

LES MUSCLES



Classifications:

- Les muscles striés ou squelettiques :

C'est la très grande majorité des 656 muscles humains. Responsables des mouvements, leur contraction est contrôlée par la volonté.

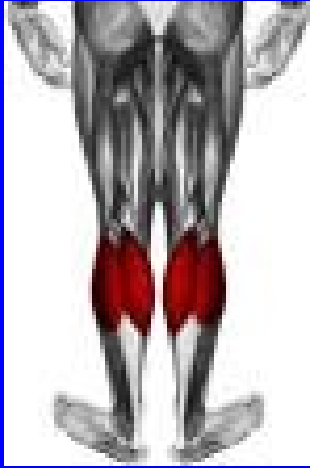
- Les muscles lisses :

Situés au niveau des viscères, leur contraction est indépendante de la volonté.

- Le muscle cardiaque :

Est un muscle strié à contractions automatiques. Il permet au sang de circuler.

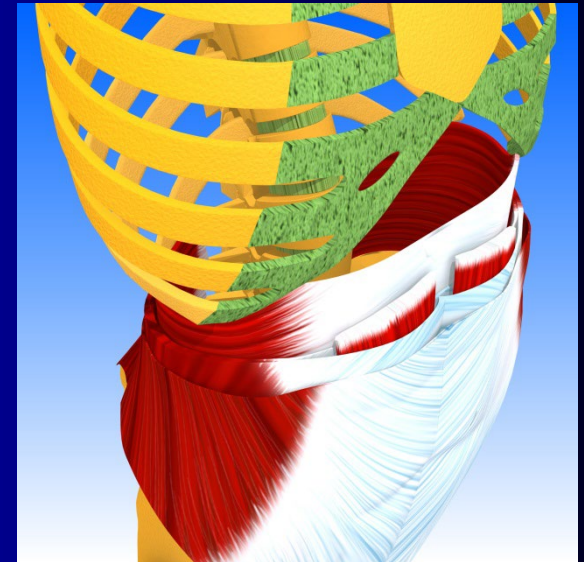
Caractéristiques des muscles les plus courants:

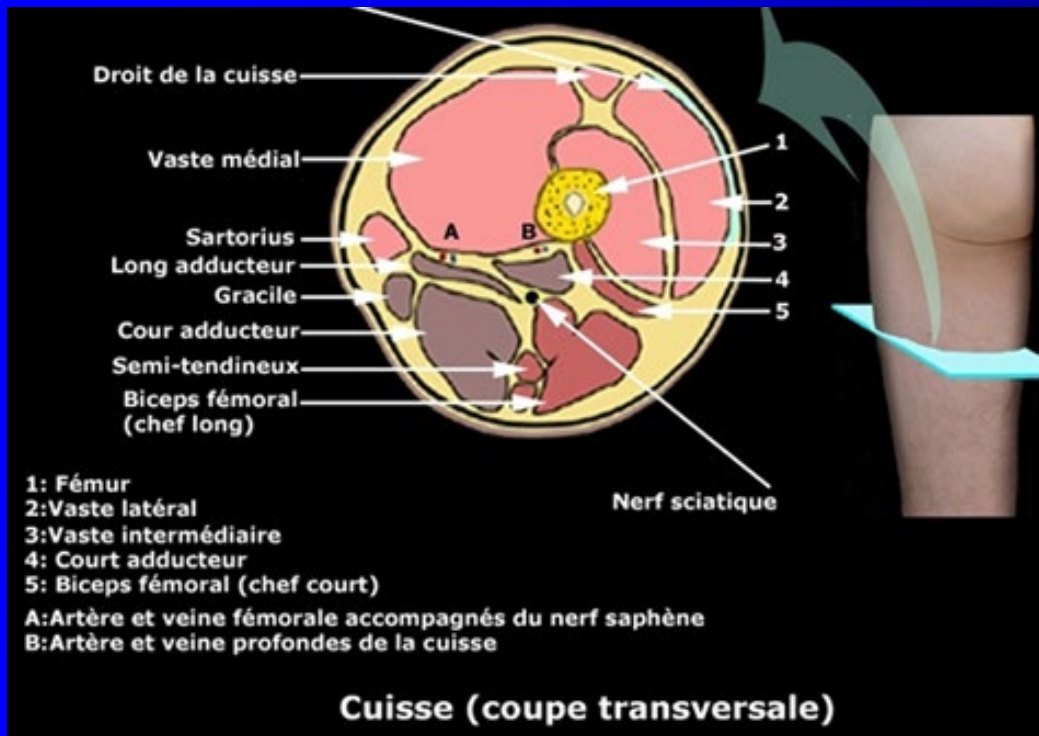


✧ **Forme de fuseau musculaire**
(fusiforme: avec un ventre épais)

✧ **Muscles plats** (en couche, large)

✧ **Muscles superficiels** (sous cutanés)





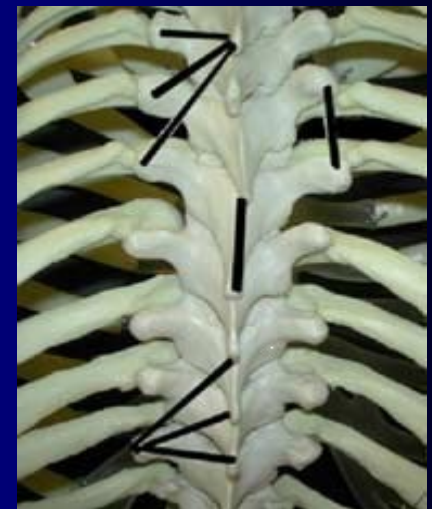
⇨ **Muscles Profonds (les vastes)**



⇨ **Muscles courts**

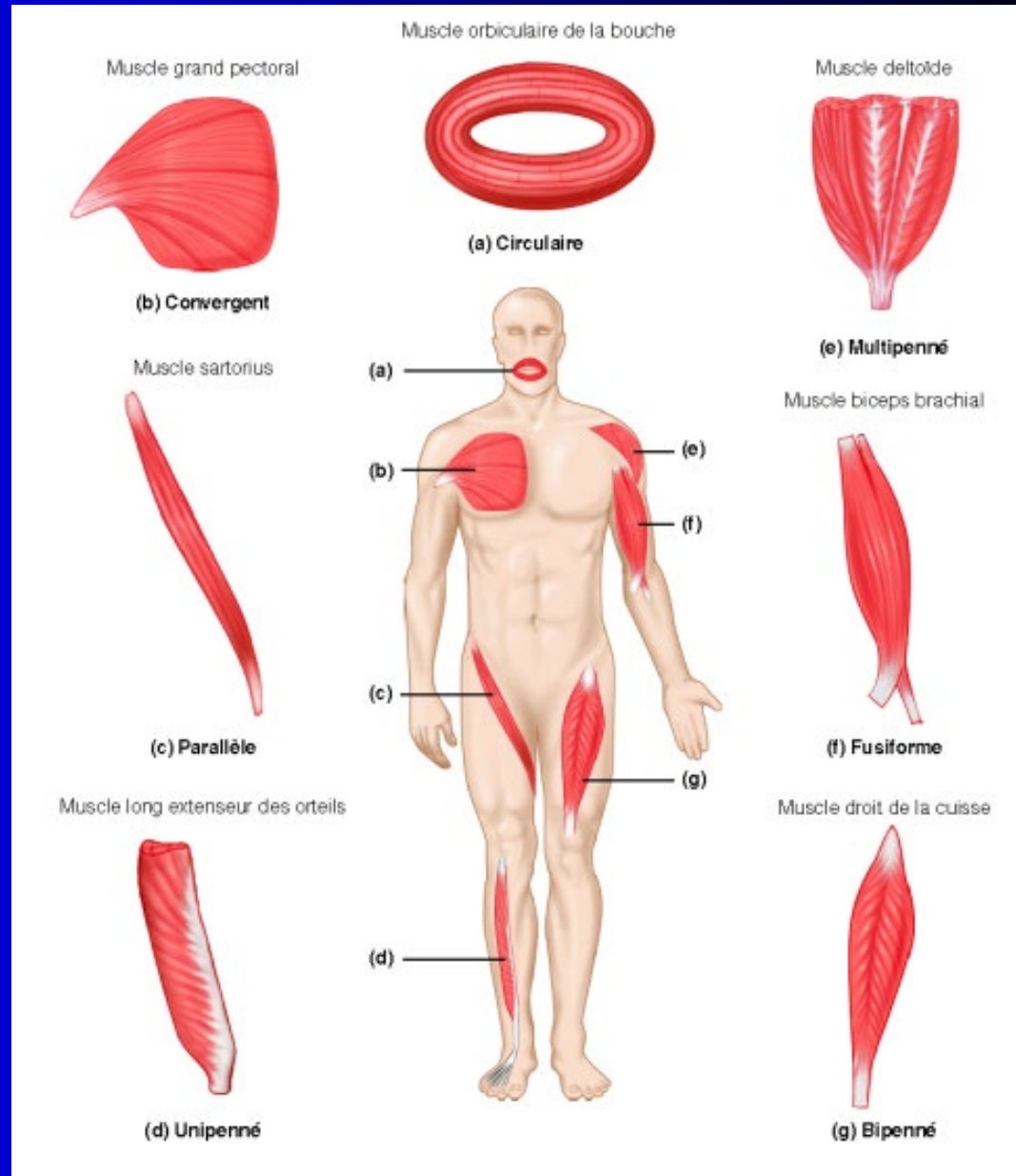
(proches des articulations, petits mouvements: inter-épineux, inter-transversaire, carré pronateur...)

⇨ **Muscles longs**
(Essentiellement sur les membres: Couturier, Biceps, quadriceps...)



⚡ ≠ formes et capacités fonctionnelles des muscles (amplitude et puissance du mouvement):

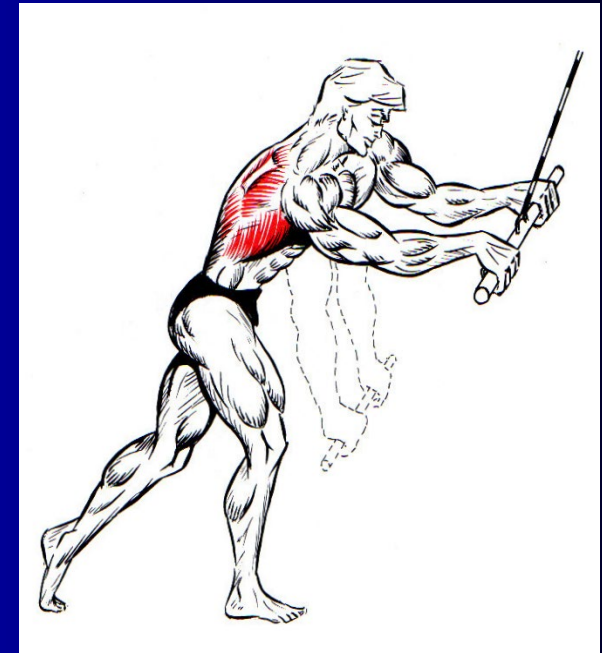
1. Circulaire
2. Convergent
3. Parallèle
4. Penné



↳ Les muscles synergiques :

Ce sont des muscles qui produisent les mêmes actions, ils sont responsables ensemble d'un même mouvement.

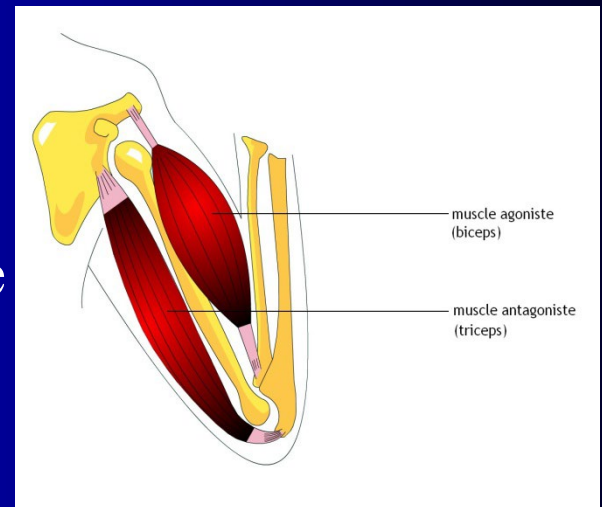
Ex : grand dorsal, grand rond et deltoïde postérieur dans la rétropulsion de l'épaule



↳ Les muscles antagonistes :

Ce sont des muscles dont l'action est opposée.

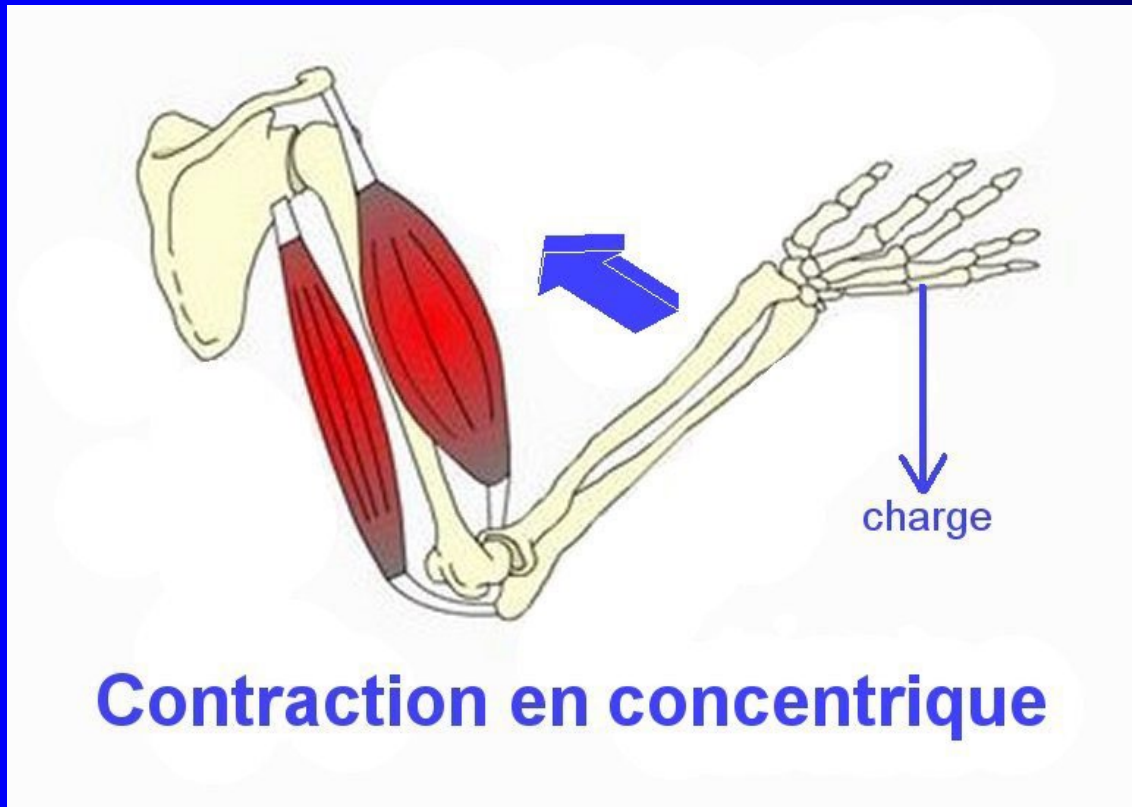
Ex : Biceps et triceps brachial. Lorsque le biceps se contracte pour fléchir le coude le triceps se relâche, et vice versa.



↳ Les différentes actions

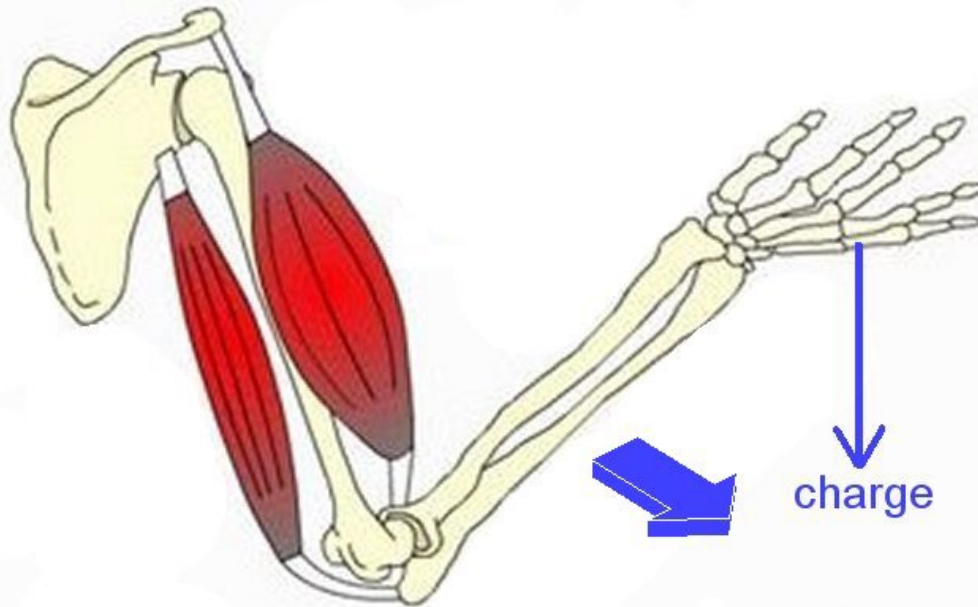
Contraction musculaire:

Concentrique: Rapprochement des points d'insertions



Contraction musculaire:

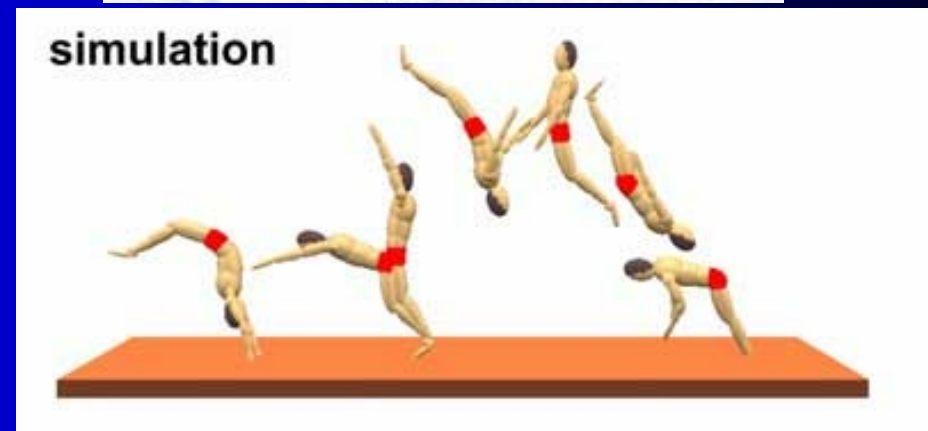
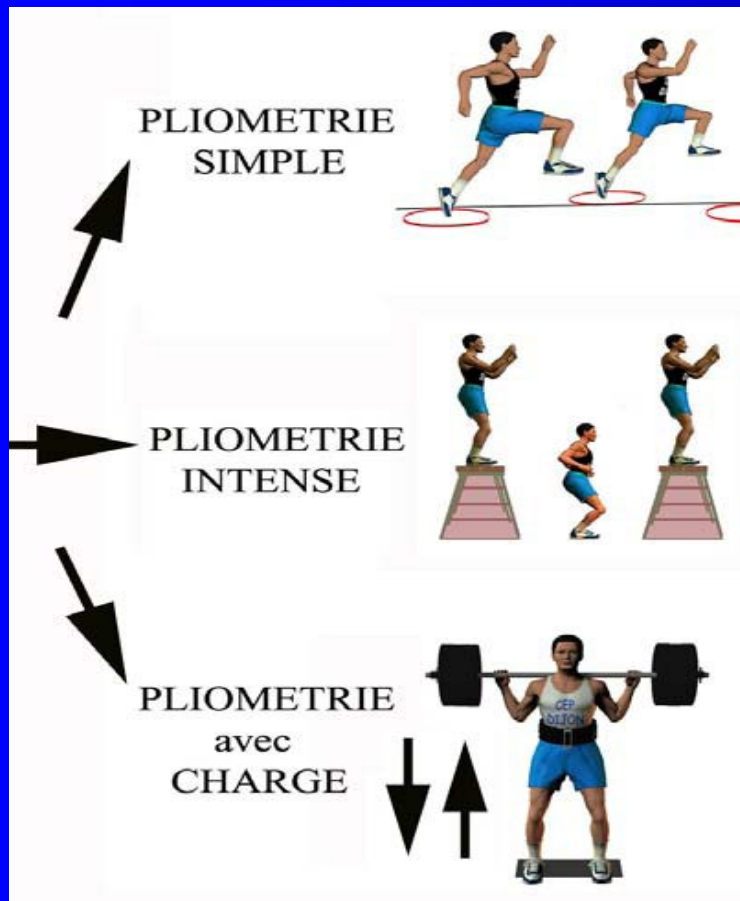
Excentrique: Eloignement des points d'insertions



Contraction en excentrique

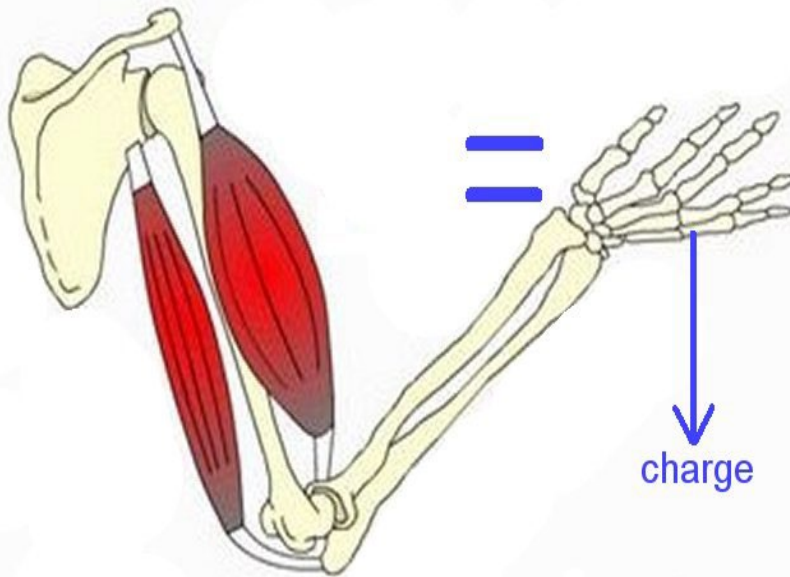
Contraction musculaire:

Particularité: La pliométrie: Eloignement puis rapprochement rapide des points d'insertions (Excentrique suivi de concentrique)



Contraction musculaire:

Isométrique: Les points d'insertions restent équidistants

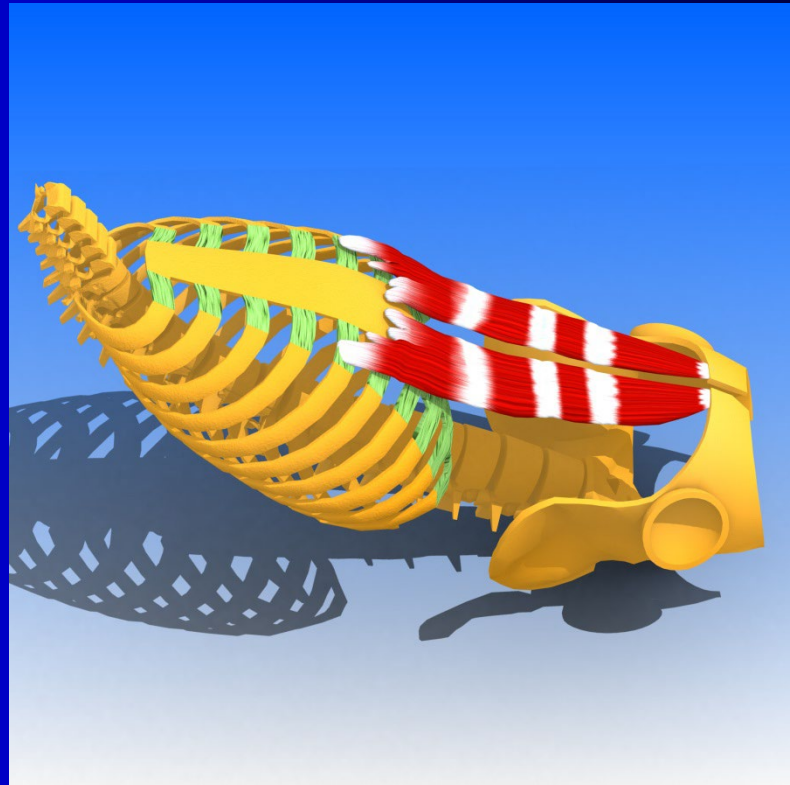


Contraction en isométrique



↗ La direction des fibres, et par conséquent leurs insertions, déterminent leurs actions

Ex: du grand droit
(flexion tronc sur bassin
ou bassin sur tronc)



Seulement un mouvement « pur » est rare

✧ Un muscle agit rarement seul ; ils agissent en **INTERACTION**

Ex: grand droit
et Oblique
(flexion+ rotation)



STRUCTURE DU MUSCLE

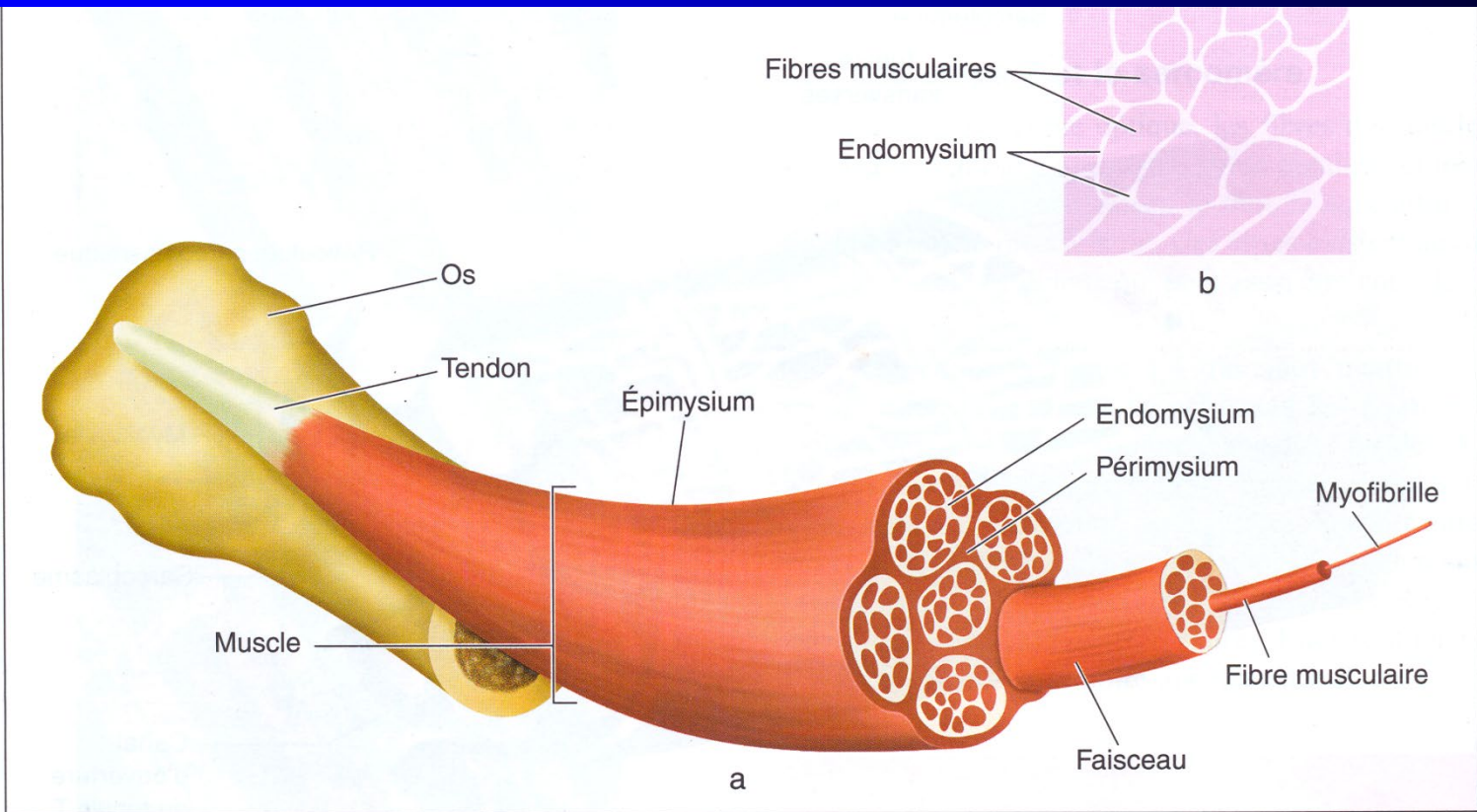


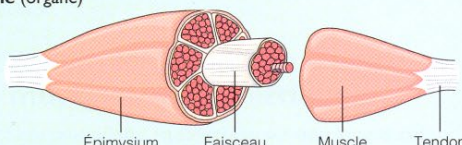
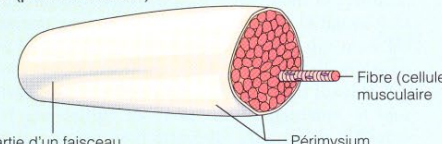
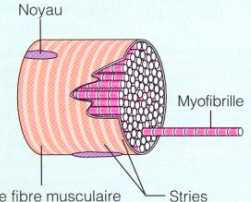
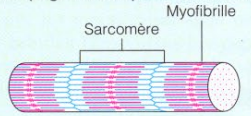

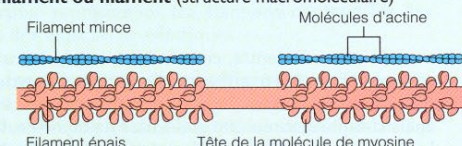
Figure 1.2 : Représentation schématique (a) structure du muscle et (b) de la surface de section du muscle squelettique.

UN MUSCLE EST CONSTITUE DE

- Différentes enveloppes
- Faisceaux musculaires
- Fibres musculaires
- Myofibrilles

UNE FIBRE EST CONSTITUEE PAR:

- Des myofibrilles

TABLEAU 9.1	Structure et niveaux d'organisation d'un muscle squelettique	
Structure et niveau d'organisation	Description	Enveloppes de tissu conjonctif
<p>Muscle (organe)</p> 	<p>Constitué de centaines ou de milliers de cellules musculaires, ainsi que de gaines de tissu conjonctif, de vaisseaux sanguins et de neurofibres</p>	<p>Recouvert par l'épimysium</p>
<p>Faisceau (partie du muscle)</p> 	<p>Assemblage de cellules musculaires, séparées du reste du muscle par une gaine de tissu conjonctif</p>	<p>Recouvert par le périmysium</p>
<p>Fibre (cellule) musculaire</p> 	<p>Cellule multinucléée allongée; apparence striée</p>	<p>Recouverte par l'endomysium</p>
<p>Myofibrille ou fibrille (organite complexe constitué de groupes de filaments)</p> 	<p>Élément contractile cylindrique; les myofibrilles occupent la plus grande partie du volume de la cellule musculaire; portent des stries, et les stries des myofibrilles voisines sont alignées; constituée de sarcomères placés bout à bout</p>	
<p>Sarcomère (segment d'une myofibrille)</p> 	<p>Unité contractile, constituée de myofilaments de protéines contractiles</p>	
<p>Myofilament ou filament (structure macromoléculaire)</p> 	<p>Les myofilaments sont de deux types (minces et épais), et constitués de protéines contractiles; les filaments épais renferment un assemblage parallèle de molécules de myosine; les filaments minces renferment des molécules d'actine (ainsi que d'autres protéines); le raccourcissement du muscle est assuré par le glissement des filaments minces le long des filaments épais</p>	

CONSTITUTION D'UNE MYOFIBRILLE

- Les myofibrilles représentent l'unité contractile du muscle
- Elles sont constituées de divers filaments de protéines
- L'organisation de ces filaments constitue un sarcomère
- La myofibrille est constituée par la succession des différents sarcomères

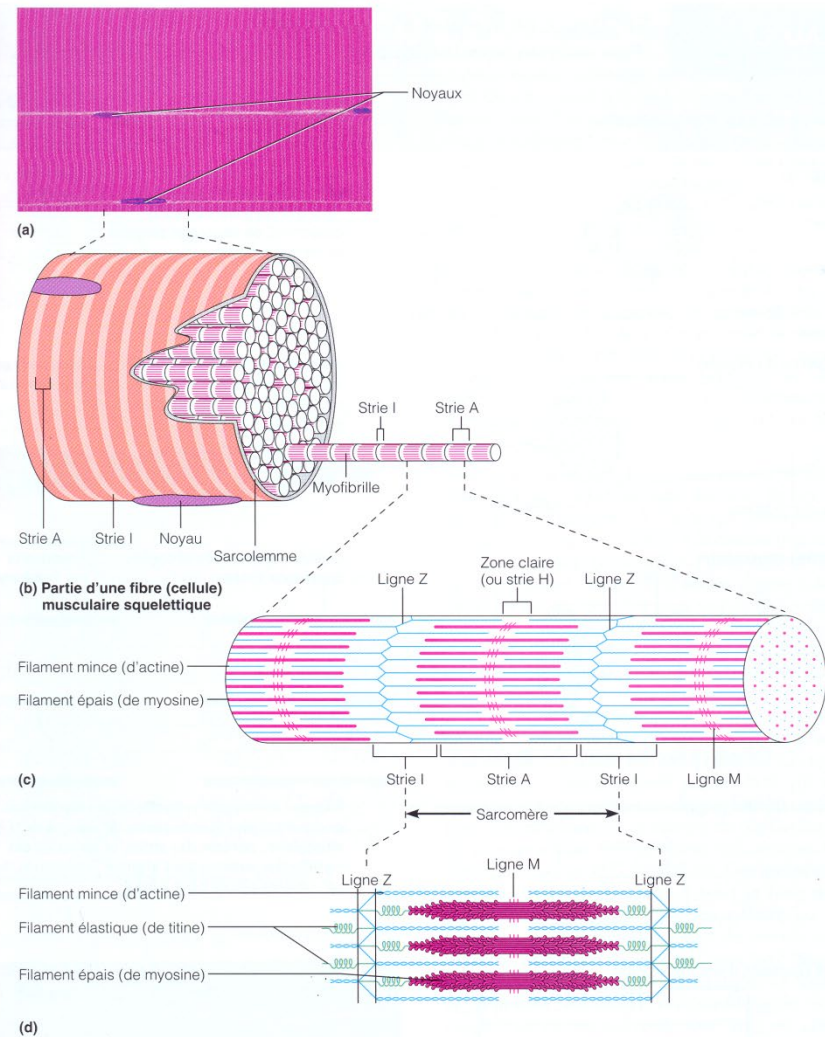


FIGURE 9.2
Anatomie microscopique d'une fibre musculaire squelettique. (a) Photographie microscopique de portions de deux fibres musculaires isolées (450 ×). Remarquez les stries transversales évidentes (alternance de

bandes claires et foncées). (b) Schéma d'une partie d'une fibre (cellule) musculaire montrant les myofibrilles. L'une des myofibrilles est dessinée comme si elle dépassait de la coupe faite dans la fibre musculaire. (c) Agrandissement d'une petite partie de

myofibrille montrant les myofilaments qui forment les stries. Chaque sarcomère, ou unité contractile, s'étend d'une ligne Z à la suivante. (d) Agrandissement d'un sarcomère (coupe longitudinale). Remarquez les têtes de myosine sur les filaments épais.

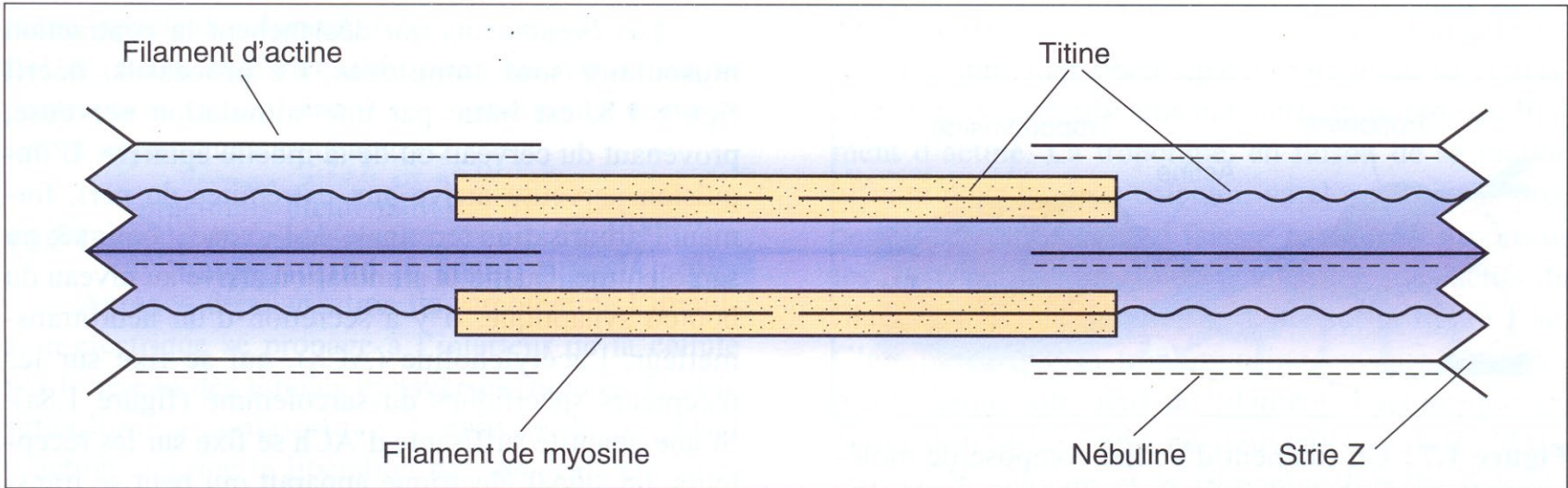


Figure 1.6 : Le rôle de la titine est de stabiliser le filament de myosine afin de le maintenir à distance égale entre les filaments opposés d'actine.

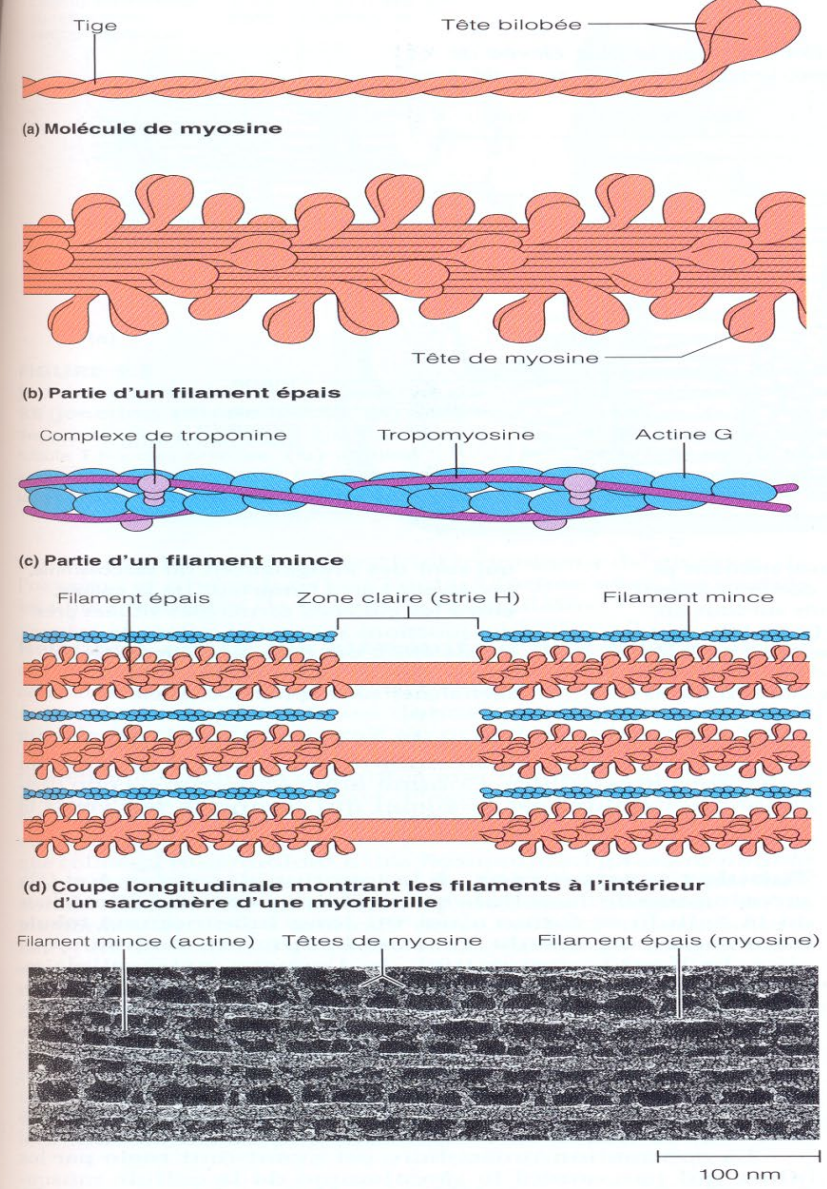
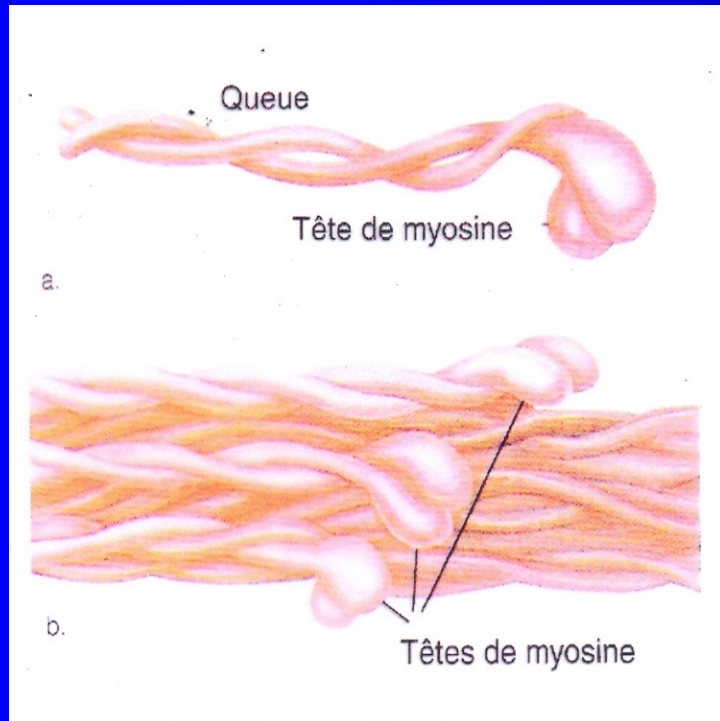
LE SARCOMERE

- Des filaments d'actine
- Des filaments de myosine
- Des filaments de titine

LES DIFFERENTS FILAMENTS

LA MYOSINE

- Filaments épais
- Comportant des têtes



(e) Micrographie électronique à transmission d'une partie de sarcomère

partie centrale du filament et que les lobes de leur tête sphérique sont orientés dans des directions opposées. Par conséquent, la partie centrale du filament épais est lisse, mais ses extrémités sont garnies de têtes de myosine disposées de façon hélicoïdale autour de son axe. En plus de

L'ACTINE

- Filament plus fin
- Comporte des sites actifs permettant l'accrochage des têtes de myosine
- Comporte un système d'occultation de ces sites actifs

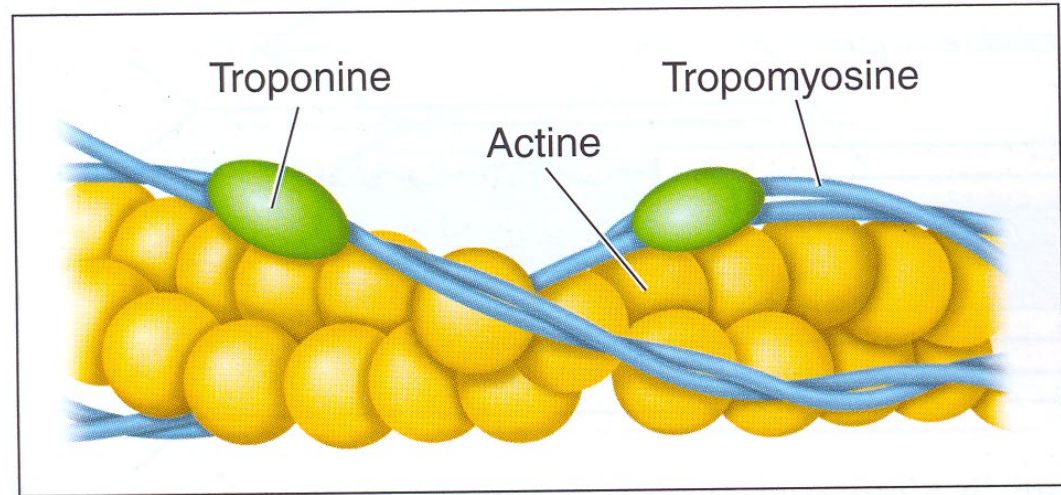


Figure 1.7 : Un filament d'actine composé de molécules d'actine, de tropomyosine et de troponine. Au repos les sites actifs de liaison sur les molécules d'actine sont masqués par la tropomyosine.

LA TITINE OU CONTRACTINE

Filament extrêmement fin

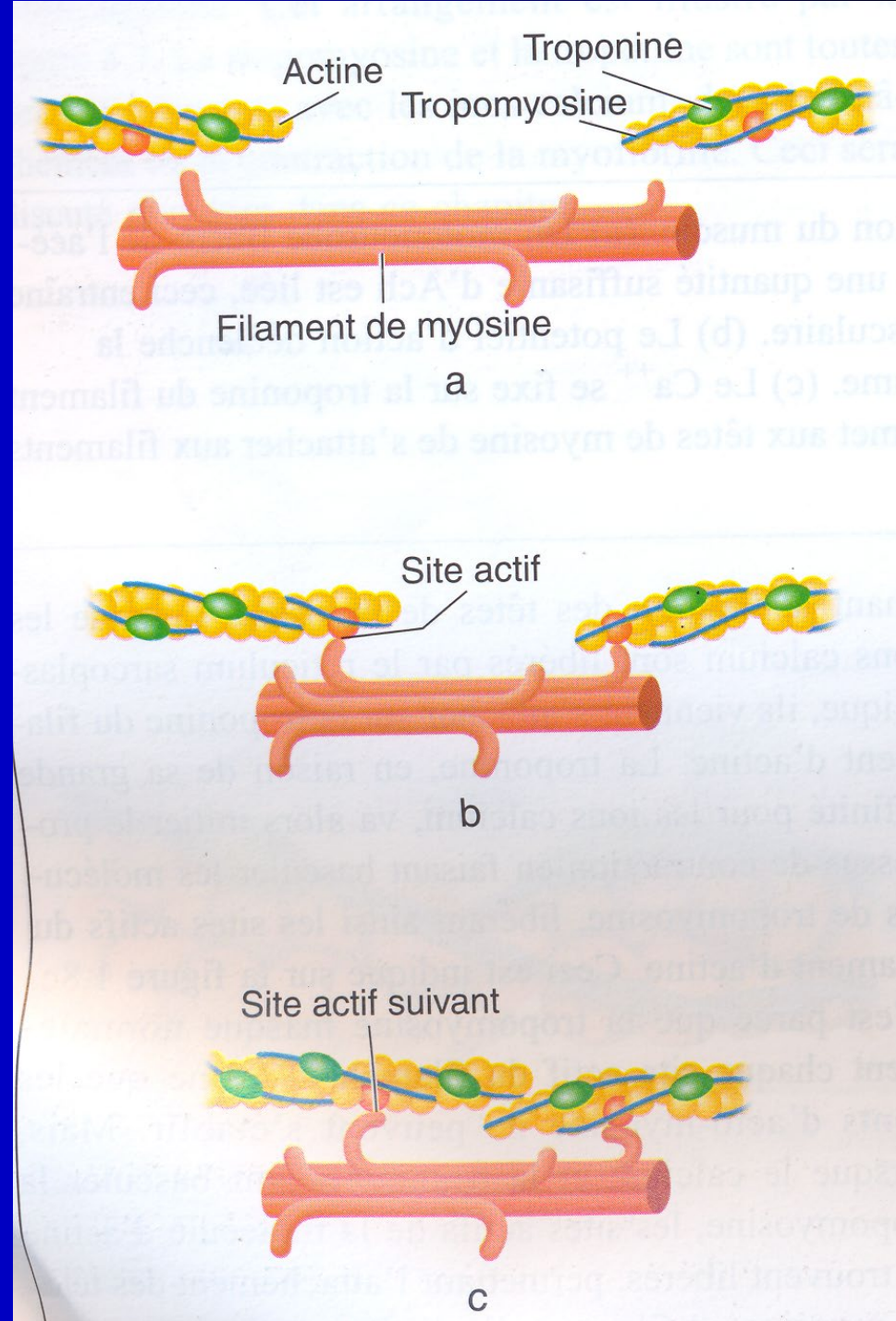
Permet de stabiliser les filaments de myosine

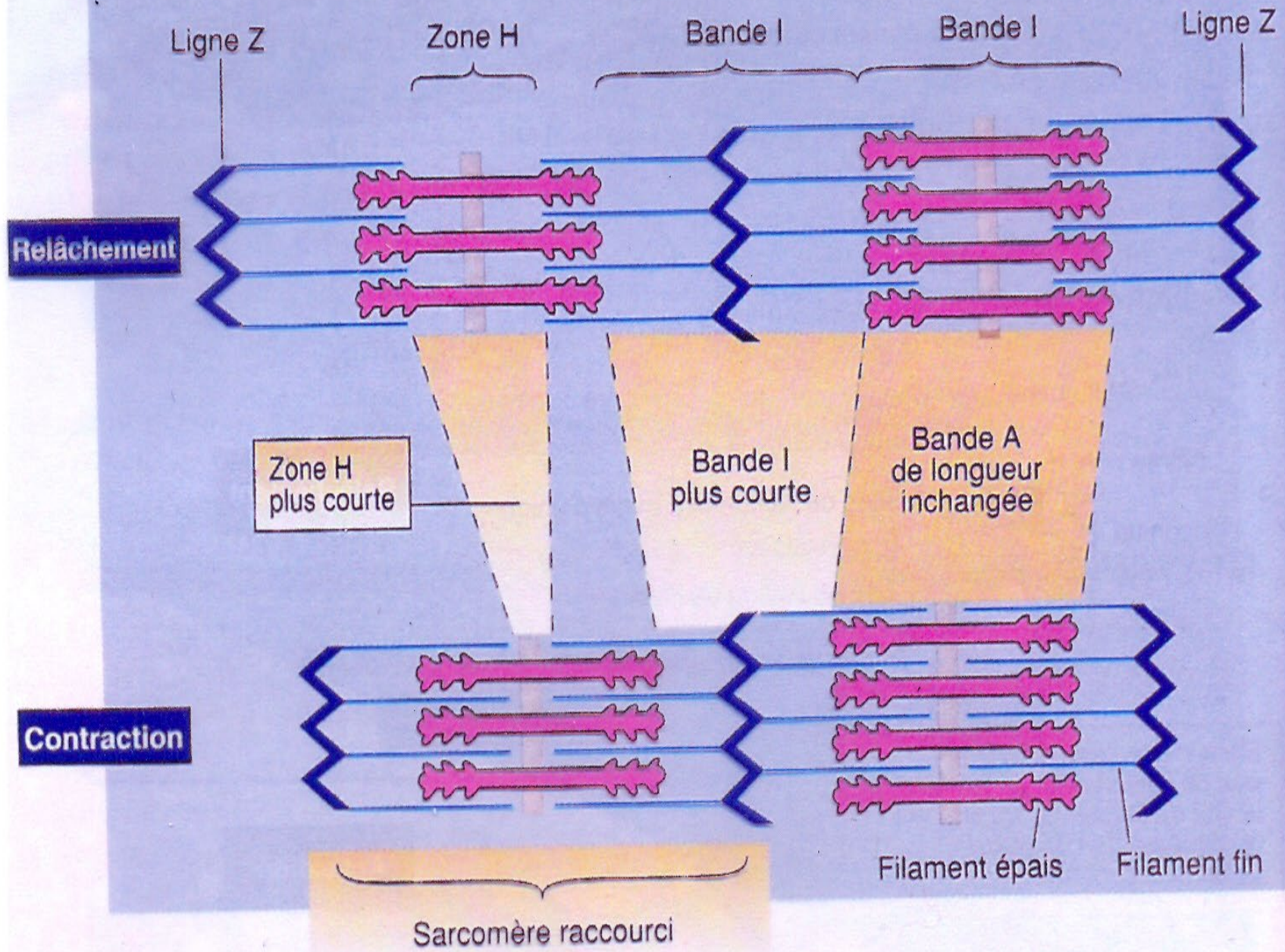
Joue un rôle dans le retour élastique du sarcomère

LE PRINCIPE DE LA CONTRACTION

LA THEORIE DES FILAMENTS GLISSANTS

- Les têtes de myosine viennent se fixer sur les sites actifs d'actine
- Elles impriment une coup de rame vers l'arrière et tirent les filaments d'actine l'un vers l'autres
- Les têtes de myosine se détachent des sites actifs et recommencent leur action
- Le cycle peut se faire jusqu'au chevauchement des filaments d'actine





LE FONCTIONNEMENT ENERGETIQUE

Les fibres sont stimulées par l'intermédiaire d'un motoneurone au niveau de la plaque motrice

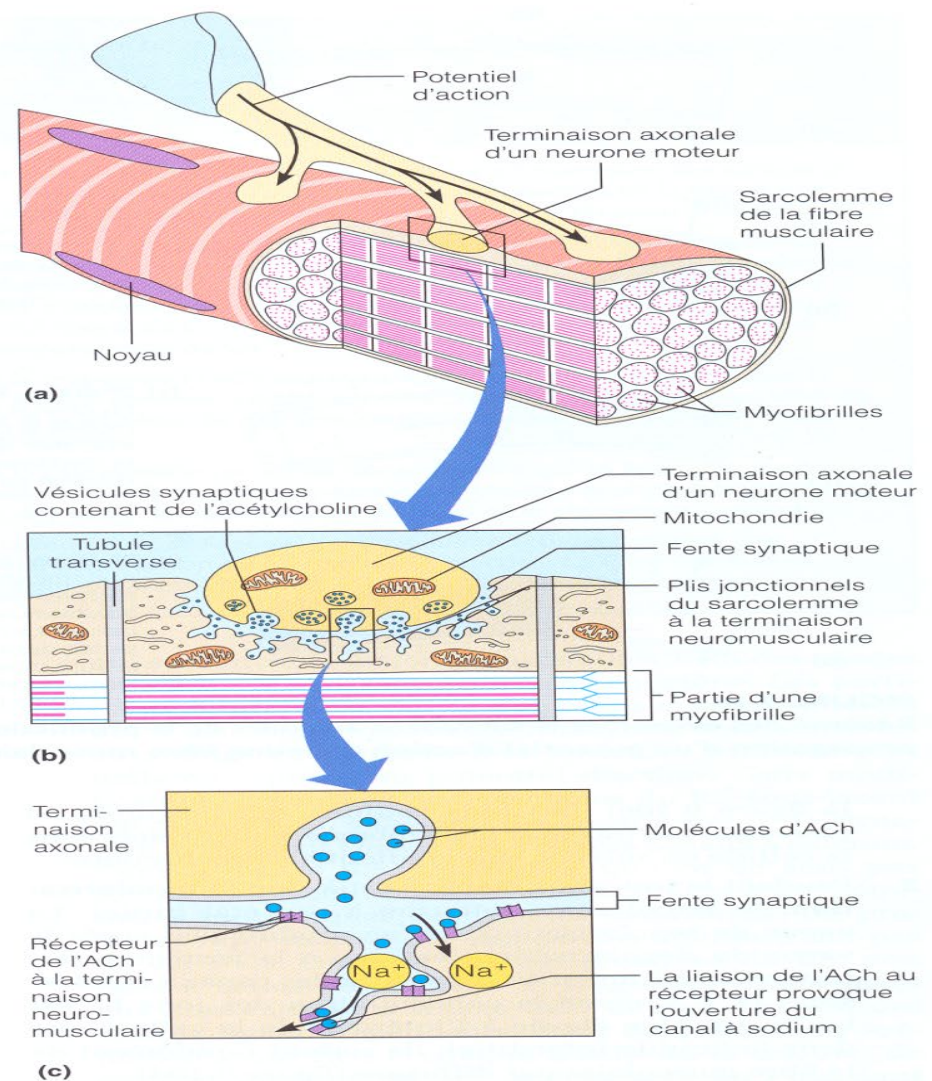


FIGURE 9.9

Terminaison neuromusculaire. (a) Terminaisons axonales d'un neurone moteur formant une terminaison neuromusculaire avec une fibre musculaire. **(b)** La terminaison axonale contient des vésicules remplies d'acétylcholine (ACh), un neurotransmetteur qui est libéré sous l'effet du potentiel d'action. Dans la région de la fente synaptique, le sarcolemme présente de nombreux replis qui contiennent des récepteurs de l'acétylcholine. **(c)** L'acétylcholine diffuse à travers la fente synaptique et se lie aux récepteurs de l'ACh situés sur le sarcolemme, ce qui provoque l'ouverture des canaux à sodium et la dépolarisation du sarcolemme.

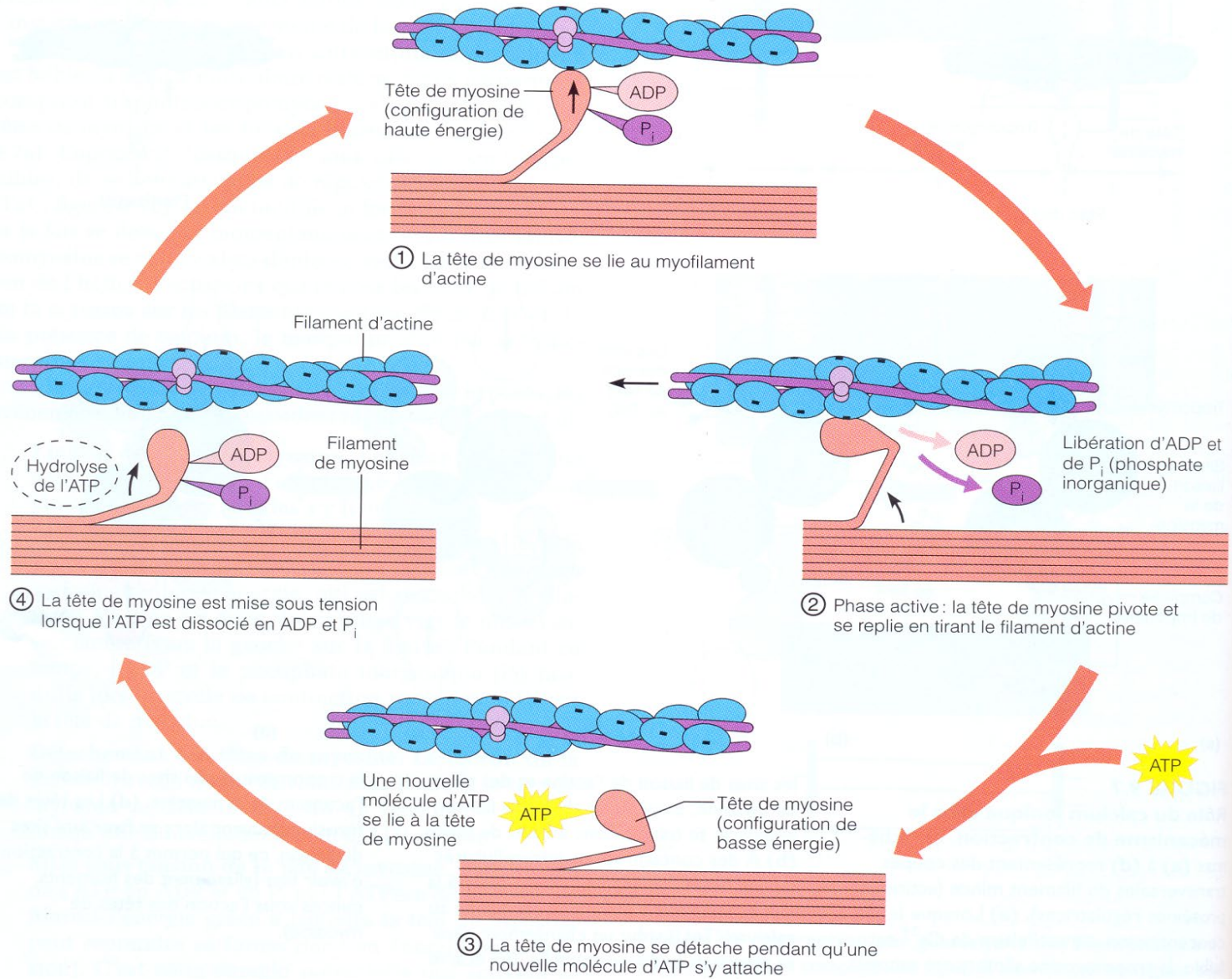


FIGURE 9.8

Séquence des événements qui produisent le glissement des filaments d'actine

lors de la contraction. Les interactions qui se produisent entre les deux types de myofilaments sont représentées sur deux petites sections voisines (filaments d'actine et de myosine). Ces événements n'ont lieu qu'en présence de calcium ionique (Ca²⁺).

LA TYPOLOGIE DES FIBRES

LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES

- **Fibres de type I**
 - Faible pouvoir de contraction
 - Grande résistance à la fatigue
 - Aérobic
- **Fibres de type IIa**
 - Bon pouvoir de contraction
 - Résistante à la fatigue
 - Aérobic / anaérobic
- **Fibres de type IIb**
 - Grand pouvoir de contraction
 - Peu résistance à la fatigue
 - Anaérobic

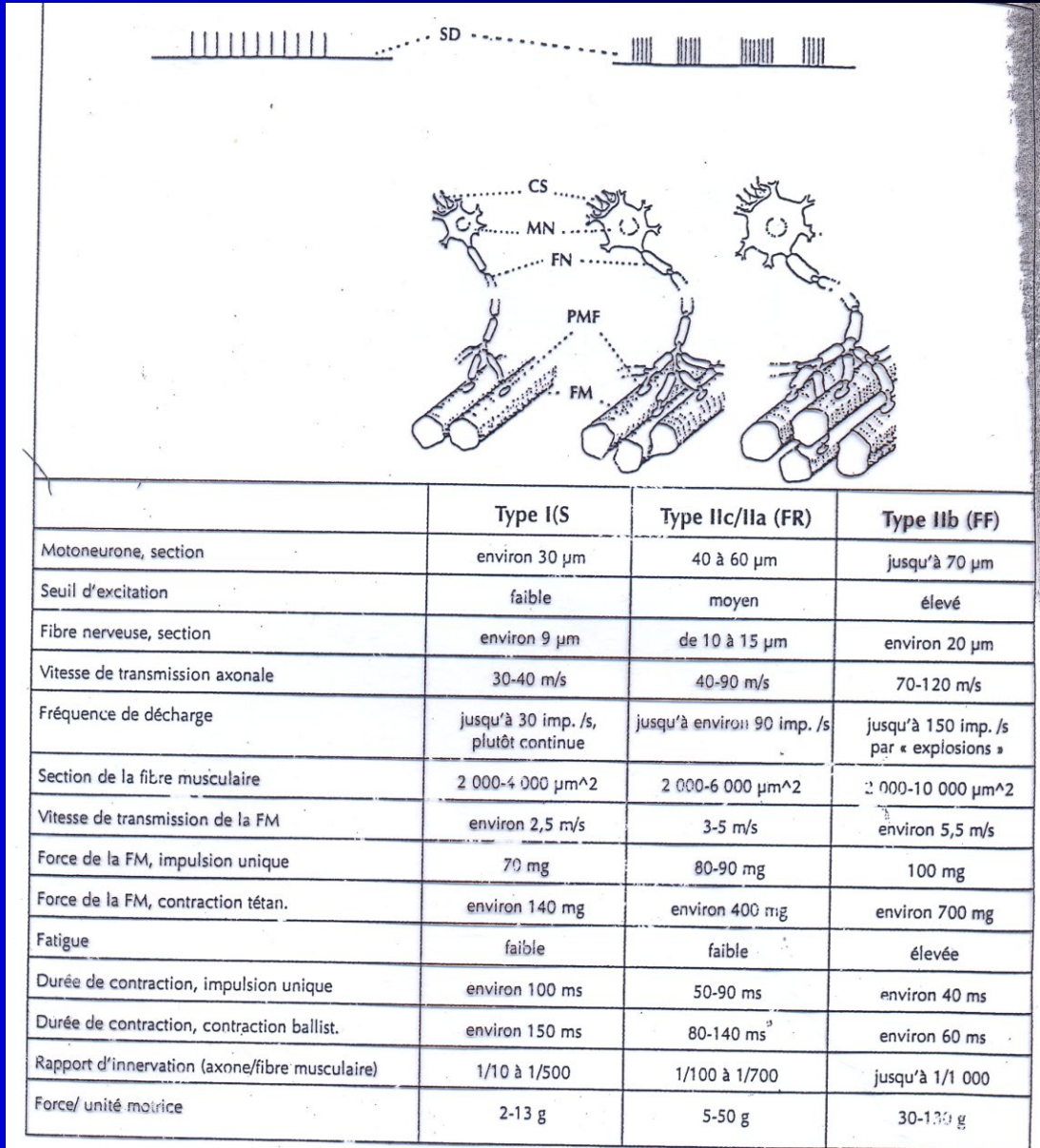


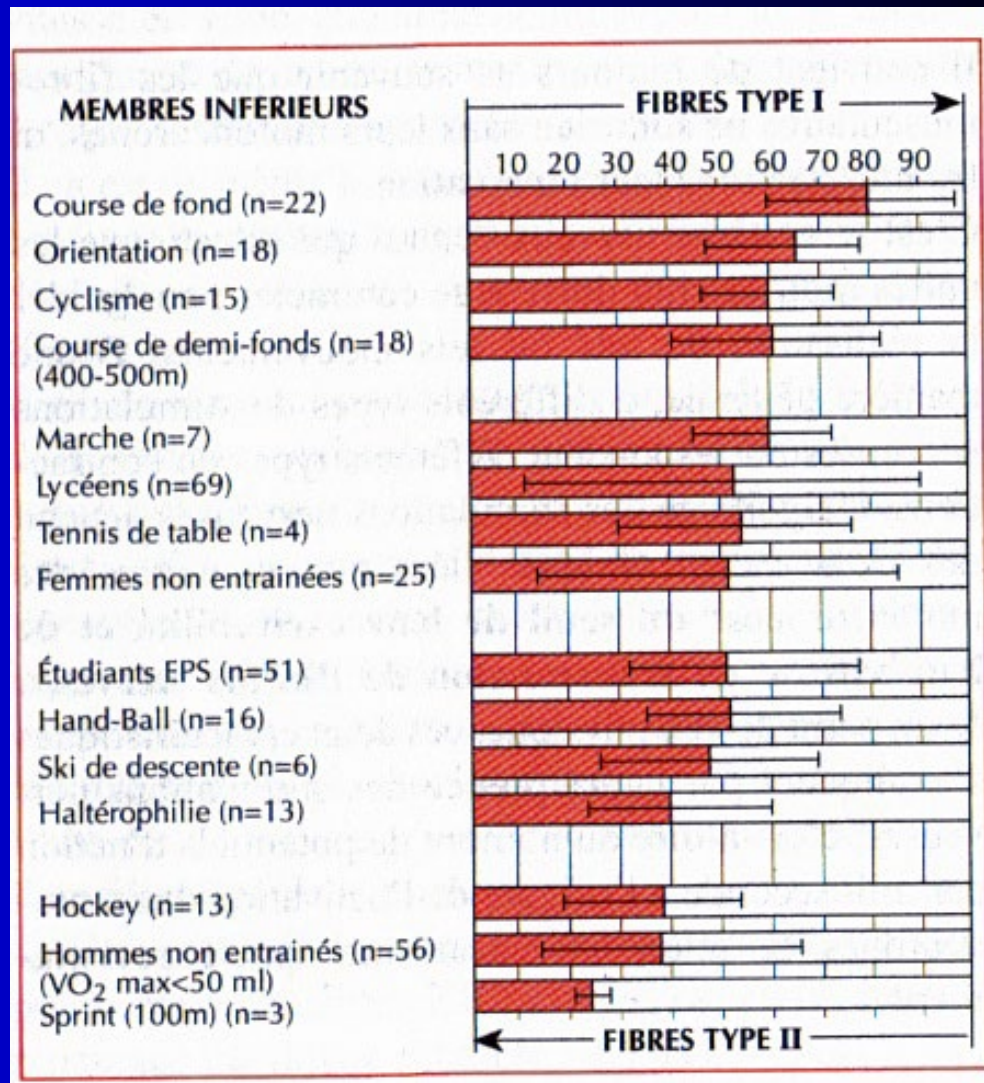
Figure 32. Schéma des différentes unités motrices et tableaux des paramètres morphologiques et fonctionnels pertinents (valeurs moyennes approchées). SD : seuil de décharge, PMF : plaque motrice finale, FM : fibre musculaire, MN : motoneurone, FN : fibre nerveuse (axone), CS : contact synaptique (d'après Tidov et Wiemann 1993, 14).

LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES

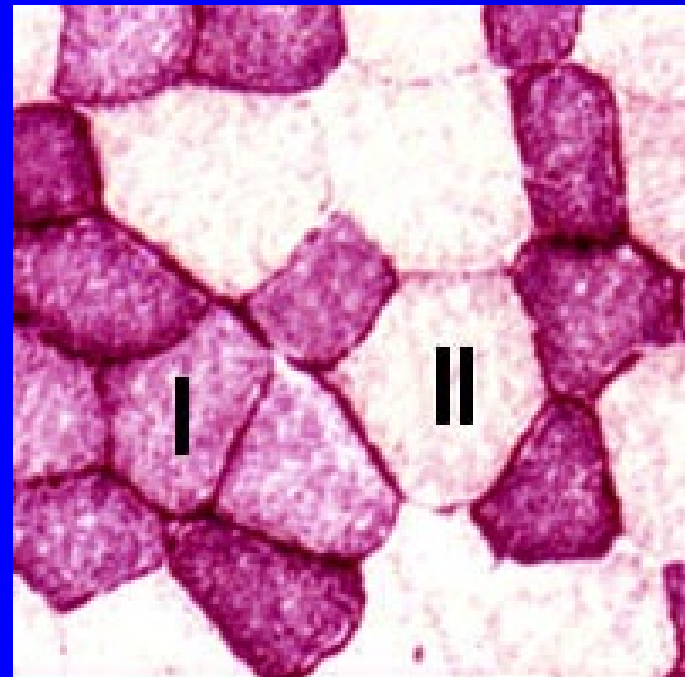
I: ST, faible diamètre, rouge

II: FTa, diamètre plus important, rose

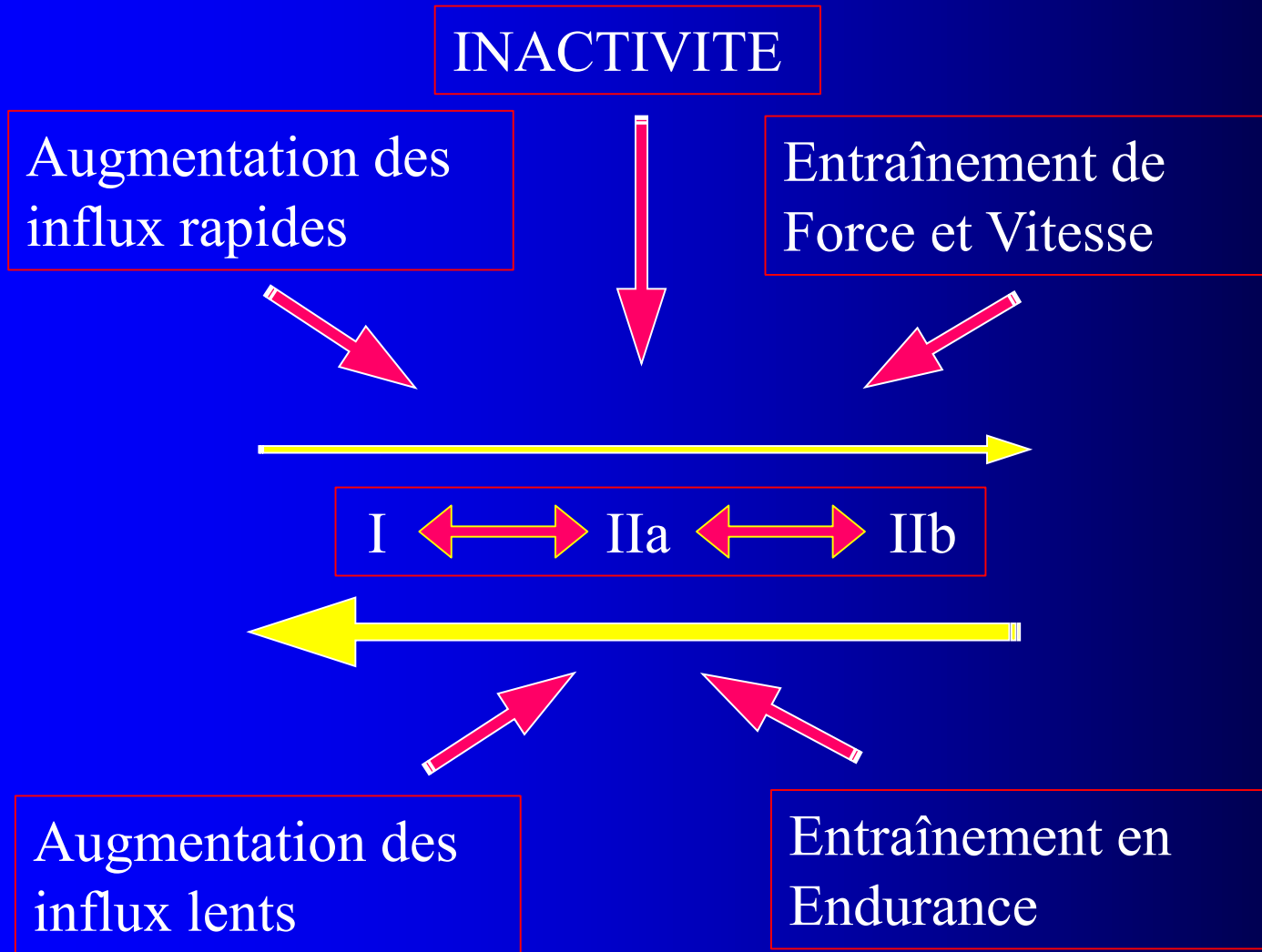
II: FTb, gros diamètre, blanche



- Détermination à la naissance
- Pourcentage génétiquement établi
- Différence d'un muscle à l'autre
- Différence d'une personne à l'autre



La figure suivante présente les influences qui provoquent une transformation des fibres.



(Flück et Hoppeler 2003)

Des fibres rapides aux fibres lentes :

Il ne fait aucun doute que l'augmentation des influx lents et l'entraînement d'endurance permettent de modifier les fibres. Des marathoniens de niveau international possèdent jusqu'à 80-90 % de fibres à myosine de type I, le reste étant constitué de fibre de type IIa. (Andersen et coll. 2000)

Des fibres lentes aux fibres rapides :

Le facteur le plus important est l'inactivité qui provoque la suppression des influx lents. On obtient cette inactivité en suspendant l'animal (suppression des influx anti-gravitaires) pendant de longues périodes. Il y a perte de force, diminution du volume des fibres mais transformation vers les fibres rapides.

Chez l'homme on impose au sujet de vivre aliter pendant plusieurs semaines, une fonte musculaire se produit mais les fibres rapides augmentent en nombre.

Par contre les études sur les effets d'un travail de musculation aboutissent à une transformation des IIb vers les IIa, ce qui est contradictoire avec ce que l'on pensait jusqu'à présent. Par contre dès que l'on arrête le travail de musculation le processus inverse se déroule (IIa vers IIb) et le niveau de fibres IIb est alors supérieur au niveau de départ (avant entraînement de musculation) (Andersen et Aagaard (2000)).

Une des explications à ces résultats réside certainement dans le rapport de sollicitations entre influx lent et influx rapides. En effet au cours d'une journée les fibres reçoivent en permanence des influx lents, pendant une séance de musculation intense, le temps de sollicitation avec influx rapides est faible (10 mn environ pour une séance d'une heure et demie). Il nous semble donc que c'est au niveau de la taille des fibres qu'il faille chercher l'explication : la musculation augmente la section des fibres rapides.

MODIFICATION DE VOLUME

Maintien des capacités puis chute et stagnation

- Les fibres de type II sont plus favorables à l'hypertrophie que les fibres de type I

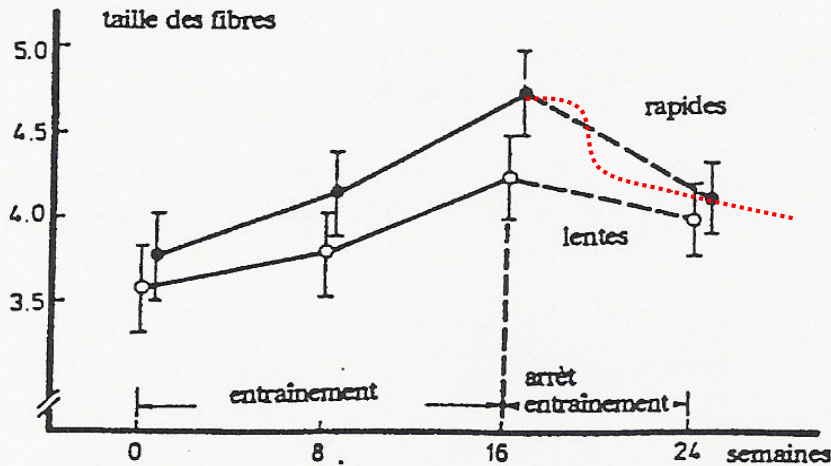


Figure 84 : évolution du volume des fibres rapides et des fibres lentes à la suite de 16 semaines d'entraînement et de 8 semaines d'arrêt de l'entraînement (d'après Hakkinen et coll, 1981)

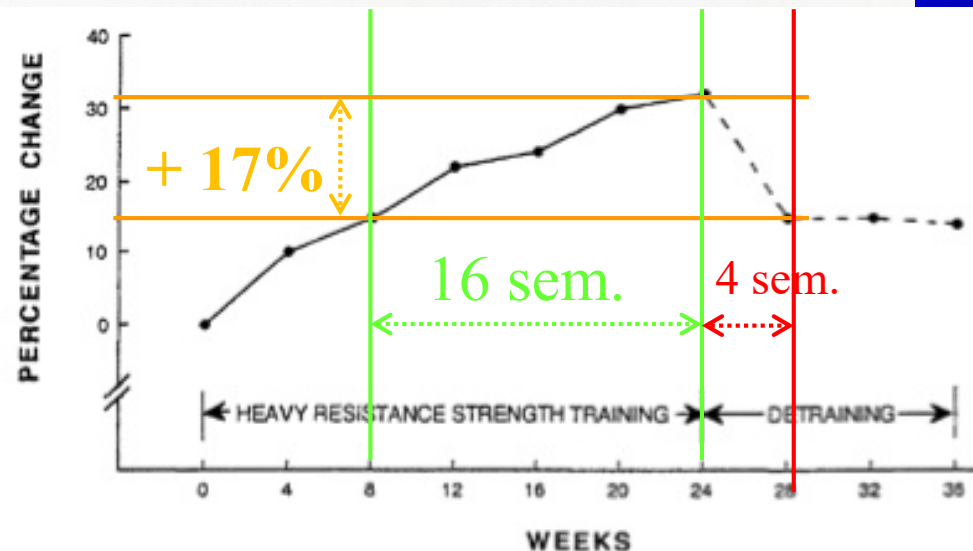


Figure 3 Percent changes in squat ability in Olympic weightlifters with training and detraining. Data from Hakkinen and Komi (7).

Pour info: illustration de la vitesse de baisse de force après l'arrêt des entraînements en force.

Baisse moyenne: 4 à 5% par semaine

Il semblerait que la force baisserait lentement lors des 2 premières semaines

LE RECRUTEMENT DES FIBRES

L'UNITE MOTRICE

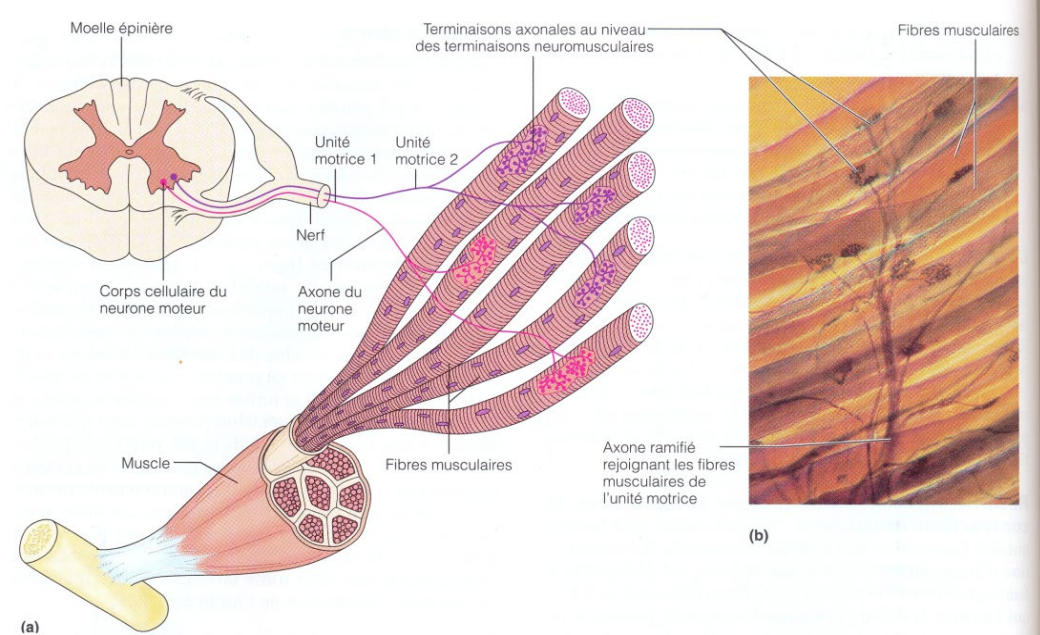
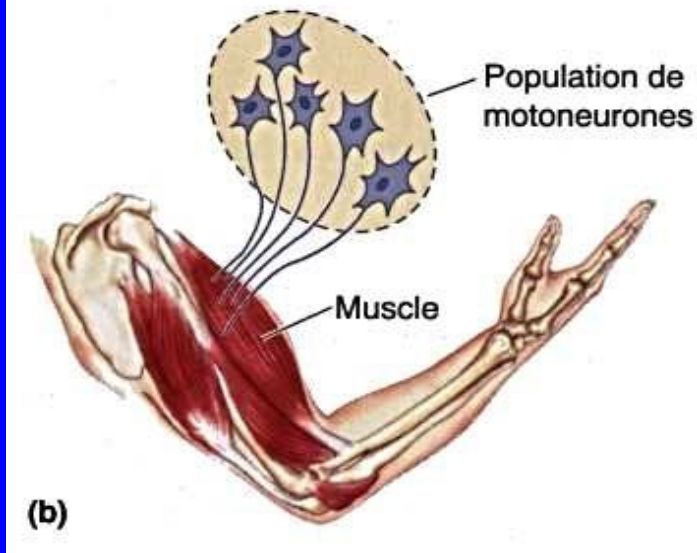
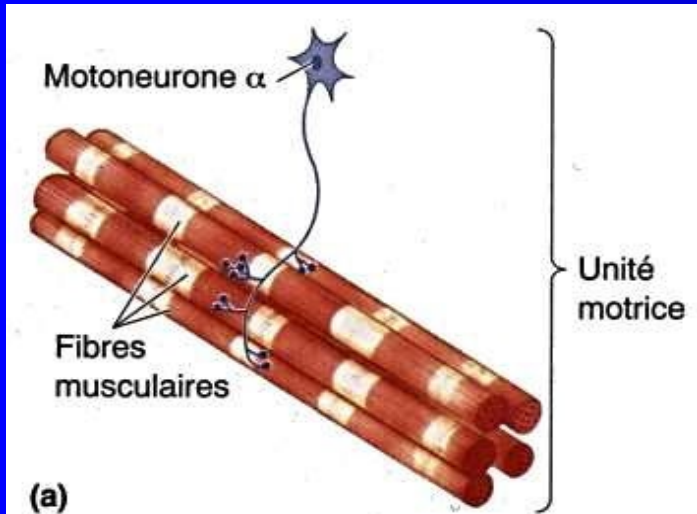


FIGURE 9.12
Unités motrices. Chaque unité motrice comprend un neurone moteur et toutes les fibres musculaires qu'il rejoint. (a) Représentation schématique de certaines parties de deux unités motrices. Les corps cellulaires des neurones moteurs, qui renferment le noyau, se trouvent dans la moelle épinière, et les axones se rendent jusqu'au muscle. À l'intérieur du muscle, chaque axone se ramifie en un certain nombre de terminaisons axonales, qui rejoignent des fibres musculaires disséminées dans l'ensemble du muscle. (b) Photomicrographie d'une partie d'une unité motrice (110 \times). Remarquez les terminaisons axonales divergentes et les terminaisons neuromusculaires avec les fibres musculaires.

lares des neurones moteurs, qui renferment le noyau, se trouvent dans la moelle épinière, et les axones se rendent jusqu'au muscle. À l'intérieur du muscle, chaque axone se ramifie en un certain nombre de terminaisons axonales, qui rejoignent des

fibres musculaires disséminées dans l'ensemble du muscle. (b) Photomicrographie d'une partie d'une unité motrice (110 \times). Remarquez les terminaisons axonales divergentes et les terminaisons neuromusculaires avec les fibres musculaires.

2.3.1) Les unités motrices:

- un motoneurone;
- et l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve.

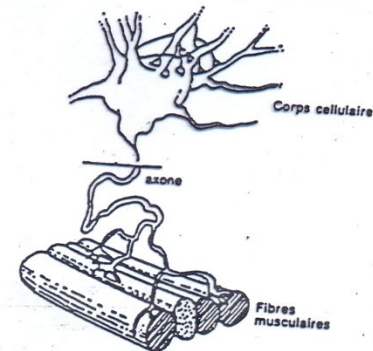


figure 105 : représentation schématique d'une unité motrice (d'après Edington et Edgerton 1976)

LE RECRUTEMENT EN FONCTION DE LA CHARGE

- Charge légère : seules les fibres de types I sont recrutées
- Charges moyennes : les fibres de types I et IIa sont recrutées
- Charges lourdes : les fibres de types I, IIa et IIb sont recrutées

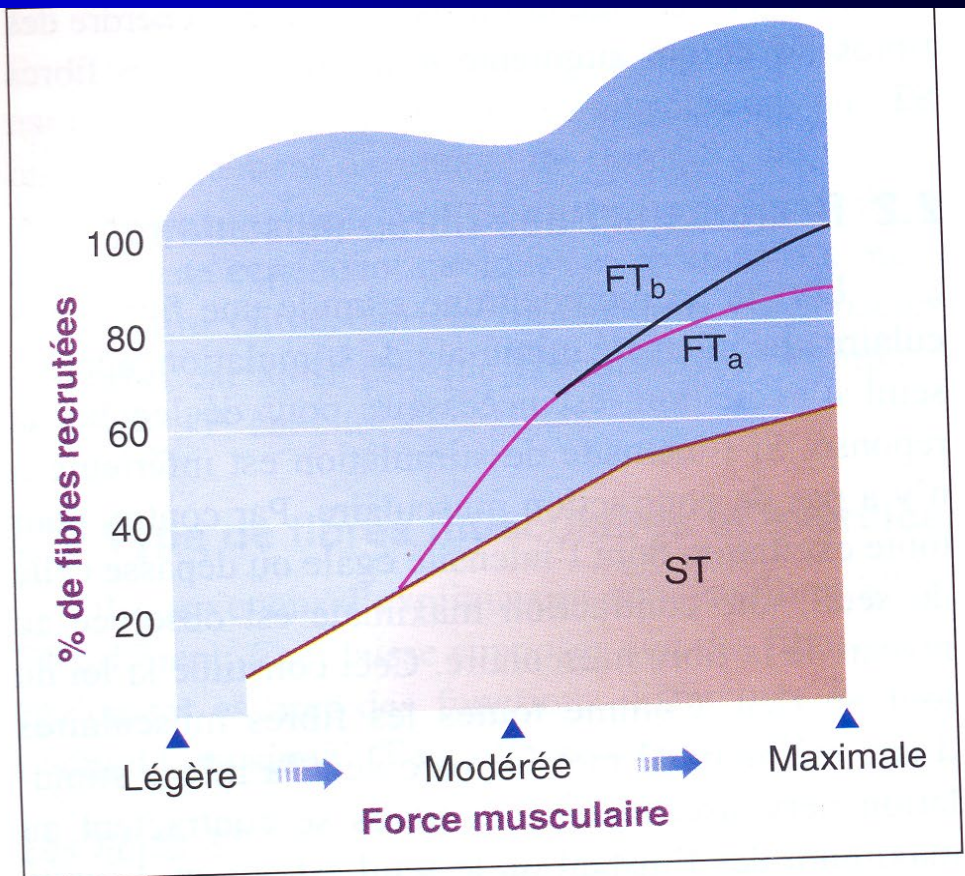


Figure 1.14 : Le recrutement progressif des fibres musculaires lentes et rapides. Remarquez que ce sont les fibres ST qui contribuent essentiellement au développement de la force pour des charges légères. Les fibres FT_a et FT_b sont recrutées au fur et à mesure que la charge augmente. Le développement de la force maximale nécessite le recrutement de toutes les fibres musculaires.

LOI DE HENNEMANN

Les motoneurones les plus petits sont toujours recrutés en premier



Les fibres de type I sont innervées par les motoneurones les plus petits



Les fibres de type I sont toujours recrutées en premières

D'après Paillard

La loi de Henemann est vraie pour les mouvements en rampes (progressivement accélérés)

Dans les mouvements balistiques (explosifs)
elle est prise en défaut et les fibres de type II
sont recrutées avant les types I

CONCLUSION

Pour recruter les fibres de types II



Il faut travailler avec des charges moyennes ou lourdes



Il faut travailler avec des charges légères mais avec un geste explosif ou une grande vitesse

LE CONTROLE NERVEUX DU MOUVEMENT

L'INTEGRATION SENSORI-MOTRICE

- Stimulation d'un récepteur



- Transmission au système nerveux



- Traitement de l'information par le SN



- Transmission de la réponse aux muscles



- Réponse musculaire

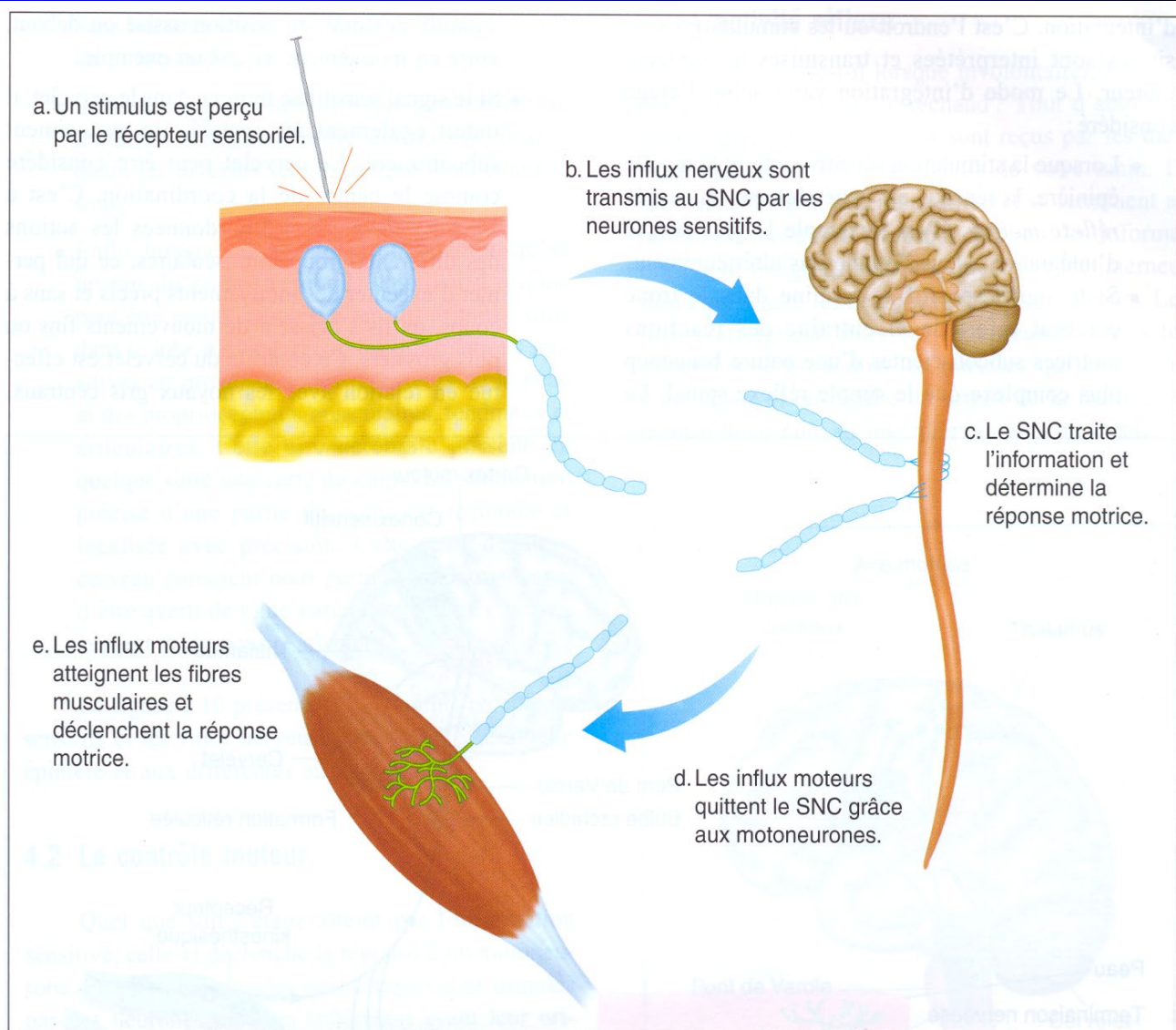


Figure 2.9: La séquence d'événements de l'intégration sensori-motrice ou arc réflexe.

LES DIFFERENTS RECEPTEURS

- Sensoriels
- Kinesthésiques
- Fuseau neuromusculaire (mécanorécepteur)
- Organe de Golgi

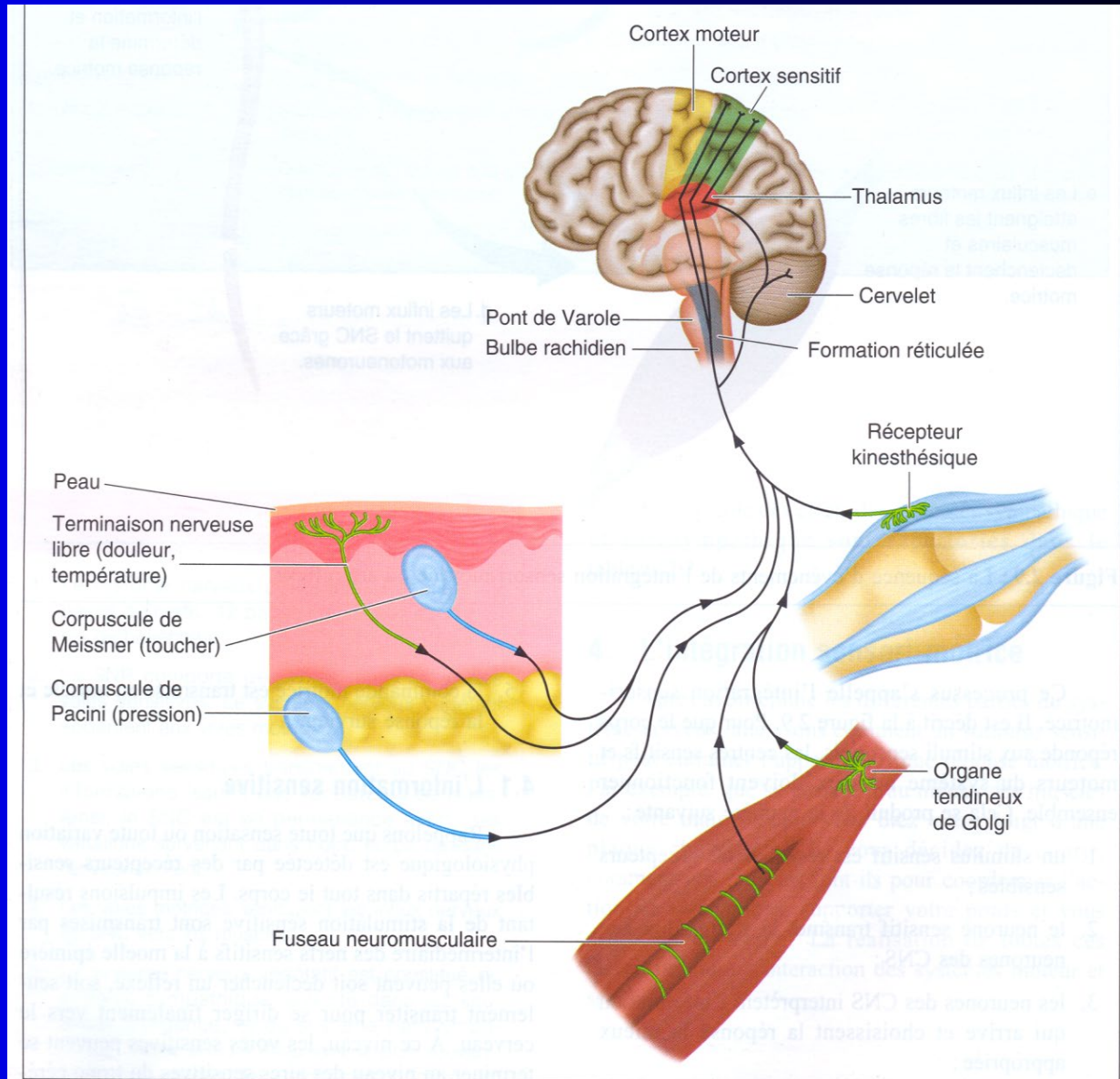


Figure 2.10 : Les récepteurs sensoriels et leurs connexions vers la moelle épinière et le cerveau.

LES DIFFERENTS TYPES DE REPONSES

- Moelle épinière: réponse réflexe
- Tronc cérébral inf.: réponse subconsciente plus complexe (contrôle postural)
- Cervelet: réponse subconsciente de mouvement coordonnés
- Thalamus: réponse consciente coordonnée et adaptée
- Cortex: réponse consciente et réajustée en permanence

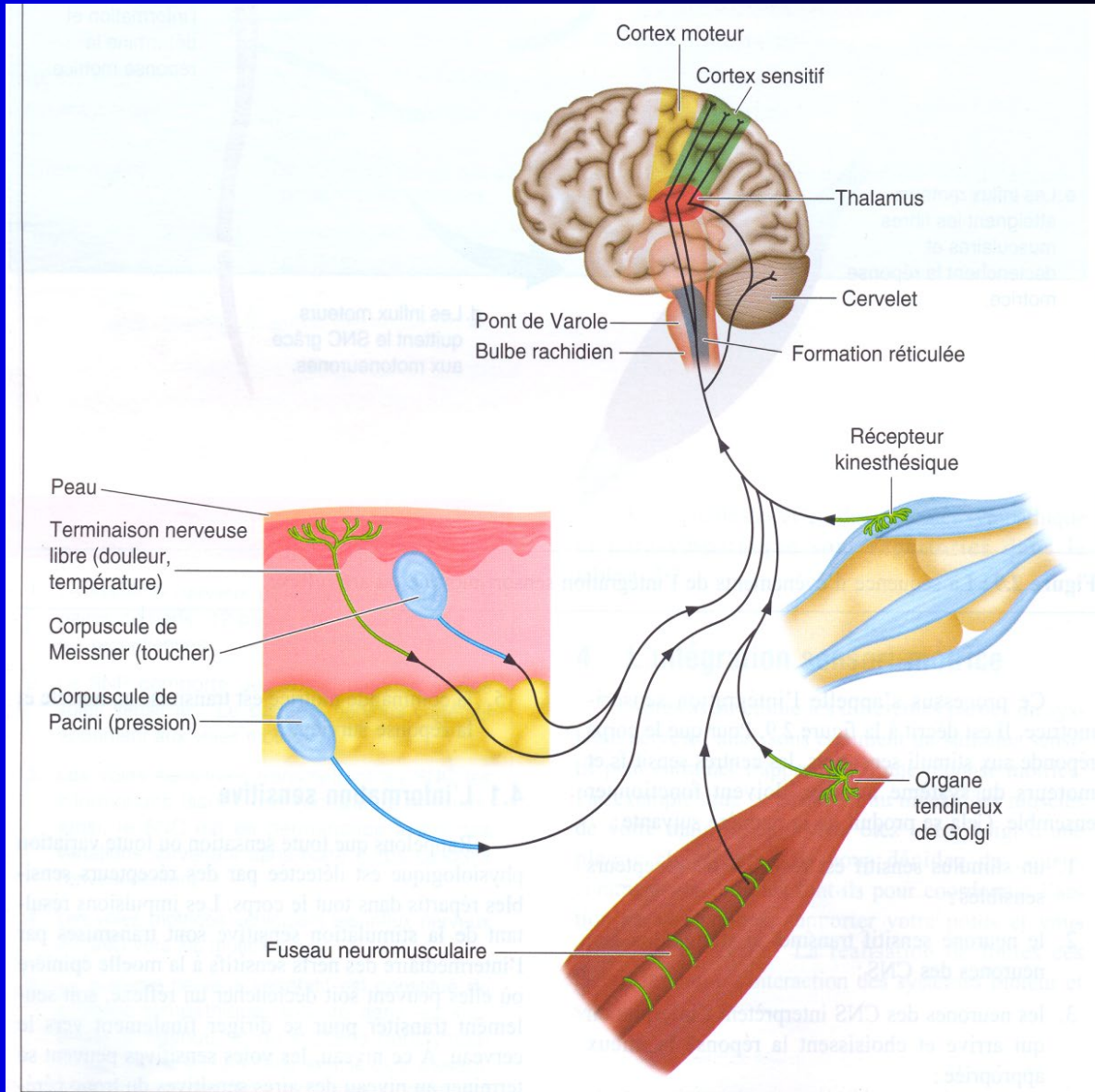


Figure 2.10: Les récepteurs sensoriels et leurs connexions vers la moelle épinière et le cerveau.

L'ACTIVITE REFLEXE

484 Troisième partie: Régulation et intégration des processus physiologiques

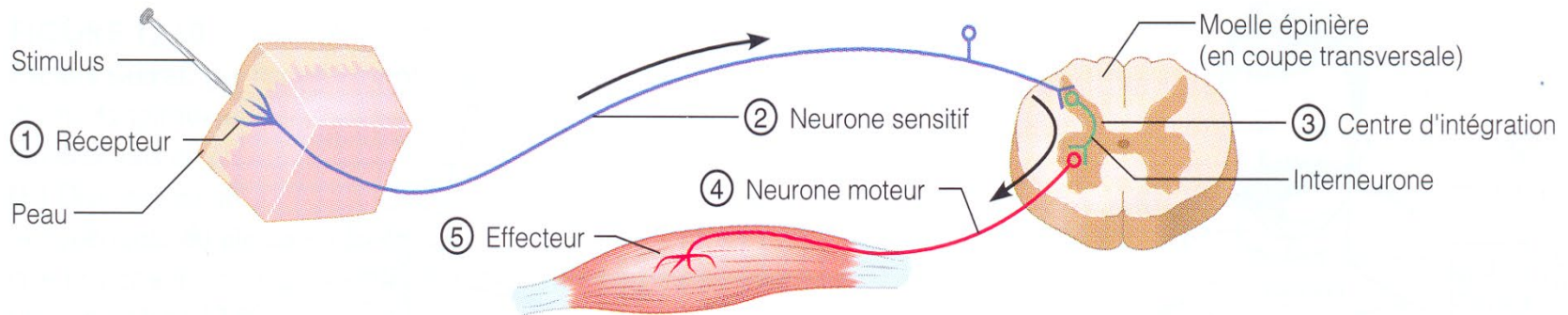
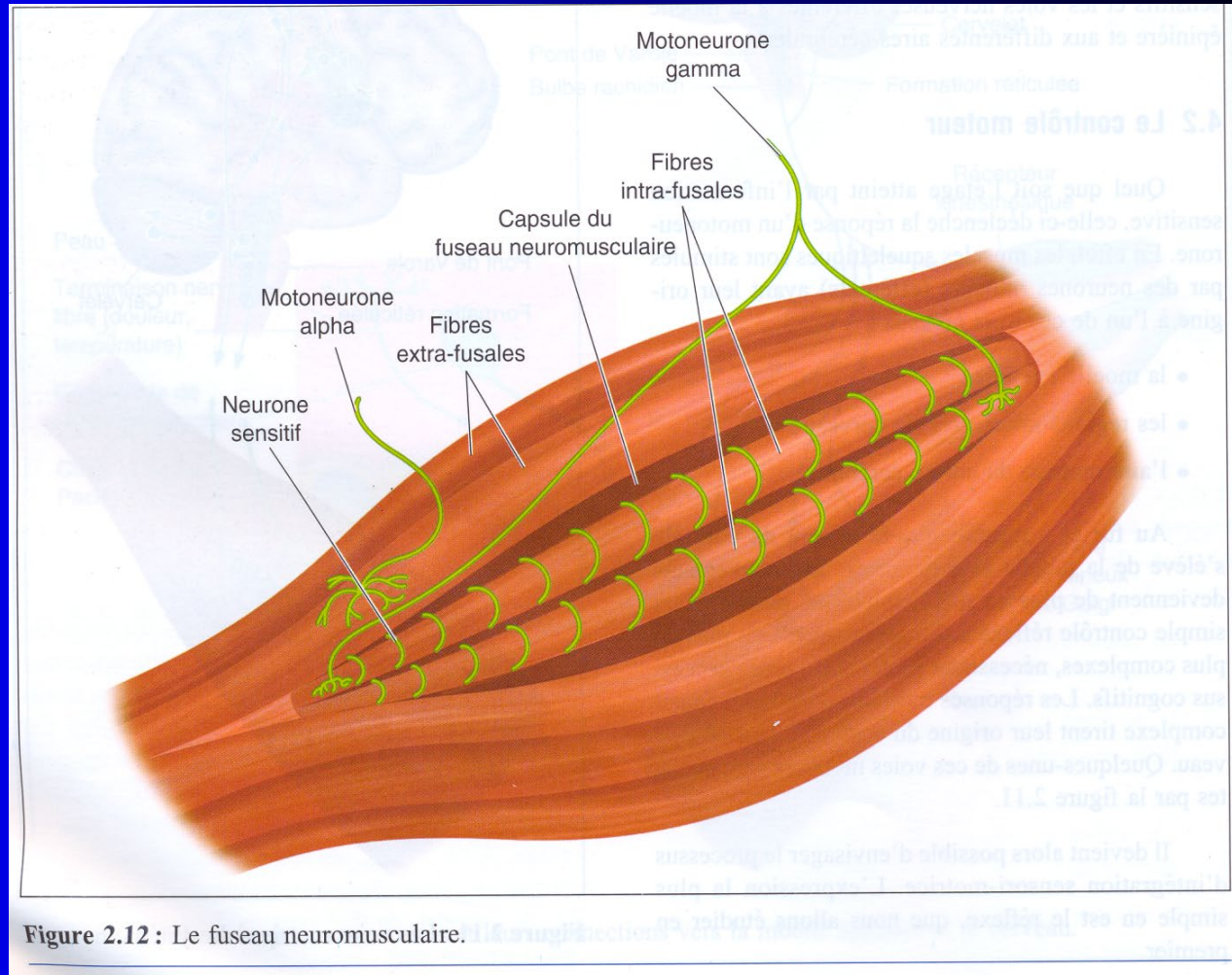


FIGURE 13.12

Éléments fondamentaux de tous les arcs réflexes chez l'être humain: un récepteur, un neurone sensitif, un centre d'intégration (au moins une synapse dans le SNC), un neurone moteur et un effecteur. (L'arc réflexe représenté est polysynaptique.)

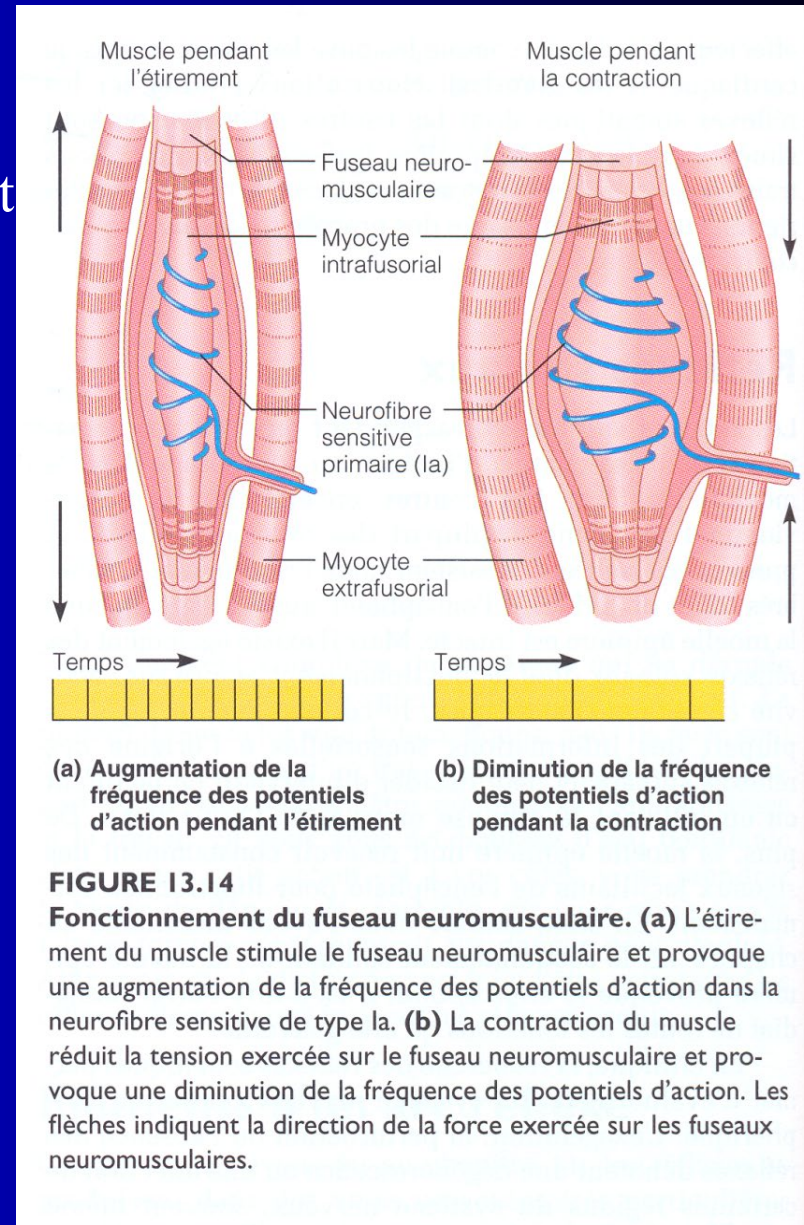
LE FUSEAU NEURO-MUSCULAIRE

- Situé dans les muscles
- Parallèle aux fibres
- Entouré d'un neurone sensitif
- Pas de sarcomère au milieu
- Des sarcomères en bout de fibres
- Commandé par un neurone moteur gamma
- Dans une gaine spéciale
- Relié aux fibres parallèles



FONCTIONNEMENT DU FUSEAU NEURO-MUSCULAIRE

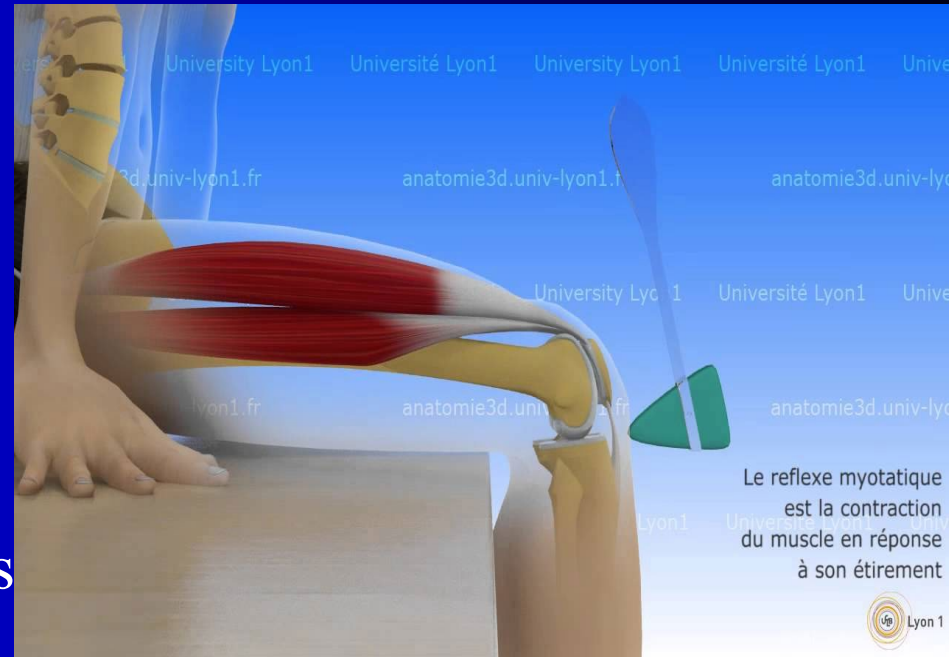
- Pré-étirement des fuseaux par les motoneurones gamma
- Fuseau encore plus sensible à l'étirement
- Etirement des fibres musculaires
- Etirement du fuseau
- Réponse contraction des fibres musculaires pour résister à l'étirement
- Quand les motoneurones alpha sont stimulés, les motoneurones gamma le sont aussi
- Etirement plus important du fuseau
- Accentuation de la stimulation du réflexe de contraction du muscle
- L'action du fuseau neuro-musculaire favorise la contraction



Le réflexe myotatique ou réflexe d'étirement:

L'examen neurologique du doc:

- 1) Le médecin crée, par sa stimulation sur le tendon rotulien, un **étirement brusque du quadriceps**.
- 2) L'étirement du muscle, et donc du **fuseau neuro-musculaire** entraîne une information ***1** vers la moëlle épinière (ici:L3/L4).
- 3) Cette information « **réflexe** » n'est pas traitée par le cerveau.
- 4) La réponse motrice ***2** est plus rapide et permet la **contraction du muscle étiré** pour prévenir les blessures.



***1**: Message afférent sensitif

***2**: Message efférent moteur

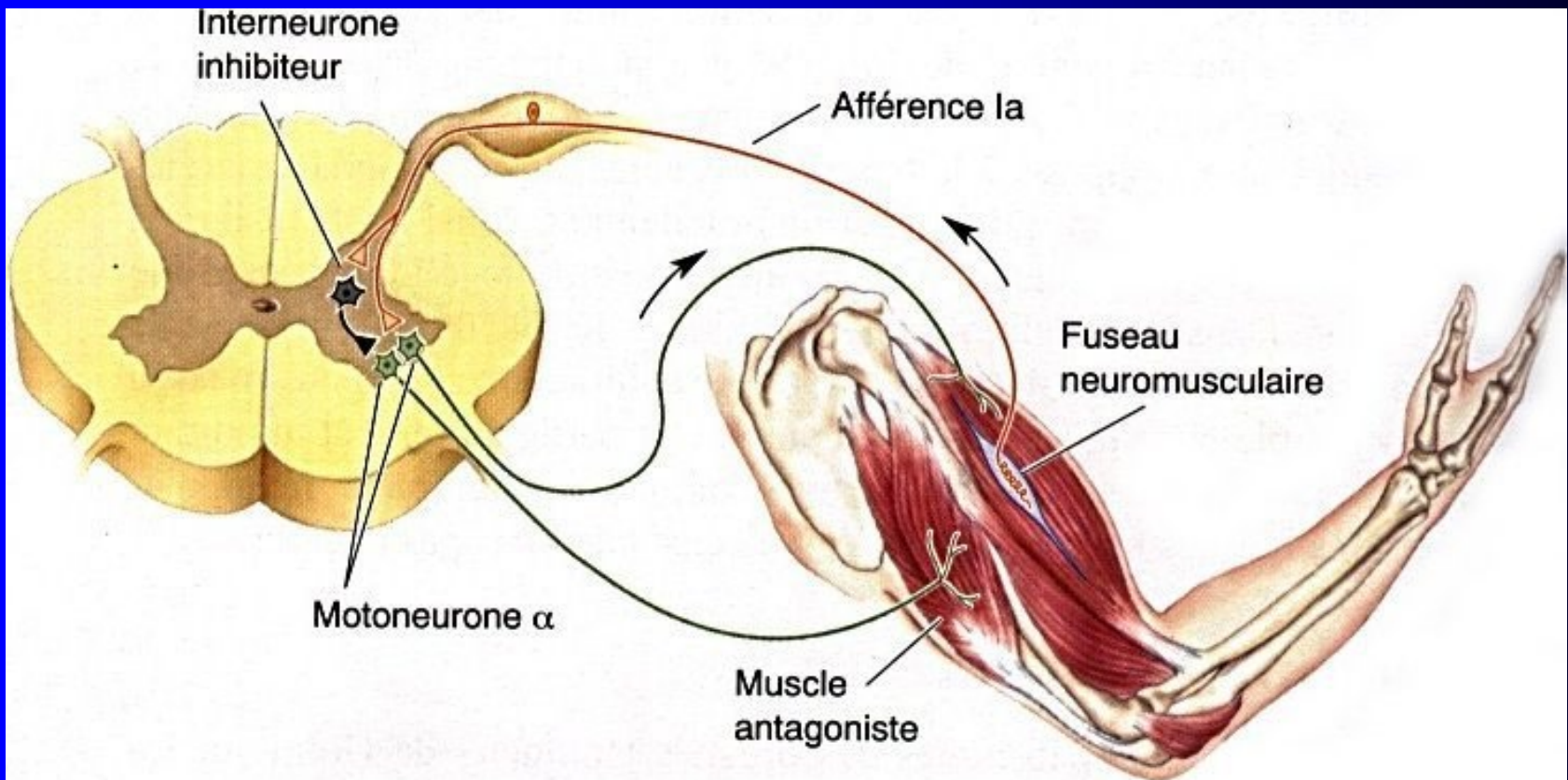
Le réflexe myotatique possède deux composantes, une phasique et l'autre tonique.

- La composante phasique est liée à **la vitesse rapide d'étirement** provoquant une contraction réflexe. Elle met en jeu les fibres nerveuses afférentes de type Ia (d'où l'indication de nombreux auteurs de ne pas faire un stretching rapide).
- La composante tonique de réflexe est liée à **l'intensité faible de l'étirement** qui provoque aussi une contraction réflexe. Elle met en jeu les fibres nerveuses afférentes de type II

L'inhibition réciproque:

Pour faire simple:

Lors de ce mécanisme, des interneurones inhibiteurs faisant connexion entre les neurones sensoriels gamma (γ) et les motoneurones alpha (α) des muscles antagonistes entraînent le relâchement des muscles antagonistes



Le réflexe myotatique inverse

Le réflexe myotatique inverse (ou réflexe tendineux (Golgi))
C'est un processus neurologique réflexe qui débute au niveau du muscle.

Le rôle du réflexe myotatique inverse est de **provoquer « le relâchement et l'allongement » en réponse à sa contraction (blessures, déchirures)**. Il y a également, via un interneurone inhibiteur, une contraction de l'antagoniste.



Ce réflexe est possible grâce aux **organes tendineux de Golgi** (fuseau neuro tendineux), organes sensibles à la tension du tendon.

Ces fuseaux neurotendineux auront pour effet d'envoyer un **signal inhibiteur** au muscle (étiré ou contracté). C'est-à-dire par les neurofibres Ib puis les fibres alpha (α), ces dernières vont inhiber le muscle en cas de tension trop forte.

Il peut être déclenché de deux façons :

- par une très forte tension pendant un temps court,
- par une faible tension pendant un temps long (d'où l'indication de nombreux auteurs de pratiquer d'un stretching lent).

LES RECEPTEURS DE GOLGI

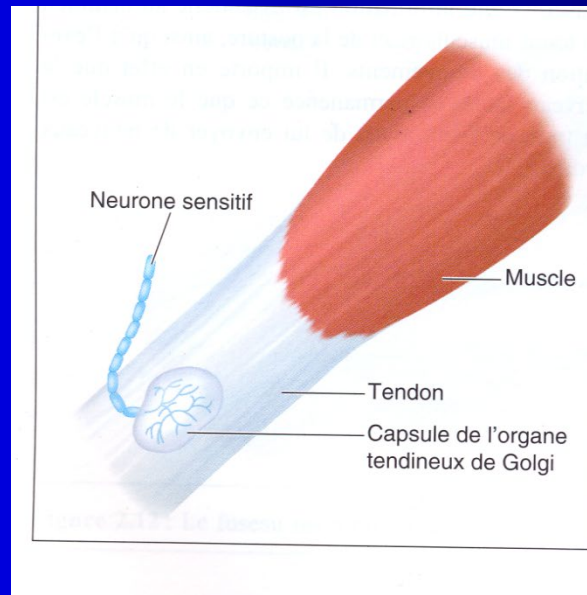


Figure 2.13 : Un organe tendineux de Golgi.

- Sont situés dans les tendons
- Sensibles à la tension musculo-tendineuse
- Sont inhibiteurs des muscles en contraction
- Stimulent les muscles antagonistes
- L'action des golgi défavorise la contraction

Pour résumer:

- a) Le fuseau neuro musculaire protège contre un étirement passif ou inadéquat et renseigne sur la longueur du muscle, ce qui adapte en permanence la longueur et le tonus**

- b) L'organe tendineux de Golgi protège contre une tension et une contraction inappropriées du muscle**

C'est pas fini!

Pour aller un peu plus loin encore:

La proprioception

1. Utilise les récepteurs sensoriels (ou proprioceptifs) du corps
2. Permet de connaître la force, la position et les mouvements de son propre corps sans forcément avoir à les observer visuellement
3. Est nécessaire pour maintenir l'équilibre, contrôler et guider les mouvements volontaires et évaluer par exemple la forme d'un objet dans la main

La statesthésie:

Sensation de la position des membres ou de la position des segments les uns par rapport aux autres. Info statique

La kinesthésie:

Sensation de mouvement permettant de localiser les différentes parties de notre corps et d'évaluer leurs déplacements (vitesse et direction)
Info dynamique

Courage, on arrive au bout, on garde les yeux ouverts!



1. Les **corpuscules de Pacini** sont des récepteurs sensoriels formés de terminaisons encapsulées situés en profondeur dans l'hypoderme de la peau, qui sont sensibles aux pressions et aux vibrations. C'est un mécanorécepteur donc un extérocepteur, principal responsable du toucher. Il détecte le début et la fin d'une pression mécanique (dans le muscle).
2. Les **corpuscules de Ruffini** sont des récepteurs sensoriels des articulations. Ils sont responsables de la détection de pressions sur la peau et de l'étirement de la peau. Ils renseignent sur la pression, son intensité et sa durée
3. Les **corpuscules de Meissner** sont des récepteurs sensoriels situés dans le derme papillaire (partie supérieure du derme), particulièrement sensibles au toucher léger. Localisés dans les régions à haute sensibilité comme les doigts, la plante des pieds, les lèvres, la langue, etc.

Tests:

- Test de perception dynamique:

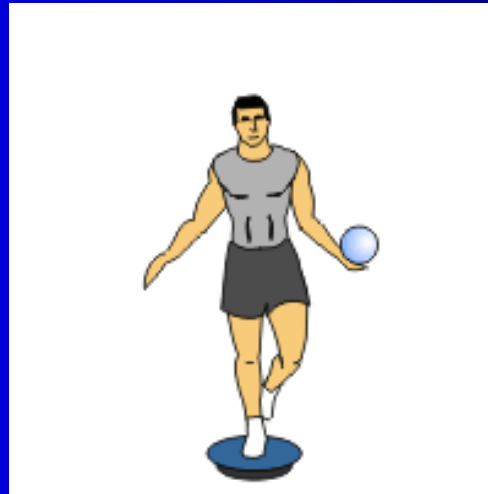
Fermez les yeux et touchez votre nez avec votre doigt...

Ecrivez « Kinesthésie » les yeux fermés...

Regarder un objet, fermez les yeux, et prenez-le!

- Test de perception statique:

Votre voisin vous place votre bras dans une position (vous avez les yeux fermés) et vous devez dire comment il est puis placer l'autre bras dans la même position, toujours sans regarder!



Lucas Orthopédie

FIN

Vous pouvez réveiller les dormeurs

