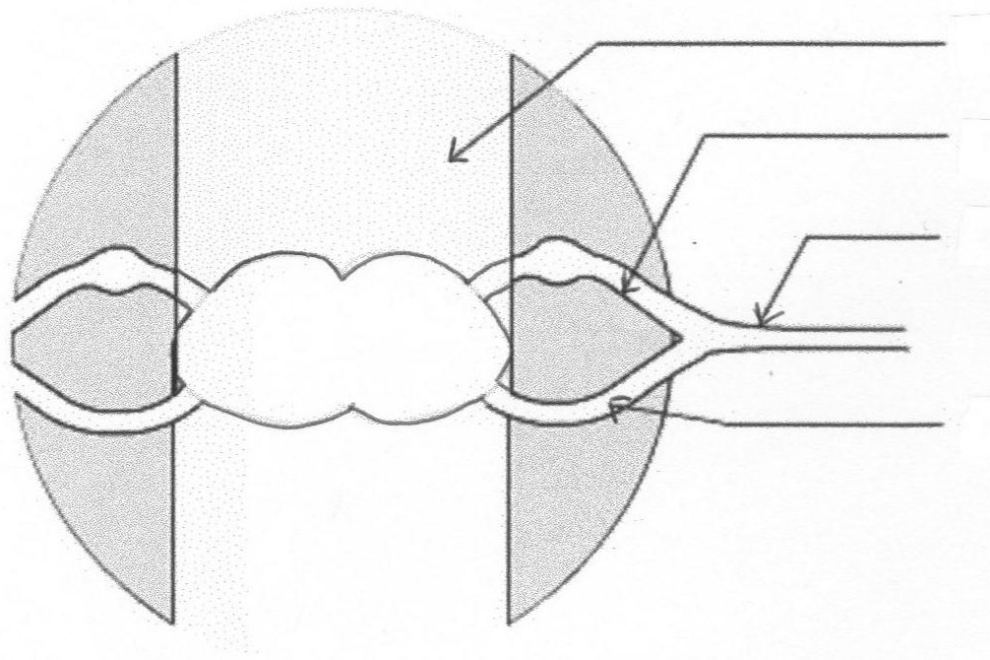


# Chapitre I La commande réflexe du muscle

- I - Le réflexe myotatique : organisation  
macroscopique

Tableau présentant les résultats des expériences de démyélinisation, sections et stimulations électriques sur une grenouille virtuelle décérébrée

	Racine dorsale	Racine ventrale	Nerf rachidien
<u>Expérience 1</u> - grenouille décérébrée - SE Réponse			
<u>Expérience 2</u> - grenouille décérébrée + démédullée - SE Réponse			
<u>Expérience 3</u> - grenouille décérébrée + RD sectionnée - SE Réponse	BP      BC		
<u>Expérience 4</u> - grenouille décérébrée + RV sectionnée - SE Réponse		BP      BC	
<u>Expérience 5</u> - grenouille décérébrée + nerf sectionné - SE Réponse			BP      BC



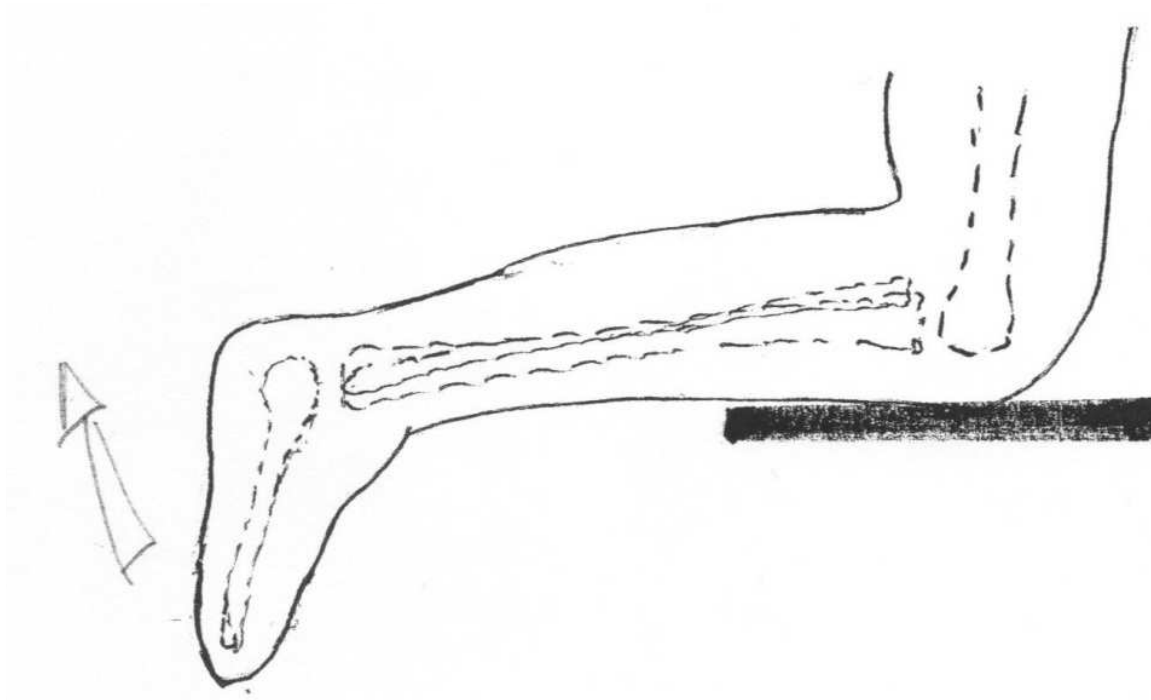
# Conclusion

Les nerfs rachidiens se raccordent à la moelle épinière par 2 racines, une racine postérieure ou dorsale et une racine antérieure ou ventrale.

- conséquences de la section de la racine postérieure :  
sensibilité abolie et motricité possible
- conséquences de la section de la racine antérieure :  
sensibilité conservée et motricité impossible

Le message nerveux afférent emprunte la racine dorsale, alors que le message nerveux efférent emprunte la racine ventrale.





stimulus : coup sec porté avec un marteau sur le tendon d'Achille

conséquence : extension du muscle du mollet puis extension du pied due à la contraction de ce muscle = contraction réflexe du muscle extenseur du pied

Coup de marteau :

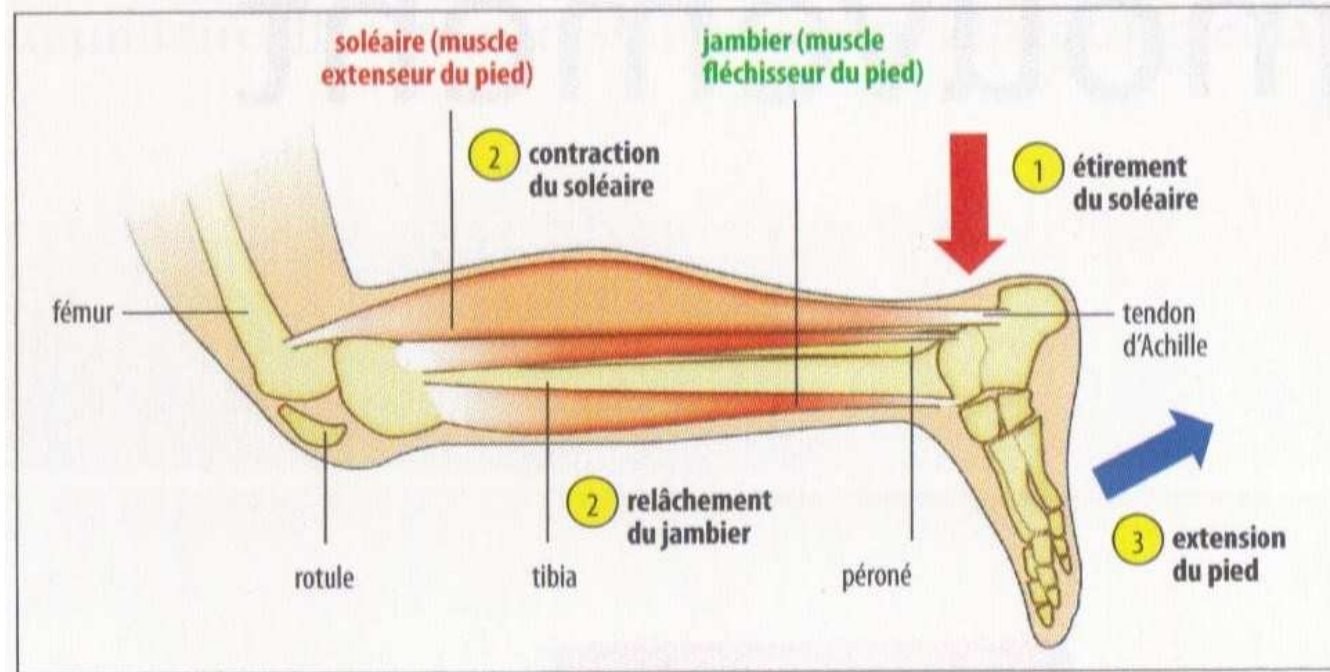
→ étirement du muscle

→ contraction du muscle en réponse à son propre étirement

Ce stimulus donne toujours la même réponse involontaire stéréotypée et prévisible = réflexe

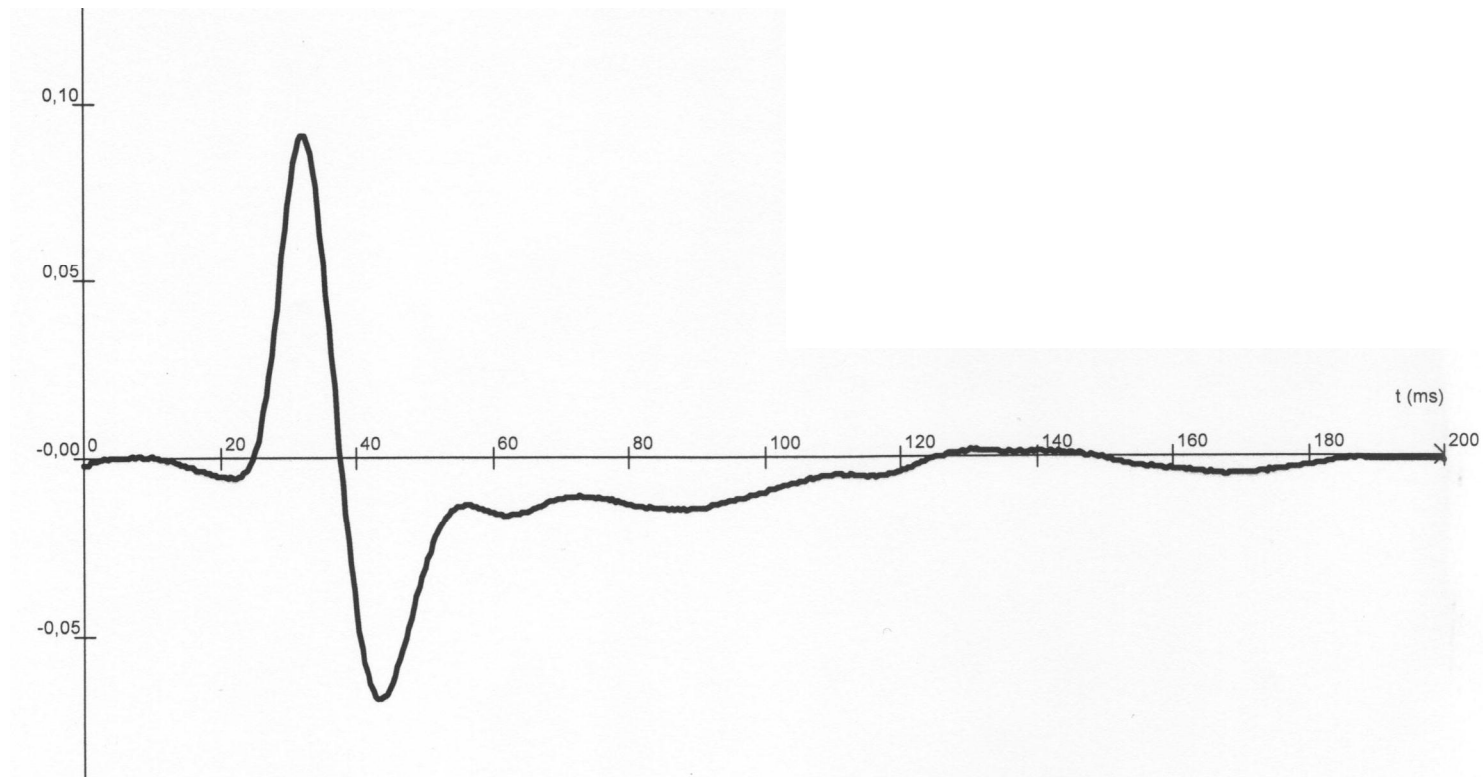
Réflexe myotatique ou réflexe d'étirement car déclenché par l'étirement du muscle lui-même.

## Le réflexe achilléen



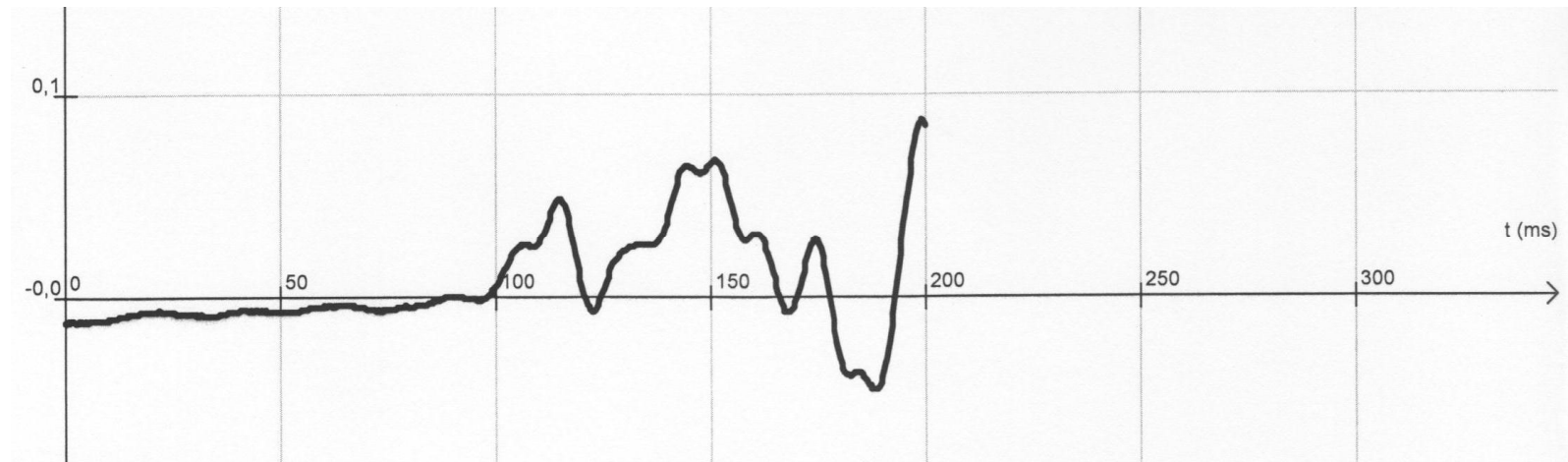
## Electromyogramme obtenu lors d'un réflexe achilléen (réflexe myotatique)

Tension (V)



# Electromyogramme obtenu lors d'une contraction volontaire du muscle triceps sural

Tension (V)



- Des lésions de la moelle épinière dans la région thoracique provoquent une paralysie des muscles de la partie inférieure du corps qui ne reçoivent plus les messages en provenance du cerveau, mais le réflexe achilléen subsiste.
- Une lésion de la partie inférieure de la moelle provoque une paralysie importante mais également la disparition du réflexe achilléen.

# Les supports anatomiques du réflexe achilléen

Différents organes mis en jeu	Réflexe myotatique
<ul style="list-style-type: none"><li>- organe récepteur = capteur</li><li>- voie sensitive (afférente)</li><li>- centres nerveux</li><li>- voie motrice (efférente)</li><li>- organe effecteur</li></ul>	

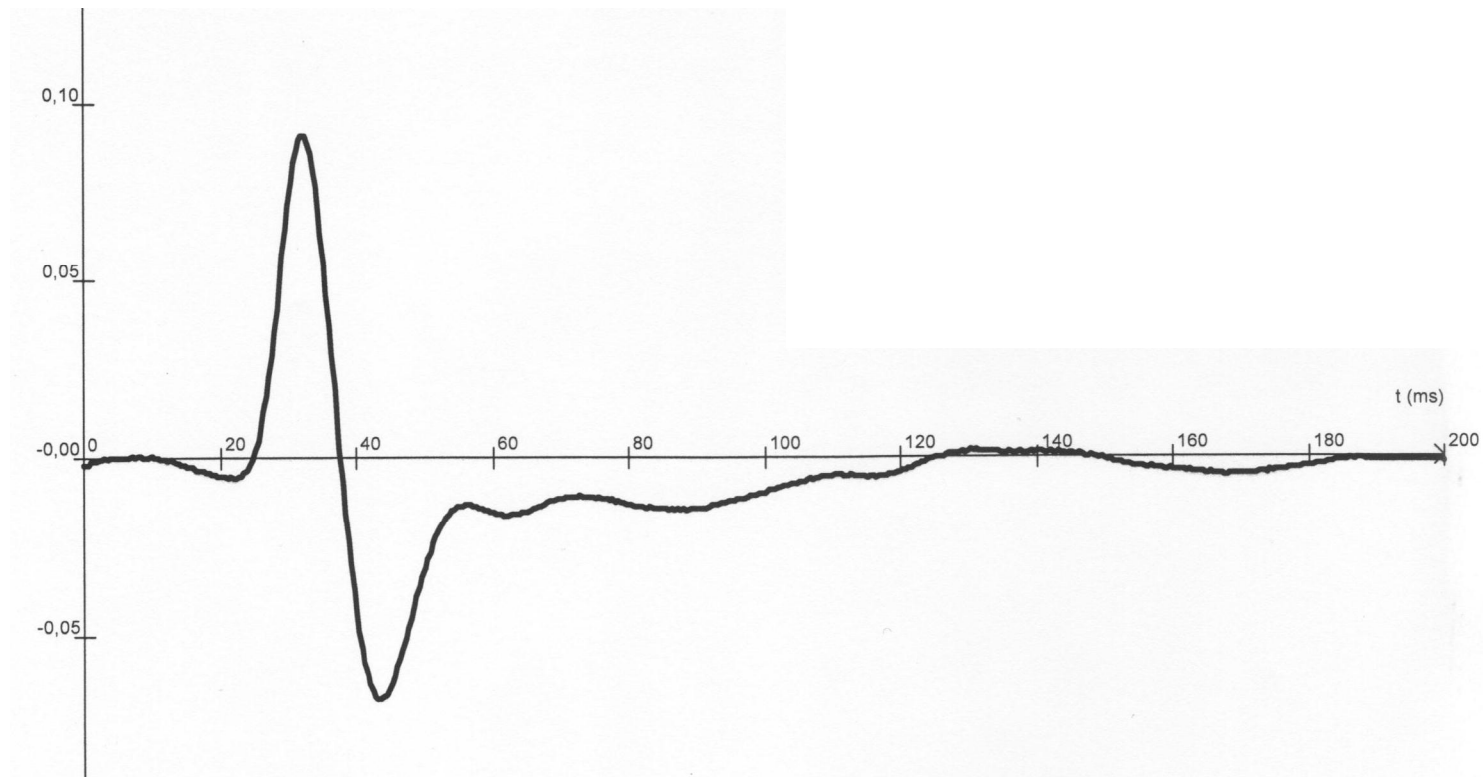
Le message nerveux naît dans l'organe récepteur (muscle du mollet), est transmis par le nerf rachidien à la moelle épinière (message nerveux sensitif ou afférent).

La moelle épinière le reçoit et émet un message nerveux moteur ou efférent, véhiculé par le nerf rachidien, dirigé vers l'organe récepteur (muscle du mollet).

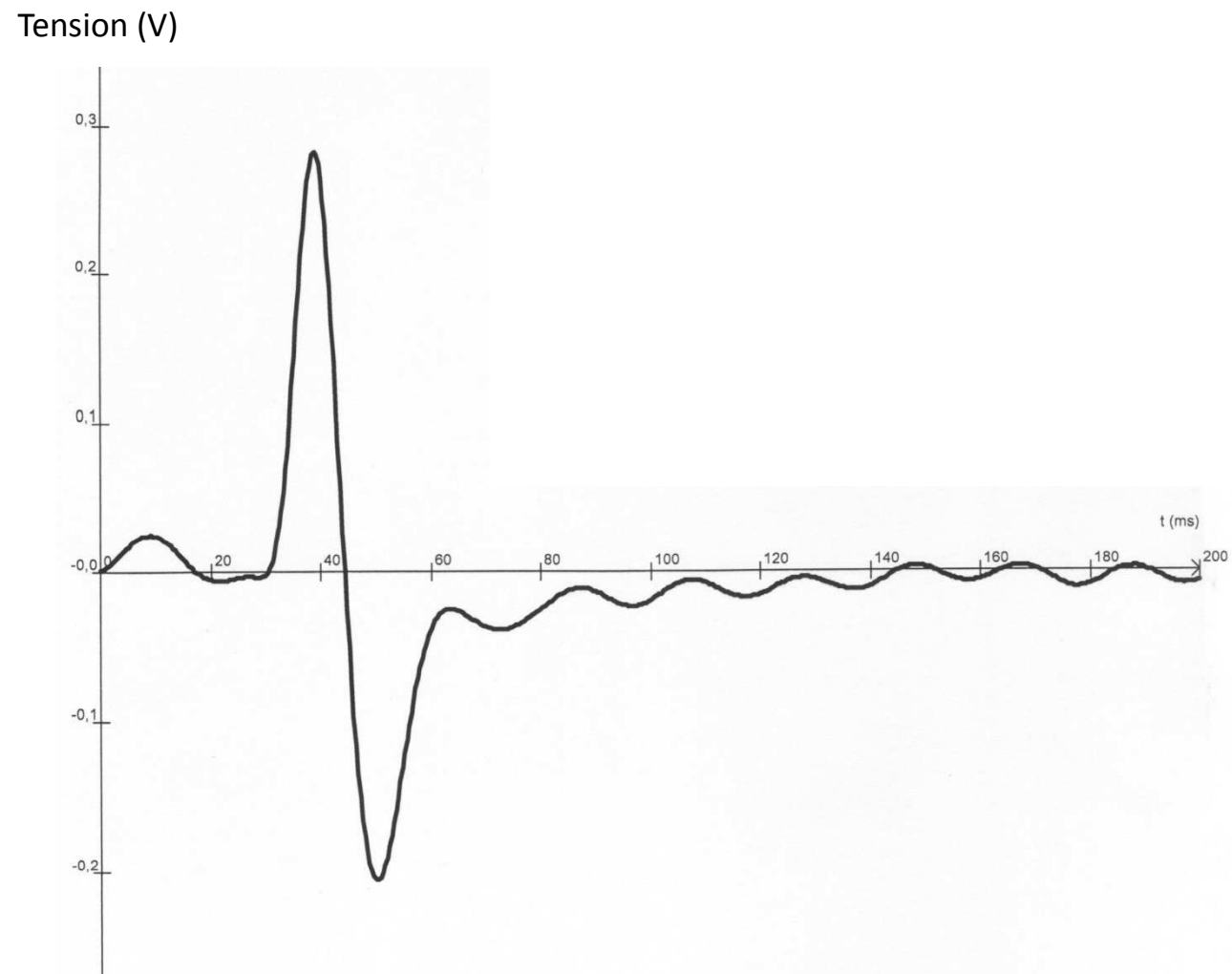


## Electromyogramme obtenu lors d'un réflexe achilléen (réflexe myotatique)

Tension (V)



## Electromyogramme obtenu lors d'un réflexe achilléen (réflexe myotatique)



## L'influence de l'intensité du stimulus

### ■ ÉTUDE EXPERIMENTALE

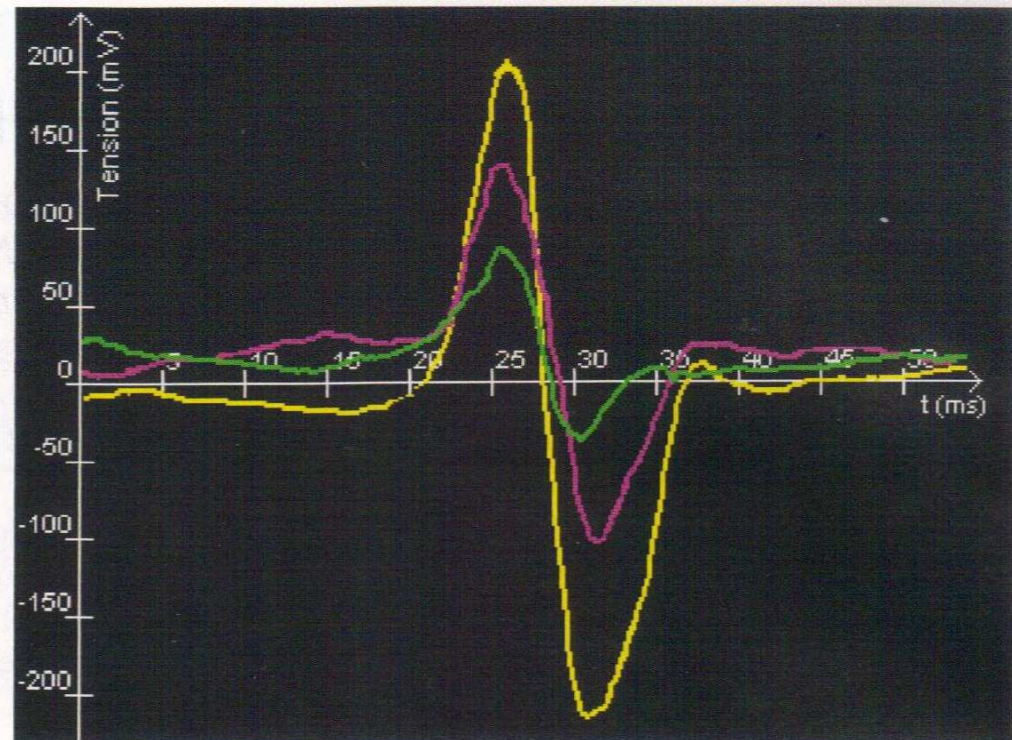
On cherche à déterminer si l'intensité plus ou moins importante d'un stimulus a une influence sur la réponse réflexe.

Les *trois électromyogrammes ci-contre* correspondent à l'enregistrement de trois réponses réflexes chez le même sujet.

Seule varie l'intensité du choc porté avec le marteau (celui-ci reste cependant modéré de façon à éviter tout risque de lésion ou de douleur).

Un temps d'attente suffisant est marqué entre chaque essai, de façon à ce que l'influence éventuelle du choc précédent ne se fasse plus sentir.

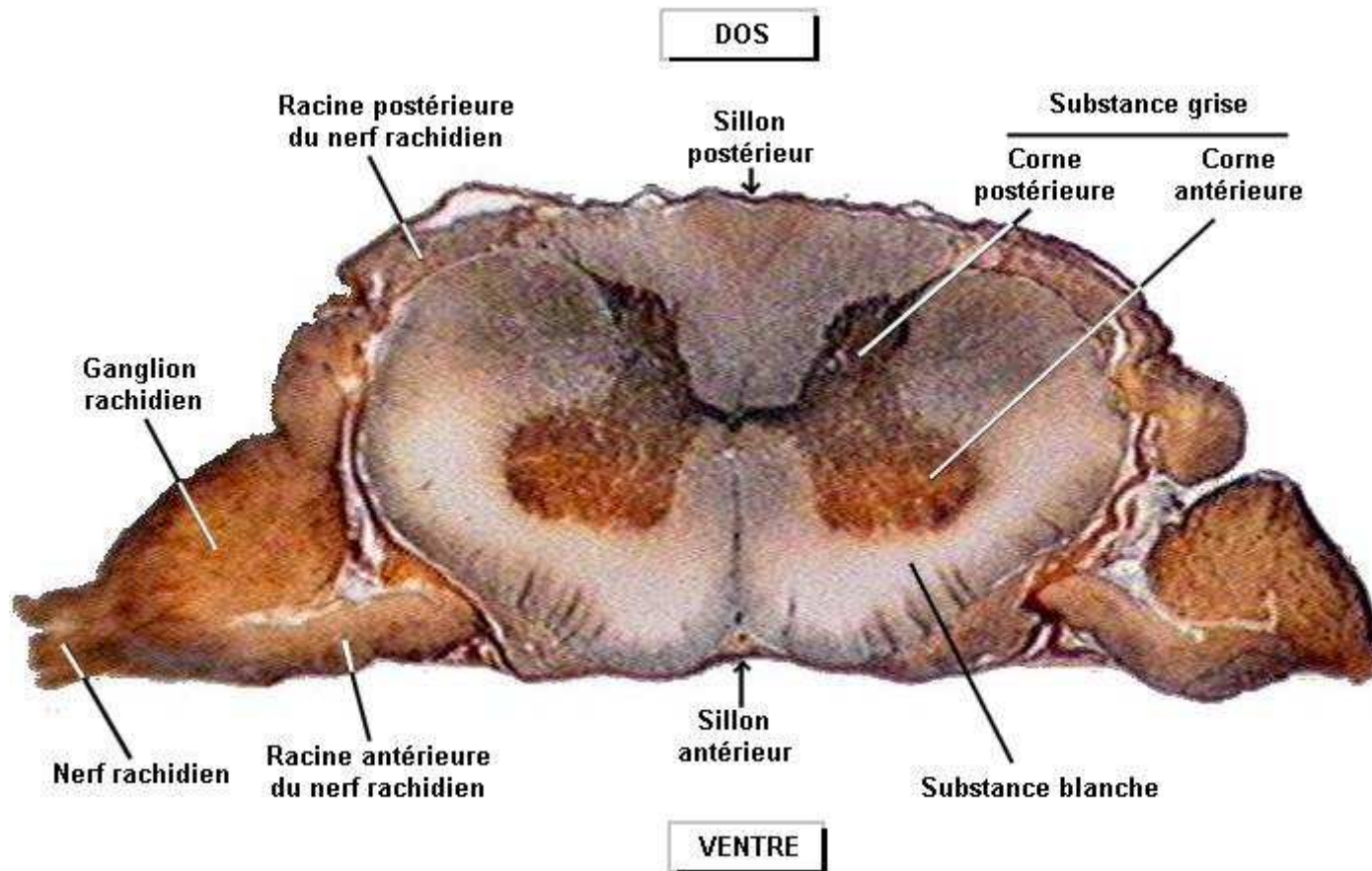
— Intensité faible  
— Intensité modérée  
— Intensité forte



## Rôle dans la posture

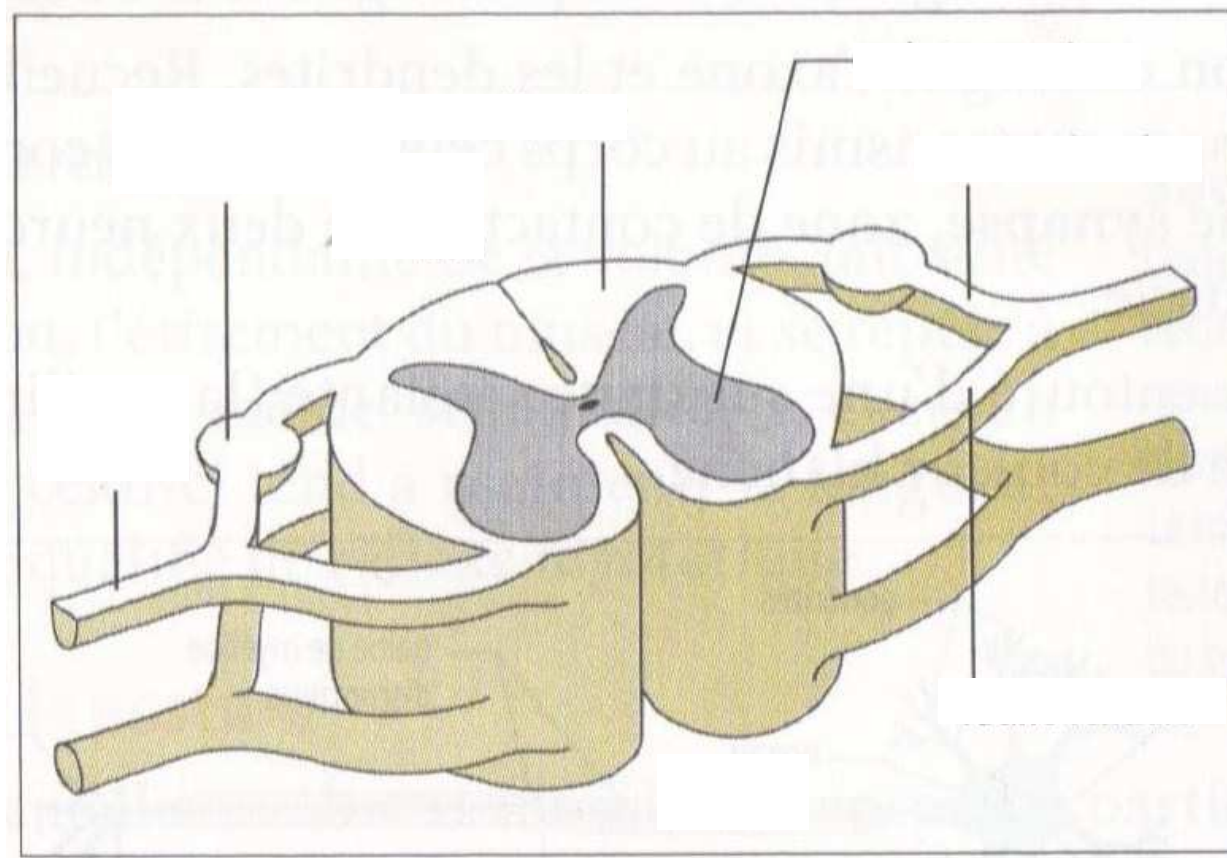
- Muscles extenseurs étirés par l'action de la pesanteur
- Ex : poids de la tête => étirement des muscles extenseurs du cou
- Par réflexe, ces muscles réagissent en se contractant => tonus musculaire

# Coupe transversale de la moelle épinière



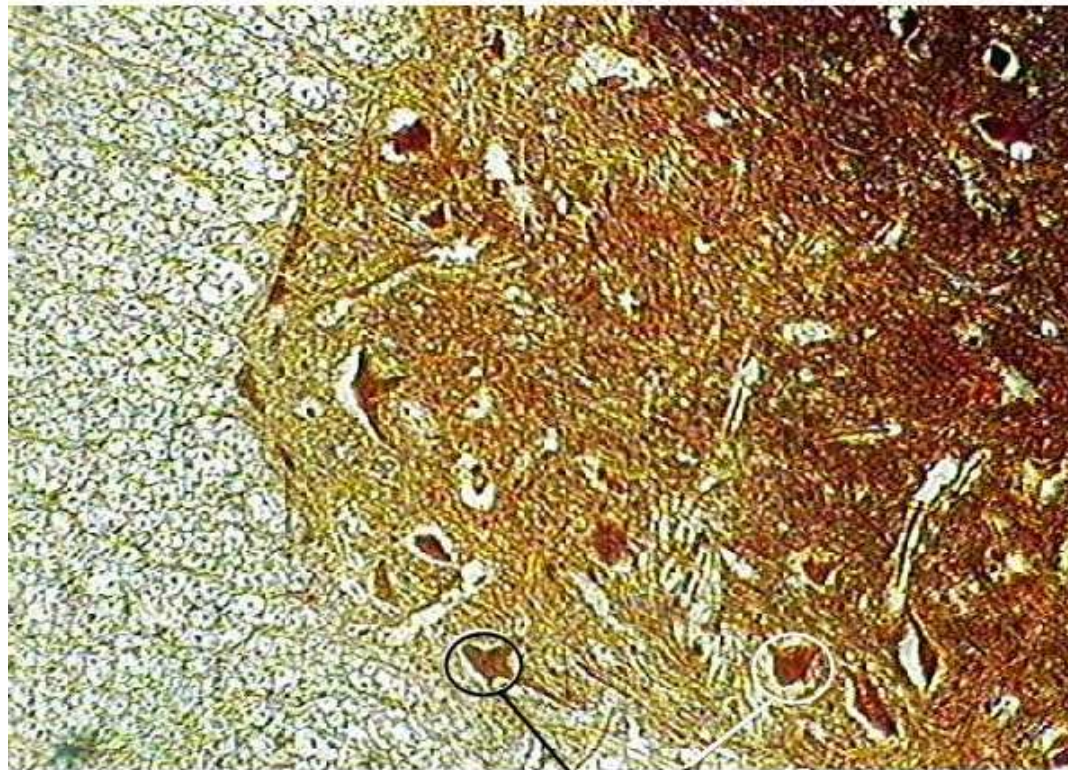


## Coupe transversale de moelle épinière



Substance blanche

Substance grise

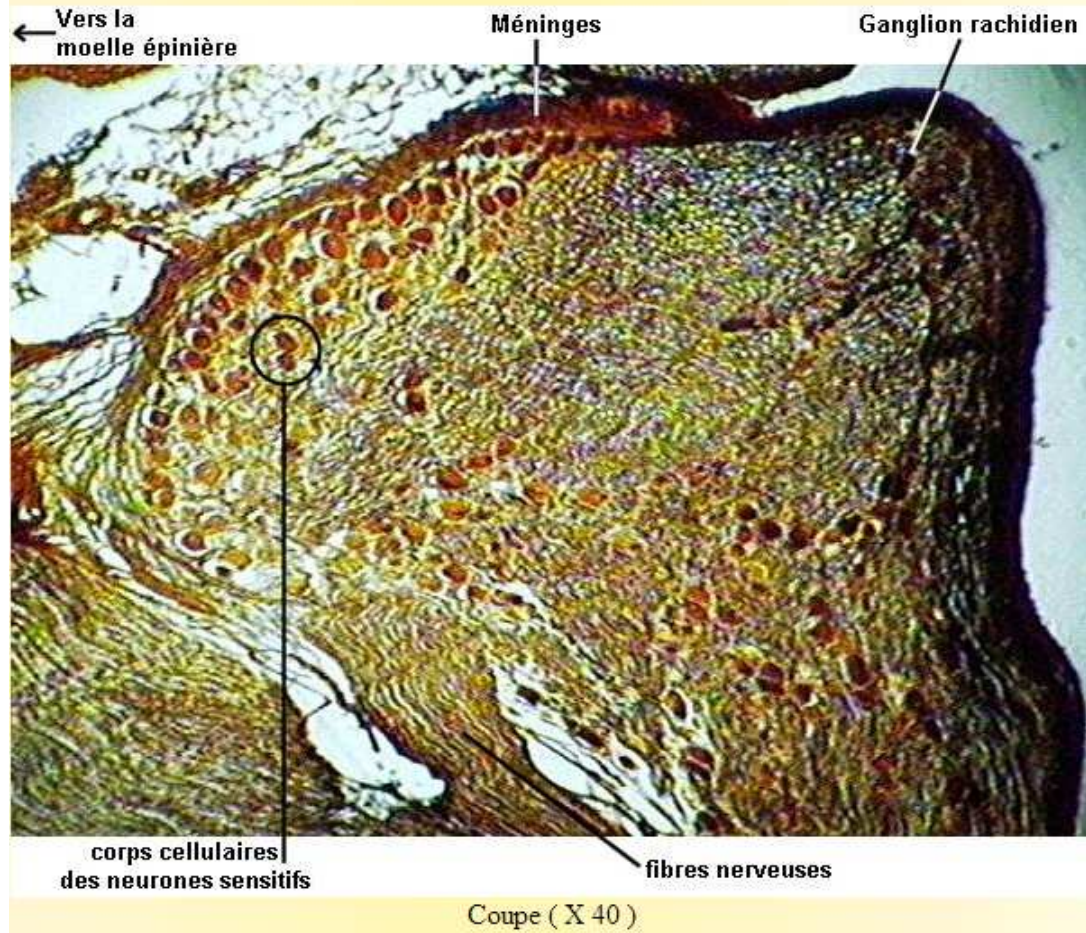


Corps cellulaires de neurones

Coupe transversale ( X 100 )

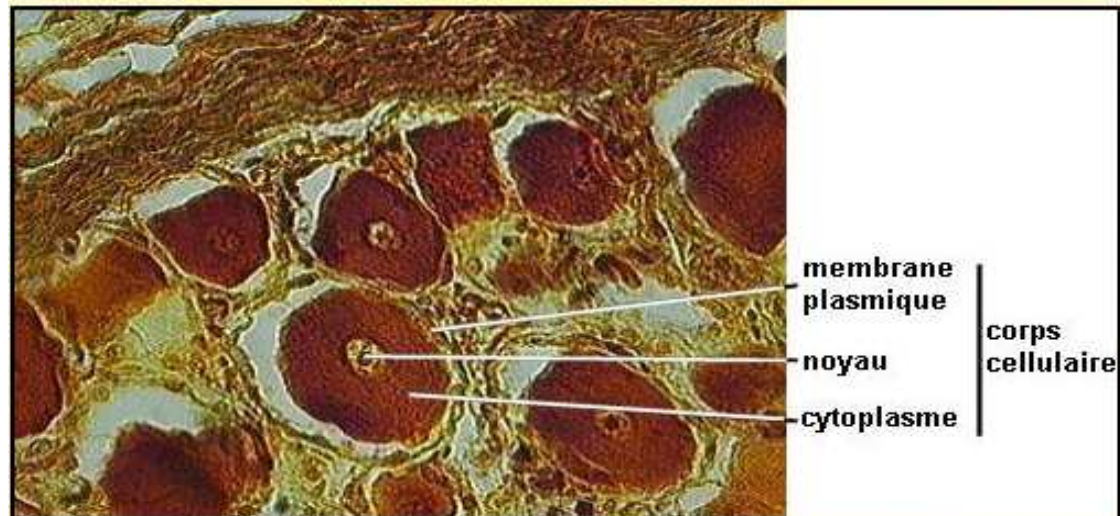
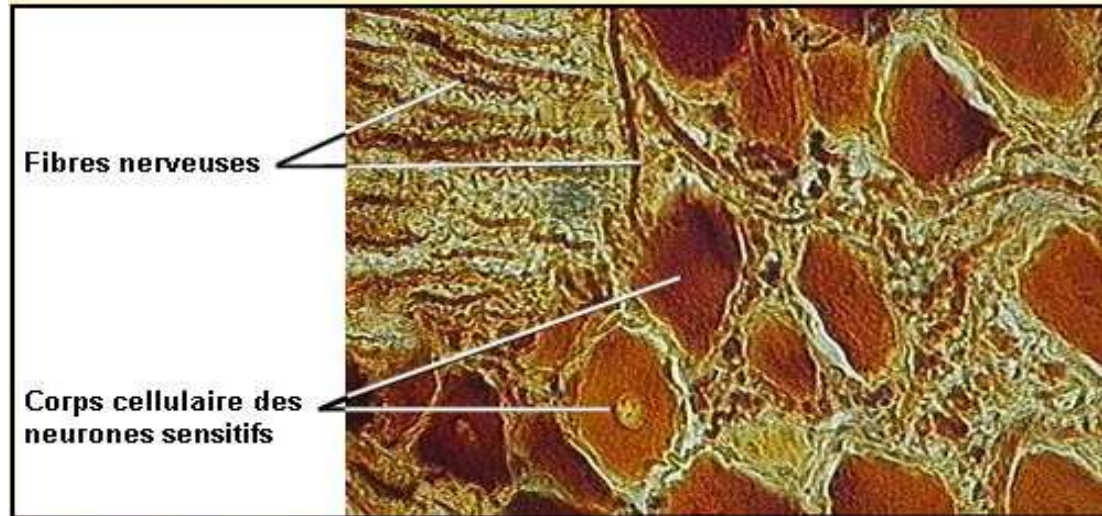


## Ganglion rachidien





## Ganglion rachidien



Coupes ( X 600 )

## Le circuit du message nerveux

► **Expérience 1** : la section (A) du nerf rachidien entraîne la perte de toute sensibilité et de toute motricité de la région innervée.

► **Expérience 2** : après une section de la racine dorsale du nerf rachidien (en B), l'animal perd la sensibilité mais la motricité correspondant au nerf rachidien est conservée.

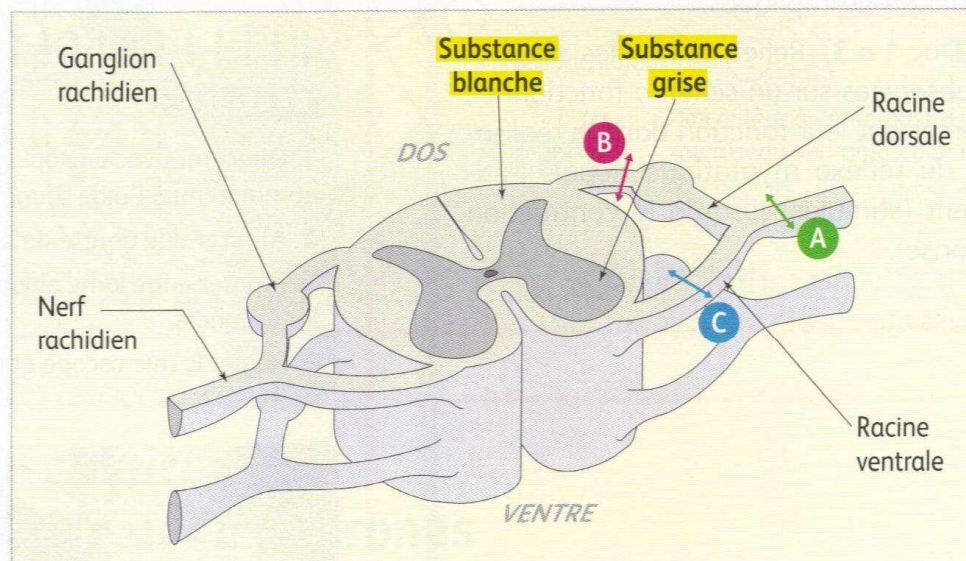
► **Expérience 3** : la section de la racine ventrale (en C) provoque la perte de la motricité de la région innervée mais la sensibilité est conservée.

► Dans tous les cas, le réflexe myotatique est supprimé.

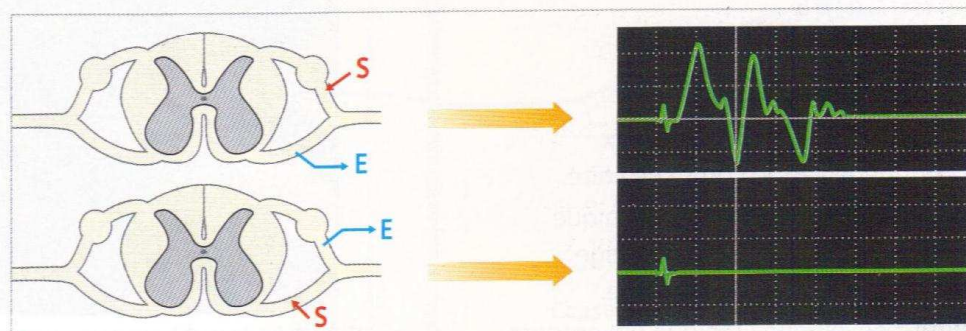
► On réalise par ailleurs deux stimulations électriques.

► Dans un premier temps, on stimule la racine dorsale et on enregistre le message sur la racine ventrale.

► Dans un second temps, on stimule la racine ventrale et on enregistre le message sur la racine dorsale. Les enregistrements sont présentés ci-contre.



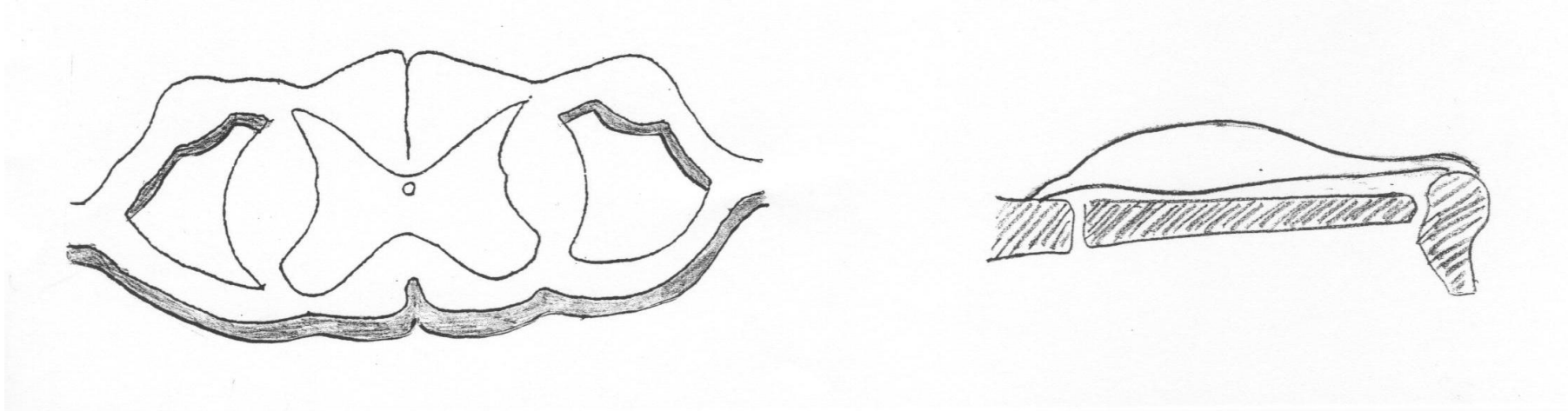
**b** Schéma de la moelle épinière permettant de localiser les sections réalisées par Magendie.



**c** Résultats des stimulations électriques.



## Le circuit du message nerveux



Le message sensitif issu du muscle étiré passe par le nerf puis par la racine dorsale avant d'atteindre la moelle épinière.

Le message moteur est conduit de la moelle vers le muscle en passant par la racine ventrale puis par le nerf.

Ce circuit est appelé arc réflexe.

## Un outil diagnostique couramment utilisé

- Au cours d'un examen médical, le médecin contrôle couramment plusieurs réflexes ostéo-tendineux. Le test consiste à percuter le tendon d'un muscle : ce stimulus étire le muscle qui « répond » de façon réflexe par une contraction. Il s'agit donc de réflexes myotatiques.

### Quelques exemples

Nom du réflexe	Muscle stimulé	Réponse
rotulien	quadriceps de la cuisse	extension de la jambe
achilléen	soléaire	extension du pied
bicipital	biceps	flexion de l'avant-bras
tricipital	triceps	extension de l'avant-bras

- L'importance de la réponse peut être estimée sur une échelle allant de 0 à 4+ :

0	pas de réponse
1+	contraction visible mais diminuée
2+	réponse normale
3+	contraction plus vive que la moyenne
4+	hyperactivité, réponse excessive



L'abolition ou la diminution d'un réflexe est parfois l'indice d'une lésion nerveuse (lésion d'un nerf engendrant une **sciatique**, par exemple).

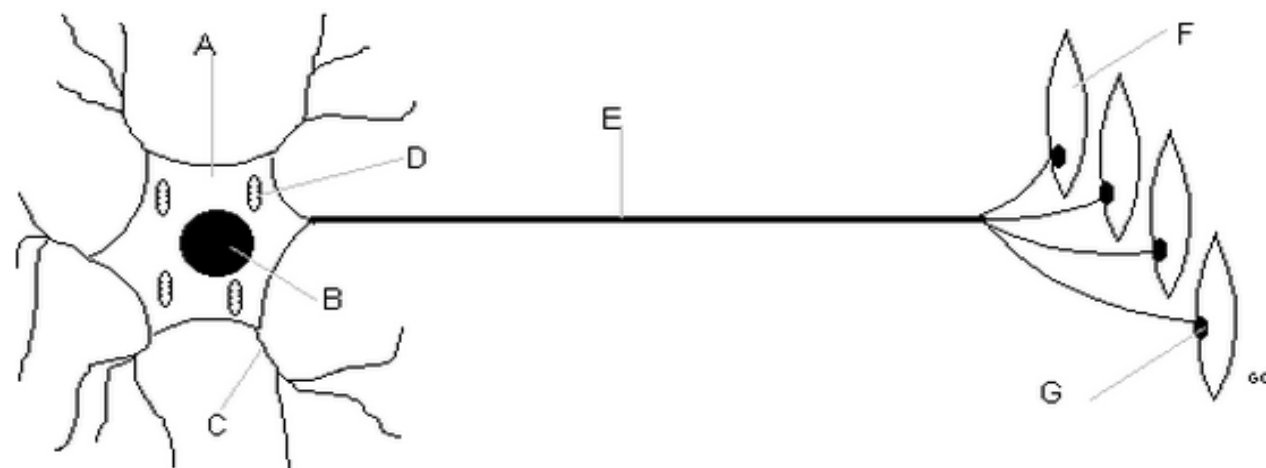
L'exagération de la réponse réflexe, ou spasticité, peut être d'origine très diverse. Elle traduit en général une levée de l'**inhibition** de la réponse réflexe normalement exercée par les **centres nerveux supérieurs**.

# Bilan

- Un **réflexe myotatique** est une réaction rapide et involontaire du corps: un muscle se contracte automatiquement en réponse à son propre étirement. Les réflexes myotatiques sont, comme tous les réflexes, sous contrôle nerveux. Ils témoignent du bon fonctionnement de système neuromusculaire.
- L'enregistrement des courants électriques associés à la contraction musculaire permet de montrer que le circuit nerveux d'un réflexe myotatique est plus court que celui d'une contraction volontaire d'un muscle. D'autres expériences montrent que la moelle épinière est le **centre nerveux** des réflexes myotatiques.

## - II - Le réflexe myotatique : organisation au niveau cellulaire de l'arc réflexe

### 1) Le neurone



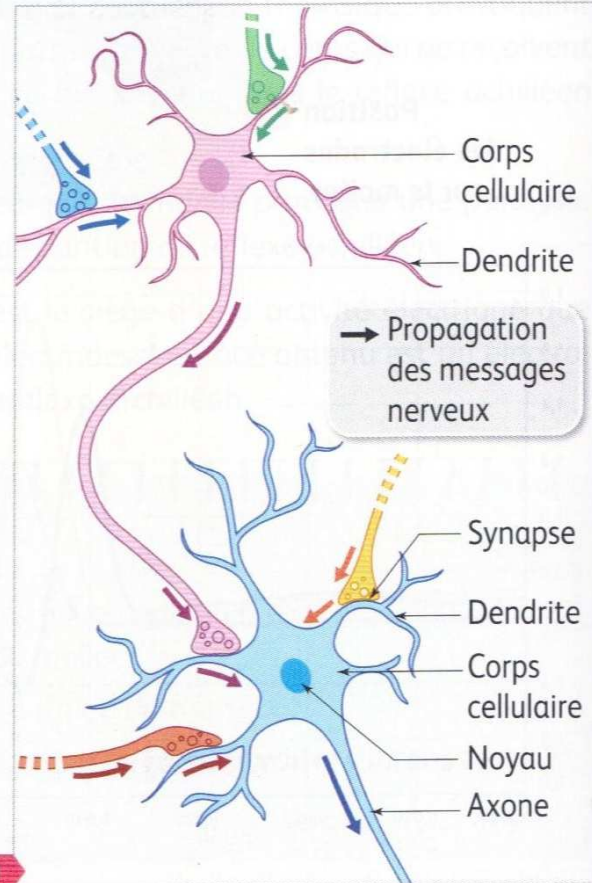
Dessin d'un neurone



## Le système nerveux, un réseau de neurones

▮ Le réflexe myotatique repose sur la transmission de messages nerveux de neurone en neurone.

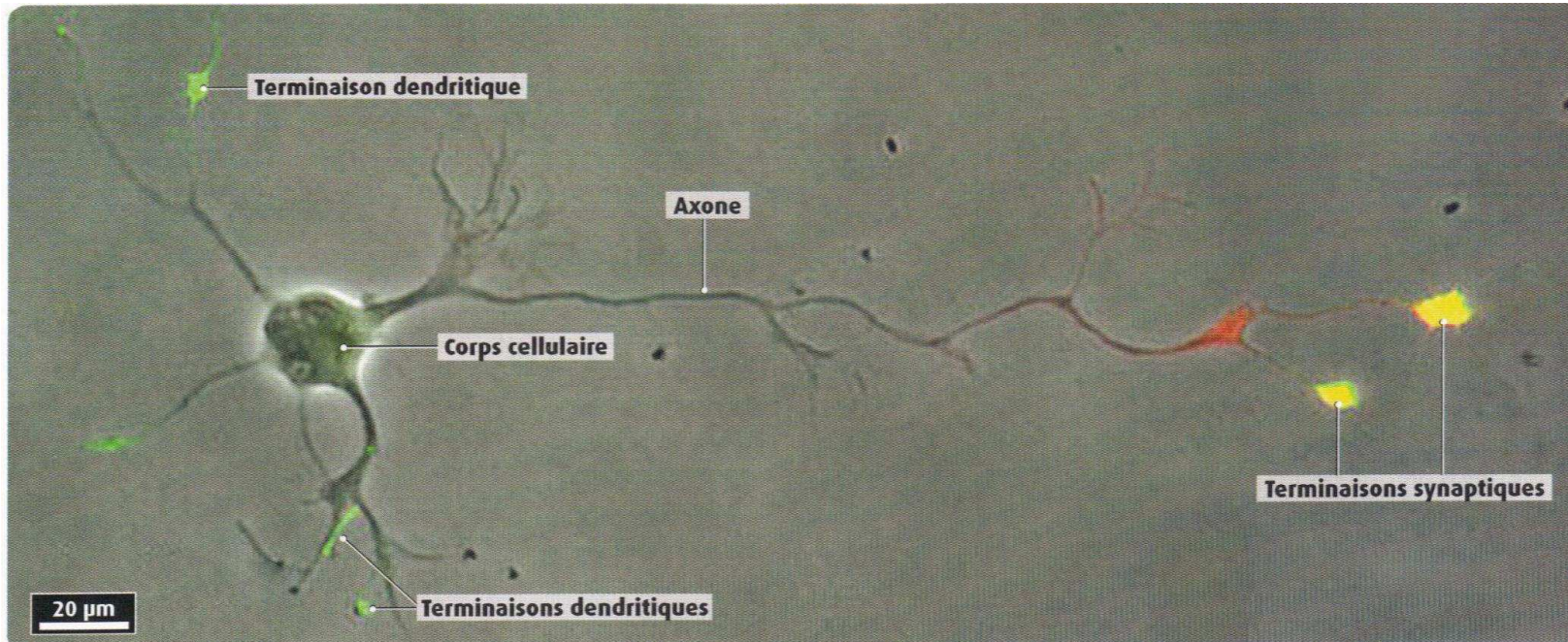
▮ Les neurones sont des cellules organisées en réseau, capables de communiquer entre elles. Un neurone est constitué d'un corps cellulaire renflé, contenant le noyau ainsi que des prolongements cytoplasmiques ou fibres. Le neurone reçoit des messages par les **dendrites** et émet un message par son **axone**. La communication entre neurones se fait au niveau des synapses.



Un réseau de neurones. a

▮ Un nerf est constitué d'un faisceau de fibres enveloppé dans du tissu conjonctif. Les fibres peuvent être entourées de **myéline**.

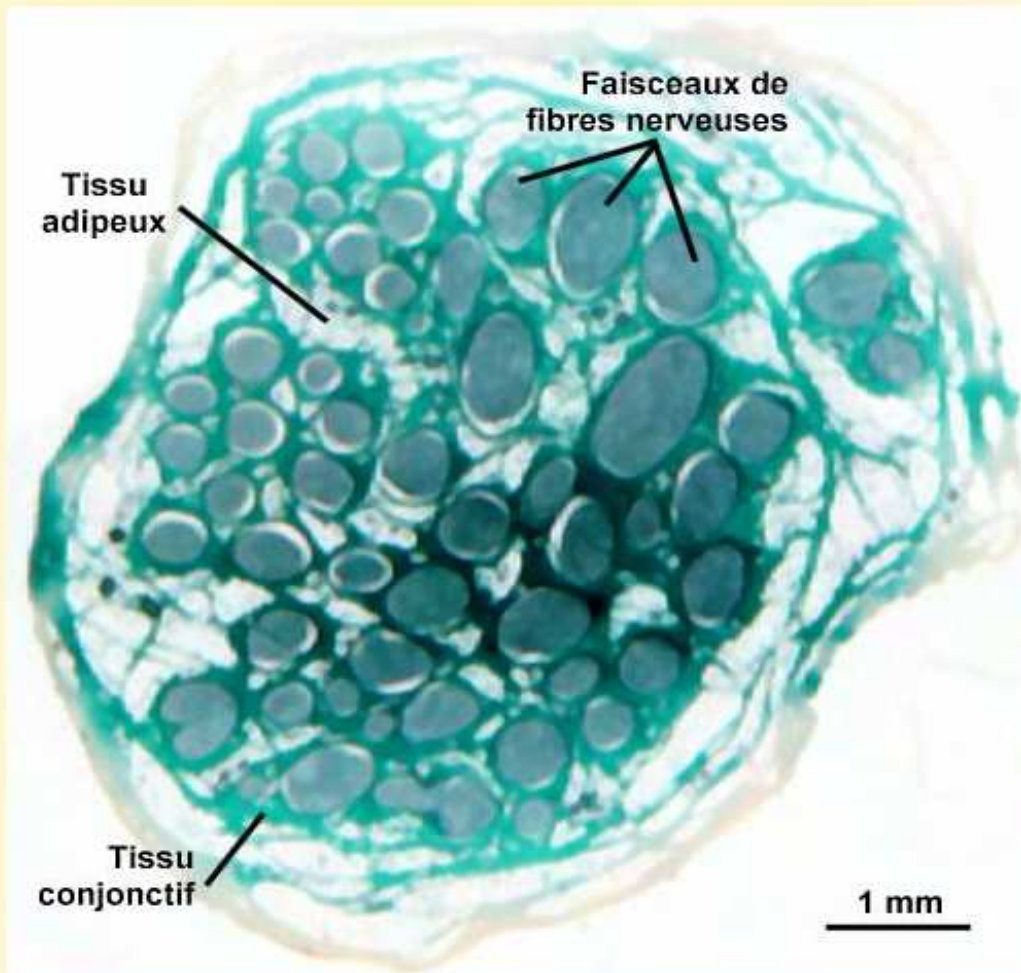




#### 4 Neurone du cerveau d'un rat (vu au MO).

Des informations variées arrivent par les terminaisons dendritiques du neurone (ou dendrites, marquées en vert), qui constituent le pôle afférent. Ces informations sont intégrées au niveau du **corps cellulaire** (contenant le noyau du neurone) et peuvent se traduire par l'émission d'un message nerveux qui emprunte l'**axone** jusqu'à l'arborisation terminale (pôle efférent). Chaque extrémité de l'arborisation, ou terminaison synaptique (marquée en jaune), est en contact avec un autre neurone. Le contact entre une terminaison synaptique d'un premier neurone et une terminaison dendritique (ou le corps cellulaire) d'un second neurone est une **synapse**. Celle-ci peut permettre la transmission du message nerveux du premier neurone au second. Les différents neurones de l'organisme sont tous des cellules polarisées, mais leur organisation présente d'importantes variations d'un type de neurone à l'autre.

## Nerf de veau



Coupe transversale de nerf rachidien colorée de mammifère observée à la loupe (X 7).

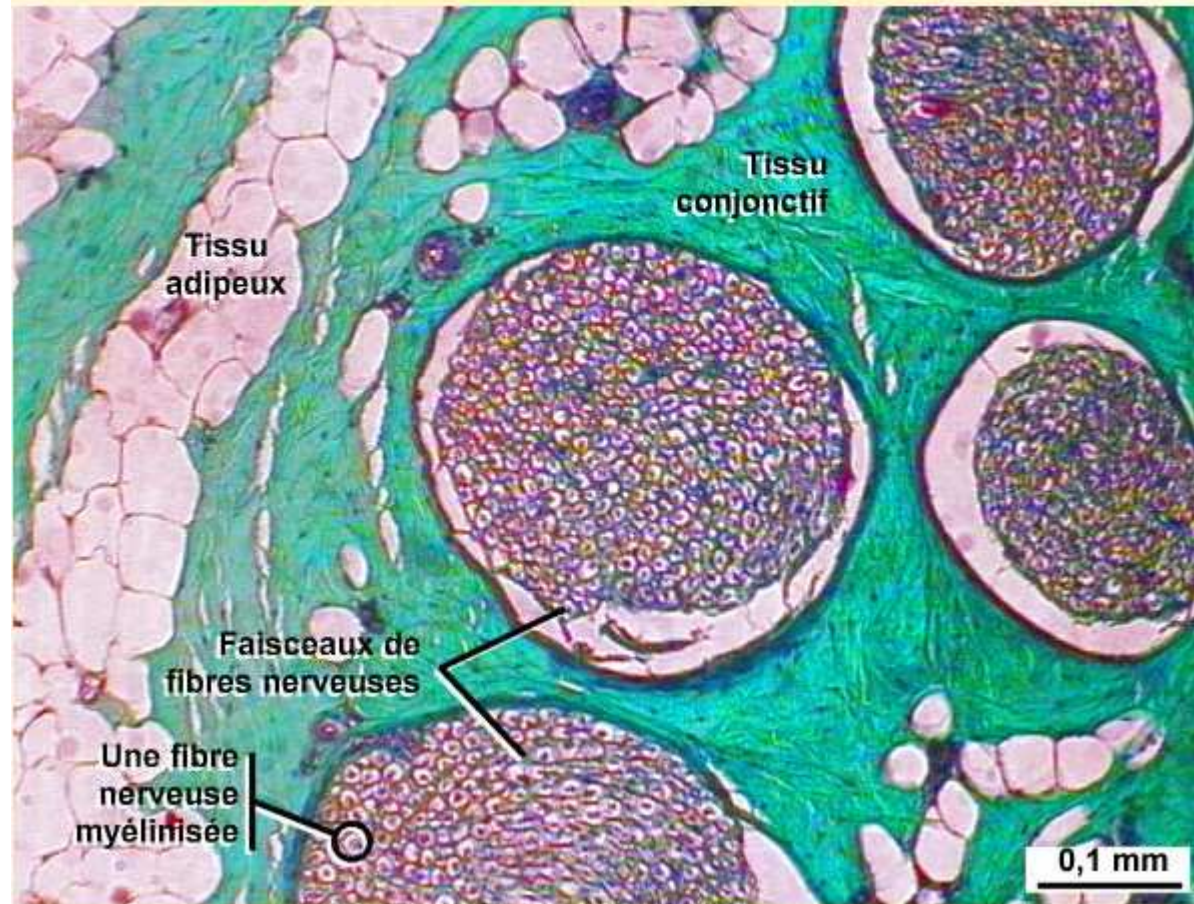


## Nerf de veau



Coupe transversale de nerf rachidien colorée de mammifère observée au microscope optique ( X 40 ).

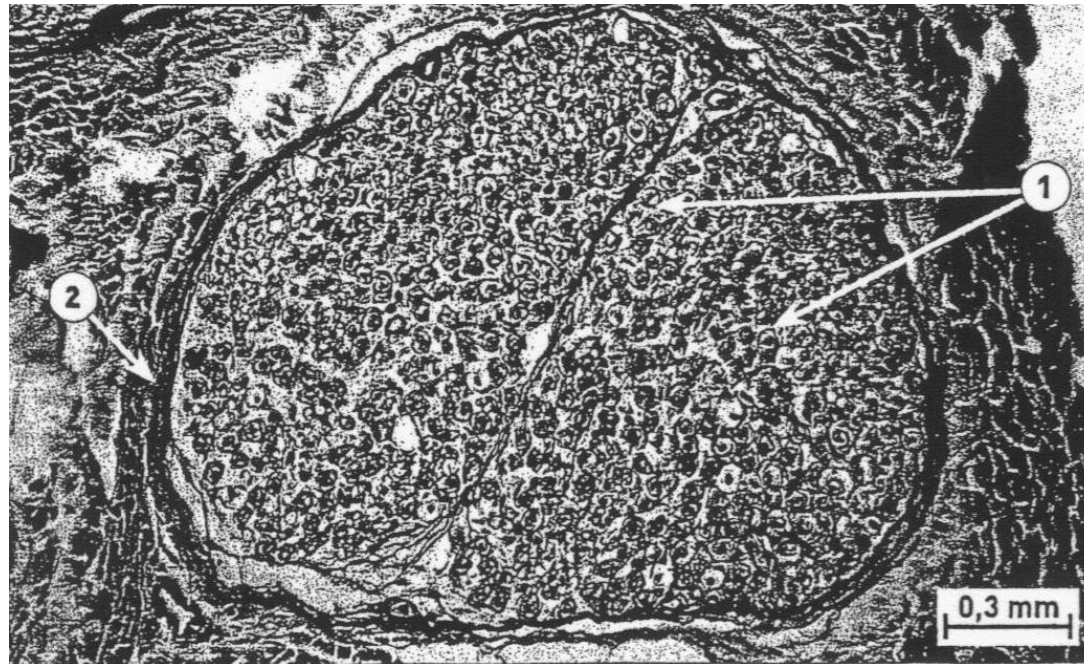
## Nerf de veau



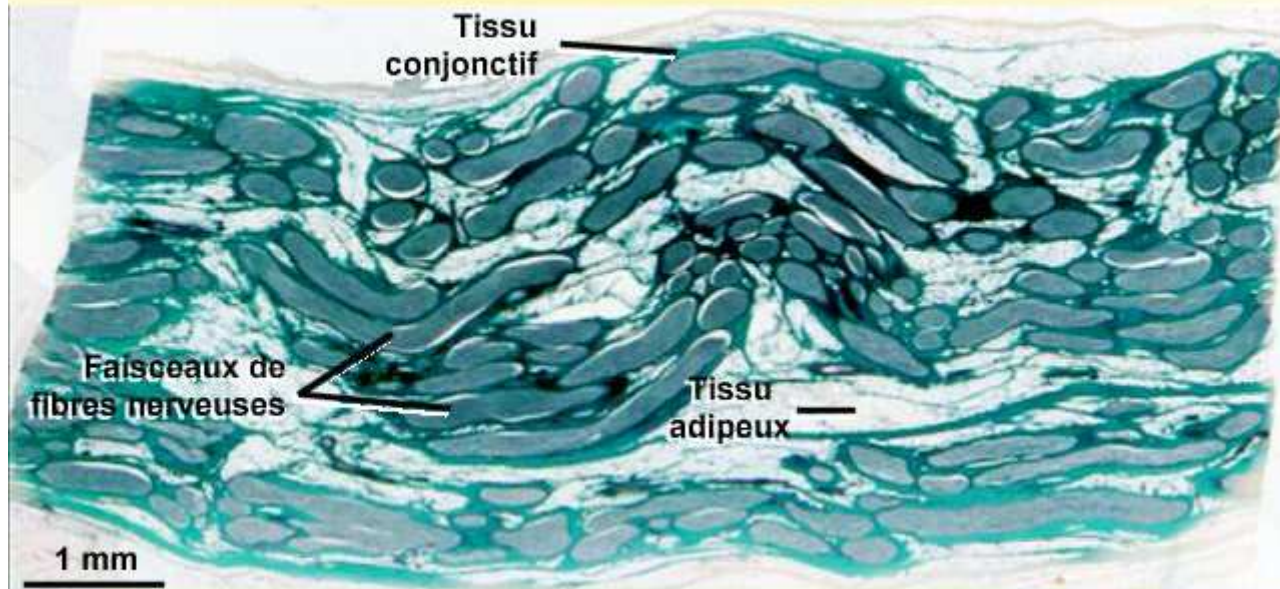
Coupe transversale de nerf rachidien colorée de mammifère observée au microscope optique (X 100 )



Coupe transversale d'un faisceau de fibres nerveuses  
du nerf rachidien

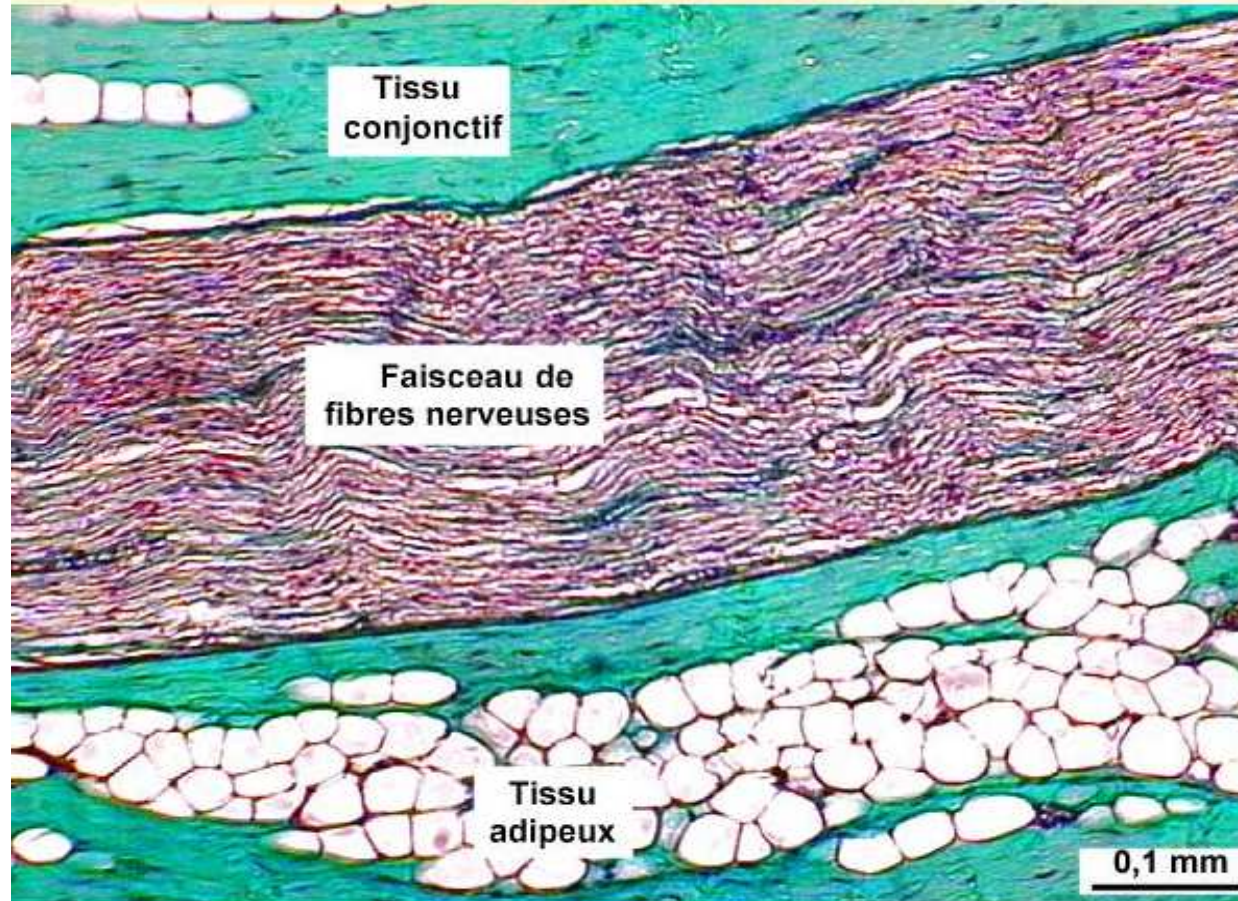


## Nerf de veau



Coupe longitudinale de nerf rachidien colorée de mammifère observée à la loupe (X 7).

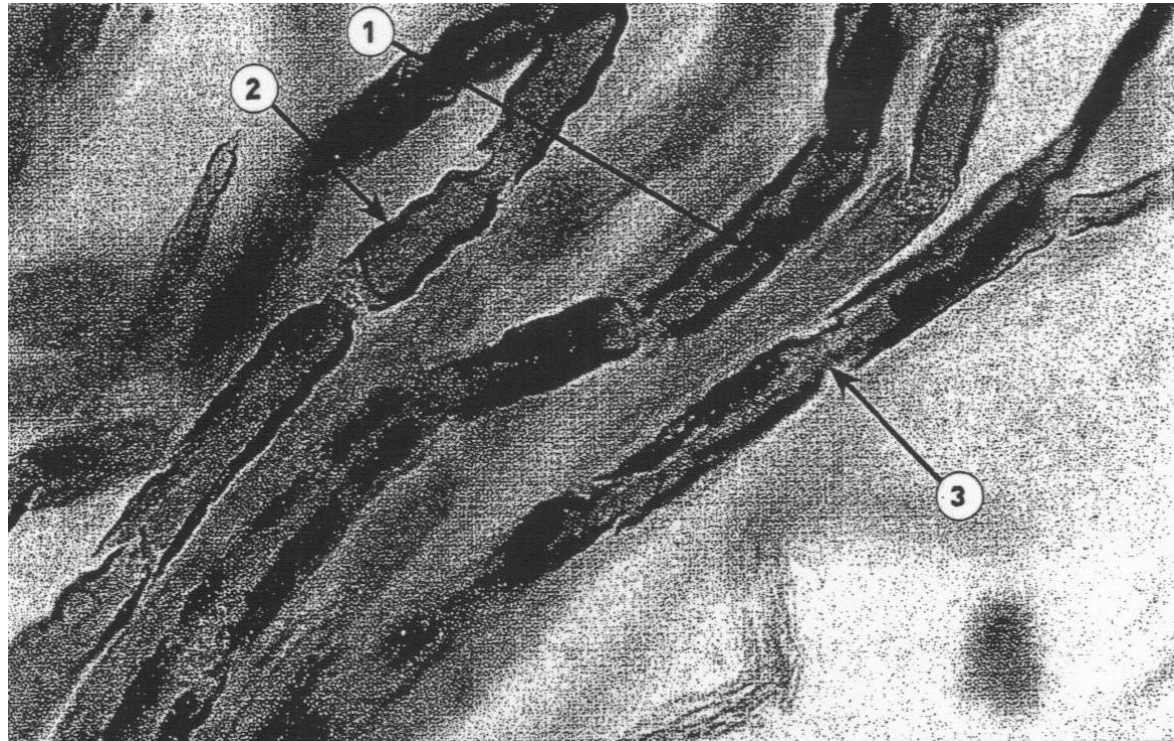
## Nerf de veau



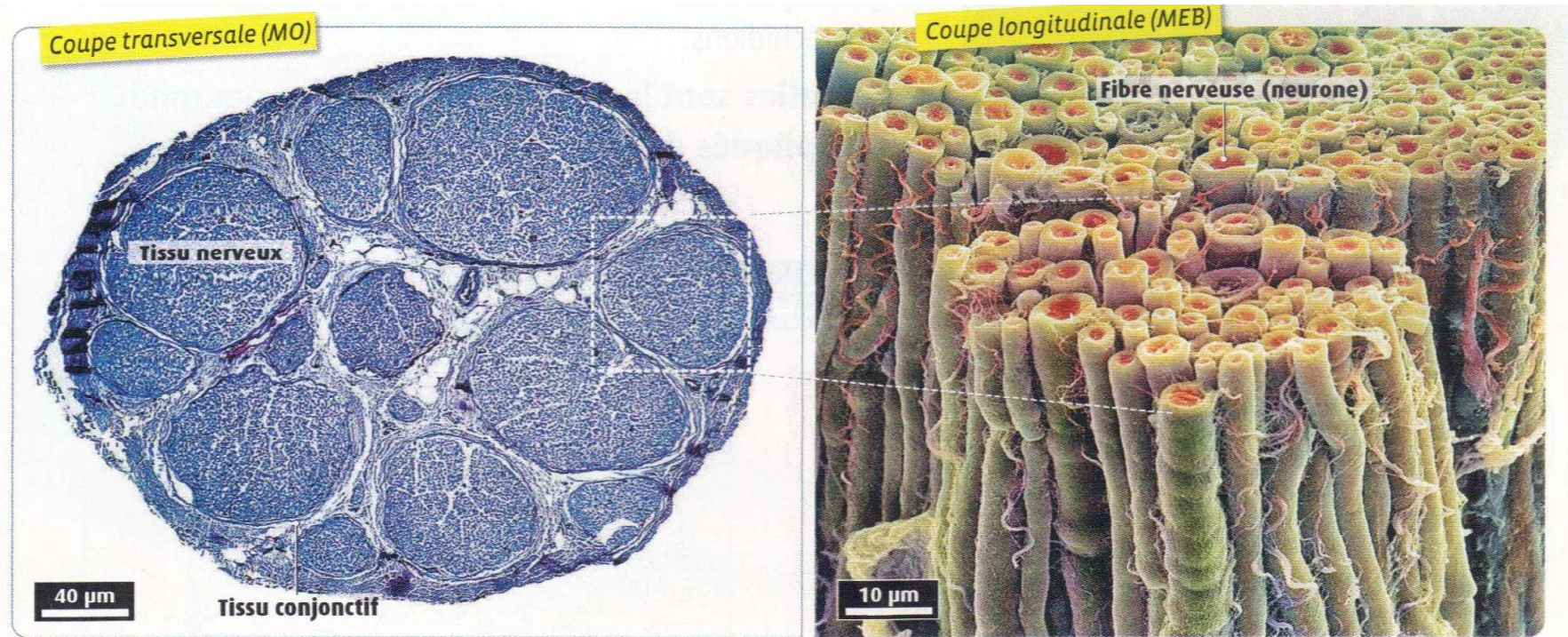
Coupe longitudinale de nerf rachidien colorée de mammifère observée au microscope optique ( X 100 ).



Photo de fibres nerveuses





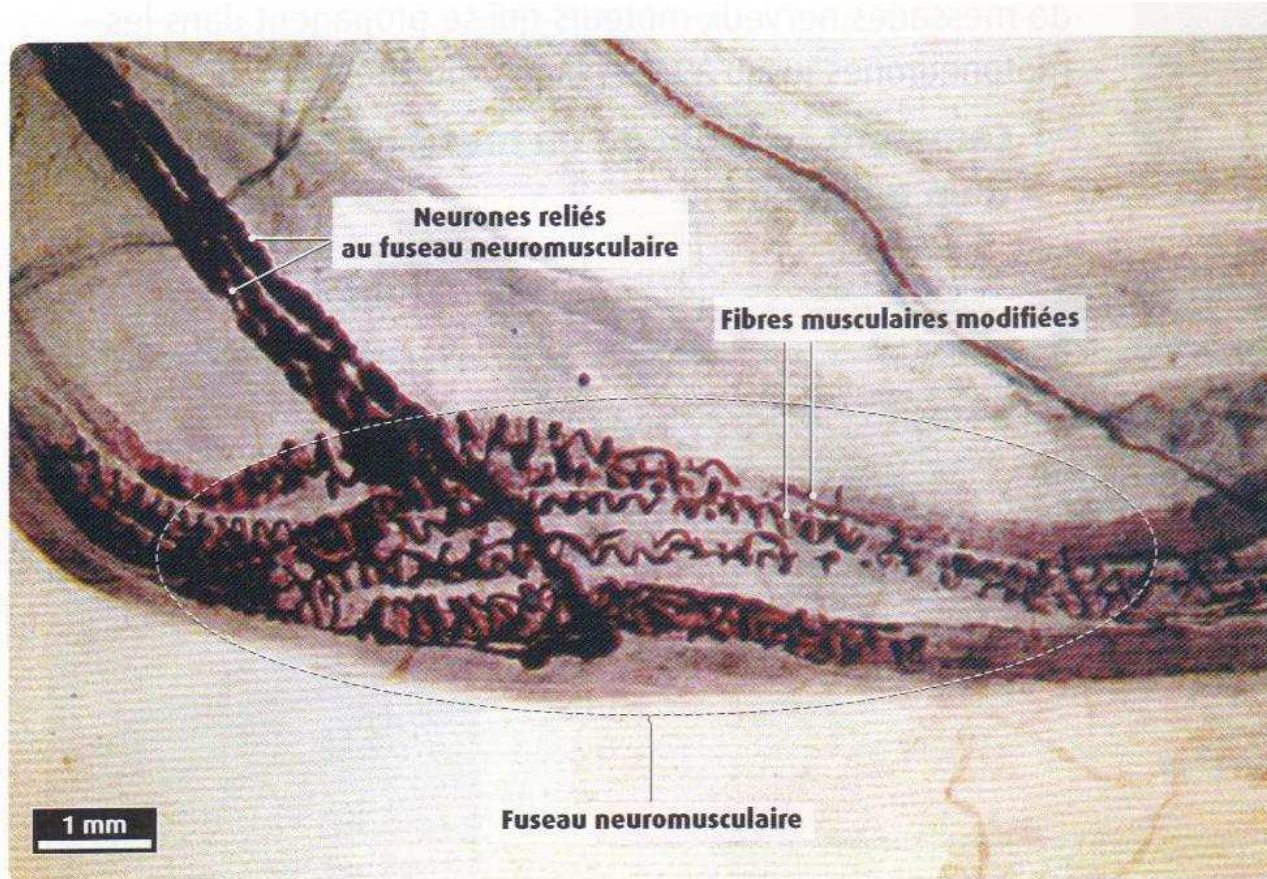


**3 Un nerf rachidien observé en coupe transversale et en coupe longitudinale.**

Un nerf est formé de deux tissus: le tissu nerveux, qui contient les **neurones** (également qualifiés de fibres nerveuses), et le tissu conjonctif. Ce dernier entoure les fibres nerveuses et contient des vaisseaux sanguins assurant l'irrigation du nerf.



## 2) Les capteurs et les neurones afférents (sensoriels) du réflexe myotatique



**3 Un fuseau neuromusculaire.** (vu au MO). Il s'agit d'une capsule disposée parallèlement aux fibres musculaires. Elle contient des fibres musculaires modifiées autour desquelles sont enroulées les terminaisons dendritiques de neurones à l'organisation particulière : ces terminaisons sont directement en contact avec l'axone ; cet axone emprunte un nerf rachidien jusqu'à un ganglion rachidien (où est localisé le corps cellulaire) puis gagne la moelle épinière par la racine dorsale du nerf. L'étirement du muscle est l'origine d'un message nerveux dans ces neurones.



# Le fuseau neuromusculaire, un récepteur sensible à l'étirement

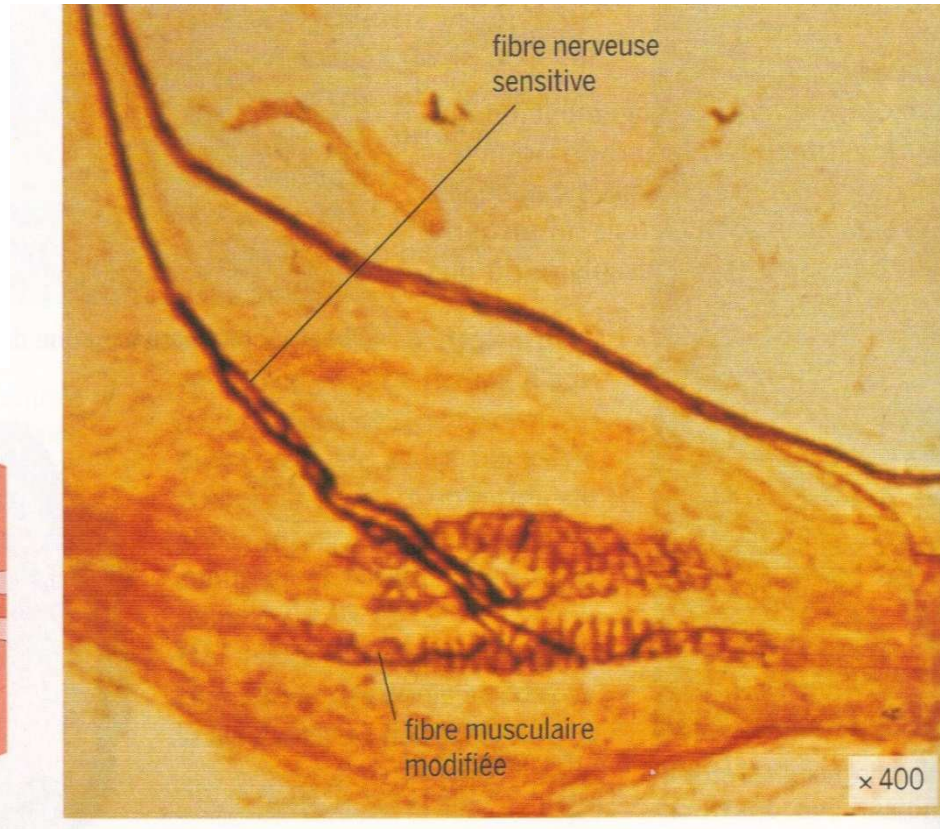
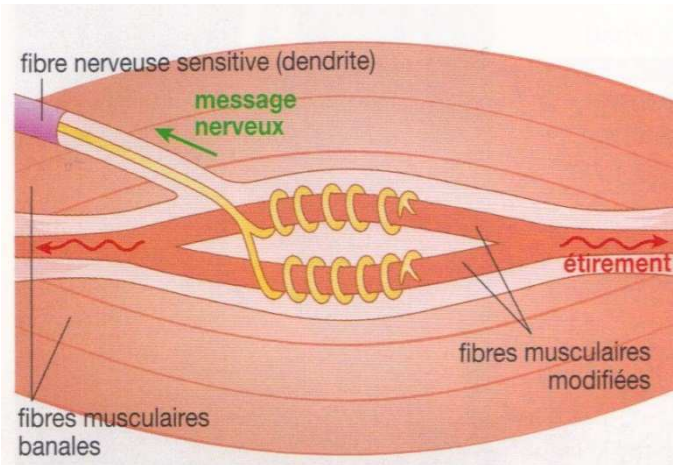
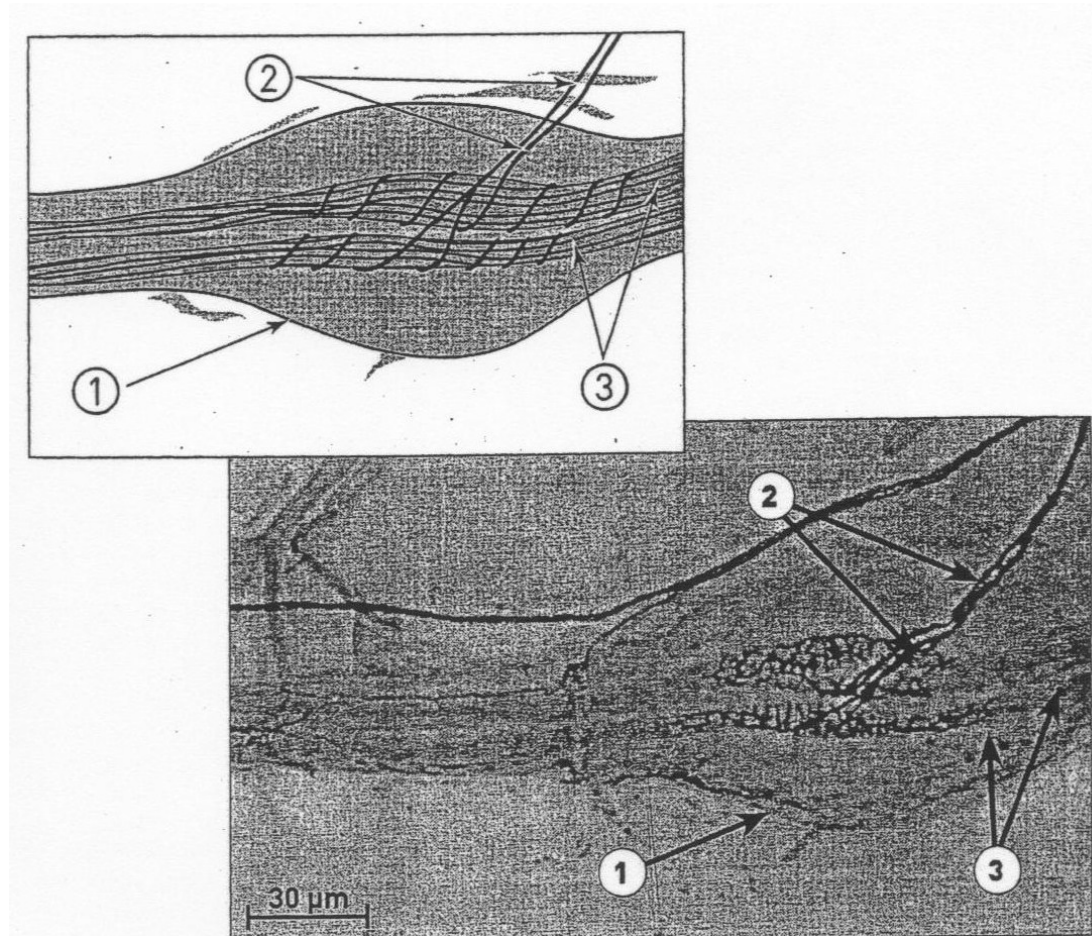
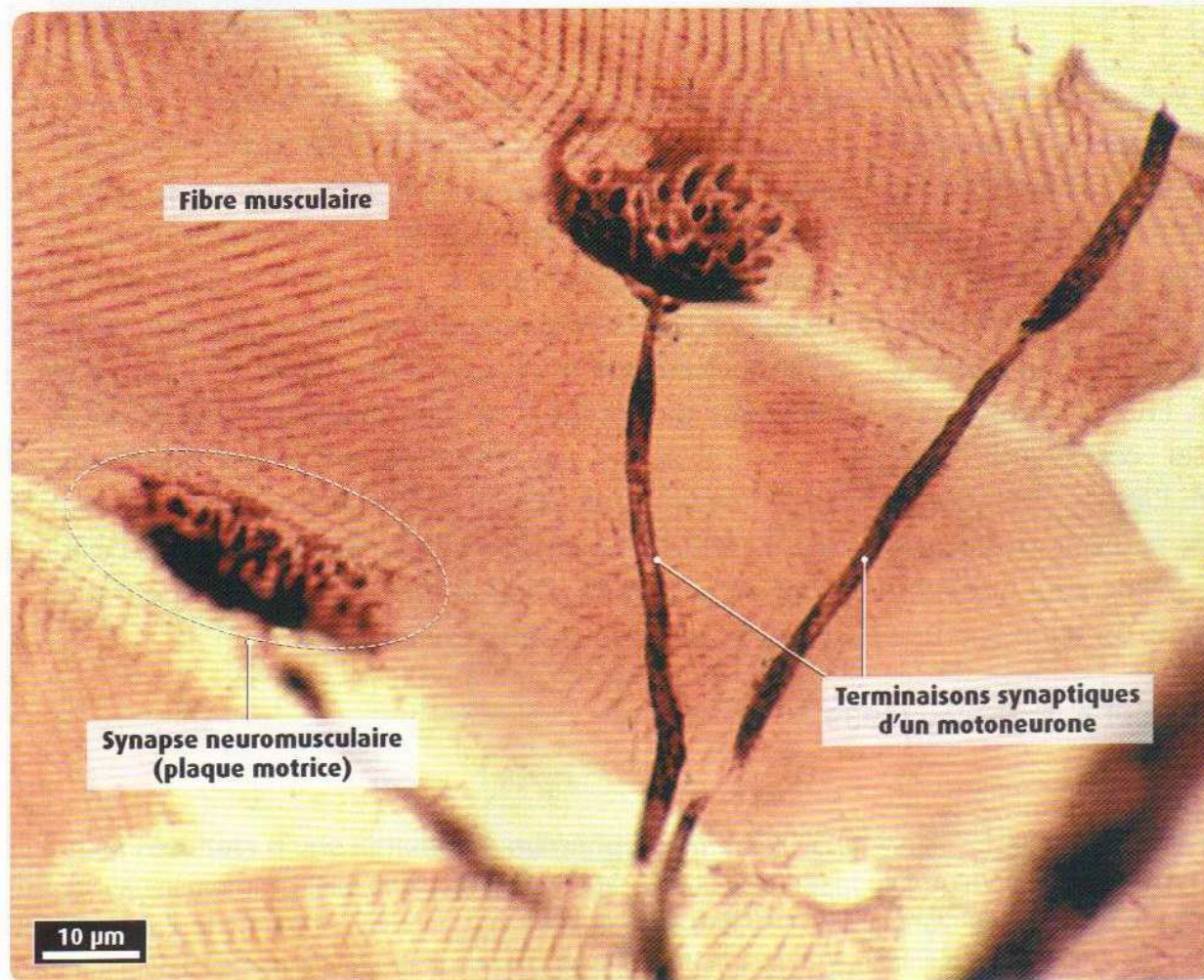


Photo d'un fuseau neuro-musculaire





### 3) Les neurones efférents et les effecteurs



**4** Une **plaque motrice** (vue au MO). Certains neurones des nerfs rachidiens sont qualifiés de **motoneurones**. À proximité des fibres musculaires, un motoneurone se ramifie et forme de nombreuses terminaisons synaptiques. Chacune d'entre elle est en contact avec une fibre musculaire, formant une **synapse neuromusculaire** ou plaque motrice. Chaque motoneurone est ainsi en contact avec de nombreuses fibres musculaires. Lorsqu'un message nerveux parvient aux différentes terminaisons synaptiques, il commande la contraction simultanée des fibres musculaires en contact avec ces terminaisons.



La plaque motrice :  
une connexion entre fibre nerveuse et fibre musculaire

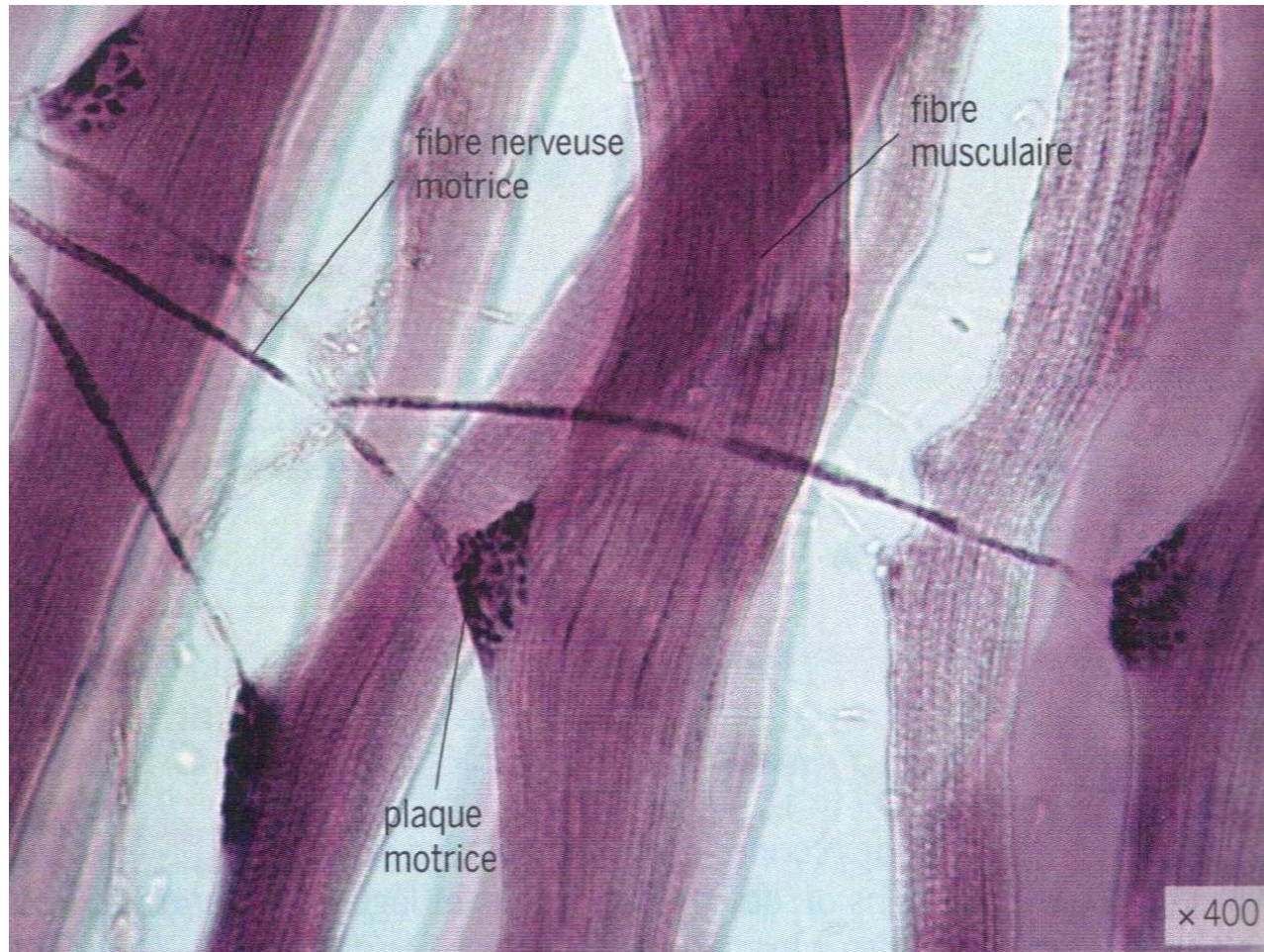
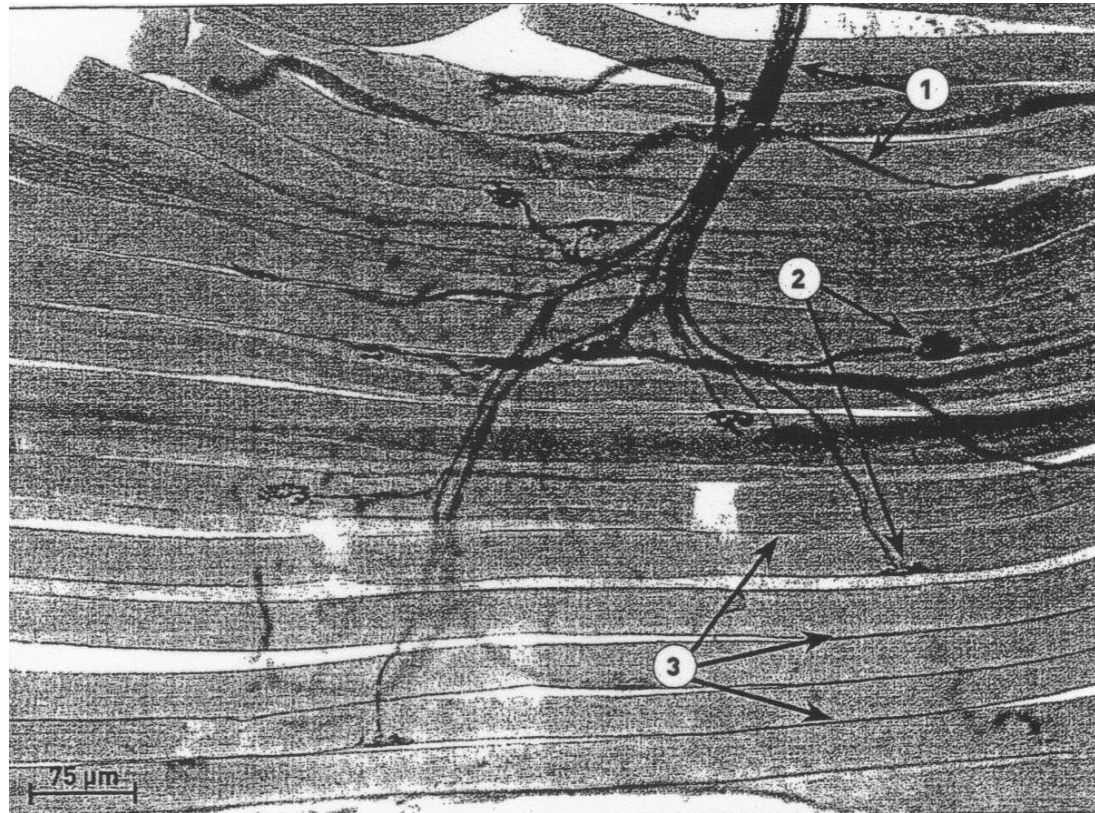


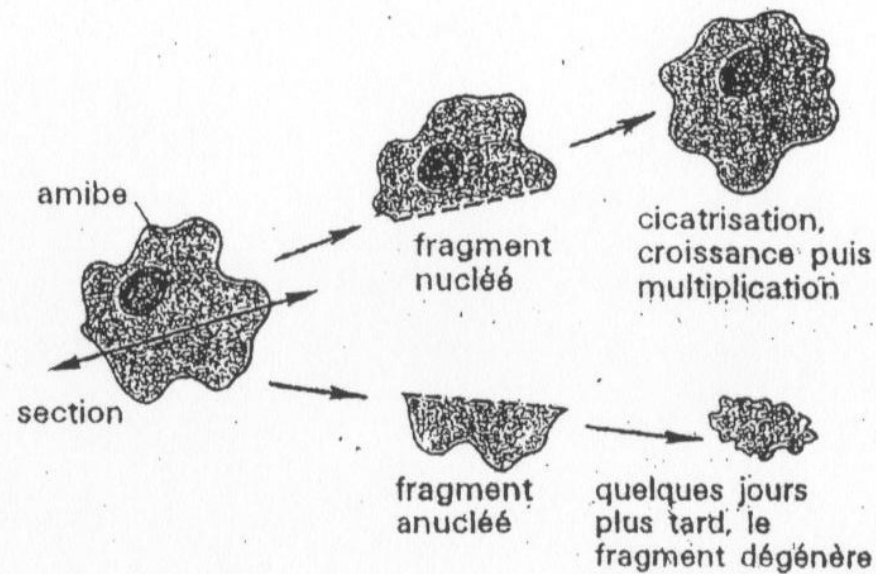
Photo d'une plaque motrice



## 4) Les liaisons entre un neurone afférent et un neurone efférent

### Expérience sur l'amibe

L'amibe est un animal unicellulaire.  
Différentes expériences de section sont réalisées.



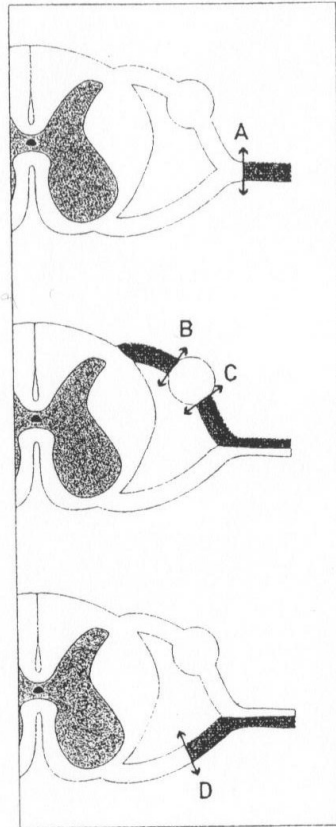


### Expériences de Magendie

Des expériences de section sont effectuées sur les racines rachidiennes de la moelle épinière et sur le nerf rachidien. Ces sections, présentées sur les schémas ci-dessous ont été réalisées sur des animaux différents.

Après avoir analysé ces résultats, vous conclurez :

- sur la disposition des neurones impliqués dans un réflexe médullaire
- sur la spécialisation des racines rachidiennes

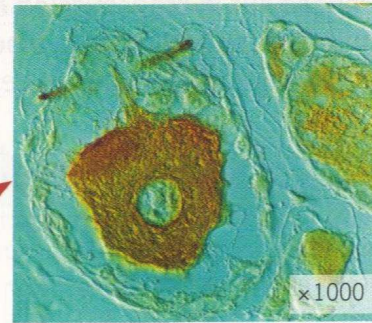
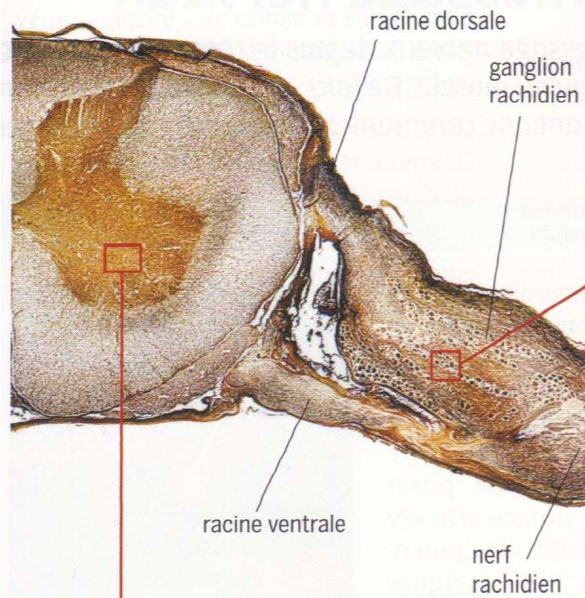


*Expérience 1* : la section basse (en A) du nerf rachidien entraîne une perte de toute sensibilité et de toute motricité de la région innervée. Après quelques semaines, la portion périphérique du nerf dégénère.

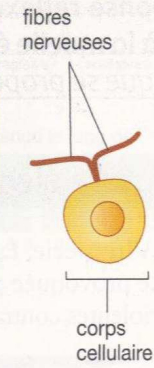
*Expérience 2* : Après une section de part et d'autre du **ganglion rachidien** (en B et en C), l'animal perd la sensibilité mais la motricité correspondant au nerf rachidien est conservée. À plus long terme, les fibres de part et d'autre du ganglion de la racine dorsale dégénèrent. On observe également une dégénérescence des fibres nerveuses dans la partie dorsale du nerf rachidien concerné.

*Expérience 3* : la section de la racine ventrale (en D) provoque la perte de la motricité de la région innervée mais la sensibilité est conservée. Après quelques jours, on observe une dégénérescence de la partie de la racine séparée de la moelle ainsi que celle des fibres de la partie ventrale du nerf rachidien associé.

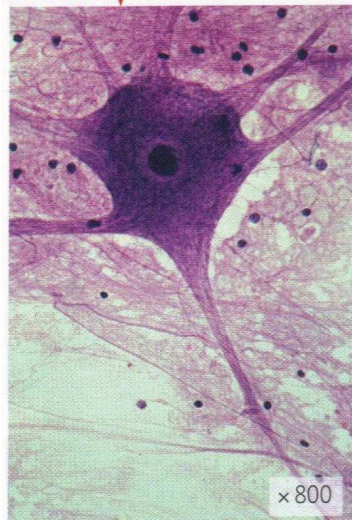
Au niveau de la moelle épinière, chaque nerf rachidien est raccordé par deux racines.



Neurone « en T »



Le ganglion rachidien renferme des corps cellulaires de neurones de forme particulière (neurone en T) : deux fibres nerveuses bifurquent à proximité du corps cellulaire, l'une est issue du nerf rachidien tandis que l'autre est dirigée vers la moelle épinière.



Neurone moteur

# Conclusion

Le corps cellulaire du neurone afférent se trouve dans le ganglion spinal de la racine dorsale du nerf rachidien.

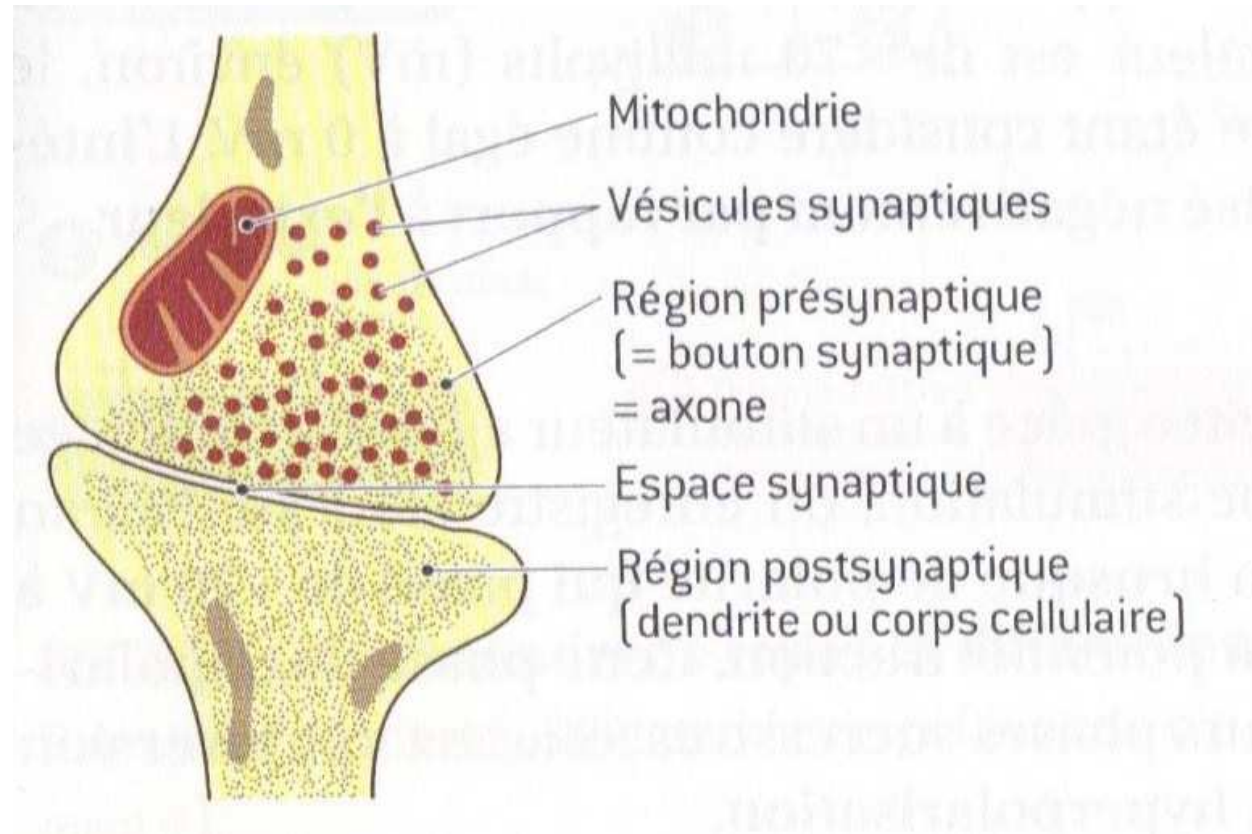
La morphologie de ce neurone (neurone en T) est éloignée de celle du neurone type : il possède 1 seul prolongement qui, à l'intérieur même du ganglion spinal, se divise en 2 prolongements : l'un constitue la fibre afférente issue du fuseau, l'autre pénètre dans la moelle épinière où aboutissent, en définitive, les messages nés au niveau du fuseau.

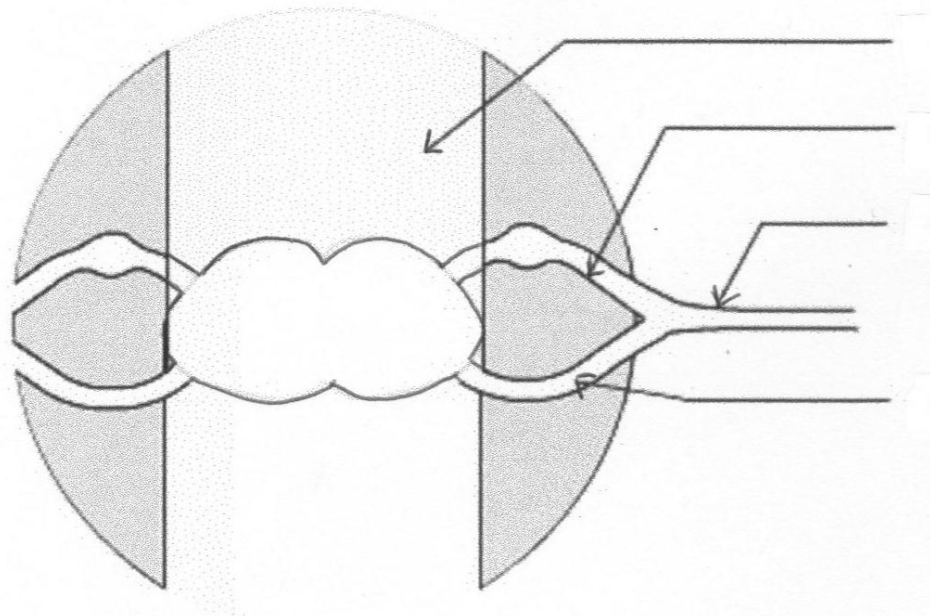
Les corps cellulaires des neurones efférents se trouvent dans la substance grise des cornes antérieures (ventrales) de la moelle épinière.

L'extrémité de la fibre d'un neurone afférent (neurone en T) provenant d'un fuseau neuro-musculaire, entre dans la substance grise de la moelle épinière et établit de nombreux contacts avec un neurone efférent (ou motoneurone) innervant le même muscle.

Chacun de ces contacts est une synapse neuro-neuronique.

# La synapse neuro-neuronique





# Conclusion

Dans le réflexe myotatique interviennent 2 populations neuroniques : des neurones afférents en T issus des fuseaux neuro-musculaires, connectés dans la moelle épinière à des neurones efférents (motoneurones) qui sont en relation avec des fibres musculaires de même muscle.

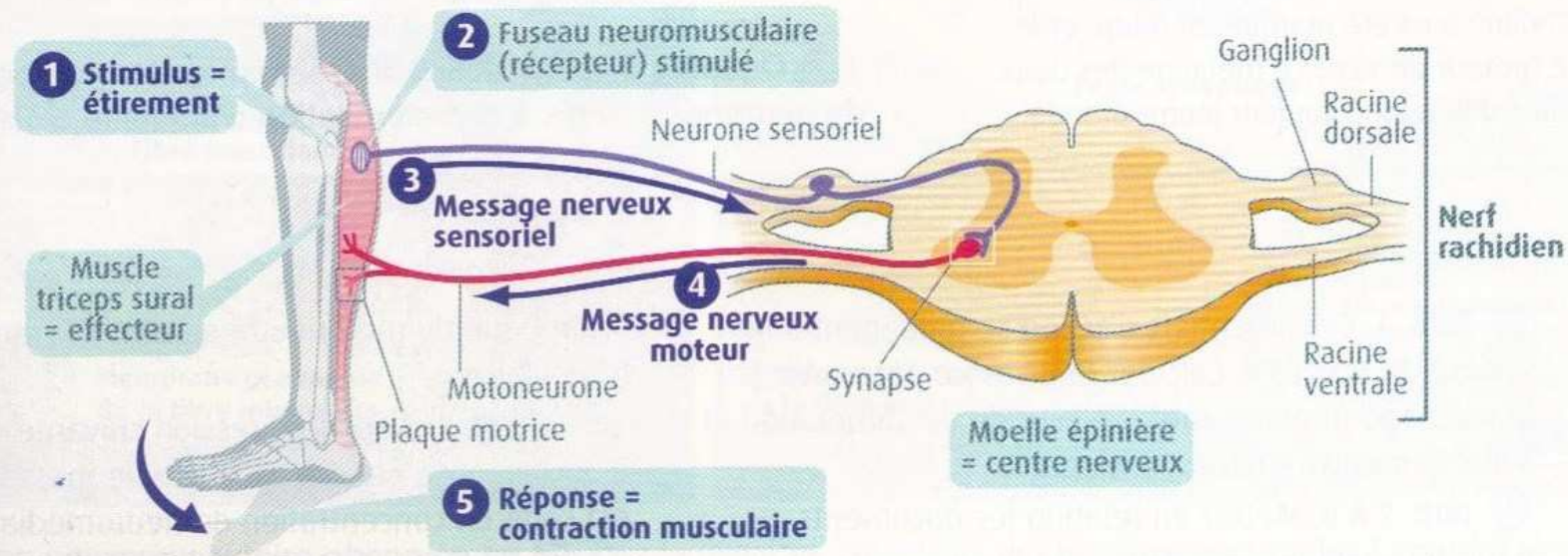
Cet arc réflexe ne comportant que 2 types de neurones est dit monosynaptique. En réalité, dans cet arc réflexe existent 2 synapses : une synapse entre neurones afférent et efférent (neuro-neuronique) et une synapse neuromusculaire entre des ramifications de l'axone du motoneurone et une fibre musculaire, encore appelée jonction neuromusculaire.



# Bilan

- La moelle épinière est reliée aux muscles grâce aux nerfs rachidiens. Ces derniers sont constitués de nombreux **neurones**, dont certains conduisent les messages nerveux associés à un réflexe myotatique.
- Les neurones sont des cellules polarisées comprenant des terminaisons dendritiques, un corps cellulaire, où est situé le noyau, et un prolongement cytoplasmique (l'axone) qui se ramifie en plusieurs terminaisons synaptiques.
- Des expériences de section et stimulation des nerfs rachidiens montrent que le **message nerveux sensoriel** d'un réflexe myotatique, remontant du muscle étiré vers la moelle épinière, est conduit par des neurones sensoriels empruntant les racines dorsales des nerfs rachidiens. Le **message nerveux moteur**, faisant le trajet inverse, est conduit par des neurones moteurs, ou **motoneurones**, passant par les racines ventrales des nerfs rachidiens.

- Dans la moelle épinière, la substance blanche contient les axones des neurones, tandis que la substance grise est riche en corps cellulaires. Les corps cellulaires des neurones sensoriels sont localisés dans les ganglions rachidiens et ceux des motoneurones sont situés dans la substance grise de la moelle épinière.
- Les terminaisons dendritiques des neurones sensoriels d'un réflexe myotatique sont reliées aux **fuseaux neuromusculaires**. Ces **récepteurs** sont sensibles aux modifications de l'état d'étirement du muscle. L'étirement du muscle induit ainsi un message nerveux dans les neurones sensoriels. Ce message nerveux est transmis aux motoneurones avec lesquels les neurones sensoriels sont en contact par l'intermédiaire de synapses.
- Chaque terminaison synaptique d'un motoneurone est en contact avec une fibre musculaire au niveau d'une plaque motrice, ou **synapse neuromusculaire**. L'arrivée d'un message nerveux moteur au niveau d'une plaque motrice commande la contraction de la fibre musculaire.



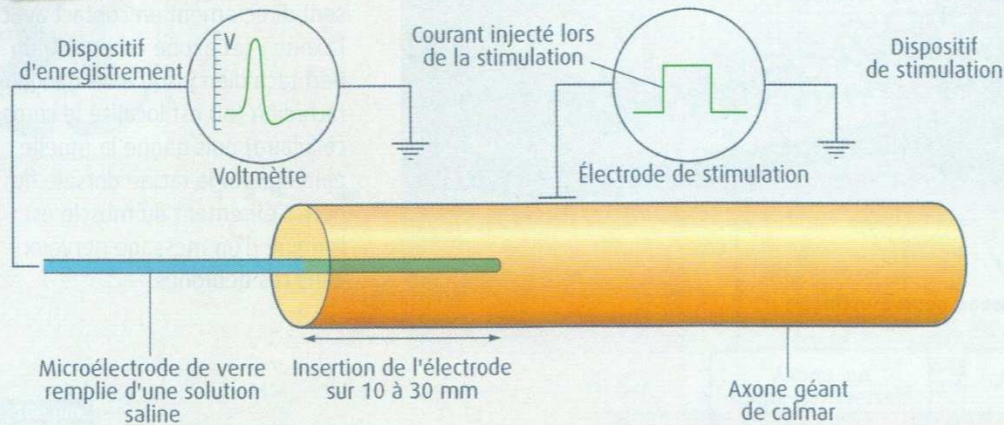
**Schéma fonctionnel d'un réflexe myotatique (réflexe achilléen).** L'ensemble des éléments impliqués dans la réalisation du réflexe constitue l'**arc réflexe**.

## - III - La communication entre les cellules impliquées dans le réflexe myotatique

1) Le potentiel d'action, messenger de la communication nerveuse

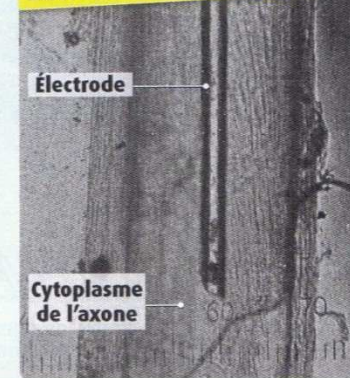


### Dispositif expérimental

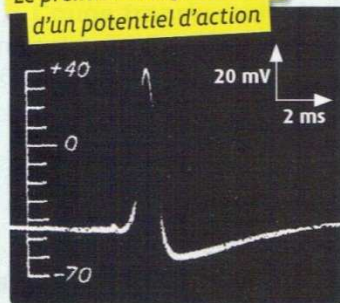


### HISTOIRE DES SCIENCES

#### Électrode d'enregistrement



#### Le premier enregistrement d'un potentiel d'action

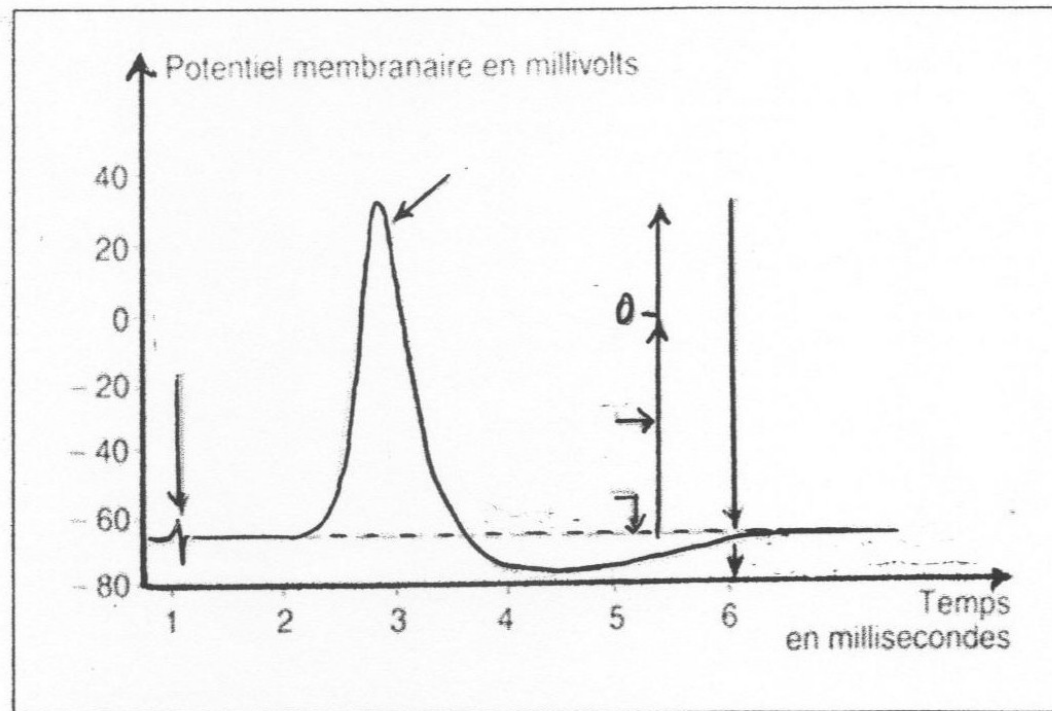


électriques à l'échelle du neurone. L'année précédente, on a mis en évidence l'existence de neurones « géants » chez le calmar : le diamètre de leur axone peut atteindre 0,8 mm. Les chercheurs insèrent dans un tel axone une

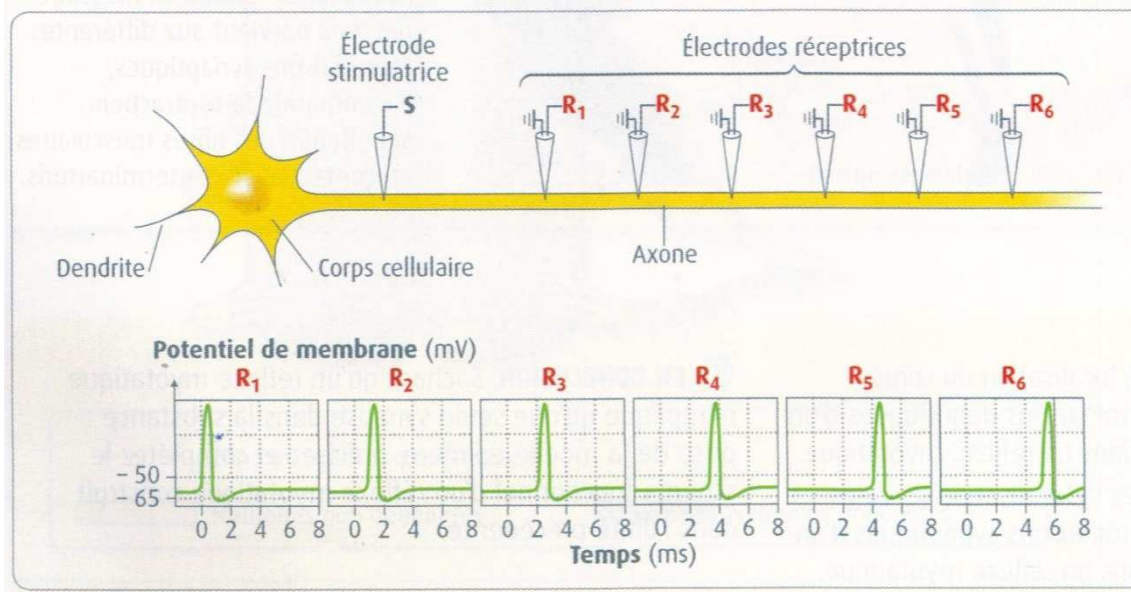
Au XIX<sup>e</sup> siècle, plusieurs expériences ont montré que des différences de potentiel se propageaient le long d'un nerf stimulé. En 1939, deux physiologistes, A. L. Hodgkin et A. F. Huxley vont caractériser ces phénomènes

électrode miniaturisée permettant de mesurer le **potentiel de membrane**, c'est-à-dire la différence de potentiel (ddp) entre le cytoplasme et la face externe de la cellule. Au repos (sans stimulation), ils mesurent une ddp négative : c'est le **potentiel de repos**. Ils stimulent ensuite l'axone en injectant pendant quelques millisecondes un courant électrique. Ils observent une inversion brusque et transitoire du potentiel de membrane : c'est le **potentiel d'action**. D'autres expériences vont montrer que toutes les cellules vivantes possèdent un potentiel de repos (sa valeur varie d'un type de cellule à l'autre), alors que l'existence de potentiels d'action est spécifique aux neurones et aux autres cellules dites excitables.

### 1 Les expériences de A. L. Hodgkin et A. F. Huxley (1939).

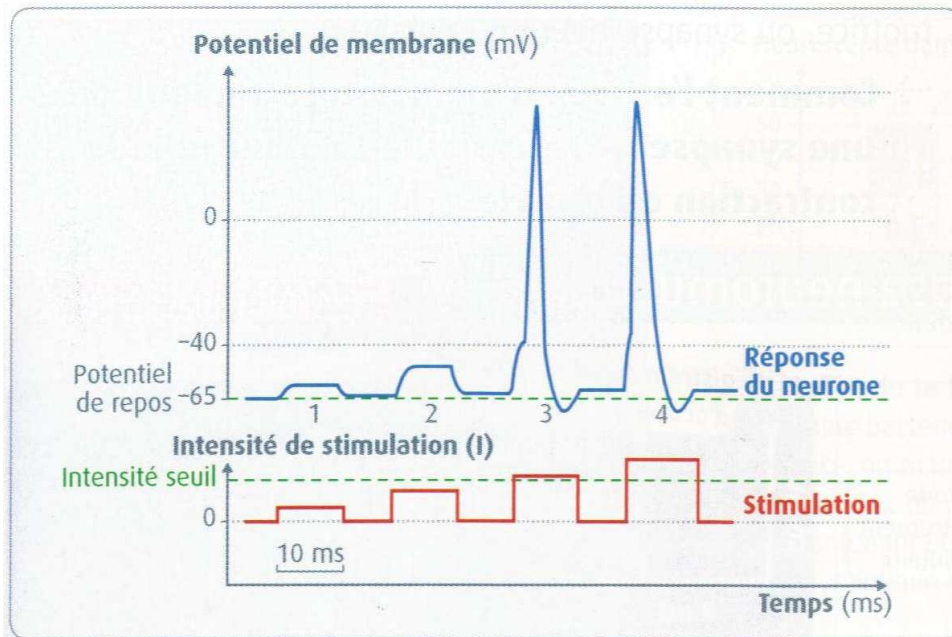


Différentes phases d'un potentiel d'action



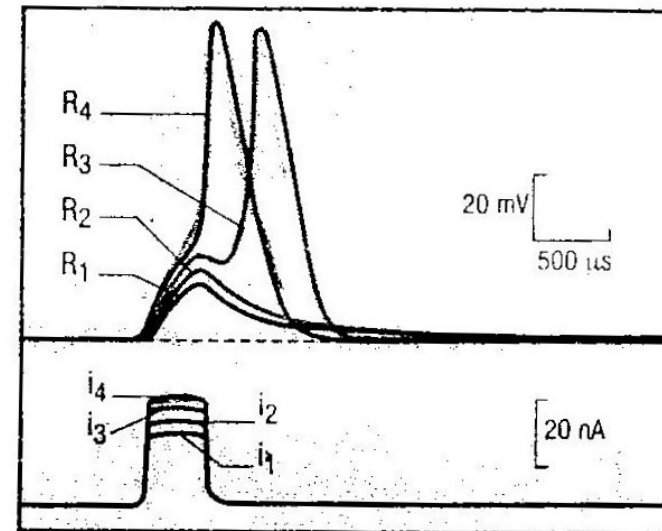
**2 D'autres expériences sur l'axone géant de calmar.**  
 Un axone géant de calmar reçoit une brève stimulation électrique, puis le potentiel de membrane est enregistré à des distances croissantes de l'électrode de stimulation.





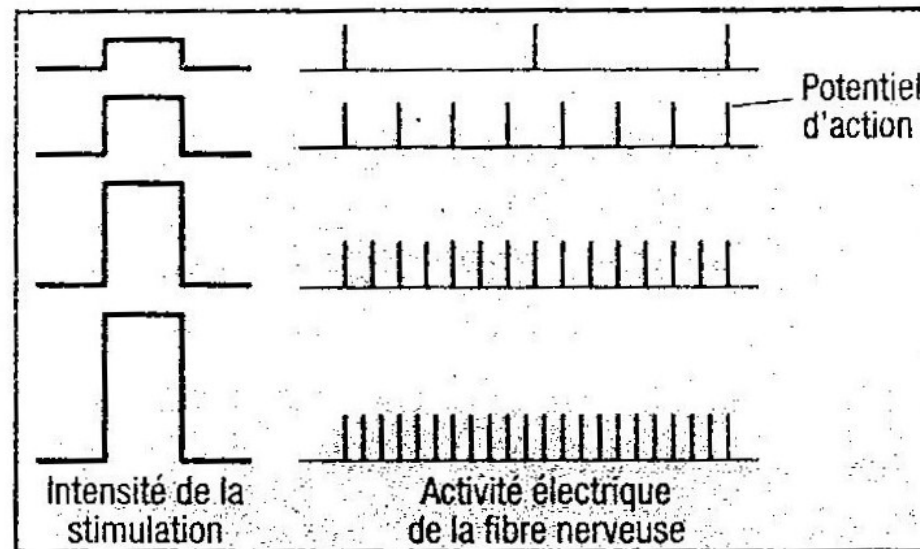
**3 Enregistrement du potentiel de membrane d'un neurone isolé suite à des stimulations d'intensité croissante.** Les réponses 1 et 2 ne se propagent pas le long de l'axone. Un enregistrement identique aux réponses 3 et 4 est obtenu dès que l'intensité de stimulation dépasse une valeur appelée seuil de stimulation.

On place deux microélectrodes dans un axone géant de calmar. L'électrode stimulatrice est placée à faible distance de l'électrode réceptrice. On porte sur l'axone par l'intermédiaire de l'électrode stimulatrice quatre stimulations d'intensité croissante et de durée constante sur l'axone. On obtient les résultats ci-contre.



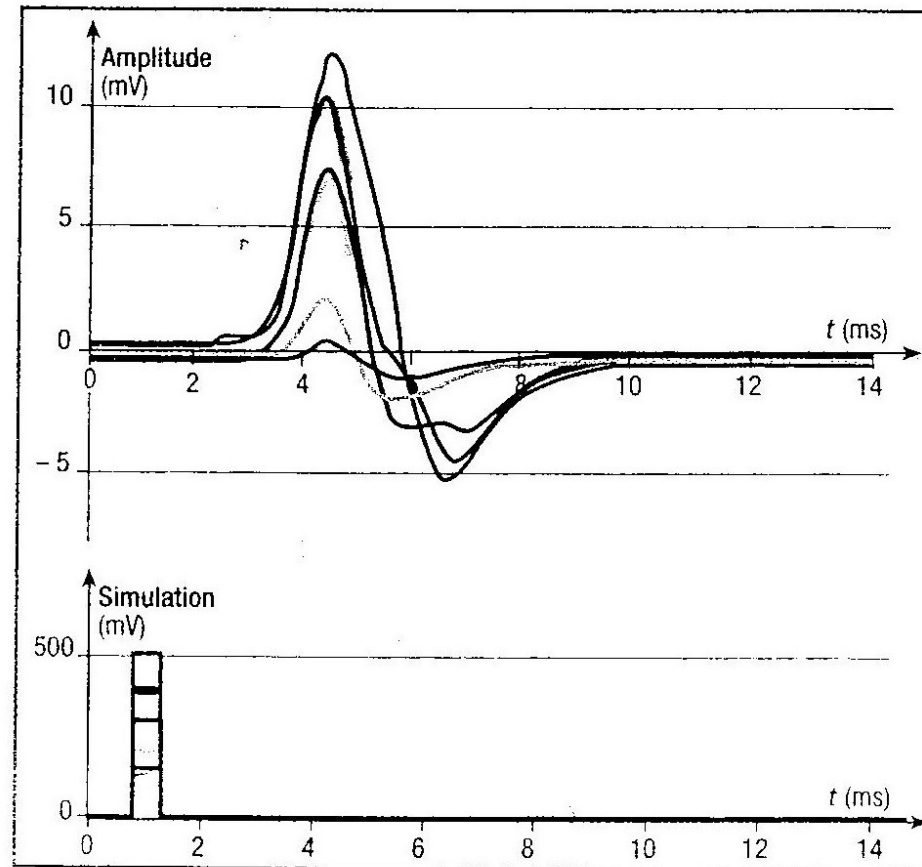
## 2) Le message nerveux

- Au niveau d'une fibre nerveuse



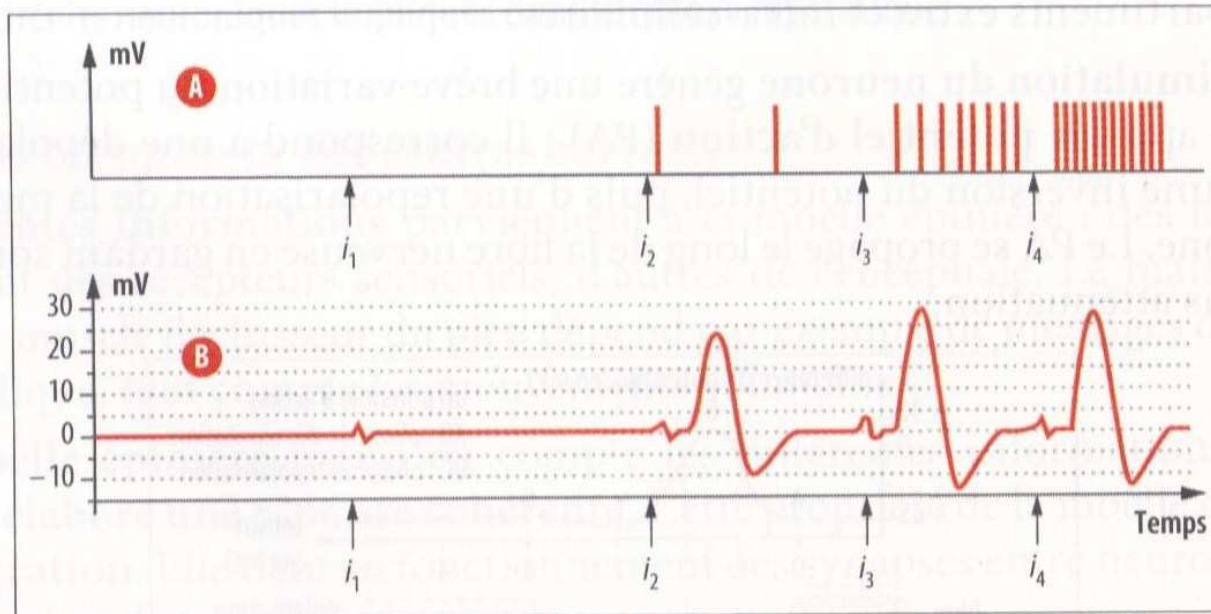
**Variation de l'activité électrique d'une fibre nerveuse en fonction de l'intensité de la stimulation.**

- Au niveau du nerf



Enregistrement de l'activité d'un nerf en réponse à des chocs d'intensité croissante.





**Doc.** Le codage du message nerveux soumis à des stimulations d'intensité croissante ( $i_1, i_2, i_3$  et  $i_4$ ) dans une fibre (A) et dans un nerf (B)

## Conclusion

Le message nerveux qui se propage le long d'un neurone est de nature électrique. Il s'agit d'inversions transitoires et stéréotypées du potentiel de repos, appelées potentiels d'action.

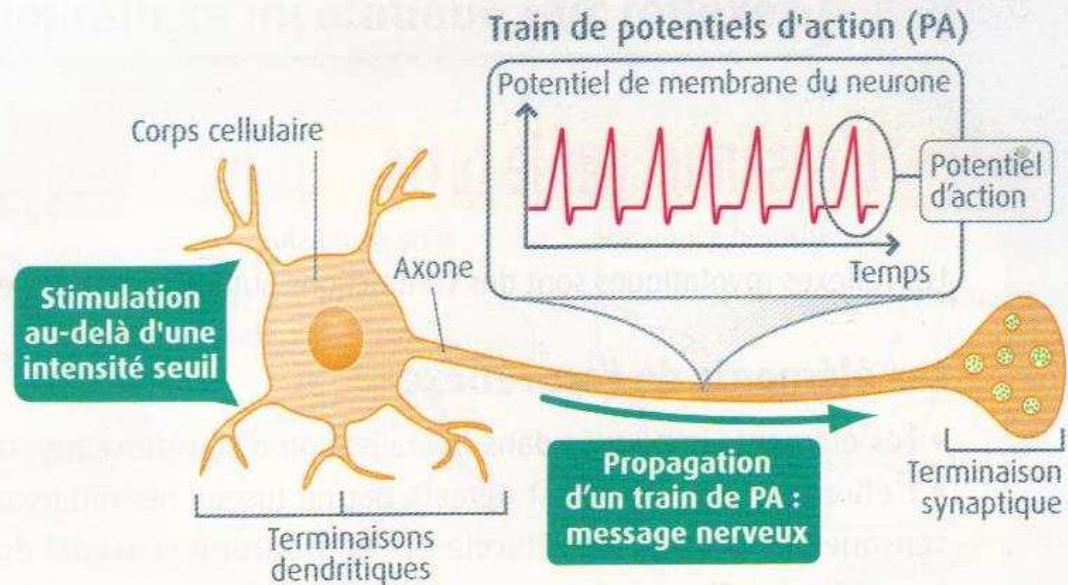
Ces PA sont déclenchés au-delà d'une valeur seuil de stimulation et se régénèrent le long du neurone. Au-delà de cette valeur seuil, plus la stimulation est forte, plus la fréquence des PA est élevée. Le message nerveux est donc codé en fréquence de PA.

# Bilan

- La différence de potentiel entre le cytoplasme et la face externe de la membrane plasmique du neurone définit le **potentiel de membrane**. En l'absence de stimulation, le potentiel de membrane vaut environ  $-70$  mV et constitue le **potentiel de repos**. Lorsque le neurone est stimulé, le potentiel de membrane peut varier transitoirement. Cette variation est un **potentiel d'action**.

- Le potentiel d'action n'est observé que si l'intensité de la stimulation du neurone dépasse une valeur seuil. Au-delà de cette valeur, le potentiel d'action conserve toujours les mêmes caractéristiques.

- La stimulation d'un neurone au-delà de la valeur seuil induit l'émission d'une succession (ou train) de potentiels d'action dont la fréquence est proportionnelle à l'intensité de stimulation. Ce train de potentiels d'action se propage le long de l'axone vers les terminaisons synaptiques. Il constitue le message nerveux. Celui-ci est donc codé électriquement en fréquence de potentiels d'action.

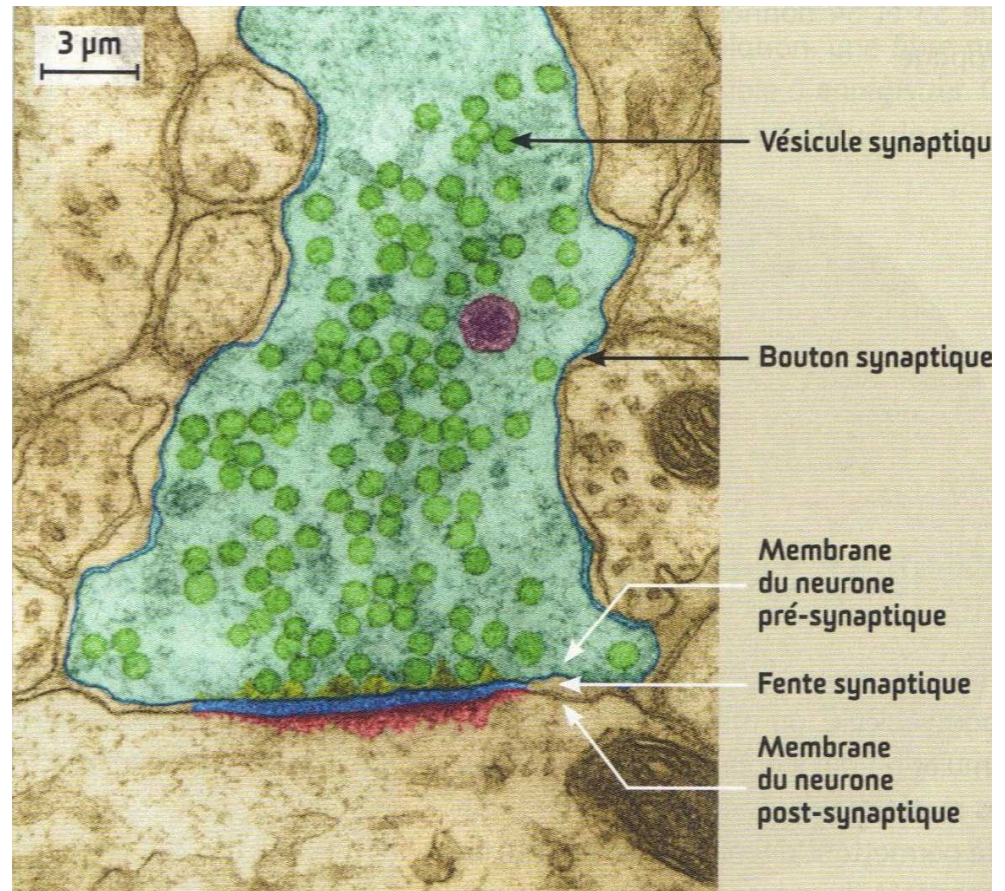
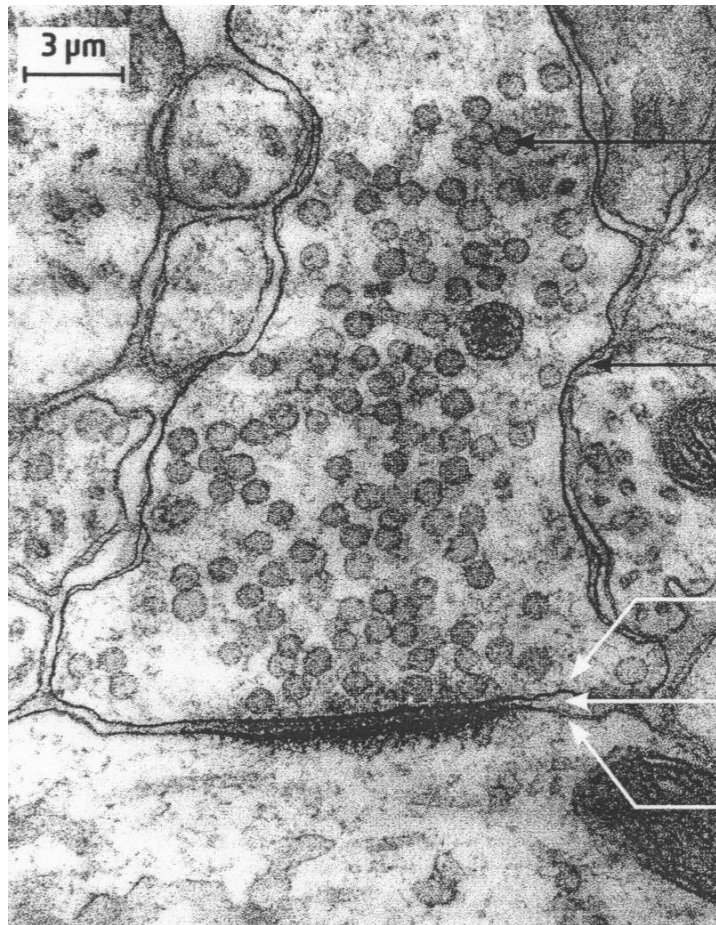


Le fonctionnement d'un neurone.



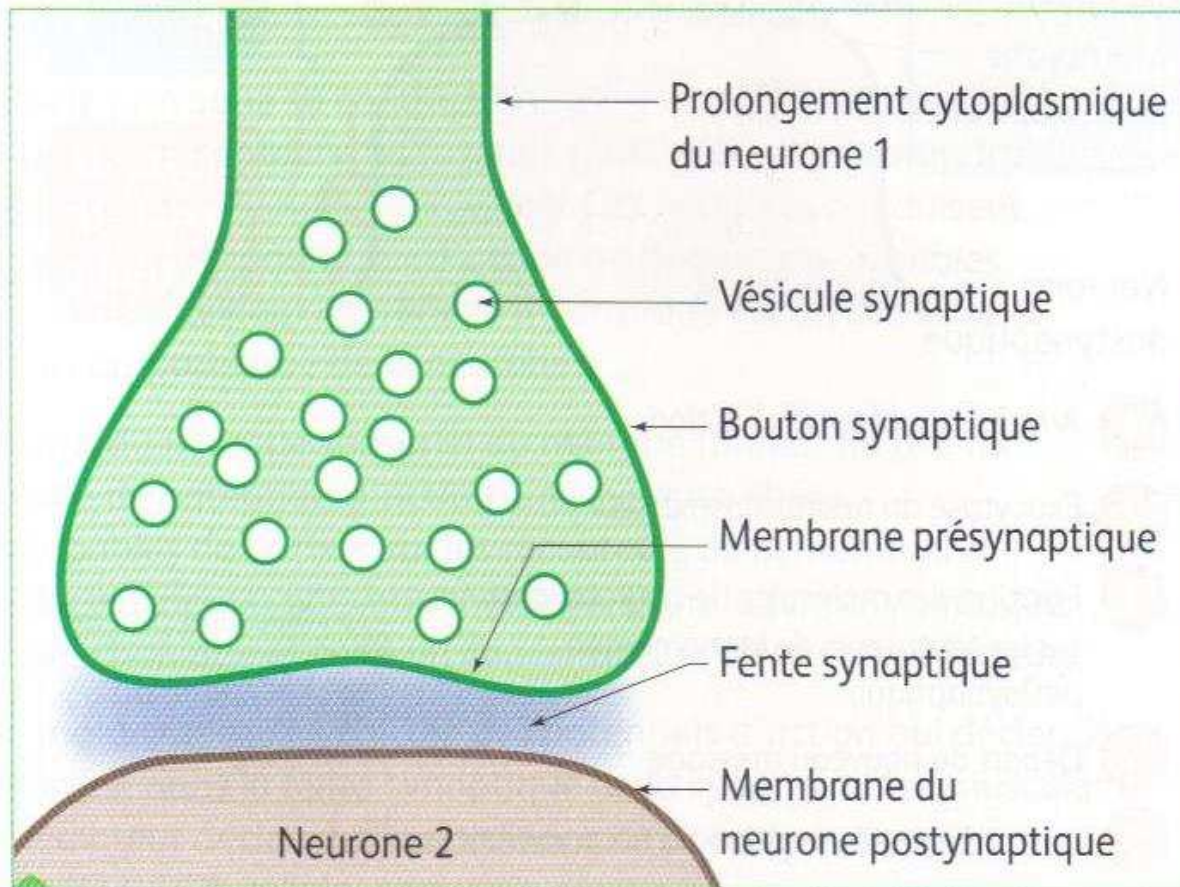
### 3) La communication au niveau des synapses

#### a) La synapse neuro-neuronique



Structure d'une synapse entre deux neurones, observée en coupe (MET)





**6** Schéma d'une synapse entre deux neurones.



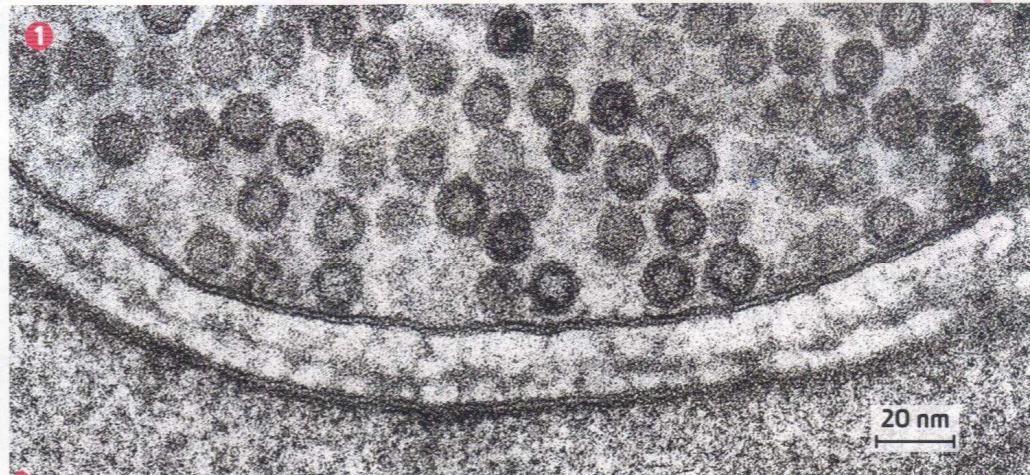
▸ Les vésicules localisées dans le bouton synaptique contiennent des molécules appelées **neuromédiateurs**. Lors de l'arrivée d'un potentiel d'action, des vésicules fusionnent avec la membrane présynaptique et libèrent le neuromédiateur dans la fente synaptique, c'est ce que l'on nomme l'exocytose des neuromédiateurs.

▸ Afin de comprendre le devenir des neuromédiateurs libérés par les vésicules synaptiques, on utilise des molécules de neuromédiateur radioactives dont on peut suivre le devenir dans la fente synaptique par autoradiographie.

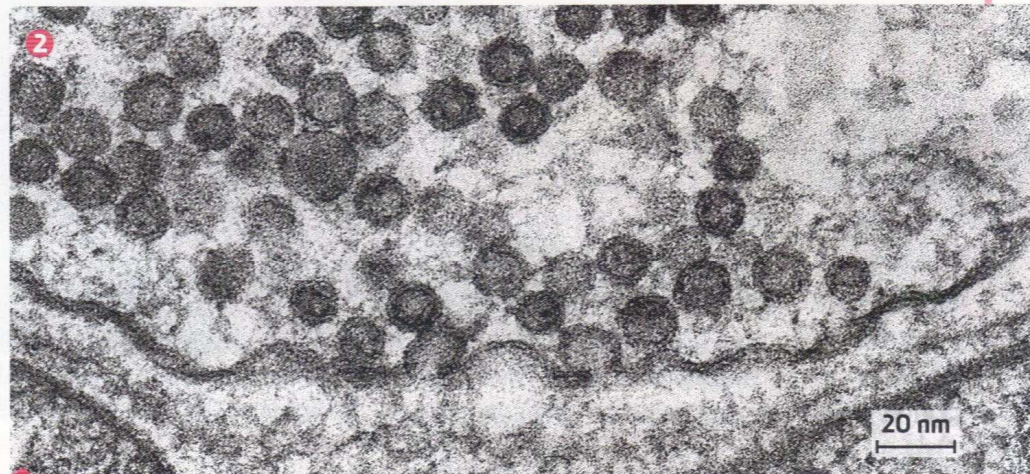
▸ L'analyse des clichés ainsi que des expériences utilisant des neuromédiateurs radioactifs montrent que ces molécules se retrouvent fixées sur des protéines particulières de la membrane postsynaptique : les **récepteurs postsynaptiques**.

▸ L'élimination des neuromédiateurs de la fente synaptique se fait de différentes façons :

- recapture et recyclage par le bouton synaptique,
- dégradation par des enzymes de la fente synaptique.

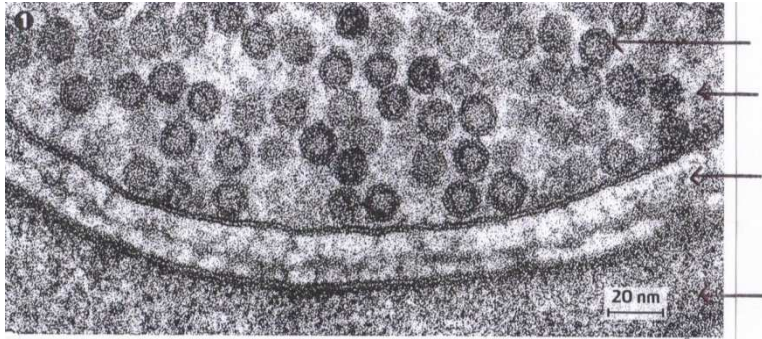


**b** Neurone présynaptique au repos (MET). La fente synaptique mesure entre 10 et 40 nm.

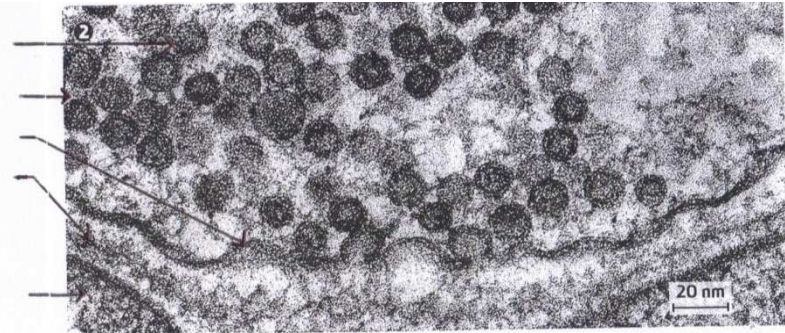


**c** Neurone présynaptique stimulé par des potentiels d'action (MET).

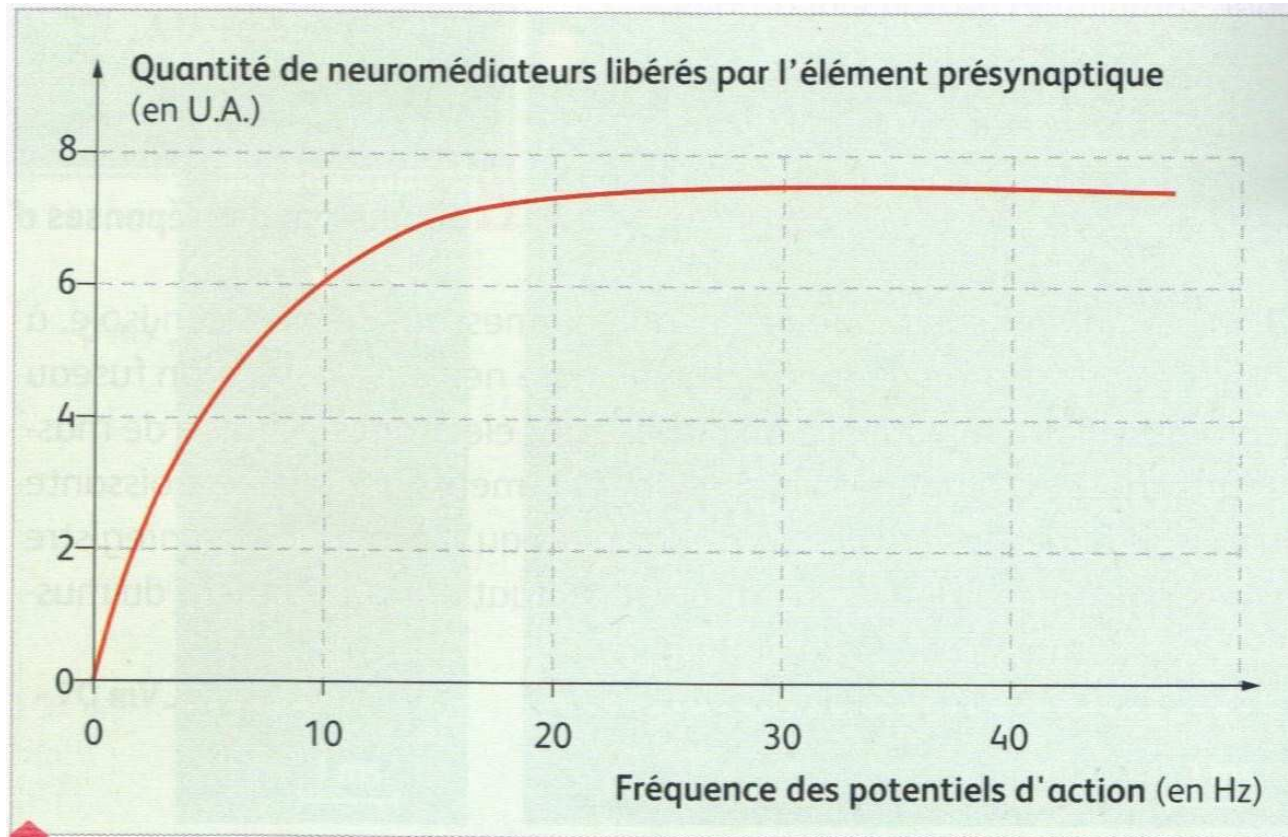




Neurone présynaptique au repos (MET). La fente synaptique mesure entre 10 et 40 nm.



Neurone présynaptique stimulé par des potentiels d'action (MET).



**Libération de neuromédiateurs en fonction de la fréquence des potentiels d'action du neurone présynaptique.**

Message nerveux présynaptique codé en  
fréquence de potentiels d'action



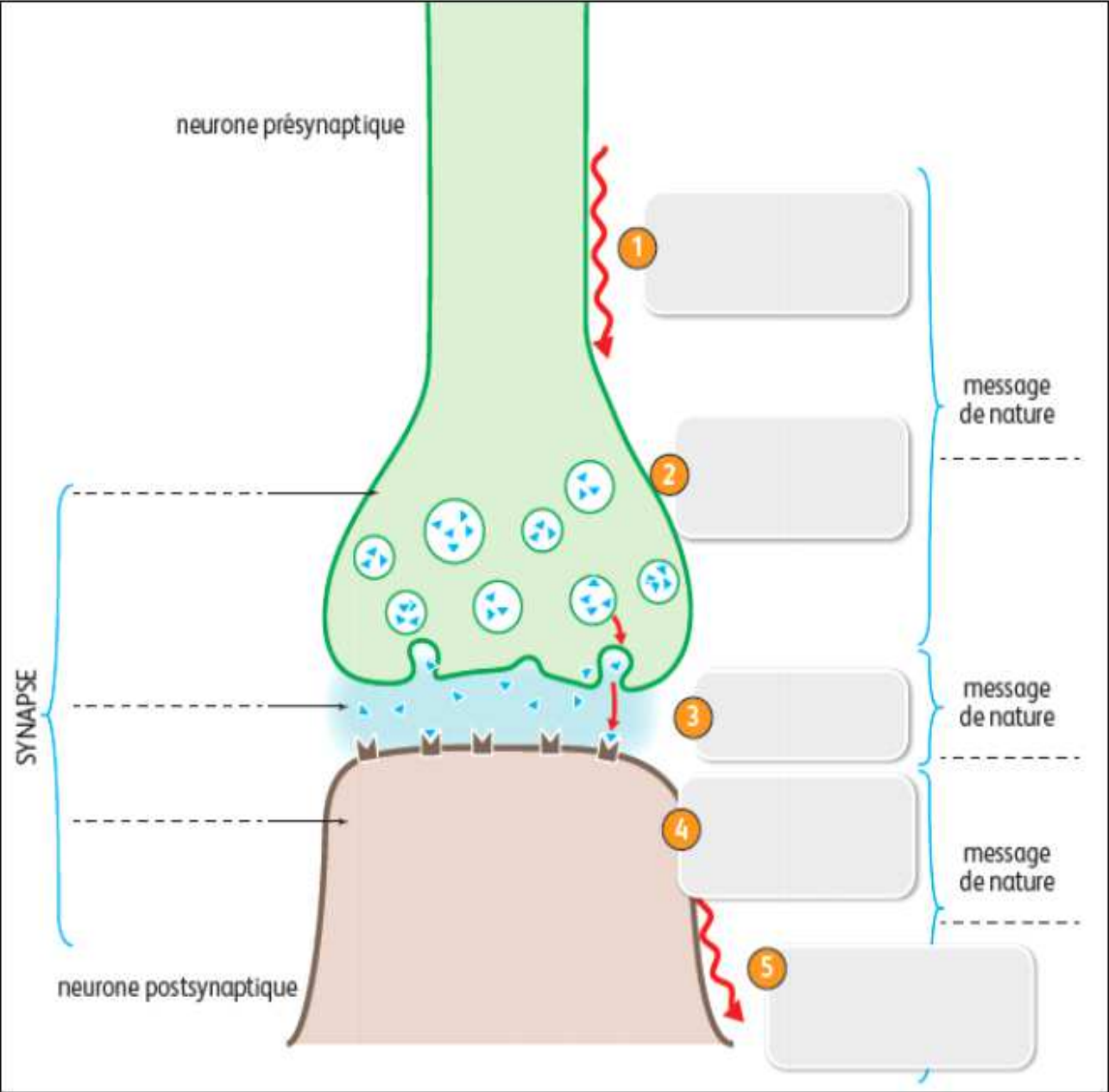
Libération de neuromédiateur dont la  
concentration dépend de la fréquence de  
potentiels d'action = message de nature chimique  
codé en amplitude



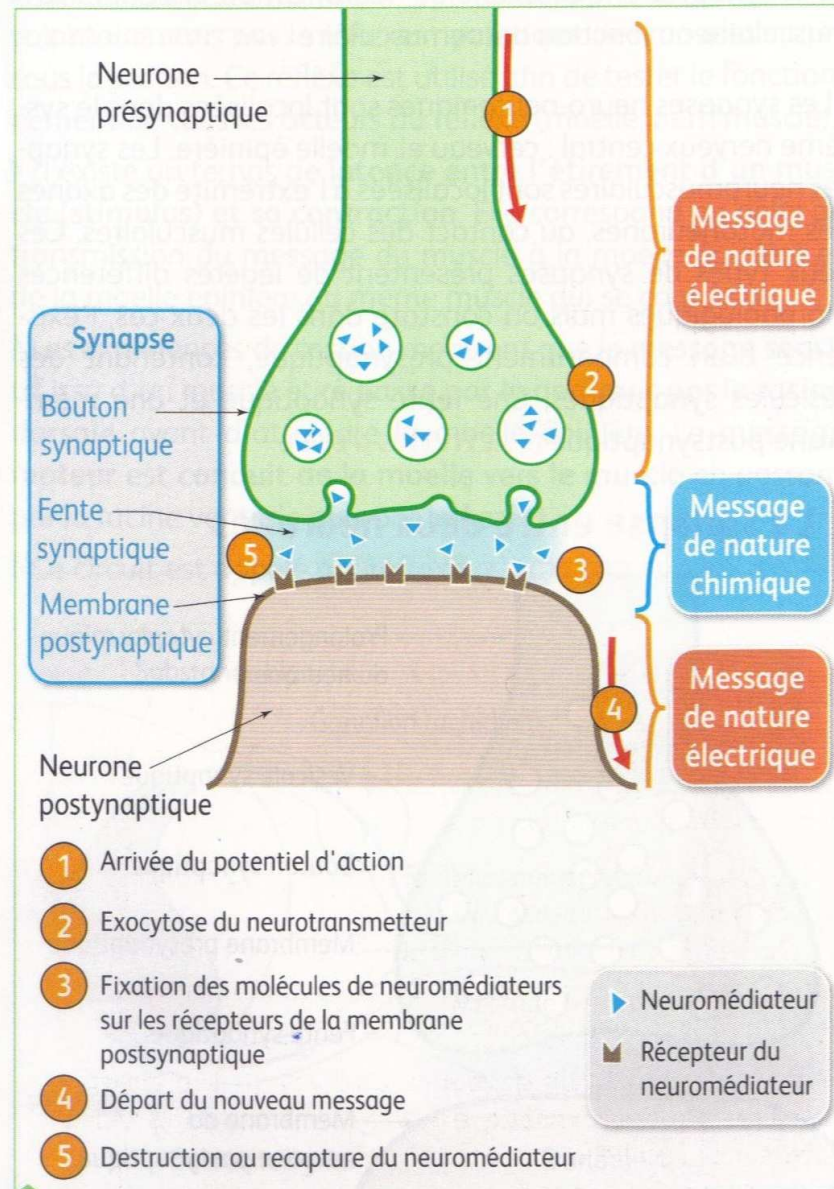
Fixation sur les récepteurs de la membrane  
postsynaptique



Message nerveux post-synaptique







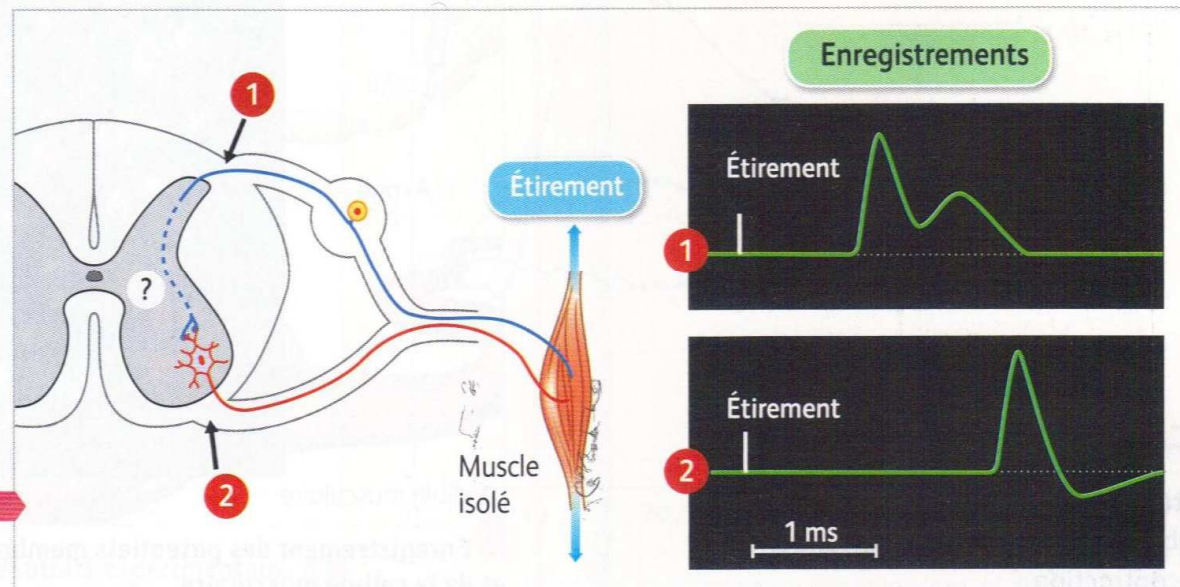
**7 Schéma fonctionnel d'une synapse neuro-neuronique.**

## Réflexe myotatique et connexion synaptique

- On souhaite évaluer le nombre de synapses neuro-neuroni-ques mis en jeu dans le réflexe myotatique afin de déterminer le nombre de neurones qui constituent l'**arc réflexe**.
- Après avoir étiré un muscle isolé, on enregistre le message nerveux sur la racine dorsale **1** et sur la racine ventrale **2** de la moelle épinière.

- On estime que le temps de transmission du message au tra-vers d'une synapse dans la moelle épinière est de 0,6 à 0,8 ms.
- Un réflexe est qualifié de monosynaptique lorsqu'il ne fait intervenir successivement que deux neurones. Si plus de deux neurones successifs interviennent dans la réalisation d'un réflexe, celui-ci est dit polysynaptique.

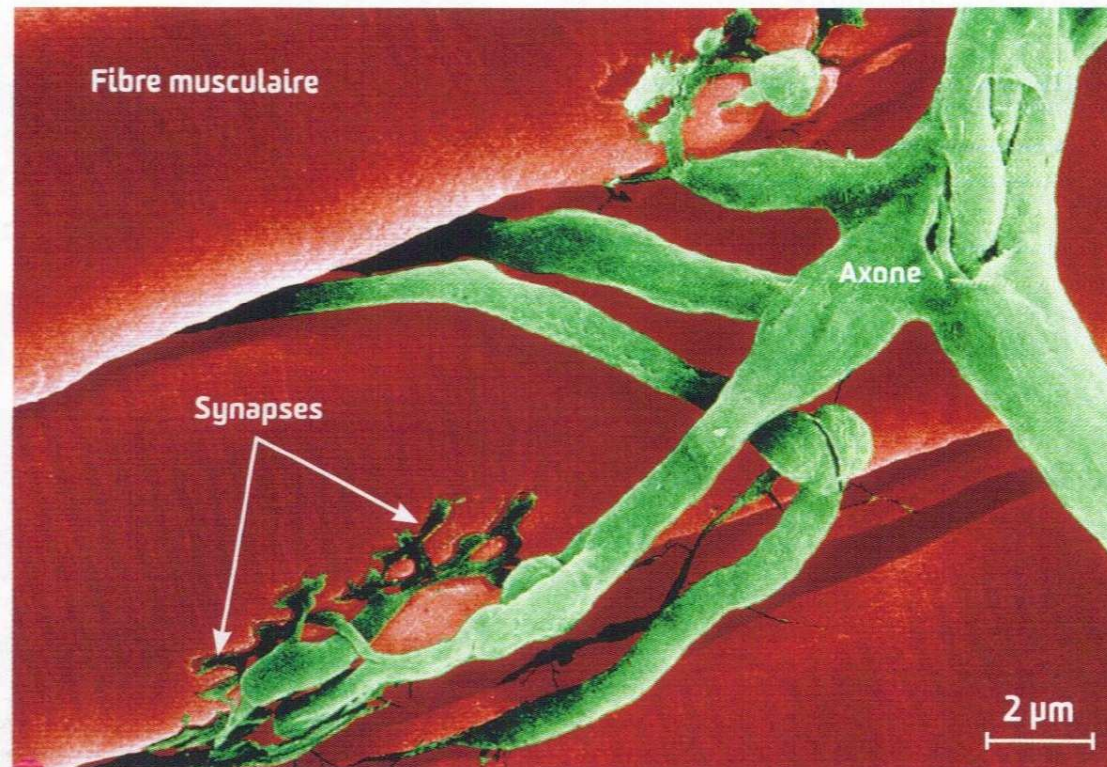
Enregistrements du message nerveux en **1** et **2** après étirement du muscle.



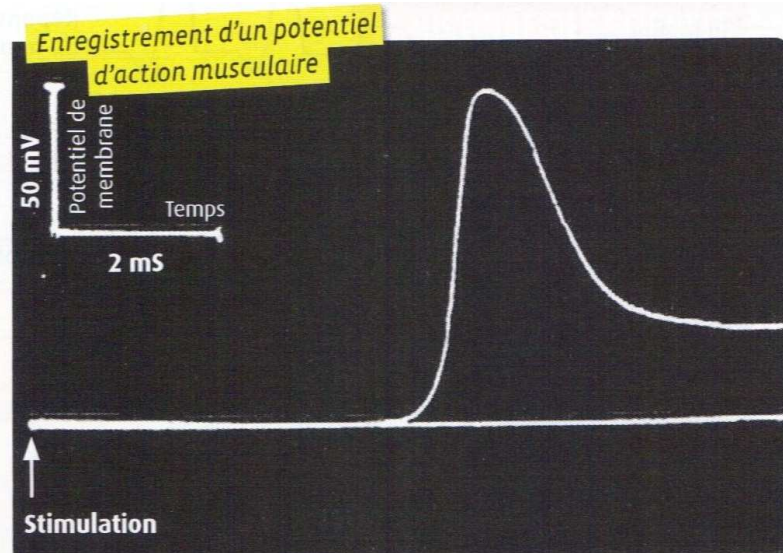
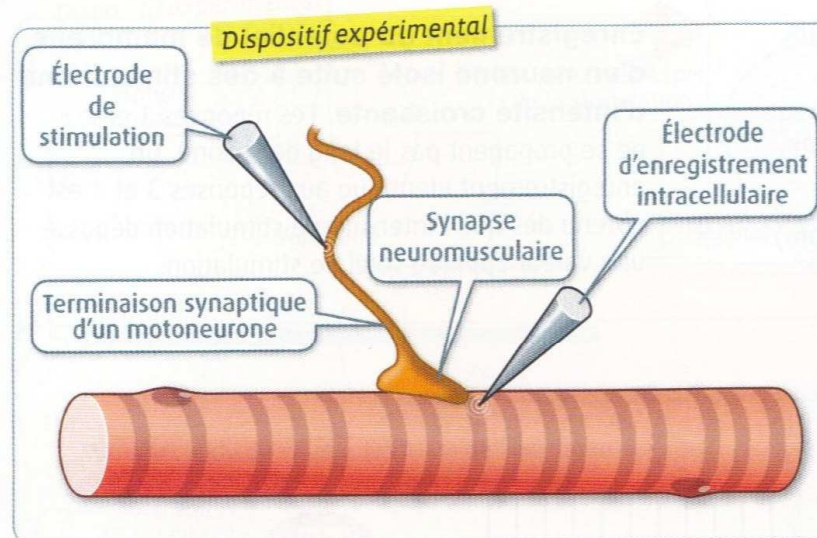


## b) La synapse neuro-musculaire

■ Dans un muscle, l'axone du neurone moteur se ramifie et forme une arborisation terminale. Chacune des ramifications de cette arborisation innerve une cellule musculaire formant une synapse neuromusculaire. Par ailleurs, chaque fibre musculaire ne reçoit le message que d'un seul **motoneurone**.

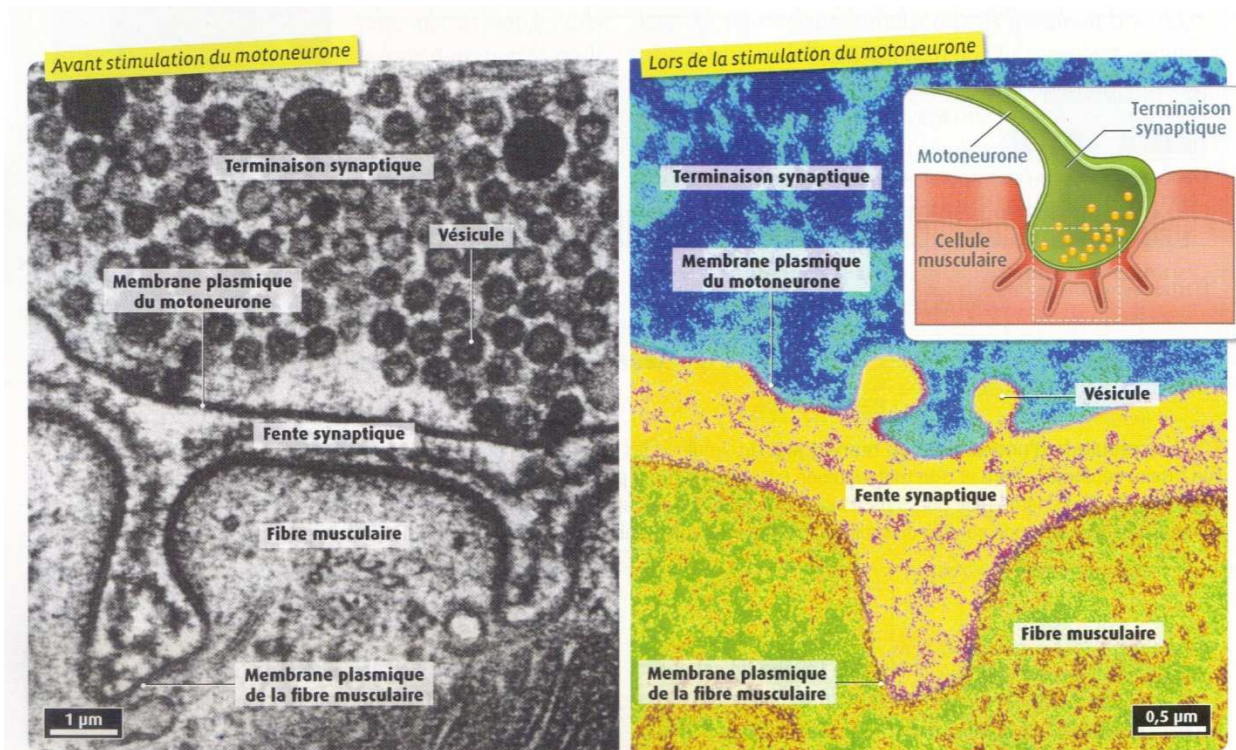


■ **Vue globale d'une synapse neuromusculaire** (MEB, fausses couleurs). On distingue l'axone, les synapses et les fibres musculaires.

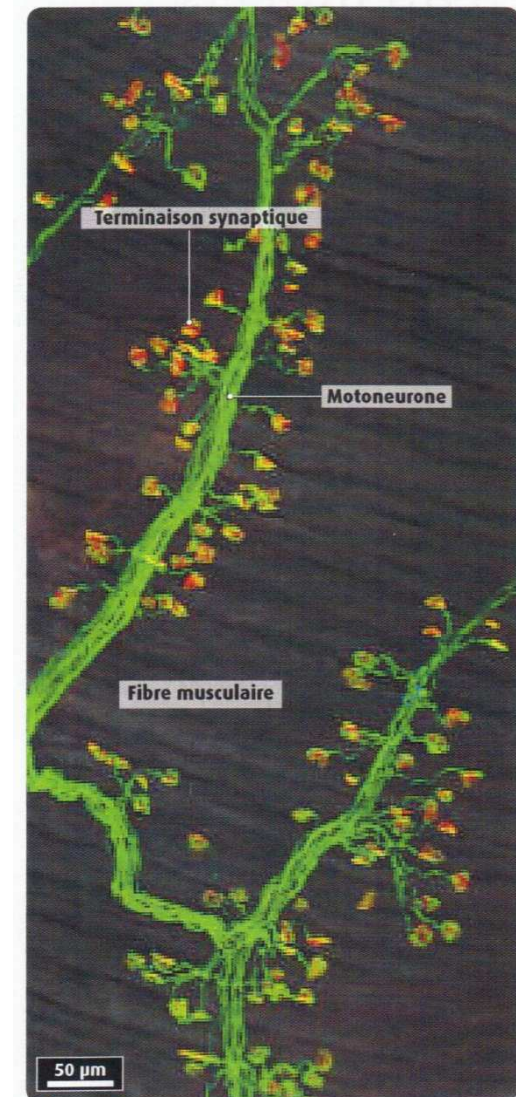


**1 La mise en évidence du potentiel d'action musculaire.** En 1950, B. Katz étudie des synapses neuromusculaires sur des muscles de grenouille. Il observe que la stimulation d'un motoneurone induit une variation transitoire du potentiel de membrane de la fibre musculaire: c'est le potentiel d'action musculaire. Il montre que ce dernier déclenche la contraction du muscle.



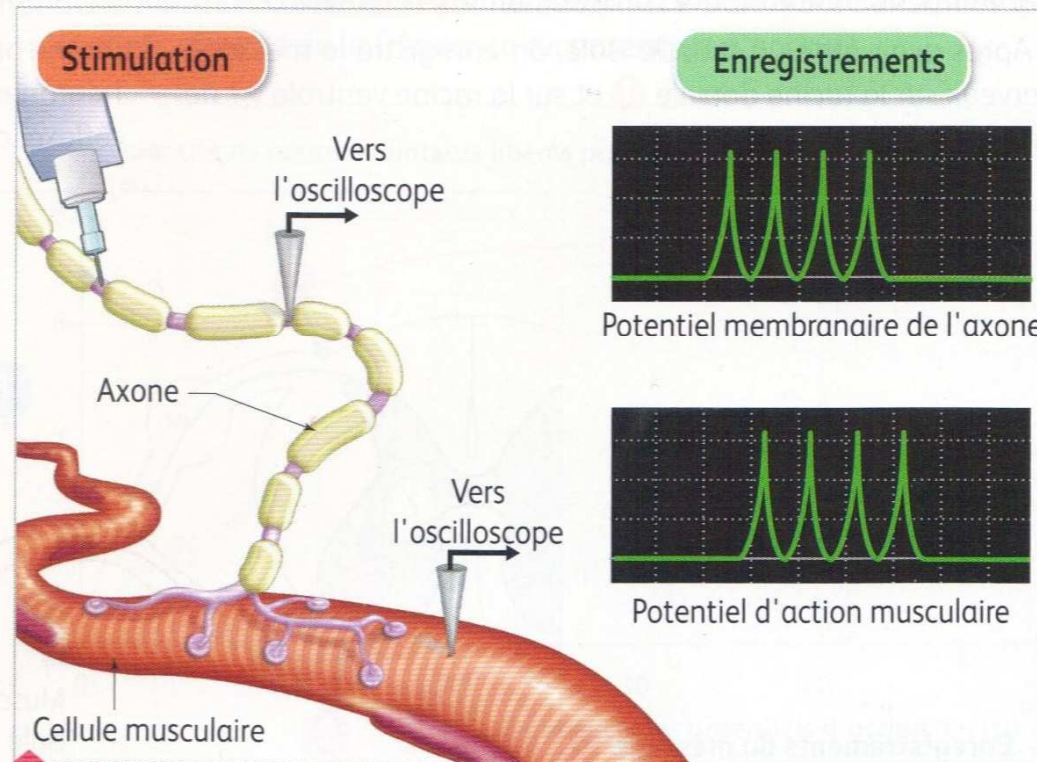


**2** Une synapse neuromusculaire observée au MET. La terminaison synaptique des motoneurones contient des vésicules remplies d'une molécule: l'acétylcholine. Ces vésicules, dites pré-synaptiques, peuvent fusionner avec la membrane plasmique et libérer l'acétylcholine dans la fente synaptique: c'est le phénomène d'exocytose des vésicules. L'acétylcholine est un neuroméiateur.



**3** Muscle de grenouille observé au microscope optique. On a montré l'existence, sur la membrane plasmique des fibres musculaires, de récepteurs de l'acétylcholine: ce sont des protéines fixant avec une très grande affinité cette molécule. Le récepteur de l'acétylcholine a ici été marqué en rouge et le neurone moteur en vert. Le mélange des deux marquages donne une couleur jaune-orange.<sup>76</sup>

► On isole un axone ainsi que la cellule musculaire qu'il innerve. On stimule l'axone moteur et, à l'aide d'électrodes, on enregistre les potentiels d'action véhiculés par l'axone ainsi que la réponse électrique de la cellule.



► **Enregistrement des potentiels membranaires de l'axone et de la cellule musculaire.**

# Succession des événements entre l'arrivée d'un potentiel d'action à l'extrémité de l'axone d'un motoneurone et la contraction de la cellule musculaire innervée

arrivée d'un PA à l'extrémité de l'axone du motoneurone



fusion des vésicules présynaptiques avec la membrane



libération par exocytose d'acétylcholine dans la fente synaptique



fixation du neuromédiateur sur les récepteurs de la membrane postsynaptique de la cellule musculaire

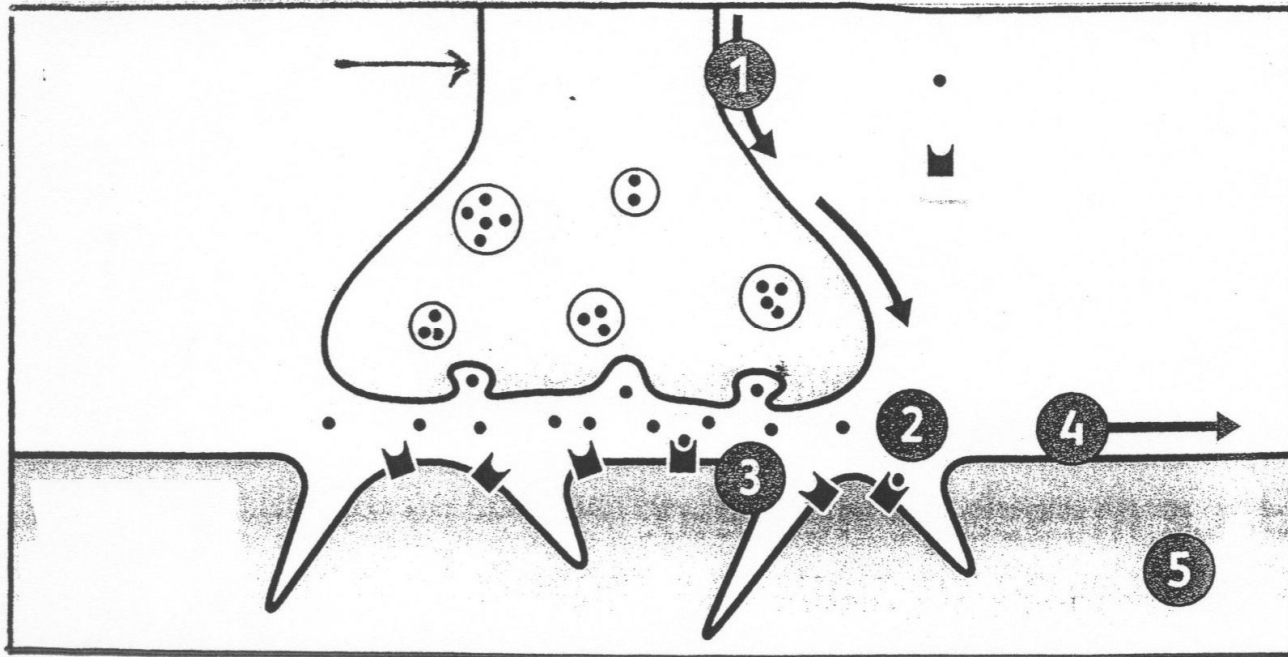


création et transmission d'un potentiel d'action musculaire

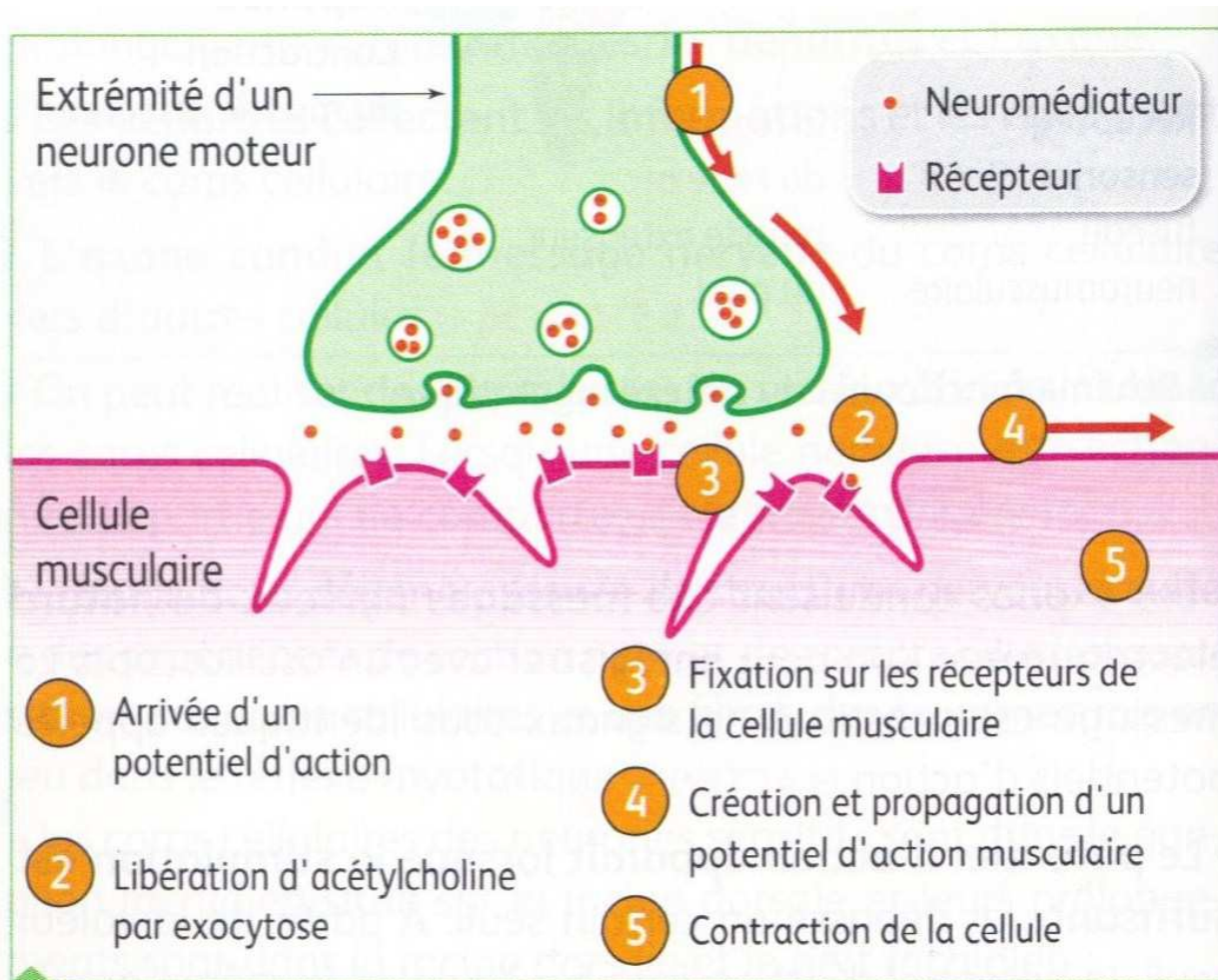


contraction musculaire



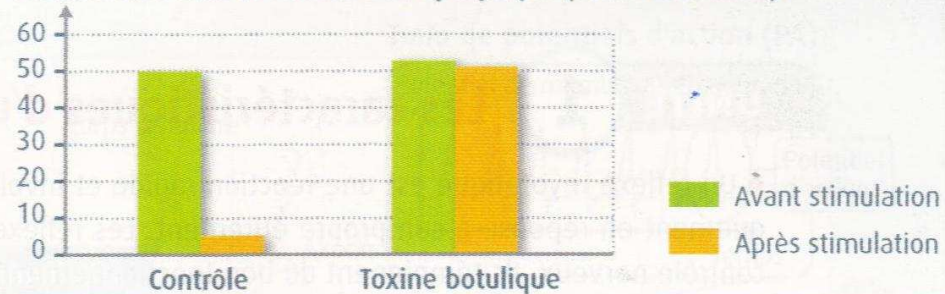






**8 Schéma fonctionnel d'une synapse neuromusculaire.**

Fluorescence dans la terminaison synaptique (unités arbitraires)



**4 L'effet de la toxine botulique sur la jonction neuromusculaire.**

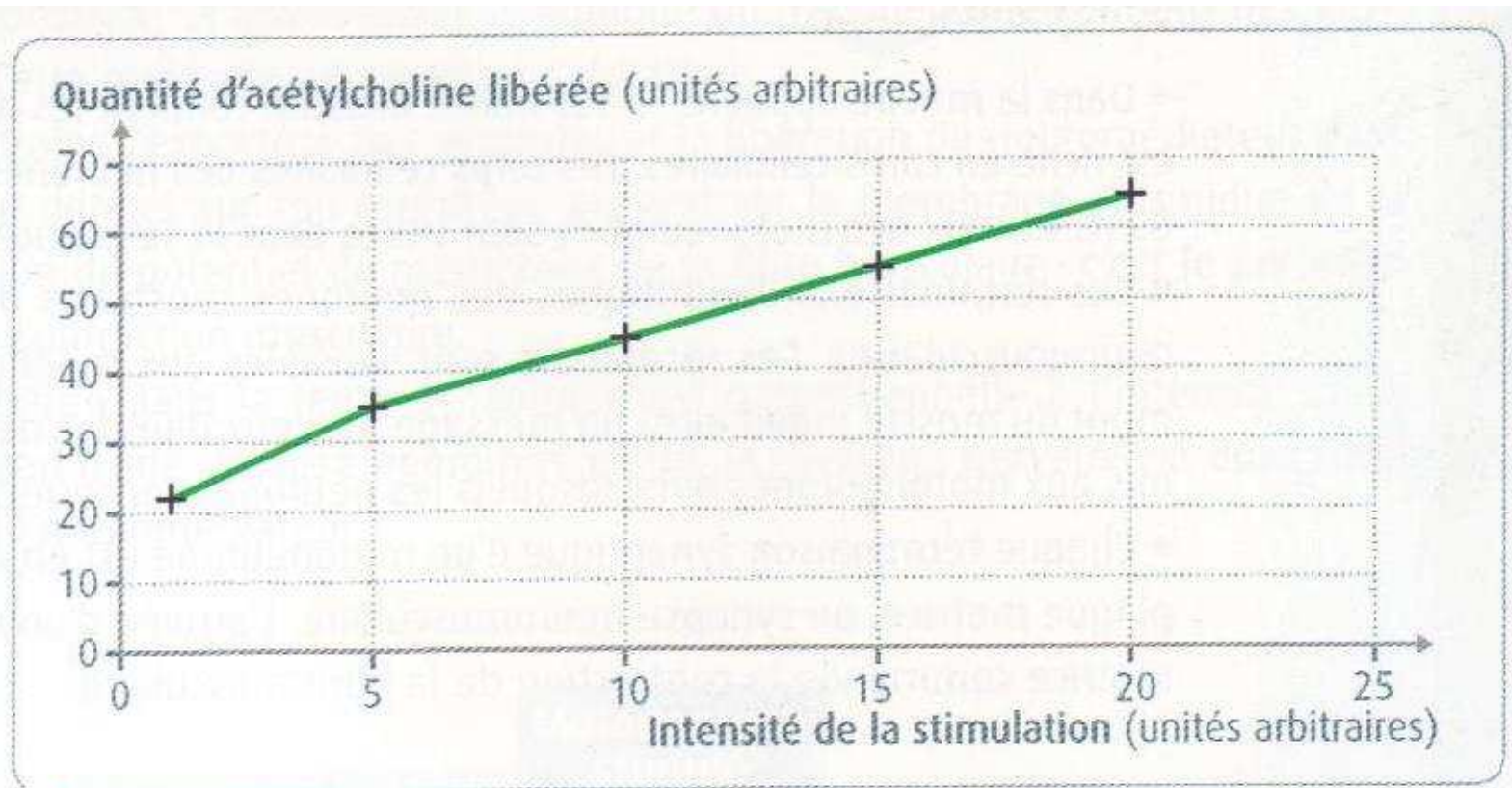
Cette toxine bactérienne provoque une paralysie musculaire. Dans cette expérience, on marque les vésicules pré-synaptiques de motoneurones de grenouille avec un colorant fluorescent. Ces neurones sont placés dans un milieu contenant ou non la toxine botulique. La fluorescence à l'intérieur du bouton synaptique est quantifiée avant et après stimulation du neurone.



Le curare est un poison mortel utilisé par les Indiens d'Amérique pour chasser. Il provoque de graves paralysies musculaires. En 1952, B. Katz incube un muscle de grenouille avec du curare et stimule l'un des motoneurones qui l'innervent. Il observe que la stimulation ne se traduit pas par l'apparition d'un potentiel d'action musculaire. D'autres études ont montré que le curare se fixe sur les récepteurs de l'acétylcholine.

**5 L'effet du curare.**

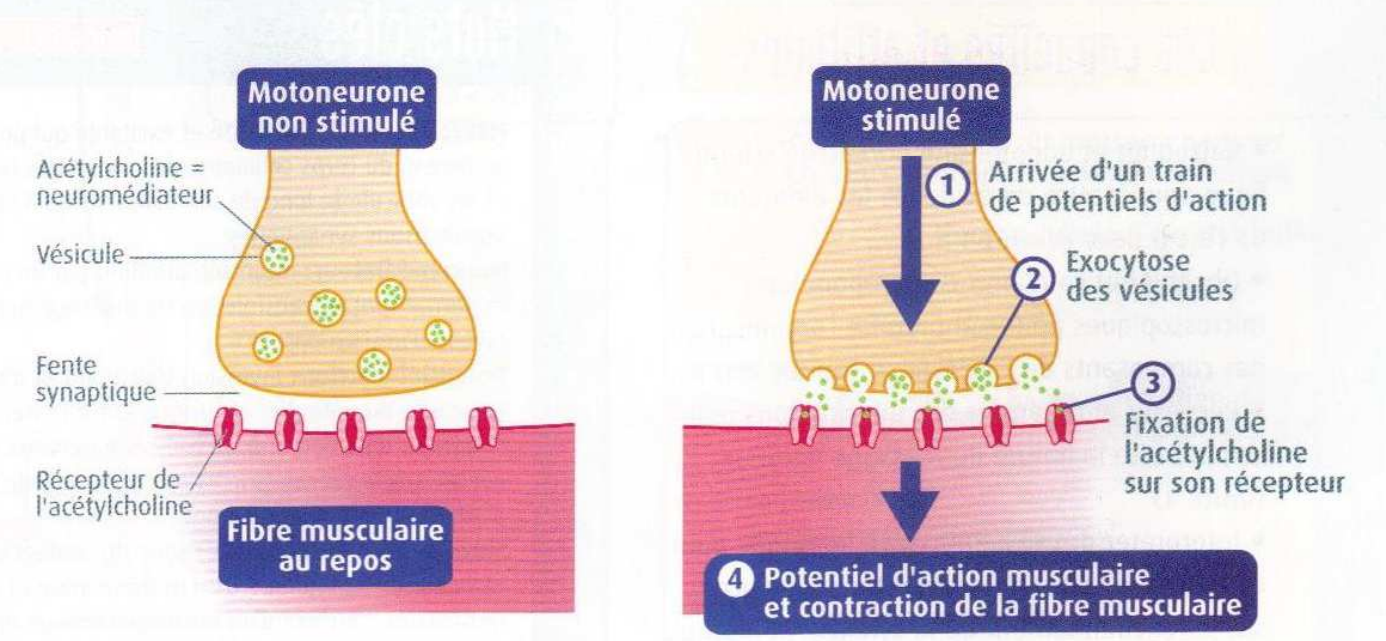




**6** Quantité d'acétylcholine libérée par les terminaisons synaptiques de neurones soumis à une stimulation d'intensité croissante.

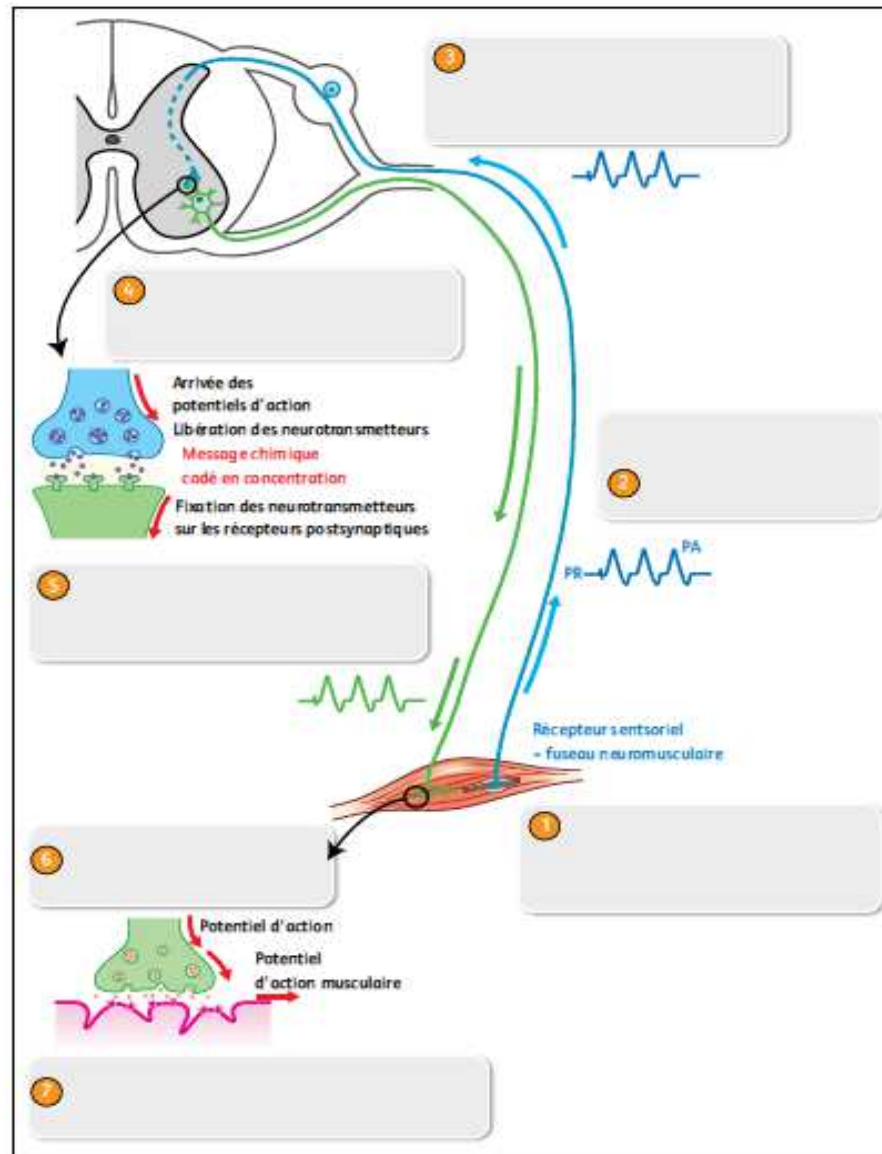
# Bilan

- Au niveau d'une **synapse neuromusculaire**, la terminaison synaptique du motoneurone contient des vésicules renfermant de l'acétylcholine. Cette molécule est un **neuromédiateur**.
- La stimulation du motoneurone entraîne l'exocytose des vésicules et la libération du neuromédiateur dans la fente synaptique. La fixation de ce dernier sur son récepteur, présent sur la membrane plasmique de la fibre musculaire, entraîne une variation du potentiel de membrane de la fibre musculaire: c'est le **potentiel d'action musculaire**, qui déclenche la contraction musculaire.
- La quantité de neuromédiateur libérée dans la fente synaptique est proportionnelle à l'intensité de la stimulation du motoneurone. Au niveau d'une synapse neuromusculaire, le message nerveux est donc codé chimiquement par la concentration du neuromédiateur.



Le fonctionnement d'une synapse neuromusculaire.





Les réflexes myotatiques sont des contractions automatiques de certains muscles en réponse à leur propre étirement.

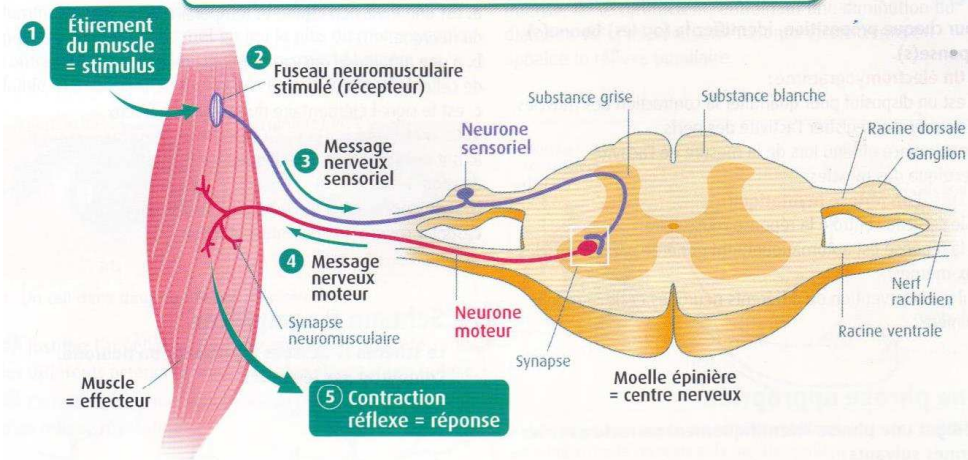
### Les éléments de l'arc réflexe

- Les éléments impliqués dans la réalisation d'un réflexe myotatique constituent un arc réflexe.
- L'étirement du muscle est détecté par un fuseau neuromusculaire (récepteur), qui émet un message nerveux sensoriel. Ce dernier est véhiculé par un **neurone** sensoriel dont l'axone emprunte un nerf rachidien et gagne la moelle épinière par la racine dorsale du nerf. Dans la moelle épinière (centre nerveux), le neurone sensoriel est en contact, par l'intermédiaire d'une synapse, avec un neurone moteur, ou motoneurone. Ce dernier émet un message nerveux moteur qui quitte la moelle épinière par la racine ventrale du même nerf rachidien et parvient dans les terminaisons synaptiques du motoneurone. Par l'intermédiaire de **synapses neuromusculaires**, ces terminaisons sont en contact avec les cellules du muscle qui a été étiré. Au niveau de ces synapses, le message nerveux moteur provoque la contraction du muscle (effecteur).

### La nature des messages nerveux

- La stimulation d'un neurone au-delà d'une intensité seuil entraîne une inversion rapide et transitoire du potentiel de membrane (différence de potentiel entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule). Cette inversion, d'amplitude constante, est le **potentiel d'action**. Le message nerveux est véhiculé le long de l'axone d'un neurone sous la forme d'une série (ou train) de potentiels d'action. La fréquence de ces potentiels d'action est proportionnelle à l'intensité de stimulation du neurone.
- Au niveau d'une synapse neuromusculaire, l'arrivée d'un train de potentiels d'action entraîne la libération d'une molécule appelée **neuromédiateur** (acétylcholine) dans l'espace entre la terminaison synaptique du motoneurone et la cellule musculaire. La quantité de neuromédiateur libérée est proportionnelle à la fréquence des potentiels d'action parvenant à la terminaison synaptique. Le neuromédiateur se fixe sur des récepteurs spécifiques de la membrane de la cellule musculaire, ce qui déclenche un potentiel d'action musculaire et la contraction musculaire.

### Circuit nerveux d'un réflexe myotatique (arc réflexe)



### Fonctionnement du neurone et message nerveux

