajuster la quantité de sang expulsé des ventricules droit et gauche.

Histologie de la cellule cardiaque

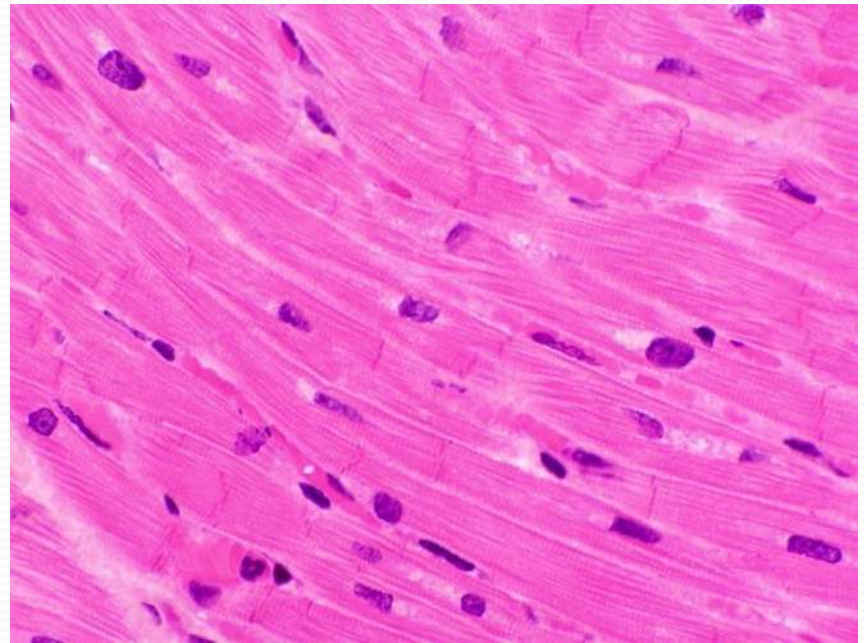


(b)

Sont des fibres allongées, à ramification, possédant des myofilaments d'**actine** et de **myosine** mais elles diffèrent des cellules du muscle strié par différents points : les cellules musculaires cardiaques sont **mononucléées**. Elles sont soudées les unes aux autres grâce à des **disques intercalaires**, Elles sont beaucoup **plus courtes** et forment des fibres par la mise bout à bout de plusieurs cellules liées par des **systèmes de jonction** grâce auxquelles ils forment un véritable syncytium. les cellules satellites n'existent pas et de ce fait, la **régénérescence** des cellules lésées est **impossible**.

Ultra-structure

- **Éléments principaux :**
myofibrilles (47%) et
Mitochondries (36% du
total)
- **Structures membranaires:**
système tubulaire
transverse (T) et réticulum
sarcoplasmique
- **Myofibrilles: alternance de**
bandes sombres et claires

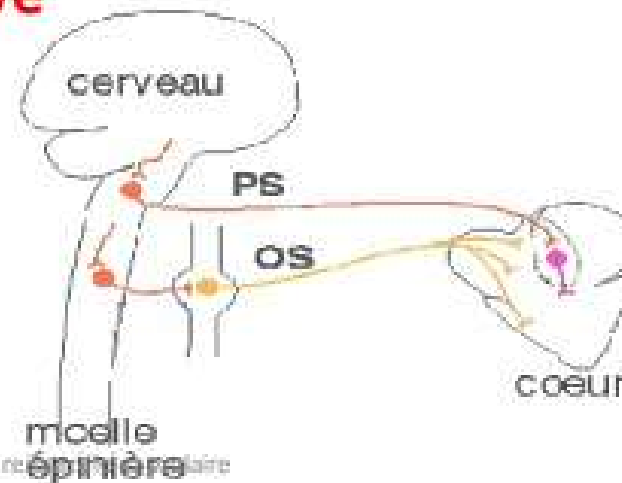
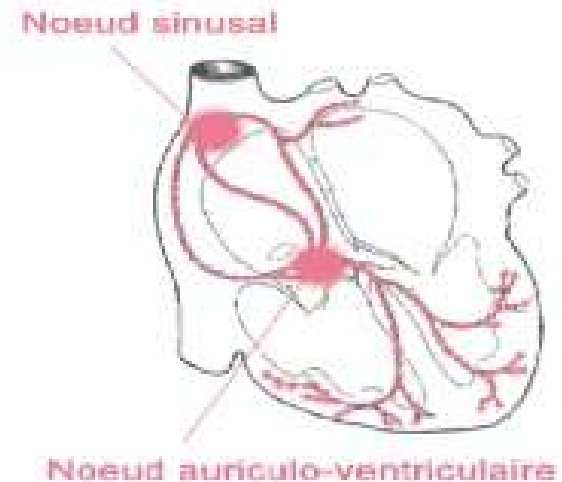


Le cœur

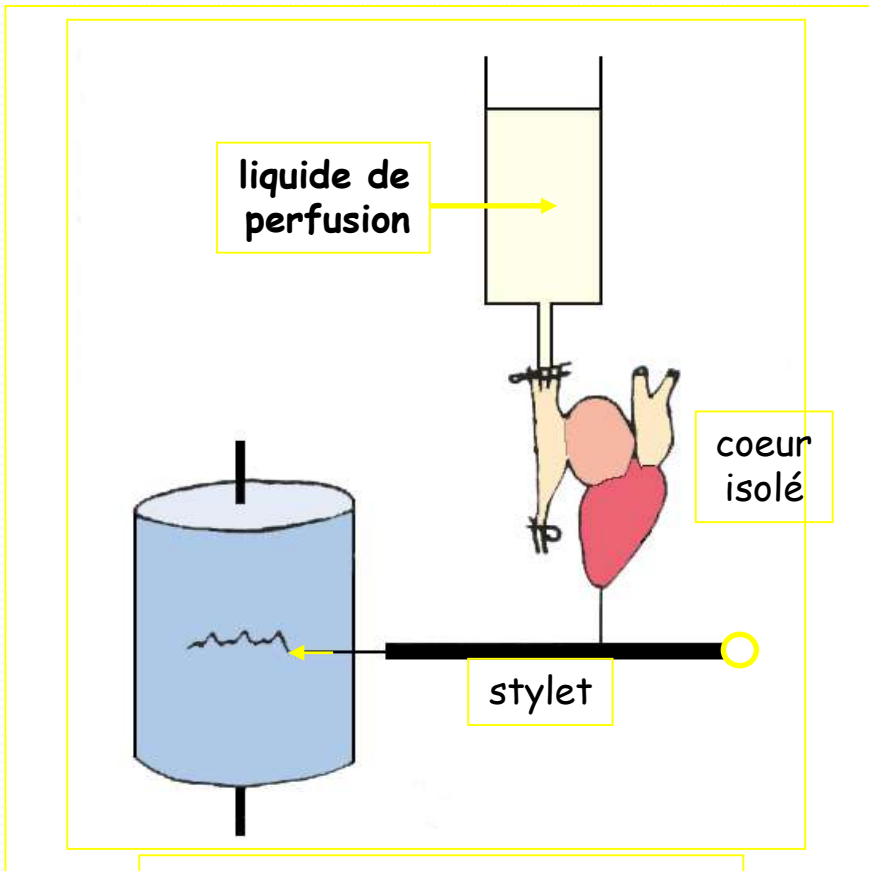
Innervation

Le cœur présente :

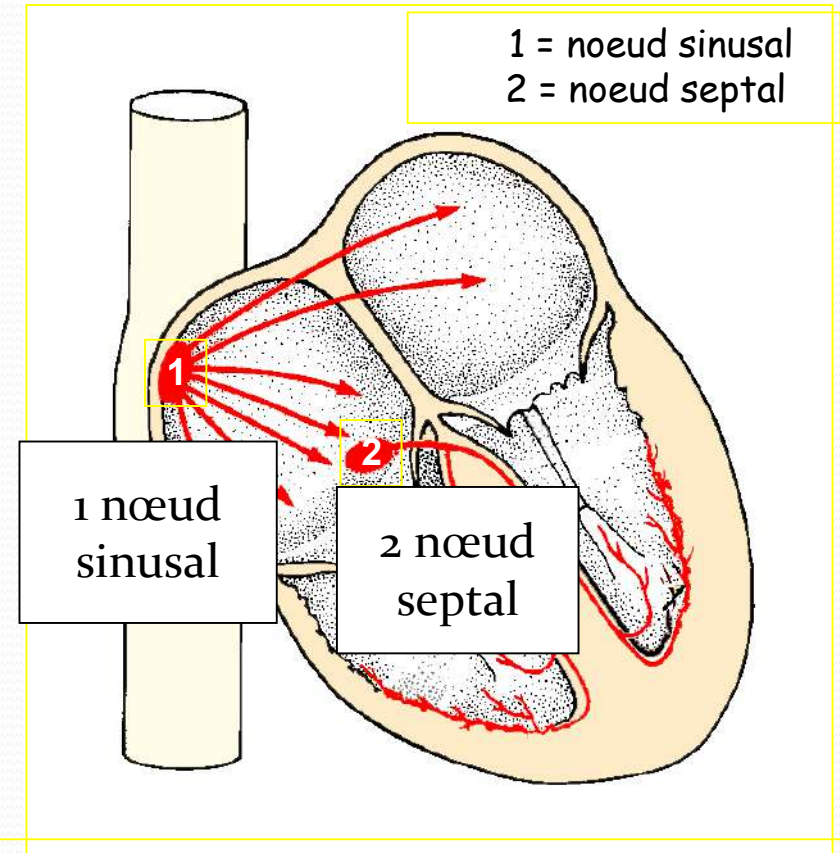
- Une **innervation autonome** assurée par le **tissu nodal**.
- Une **innervation végétative** assurée par **les nerfs cardiaques**.



L'automatisme cardiaque

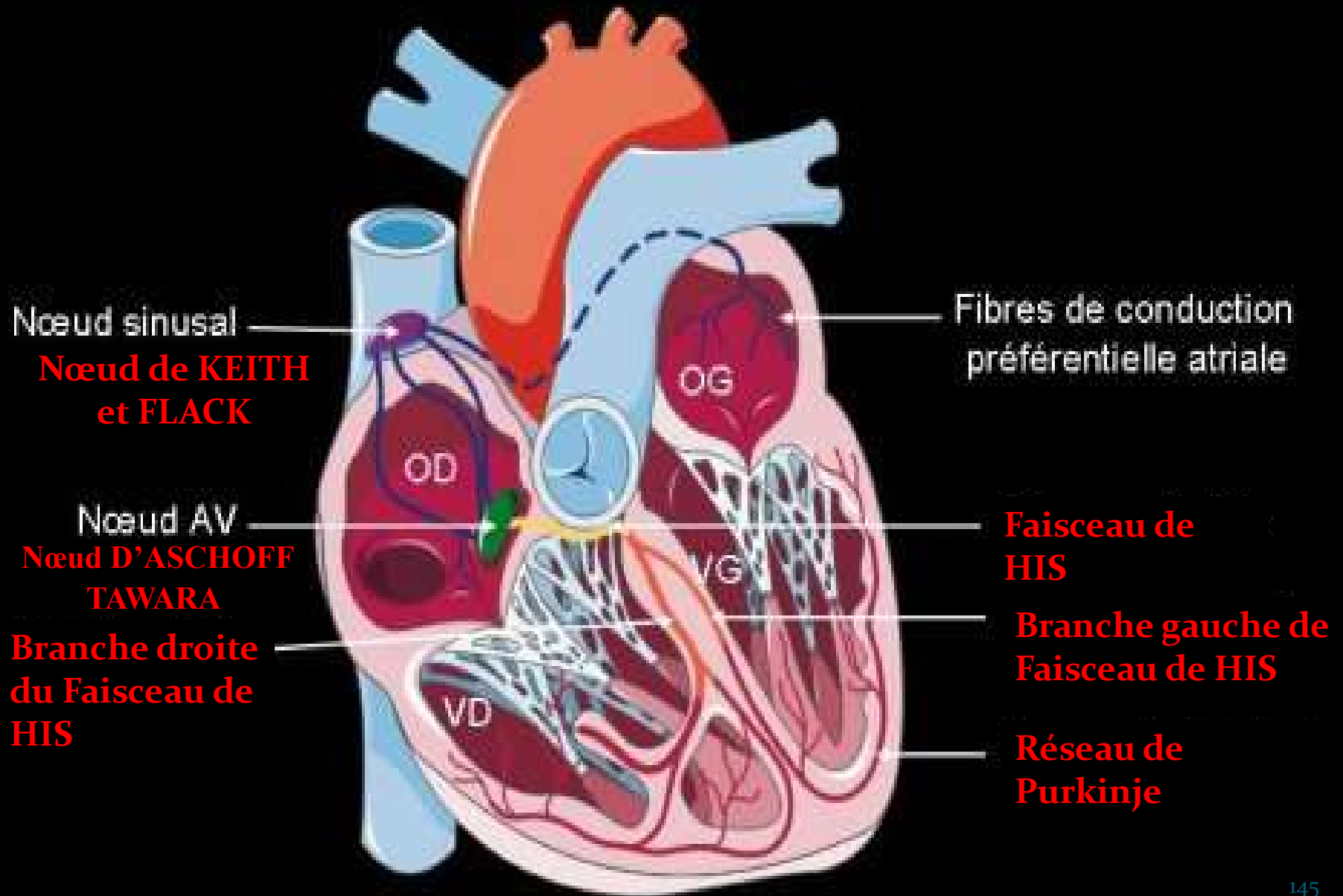


**Montage permettant
d'enregistrer
les contractions
d'un coeur isolé**

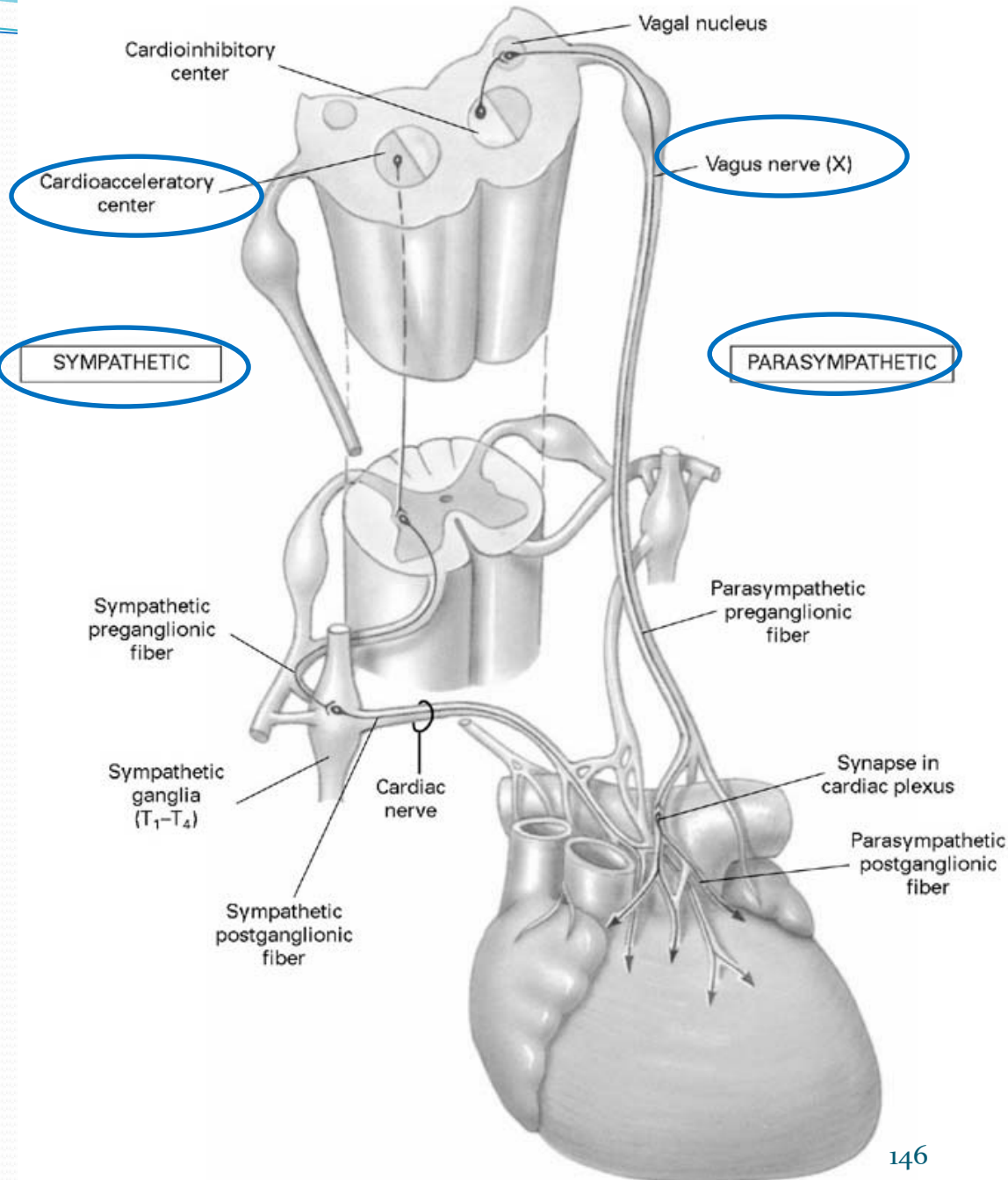


**Centres d'automatisme et
voies de conduction dans le coeur**

Le tissu nodal



Contrôle de la fonction cardiaque par le système nerveux autonome



L'EXCITABILITE DE LA MEMBRANE CELLULAIRE CARDIAQUE

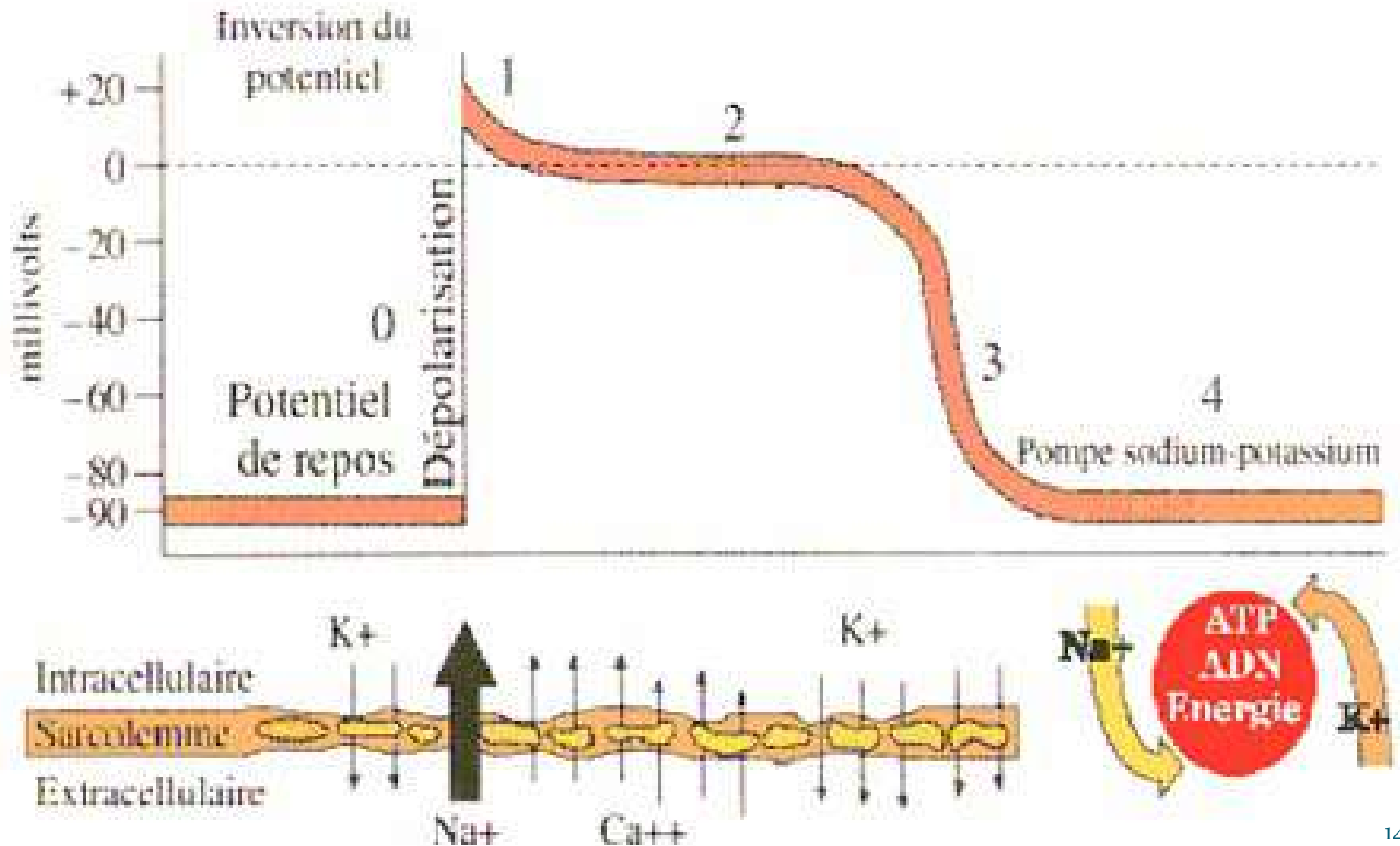
1. Le potentiel membranaire

1. Le potentiel membranaire est stable dans les cellules musculaires; il ne l'est pas dans les cellules nodales (*douées d'automaticité*).

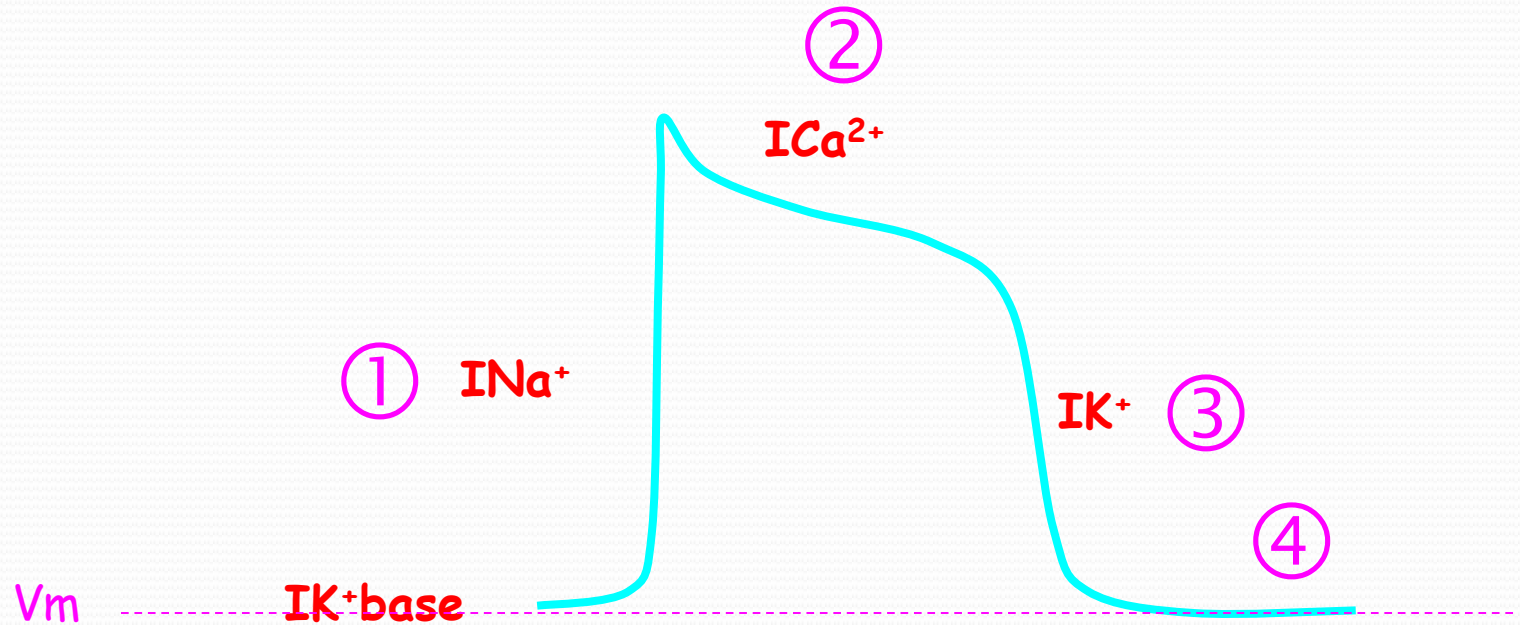
A l'état de repos, la composition intracellulaire en K^+ est 30 X celle du Na^+ . Cette répartition est maintenue grâce à une différence de perméabilité du Na^+ et de K^+ . Le flux sortant du K^+ est plus important que le flux entrant du Na^+ entraînant une augmentation des charges positives à l'extérieur et des charges négatives à l'intérieur. La cellule myocardique est donc porteuse de différence de charge entre le milieu intracellulaire et celui extracellulaire (la fibre myocardique est **polarisée**). Cette différence est le **potentiel de membrane**.

Au repos, le potentiel transmembranaire de la cellule cardiaque varie entre -70 et -90 mv selon le type de cellule.

Potentiel d'action de cellule ventriculaire

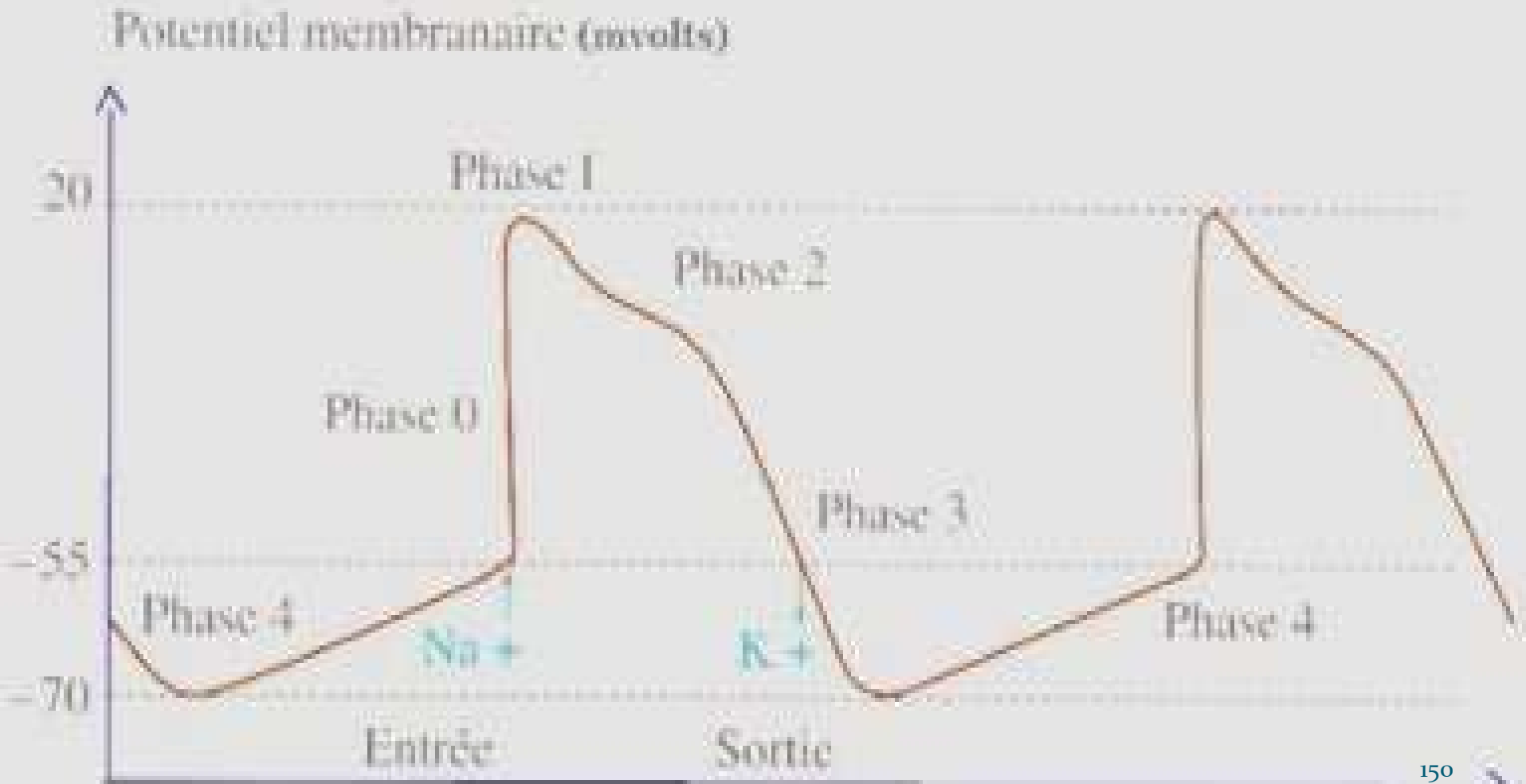


Potentiel d'action de cellule ventriculaire

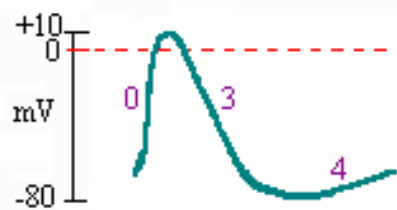
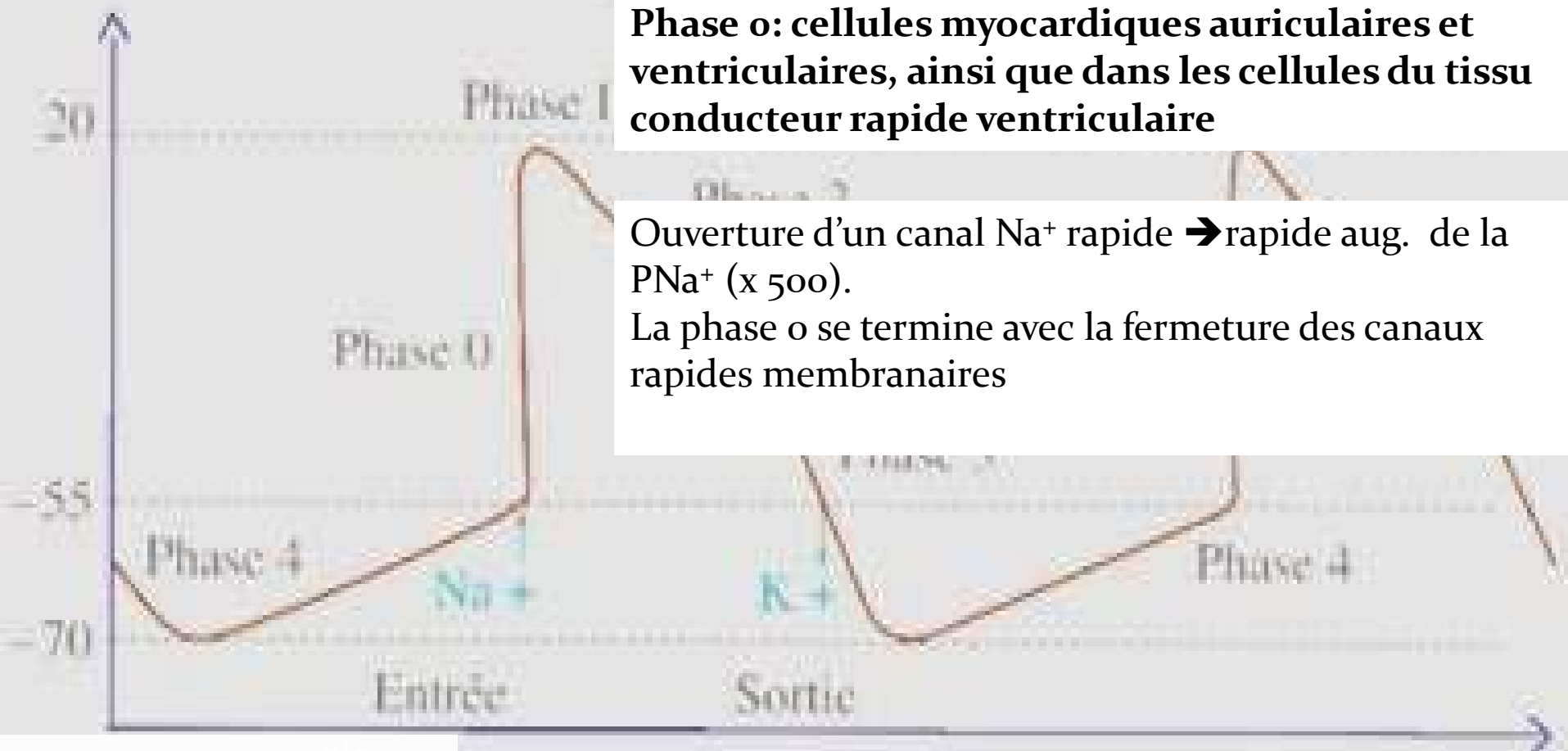


- ① dépolarisation (courant sodium dépendant du potentiel)
- ② phase plateau (courant calcium dépendant du potentiel)
- ③ repolarisation (courant potassium dépendant du potentiel)
- ④ Pompe Na-K ATPase

P A cardiaque

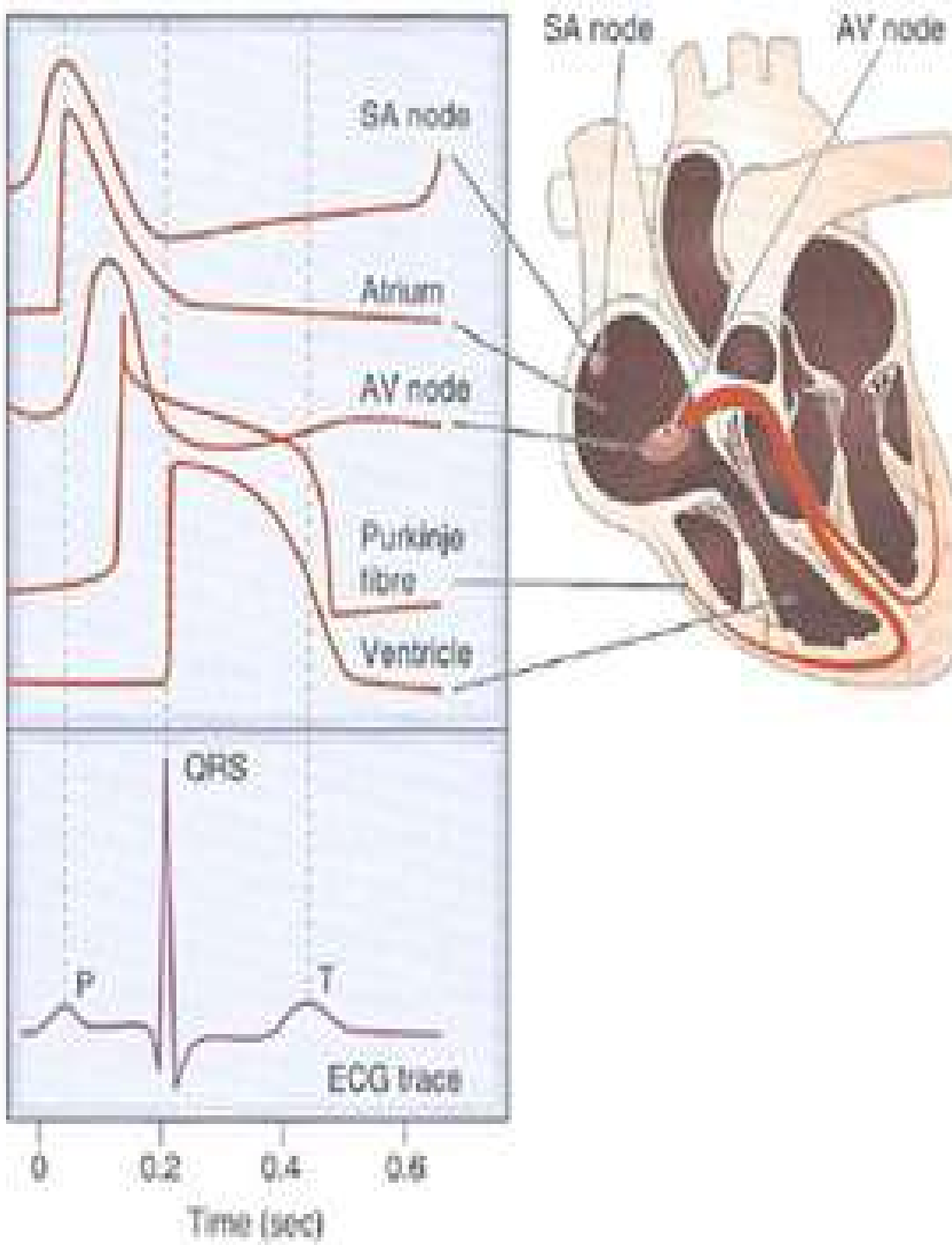


Potentiel membranaire (mV)



Dans les cellules du nœud SA et du nœud AV, le potentiel de repos bas, de l'ordre de -60 mV, la pente de la phase 0 est faible: le courant sodique entrant rapide n'existe pas ou n'est pas fonctionnel et cette phase 0 est due principalement à l'entrée passive plus lente des ions calcium.

Allures du PA

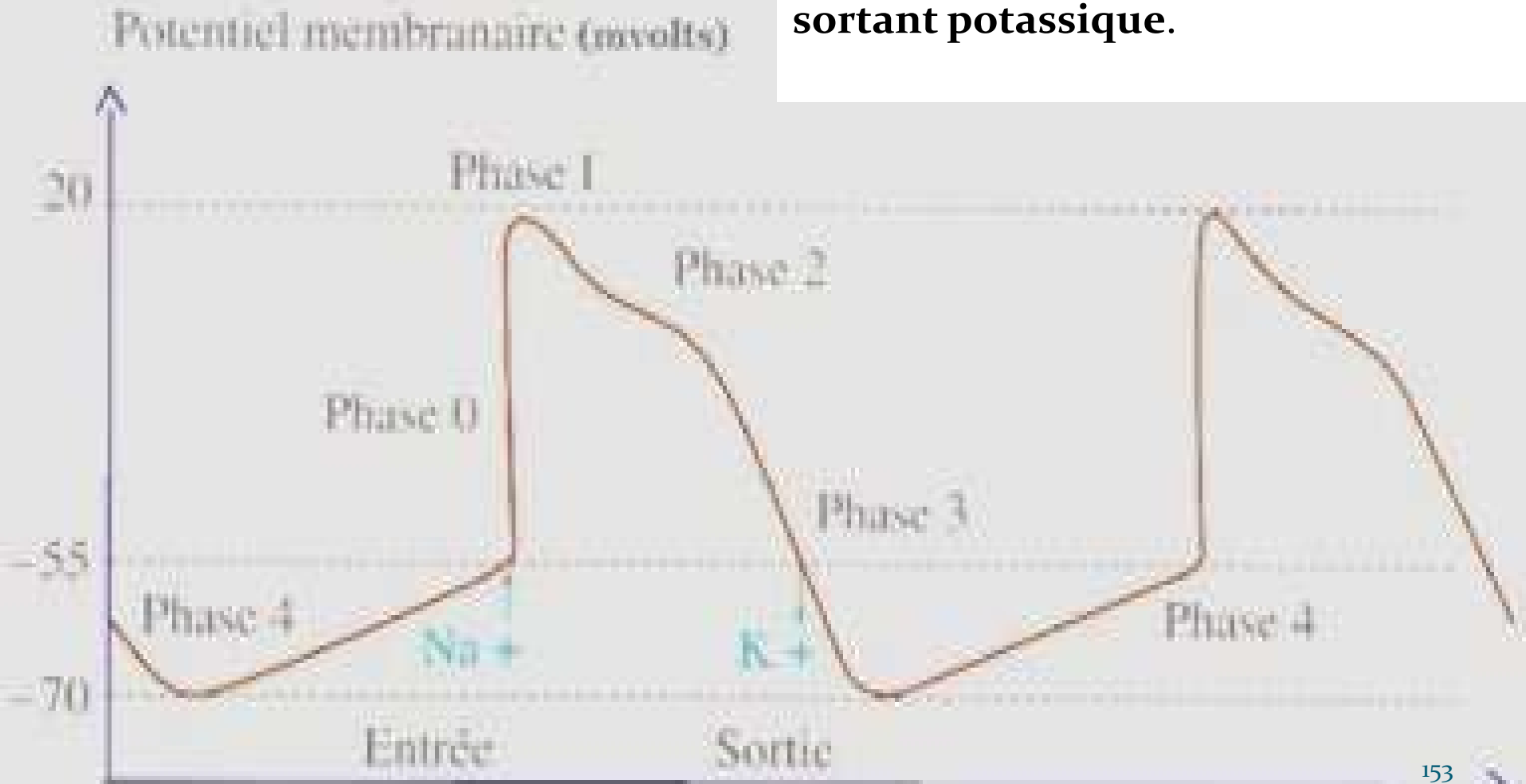


La repolarisation

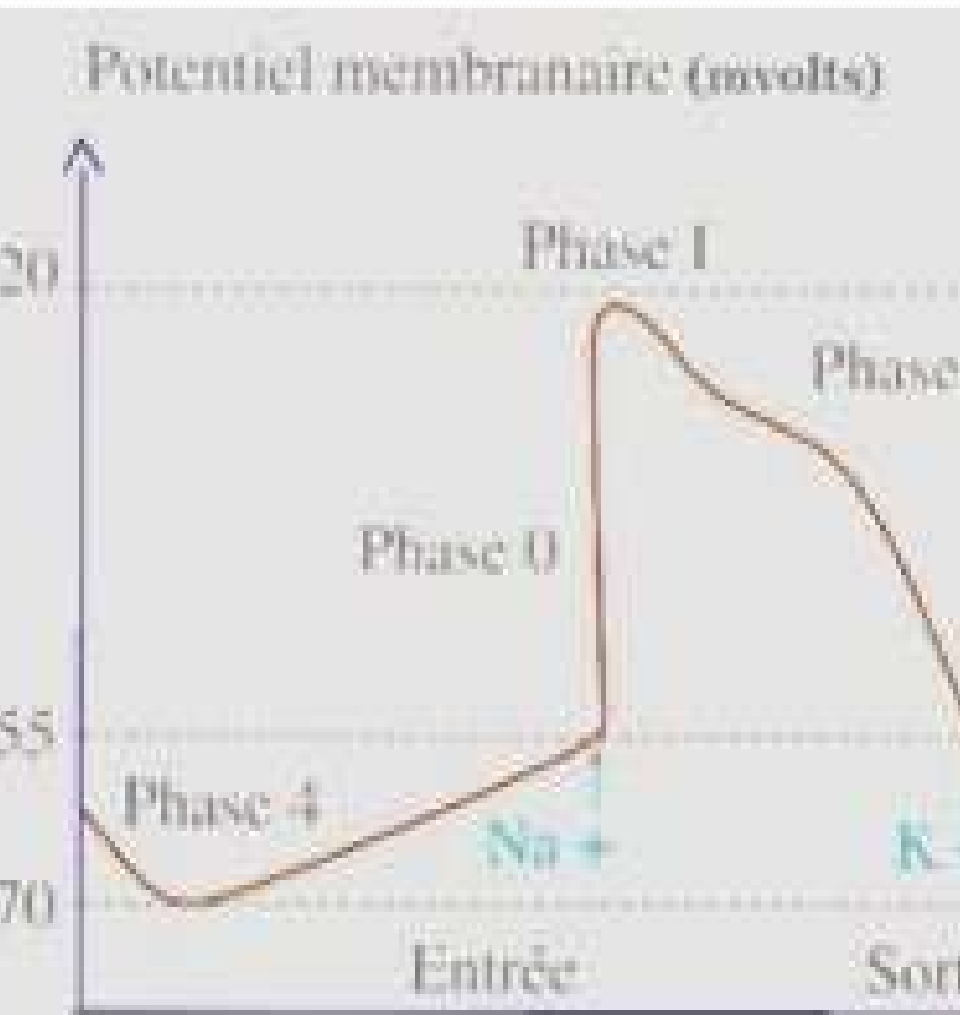
(phase 1 à 3)

La phase 1 : C'est la phase de repolarisation rapide précoce.

- Inactivation du courant entrant sodique rapide,
- Activation de courants transitoires entrant chlorure ou sortant potassique.



La repolarisation (phase 1 à 3)



La Phase 2: C'est la phase du plateau du potentiel d'action:

Elle correspond à une repolarisation lente qui peut durer plusieurs centaines de millisecondes, due à:

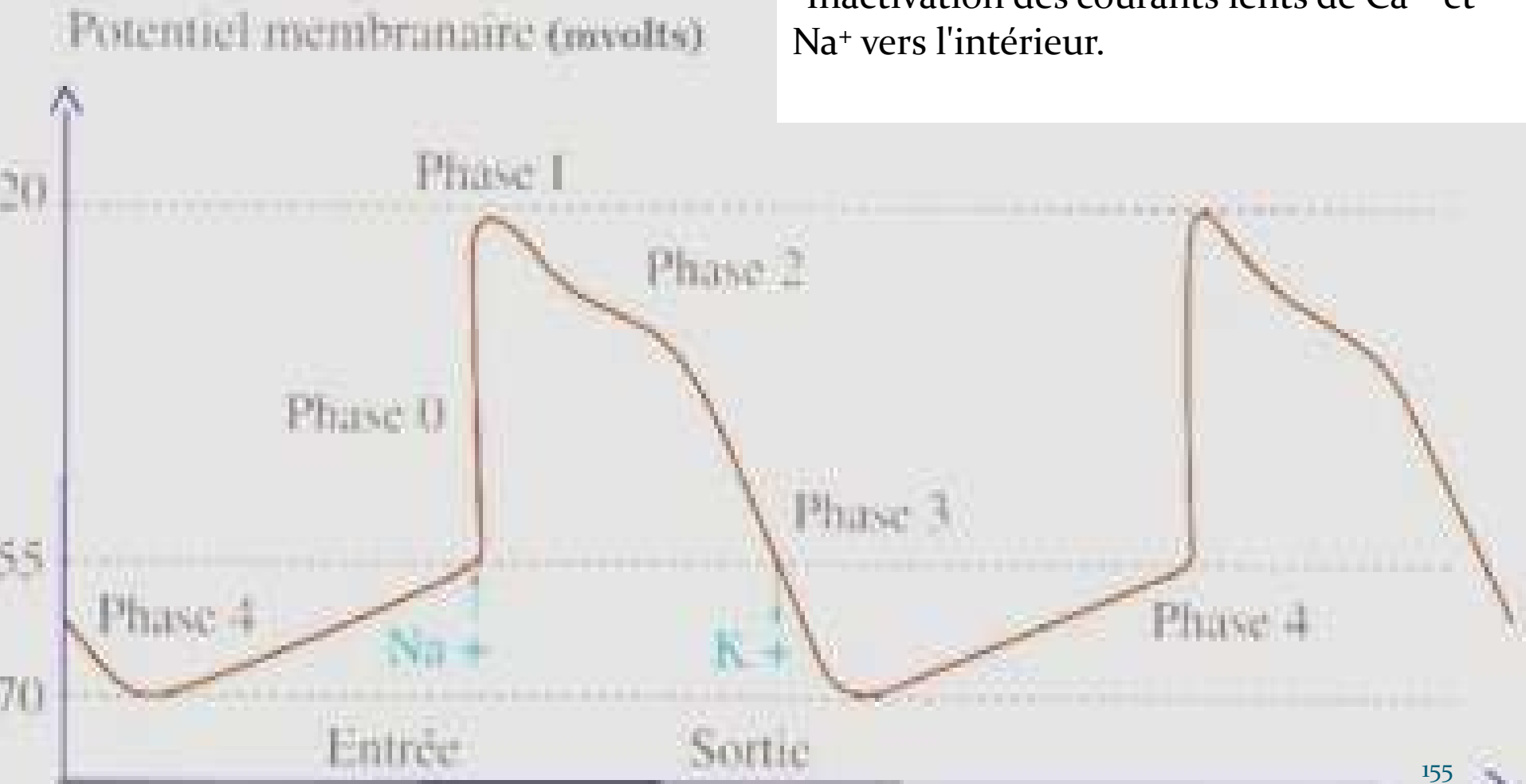
- L'ouverture d'un canal supplémentaire responsable de l'entrée lente du calcium et à l'inactivation du courant sodique entrant.
- La diminution de la conductance potassique PK^+ et les ions potassium vont tendre à rester dans la cellule bien qu'un léger efflux persiste.

Ainsi, le Pmb va se maintenir à 0 mV pendant 0.1 à 0.4 s. Pendant cette phase, le calcium va entrer massivement dans la cellule et être stocké au niveau du réticulum avant d'être utilisé pour la contraction suivante. (pendant ce délai le ventricule ne peut être à nouveau dépolarisé, il est en période réfractaire absolue).

La repolarisation (phase 1 à 3)

La Phase 3: C'est la phase de repolarisation finale rapide.

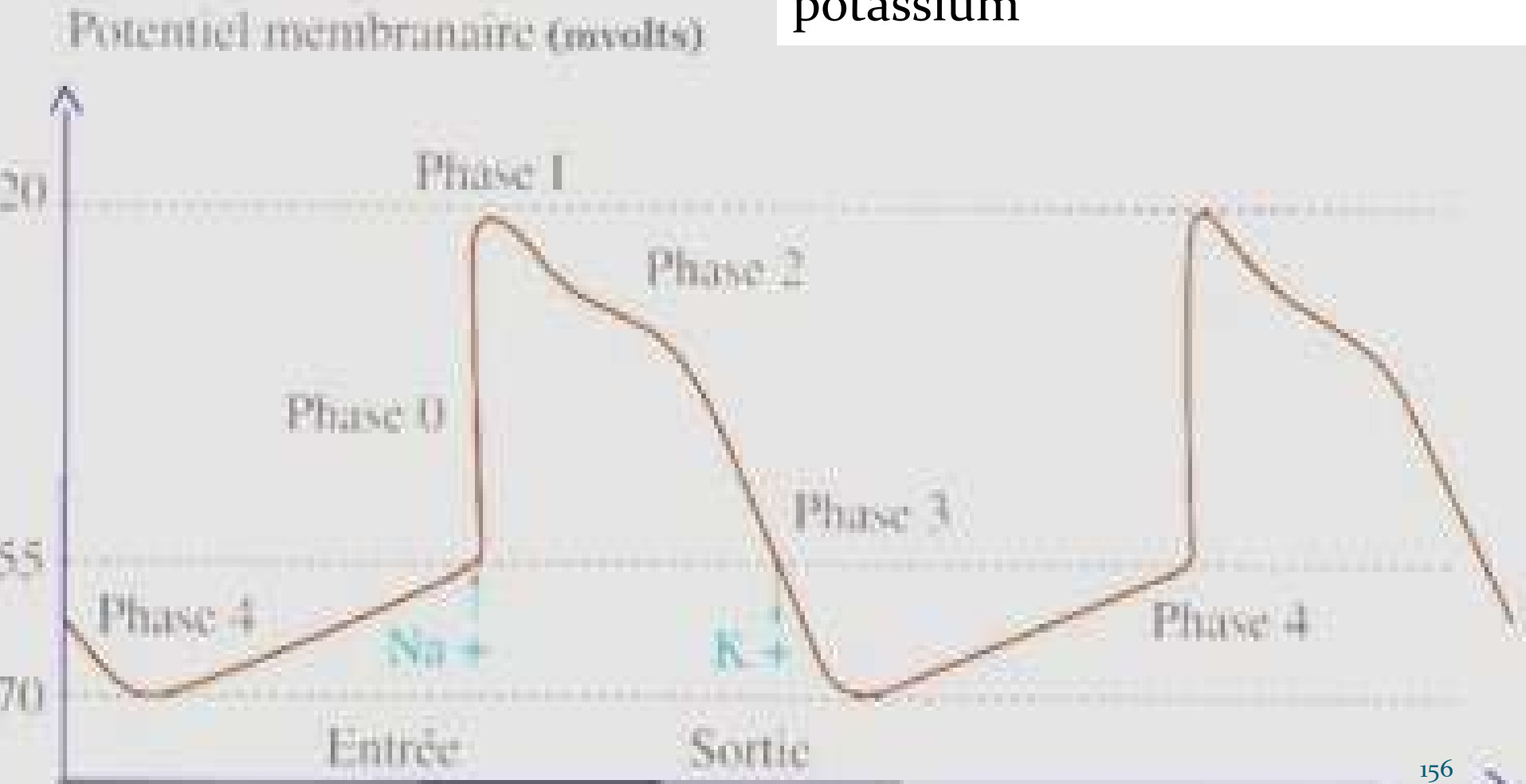
- Augmentation de la conductance potassique, P_k . Les ions potassium vont diffuser vers l'extérieur de la cellule.
- Inactivation des courants lents de Ca^{2+} et Na^+ vers l'intérieur.



La repolarisation

(phase 1 à 3)

La Phase 4: Pendant cette phase, la cellule récupère son potentiel de repos: Elle correspond à la mise en marche de la pompe au sodium-potassium



Les périodes réfractaire

- La **période réfractaire absolue** correspond à **la phase 2 et au début de la phase 3** du décours du PA. La cellule cardiaque est inexcitable tant que la repolarisation est incomplète car les **courants sodiques rapides I_{Na} et calciques lents I_{Ca} sont inactivés**. Le voltage de l'intérieur de la cellule n'est pas devenu suffisamment négatif pour initier ou propager un PA.

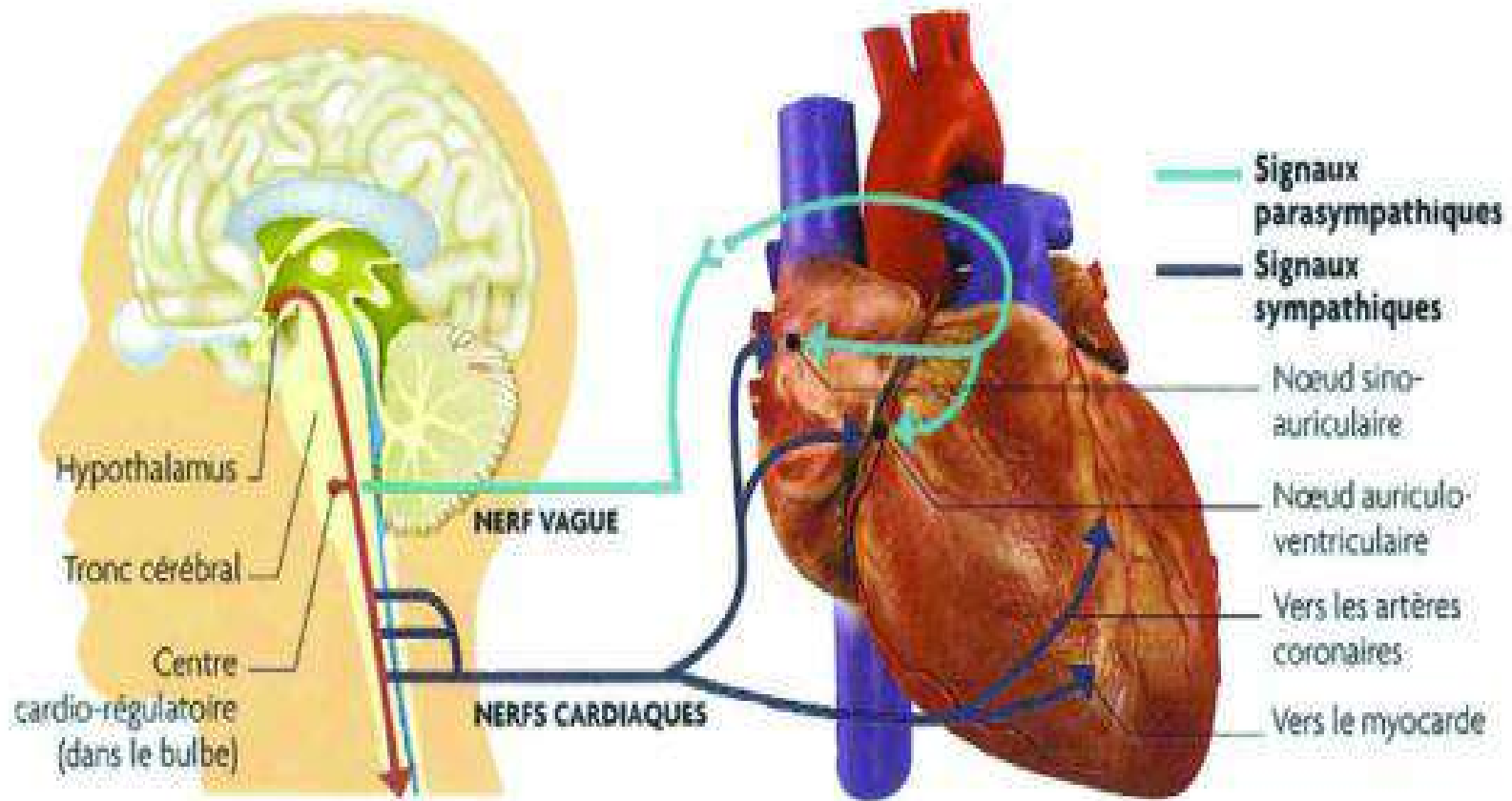
- L'état de période réfractaire absolue est suivi par la **période réfractaire relative** durant laquelle la cellule est capable de répondre à un stimulus plus fort que la normale. En effet, à mesure que le voltage de la cellule devient plus négatif à **la fin de la phase 3**, le potentiel transmembranaire peut ne pas avoir atteint sa valeur normale de repos mais être cependant suffisamment négatif pour qu'un stimulus puissant puisse évoquer une réponse.

- N.B. : Il existe une autre période : **La période réfractaire effective**, qui inclut la période réfractaire absolue et la phase durant laquelle la cellule peut être stimulée, mais, elle est incapable de conduire l'influx cardiaque.

Loi du Tout ou Rien

Toute excitation d'une cellule **ventriculaire** entraîne l'excitation complète des cellules des deux ventricules. En effet, toutes ces cellules sont liées par des ponts perméables inter cellulaires ("**gap junction**"), créant ainsi un véritable **syncytium**, d'où une stimulation de toutes les cellules ventriculaires à partir d'une seule.

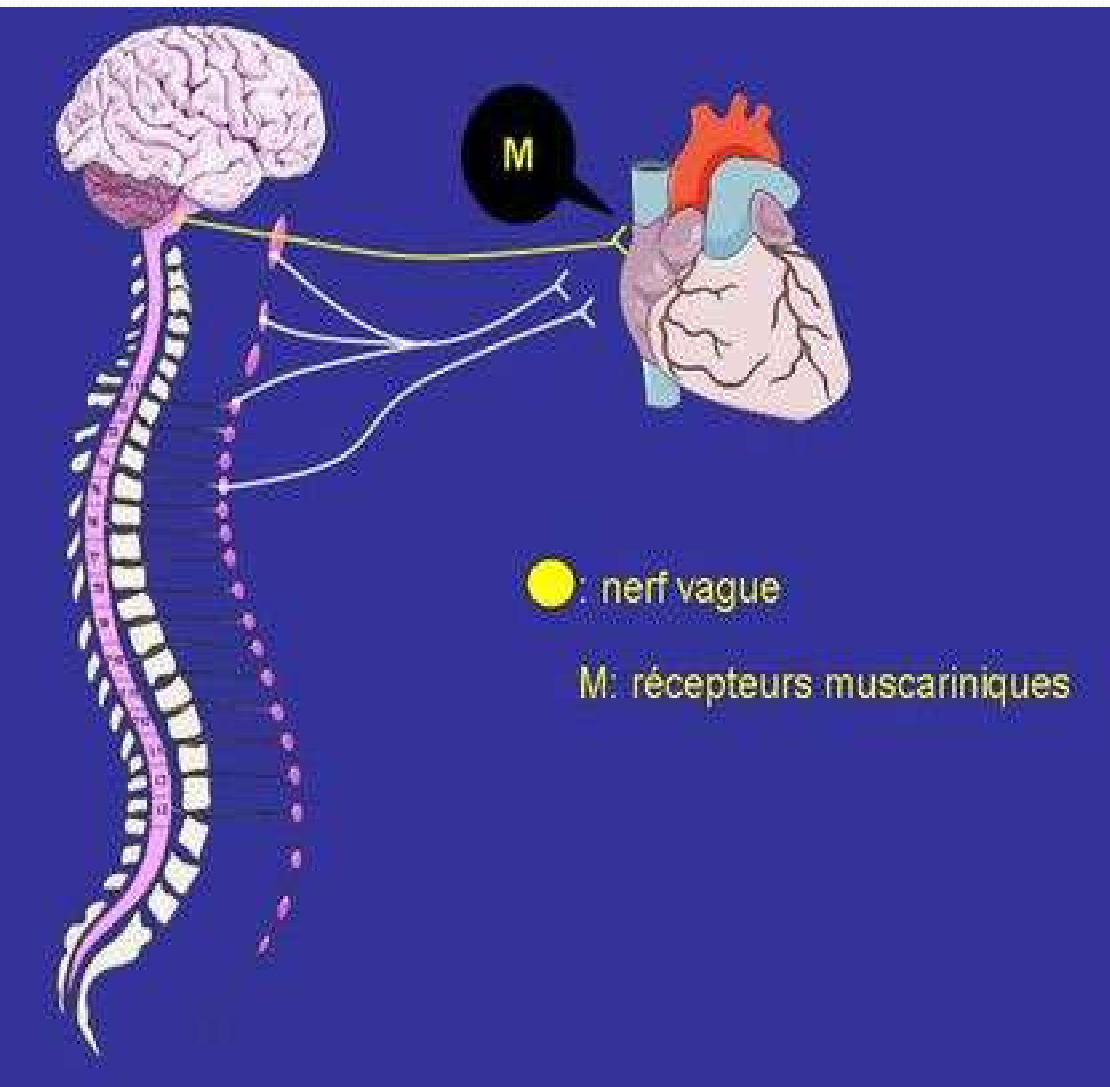
REGULATION DE LA FONCTION CARDIAQUE



Définitions

- **Inotropisme**: se rapporte à la force de contraction des fibres myocardiques
- **Chronotropisme**: se rapporte à la fréquence des contractions cardiaques
- **Dromotropisme**: se rapporte à la conductibilité des fibres myocardiques
- **Bathmotropisme**: se rapporte à l'excitabilité du myocarde

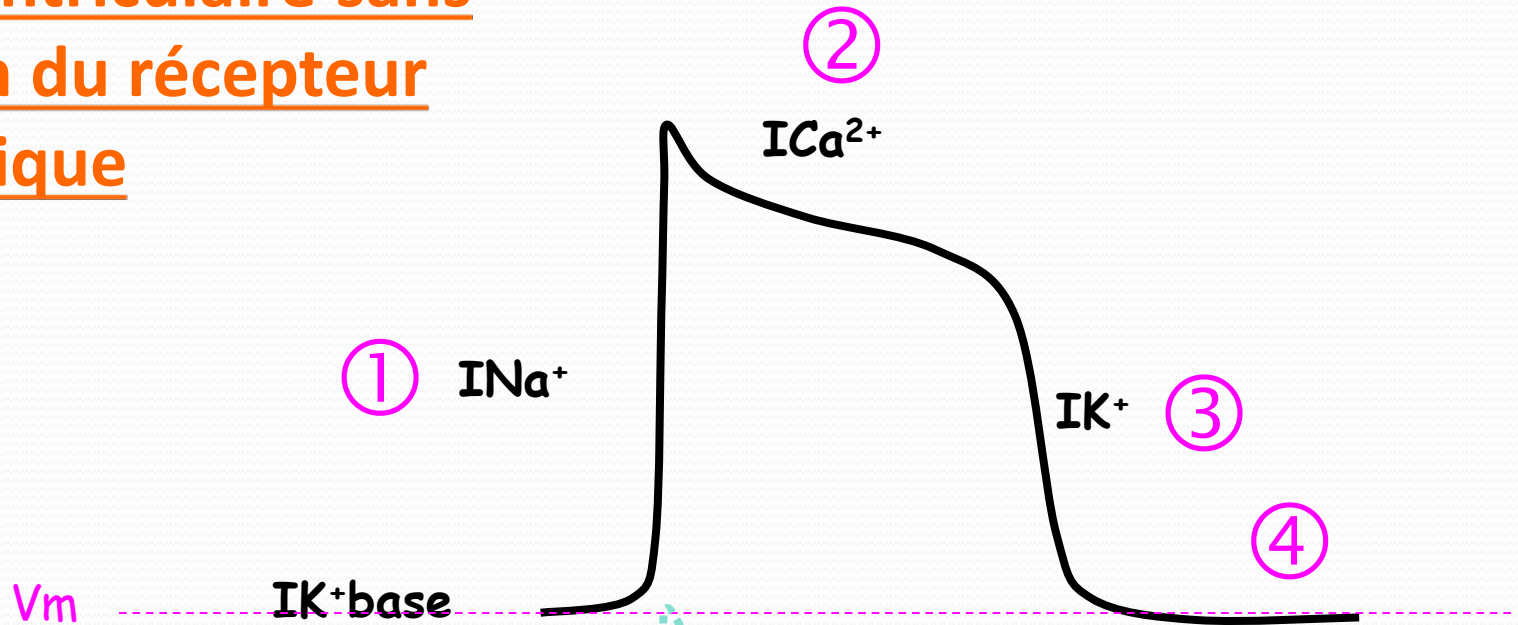
LES EFFETS INHIBITEURS CARDIAQUES PROVOQUÉS PAR LE SYSTÈME PARASYMPATHIQUE



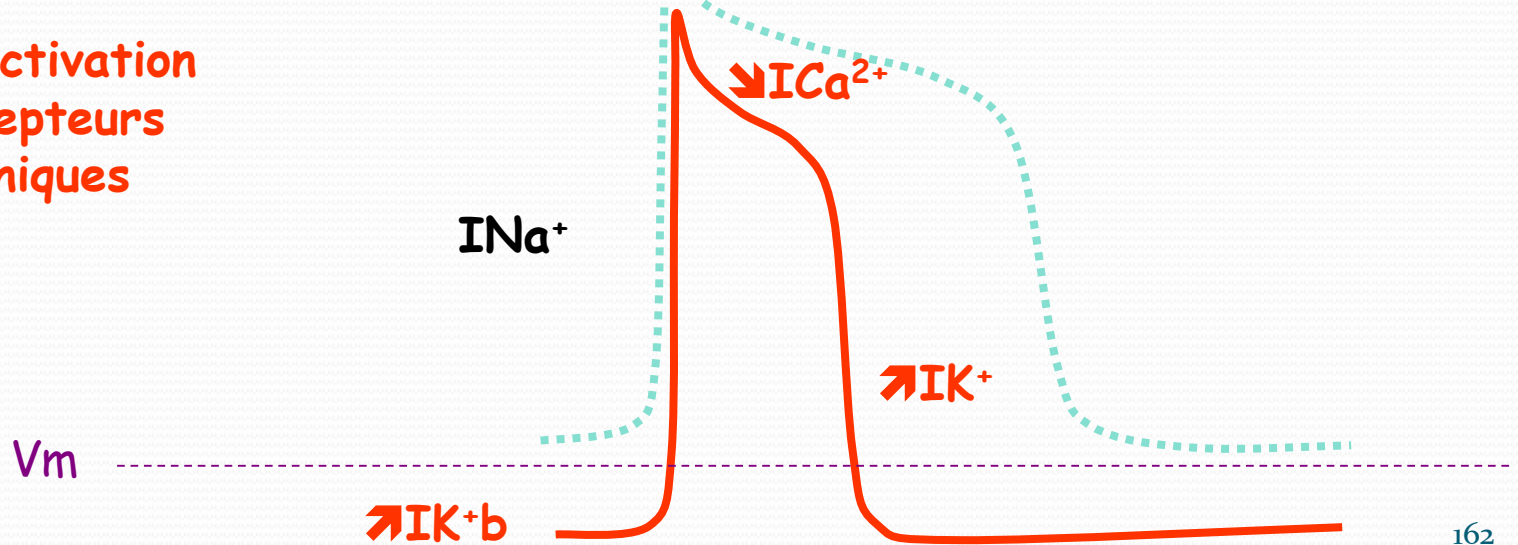
Les nerfs parasympathiques sécrètent l'Ach, qui stimule les récepteurs cardiaques, (surtout dans l'OD). Elle a un effet inhibiteur cardiaque.

- ↓ de la vitesse d'entraînement du nœud SA
- ↓ de la vitesse de conduction
- ↓ de la force de contraction
- ↓ excitabilité de certains foyers (atrial et jonctionnel)

Potentiel d'action de cellule ventriculaire sans excitation du récepteur muscarinique

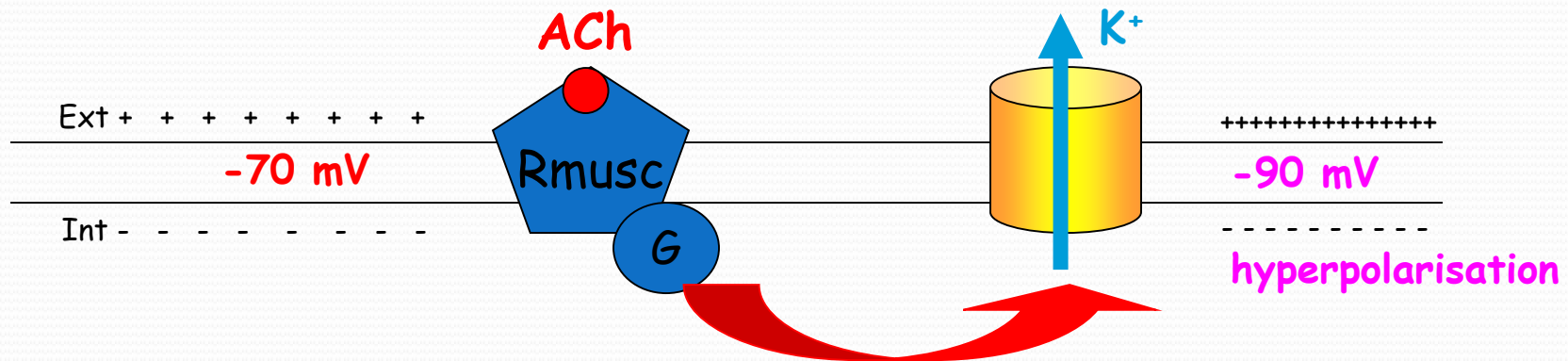


Après activation des récepteurs muscariniques



Effet biologique du R. métabotrope de l'acétylcholine

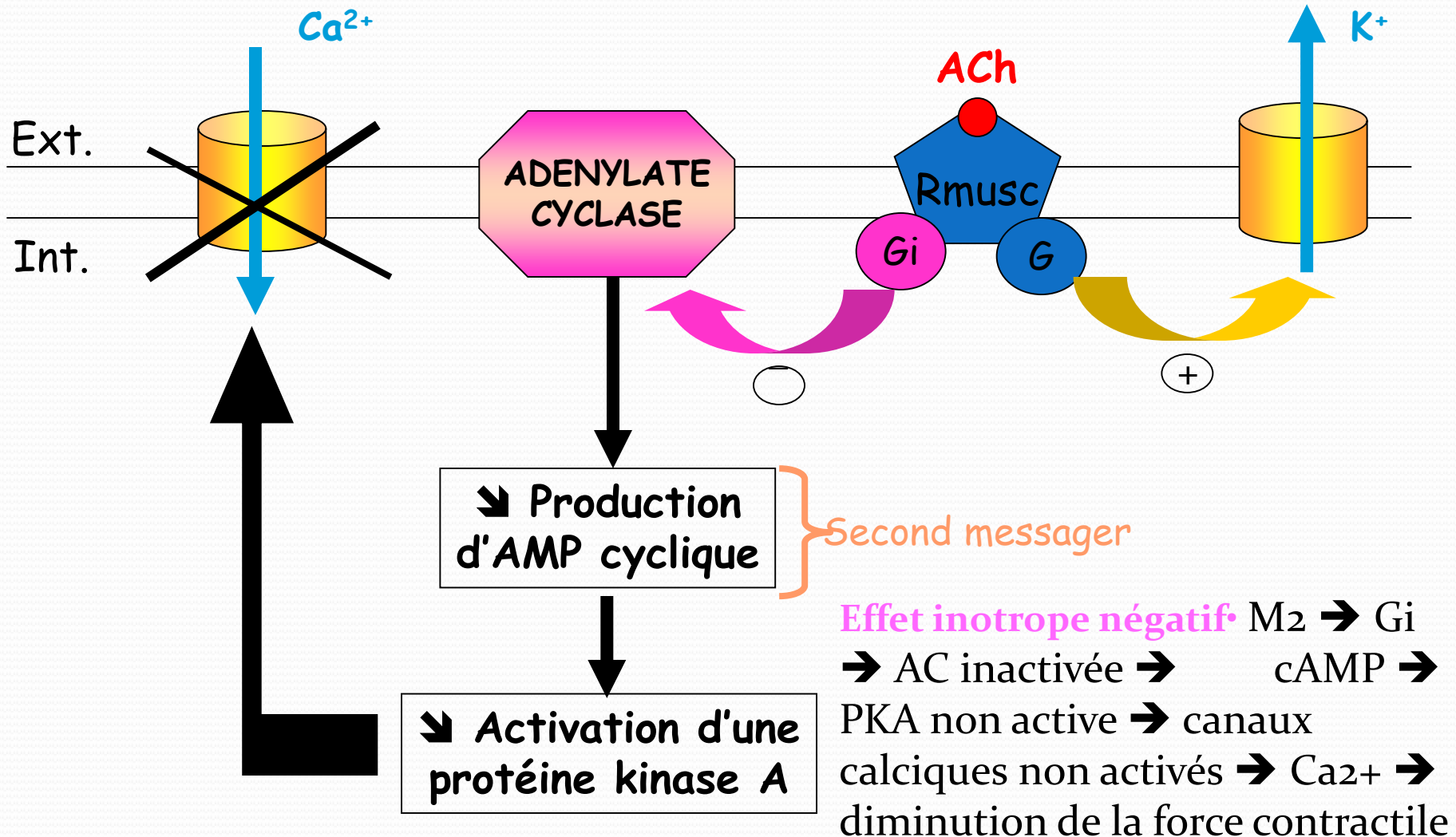
Au niveau du coeur, il s'agit d'une modulation directe (sans l'intervention d'un effecteur) d'une conductance potassique (activation de canaux perméables aux ions K^+)



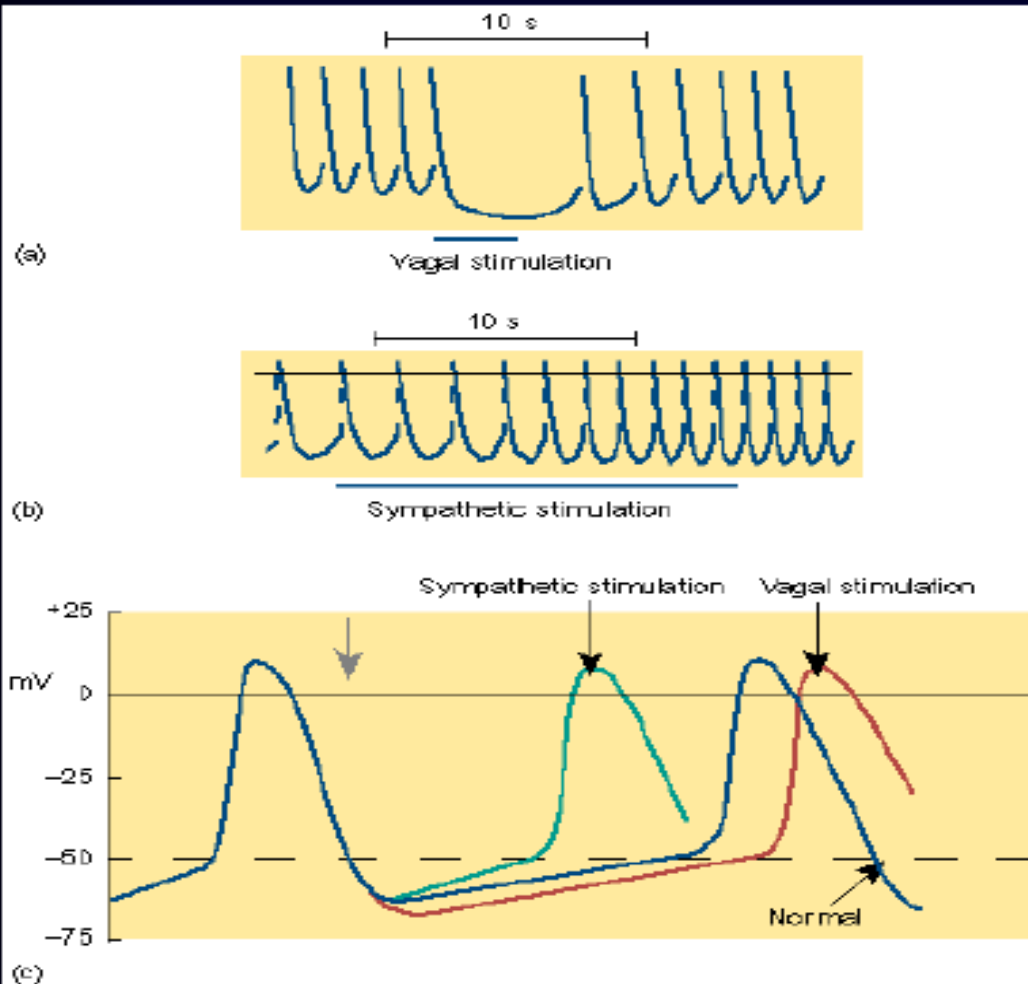
D'où hyperpolarisation de la membrane des myocytes cardiaques =
arrêt de la décharge en potentiels d'action: effet chronotrope
négatif effet muscarinique médié par $M_2 \rightarrow G_i \rightarrow$ canaux $K_{\text{ACh}} \rightarrow$
diminution de la pente de dépolarisation diastolique $\rightarrow$ diminution du
rythme

Flux entrant
d'ions calcium

Flux sortant
d'ions potassium



Les effets cardiaques



parasympathique

ralentit

bradycardie

effets

chronotrope -

et dromotrope -

ACh → récepteurs
muscariniques G_i
et ↓ AMPc

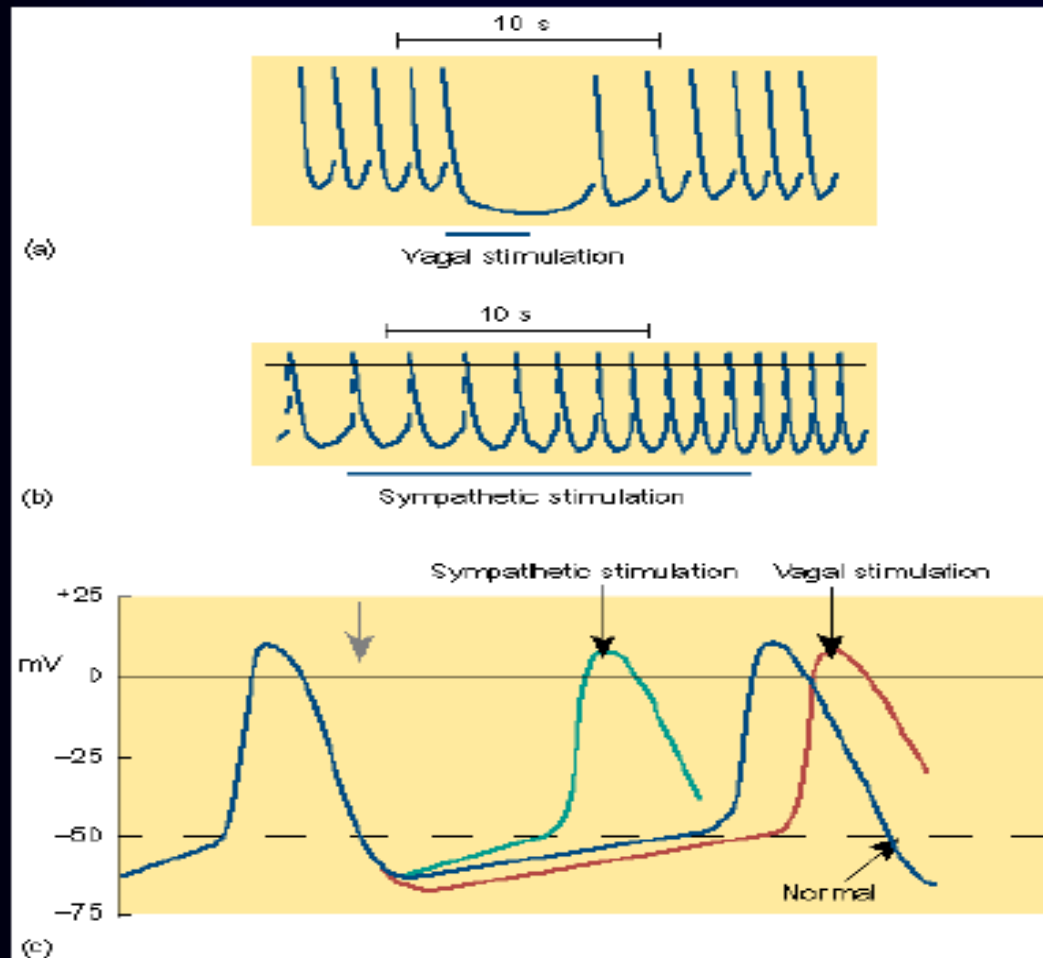
action directe sur
canaux f

LES EFFETS EXCITATEURS CARDIAQUES PROVOQUÉS PAR LE SYSTÈME SYMPATHIQUE

- ↑ de la vitesse d'entraînement du nœud SA
- ↑ de la vitesse de conduction
- ↑ de la force de contraction
- ↑ excitabilité de certains foyers (atrial et jonctionnel)

EFFETS SUR L'APPAREIL CARDIO-VASCULAIRE

Régulation de la vitesse de dépolarisation spontanée



sympathique
accélère
tachycardie

effets
chronotrope +
et dromotrope +

Nadr $\rightarrow \beta 1, G_s$
et $\uparrow$ AMPc

action directe de
l'AMPc sur un site
spécifique des
canaux f

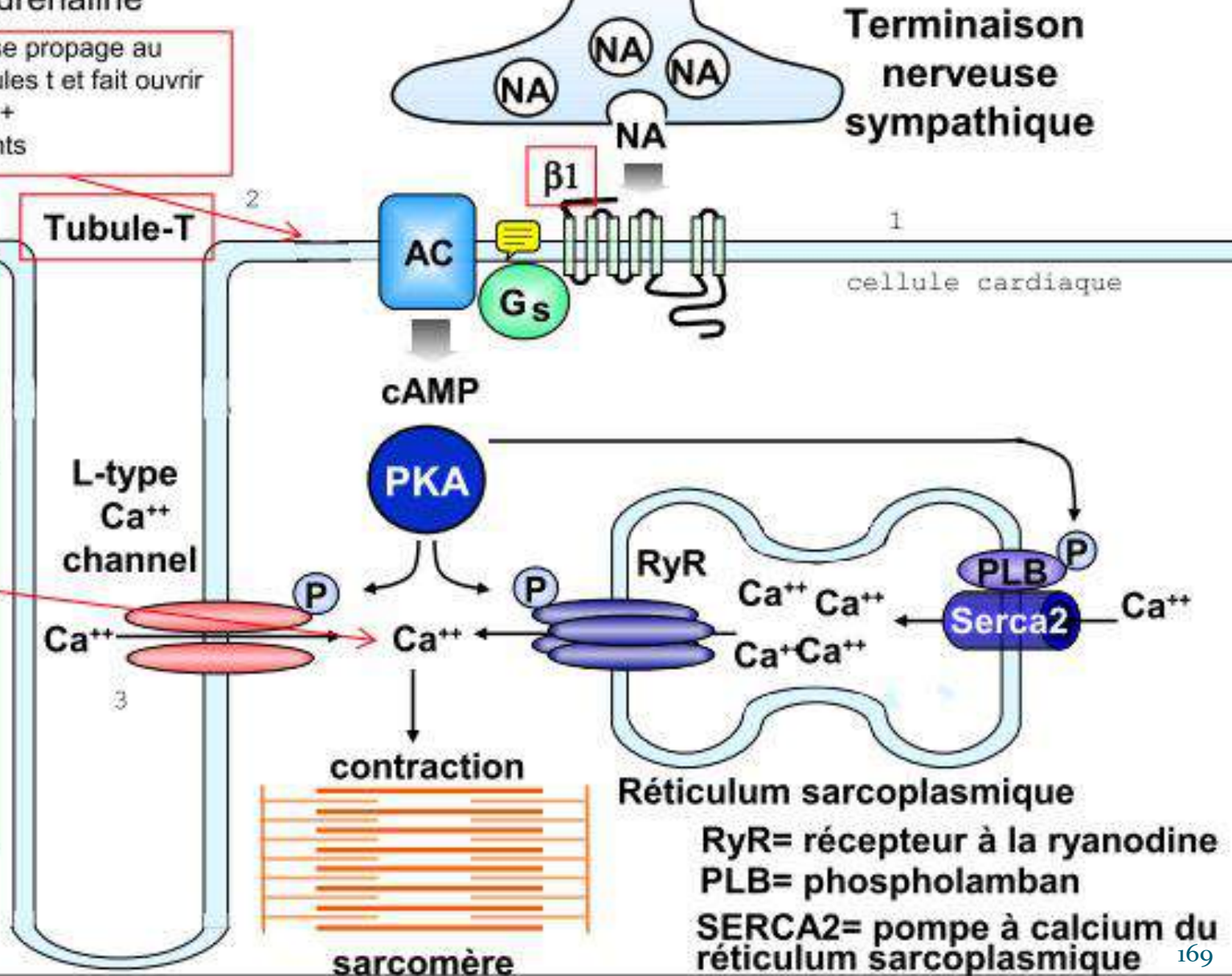
NA et rythme cardiaque

Effet de l'activation de cette voie au niveau des cardiomyocytes

NA = noradrénaline

dépolarisation se propage au niveau des tubules t et fait ouvrir les canaux Ca^{2+} tensiodépendants

Le Ca^{2+} va faire sortir plus de Ca^{2+} venant de ER in cytosol. Le Ca^{2+} va provoquer la contraction des unités contractiles = sarcomères. Cette contraction est calcium dépendante. La voie AC pas ici. Le cœur se contracte spontanément due à cette dépolarisation



Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

