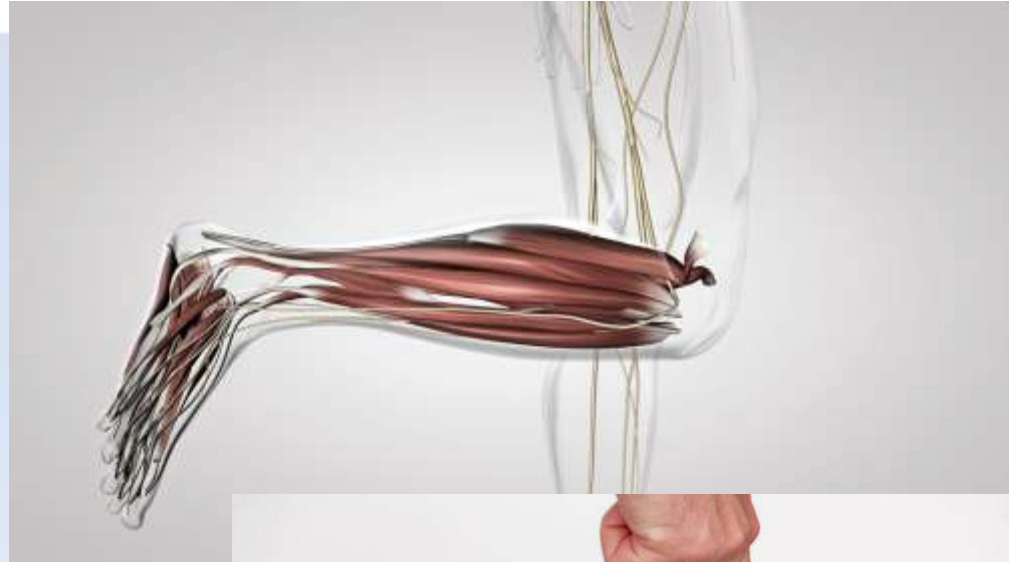


Thème : Corps humain et santé

Chapitre 5.1: Le réflexe myotatique, un exemple de communication nerveuse



Un exemple de réaction involontaire (réflexe)

Chair de poule



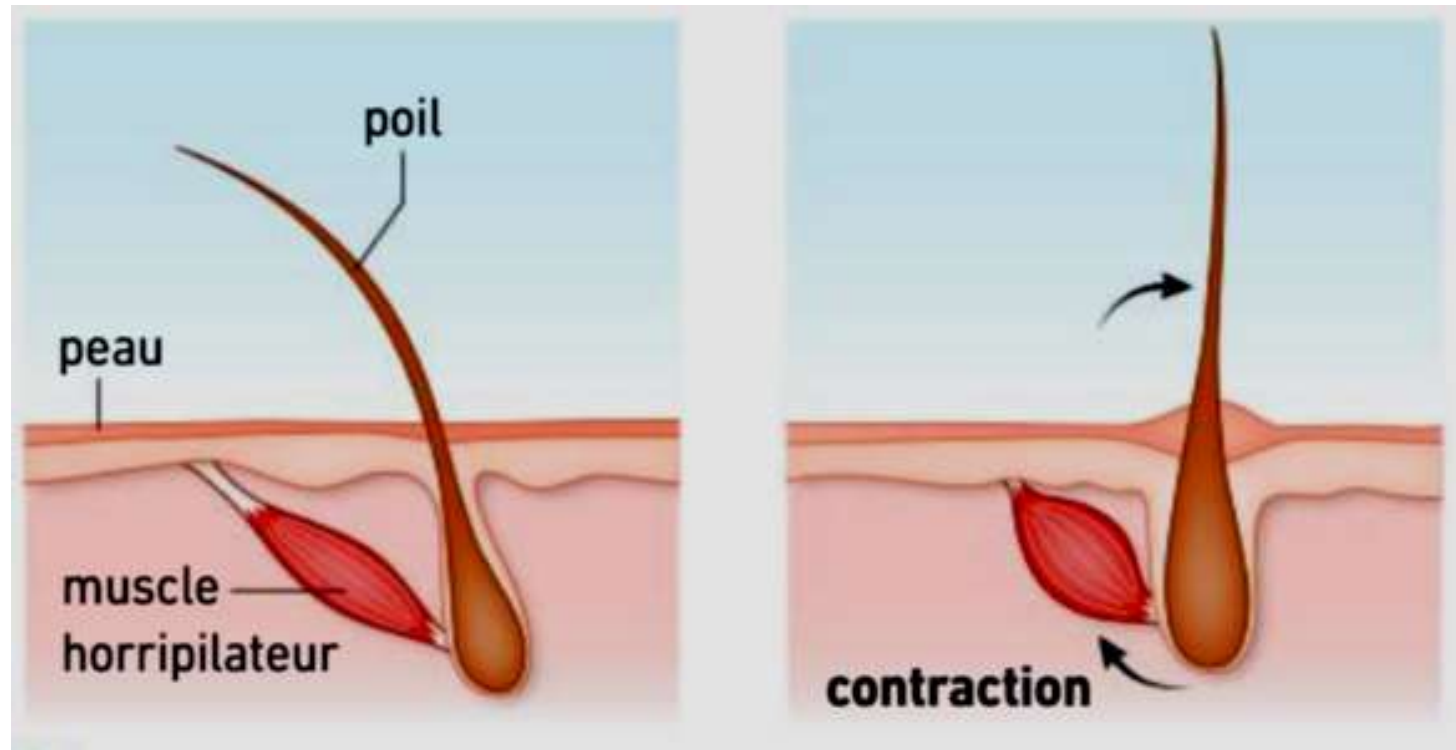
Stimulus = froid



Stimulus visuel (→ stress)



Un exemple de réaction involontaire (réflexe) : la chair de poule



Le réflexe myotatique un outil de diagnostic

Réflexe rotulien droit



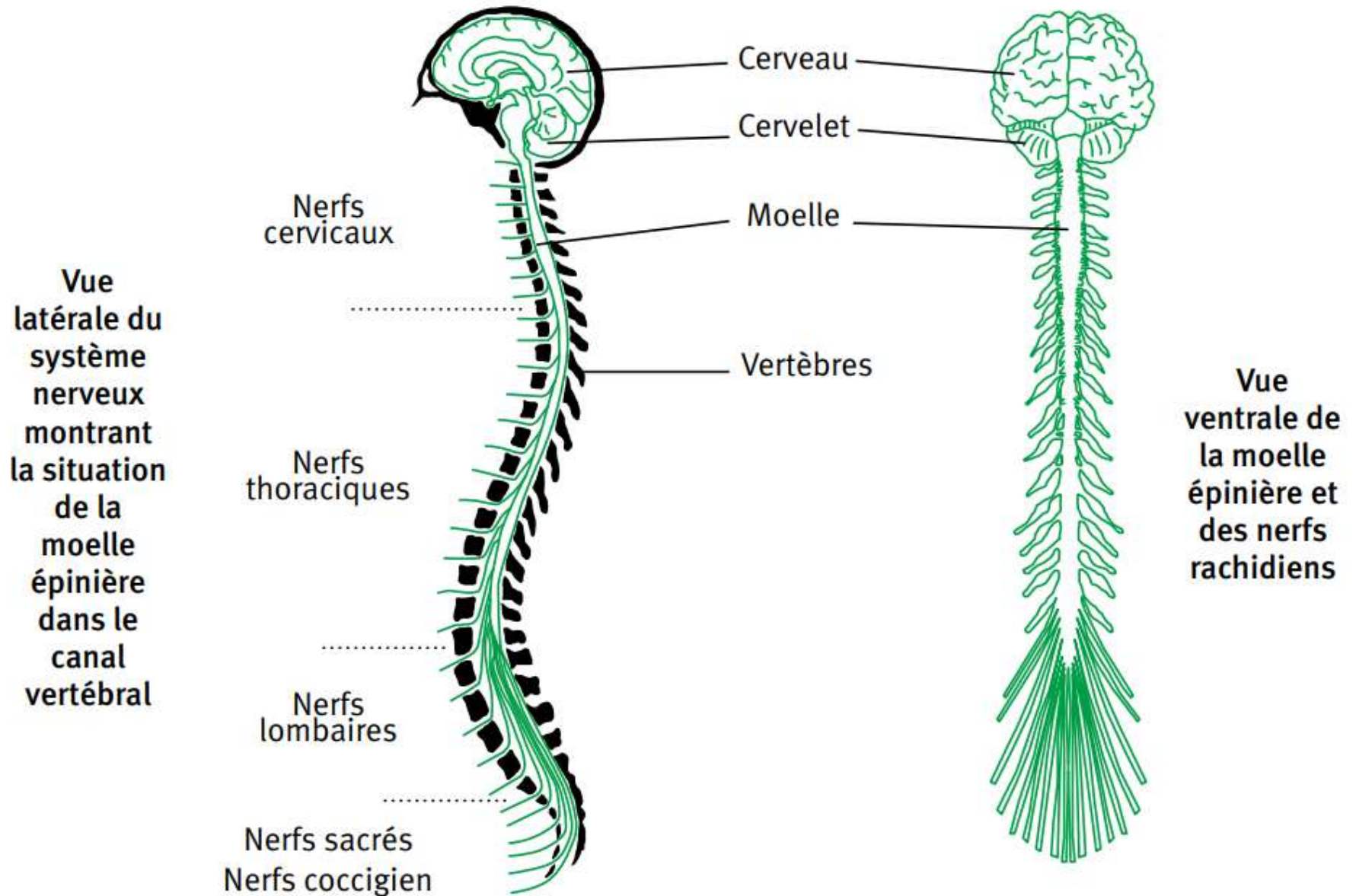
Réflexe achilléen



Réflexe tricipital gauche



Système nerveux chez l'Homme



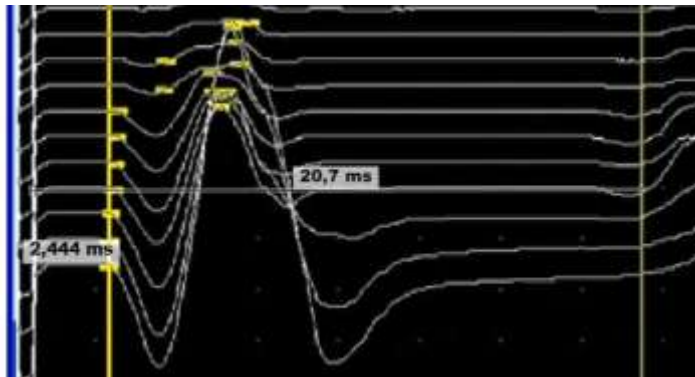
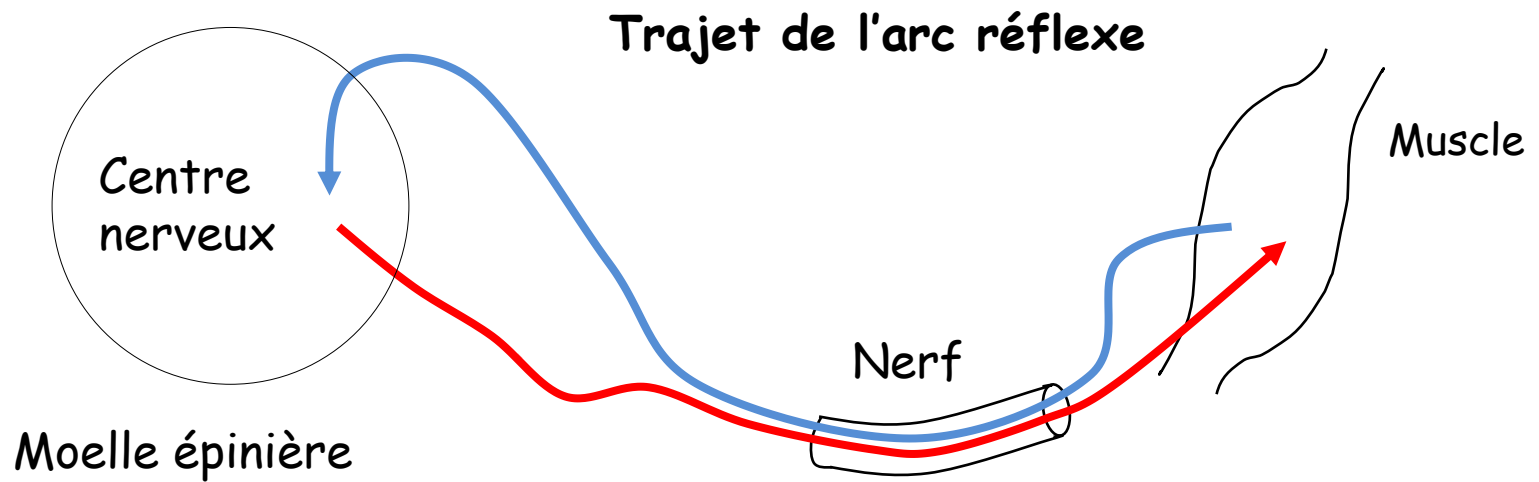
Test clinique du réflexe achilléen

**Evaluation clinique
des réflexes tendineux**

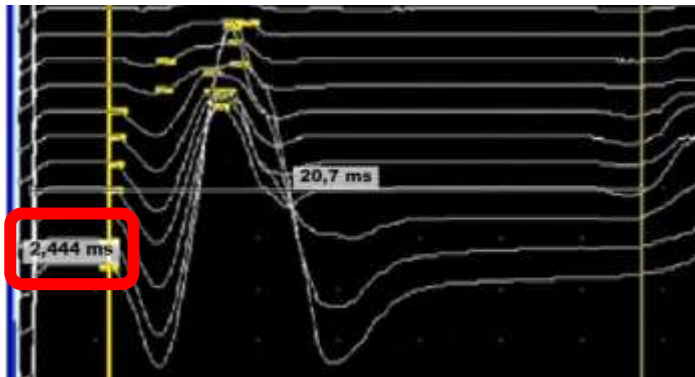
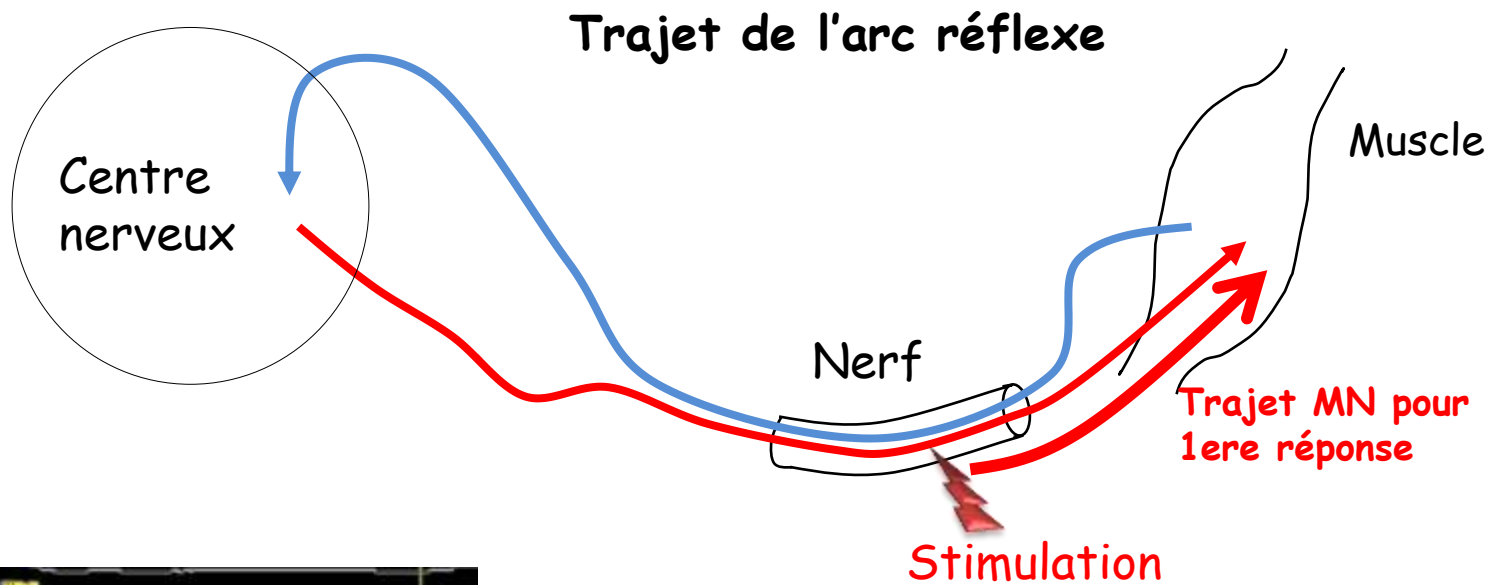
Film



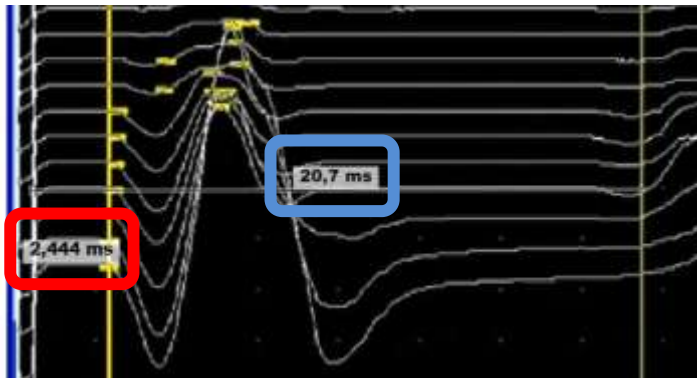
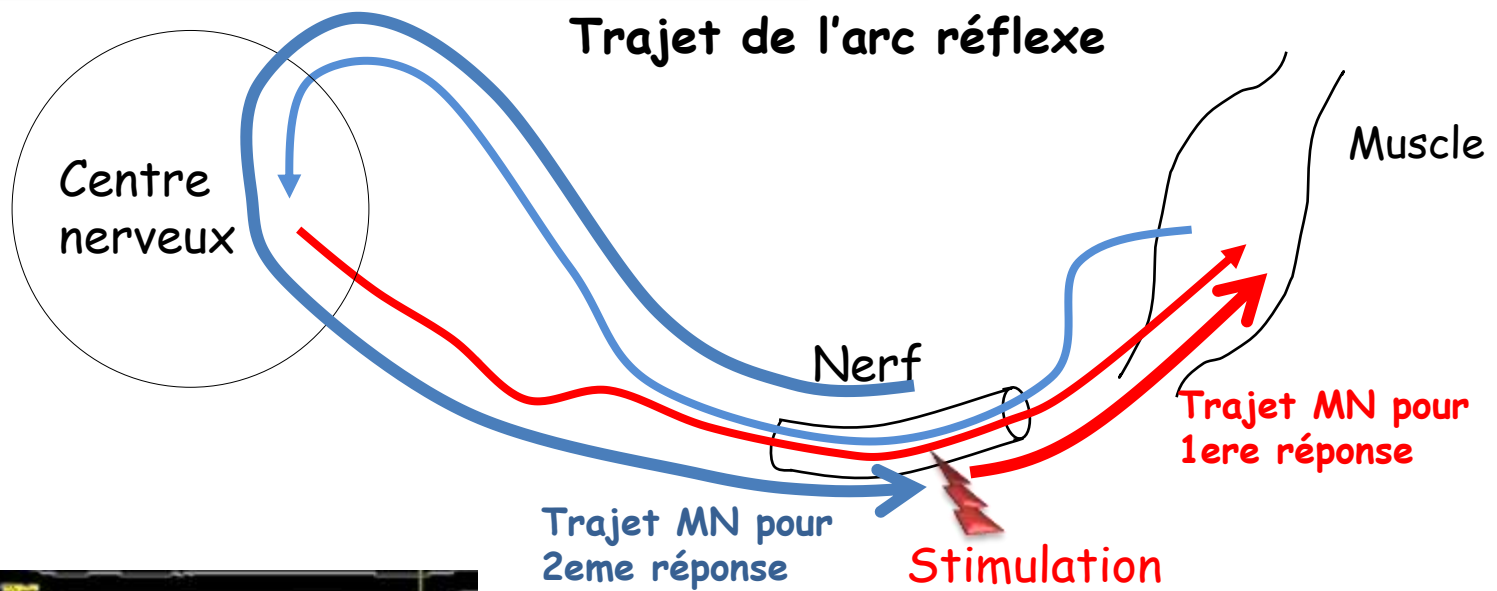
Test clinique du réflexe achilléen



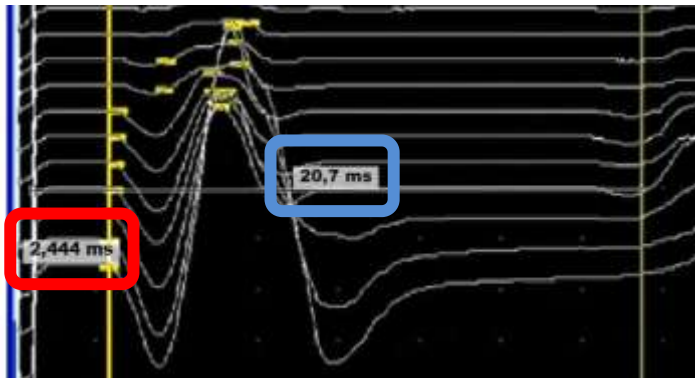
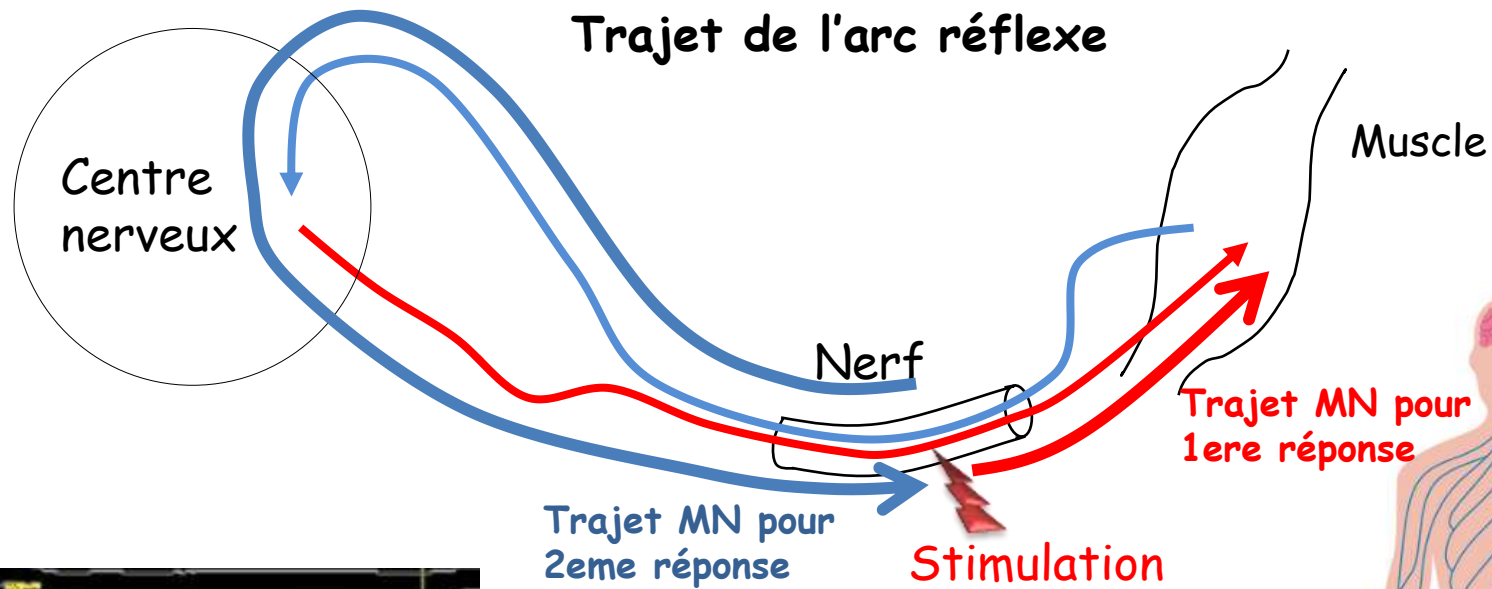
Test clinique du réflexe achilléen



Test clinique du réflexe achilléen



Test clinique du réflexe achilléen



Vitesse moyenne du message nerveux
= 100 m.s⁻¹

Taille du sujet = 1,80 m

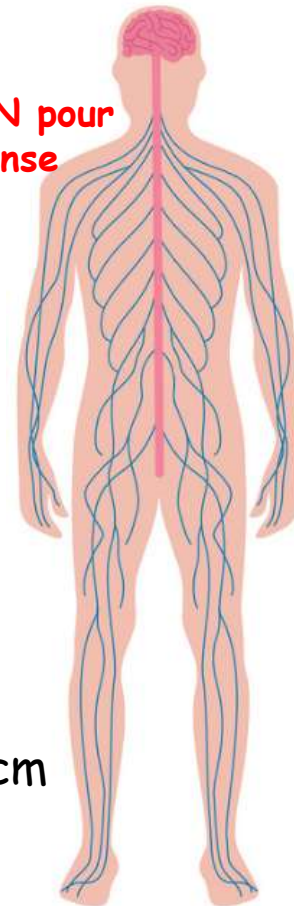
$$V = d/t \text{ donc } d = V \times t$$

• Pour la 1ere réponse: $d = 100 \times 0,00244 \text{ secondes} = 0,24 \text{ m}$ soit 24 cm

• Pour la 2eme réponse: $d = 100 \times 0,0207 \text{ secondes} = 2,07 \text{ m}$

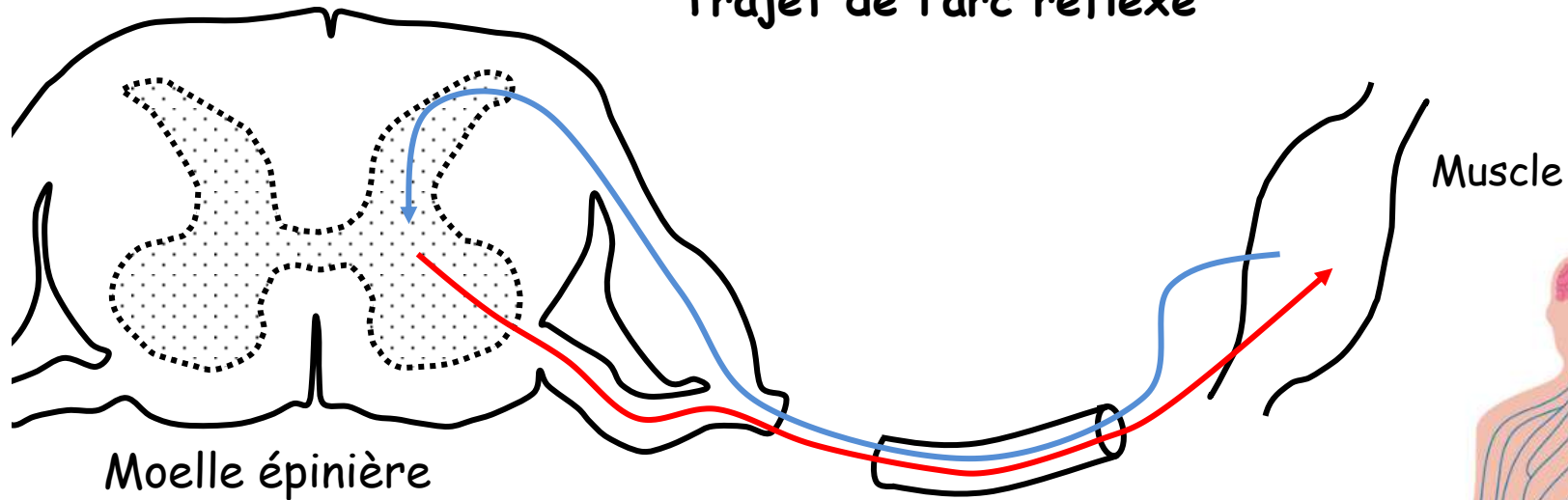
Comme il y a un aller retour, cela fait pour un aller simple 1,03 m

→ Le centre nerveux ne peut pas être le cerveau, c'est la moelle épinière



Test clinique du réflexe achilléen

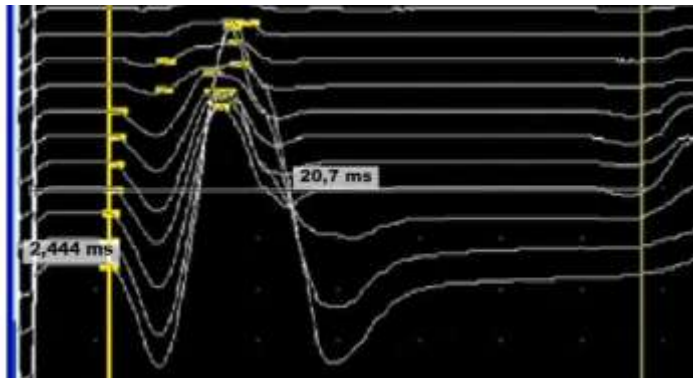
Trajet de l'arc réflexe



Moelle épinière

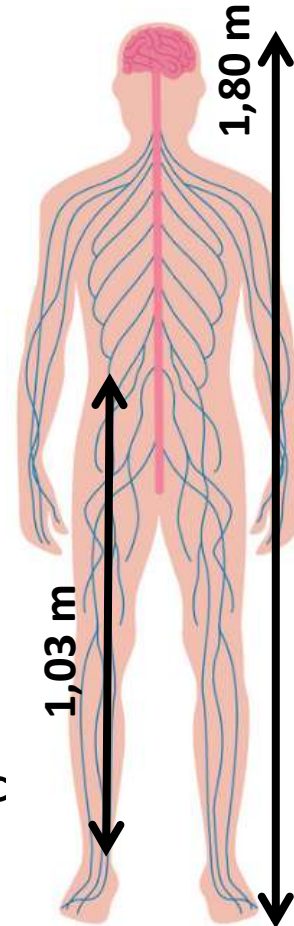
Muscle

Nerf rachidien



Vitesse moyenne du message nerveux
= 100 m.s⁻¹

Taille du sujet = 1,80 m



$$V = d/t \text{ donc } d = V \times t$$

• Pour la 1ere réponse: $d = 100 \times 0,00244 \text{ secondes} = 0,24 \text{ m}$ soit 24 c

• Pour la 2eme réponse: $d = 100 \times 0,0207 \text{ secondes} = 2,07 \text{ m}$

Comme il y a un aller retour, cela fait pour un aller simple 1,03 m

→ Le centre nerveux ne peut pas être le cerveau, c'est la moelle épinière

Le réflexe myotatique un outil de diagnostic

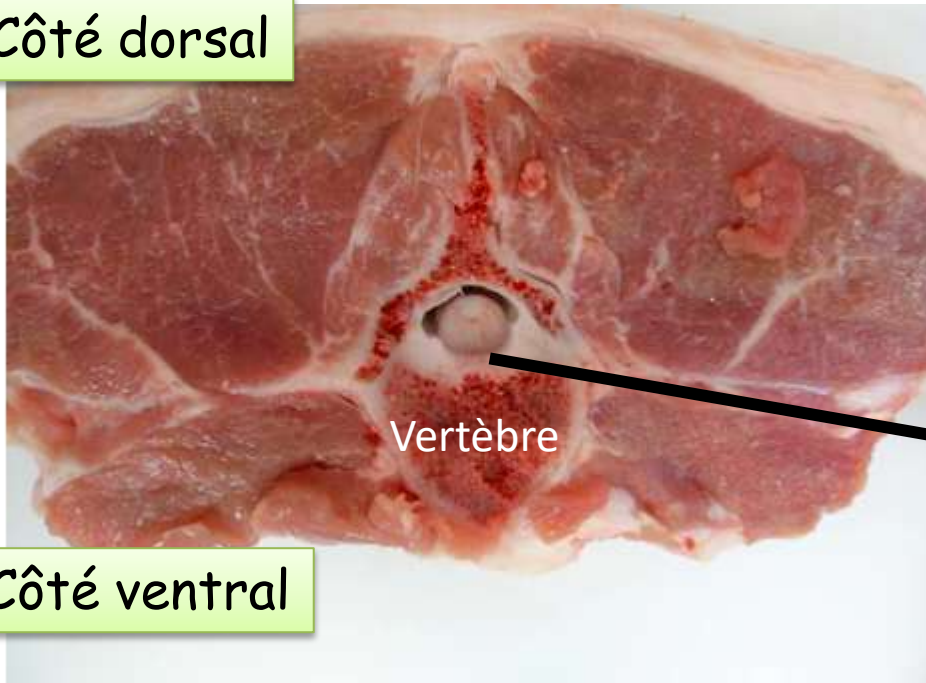
Nom du réflexe	Muscle stimulé	Réponse
rotulien	quadriceps de la cuisse	extension de la jambe
achilléen	soléaire	extension du pied
bicipital	biceps	flexion de l'avant-bras
tricipital	triceps	extension de l'avant-bras

0	pas de réponse	Indice d'une lésion nerveuse
1+	contraction visible mais diminuée	
2+	réponse normale	
3+	contraction plus vive que la moyenne	Indice d'un mauvais fonctionnement du système nerveux
4+	hyperactivité, réponse excessive	

TP - Le circuit neuronique du réflexe myotatique

Centre nerveux impliqué : la moelle épinière

Côté dorsal



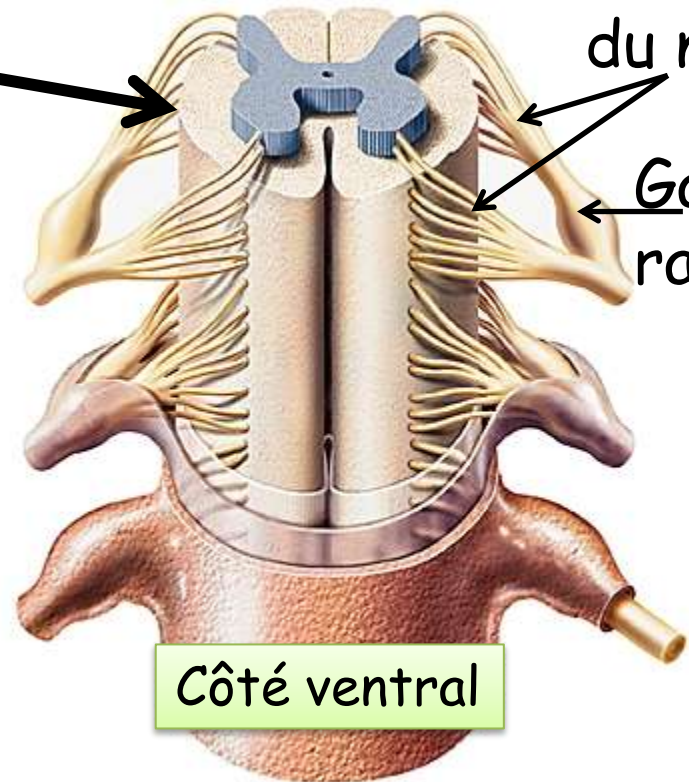
Vertèbre

Côté ventral

Côté dorsal

Racines
du nerf

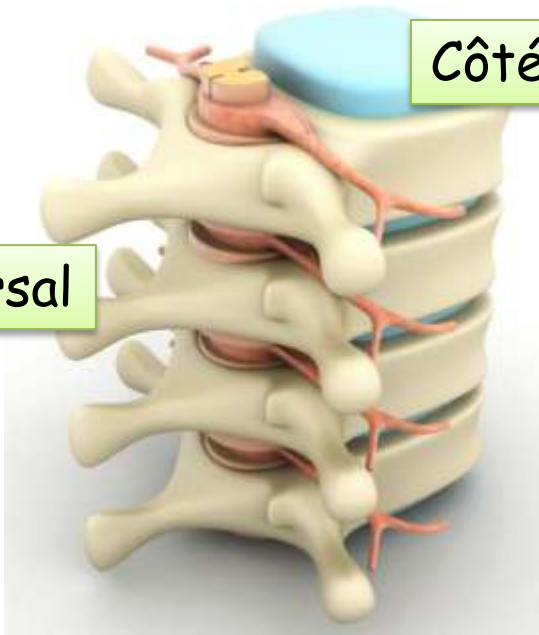
Ganglion
rachidien



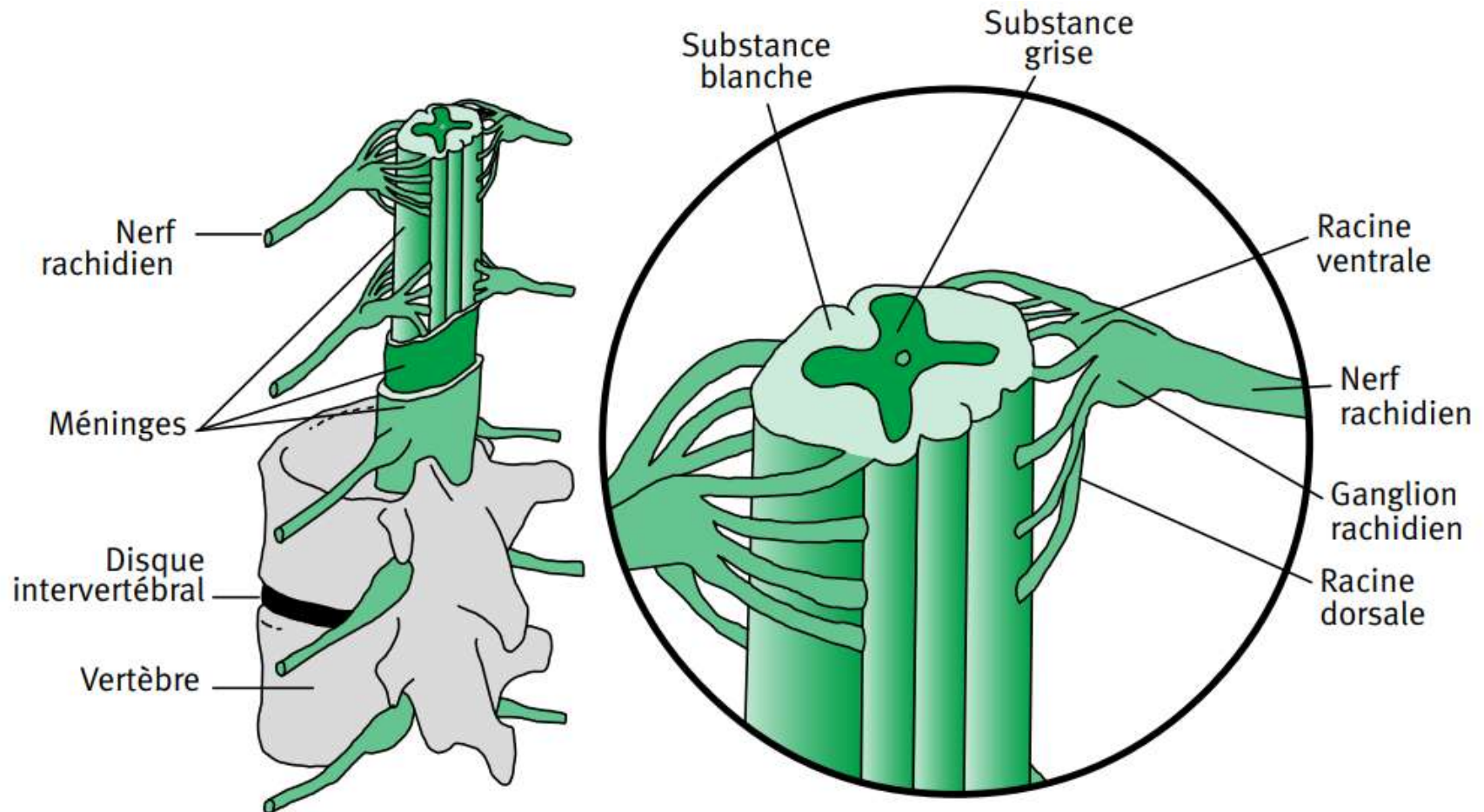
Côté ventral

Côté ventral

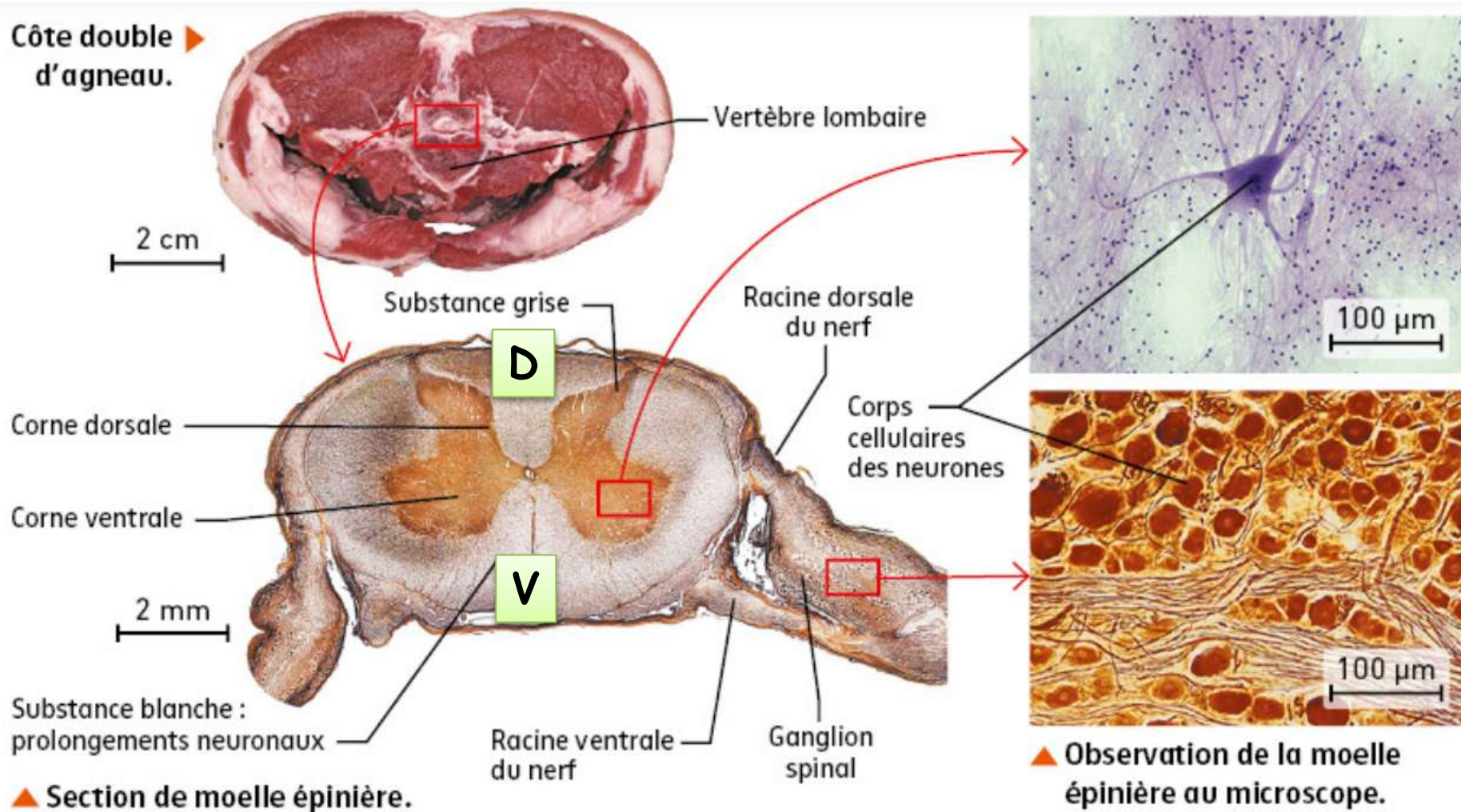
Côté dorsal

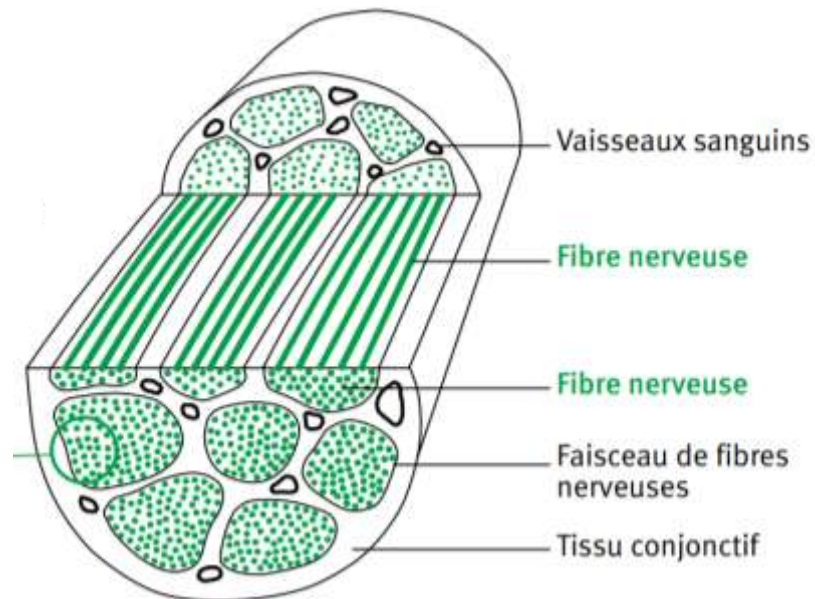
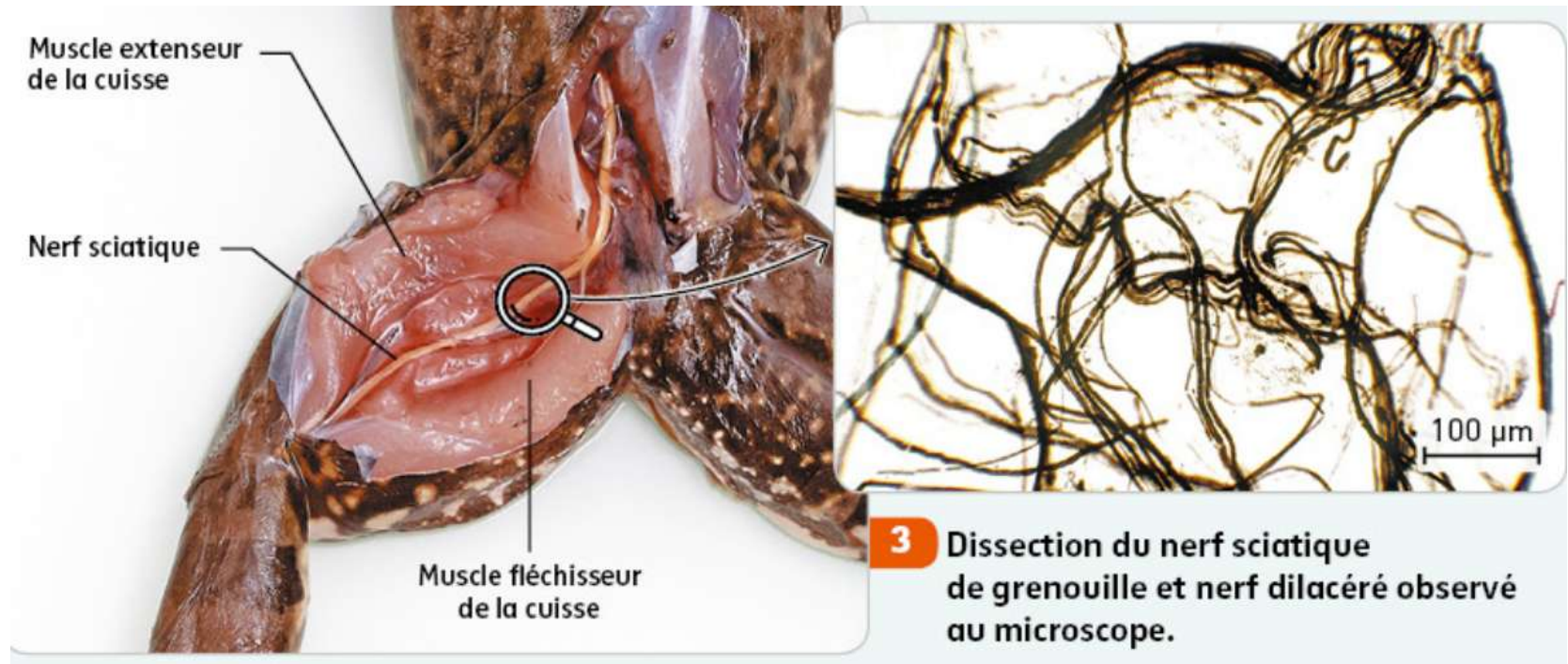


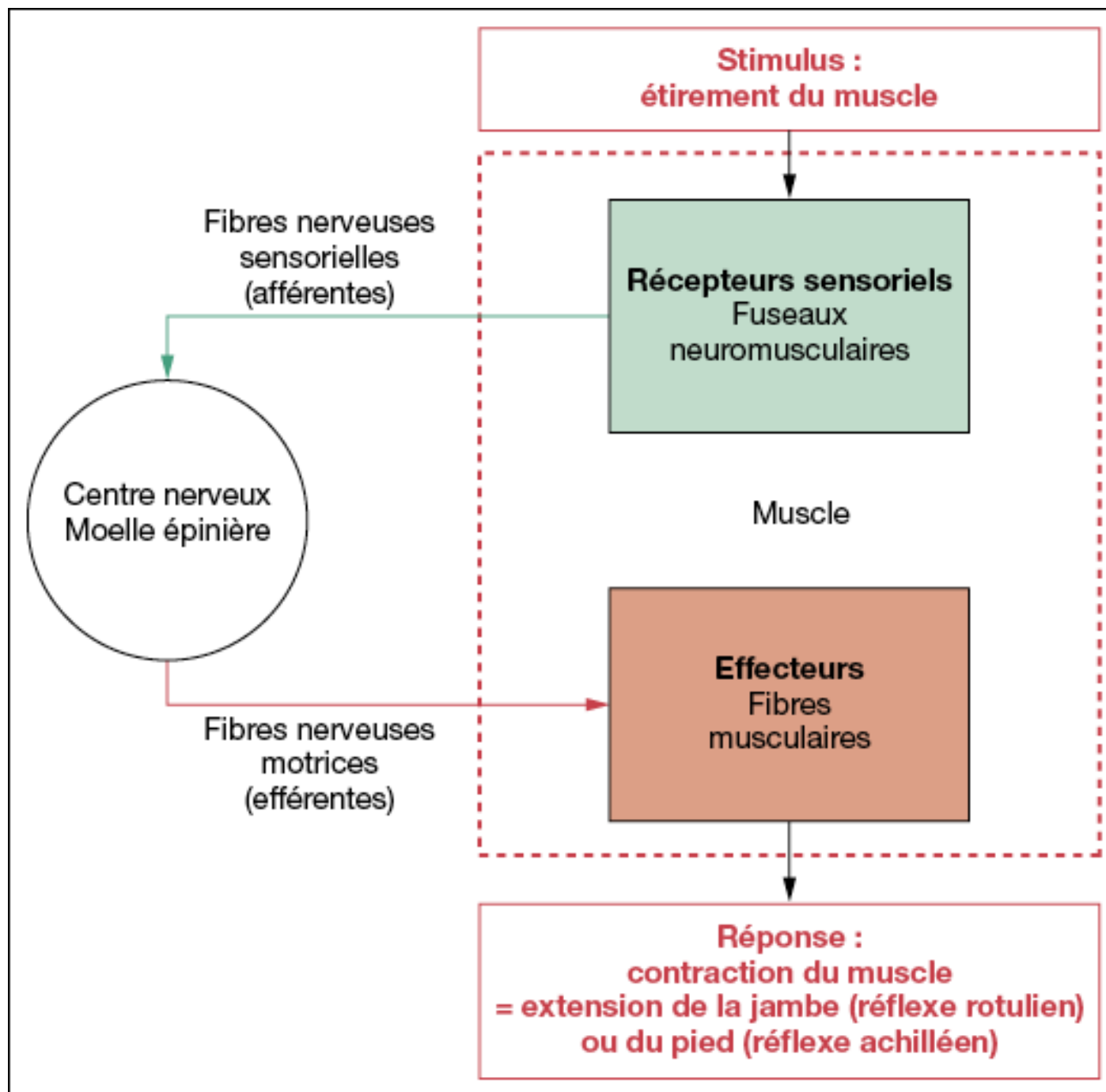
Centre nerveux impliqué : la moelle épinière



Organisation externe de la moelle épinière





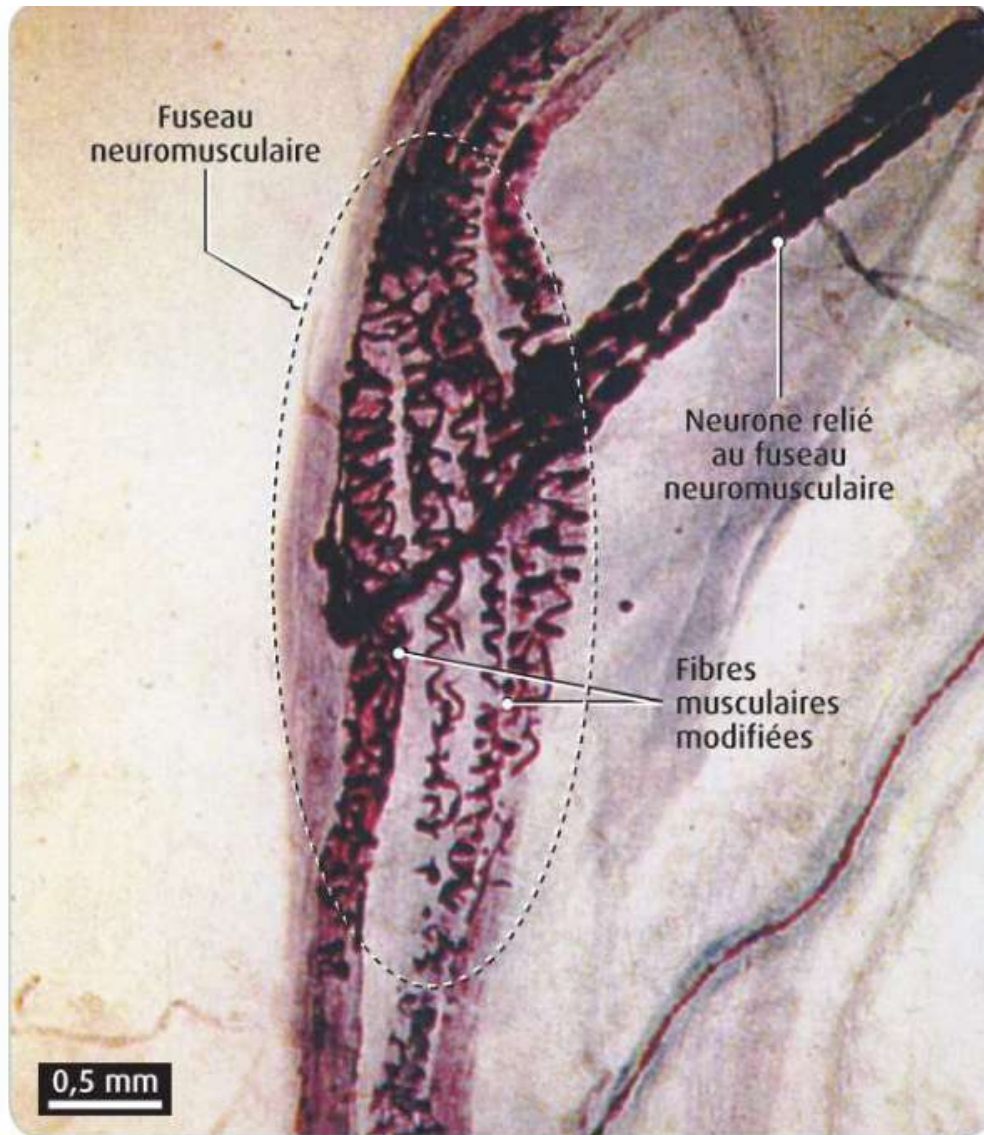


I. Les réflexes sont des réactions **involontaires** produites en réponse à des **stimulations** et intervenant dans de nombreux comportements impliquant la contraction **musculaire**. Par exemple, le réflexe myotatique en jeu des **récepteurs** sensoriels (fuseau neuromusculaire), un **centre nerveux** (moelle épinière), des **effecteurs** (fibres musculaires) et des nerfs. Le trajet du message nerveux impliqué est appelé arc réflexe.

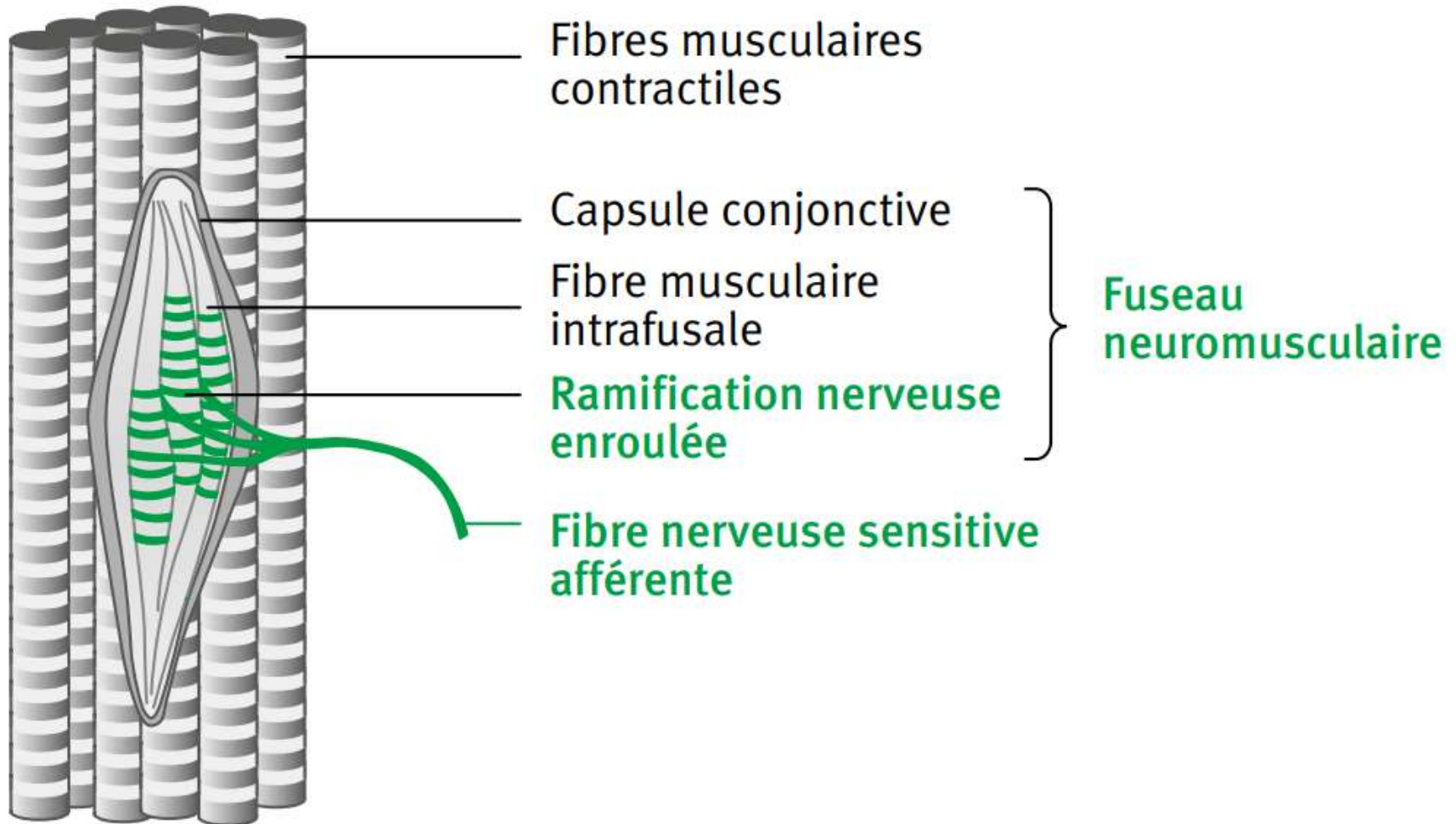
1. Le réflexe **myotatique** est la contraction immédiate et involontaire d'un **muscle** en réponse à son propre étirement. Ce réflexe intervient dans le maintien inconscient de la posture, de l'équilibre du corps, mais aussi dans des situations mettant en danger l'organisme et pour lesquelles une réponse rapide, adaptée et involontaire est nécessaire.
2. Le réflexe myotatique peut être utilisé comme outil de diagnostic afin de vérifier le bon **fonctionnement** du système neuro-musculaire (exemple : réflexe rotulien, achilléen).

3. L'arc réflexe met en jeu des structures et organes qui interviennent de façon successive : **récepteurs** sensoriels (fuseaux neuromusculaires), **fibres** nerveuses sensibles (dans un nerf rachidien), centre **nerveux** (moelle épinière), **fibres** nerveuses motrices (dans un nerf rachidien aussi), organes **effecteurs** (fibres musculaires contractiles).

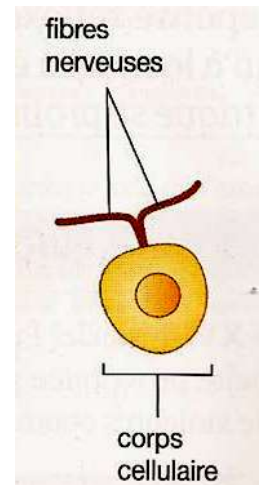
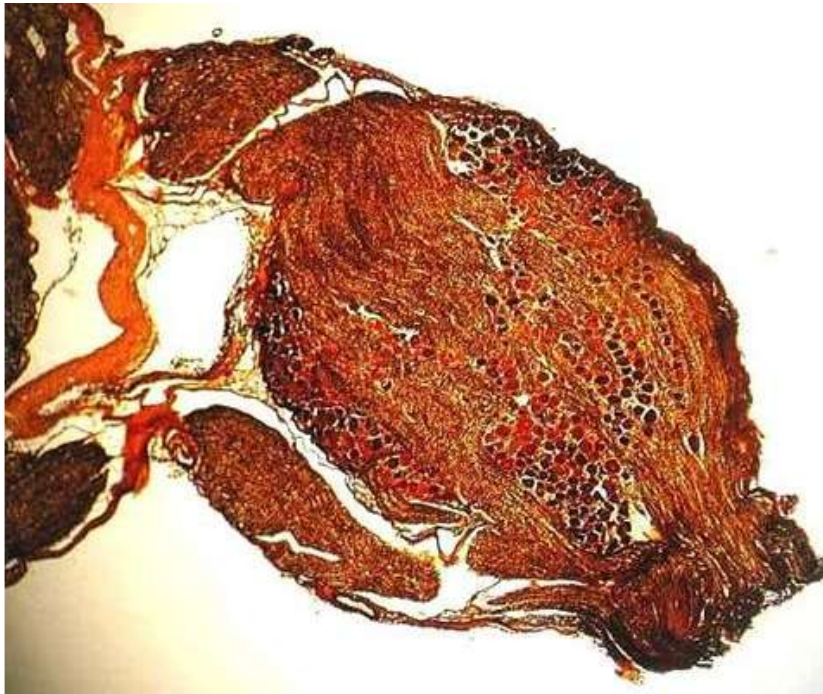
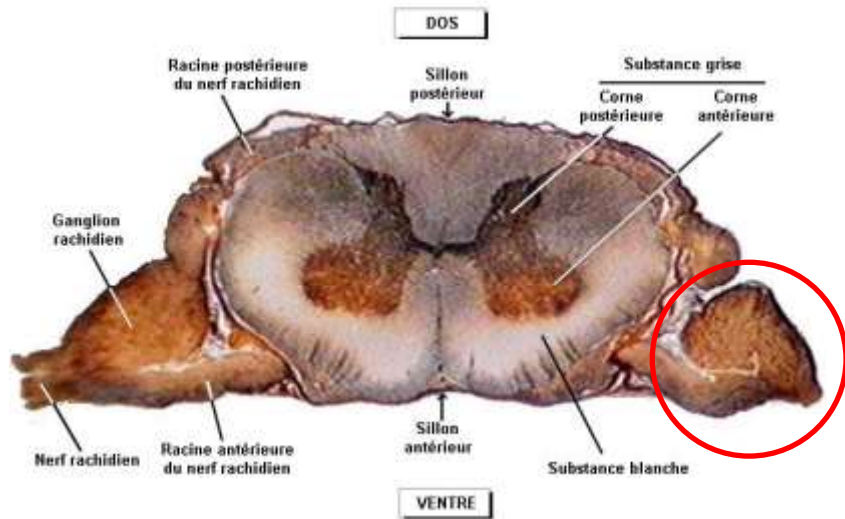
- a. Les fuseaux neuro-musculaires sont des mécano-récepteurs qui **captent** le stimulus (**étirement** du muscle, provoqué éventuellement par un choc au niveau des tendons) et élaborent un message **nerveux** sensitif.
- b. Les fibres nerveuses sensitives, regroupées dans un nerf **rachidien**, conduisent le message nerveux sensitif jusqu'au centre **nerveux** (la moelle épinière)
- c. Après traitement de l'information sensitive reçue, la moelle épinière élabore un message **nerveux** moteur
- d. Les fibres nerveuses motrices situées dans le nerf rachidien acheminent ce nouveau message jusqu'aux **effecteurs** musculaires.
- e. Les effecteurs sont les **fibres** musculaires dont la **contraction** est provoquée par la réception du message nerveux moteur



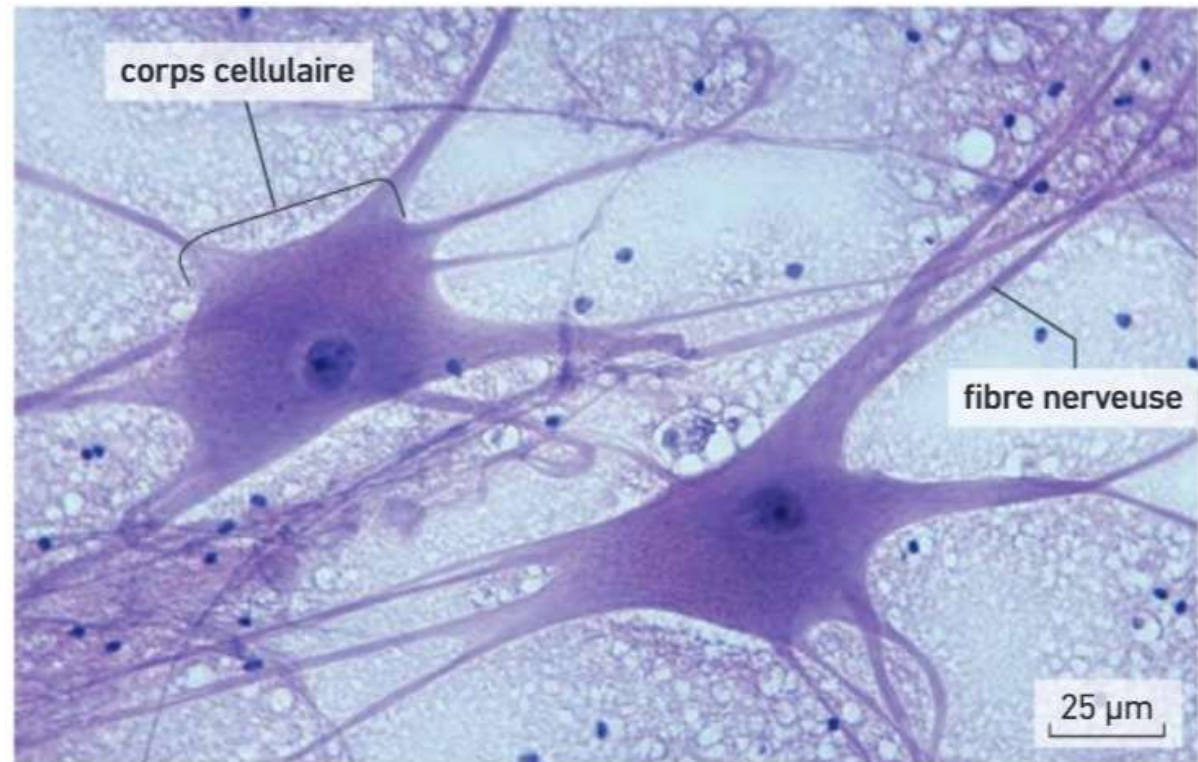
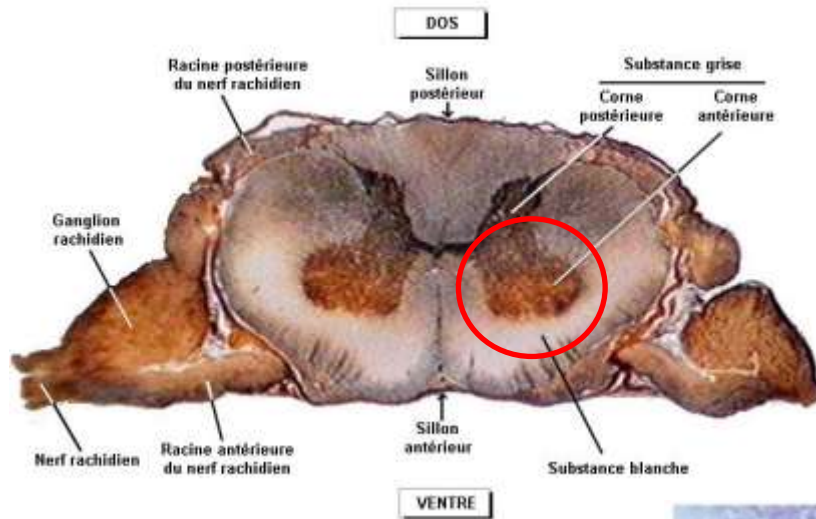
4 Vue au microscope optique d'un fuseau neuromusculaire. Il contient des fibres musculaires modifiées



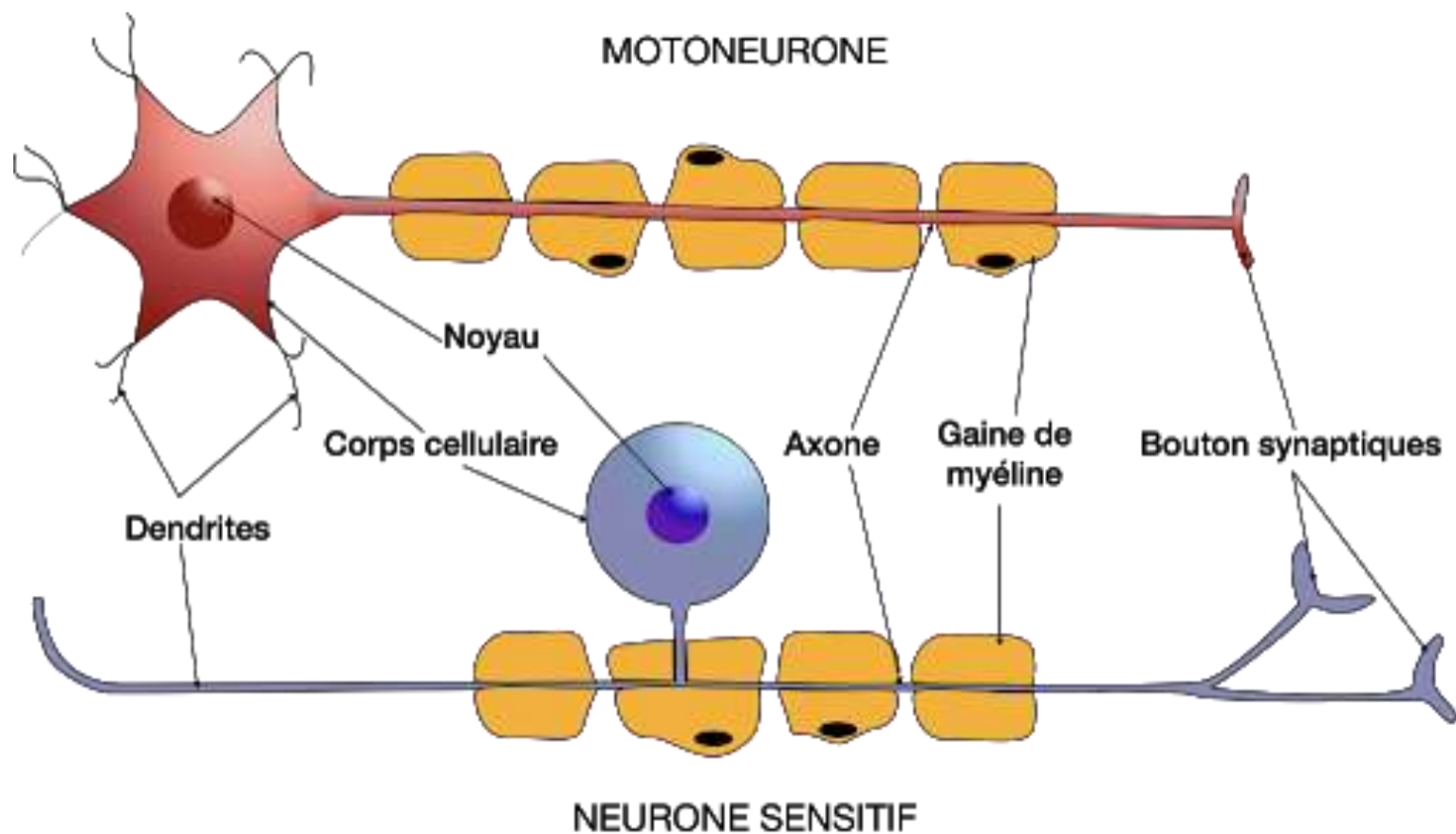
Neurones sensitifs



Motoneurones

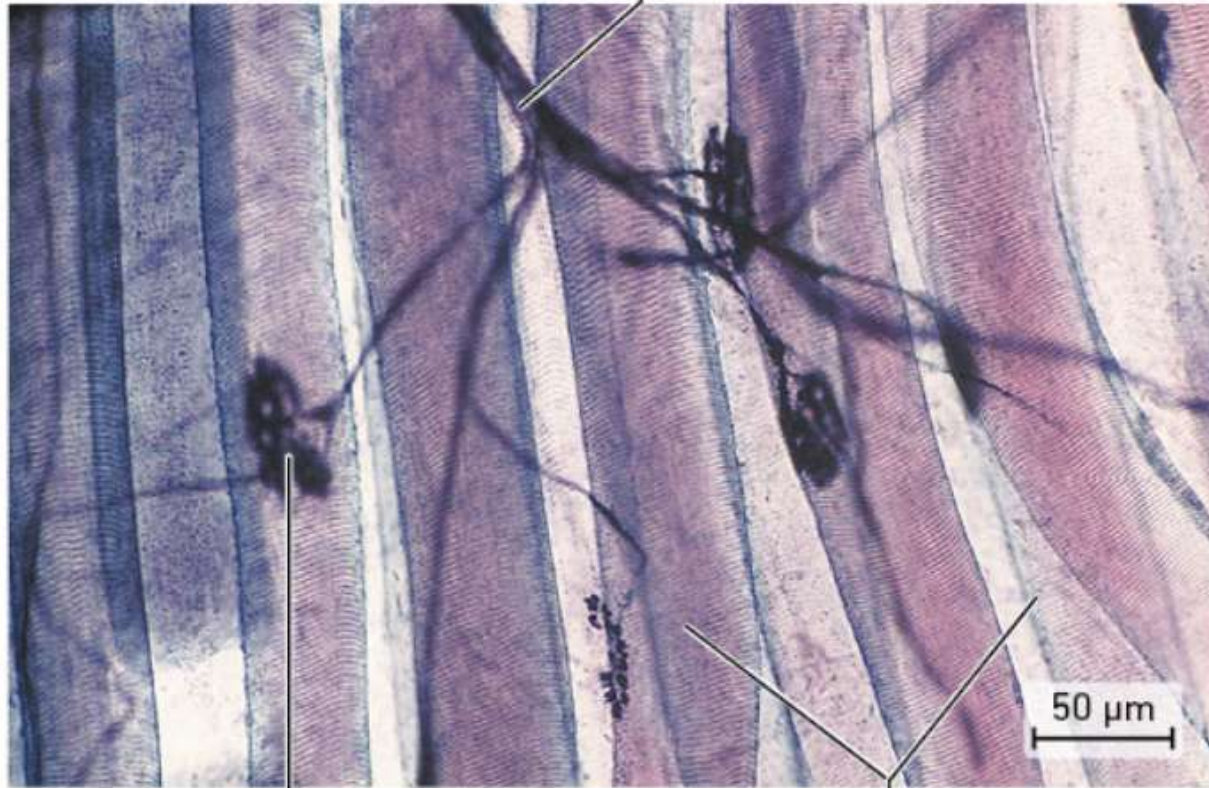


C Corps cellulaires de deux neurones de la moelle épinière (microscopie optique).



Liaison avec l'effecteur = plaque motrice

Axone du neurone moteur



Plaque motrice

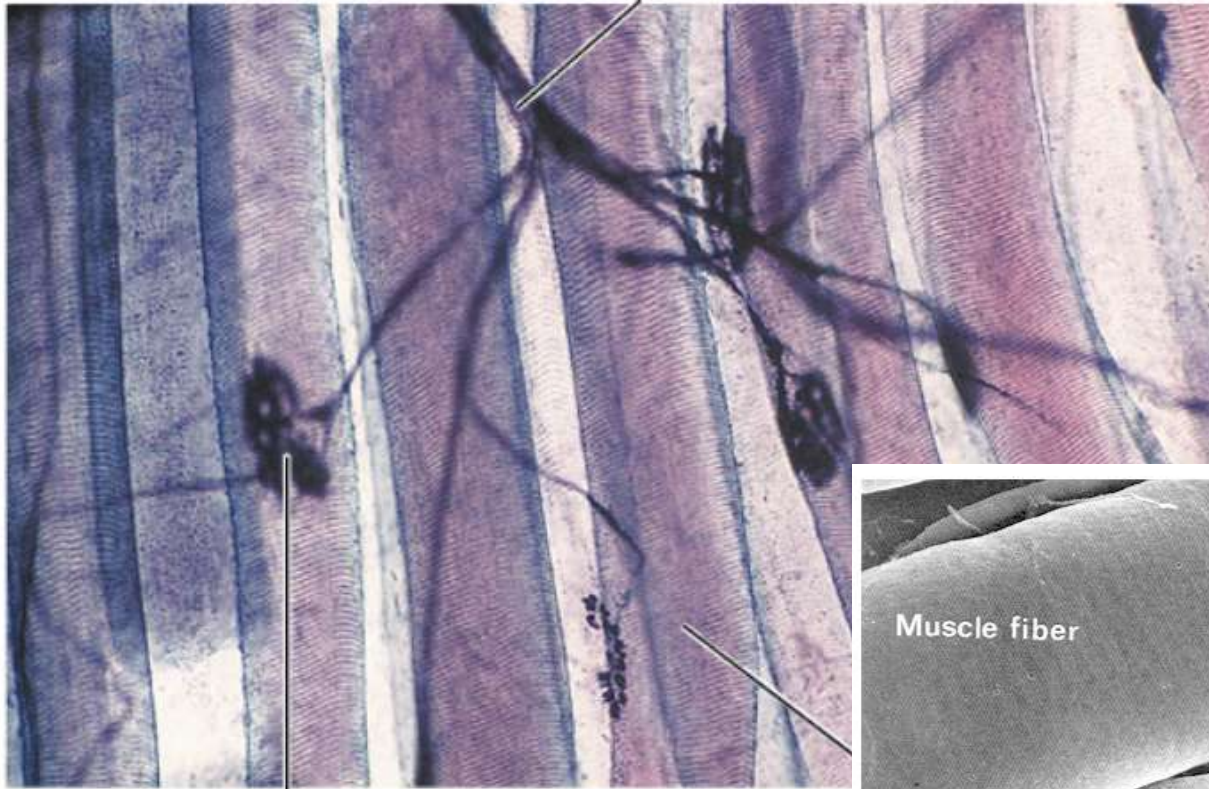
Cellules musculaires

→ Synapse entre le neurone moteur et la cellule musculaire.

Liaison avec l'effecteur = plaque motrice

p. 377

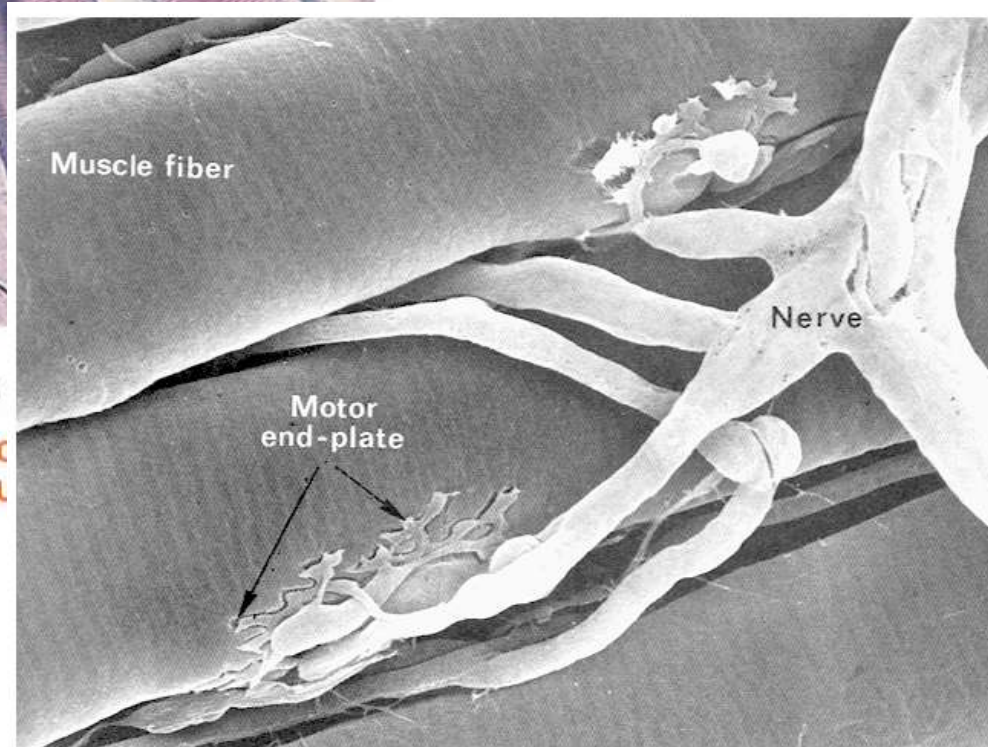
Axone du neurone moteur



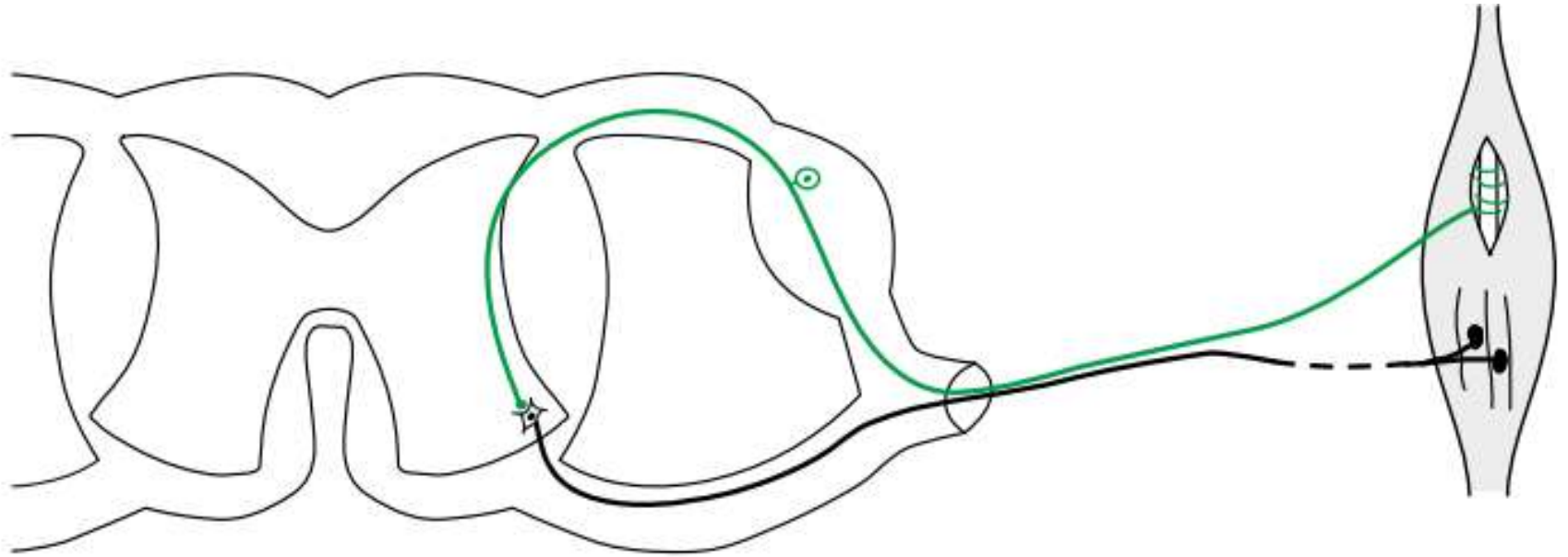
Plaque motrice

Cellules

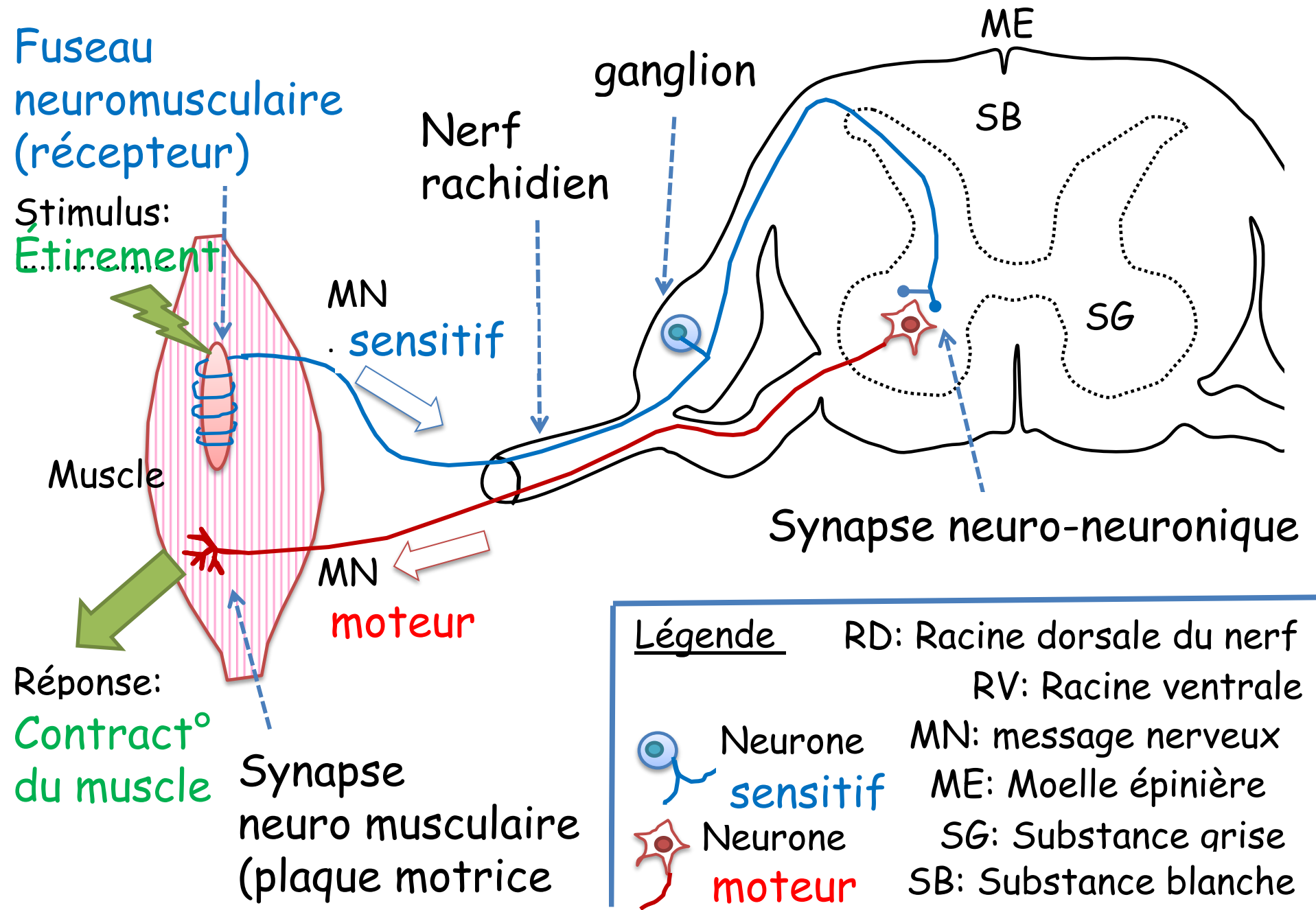
→ Synapse entre le neurone moteur et la cellule musculaire



Circuit neuronique d'un réflexe myotatique (arc reflexe)



Circuit neuronique d'un réflexe myotatique (arc reflexe)



II. La conduction du message nerveux est assuré par des cellules polarisées et excitables : les **neurones**. L'arc réflexe ne fait intervenir successivement que **deux** types de neurones (**sensitifs** et **moteurs**). La jonction entre un neurone sensitif et un motoneurone se fait par le biais d'une seule synapse neuro-neuronique.

1. Tout neurone comporte un corps cellulaire (dans lequel se trouve notamment le **noyau**) et deux types de prolongements cytoplasmiques : **axone** et **dendrites**. Les dendrites collectent les informations **sensitives** et les conduisent vers le corps cellulaire, tandis que l'**axone** conduit le message **nerveux** du corps cellulaire vers d'autres cellules.

2. L'**étirement** du fuseau neuromusculaire, s'il est suffisant, génère un message nerveux qui emprunte la **dendrite** d'un neurone sensitif dont corps cellulaire est situé dans le ganglion rachidien, au niveau de la racine dorsale de la moelle **épine**rière.

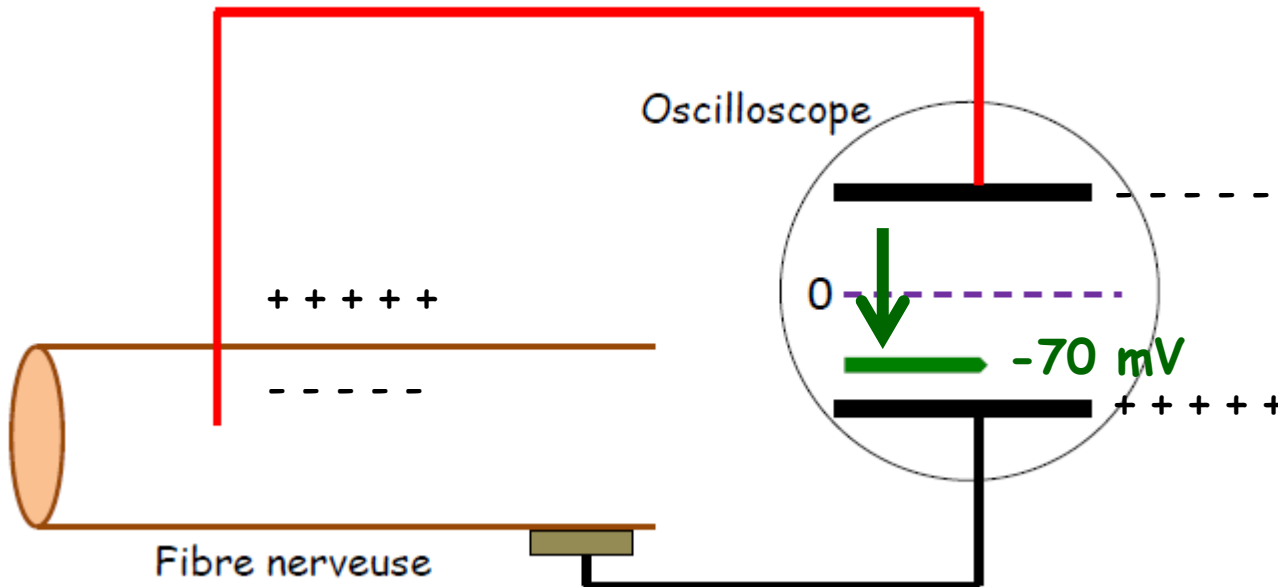
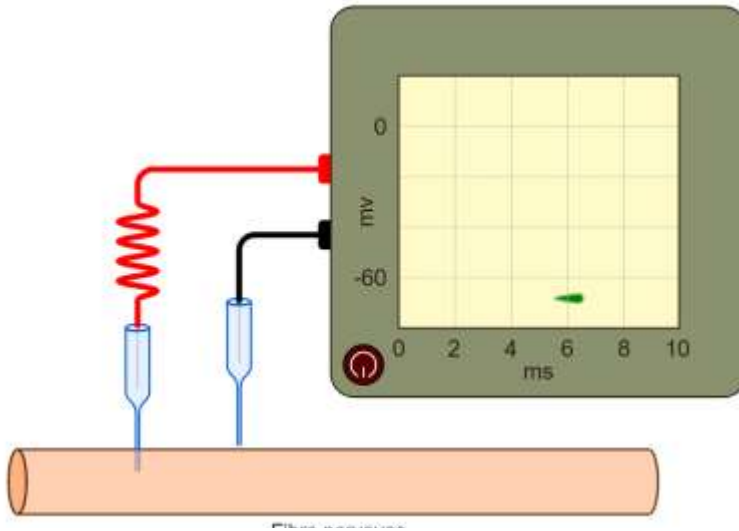
3. L'axone du neurone sensitif transmet le message nerveux à un **motoneurone** dont le corps cellulaire est situé dans la partie antérieure de la substance grise de la moelle **épine**rière.

4. L'axone du motoneurone, qui emprunte la racine ventrale du nerf **rachidien**, véhicule le message nerveux moteur jusqu'aux fibres **musculaires** effectrices.

5. Dans la moelle épinière, au niveau de la substance **grise**, la jonction entre le neurone sensitif et moteur se fait par le biais d'une **synapse** neuro-neuronique. De même, la jonction entre la terminaison axonique du motoneurone et la fibre musculaire est assurée par une **synapse** neuro-musculaire (plaque motrice).
6. Le message nerveux circule à sens **unique** au sein du circuit neuronique constituant l'arc réflexe. Les nerfs rachidiens sont des nerfs **mixtes** contenant à la fois des fibres **sensitives** (dendrites des neurones sensitifs) et **motrices** (axones des neurones moteurs)

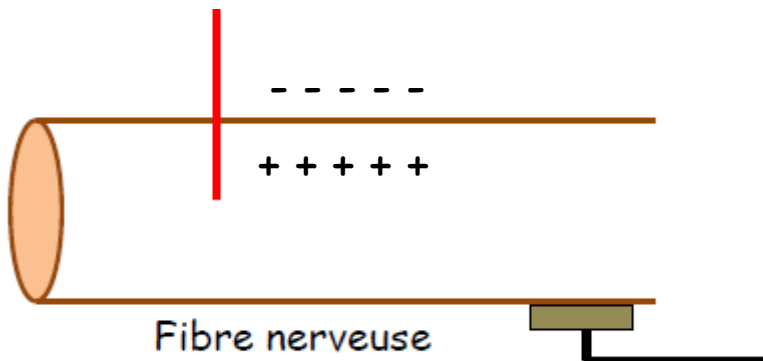
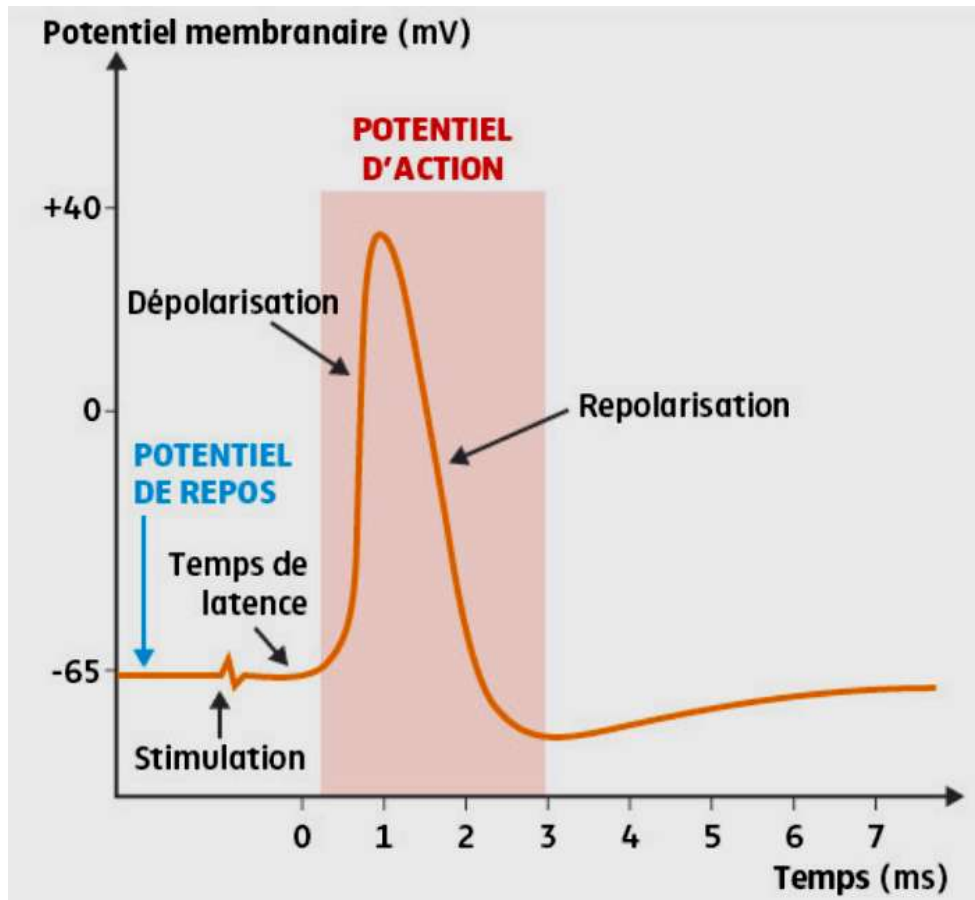
TP - Nature et propagation du message nerveux

Potentiel de repos



Le faisceau d'électrons est dévié vers le bas

Potentiel d'action

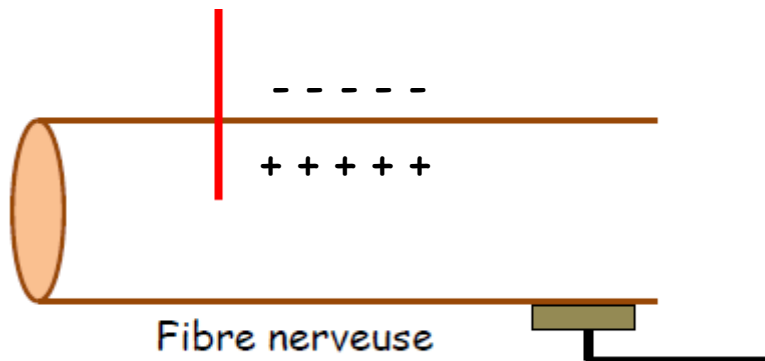
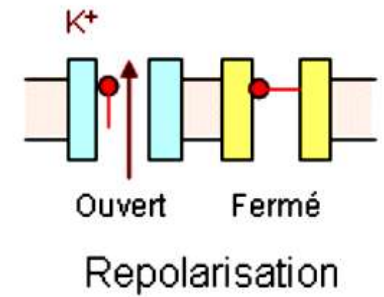
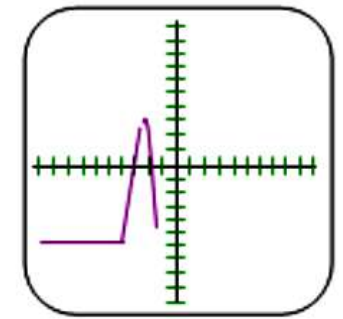
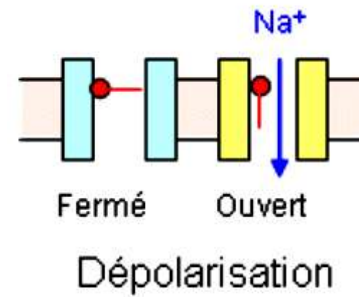
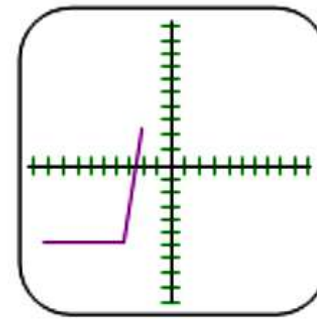
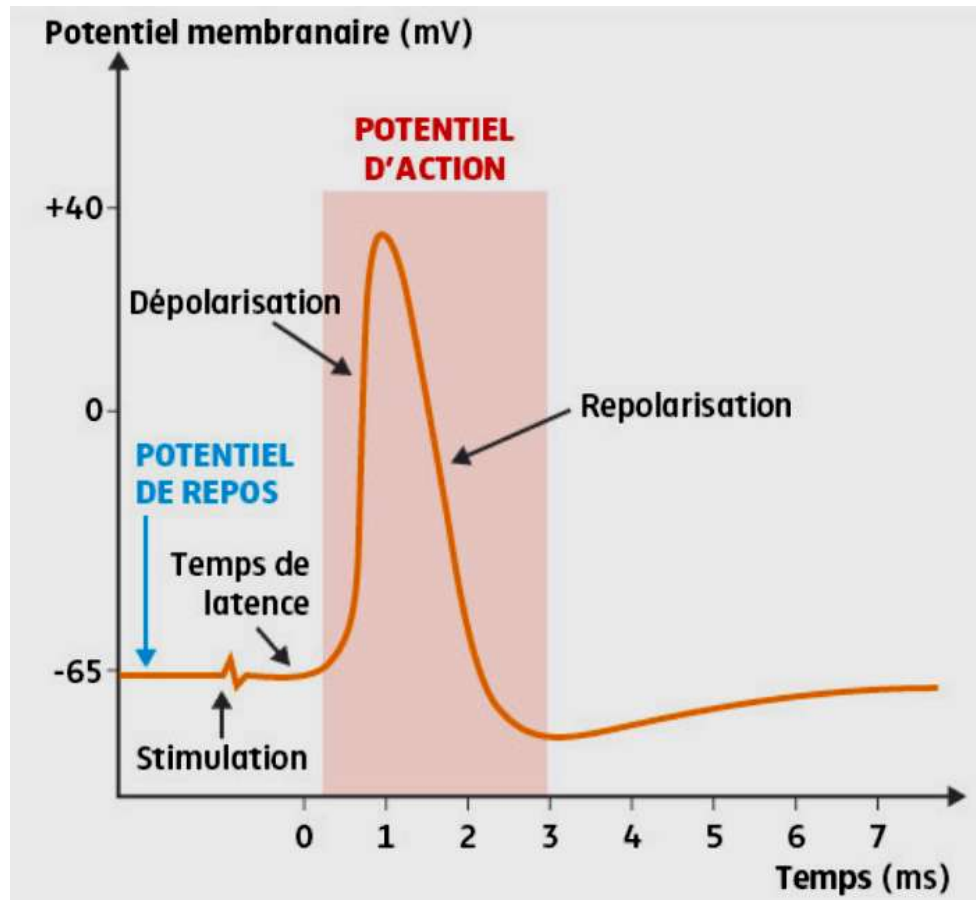


Effet local anesthésiant de la lidocaïne

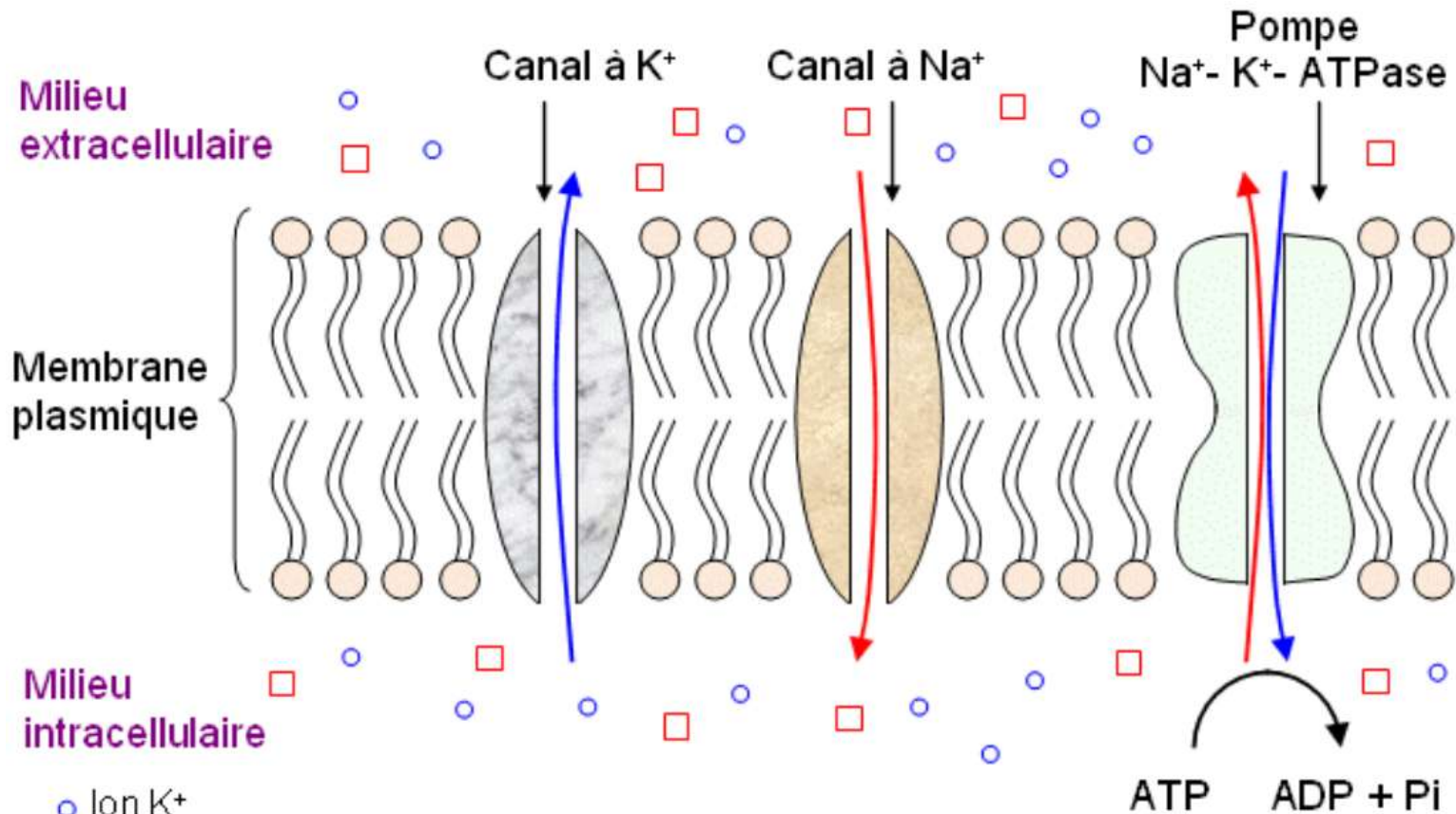
La **lidocaïne** agit en inhibant la conduction nerveuse *via* le blocage du canal sodique, ce qui explique à la fois ses effets recherchés (blocage de la propagation du message nerveux à l'origine de la sensation douloureuse)



Potentiel d'action

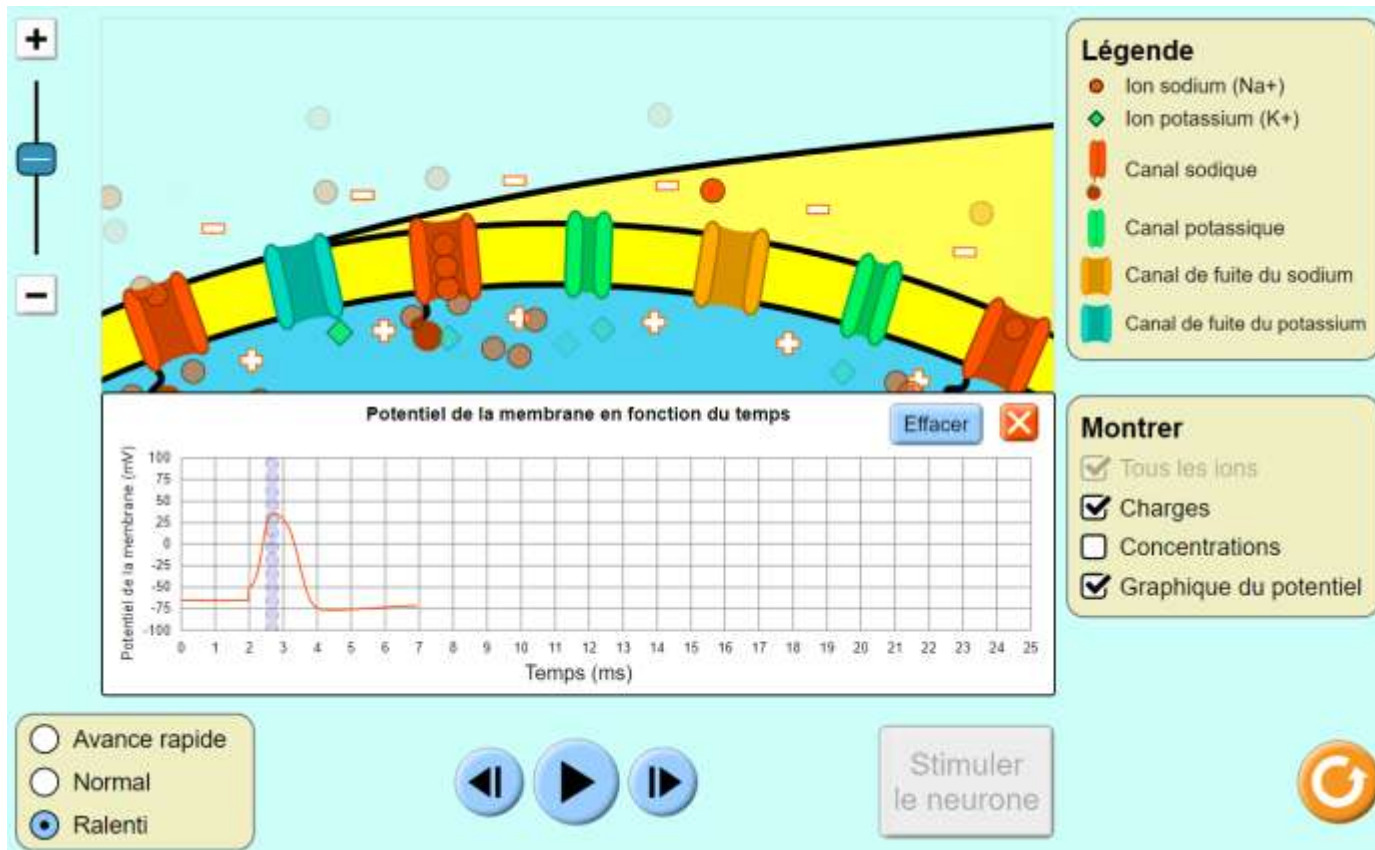


Canaux voltage dépendants



Rôle de la membrane plasmique

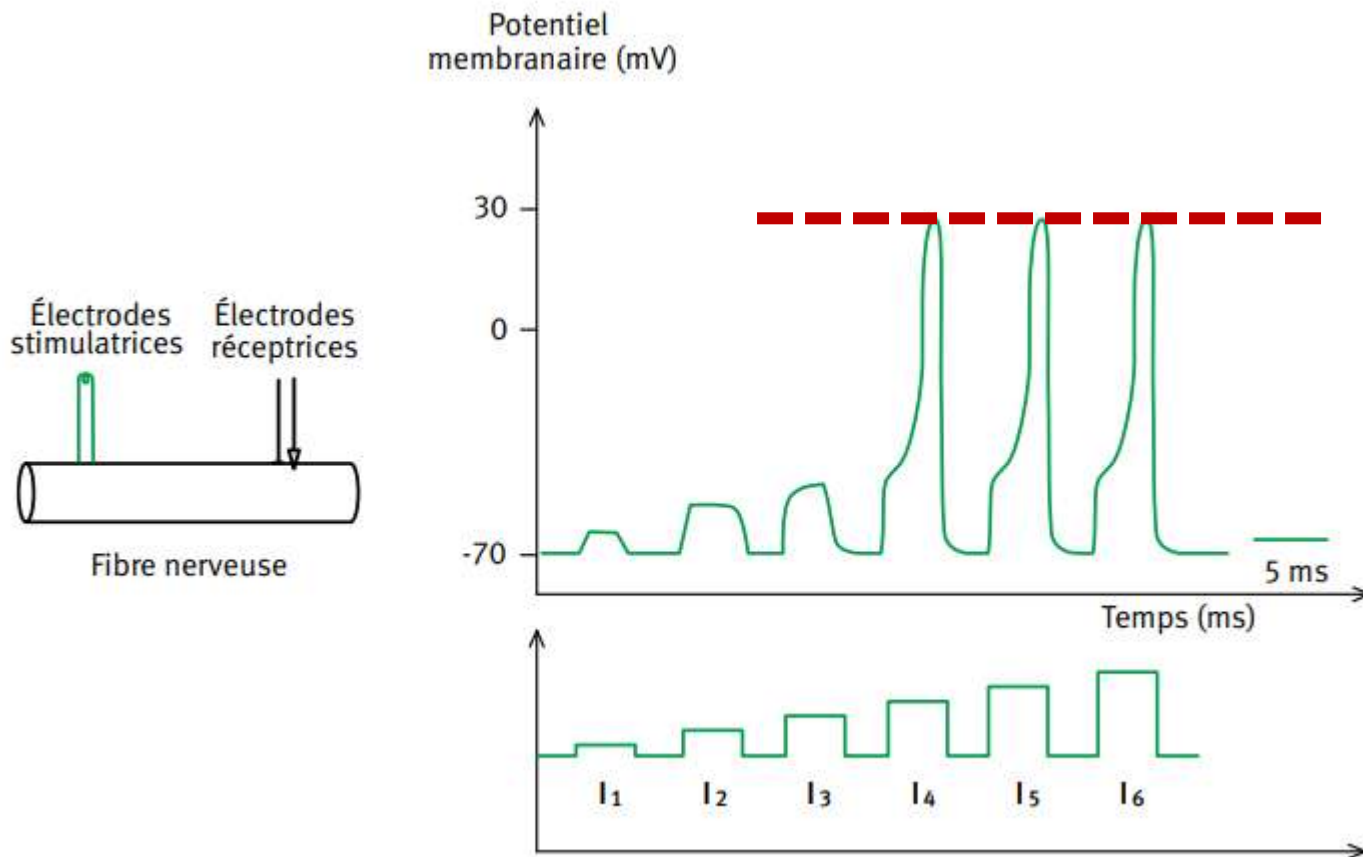
© Georges Dolisi



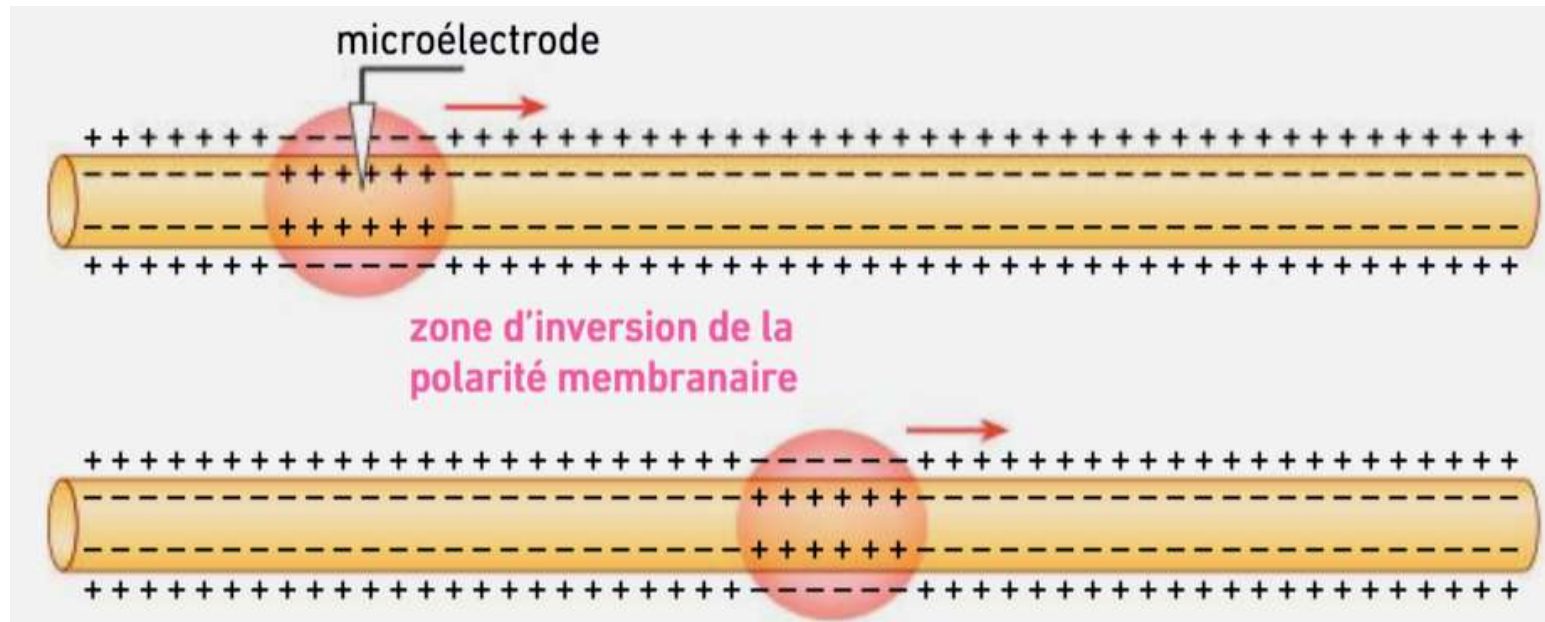
https://phet.colorado.edu/sims/html/neuron/latest/neuron_fr.html

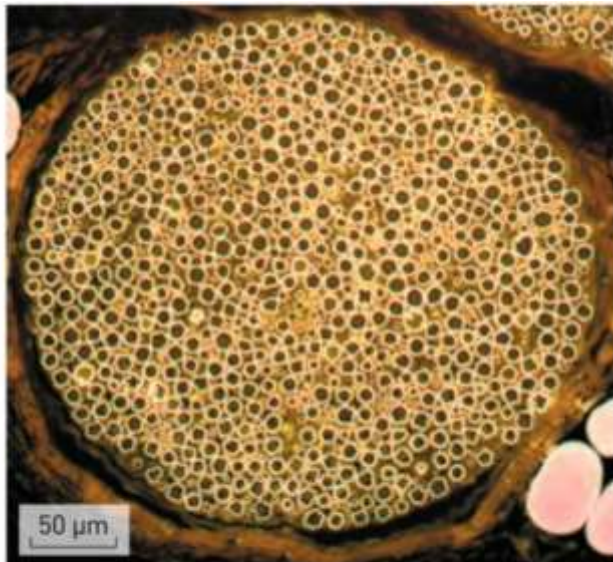
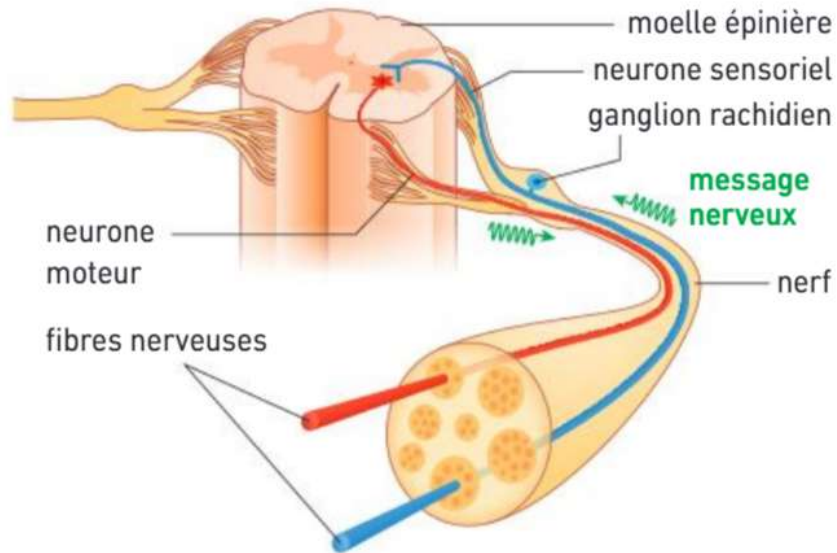
Potentiel d'action

On enregistre au niveau d'une microélectrode réceptrice, les réponses d'une fibre nerveuse suite à 6 stimulations électriques d'intensité croissante.

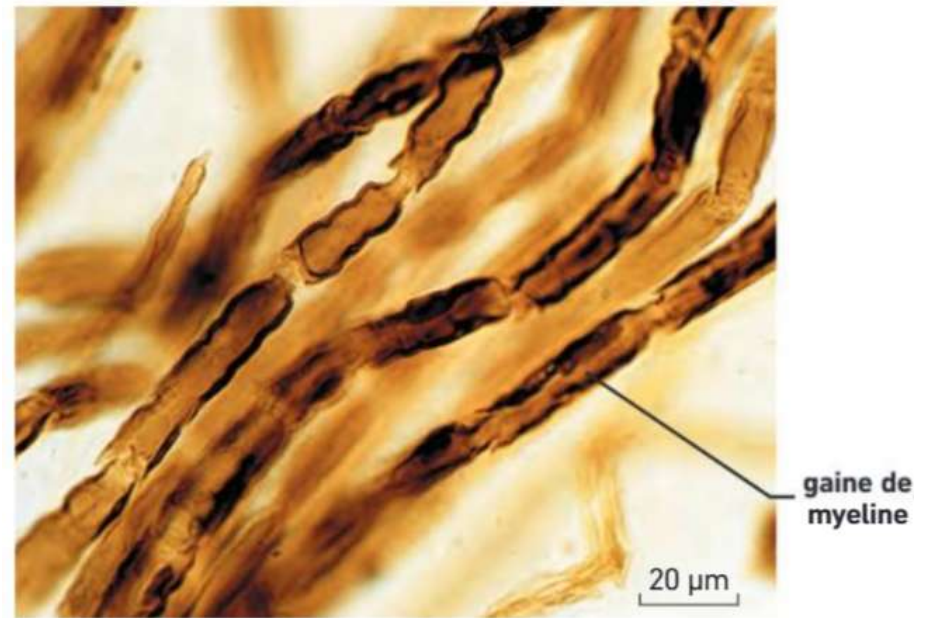


Propagation du potentiel d'action

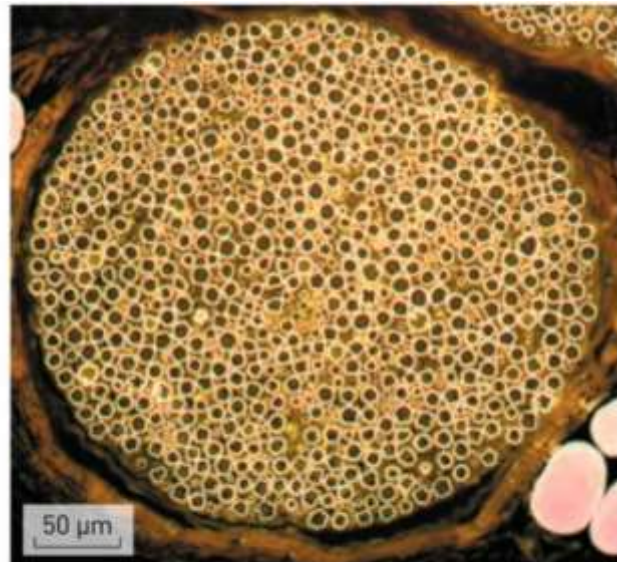
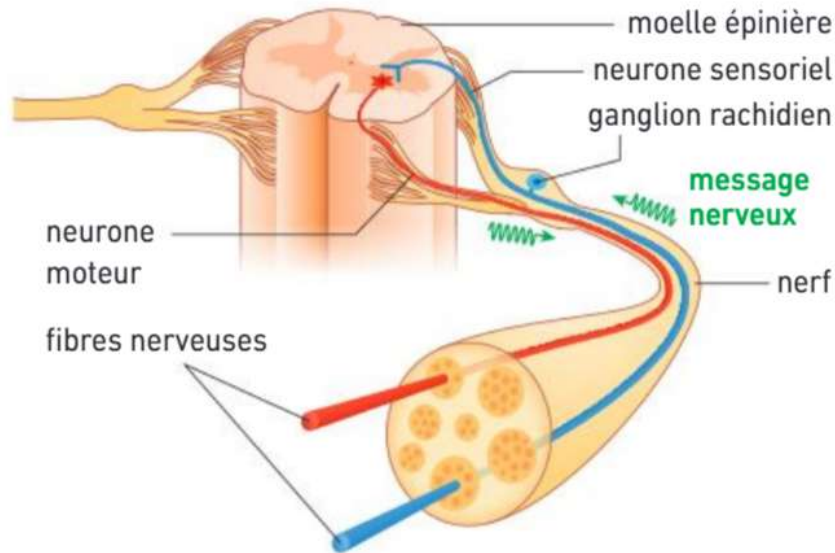




A Coupe transversale d'un nerf rachidien (microscopie optique).



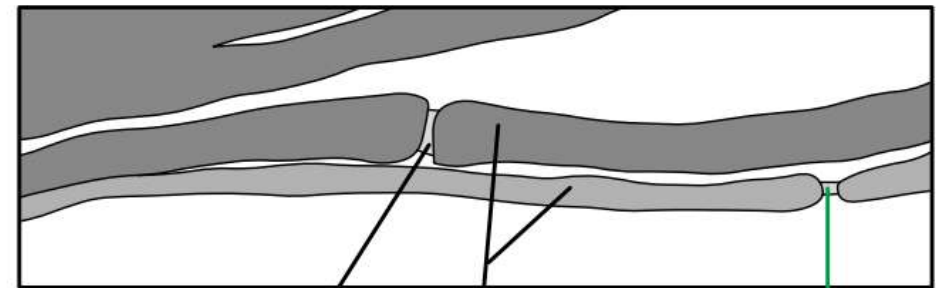
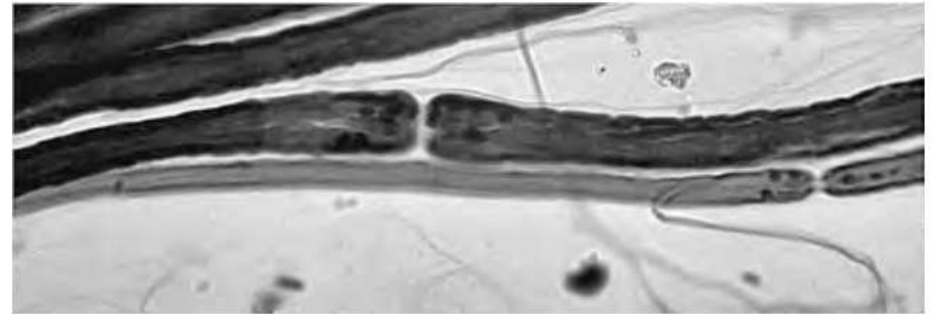
B Nerf dilacéré (microscopie optique).



A Coupe transversale d'un nerf rachidien (microscopie optique).

Nerf dilacéré X 400

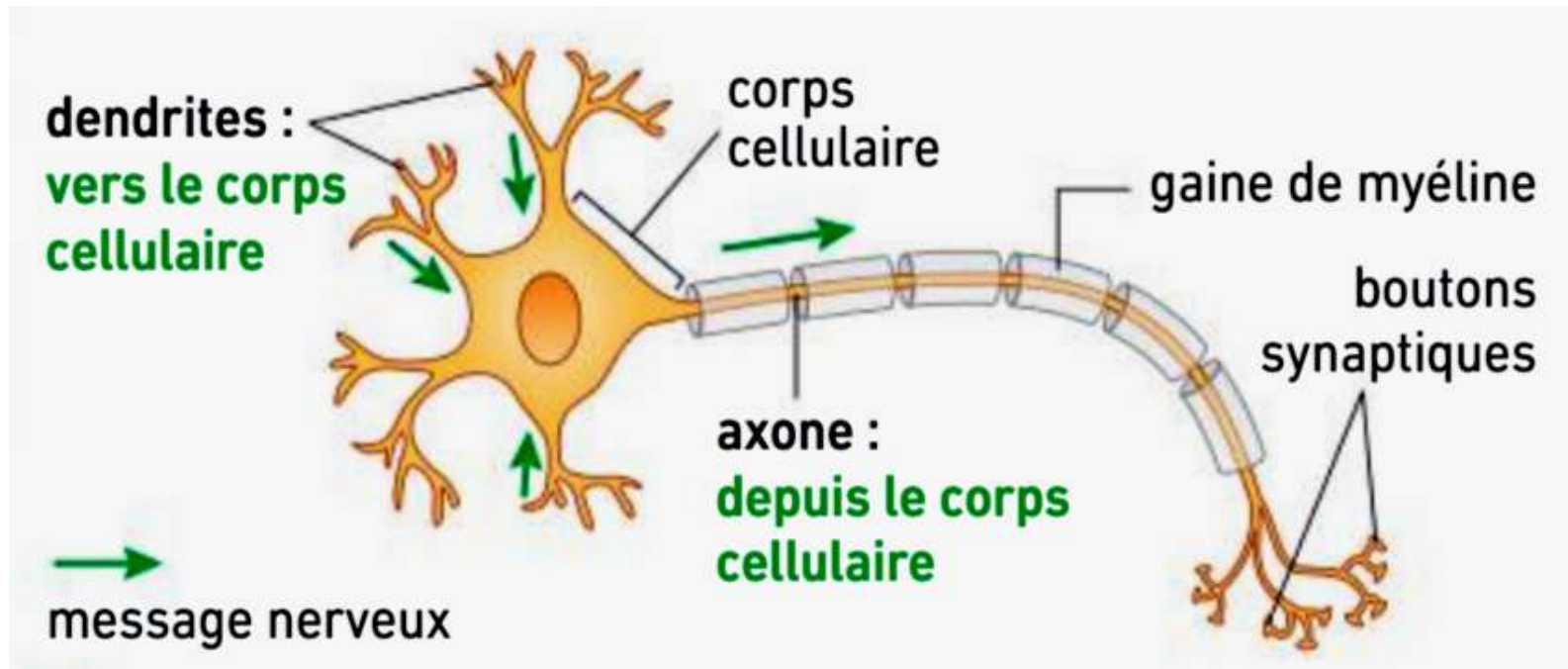
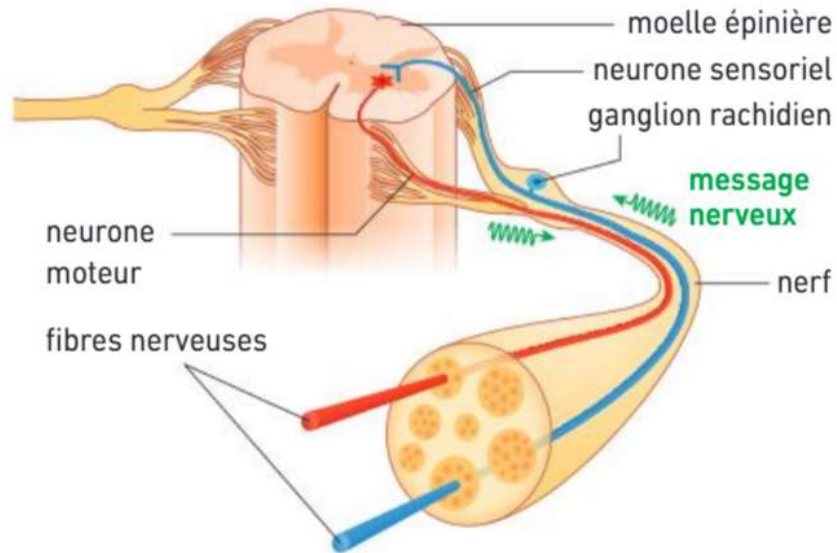
De la myéline entoure la fibre et s'interrompt au niveau de zones appelées nœuds de Ranvier.



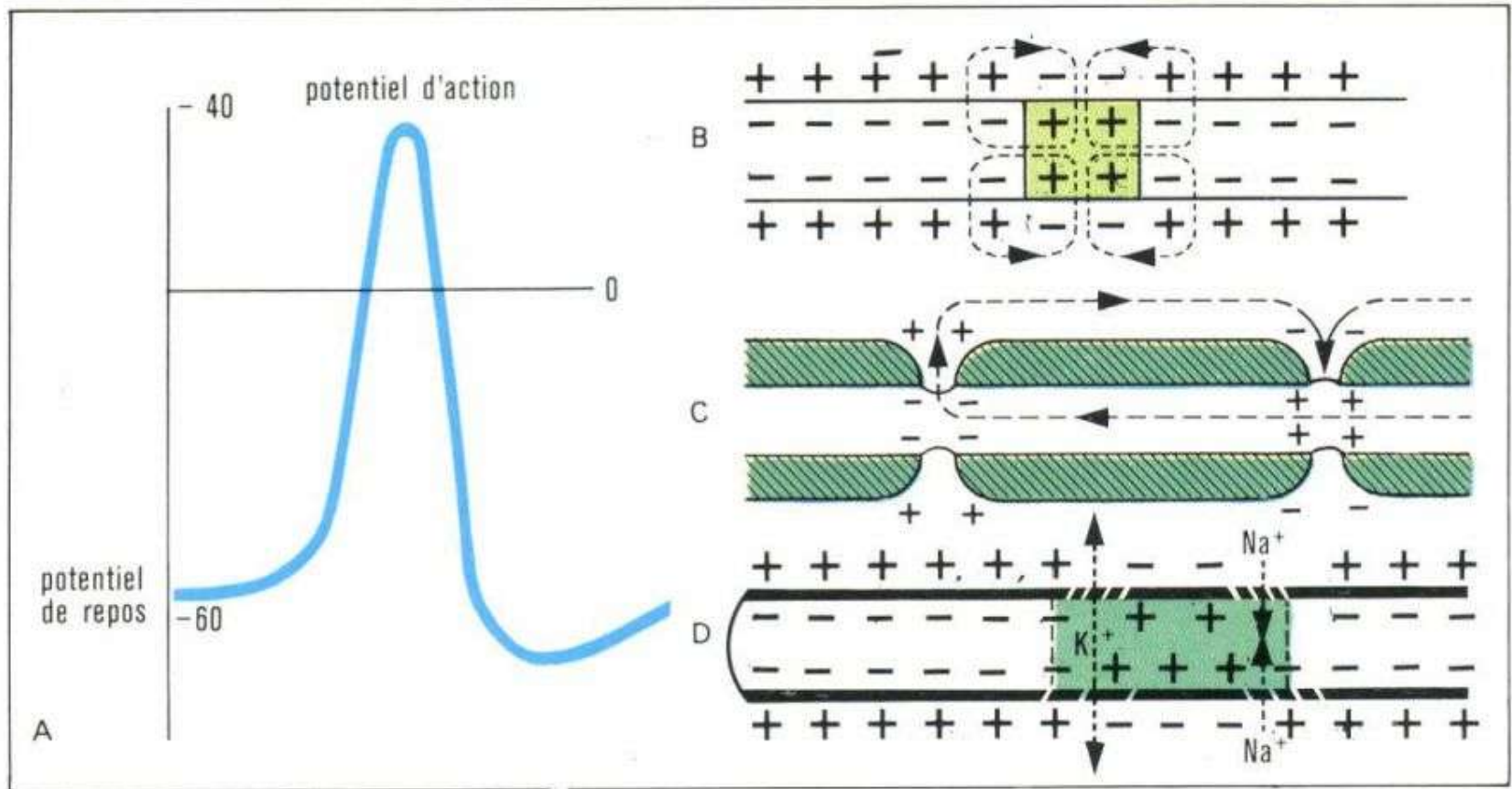
Zone sans gaine de myéline : nœud de Ranvier

Fibres nerveuses : zones entourées d'une gaine de myéline

Fibre nerveuse visible au niveau du nœud de Ranvier



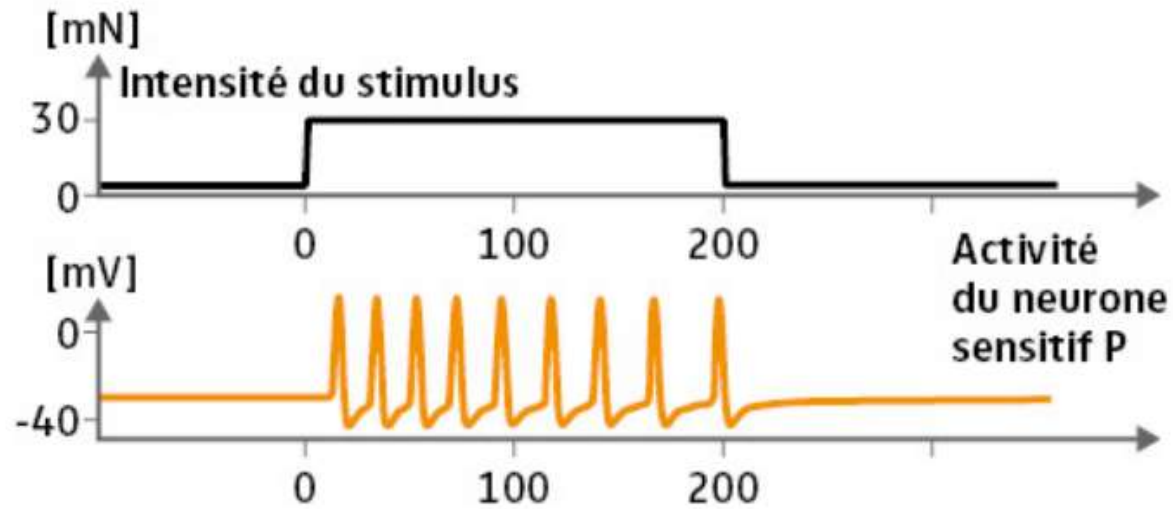
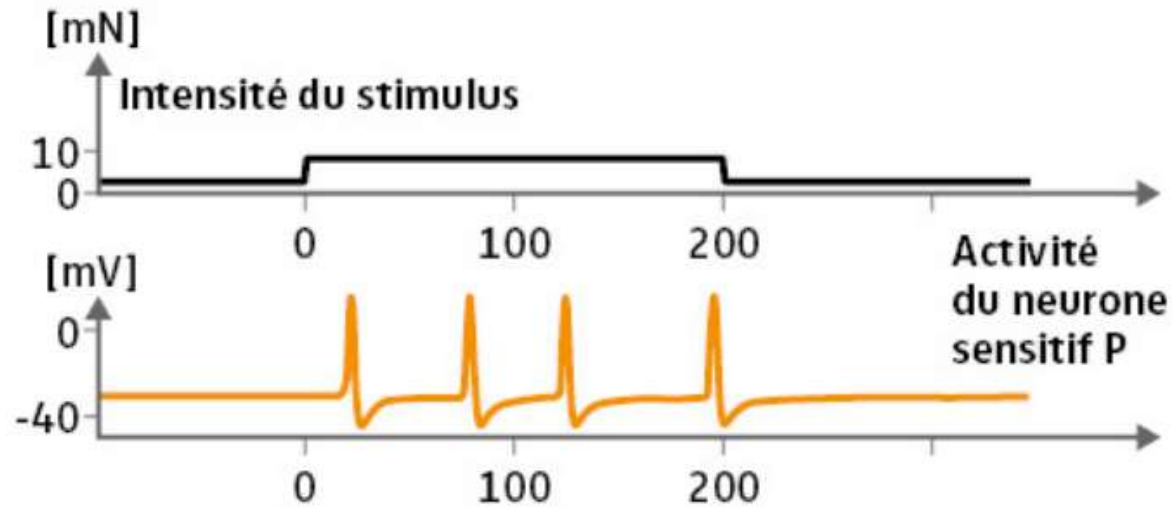
Propagation saltatoire du message nerveux (fibres myélinisées)



Potentiel d'action d'une fibre nerveuse.

- A. Potentiel de repos et potentiel d'action. Echelle des ordonnées en millivolts;
- B. Propagation continue du potentiel d'action le long d'une fibre amyélinique, par action des courants locaux;
- C. Propagation saltatoire du potentiel d'action le long d'une fibre myélinisée, d'un étranglement de Ranvier à l'autre;
- D. Origine du potentiel d'action : perméabilisation aux ions K^+ et Na^+ .

Codage en fréquence de PA



III. La stimulation efficace d'un neurone entraîne une inversion rapide et transitoire de son potentiel de membrane (potentiel d'action). Le message nerveux se **propage** le long de l'axone d'un neurone sous forme d'une série de potentiels d'action dont la **fréquence** varie proportionnellement à l'intensité de stimulation du neurone (codage électrique en fréquence)

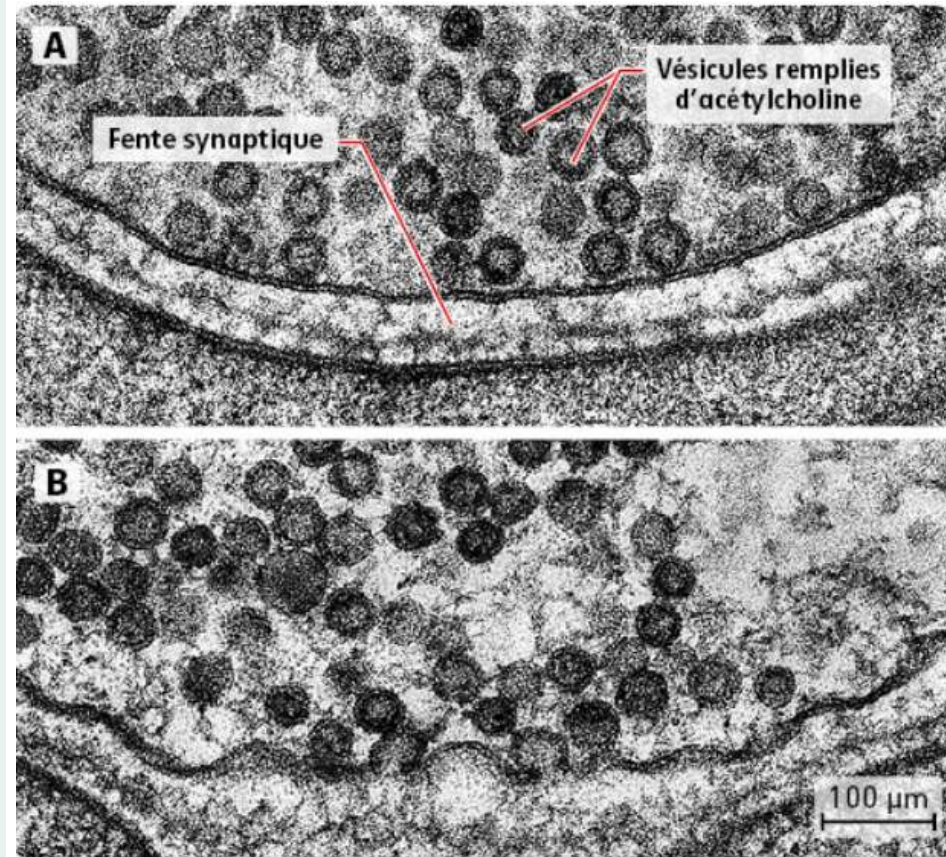
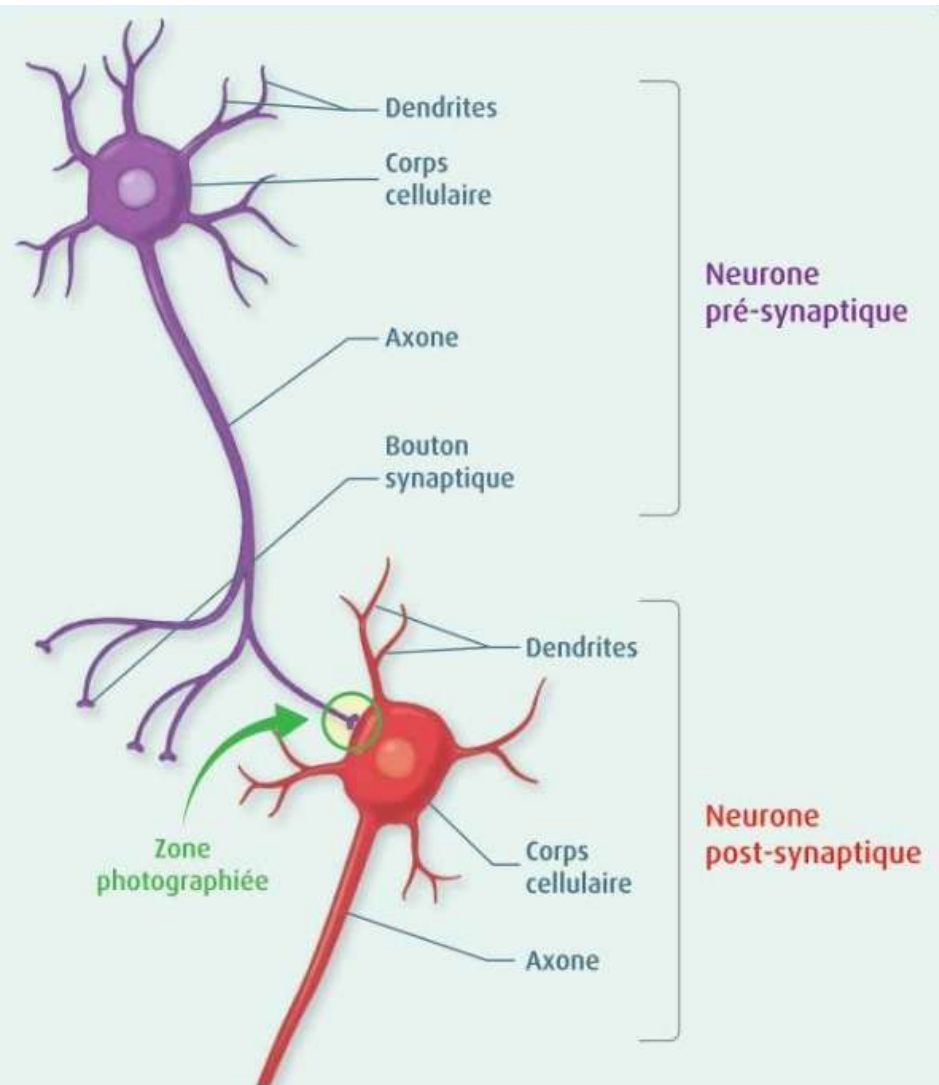
1. En dehors de toute stimulation, il existe une différence de potentiel électrique de part et d'autre de la **membrane** d'un neurone. Ce potentiel de repos atteint 70 mV, l'intérieur du neurone étant électronégatif par rapport à l'**extérieur**.

2. Lorsqu'un neurone est **stimulé** de façon efficace (la stimulation doit atteindre un certain seuil), on observe une **inversion** brève et brutale de la polarisation membranaire appelé potentiel d'action.

3. Le message nerveux est constitué d'une **série** de potentiels d'action d'amplitude **constante** (100mV) qui se propagent de proche en proche sans s'atténuer le long de la fibre **nerveuse** (vitesse voisine de 100 m/s pour l'axone d'un motoneurone)

4. La présence d'une gaine de myéline au niveau d'un axone **augmente** la vitesse de propagation du message **nerveux**. Des atteintes de cette gaine (exemple de **pathologie** : Sclérose en plaques) entraînent un ralentissement de la propagation du message nerveux, des **troubles** de la motricité et des réflexes.

5. Le message nerveux est codé par la **fréquence** des potentiels d'action qui le constituent (la fréquence des potentiels d'action augmente proportionnellement avec l'**intensité** de la stimulation).



Fonctionnement d'une synapse N-N

Message nerveux

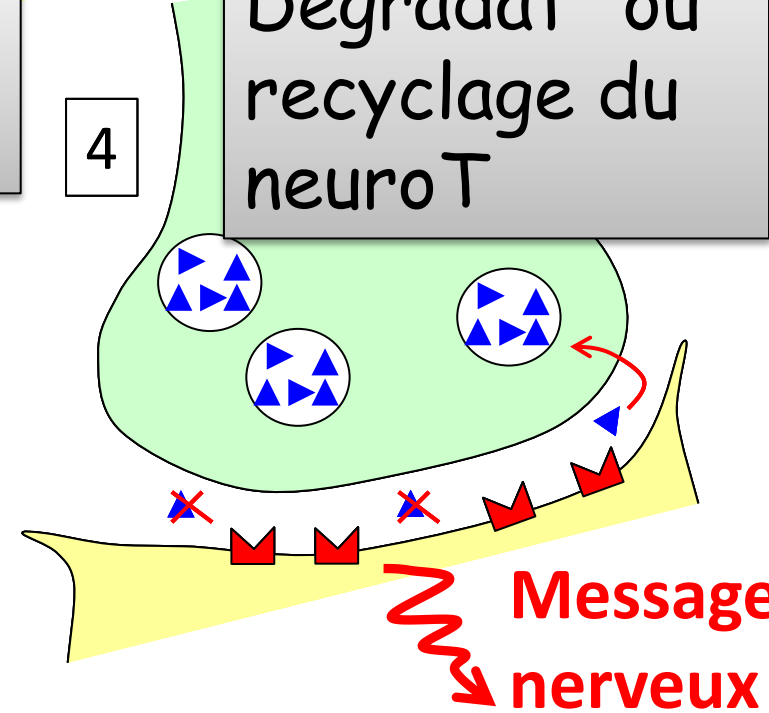
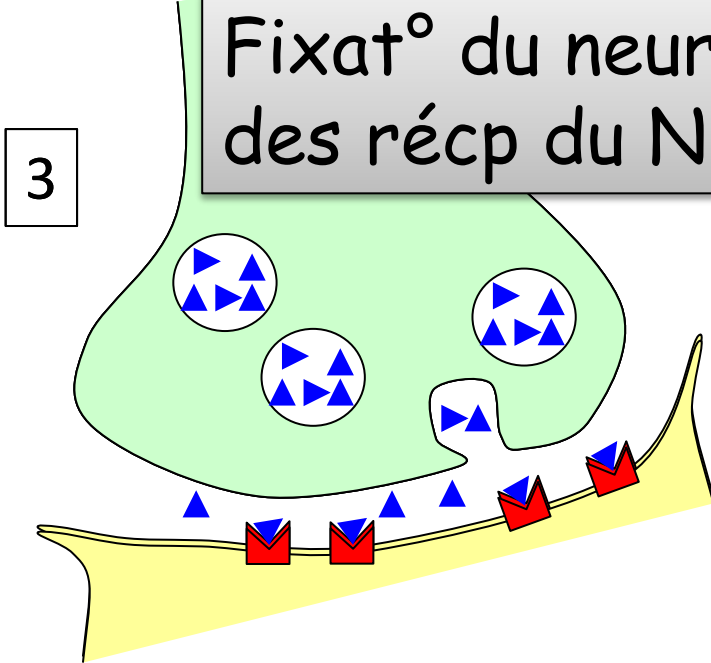
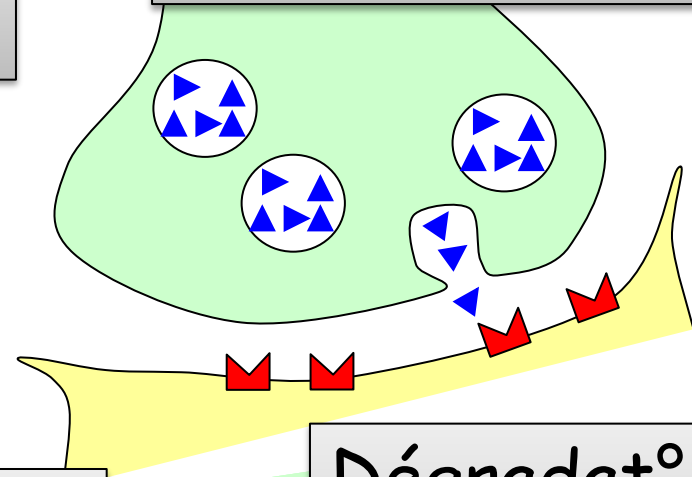
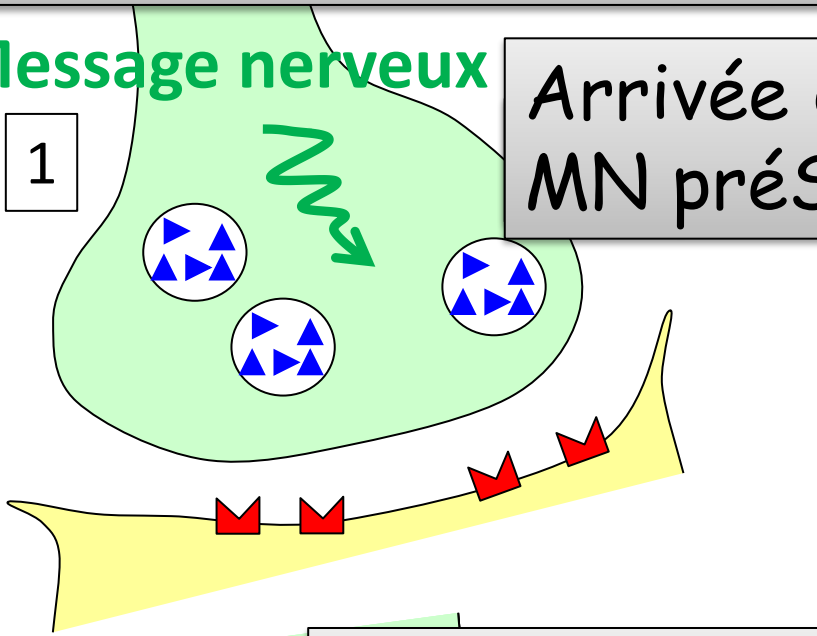
Arrivée du MN préSptiQ

Libérat° du neuroT ds la fente SptiQ

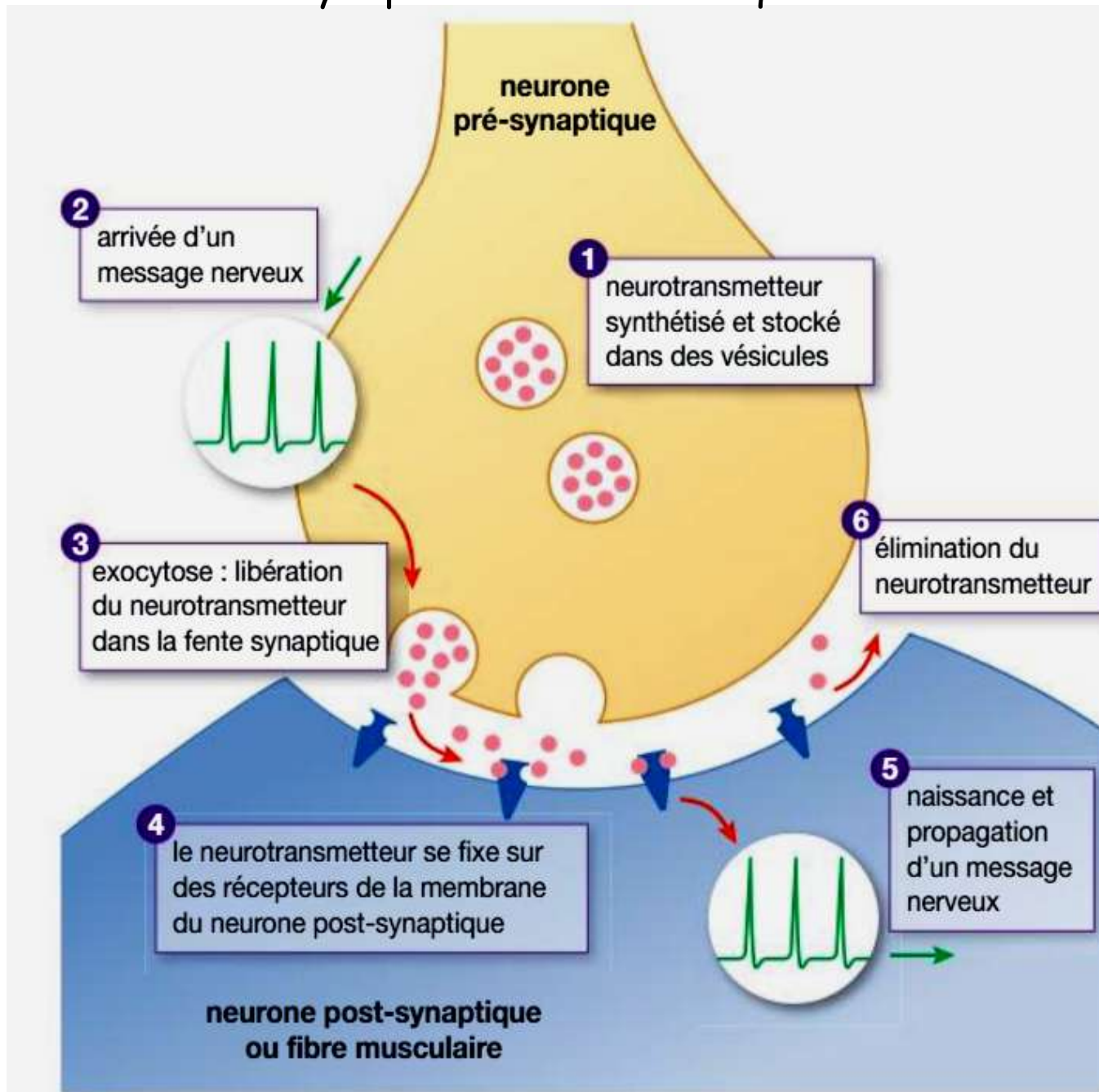
Fixat° du neuroT sur des récp du N post-S

Dégradat° ou recyclage du neuroT

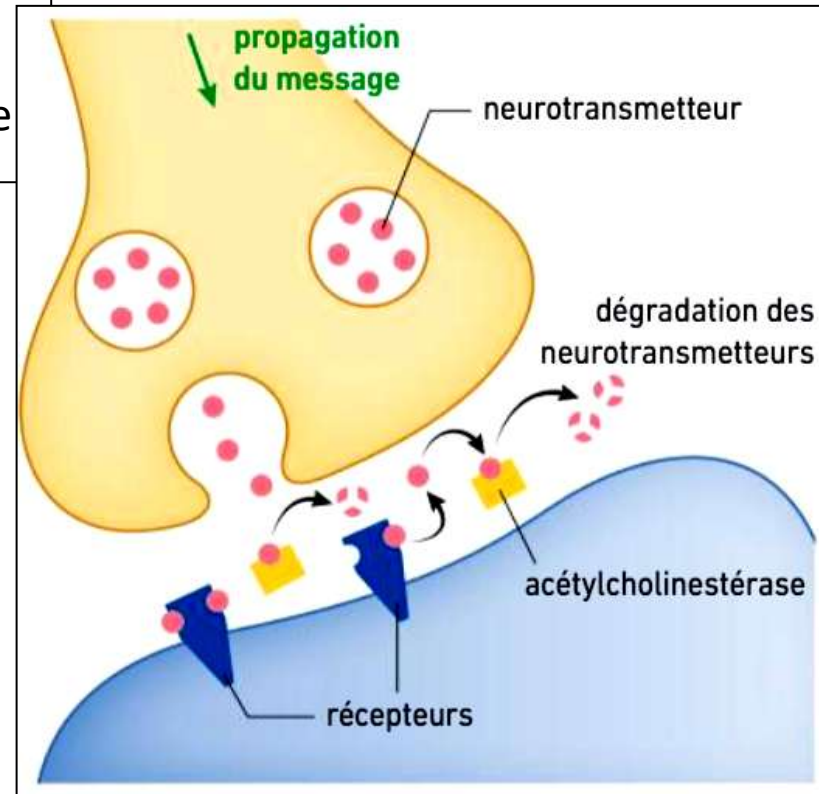
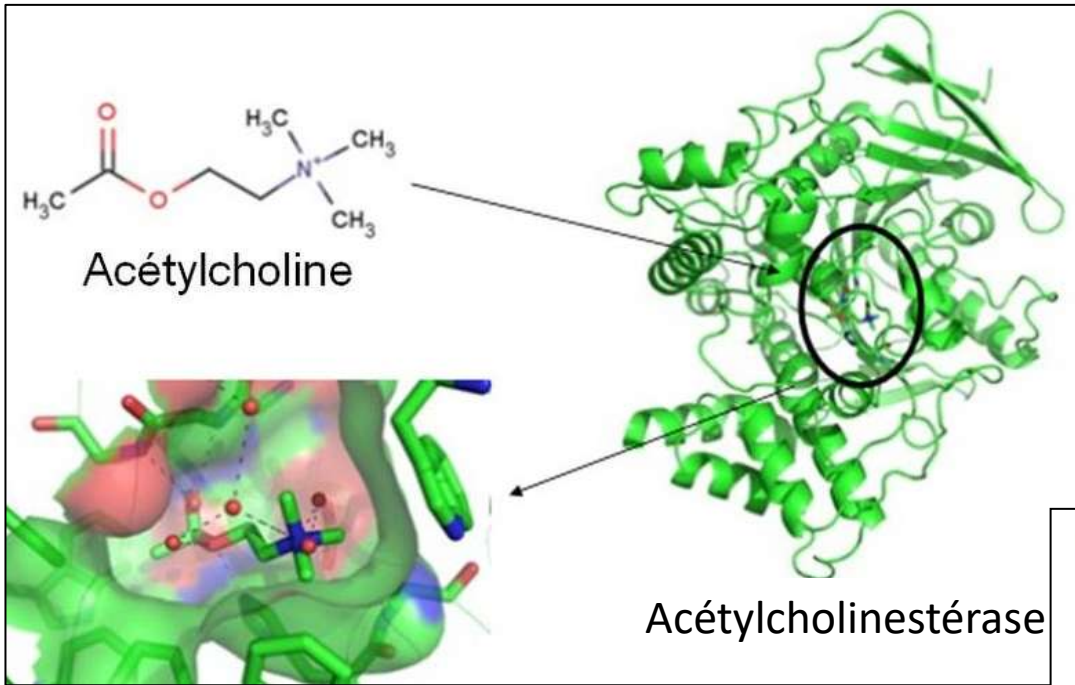
Message nerveux

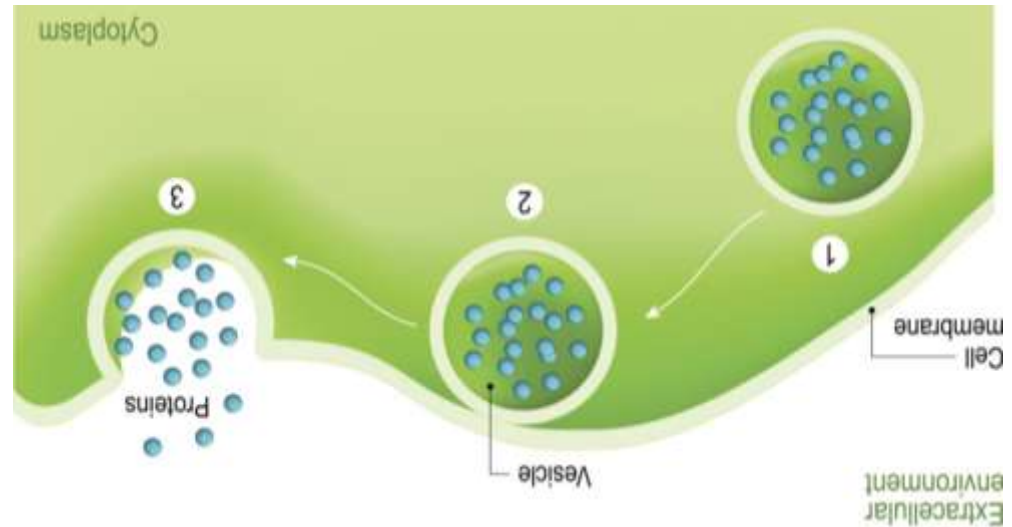
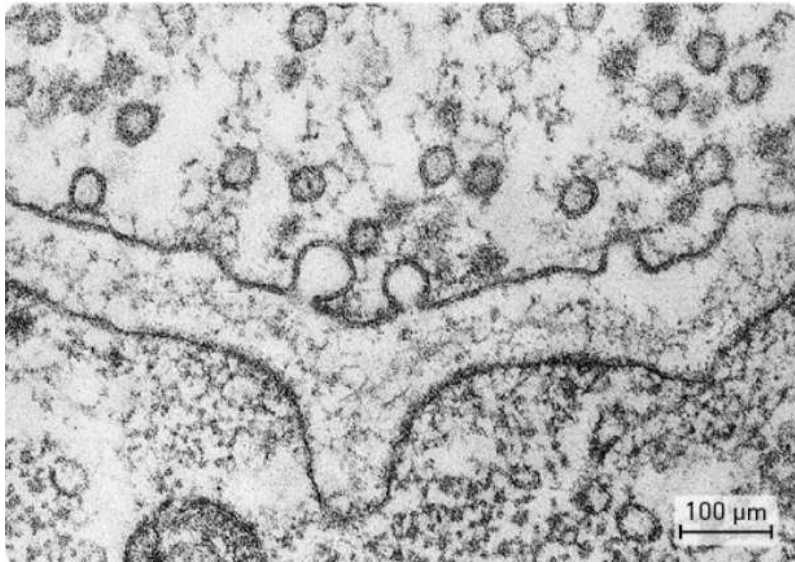
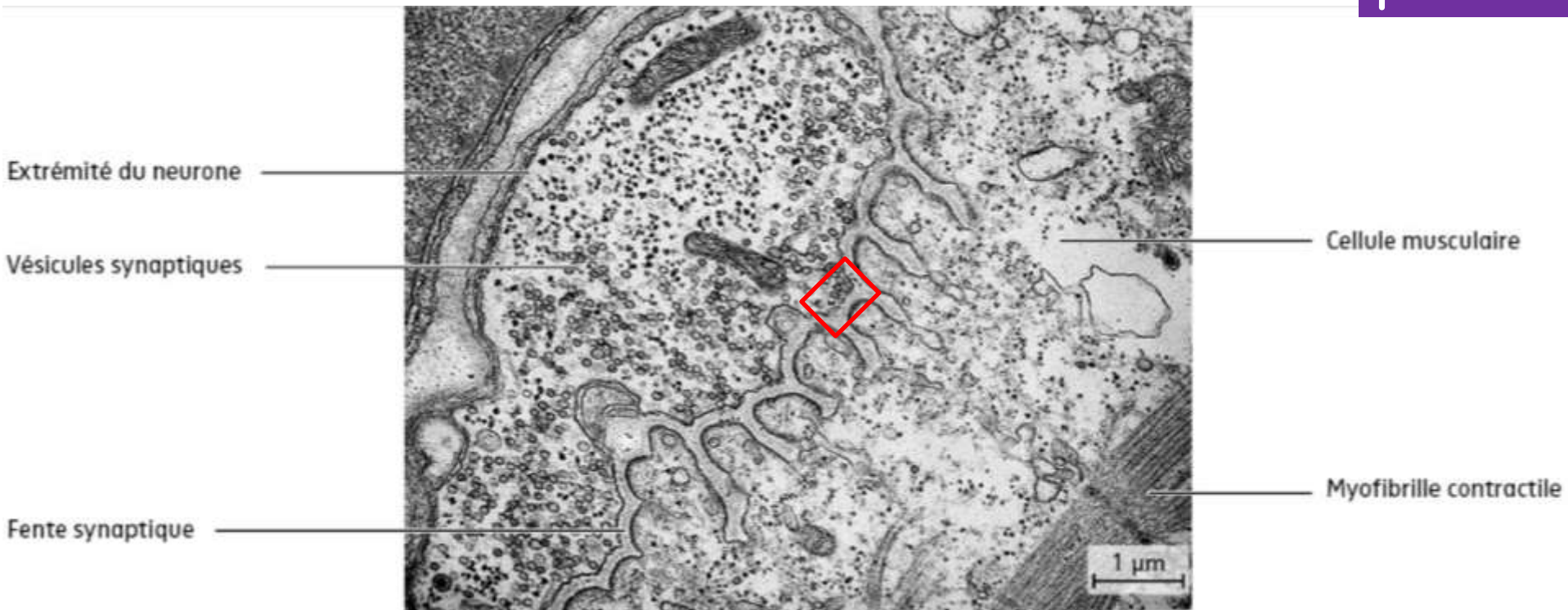


Synapse neuro-neuronique



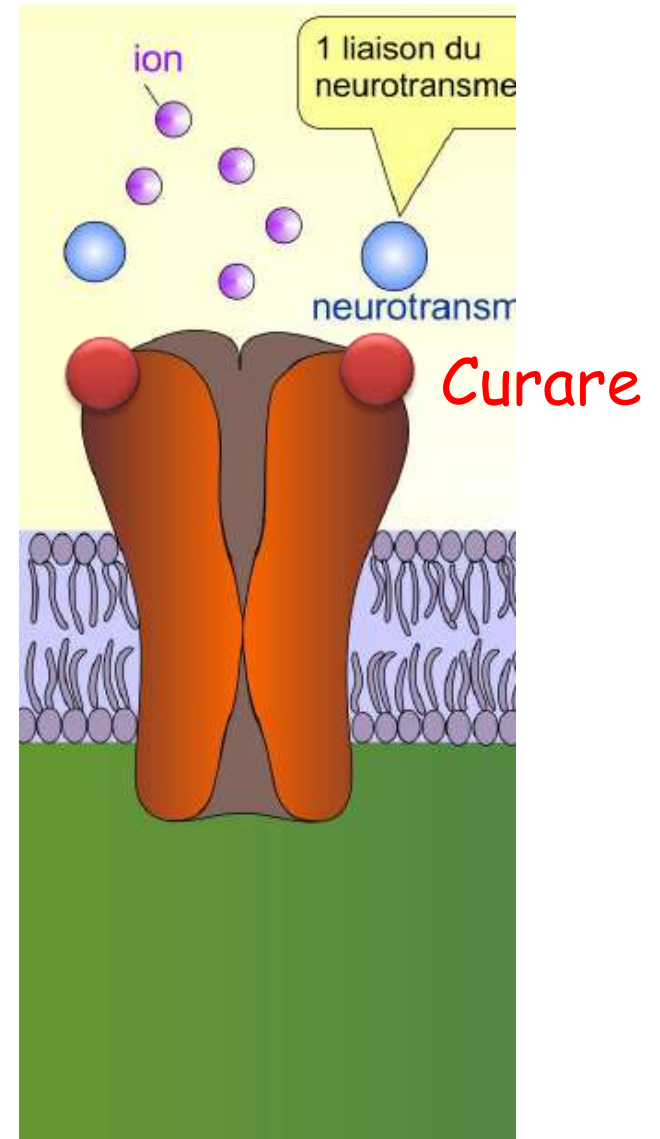
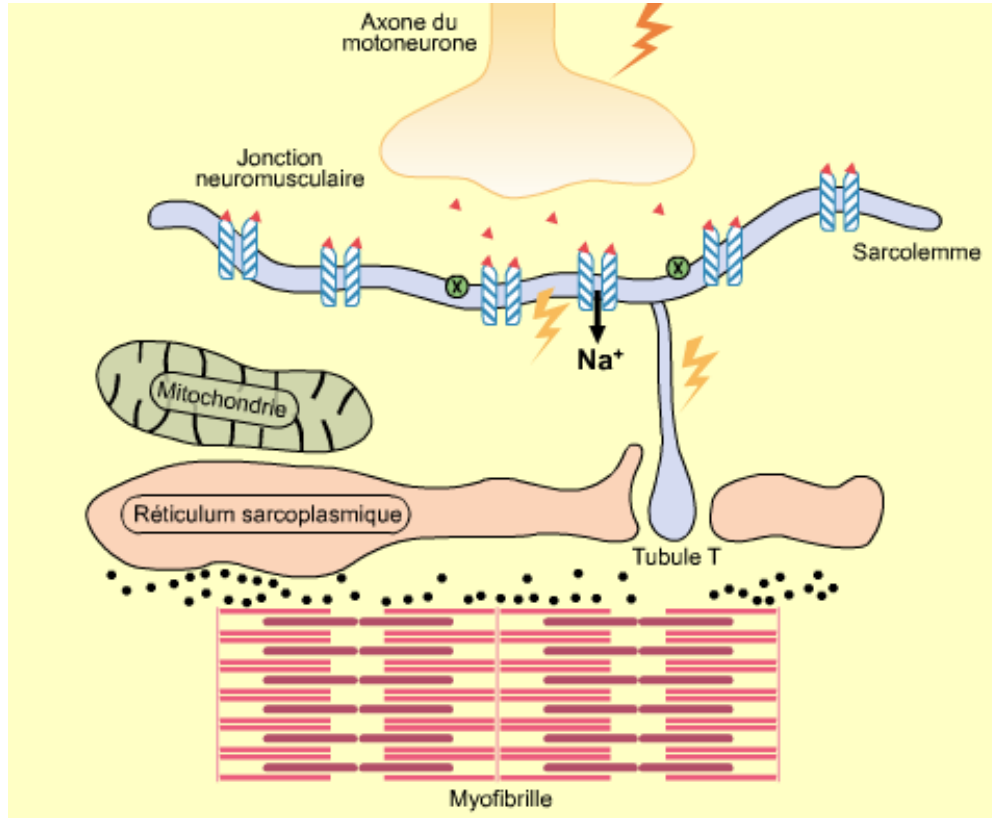
Synapse neuro-neurone





TP - Fonctionnement de la synapse neuromusculaire et effets d'une substance pharmacologique, le curare

Action antagoniste du curare sur la synapse neuromusculaire

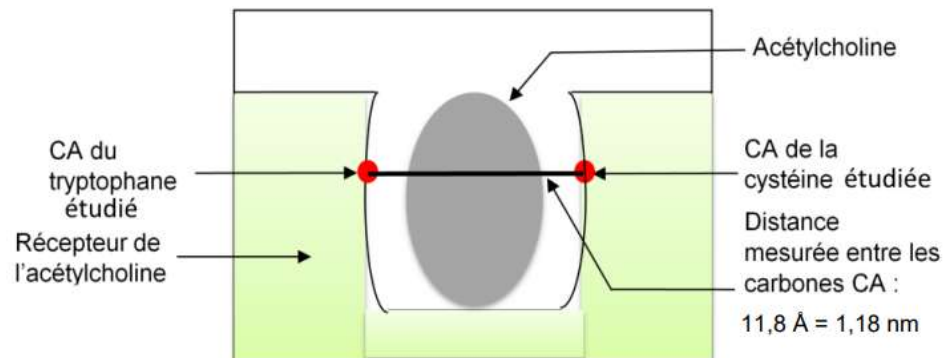


Autres substances perturbant la transmission synaptique

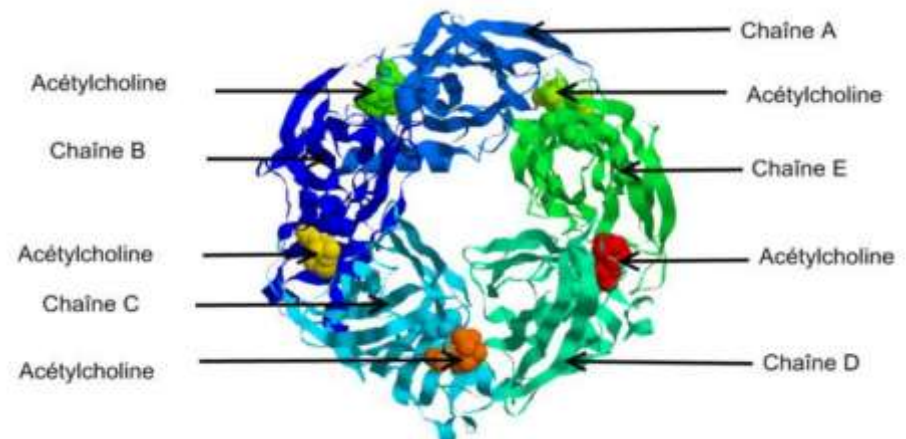
Document : Distance entre deux acides aminés des chaînes du récepteur à acétylcholine (ou nicotinique) impliquées dans la fixation de différences substances

Effet	Modèle	Couple d'acides aminés	Distance (nm)
Antagoniste	AchBP - cobratoxine	Cys187 - Trp143	1,63
	AchBP - conotoxine	Cys190 - Trp147	1,87
	AchBP - curare	Cys188 - Trp145	1,71
	AchBP - strychnine	Cys188 - Trp145	1,34
Agoniste	AchBP - épibatidine	Cys190 - Trp147	1,17
	AchBP - nicotine	Cys187 - Trp143	1,22
	AchBPmut - acétylcholine	Cys188 - Trp145	1,18

Distance des 2 acides aminés du récepteur à Ach



Récepteur à Ach + Ach



Autres substances perturbant la transmission synaptique
Cobratoxine (Antagoniste)



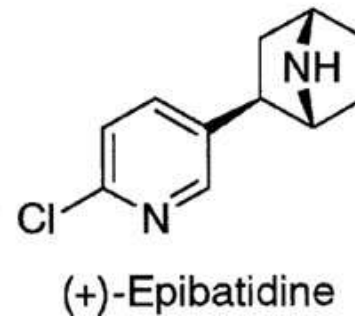
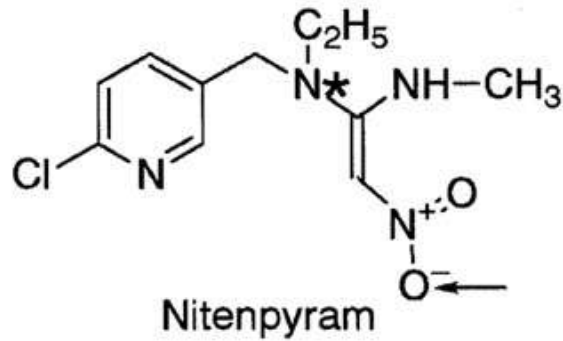
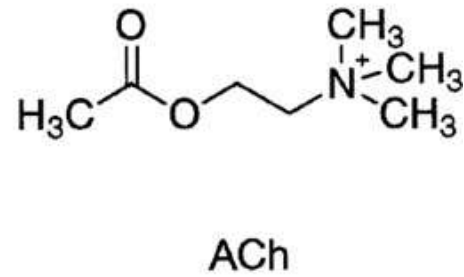
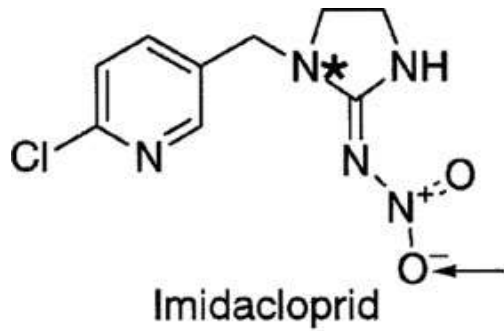
Autres substances perturbant la transmission synaptique

Epibatidine (Agoniste)

C'est un agoniste des récepteurs de la nicotine, avec une action analgésique environ deux cents fois plus puissante que celle de la morphine



Autres substances perturbant la transmission synaptique



Les néonicotinoïdes, insecticides «tueurs d'abeilles»

Utilisés depuis les années 1990

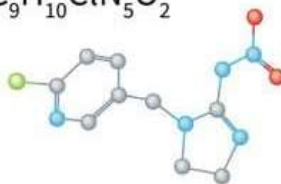
1/3 des ventes de pesticides dans le monde



- S'attaquent au système nerveux central des abeilles et les désorientent
- Accusés d'altérer le sperme des mâles
- Se retrouvent dans le pollen, le nectar, le feuillage, dans l'eau et le sol

Ensemble de 7 insecticides neurotoxiques dont

Imidaclopride

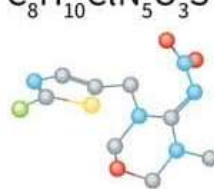
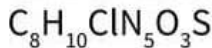


Bayer

• Gaucho

• Confidor

Thiamethoxame

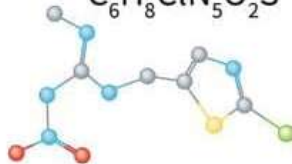


Syngenta

• Cruiser

• Actara

Clothianidine



**Bayer
Sumitomo
Chemical
Takeda**

• Poncho

• Cheyenne

• Dantop

• Santana

Sources : Ministère de l'Agriculture, ANSES, Ineris, Greenpeace

Substances	Action au niveau de la transmission synaptique
Toxine botulique, toxine sécrétée par <i>Clostridium botulinum</i>, bactérie responsable du botulisme.	Blocage de l'exocytose des molécules d'acétylcholine.
Néostigmine, pyridostigmine, molécules rentrant dans la composition de médicaments.	Blocage de l'action de l'acétylcholinestérase, ce qui augmente la concentration en acétylcholine dans la fente synaptique. Elle est utilisée dans le traitement de la myasthénie, maladie due à un dysfonctionnement des synapses neuromusculaires, se caractérisant par une faiblesse musculaire et une fatigabilité excessive.
Les gaz de combat, mis au point au XX^e siècle, tels que le sarin, actuellement interdits par l'ONU.	Blocage de l'action de l'acétylcholinestérase.
Les organo-phosphorés, pesticides utilisés en milieu agricole comme insecticides, pouvant être à l'origine d'une intoxication aiguë suite à la pénétration dans l'organisme, entre autre par voie cutanée, lors des expositions professionnelles.	Blocage de l'action de l'acétylcholinestérase.

Rôle du calcium dans la contraction musculaire

Réaliser une expérience montrant l'action du calcium sur des cellules musculaires

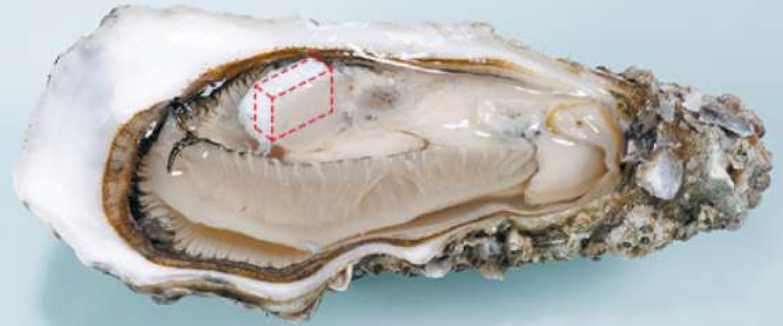


Mettre en évidence l'action du calcium sur des cellules musculaires

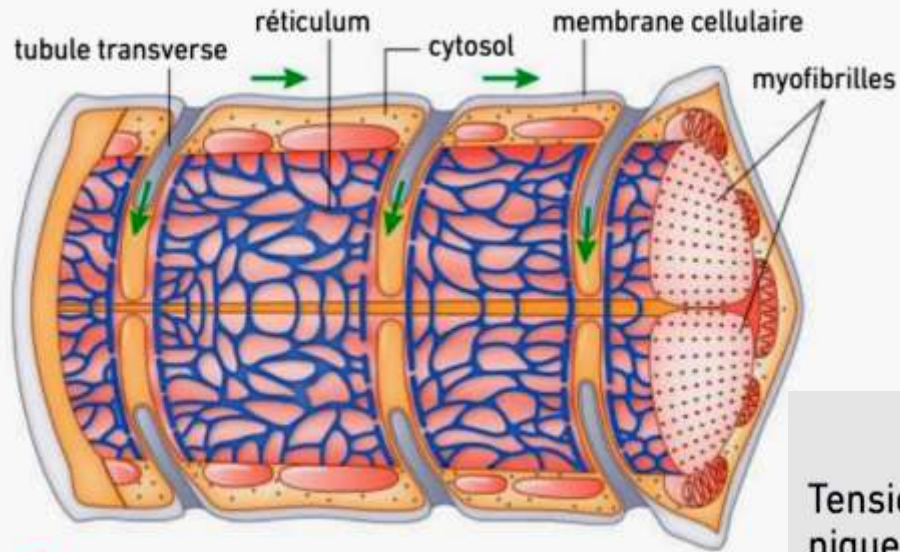


PRINCIPE

Des cellules musculaires sont prélevées sur un muscle adducteur d'huître. On dépose ensuite dessus une solution saline physiologique (NaCl 0,9 %) ou une solution de calcium (CaCl_2 5 %).

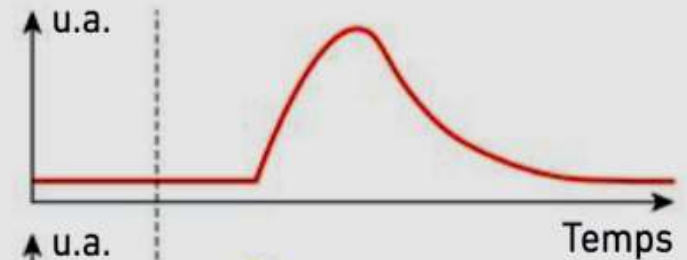


8 Effet du calcium sur les cellules musculaires.



B Structure d'une fibre musculaire.

Tension mécanique de la fibre musculaire



Taux de calcium dans le cytosol (cytoplasme des fibres musculaires)

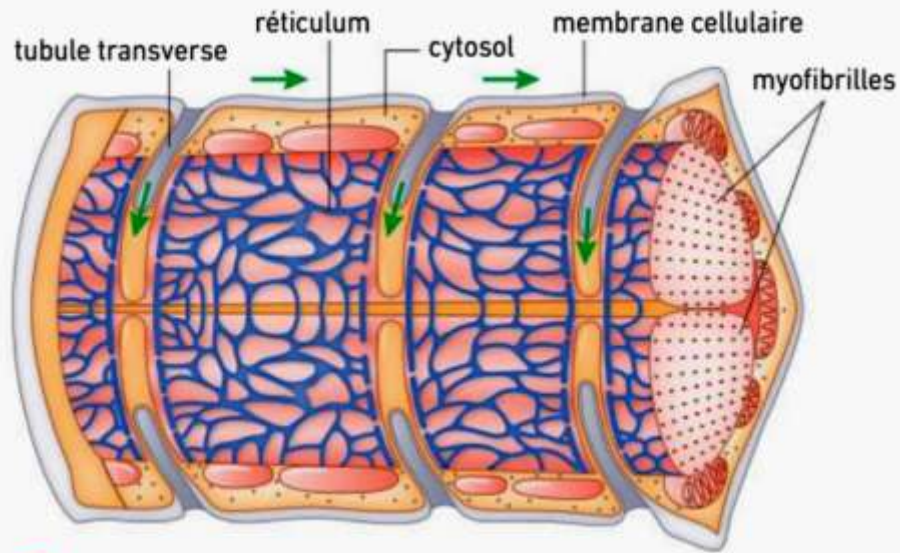


Potentiel membranaire de la fibre musculaire

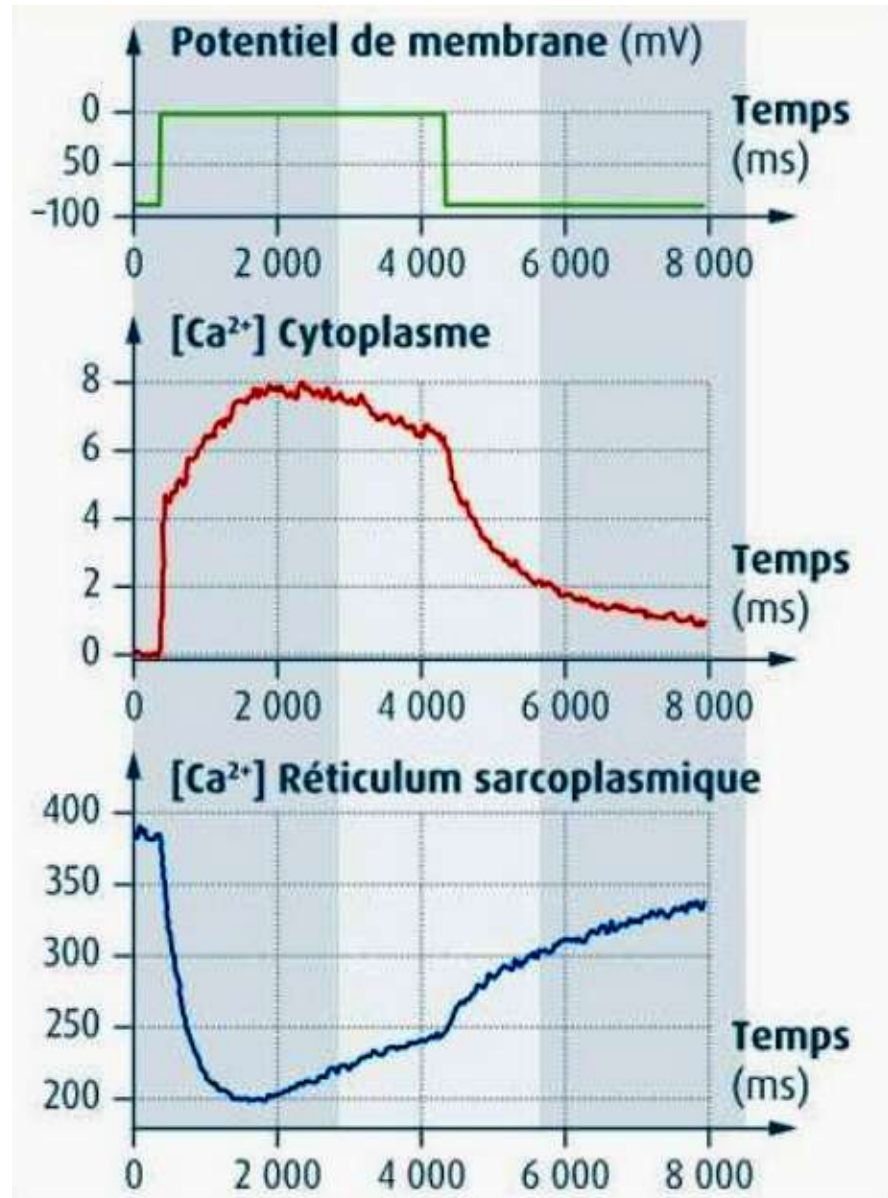


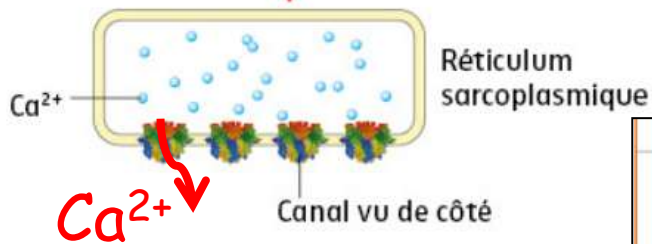
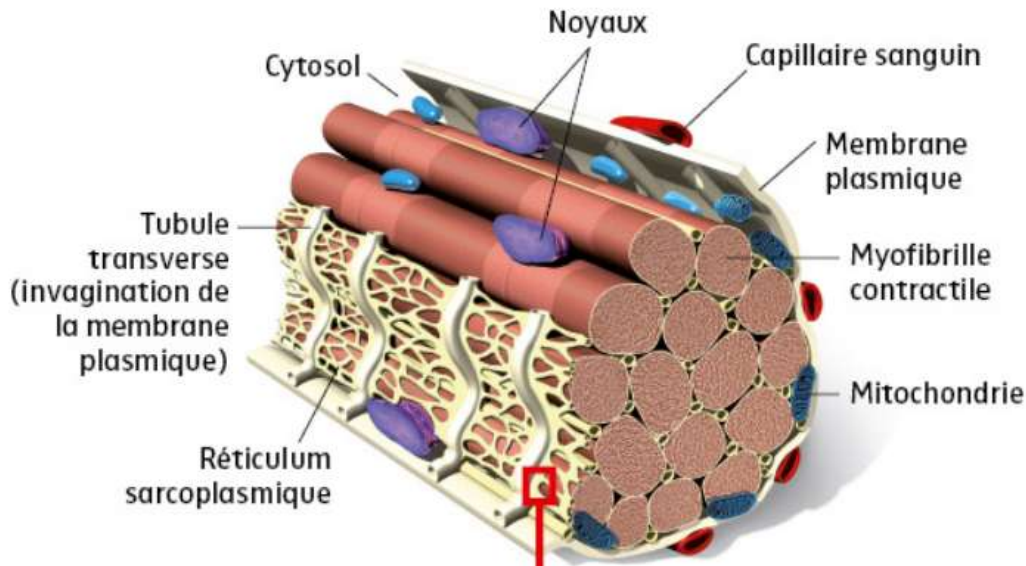
stimulation de l'axone

A Mesures effectuées au niveau d'une fibre musculaire à la suite de la stimulation de l'axone d'un neurone moteur.

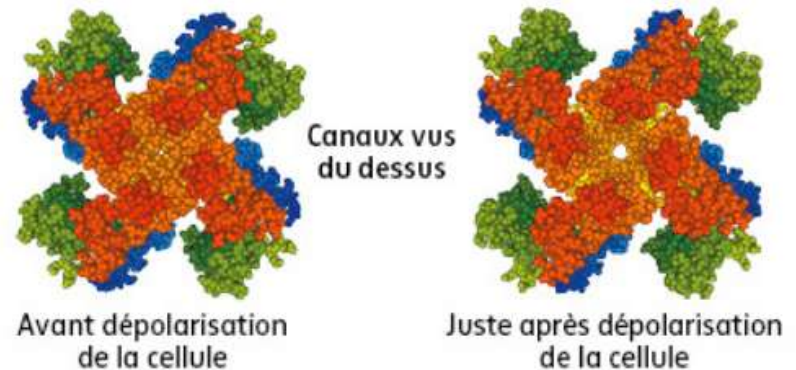


B Structure d'une fibre musculaire.

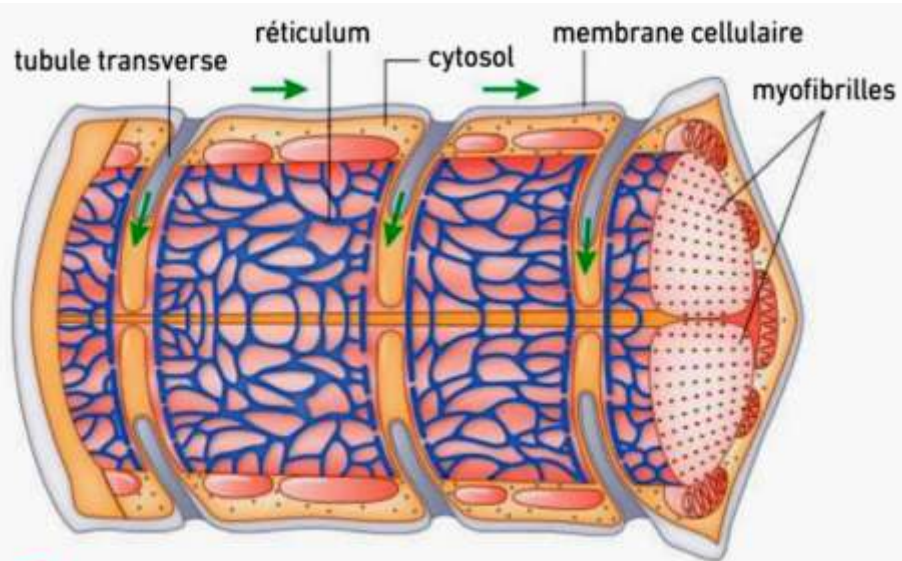




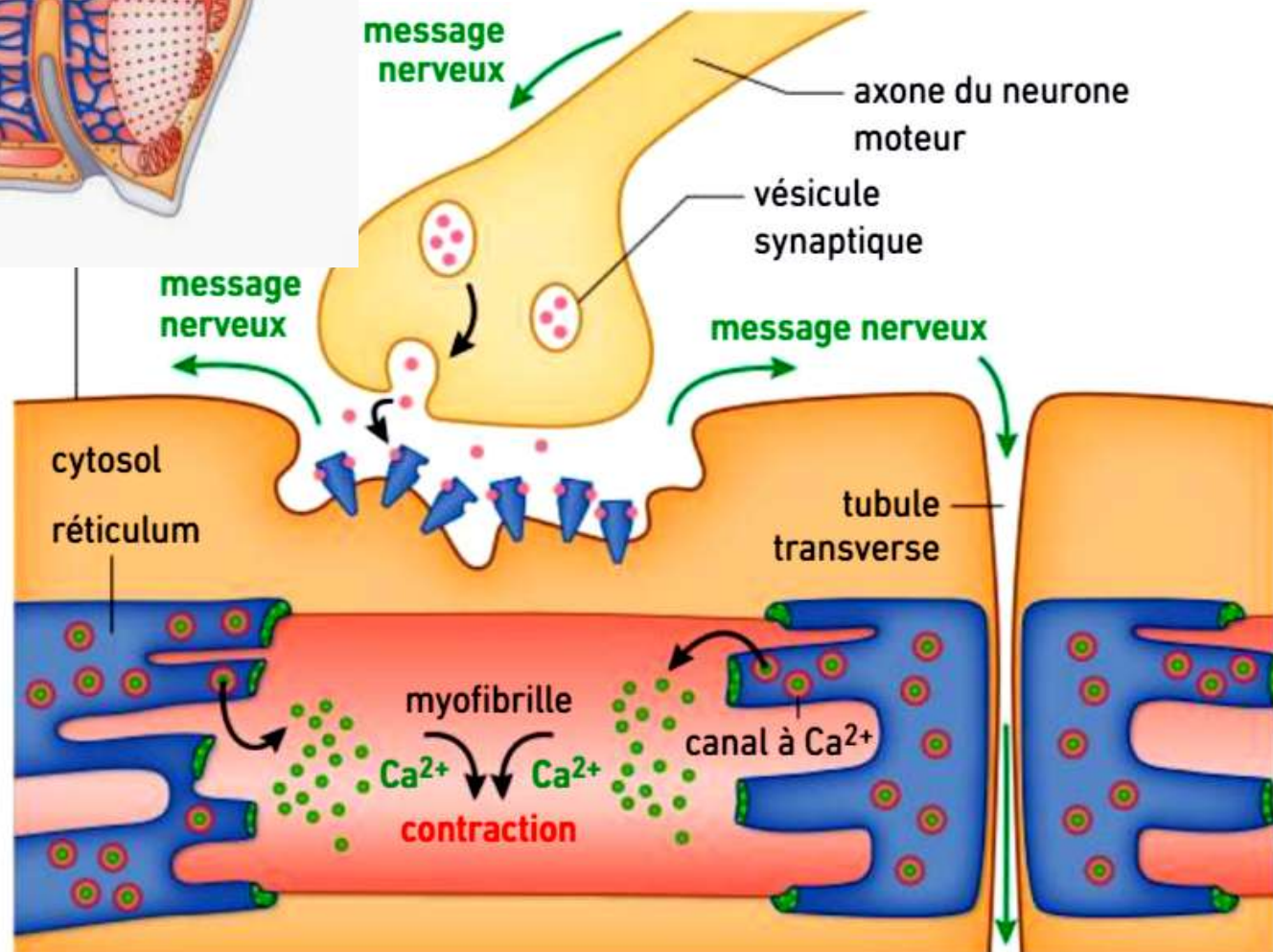
7 Structure de la cellule musculaire.



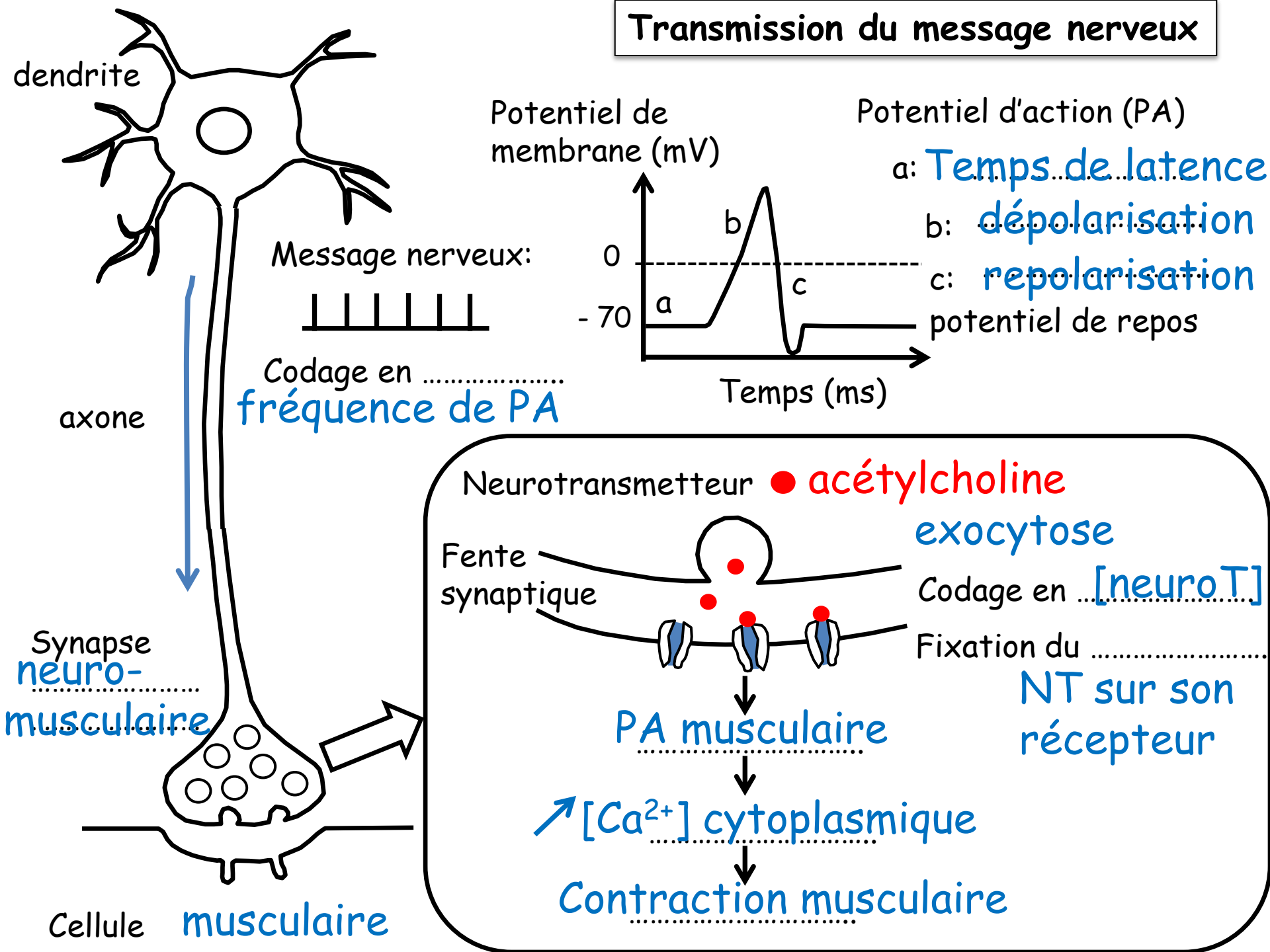
6 Canaux calciques du réticulum sarcoplasmique.



B Structure d'une fibre musculaire.



Transmission du message nerveux



III. Qu'il s'agisse d'une synapse neuro-neuronique ou d'une synapse neuromusculaire, la **transmission** du message s'effectue par le biais d'une substance chimique (**neurotransmetteur**). Au niveau d'une synapse, l'intensité du message est codé par la **concentration** en neurotransmetteur (codage chimique en concentration)

1. La zone de connexion entre les deux **neurones** (sensitif et moteur) est une synapse neuro-neuronique. Celle entre le neurone moteur et la fibre **musculaire** effectrice est une synapse neuromusculaire (SNM).

2. L'arrivée des potentiels d'action au niveau d'une terminaison axonique (pré-synaptique) entraîne la **libération** par exocytose d'une substance chimique (neurotransmetteur = NT) dans la fente **synaptique** (espace séparant la terminaison axonique pré-synaptique de l'élément post-synaptique, neurone ou fibre musculaire). L'**acétylcholine** (=Ach) est le NT impliqué dans le fonctionnement du réflexe myotatique.

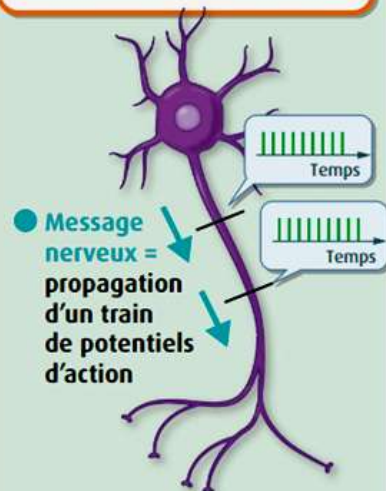
3. Les molécules du NT se fixent sur des **récepteurs** membranaires de l'élément post-synaptique. Si la quantité de NT libéré est **suffisante**, cette fixation déclenche la formation de potentiels d'action au niveau de l'élément post-synaptique et donc la transmission du message nerveux.

4. Après fixation sur son **récepteur**, l'Ach est libérée puis hydrolysée par une **enzyme** (l'acetylcholinestérase). Ceci est indispensable pour mettre fin à l'action du NT et restaurer les conditions initiales nécessaires à la transmission d'un nouveau message.
5. Au niveau des synapses, c'est la concentration en NT libéré dans l'espace synaptique qui constitue le **codage** du message : plus la **concentration** en Ach est importante, plus la fréquence des potentiels d'action du message post synaptique est **élevée**.

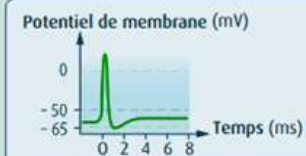
6. Dans le cas d'une SNM, la fixation de l'Ach entraîne au niveau de la fibre musculaire l'apparition de potentiels d'action. Ceux-ci, en provoquant l'ouverture de protéines membranaires jouant le rôle de canaux ioniques, entraîne le passage des ions calcium du réticulum sarcoplasmique (réseau de cavités cytoplasmiques) vers le cytoplasme des cellules musculaires. C'est l'augmentation de la concentration cytoplasmique en calcium qui provoque la contraction musculaire.

7. Des substances chimiques exogènes peuvent **perturber** le fonctionnement synaptique : Certaines, comme le curare, se fixent sur les **récepteurs** de l'Ach sans générer de potentiel d'action (**antagoniste** de l'Ach). D'autres, comme la nicotine, se fixent sur les récepteurs en générant des potentiels d'action (**agoniste** de l'Ach). D'autres, comme certains insecticides neurotoxiques, sont des inhibiteurs de l'acetylcholinestérase.

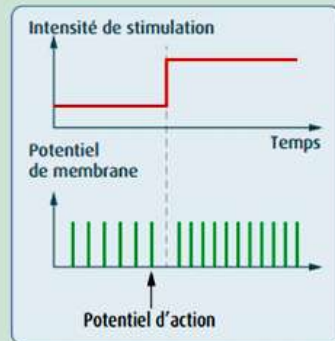
Le message nerveux



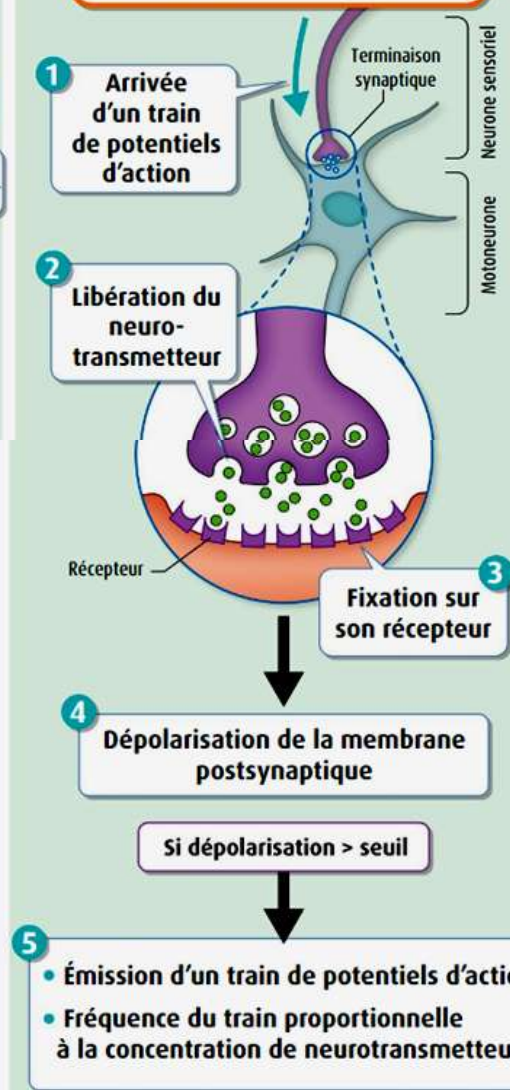
- **Potentiel d'action** = dépolarisation transitoire de la membrane



- **Codage en fréquence**



Transmission synaptique du message nerveux



Codage en concentration

Message nerveux et contraction musculaire

