

**Ministère de l'enseignement supérieur  
université Ferhat Abbas Sétif 1  
faculté de Médecine - Laboratoire de Physiologie  
Service de neurologie médicale -CHU Sétif**

**Cours de Physiologie**

# **La moelle épinière : centre reflexe**

**Dr BELLOUZ.I**

# GÉNÉRALITÉS

# CYTOARCHITECTONIE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE

Fig :cytoarchitecture substance grise (REXED)

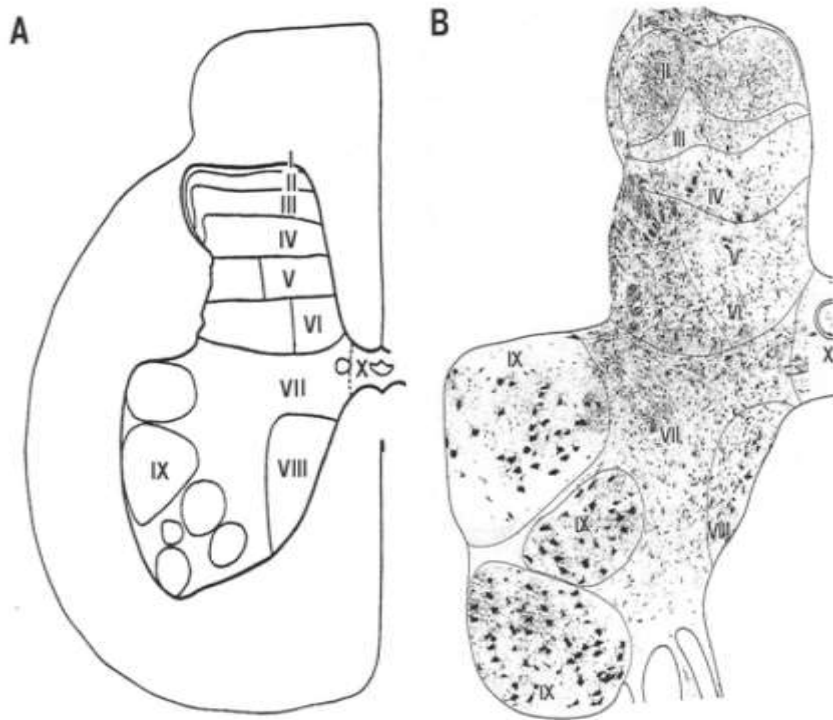
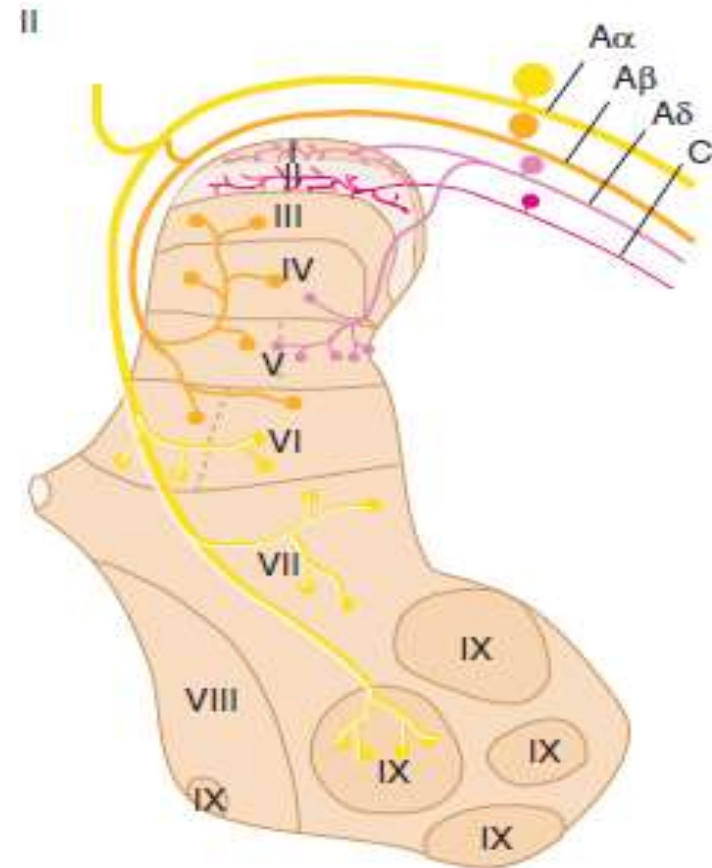


Fig : terminaisons des afférences primaires



# CYTOARCHITECTONIE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE

- la couche **I** ( zone marginale) relais des informations thermiques et nociceptives
- la couche **II** (ou substance gélatineuse) reçoit des afférences de fibres amyéliniques et fibres myélinisées fines
- les couches **III** à **VI** correspondent au nucleus proprius (ou noyau propre); elles intègrent les informations sensorielles avec des informations descendantes provenant des centres supérieurs
- la couche **VII** correspond au noyau de Clarke + noyau intermédiaire latéral. Elle n'est présente que dans la moelle thoracique et dans la région lombaire supérieure. Elle relaie des informations proprioceptives vers le cervelet (noyau de Clarke) et comprend les motoneurones préganglionnaires du SNV orthosympathique (noyau intermédiaire latéral)
- la couche **VIII** contient des interneurones essentiels dans le contrôle de l'activité musculaire
- la couche **IX** est celle des motoneurones des muscles squelettiques.
- la couche **X** entoure le canal central et reçoit des entrées sensorielles comparables aux couches **I** et **II**.

# Généralités

- au début du siècle dernier, grâce aux travaux du neurophysiologiste anglais Charles **Sherrington** , les principaux mécanismes des réflexes ont été élucidés
- En effet, l'animal spinal reste capable de réagir, par des mouvements de ses membres paralysés, aux stimulations portées sur les parties de son corps
- Ces réactions indépendante du cerveau sont appelées REFLEXES

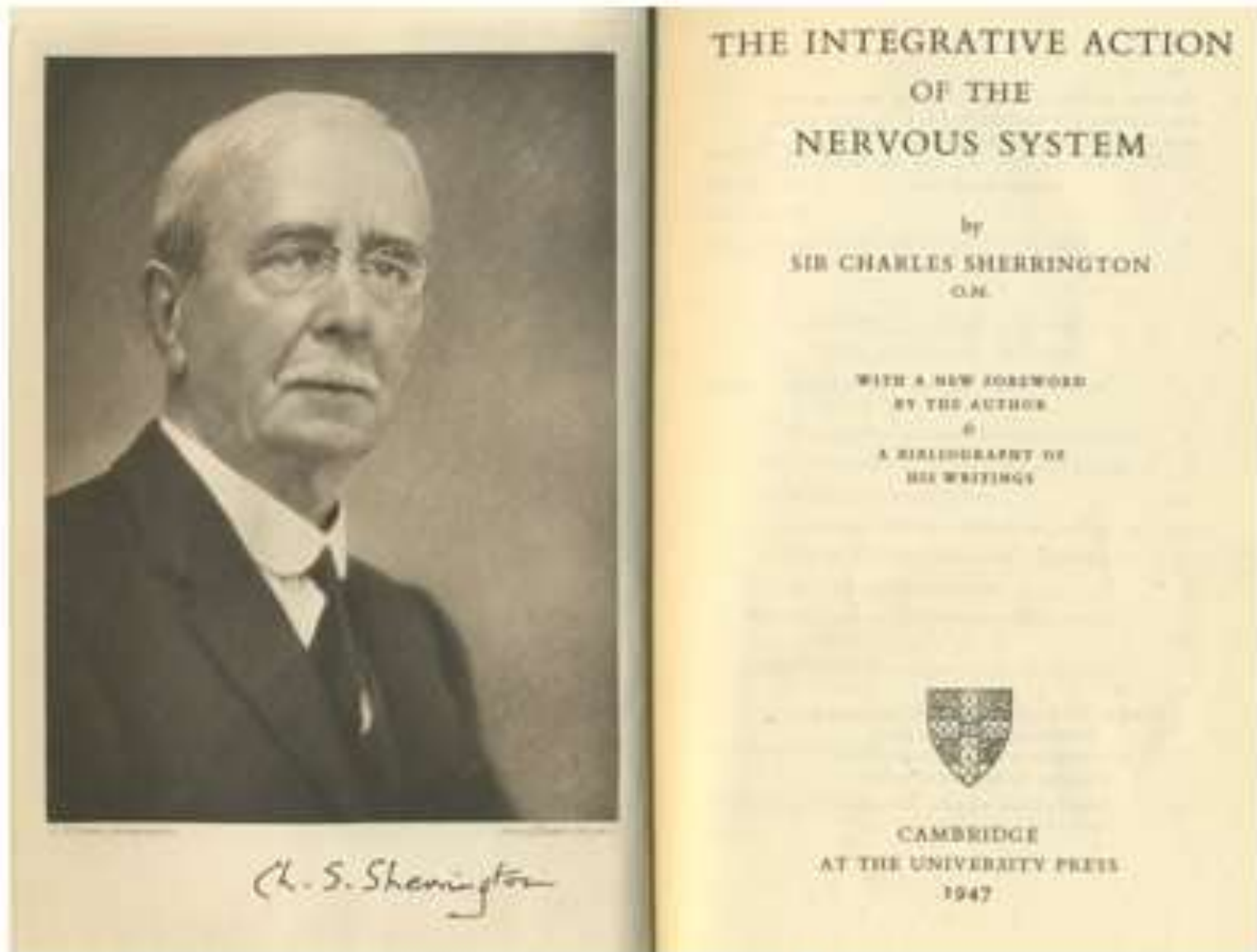


Figure 2: First page of Sherrington's famous book, The Integrative Action of the Nervous System (1906), the 5th edition of 1947.

# Définition

**Reflexe médullaire = une réponse musculaire** induite par une stimulation périphérique mettant en jeu les récepteurs cutanés, proprioceptifs ou viscéraux.

réponse **INCONSCIENTE, INVOLONTAIRE, PRÉVISIBLE et STÉRÉOTYPÉE.**

# CLASSIFICATION DES REFLEXES

## 1-Selon le stimulus :

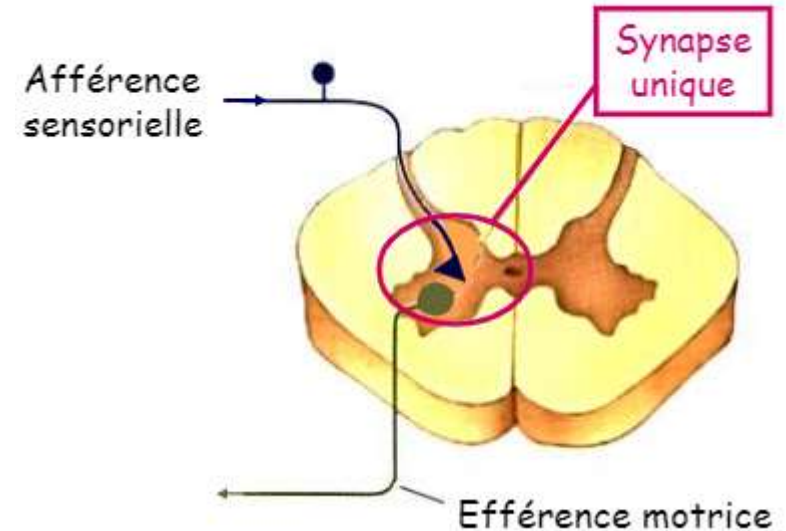
- **réflexe extéroceptif** ( Réflexe ipsilatéral de flexion)
- **réflexe proprioceptif** (Réflexe myotatique)



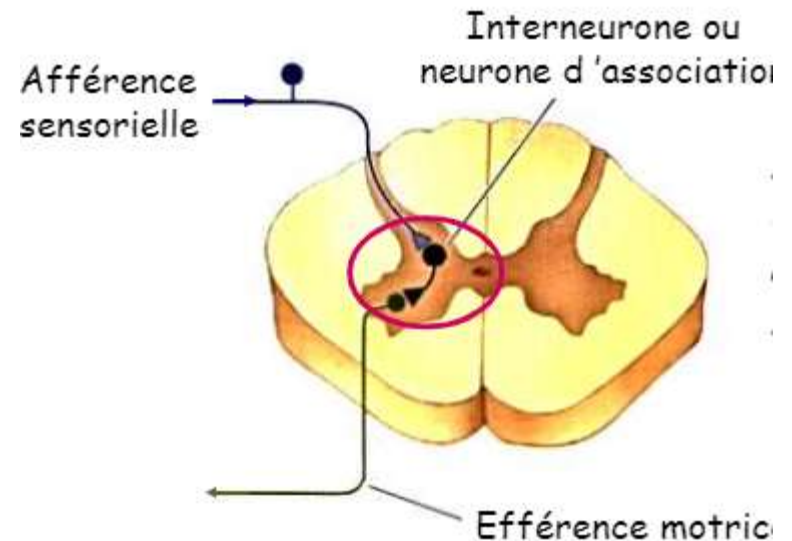
# CLASSIFICATION DES REFLEXES

- 2-Selon le nombre de synapse

➤ monosynaptique



➤ polysynaptique



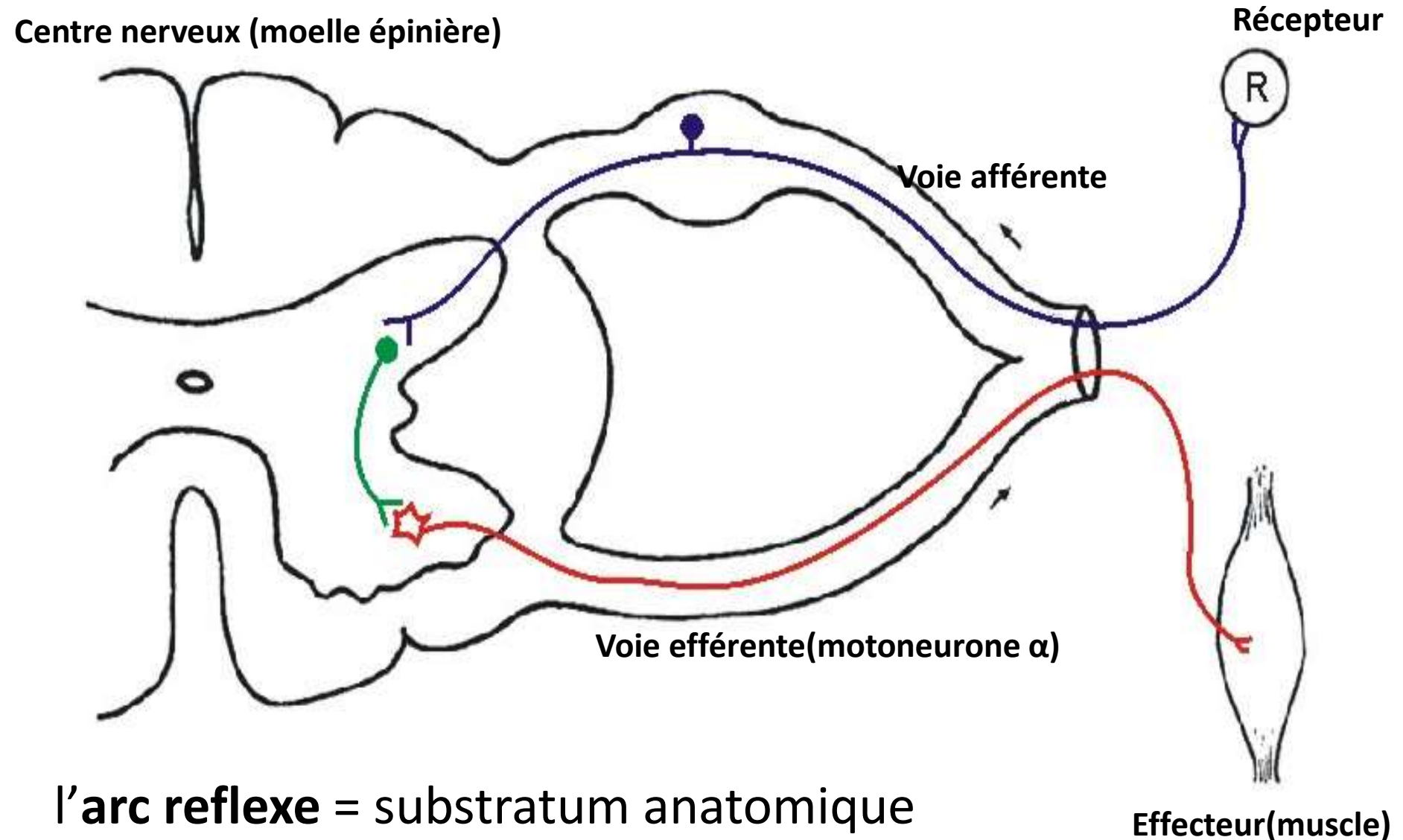
# **CLASSIFICATION DES REFLEXES**

## **3-Selon le type de réaction déclenchée**

➤ **Réflexe de flexion**

➤ **Réflexe d'extension**

# Organisation générale de l'arc reflexe



**l'arc reflexe** = substratum anatomique

# ARC REFLEXE

**1-VERSANT AFFERENT** = Récepteur + La voie afférente

**2- CENTRE NERVEUX :**

moelle épinière (centre d'intégration)

**3-VERSANT EFFERENT** = Voie efférente  
(motoneurone  $\alpha$ ) + Effecteur

# A- LE REFLEXE MYOTATIQUE

- **stretch reflex= réflexe d'étirement**
- La contraction **reflexe** d'un muscle en réponse à **son propre étirement**.

# Mise en évidence

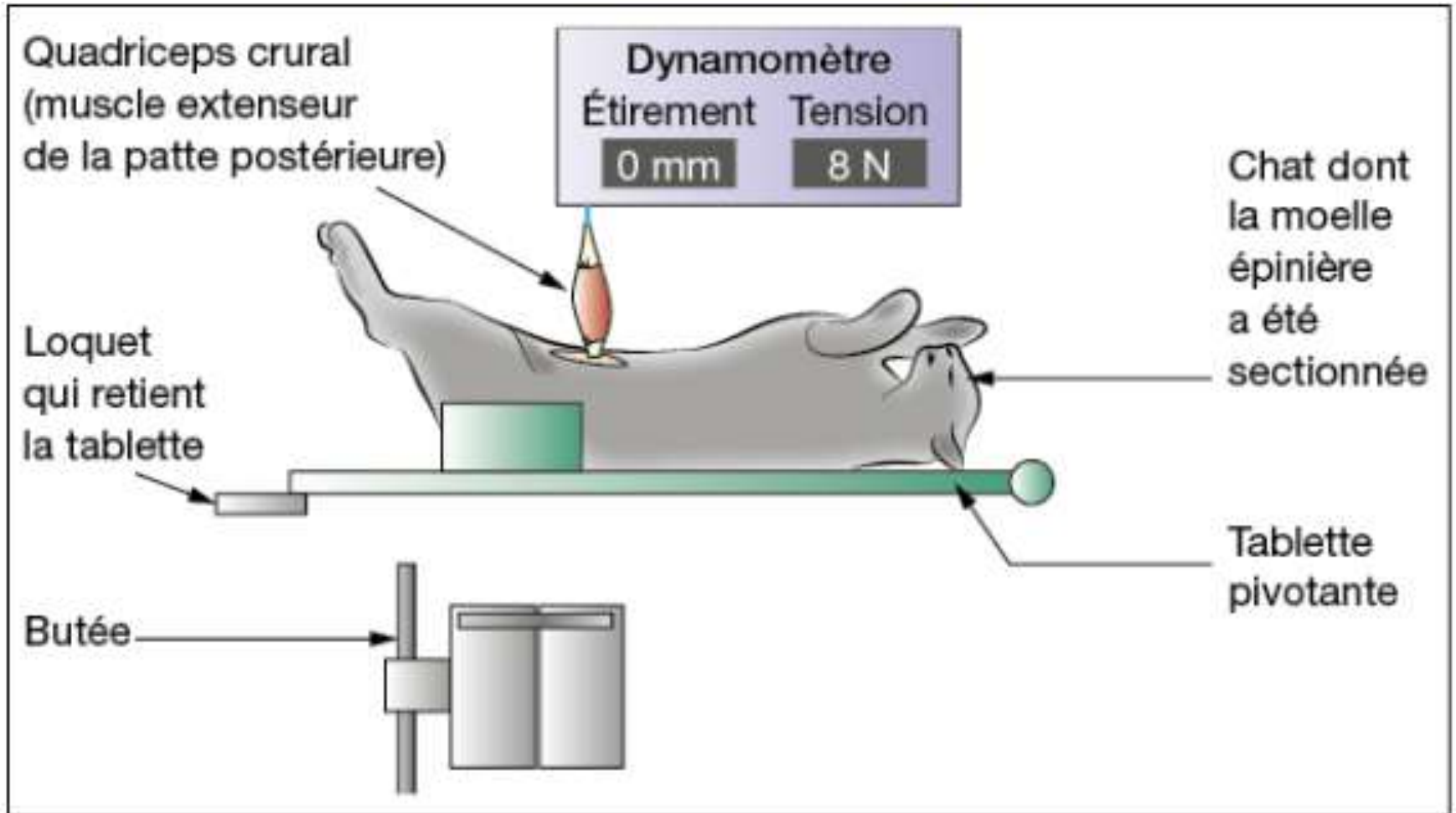
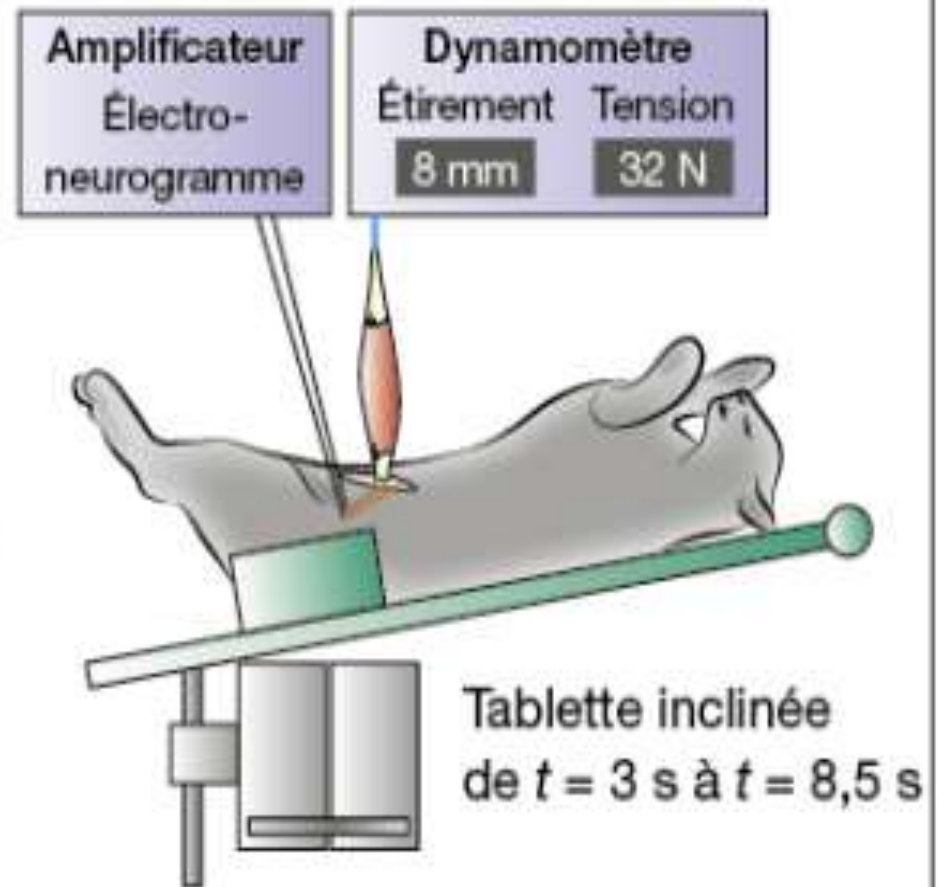
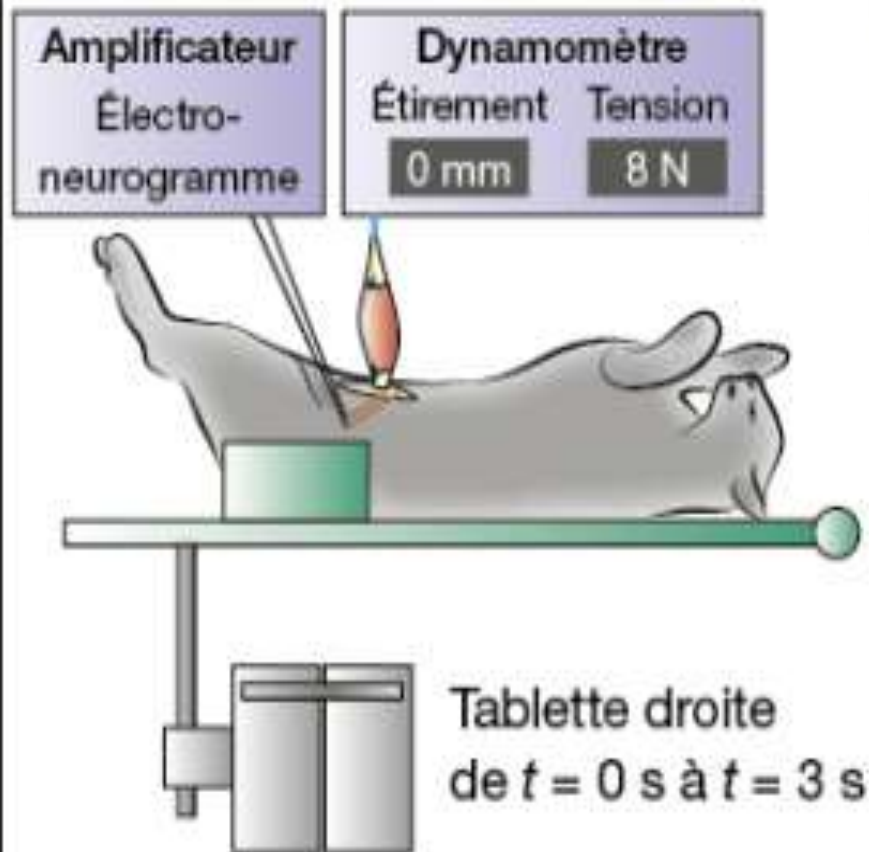


Schéma du dispositif expérimental utilisé par Sherrington

# Mise en évidence

- chat décérébré allongé sur une table pivotante
- Le muscle quadriceps est isolé , conservant son innervation
- tendon rattaché à un myographe
- Peau du membre dénervée
- Les nerfs des autres muscles sectionnés

# Mise en évidence



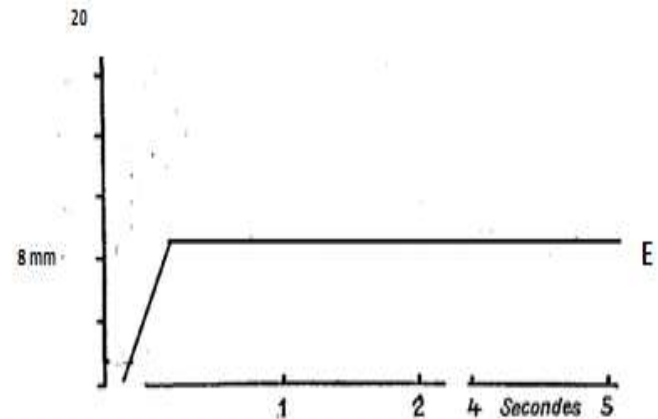
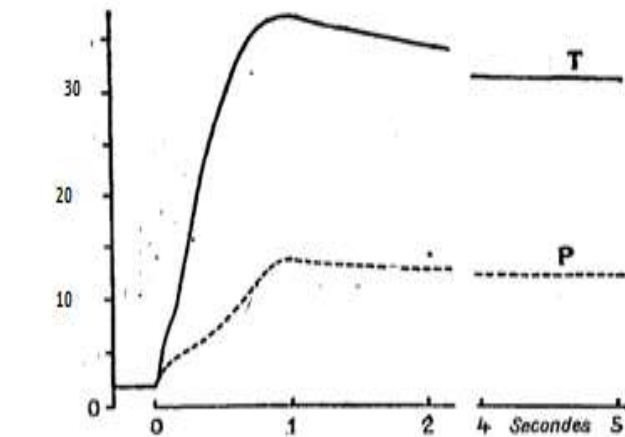


# MISE EN EVIDENCE

- traction sur le muscle → une **tension (T)** se **développe en 2 phases**
- dynamique et statique

# MISE EN EVIDENCE

- T tension après traction
- P tension passive élastique (après section du nerf )
- $T - P = E$  tension de la contraction reflexe



— Réflexe myotatique d'un muscle quadriceps  
chez le Chat décérébré.

# MISE EN EVIDENCE

- Le reflexe myotatique présente deux composantes:
  - Composante phasique** : intenses et de courte durée, provoquées par *l'allongement dynamique*
  - Composante tonique**: plus faibles persistant beaucoup plus longtemps, due à *l'allongement constant*.

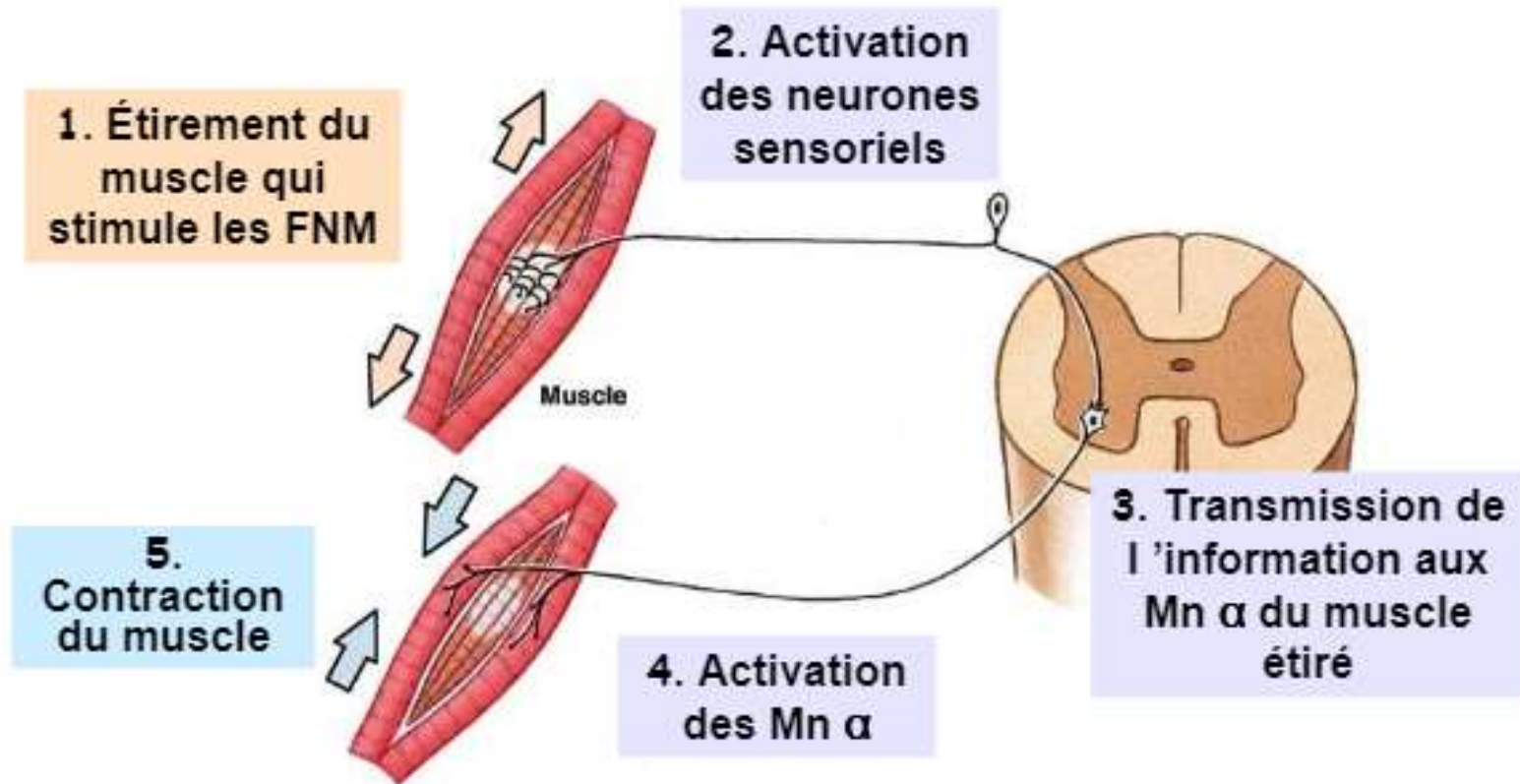
# ORGANISATION

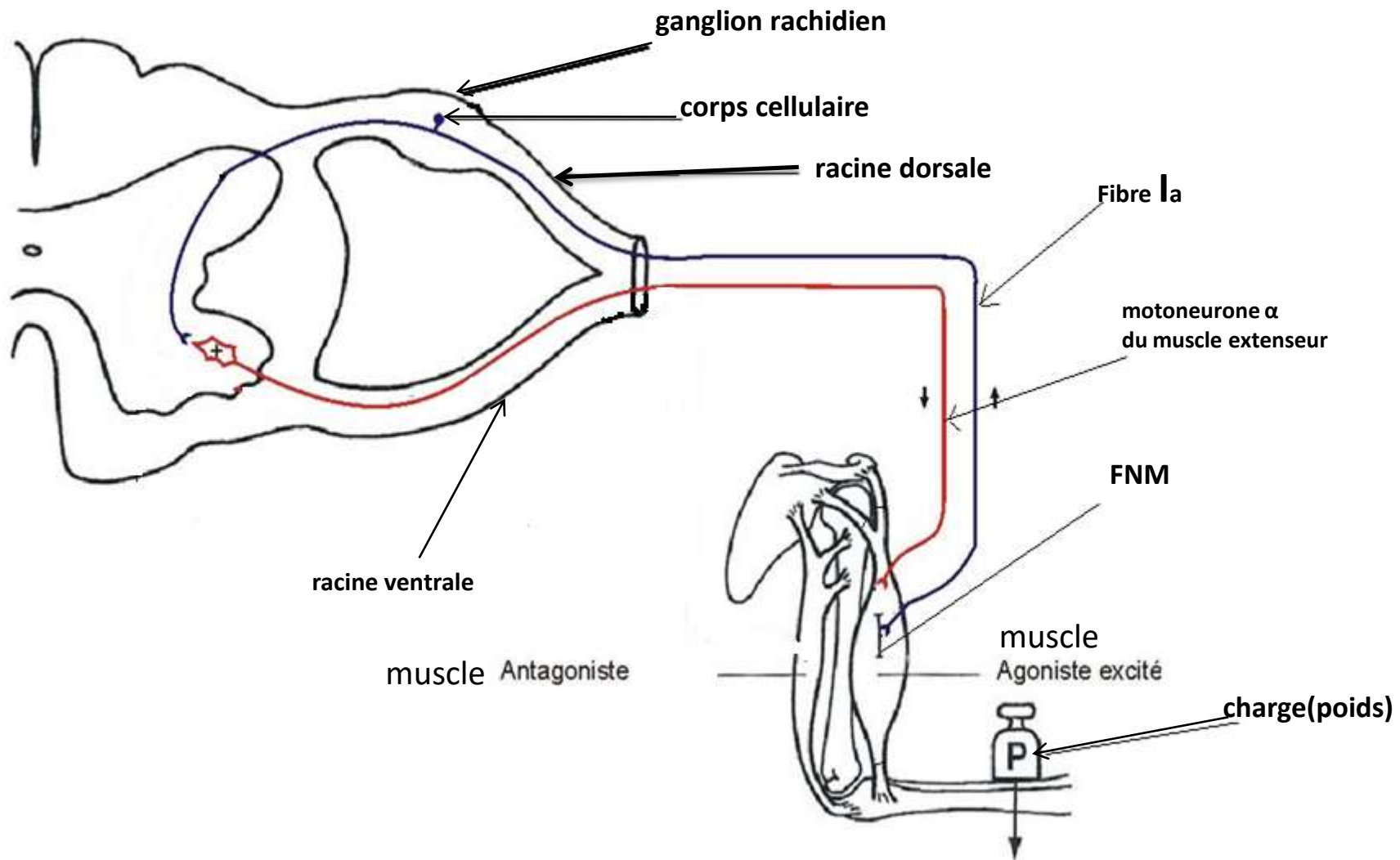
**Récepteur** : -fuseau neuromusculaire.

-propriocepteur de bas seuil (muscle strié squelettique)

- **Voie afférente**:
- la (innervation sensitive des FNM) Cheminent au sein du nerf musculaire puis empruntant la racine dorsale pour pénétrer dans la moelle épinière
- le soma de ces fibres se situe dans le ganglion rachidien.
- **Centre nerveux**:
- la moelle épinière.
- 1 synapse entre **la** et motoneurone  $\alpha$
- **Voie efférente**: -le motoneurone  $\alpha$
- **L'effecteur**: (extenseur ou fléchisseur)

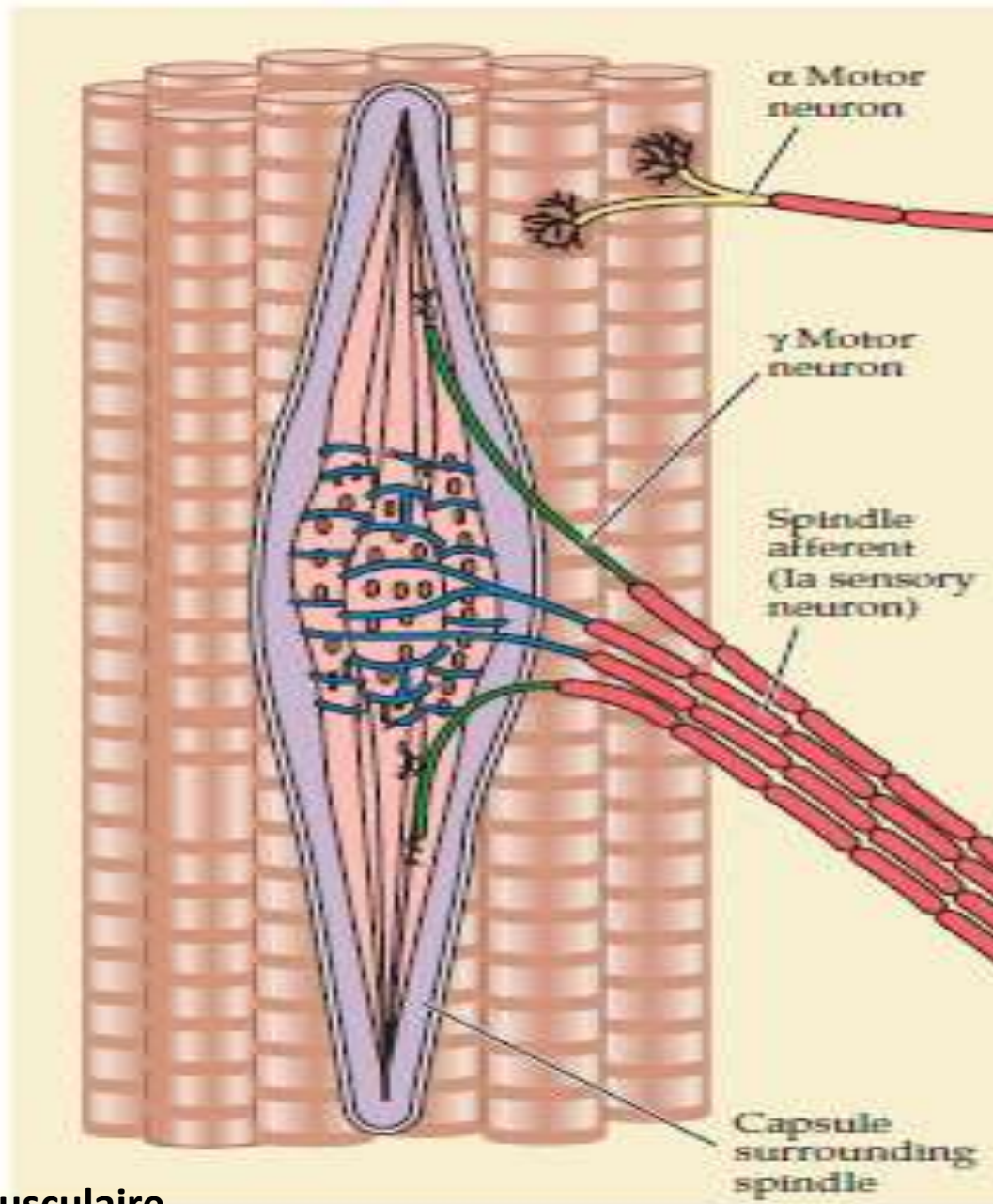
# La voie du réflexe myotatique





**reflexe myotatique**

(A) Muscle spindle

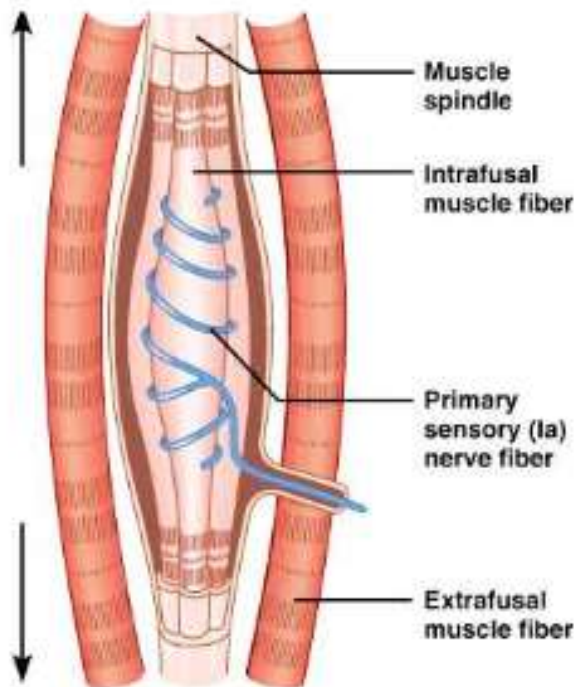


Fuseau neuromusculaire



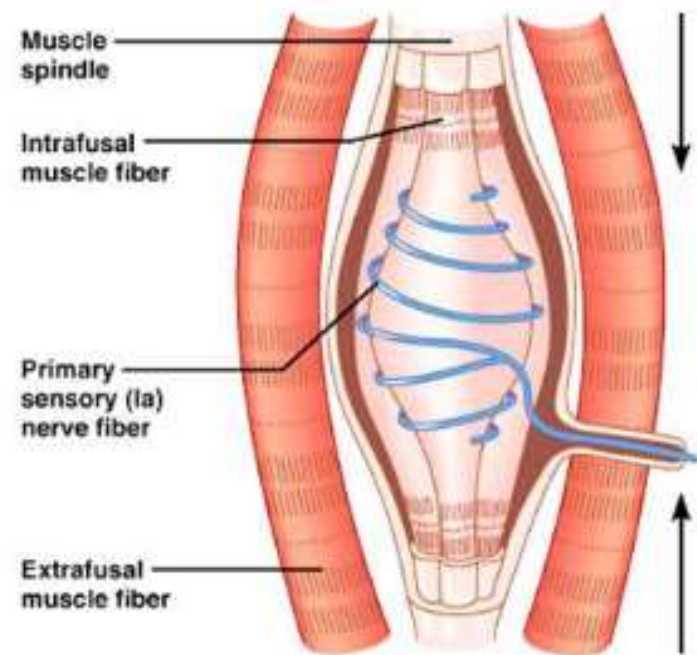
# Fonctionnement global du FNM

Au cours de  
l'étirement du  
muscle



La fréquence des  
potentiels d'action  
augmente

Au cours de la  
contraction du  
muscle



La fréquence des  
potentiels d'action  
diminue



# CARACTÉRISTIQUES

**1-Localisé** :seul le muscle soumis à l'allongement se contracte.

**2-Monosynaptique**: de latence courte.

**3-Proprioceptif**: à point de départ musculaire –fuseau neuromusculaire.

**4-Persistant durant toute durée de la stimulation (caractère tonique)** et disparaît à son arrêt (**pas de post décharge**).

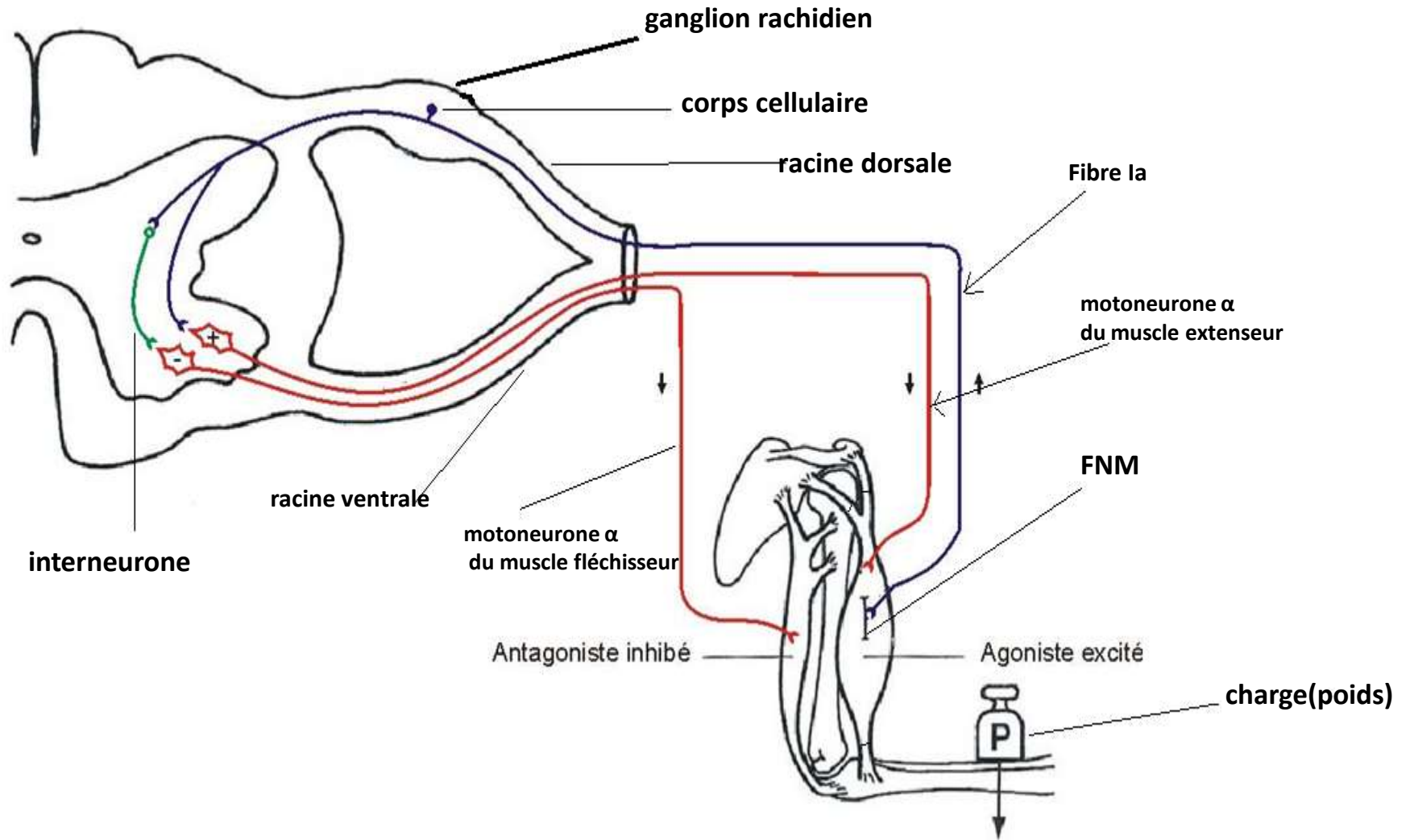
**5-Non fatigable**, pouvant répondre à de hautes fréquences de stimulus.

**6-Relativement résistant aux anesthésiques et l'anoxie.**

7- Présente deux composantes :

**Phasiques** (muscles squelettiques *extenseurs et fléchisseurs*)

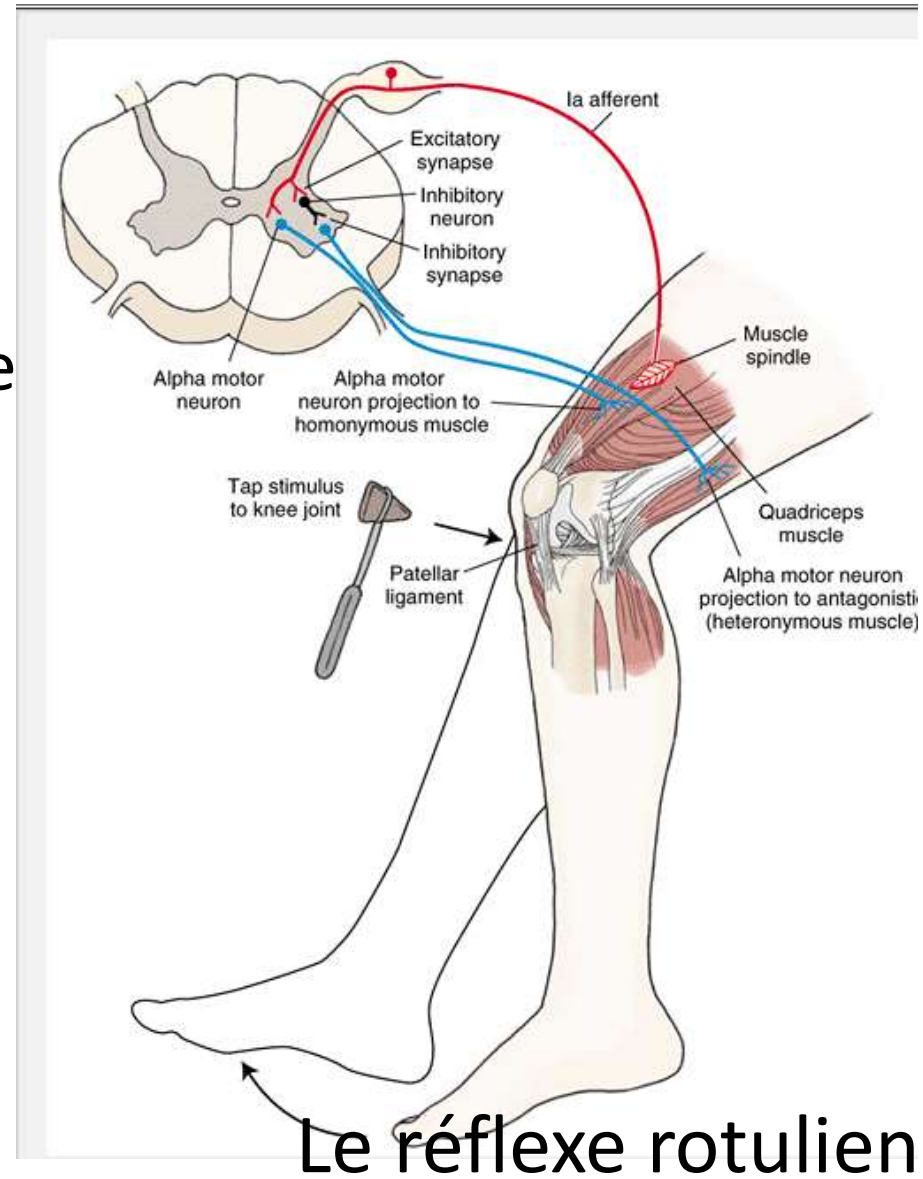
**Toniques** *extenseurs ++ proximaux* (muscles antigravitaire)  
qui joue un rôle prépondérant dans le tonus musculaire

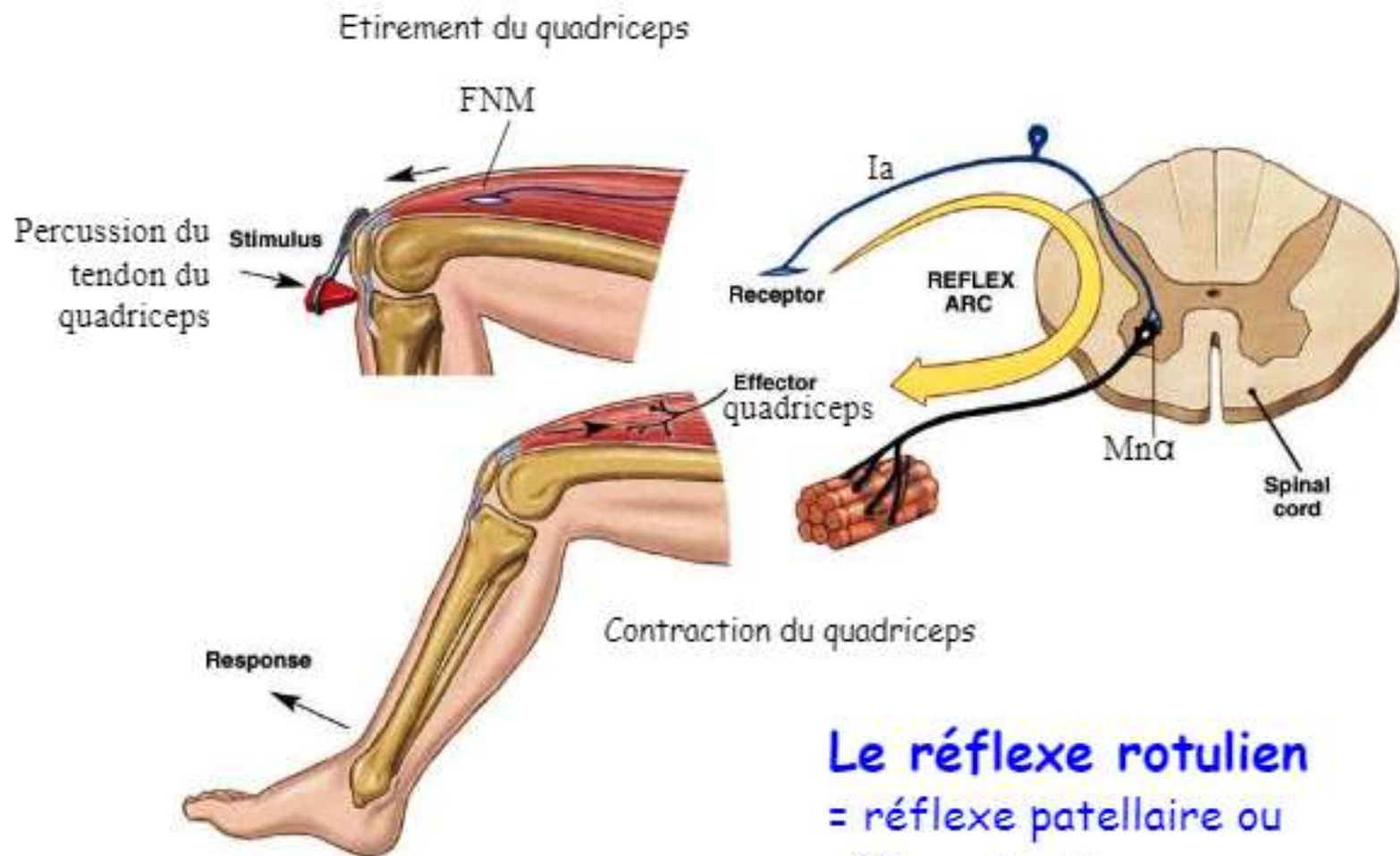


**reflexe myotatique**

# APPLICATION CLINIQUE :

- Réflexe ostéo-tendineux : percussion du tendon du muscle → Secousse = partie phasique du reflexe
- Abolition = Atteinte neurogène périphérique
- Exagération = atteinte centrale





**Le réflexe rotulien**  
= réflexe patellaire ou  
réflexe tendineux

## **ROLE PHYSIOLOGIQUE :**

- **Contrôle de l'activité posturale .**
- **développé dans les muscles antigravitaires**

# B- REFLEXE IPSILATERAL DE FLEXION

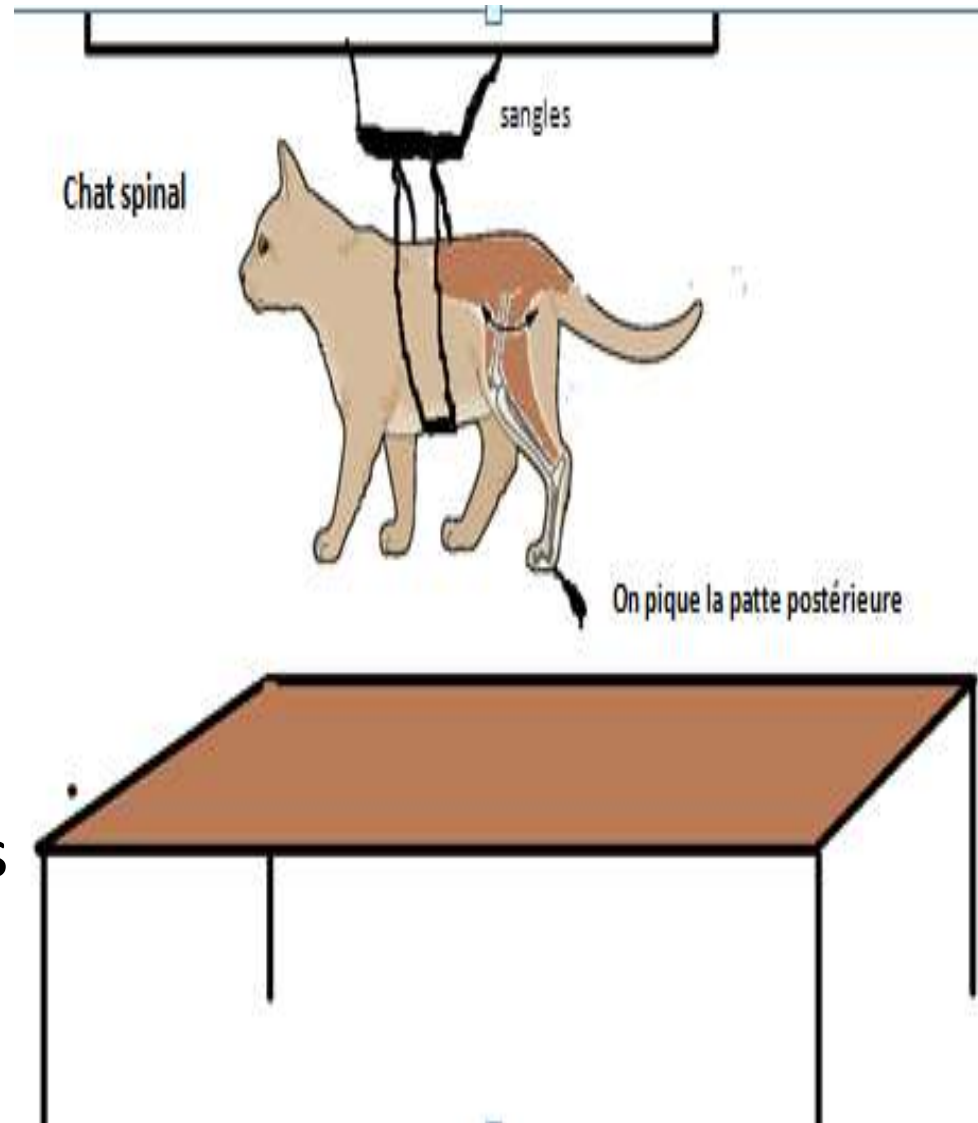
- **contraction simultanée** des muscles fléchisseurs d'un membre
- **stimulus nociceptif** sur téguments du membre.



- **soustraire le membre à l'action nocive du stimulus.**
- ***Ipsilatéral***

# MISE EN EVIDENCE

- animal spinal
- membres postérieurs pendent inactifs.
- on pique la patte postérieure → mouvement rapide de **retrait du membre**
- contraction **simultanée** des **fléchisseurs** ; hanche , genou et cheville



# ORGANISATION

## Versant afférent :

**Les récepteurs:** cutanés et musculaires

**Voie afférente :** ARF (afférence du reflexe de flexion).

- les fibres sensibles fines d'origine **cutanée** ( $A\delta$ , C)
- les fibres sensibles d'origine **musculaire**(III,IV).

## Centre nerveux: moelle épinière

les ARF → corne dorsale

connexions complexes par l'intermédiaire des interneurones

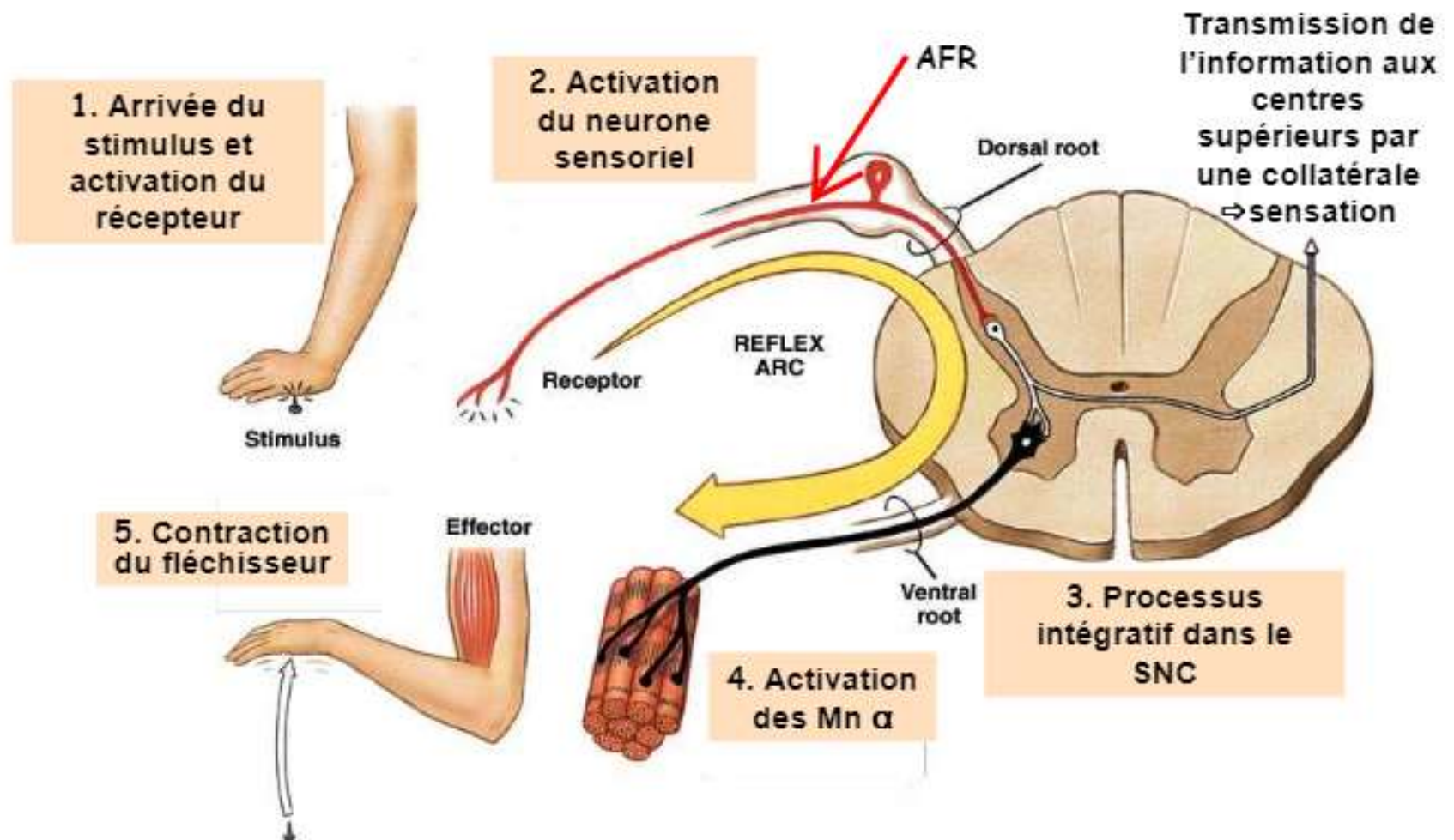
## Versant efférent:

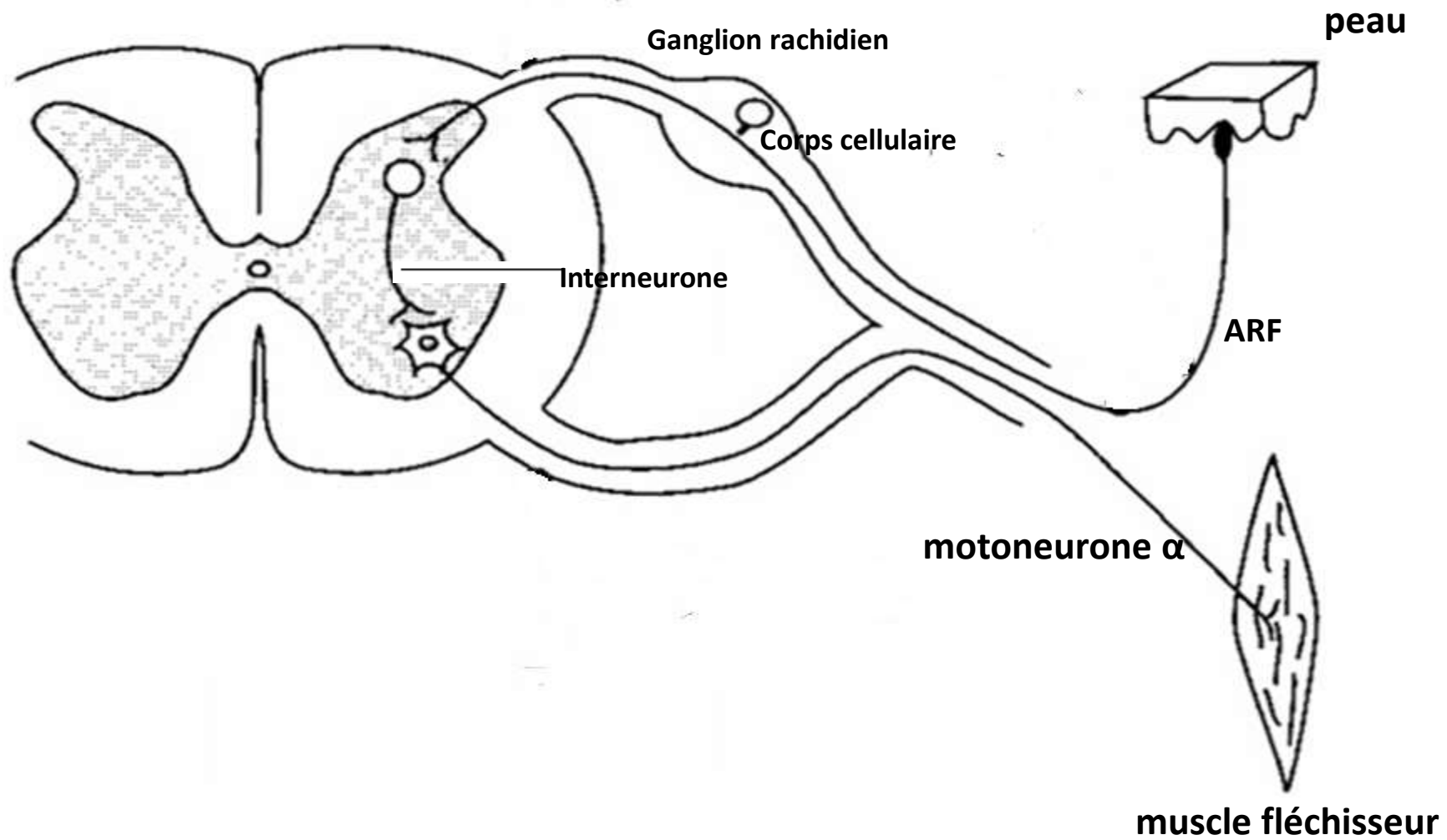
**Voie efférente :** motoneurone  $\alpha$

**Effecteur :** muscles fléchisseurs .

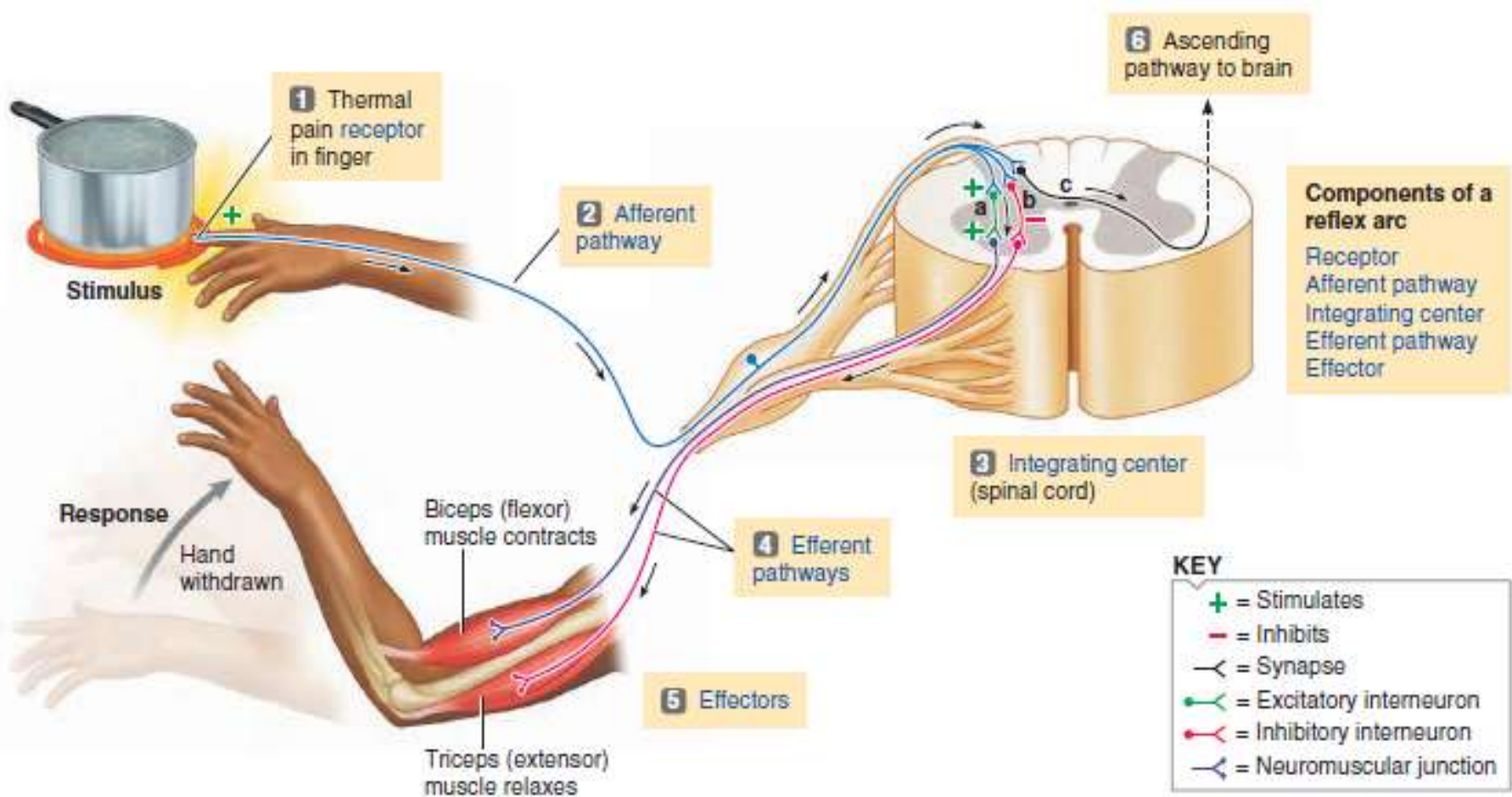


## Arc réflexe à partir des AFR comporte au moins 3 neurones





**Reflexe ipsilatéral de flexion**



**1** Painful heat stimulus activates thermal pain receptor in finger.

**2** Action potentials are generated in afferent pathway, which propagates impulses to the spinal cord.

**3** Spinal cord serves as the integrating center. Here afferent neuron stimulates: (a) excitatory interneurons, which stimulate motor neurons to biceps. (b) inhibitory interneurons, which inhibit motor neurons to triceps. (c) interneurons that are part of ascending pathway to brain.

**4** One efferent pathway stimulates biceps to contract. Other efferent pathway leads to relaxation of triceps by preventing counterproductive excitation and contraction of this antagonistic muscle.

**5** The biceps and triceps are effectors. Resultant flexion of elbow joint pulls hand away from painful stimulus. This response completes the withdrawal reflex.

**6** Events that occur in brain on arrival of signal via ascending pathway, such as awareness of pain, memory storage, and so on, are above and beyond reflex arc.

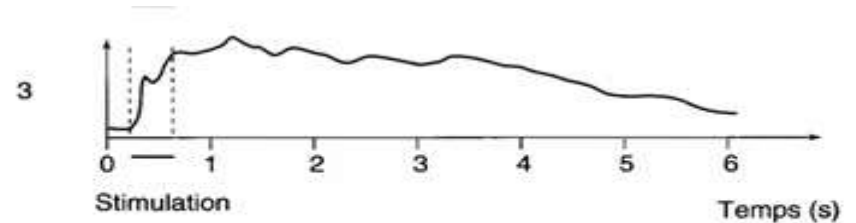
# CARACTERISTIQUES

1- d'origine nociceptive

2- polysynaptique

3- post décharge : la contraction

musculaire persiste quelques secondes après l'arrêt de la stimulation et diminue progressivement .



4- amplitude augmente avec l'intensité de stimulation

5- diffus : contraction de plusieurs muscles fléchisseurs

– 6- fatigable l'amplitude de la réponse décroissant rapidement, voire disparaissant, si on stimule répétitivement les ARF à une fréquence supérieure à 10—20 /s

7-sensible aux anesthésique et à l'anoxie

# ROLE PHYSIOLOGIQUE

- réflexes de protection
- retrait d'un membre soumis à une stimulation douloureuse destructrice.

# Conclusion

## Tableau récapitulatif

	Réflexe myotatique	Réflexe de flexion
Organisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récepteurs musculaires: FNM</li> <li>• Afférence: fibre Ia</li> <li>• Arc monosynaptique</li> <li>• Muscles extenseurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récepteurs cutanés et musculaire innervés par les ARF.</li> <li>• Afférence: ARF: fibres cutanés(A<math>\delta</math>, C) et musculaire (II,III,IV)</li> <li>• Arc polysynaptique</li> <li>• Muscles fléchisseurs</li> </ul>
Caractères de la réponse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisé</li> <li>• monosynaptique</li> <li>• Pas de postdécharge</li> <li>• Non fatigable</li> <li>• Résistante aux anesthésiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diffuse</li> <li>• polysynaptique</li> <li>• Présence de postdécharge</li> <li>• Fatigable</li> <li>• Sensible aux anesthésiques</li> </ul>
Nature de la réponse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extension</li> <li>• Lutte contre la pesanteur (rôle dans la posture et le tonus)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexion</li> <li>• Rôle de protection contre les dangers nocifs</li> </ul>

# Régulation segmentaire des reflexe médullaires

Les différents circuits de la moelle épinière participant à l'élaboration des reflexes médullaires sont soumis a une **régulation** d'autres circuits spinaux qui peuvent être :  
**Segmentaire ou inter- segmentaire**

# ***I. L'INHIBITION RECIPROQUE***



# L' INHIBITION RECIPROQUE

contrôle inhibiteur **disynaptique** par la fibre Ia sur le motoneurone  $\alpha$  du muscle antagoniste

Ce phénomène est notable pour l'ensemble des reflexes c'est le principe de l'inhibition réciproque de Sherrington

s'observe aussi bien sur le reflexe myotatique que sur le reflexe de flexion.

# L'INHIBITION RECIPROQUE

## Mise en évidence :

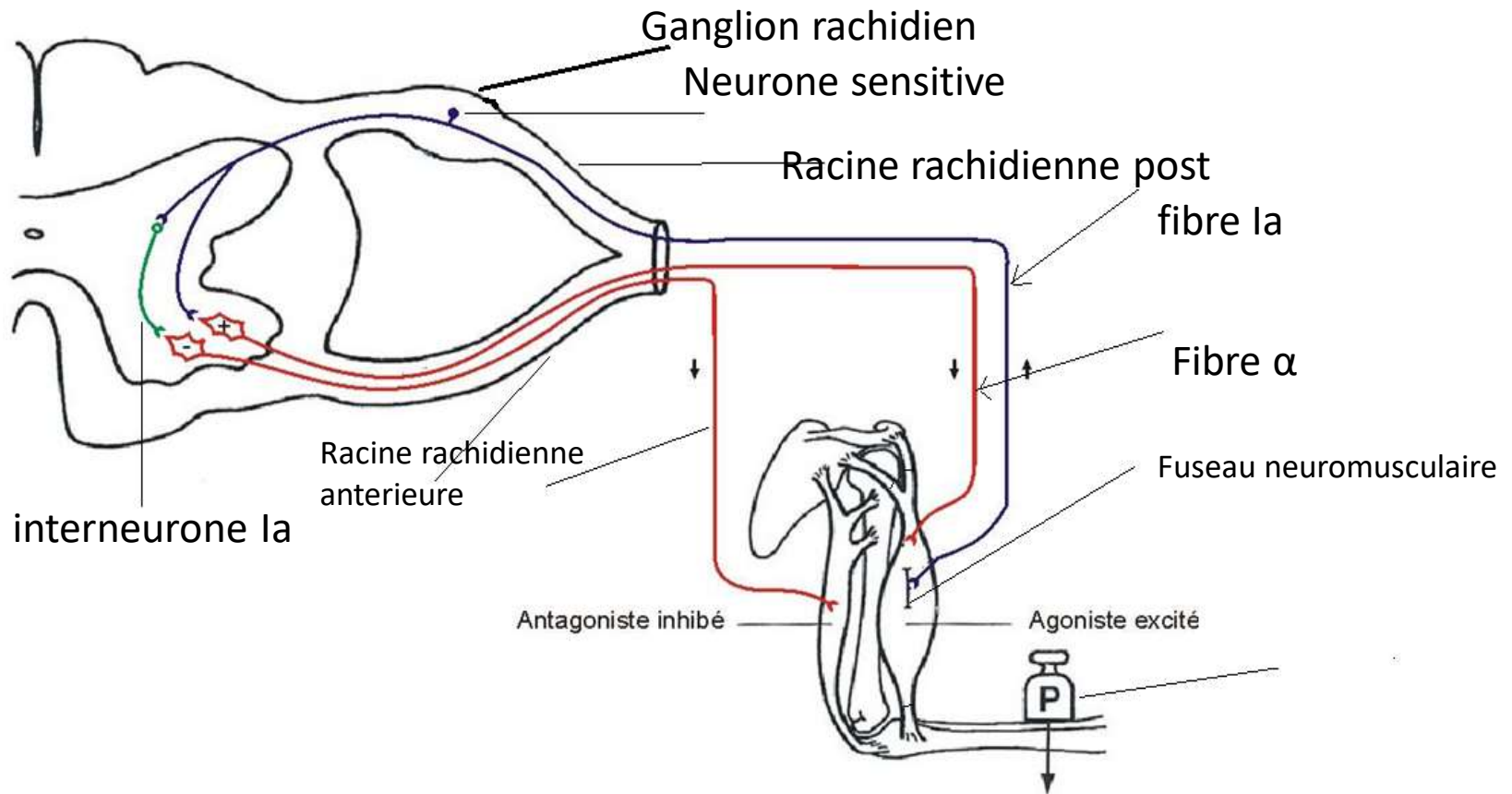
La stimulation du bout périphérique d'un nerf musculaire entraîne au niveau des motoneurones des muscles antagonistes ,**un potentiel post synaptique inhibiteur** qui se présente sous forme d'une **hyperpolarisation locale graduable et sommable**.

sa latence > celle d'un PPSE → la connexion entre les fibres Ia et les motoneurones  $\alpha$  des muscle est multisynaptique

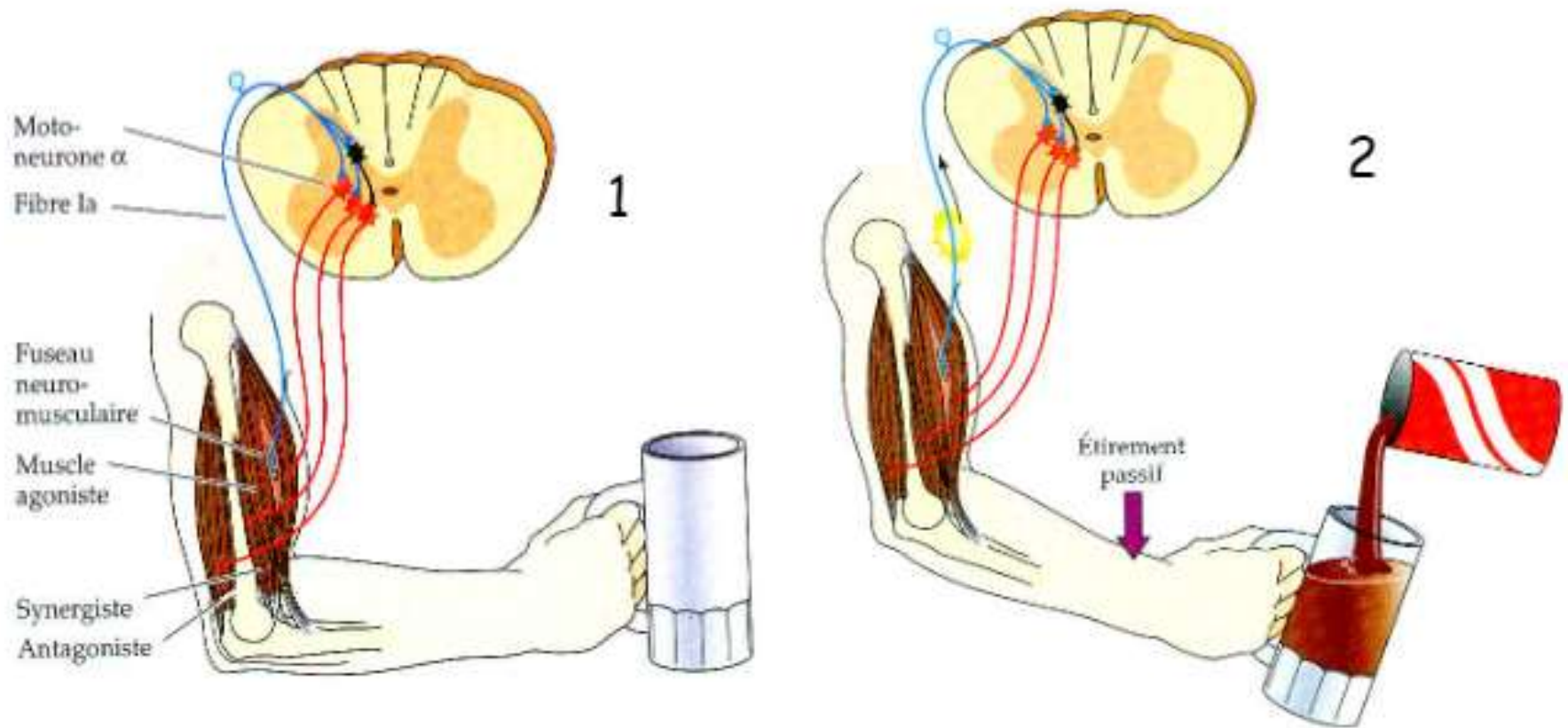
# L'INHIBITION RECIPROQUE

Un interneurone dit **interneurone Ia** a été identifié dans la partie ventrale de la lame **VII** de la moelle épinière ,il fait synapse avec les fibres **Ia** et exerce une action inhibitrice sur le motoneurones  $\alpha$  du muscle **antagoniste** en libérant de **la glycine** .

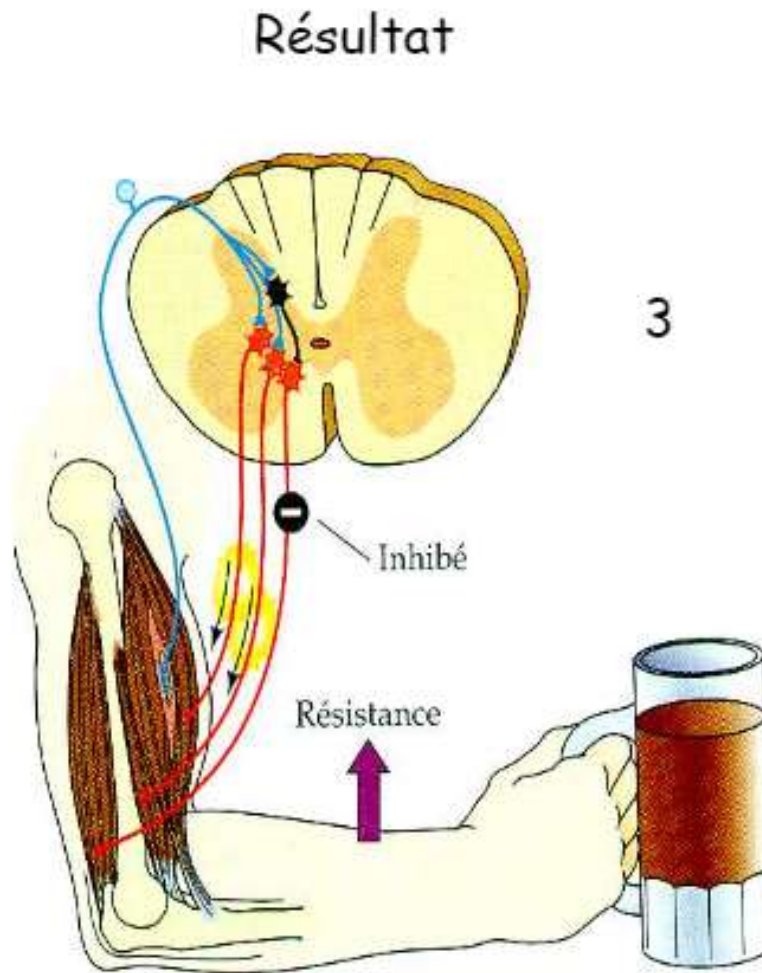
# L'INHIBITION RECIPROQUE



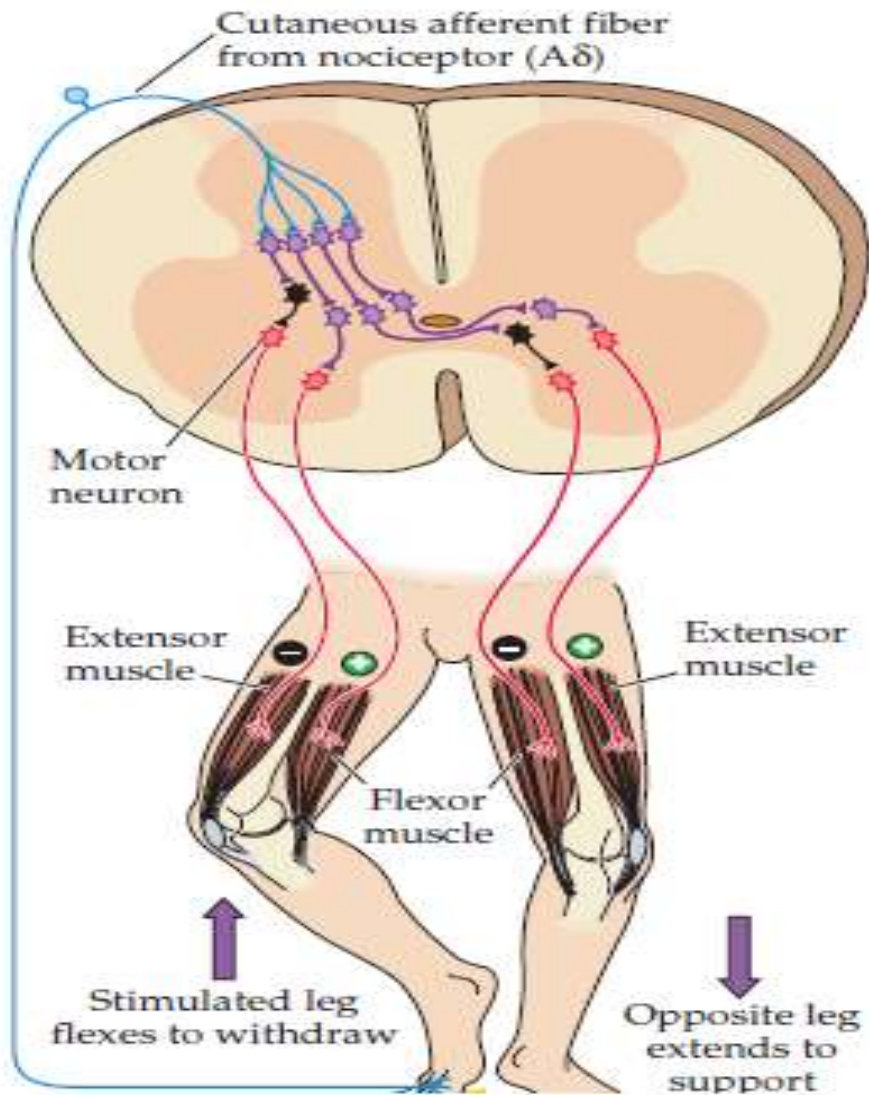
# L'INHIBITION RECIPROQUE



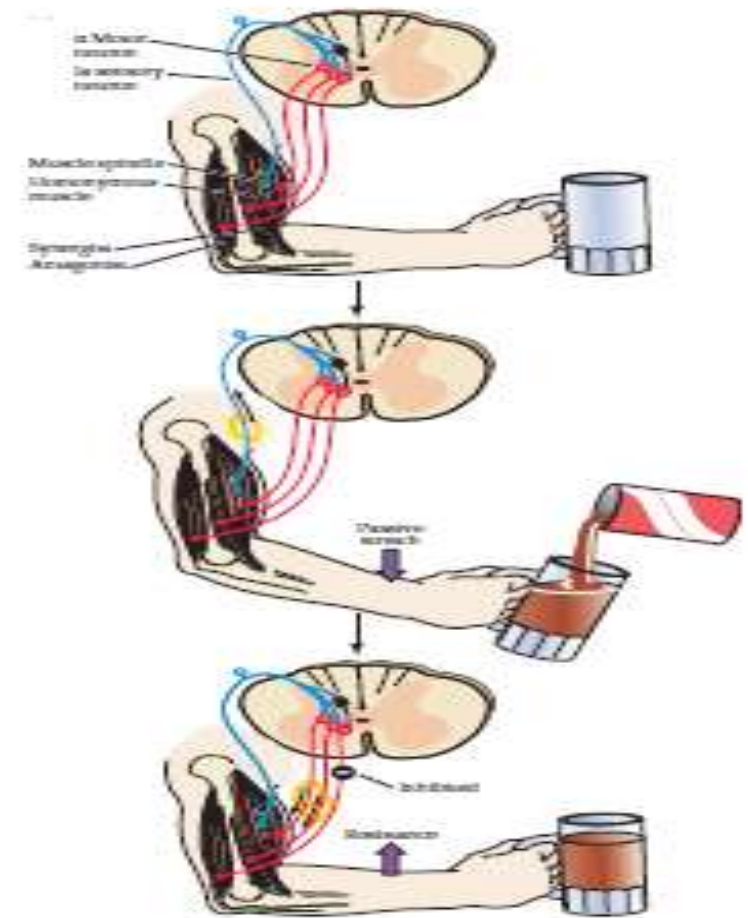
# L'INHIBITION RECIPROQUE



# L' INHIBITION RECIPROQUE



Reflexe de flexion



Reflexe Myotatique

# L' INHIBITION RECIPROQUE

## Dans le reflexe de flexion:

- ❖ **Au niveau ipsilateral**, un axone afférent (ARF) active par ces collatérales deux interneurones ipsilatéraux, l'un excitateur activant les motoneurones des muscles agonistes, l'autre inhibiteur inhibant les motoneurones des muscles antagonistes.
- ❖ **Au niveau controlatéral**, les interneurones émettent des collatérales de leurs axones qui croisent la ligne médiane vont dans l'hémi-moelle du même segment et exercent des effets inverses.

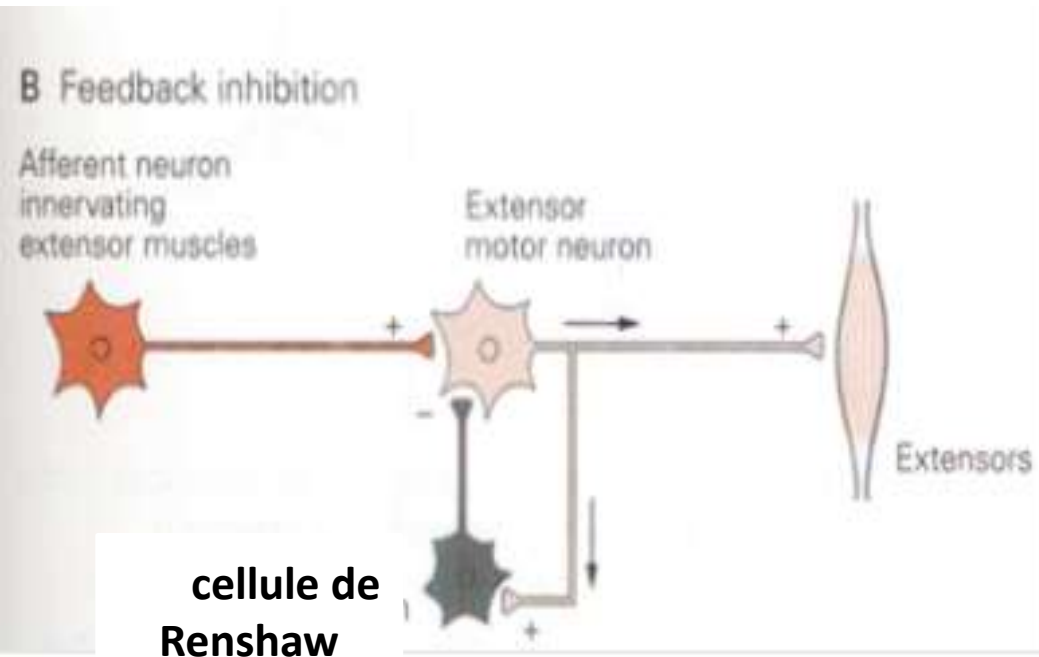


## ***II. L'INHIBITION RÉCURRENTÉ PAR LA CELLULE DE RENCHAW***

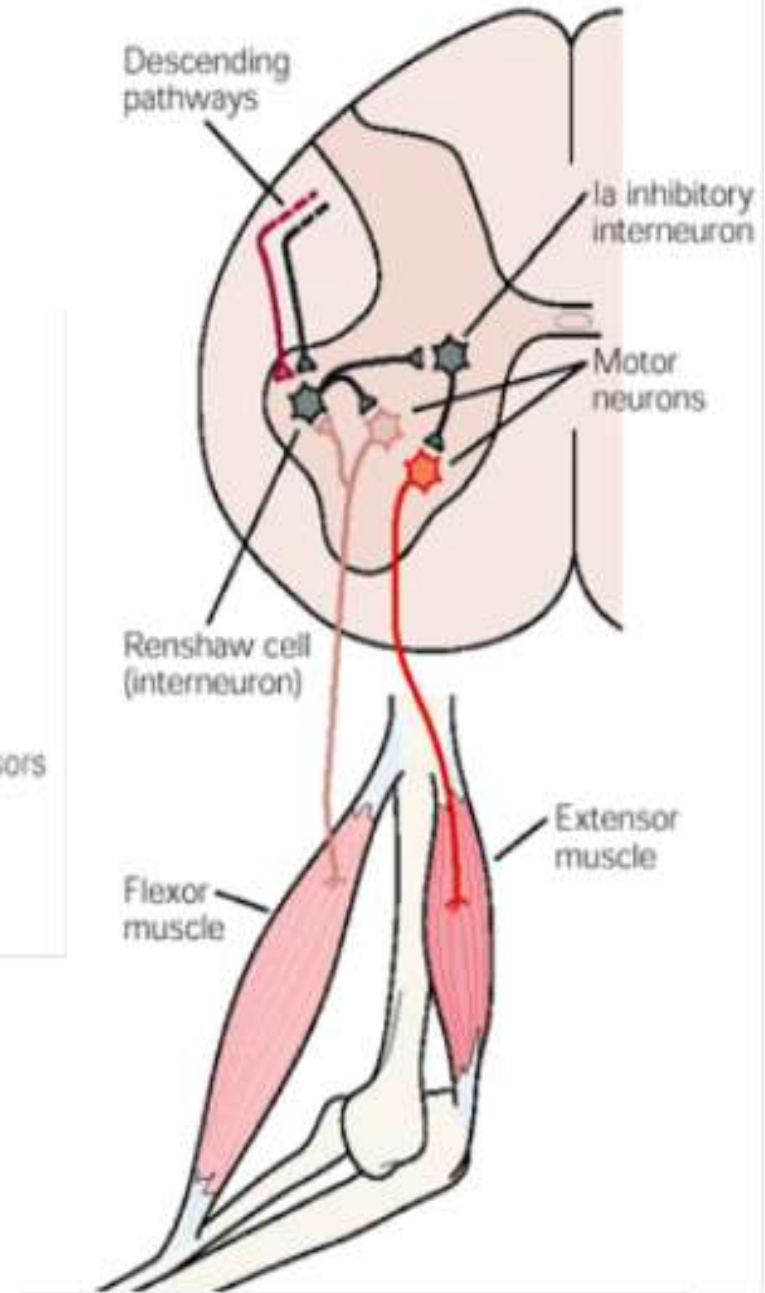
# L'INHIBITION RÉCURRENTE PAR LA CELLULE DE RENCHAW

C'est un système d'inhibition des muscles fléchisseurs et extenseurs par la cellule de Renschaw.

# L'INHIBITION RÉCURRENTE



## B Renshaw cell



# L'INHIBITION RÉCURRENTE

- ❑ La cellule de Renschaw est une petite cellule située dans la corne antérieure de la moelle épinière, elle reçoit une connexion monosynaptique par une collaterale de l'axone du motoneurone  $\alpha$  .
- ❑ La cellule de Renschaw projette en retour par son axone sur le motoneurone  $\alpha$  qu'il l'a excité et sur les motoneurones des muscles synergistes

# L'INHIBITION RÉCURRENTE

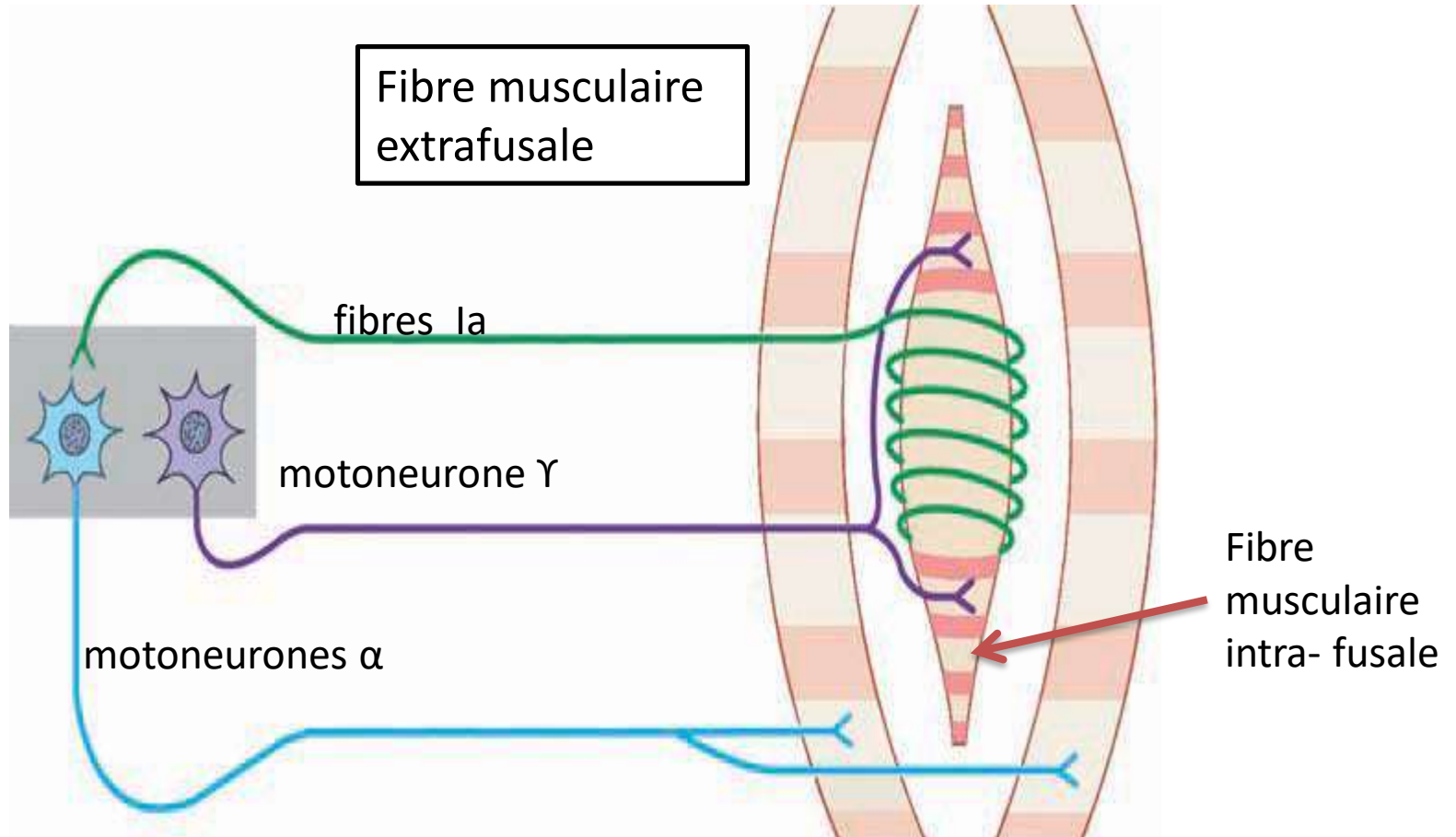
- ❑ le motoneurone  $\alpha$  libère de l'acetylcholine sur la cellule de Renschaw.
- ❑ L'action de la cellule de Renschaw est inhibitrice via la glycine sur le motoneurone .

### ***III. LA BOUCLE GAMMA***

# BOUCLE GAMMA

le **motoneurone  $\gamma$**  est un motoneurone de petit diamètre localisé dans la corne antérieure de la moelle épinière; sous l'influence des structures supérieurs. Il innerve le FNM

# Boucle gamma





# BOUCLE GAMMA

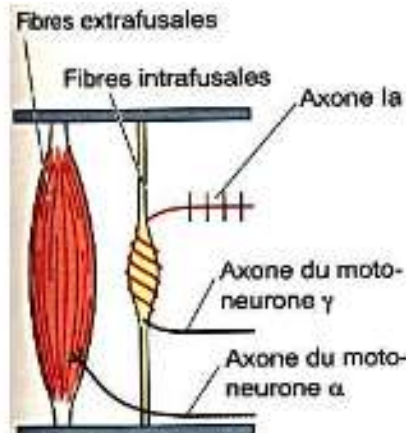
- Le MN  $\gamma$  induit une contraction des fibres musculaire intrafusale
- étirement de la partie centrale du fuseau ce qui provoque une excitation des fibres sensibles primaires Ia et secondaires II du FNM

# Boucle gamma

- Le MN  $\gamma$  module la sensibilité du fuseau neuromusculaire le rendant capable de détecter de nouvelle longueur du muscle lors de la contraction
- Par conséquent il déclenche secondairement la contraction d'un muscle initialement au repos à travers une excitation des fibres sensitive Ia.

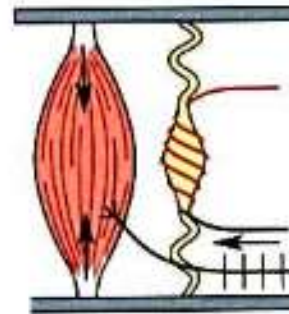
# Boucle gamma

Le muscle est relâché, les fibres intrafusales sont sensibles à l'étirement.



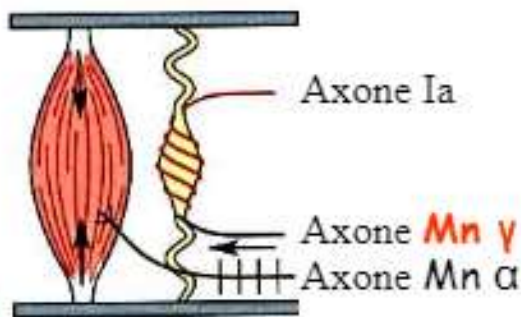
Activation  
du Mn  $\alpha$

L'activation des Mn alpha provoque la contraction des fibres musculaires extrafusales.



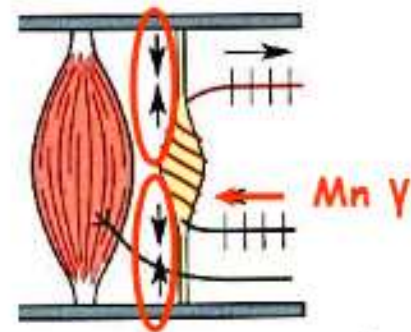
Si le FNM est détendu, il devient inefficace pour transmettre des informations sur la longueur du muscle.

Les Mn  $\gamma$  vont permettre de moduler la sensibilité du récepteur à l'étirement.



Le muscle se contracte

Activation  
Mn  $\gamma$



⇒ contraction des extrémités des fibres intrafusales

# Boucle gamma

Ce mécanisme  $\gamma \rightarrow Ia \rightarrow \alpha$  représente la **boucle gamma** (sous l'influence supraspinale) le motoneurone  $\gamma$  active les terminaisons primaires Ia et induit la contraction des fibres musculaires extrafusales via le MN  $\alpha$

# Boucle gamma

la Co-activation des motoneurones  $\alpha$  et  $\gamma$  permet au fuseau neuromusculaire de fonctionner quelque soit la longueur du muscle lors des mouvement ajustements posturaux.

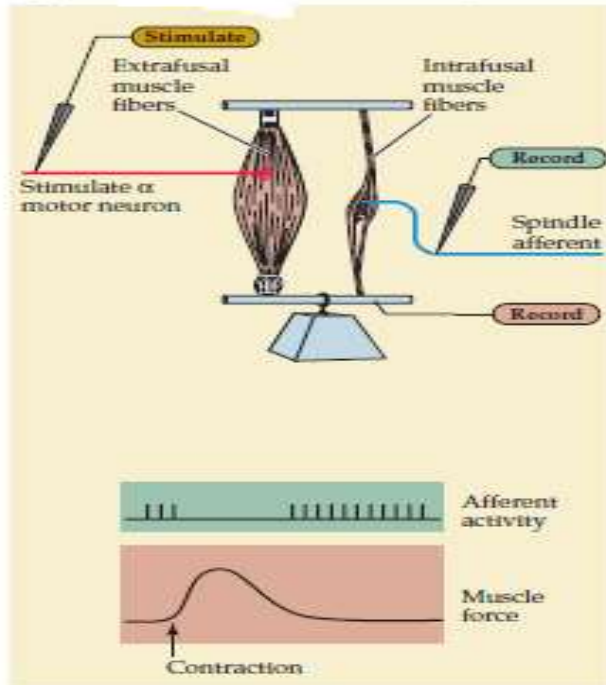
**Mn  $\gamma$**   $\Rightarrow$  ajustement de la longueur du fuseau à la longueur du muscle pendant la contraction du muscle :

$\Rightarrow$  les fibres Ia demeurent actives

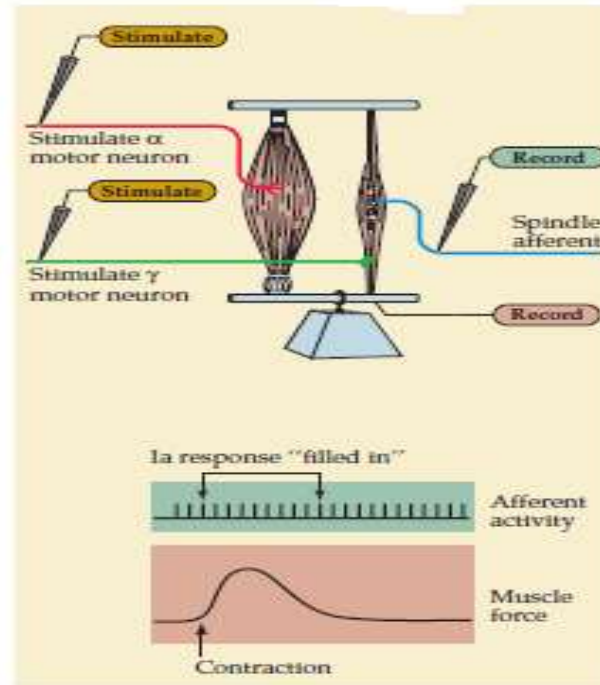
$\Rightarrow$  la précision du mouvement musculaire augmente

# Boucle gamma

Activation du motoneurone  $\alpha$  sans activation du motoneurone  $\gamma$



Activation du motoneurone  $\alpha$  avec activation du motoneurone  $\gamma$



## **IV.LE REFLEXE MYOTATIQUE INVERSE**

# Le reflexe myotatique inverse

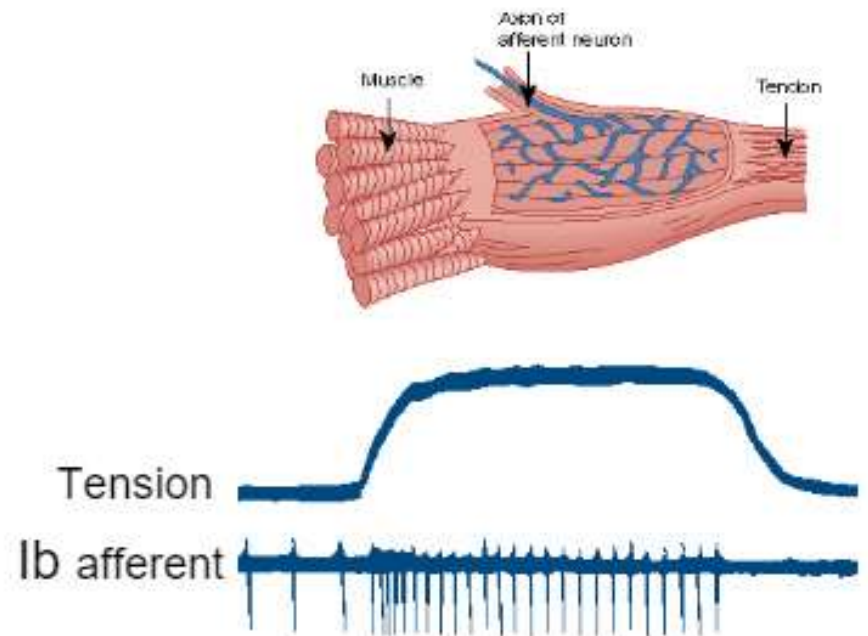
## L'organe tendineux de golgi:

- mécanorécepteur encapsulé situe dans les tendons et les aponévroses musculaires;
- il est placé en série avec les terminaisons d'une partie des fibres musculaires



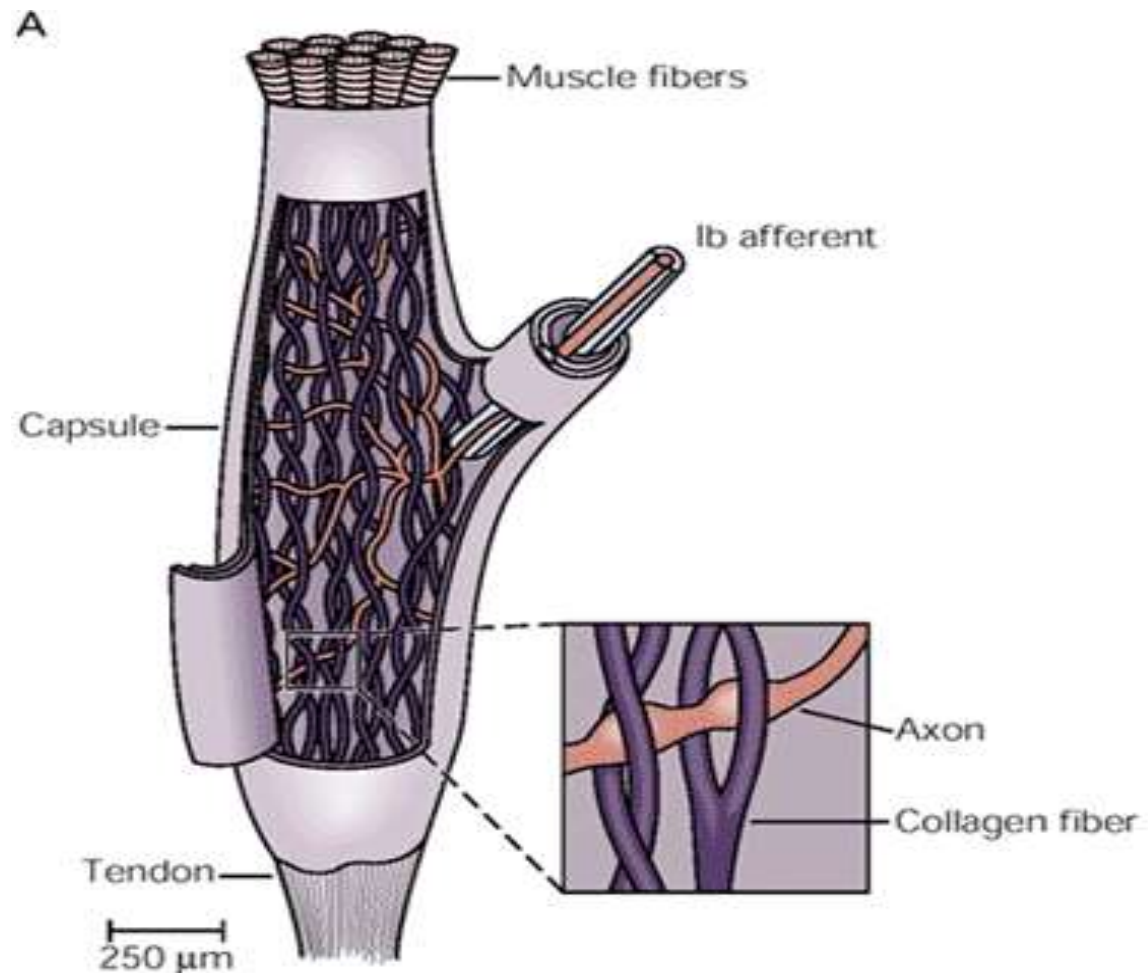
## L'organe tendineux de golgi:

- Le stimulus de ce récepteur est **la force contractile** des fibres musculaire placées en série avec lui
- Présente un seuil bas

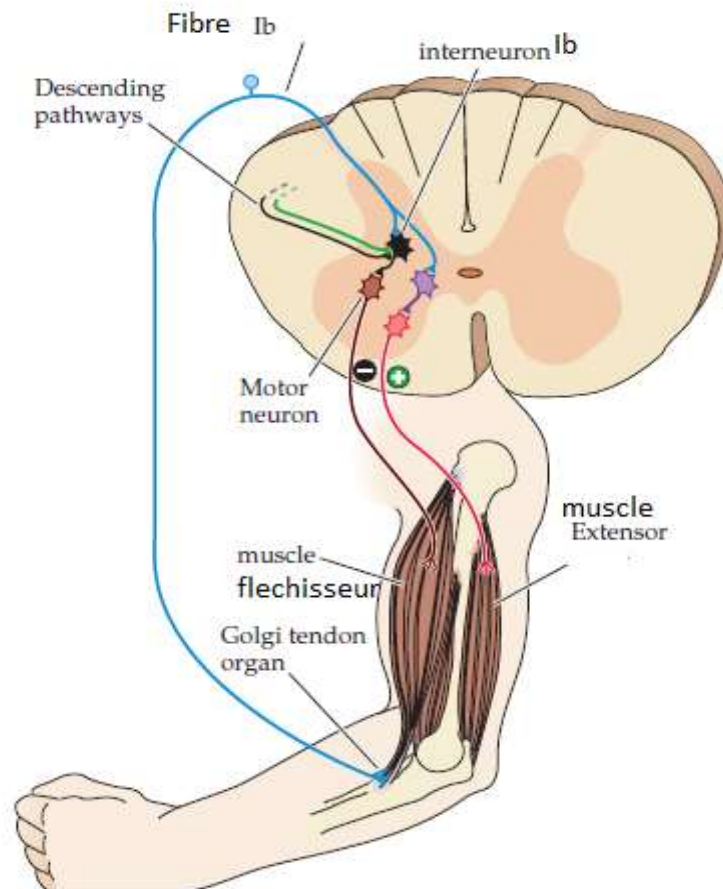


## L'organe tendineux de golgi:

L'OTG est innervé par une fibre de gros diamètre de type Ib (Vc 60-125m/sec) qui se ramifie en entrant dans la capsule et s'insinue dans les fibres de collagène.



# REFLEXE MYOTATIQUE INVERSE



# REFLEXE MYOTATIQUE INVERSE

L'arc reflexe de ce circuit inhibiteur est semblable à celui du reflexe myotatique:

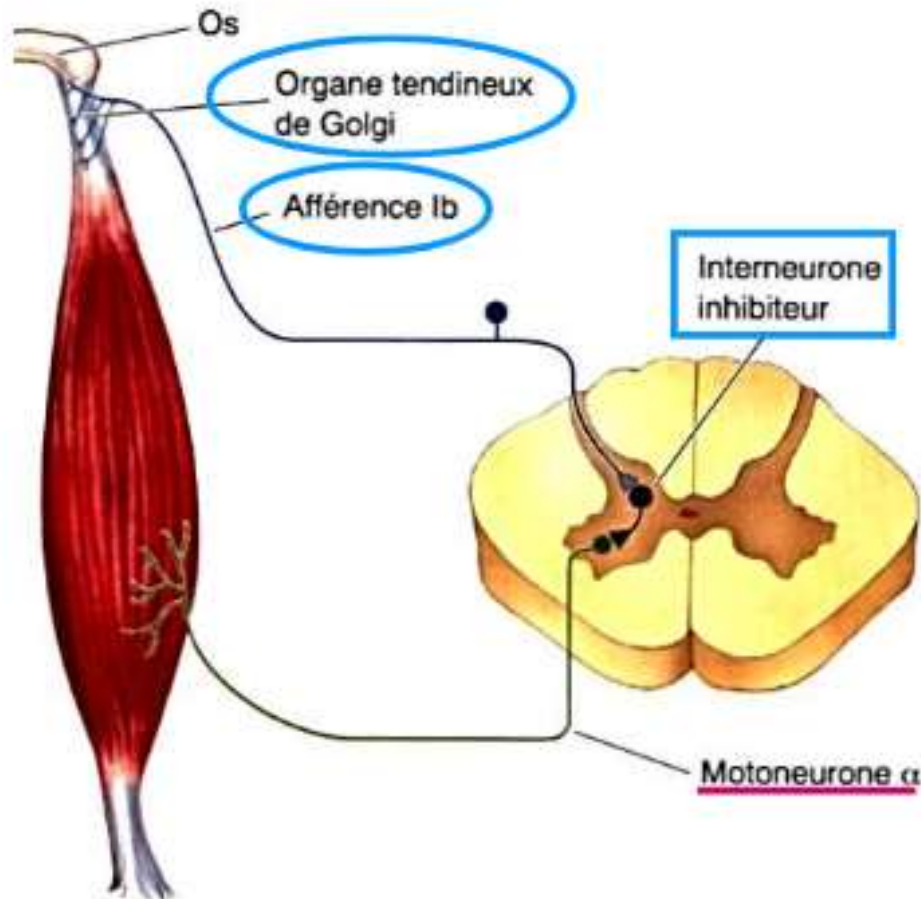
- Le récepteur est **l'organe tendineux de Golgi**
- Le versant afférent est représenté par **les fibres myélinisées Ib** rapide (72 à 120 m/s)
- L'action de ces fibres sur le motoneurone  $\alpha$  du muscle homonyme par l'intermédiaire des interneurons est une **inhibition**.

# REFLEXE MYOTATIQUE INVERSE

## Mécanisme d'action:

Lorsque une force minime est exercée sur le tendon, l'étirement du muscle par la voie du reflexe myotatique conduit à une contraction reflexe du muscle. Mais au-delà d'un seuil, la contraction musculaire sera **inhibée** par activation de l'organe tendineux de Golgi on parle de « **reflexe myotatique inverse** »

## Arc réflexe à partir des OTG



La fibre Ib parvient dans la ME et vient inhiber les Mna du muscle homonyme

⇒ Réflexe myotatique inverse ou inhibition autogénique

qui se traduit par une réduction voire une suppression de la contraction du muscle à l'étirement de son tendon.

⇒ Le réflexe myotatique inverse est donc un réflexe inhibiteur.

# ***V.L'INHIBITION PRESYNAPTIQUE***

# **L'INHIBITION PRESYNAPTIQUE**

**Le contrôle des entrées sensorielles spinale par inhibition présynaptique:**



# L'INHIBITION PRESYNAPTIQUE

la présence d'une synapse axo-axonique entre une fibre sensorielle de la racine dorsale et la fibre **la**

Cette synapse va court-circuiter l'influx nerveux transporté par la fibre **la** et induire une diminution de la quantité du neurotransmetteur libérée par l'élément présynaptique (fibre **la**) donc le PPSE enregistré sur le motoneurone  $\alpha$  sera moins ample

# L'INHIBITION PRÉSYNAPTIQUE

