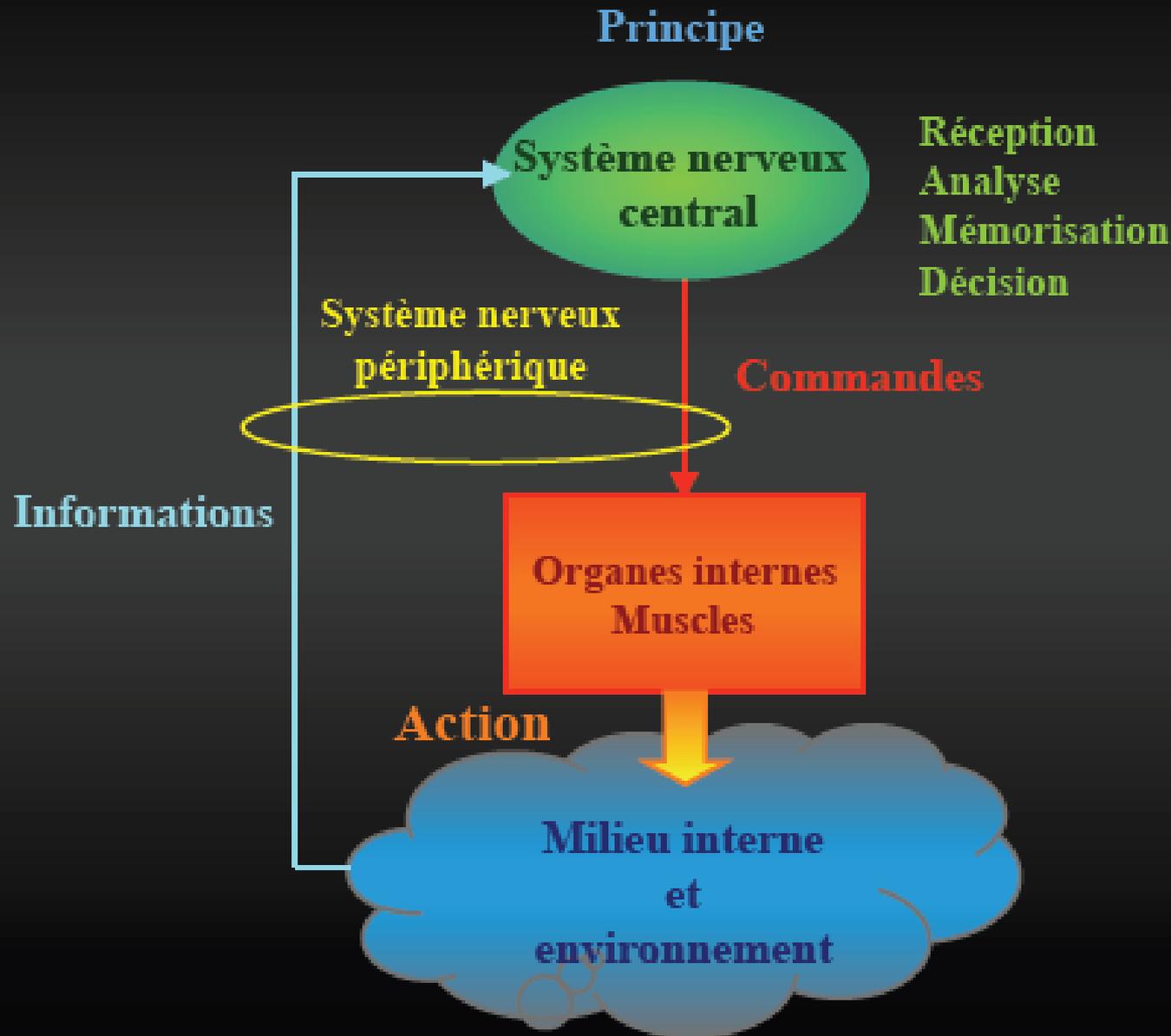
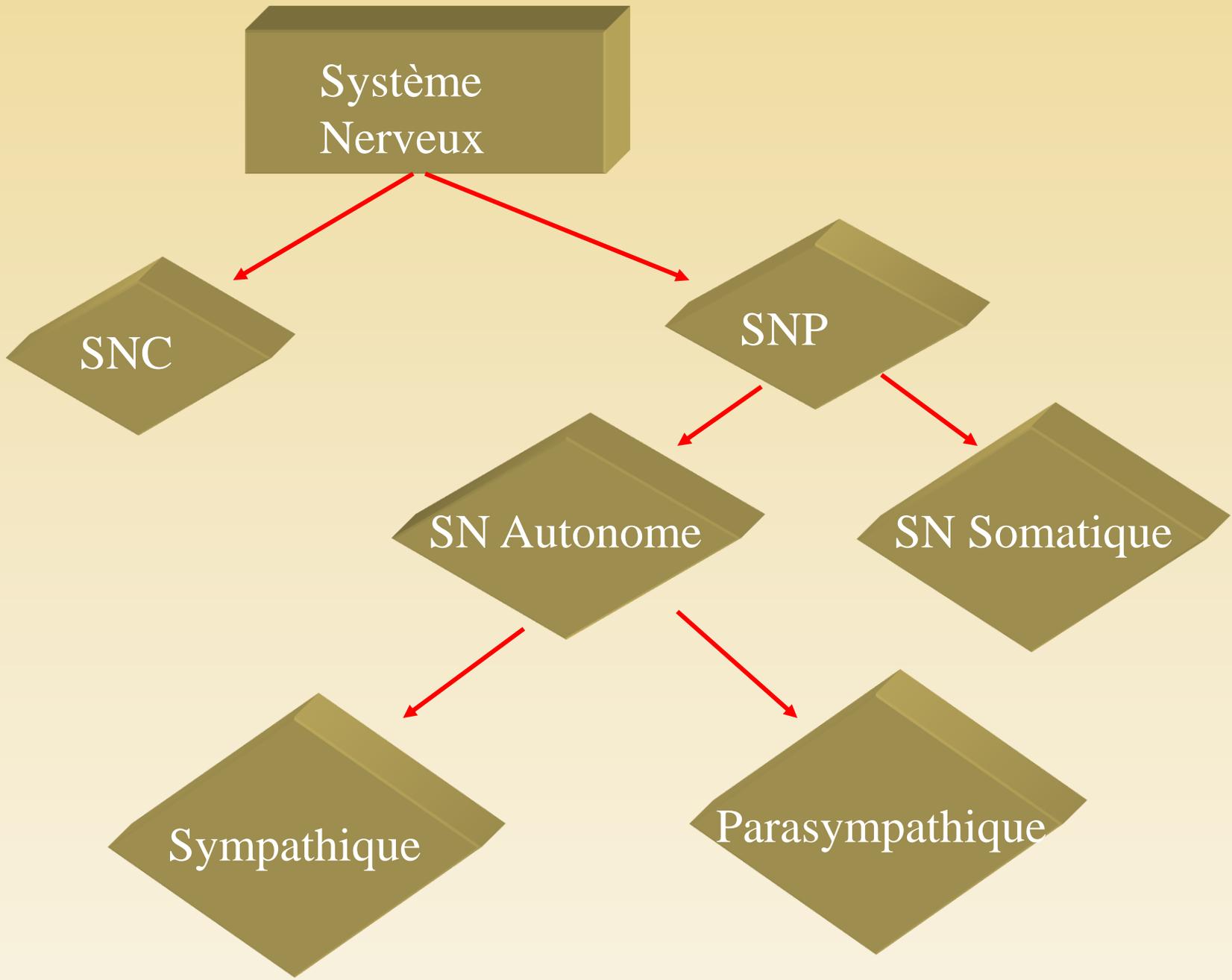


SYSTÈME NERVEUX

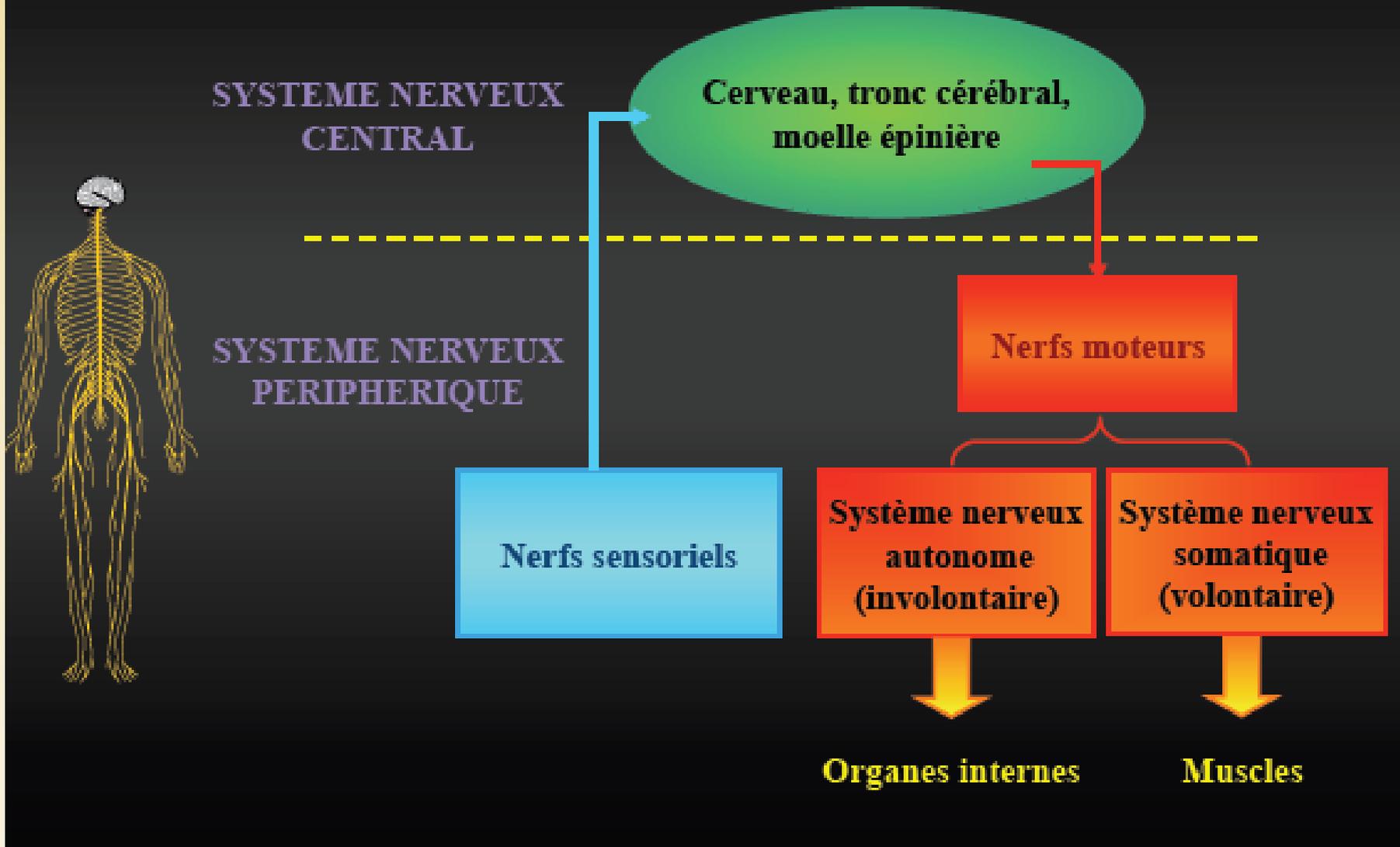


1. Le système nerveux

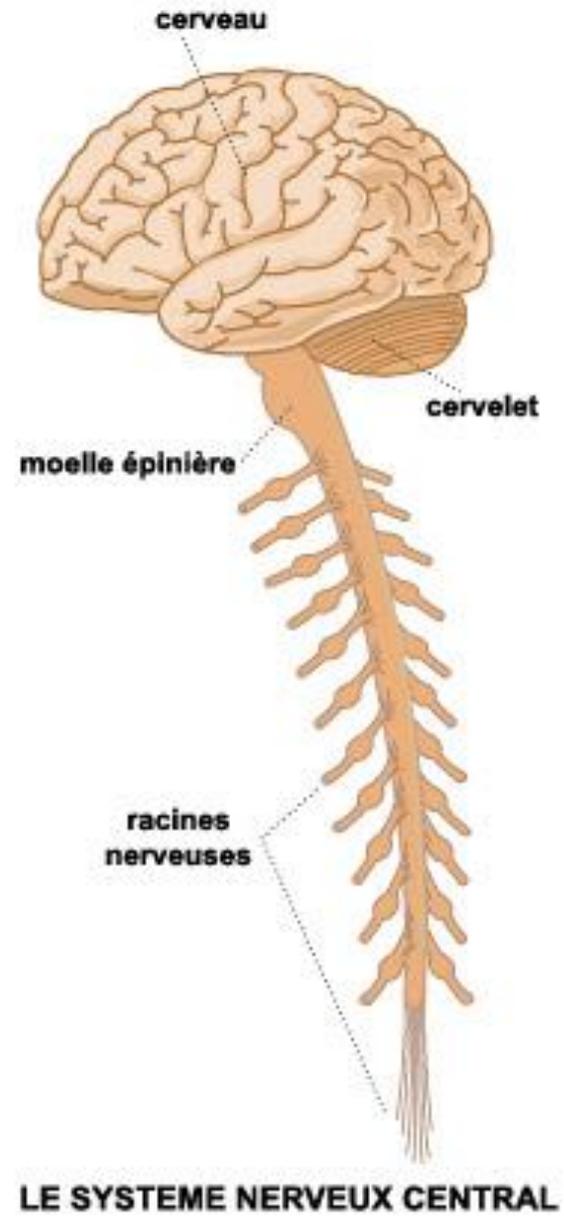




Organisation générale



SNC

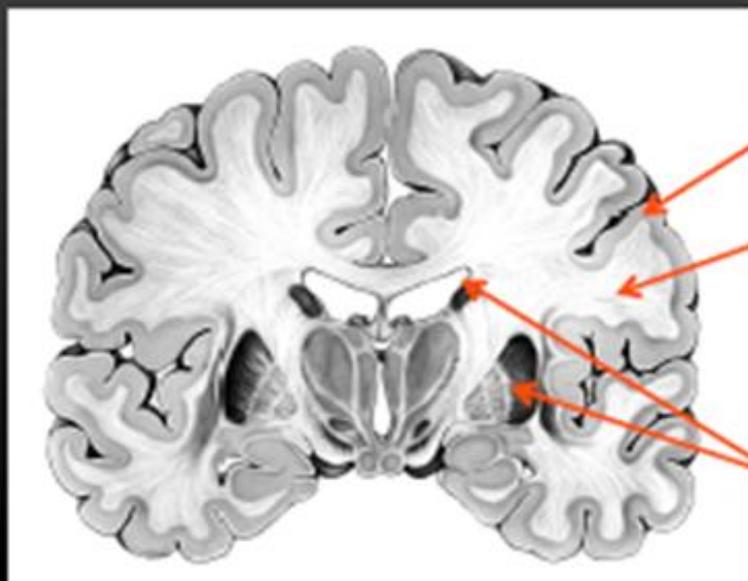


Le télencéphale

Le télencéphale comprend :

- Une écorce de substance grise : le cortex cérébral (néocortex),
- et des amas de substance grise: les noyaux gris centraux,
- entourés par la substance blanche (fibres myélinisées reliant les différentes régions de la substance grise entre elles et d'un hémisphère à l'autre).

Télencéphale



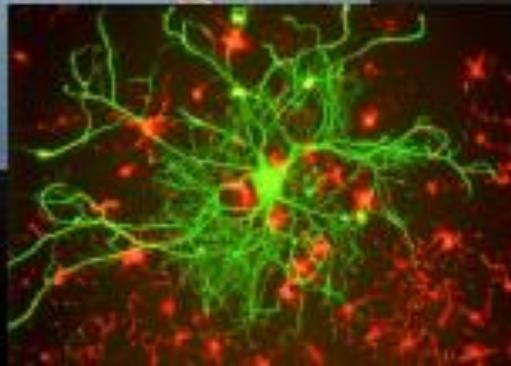
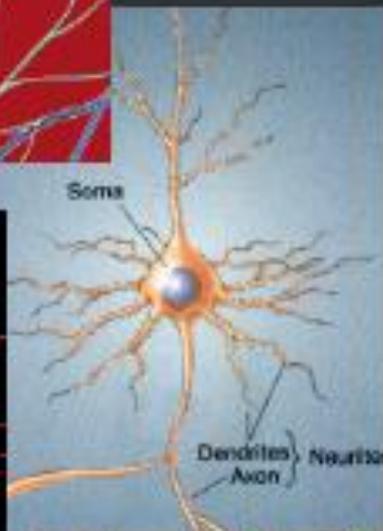
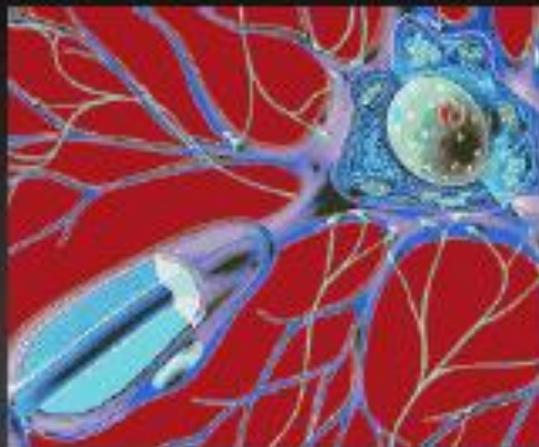
Cortex cérébral

Substance blanche

Noyaux gris

Substance grise

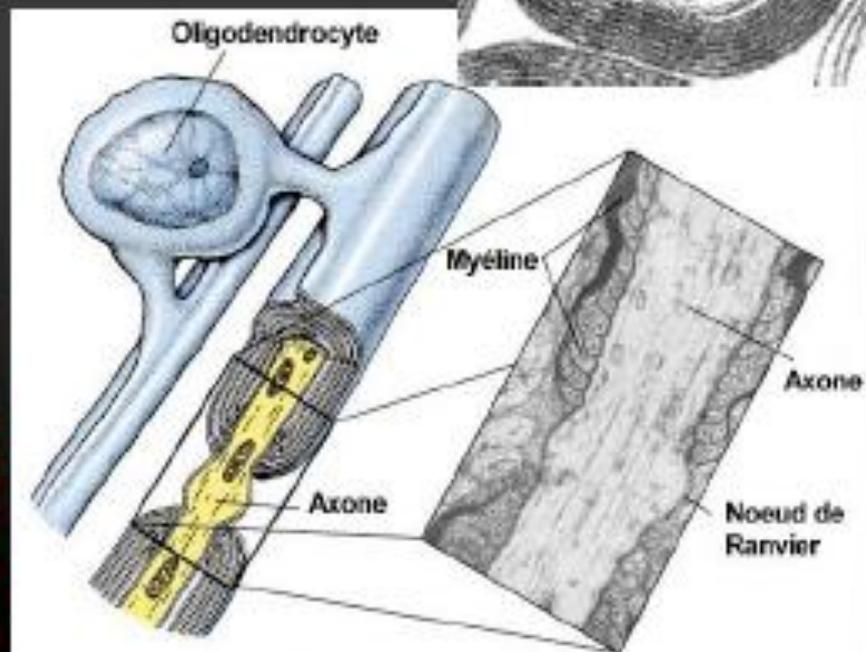
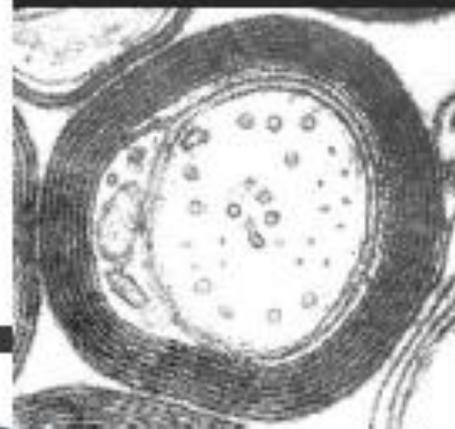
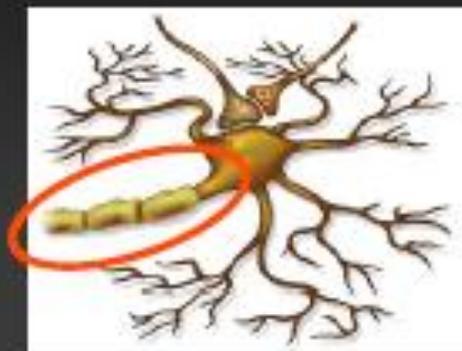
Neurones



Substance blanche

Gaine de myéline

Myélinisation dans le SNC



Substance grise et substance blanche

On appelle :

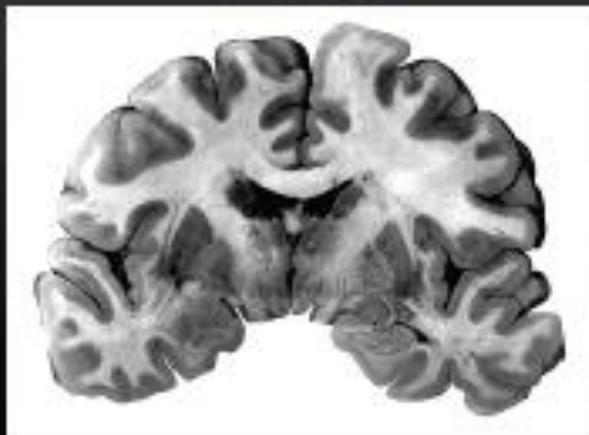
- **Substance grise** : les amas de corps cellulaires de neurones dans le SNC.

Sur du tissu cérébral fraîchement disséqué, les corps cellulaires des neurones paraissent gris.

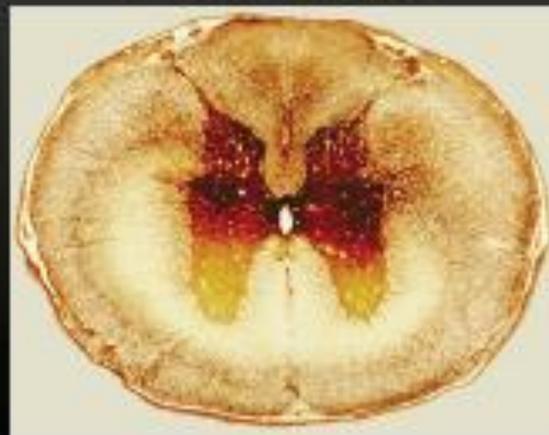
- **Substance blanche** : les faisceaux de fibres nerveuses myélinisées qui relient entre elles les différentes régions du SNC.

Sur du tissu cérébral fraîchement disséqué, les gaines de myéline ont une coloration blanche.

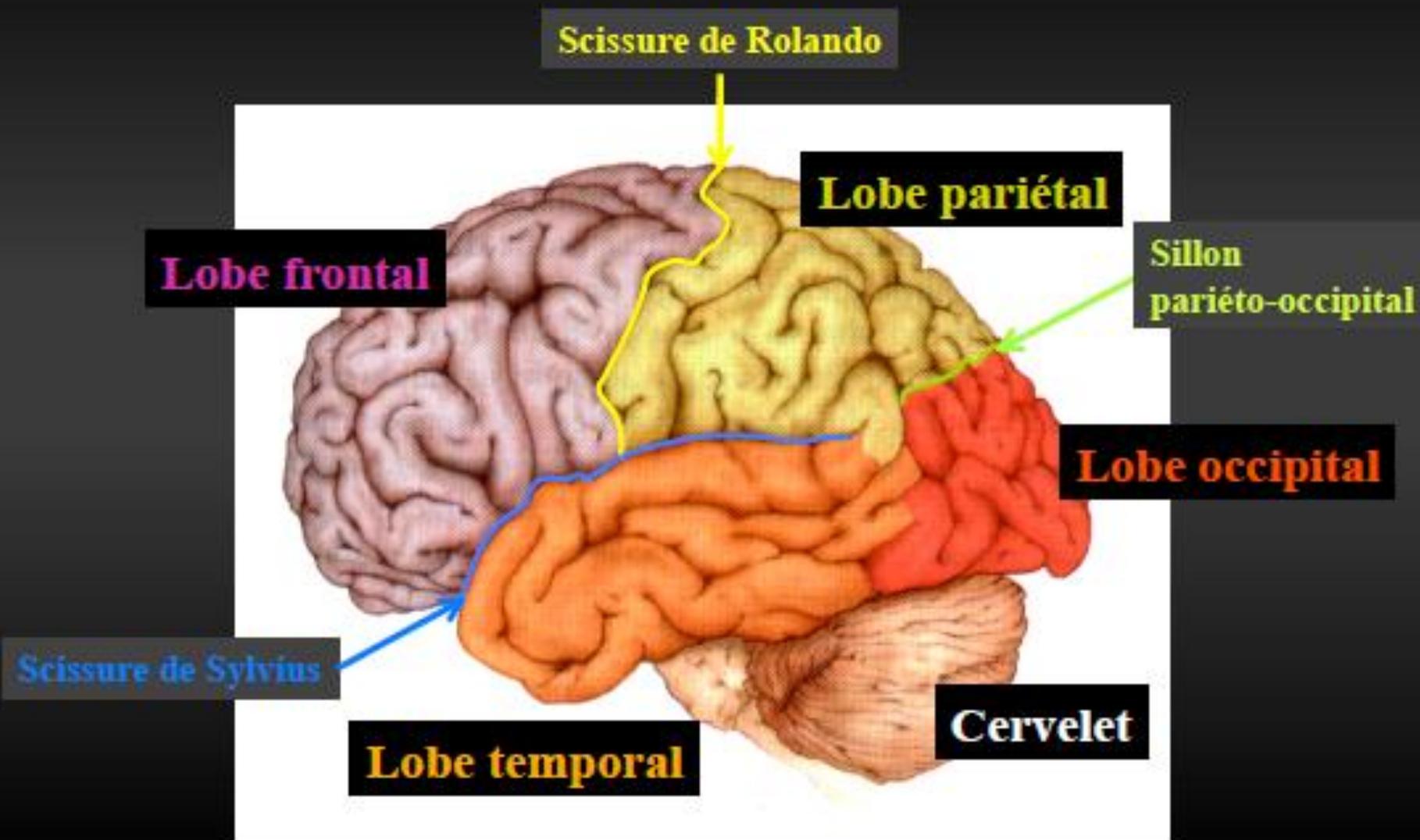
Cerveau



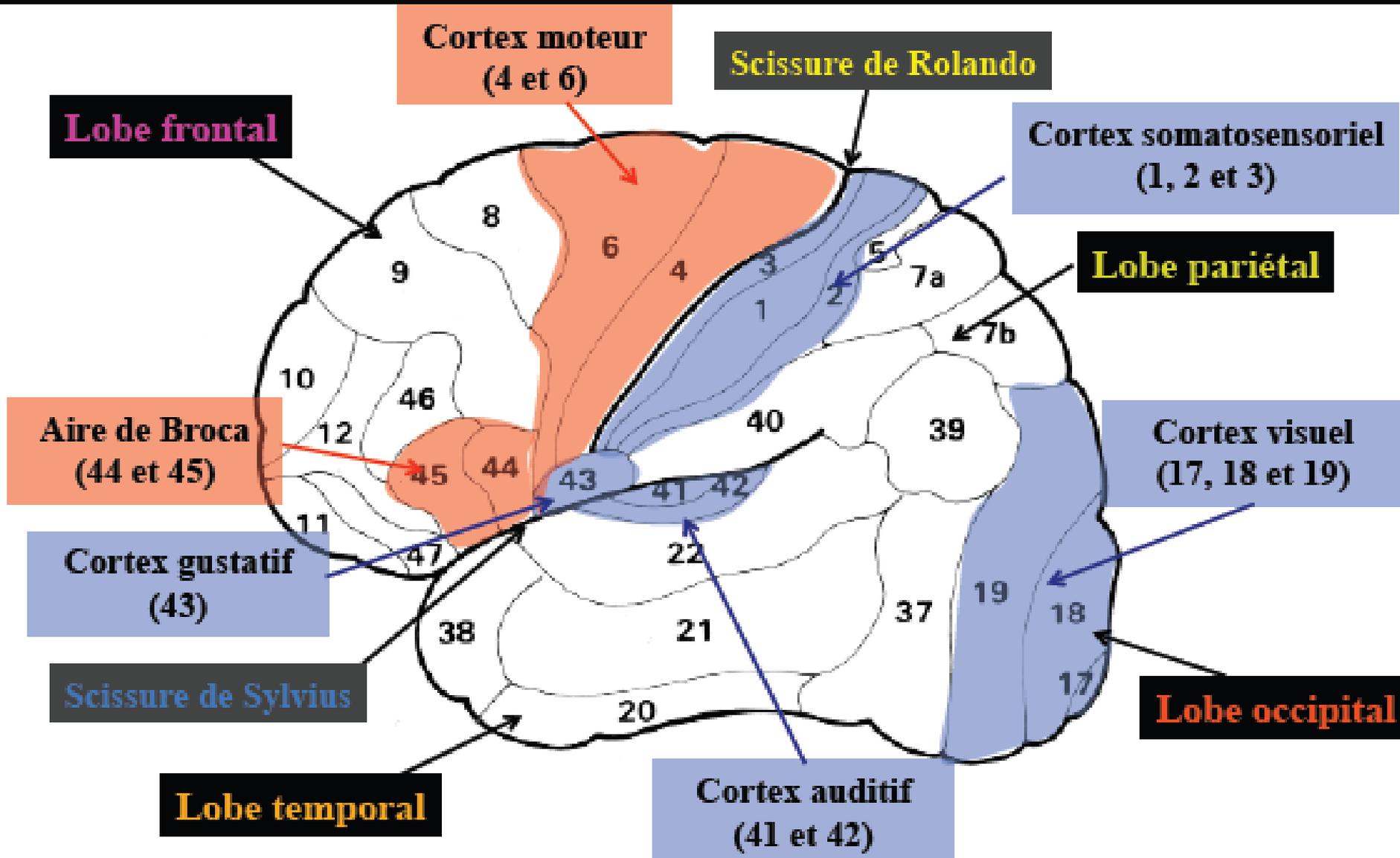
Moelle épinière



Les lobes corticaux



Les divisions fonctionnelles du (néo)cortex



Les régions laissées en blanc représentent les aires associatives.

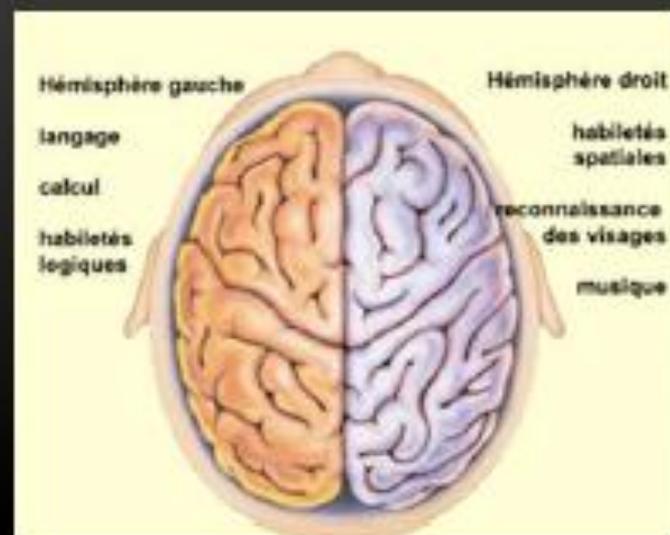
La spécialisation des hémisphères cérébraux

L'hémisphère gauche:

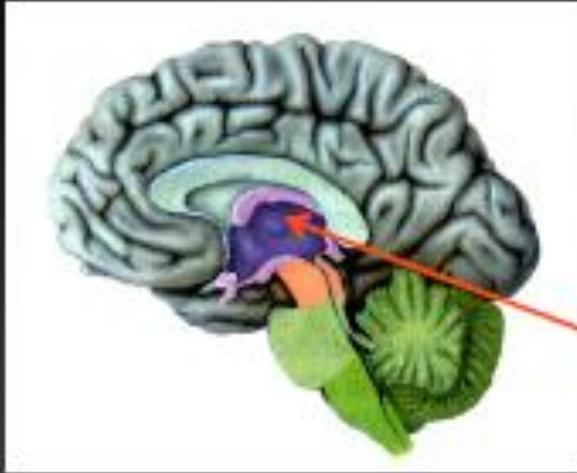
- Contrôle la moitié droite du corps (motricité et sensibilité),
- Contrôle la motricité fine volontaire (= 90% de droitiers),
- Contrôle le langage parlé (aire de Broca),
- Mémorise avec des mots,
- Elabore le raisonnement analytique, logique, séquentiel.

L'hémisphère droit:

- Contrôle la moitié gauche du corps,
- Permet une perception en 3D meilleure que le gauche,
- Mémorise avec des images,
- Elabore un raisonnement plus intuitif que logique,
- Héberge la sensibilité musicale, artistique.



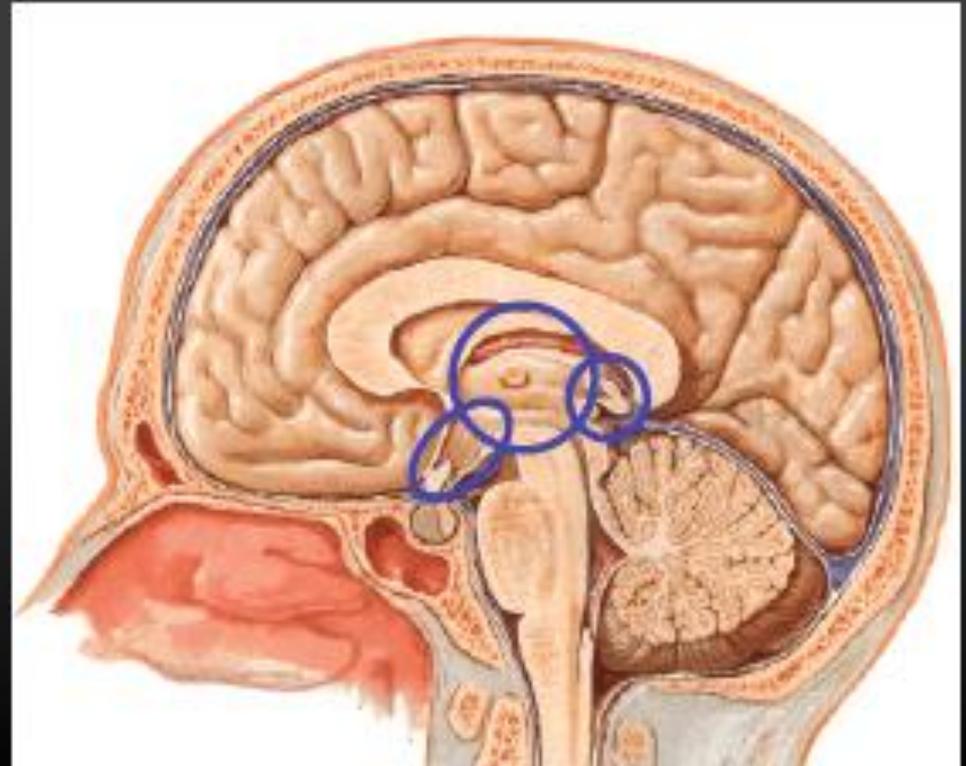
4. Le diencéphale



Diencéphale

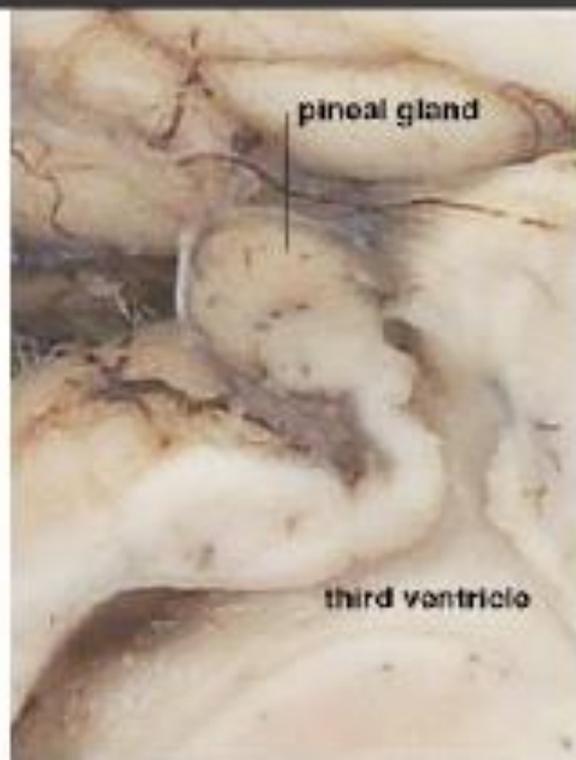
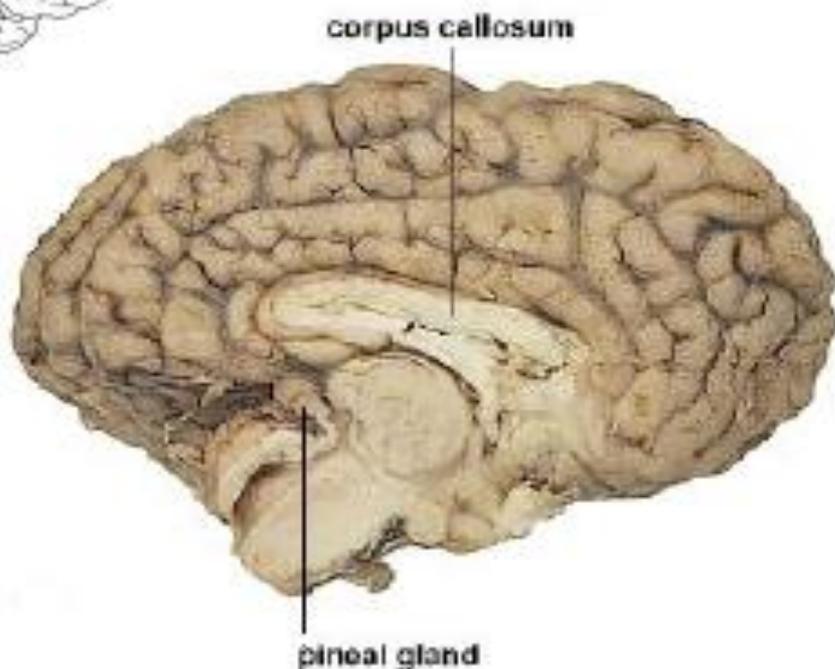
Le diencéphale comprend :

- L'épiphyse,
- Le thalamus,
- L'hypothalamus.



L'épiphyse (ou glande pinéale) :

- **Sécrète l'hormone mélatonine,**
- **Réagit à la durée de la période diurne : rythmes saisonniers (reproduction, hibernation),**
- **Joue un rôle capital dans la régulation du cycle circadien.**

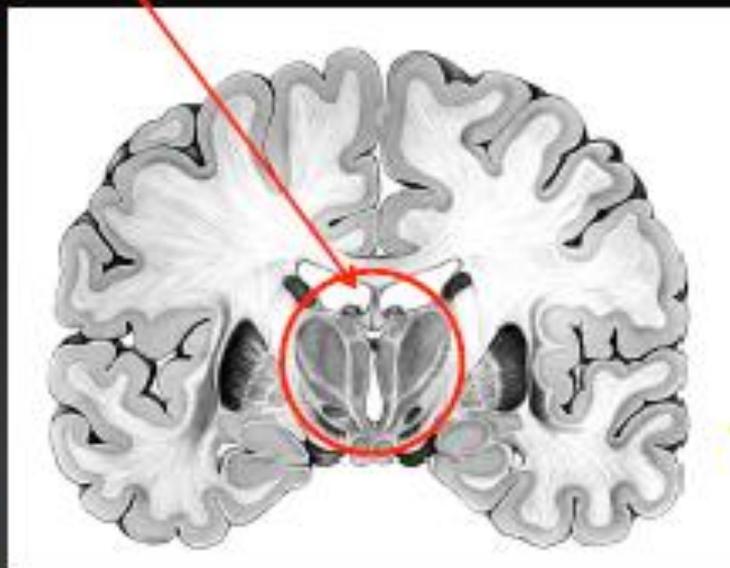


Le thalamus :

Thalamus



Vue dorsale, cervelet et cortex cérébral réséqués

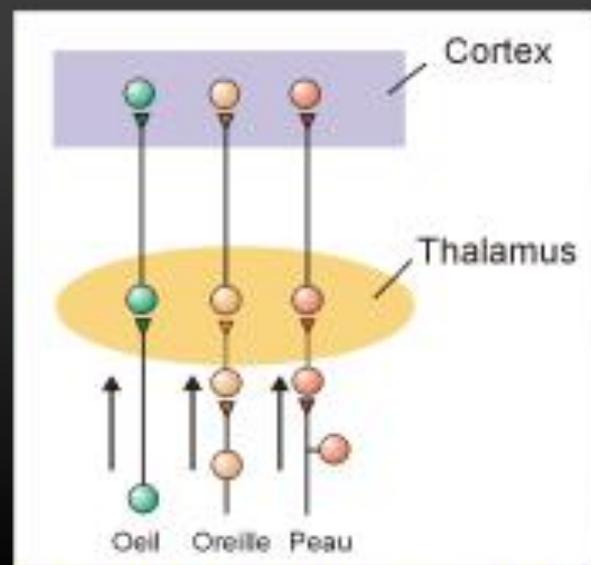


Coupe coronale



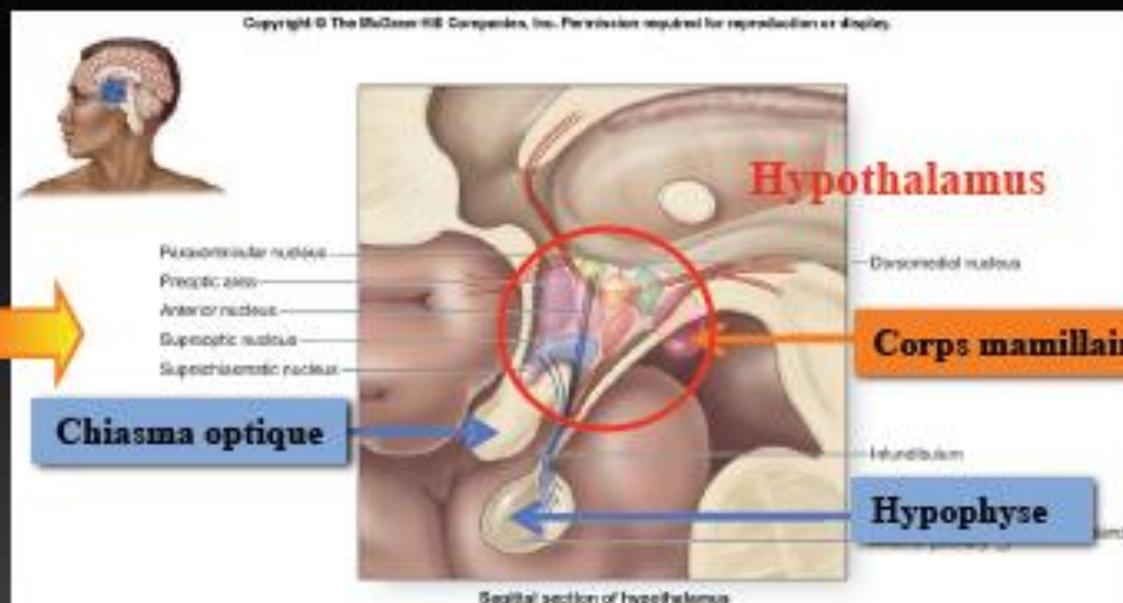
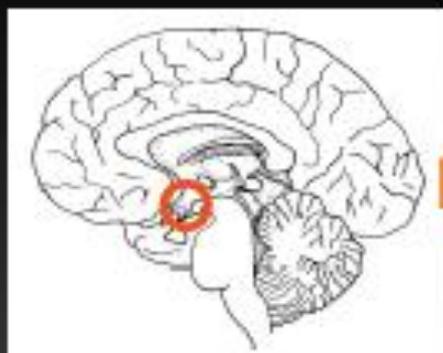
Vue latérale du thalamus, détail des noyaux thalamiques

- Est composé de nombreux noyaux distincts, sensoriels, moteurs ou associatifs,
- Est un relais obligatoire pour la majorité des informations sensorielles sur leur trajet vers le cortex cérébral,
- Filtre et organise ces informations en fonction de leur nature et de leur contexte (spatial et temporel),
- Joue un rôle dans le contrôle des émotions.



Le relais des voies sensorielles

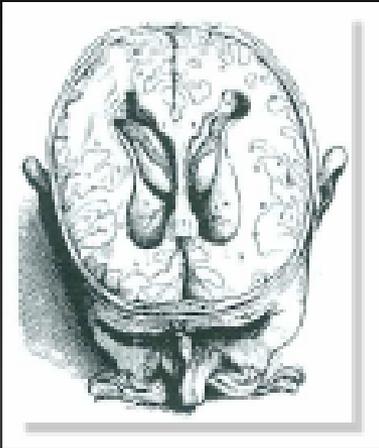
L'hypothalamus :



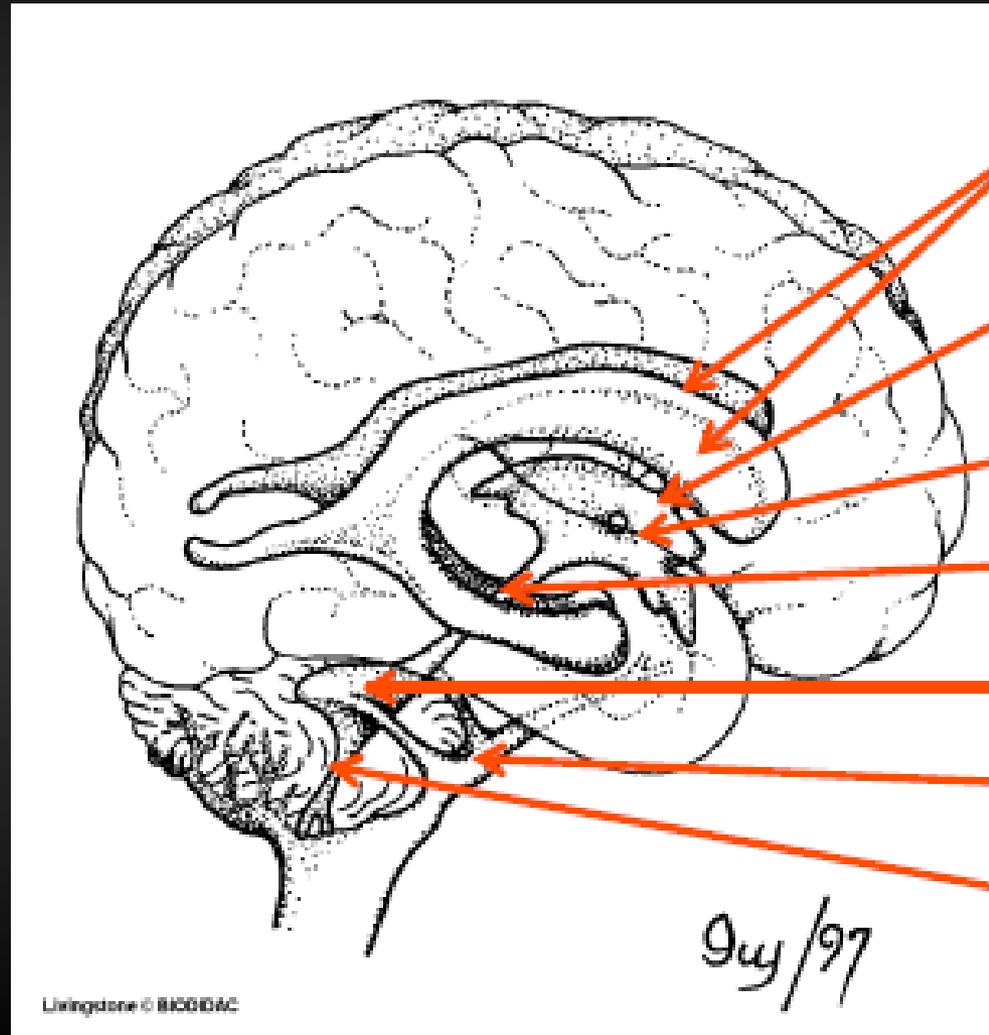
- Est composé de nombreux noyaux distincts,
- Contrôle tous les organes végétatifs par l'intermédiaire du système nerveux autonome,
- Contrôle le système hormonal (par son action sur l'hypophyse),
- Régule la température du corps,
- Régule l'appétit,
- Régule la soif,
- Régule le comportement sexuel,
- Régule l'horloge interne (rythme circadien),
- Joue un rôle dans le contrôle des émotions (comportement maternel, agression, stress).

2. Les ventricules cérébraux et le liquide céphalo-rachidien

Les ventricules



Dessin de Vésale
(XVI^{ème} siècle)



Ventricules
latéraux (1 et 2)

Foramen
interventriculaire

Ventricule 3

Aqueduc de
Sylvius

Ventricule 4

Vers la surface
du SNC

Canal de
l'épendyme
(vers la moelle
épineuse)

Le liquide céphalo-rachidien (LCR)

- **est constitué d'eau à 99 %,**
- **est produit dans les ventricules, au niveau des plexus choroïdes,**
- **remplit les ventricules, l'espace sous-arachnoïdien et le canal spinal,**
- **représente un volume total de 150 ml chez l'adulte, entièrement renouvelé toutes les 3 à 4 heures,**
- **constitue un "coussin" de protection liquide pour le SNC,**
- **protège contre les infections (contient des immunoglobulines),**
- **transporte hormones et nutriments (petites molécules),**
- **permet l'élimination des déchets rejetés par les cellules,**
- **est réabsorbé par le sang au niveau des villosités arachnoïdiennes.**

3. La barrière hémato-encéphalique

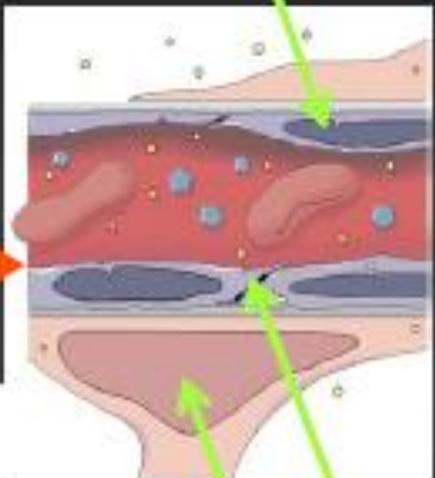
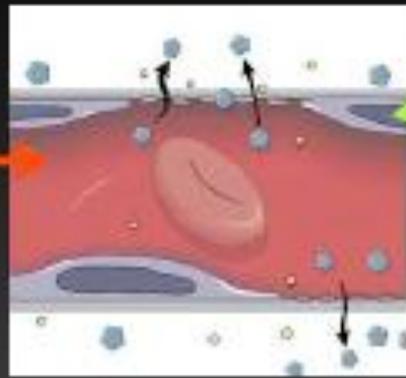
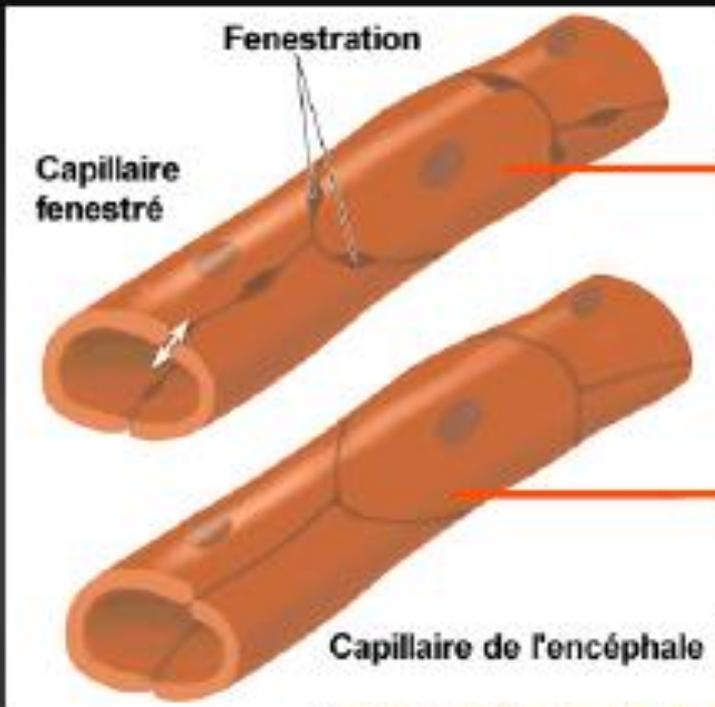
Principe

- Les capillaires du corps sont poreux, ou fenestrés. Les pores ou « fenêtres » ménagés entre les cellules endothéliales permettent des échanges moléculaires dans les deux sens à travers la paroi capillaire.
- Les capillaires de l'encéphale sont beaucoup plus étanches que ceux du reste du corps parce que:
 1. Les cellules endothéliales sont très jointives (jonctions serrées),
 2. Des cellules gliales spécialisées, les astrocytes, s'appuient sur la paroi capillaire et limitent encore les échanges.

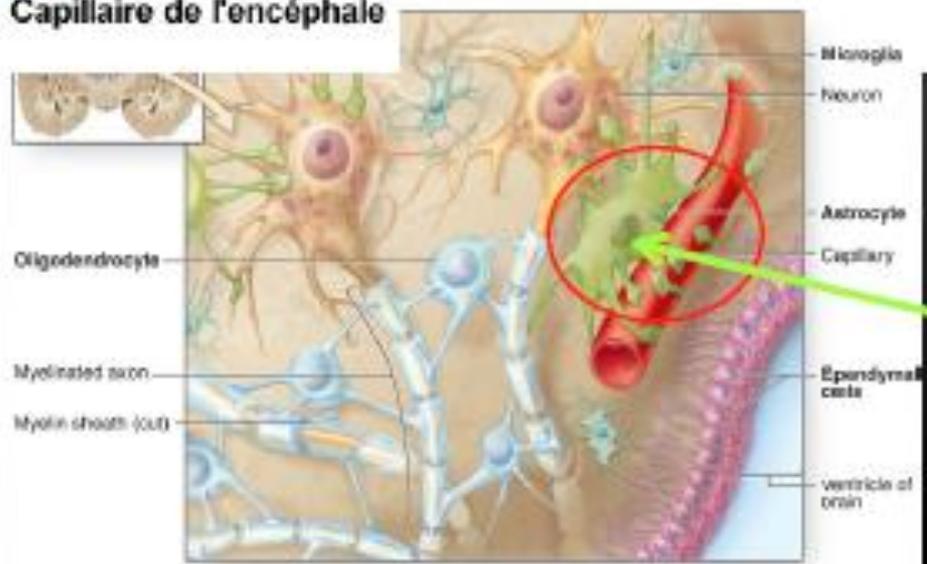
Ceci empêche la circulation des grosses molécules (protéines), des molécules peu liposolubles, et des molécules à forte charge électrique.

C'est ce système de filtre qu'on appelle la barrière hémato-encéphalique.

Description



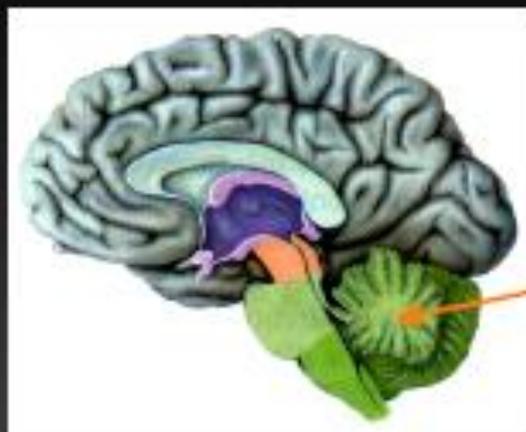
Cellules endothéliales



Jonction serrée

Astrocytes

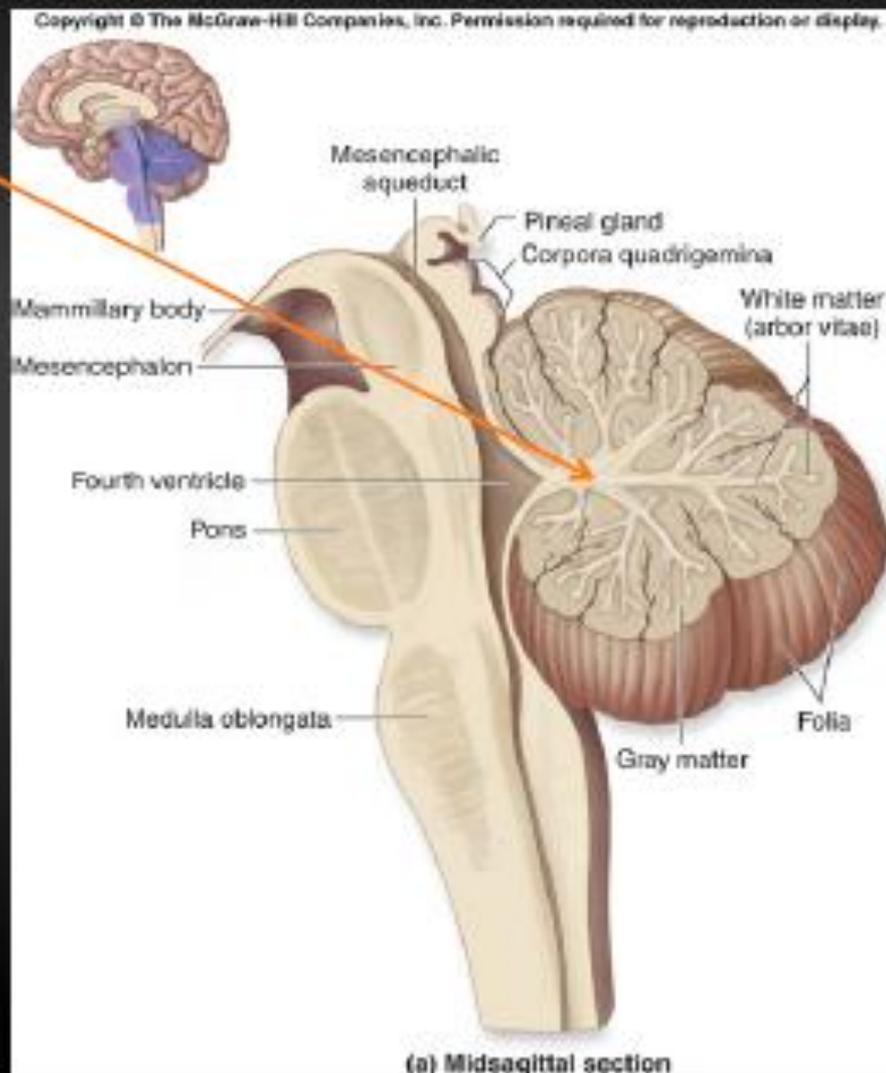
2. Le cervelet



Cervelet

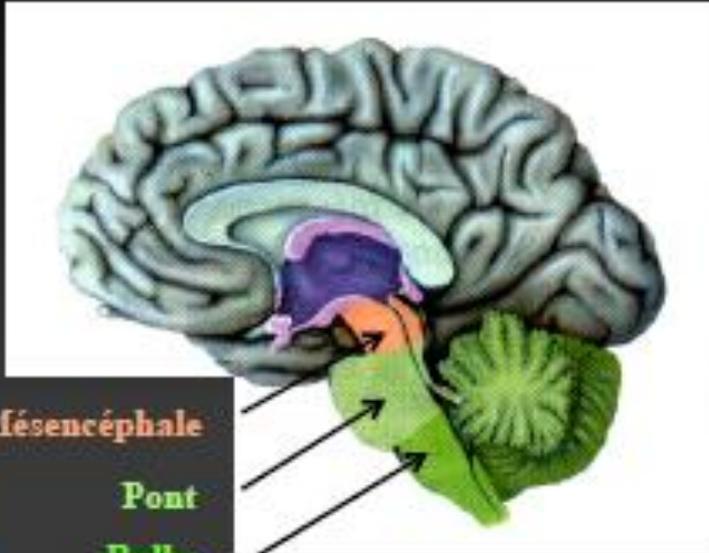
Le cervelet :

- Représente 11% du volume du SNC, mais 50% des neurones,
- Joue un rôle dans la coordination des mouvements complexes,
- Intervient dans le maintien de l'équilibre,
- Interagit avec les aires motrices du cortex qui commandent les muscles.



(a) Midsagittal section

3. Le tronc cérébral



Tronc
cérébral

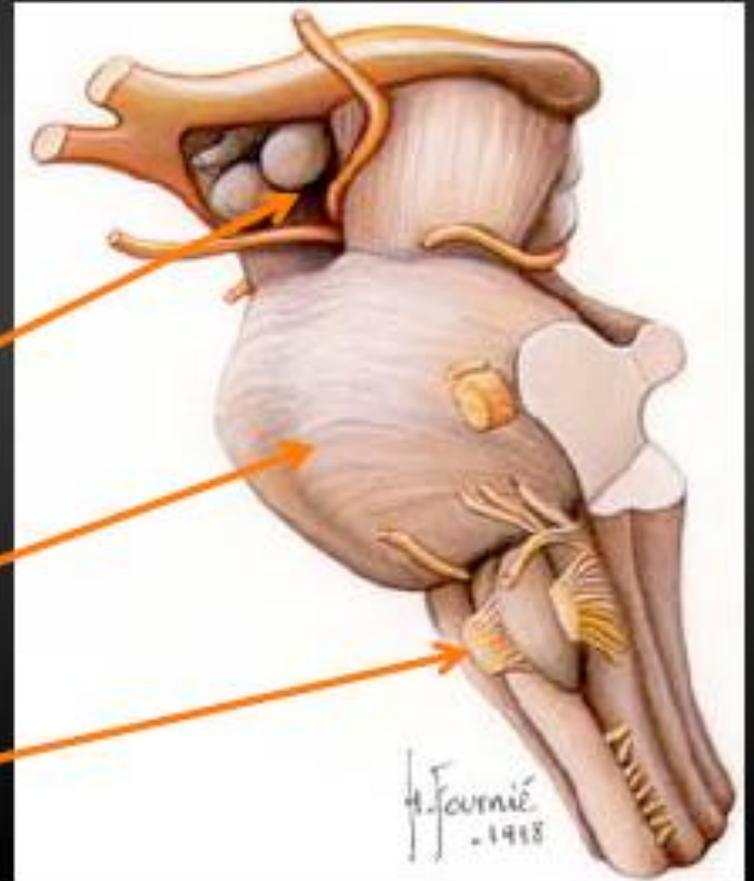
Mésencéphale

Pont

Bulbe

Le tronc cérébral comprend :

- Le mésencéphale
- Le pont de Varole (ou protubérance annulaire)
- Le bulbe rachidien



Description et fonctions

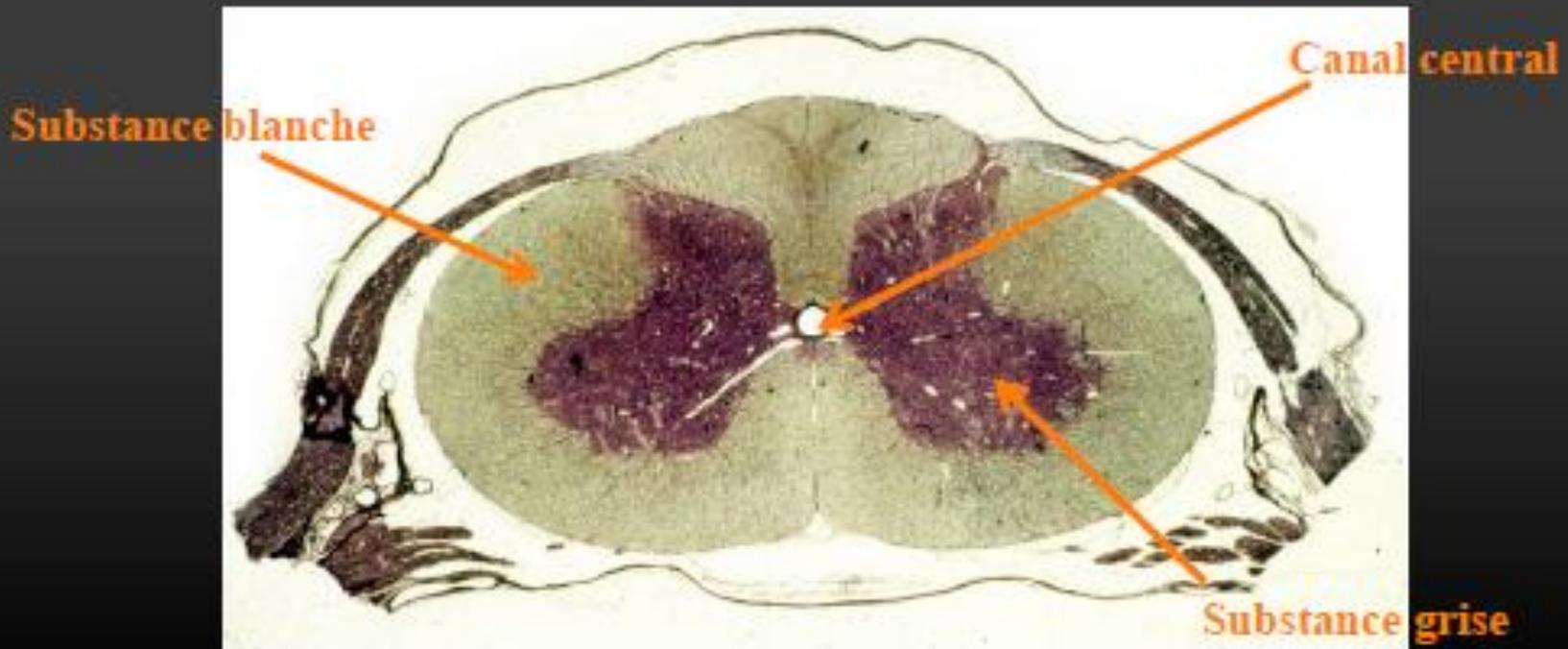
Le tronc cérébral est constitué de :

- **Substance blanche** : les fibres myélinisées qui connectent la moelle épinière avec les structures supérieures et le cervelet.
- **Substance grise** : les noyaux du tronc cérébral. Les principaux d'entre eux sont :
 - **Les noyaux pontins**, qui participent au contrôle cérébelleux du mouvement et de la posture,
 - **La formation réticulée**, dont les différents noyaux contrôlent la fonction cardio-vasculaire, la fonction respiratoire, la déglutition, le vomissement et le niveau de vigilance.
 - **Les systèmes modulateurs diffus**, qui émettent des projections vers un grand nombre de régions du cerveau, où ils libèrent des transmetteurs appelés neuromodulateurs.

1. La moelle épinière

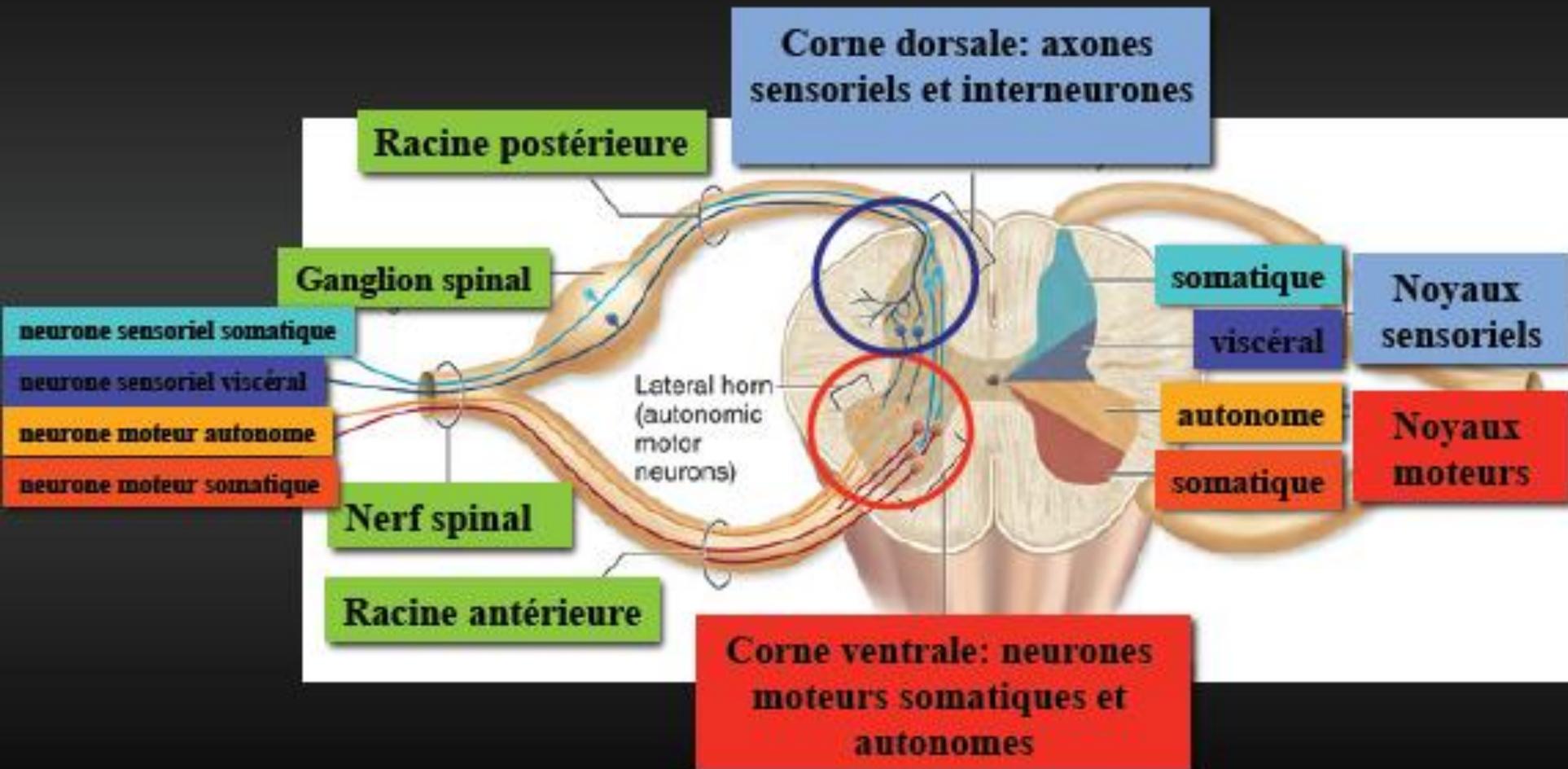
La moelle épinière a deux rôles :

- Elle relie l'encéphale et tous les organes connectés aux nerfs rachidiens,
- Elle intègre certaines fonctions : les réflexes simples.



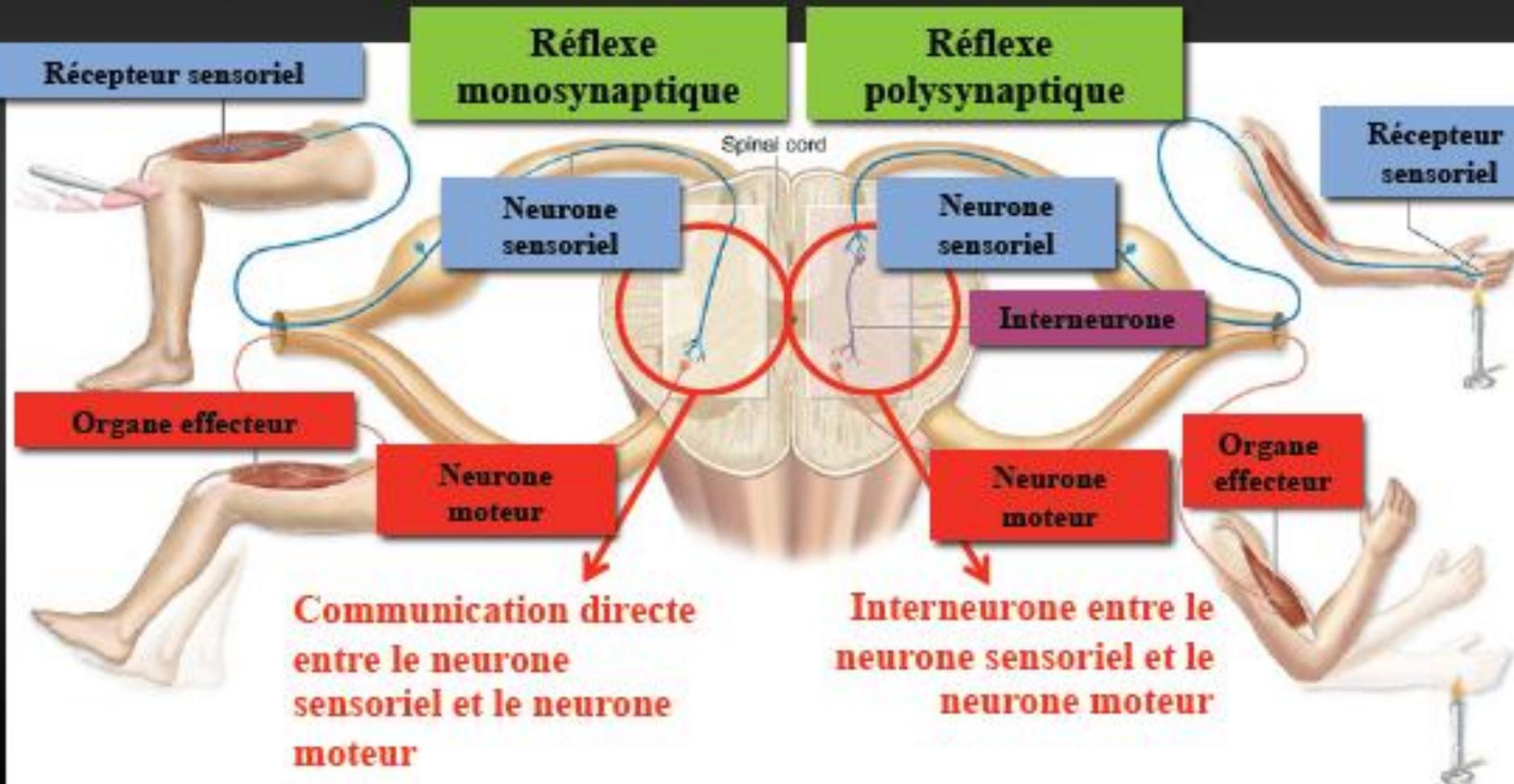
Moelle épinière, coupe coronale

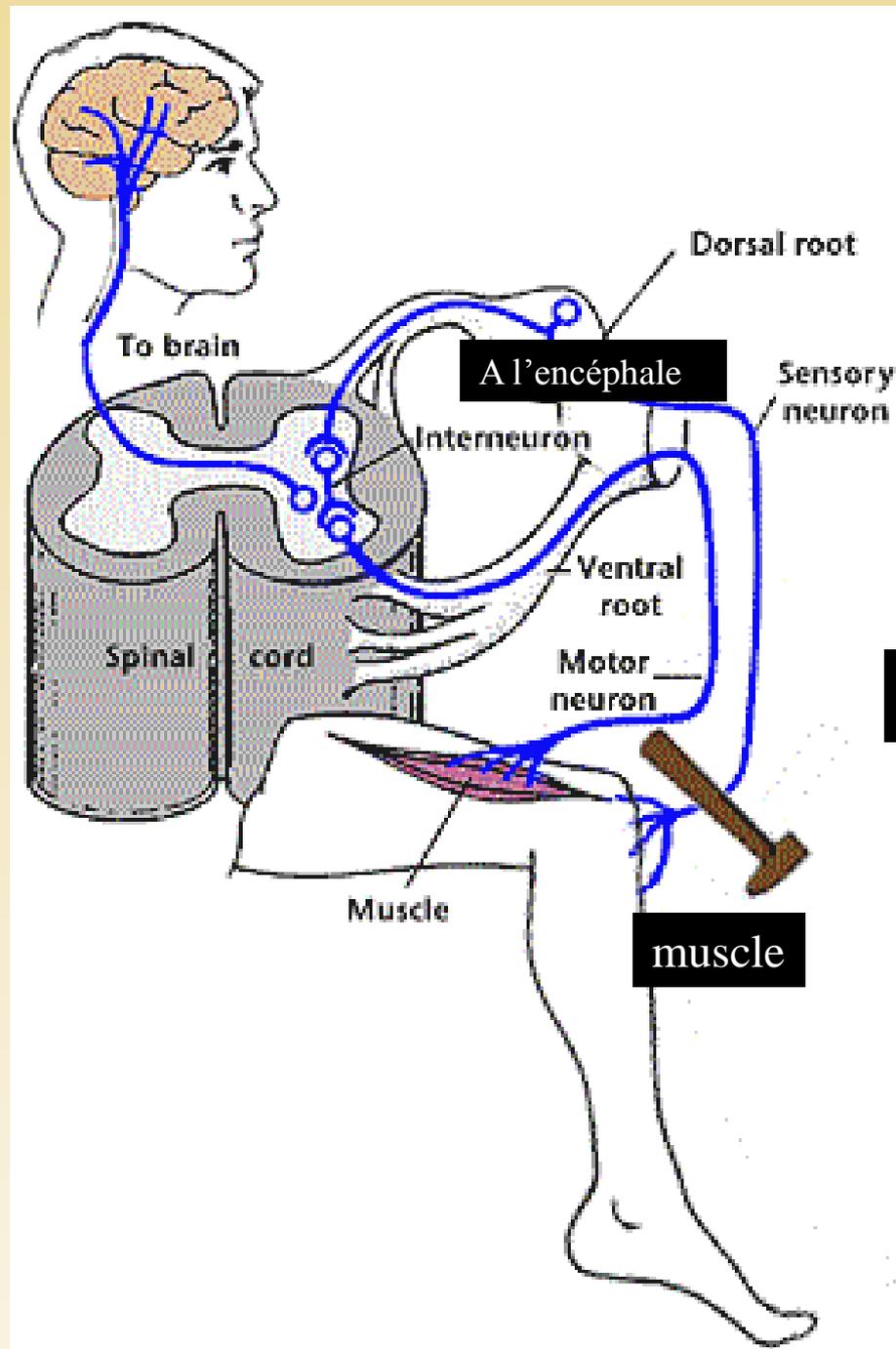
Organisation fonctionnelle



Réflexes spinaux

- Un réflexe est une réponse comportementale automatique (involontaire) et rapide.
- Les réflexes spinaux reposent sur des circuits courts de neurones spinaux : un neurone sensoriel est relié à un ou plusieurs neurones moteurs.

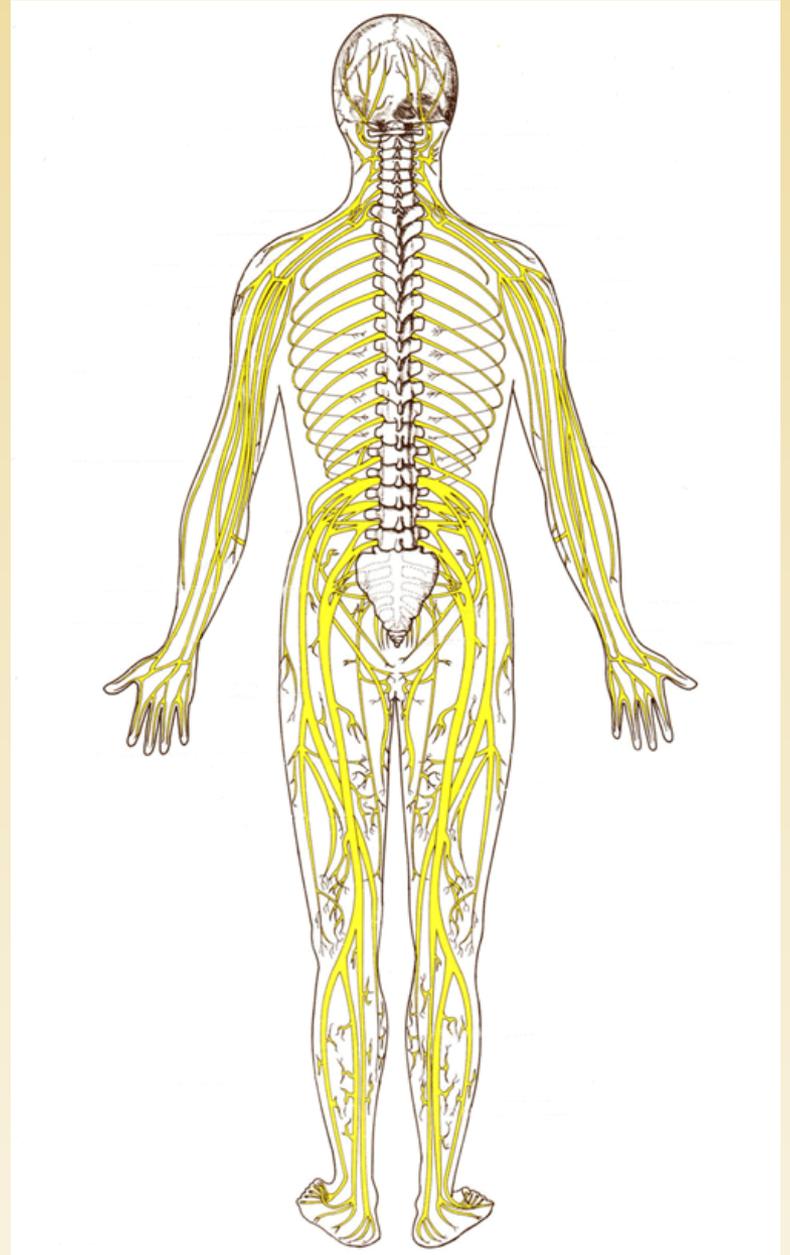
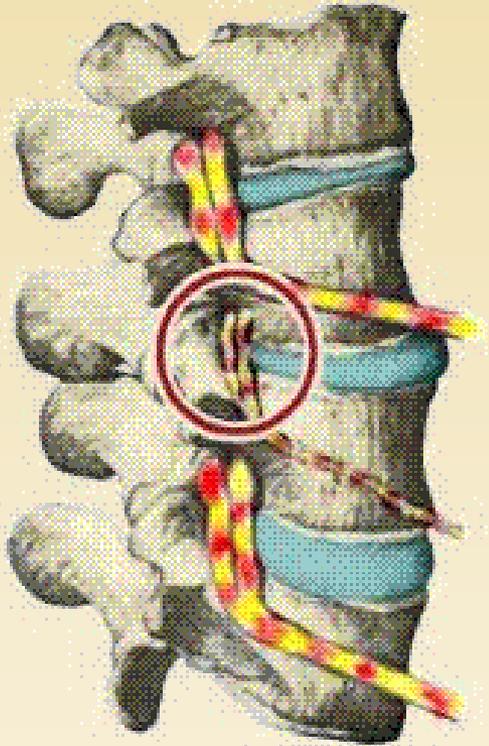




Neurone sensorielle

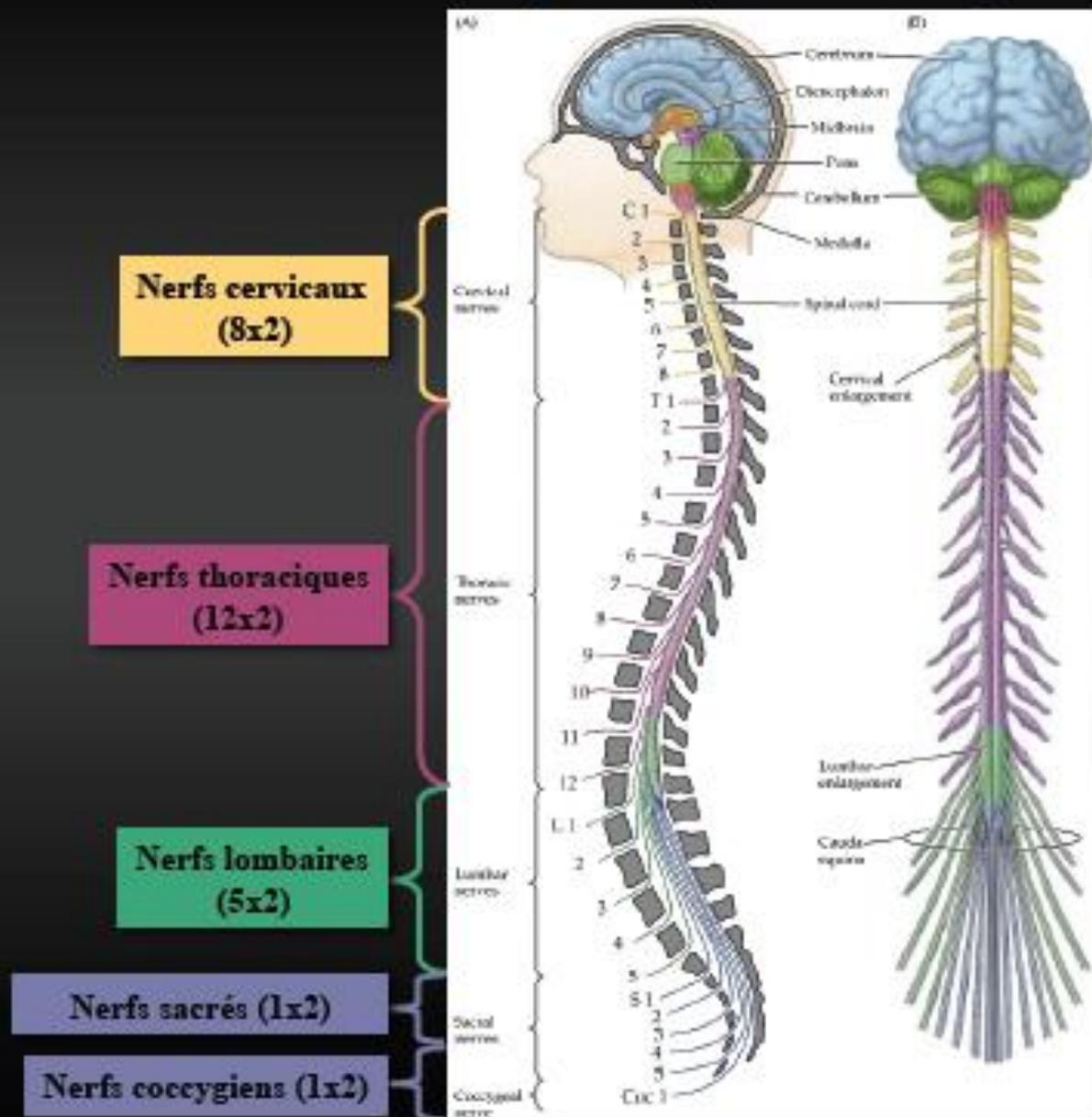
Neurone motrice

2. SNP

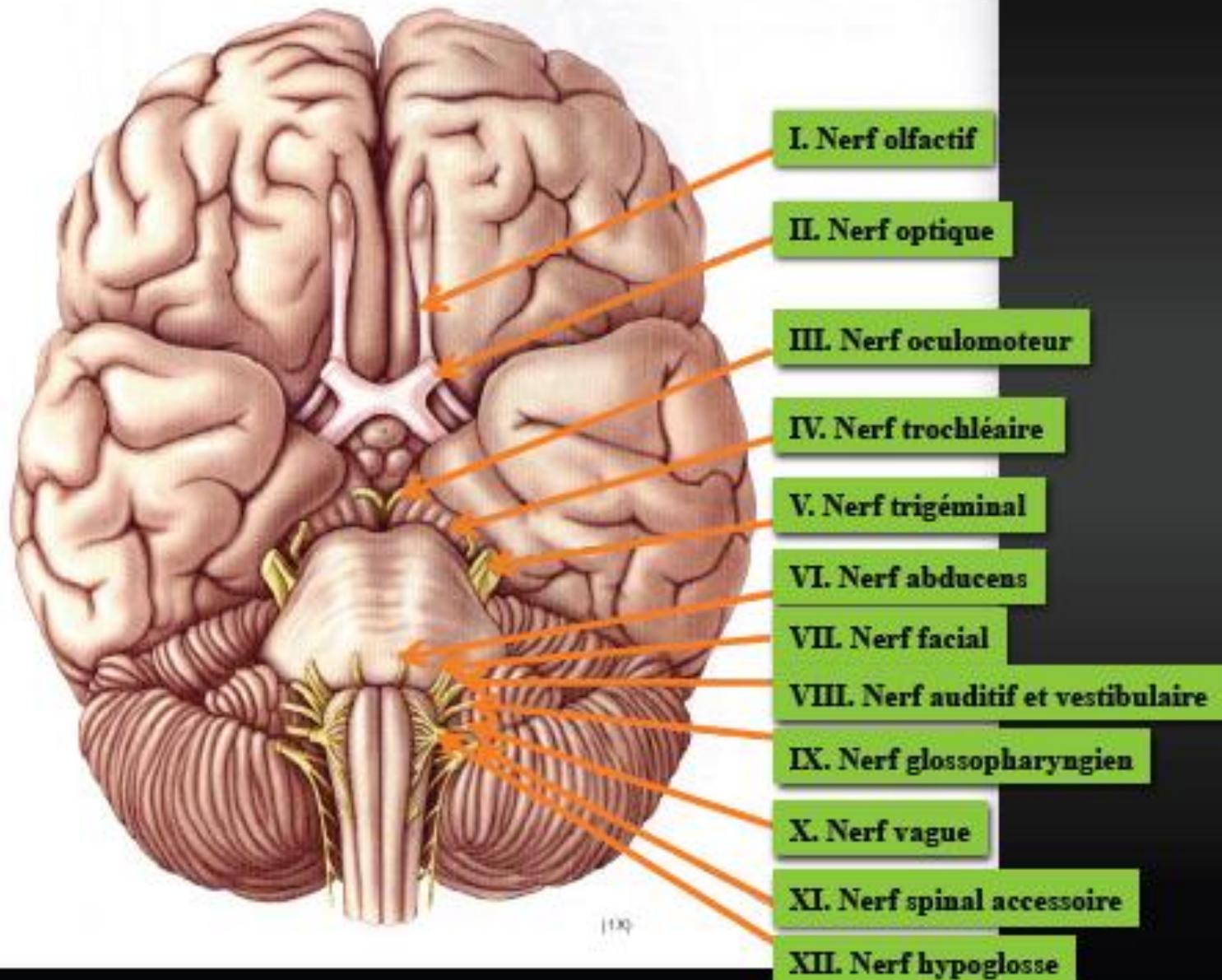


2. Anatomie

Les nerfs spinaux (ou rachidiens)



Les nerfs crâniens



Systeme Nerveux Peripherique:

1. Systeme Nerveux Somatique:

- nerfs sensoriels :transportent des influx des organes sensoriels (exemple: Yeux) au SNC
- nerfs moteurs :transmettent les commandes du systeme nerveux aux muscles et glandes
- volontaire

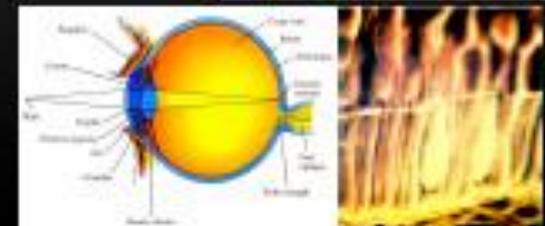
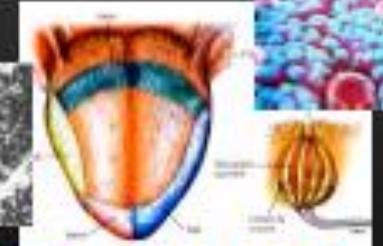
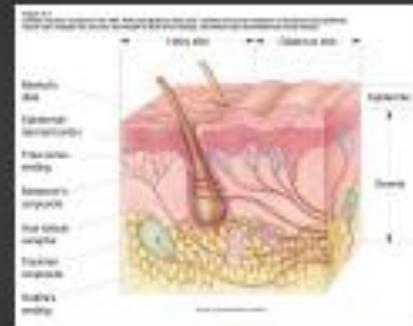
3. Fonctions

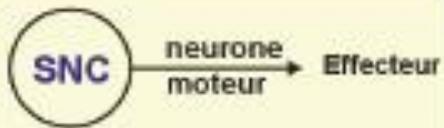
Les nerfs sensoriels

neurone
sensitif → SNC

Il s'agit de terminaisons des neurones sensoriels (dont le corps cellulaire est situé dans les ganglions spinaux), spécialisées dans la détection des différents stimuli sensoriels.

- **Mécanorécepteurs**
Détection de la pression, de l'étirement, des vibrations (peau, viscères, oreille)
- **Thermorécepteurs**
Détection de la température (peau)
- **Chimiorécepteurs**
Détection des substances chimiques (nez, langue, viscères)
- **Nocicepteurs**
Détection de la douleur (peau et viscères)
- **Photorécepteurs**
Détection de la lumière (rétine de l'œil)



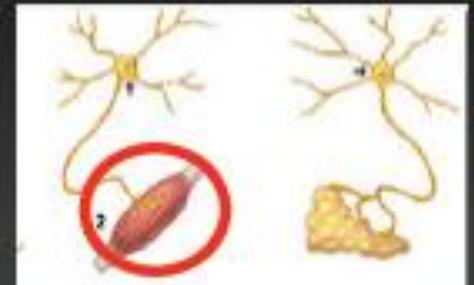


Les nerfs moteurs

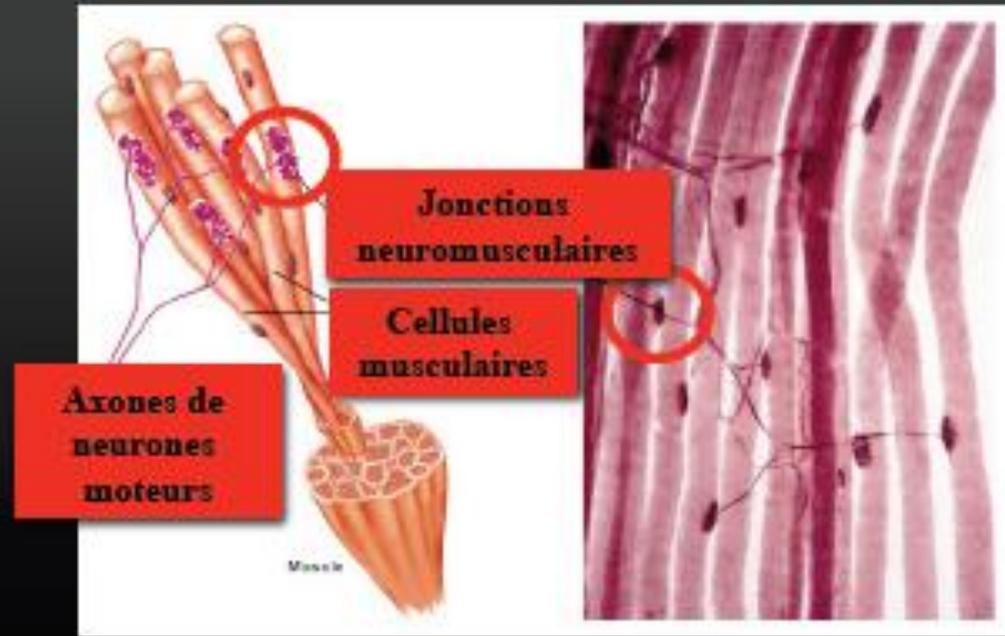
Il sont formés par les axones des neurones moteurs, dont le corps cellulaire est situé dans la moelle épinière (système somatique et système autonome), ou dans les ganglions sympathiques et parasympathiques (système autonome).

Les neurones moteurs peuvent agir sur des muscles ou sur des glandes.

La synapse que forme un neurone moteur du système somatique sur un muscle est appelée une jonction neuromusculaire. Le neuromédiateur libéré dans cette jonction est l'acétylcholine.



Jonction neuromusculaire



Le système nerveux autonome (SNA)

- **Le système nerveux autonome est la partie du système nerveux qui assure le contrôle involontaire (autonome) des organes végétatifs, et régule ainsi le milieu interne.**
- **Il est formé de deux ensembles de fibres nerveuses:**
 - **Le système sympathique,**
 - **Le système parasympathique.**
- **La plupart des organes végétatifs sont innervés par des terminaisons à la fois sympathiques et parasympathiques.**

2. Systeme Nerveux Autonome:

- involontaire
- transmet l'information aux organes internes

SN Sympathique

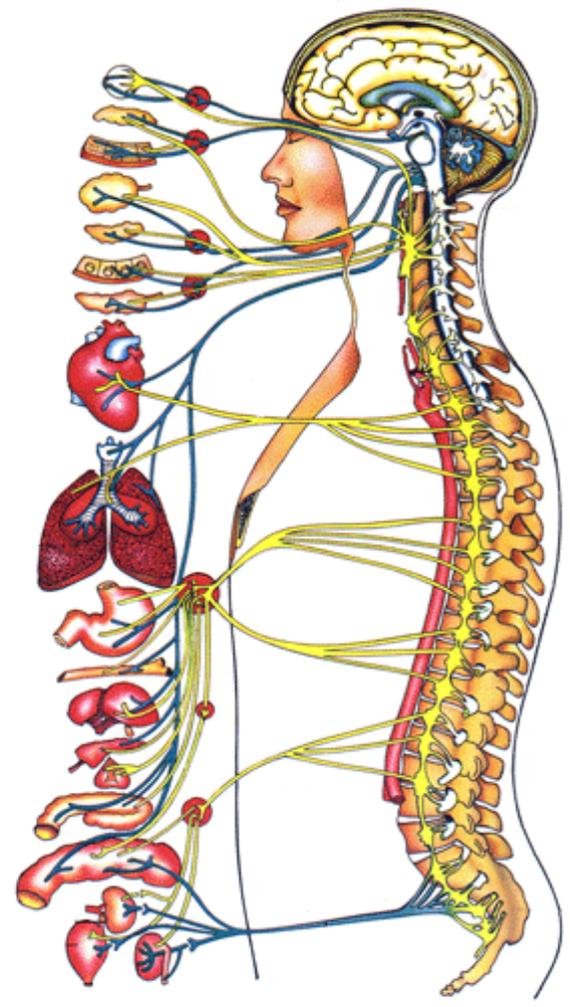
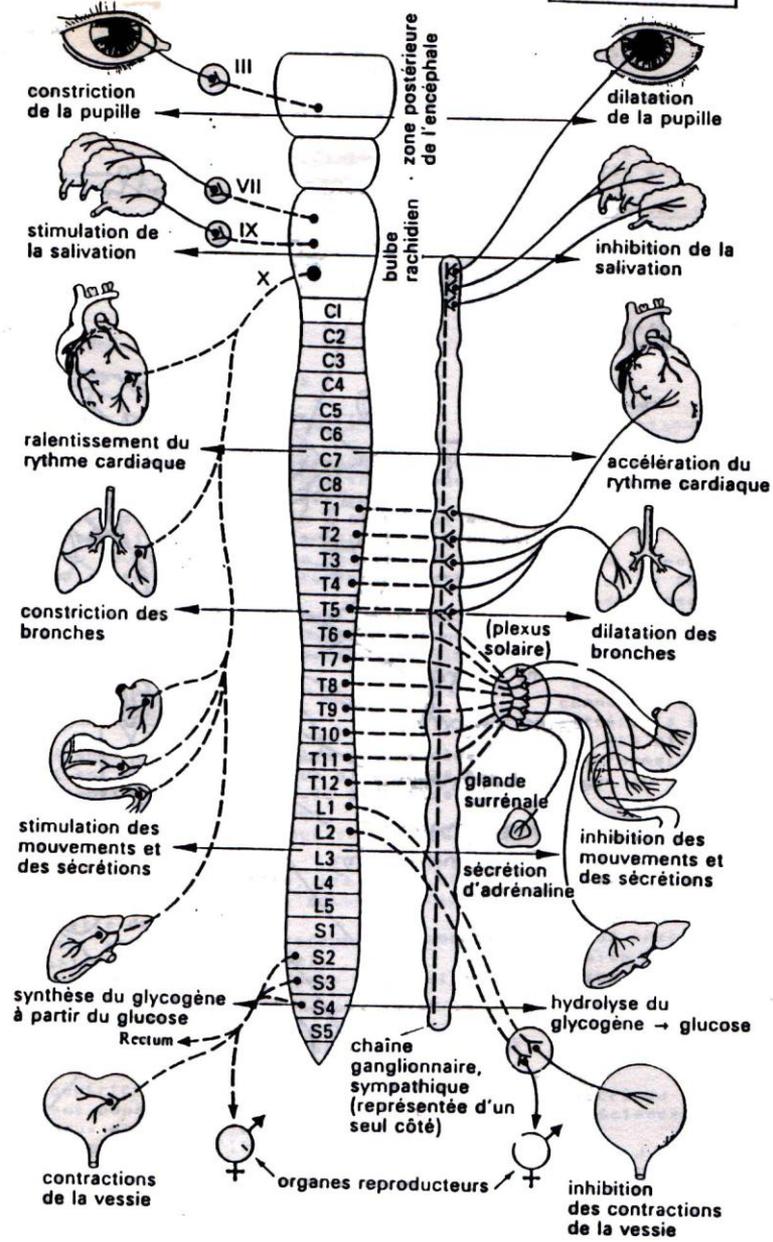
- réaction "de lutte ou fuite"
- prépare le corps pour le danger (stress)
- les nerfs sont situés près de la colonne vertébrale

SN Parasympathique

- effets opposés au SN Sympathique
- régit les organes quand le corps est au repos

Système nerveux parasymphatique

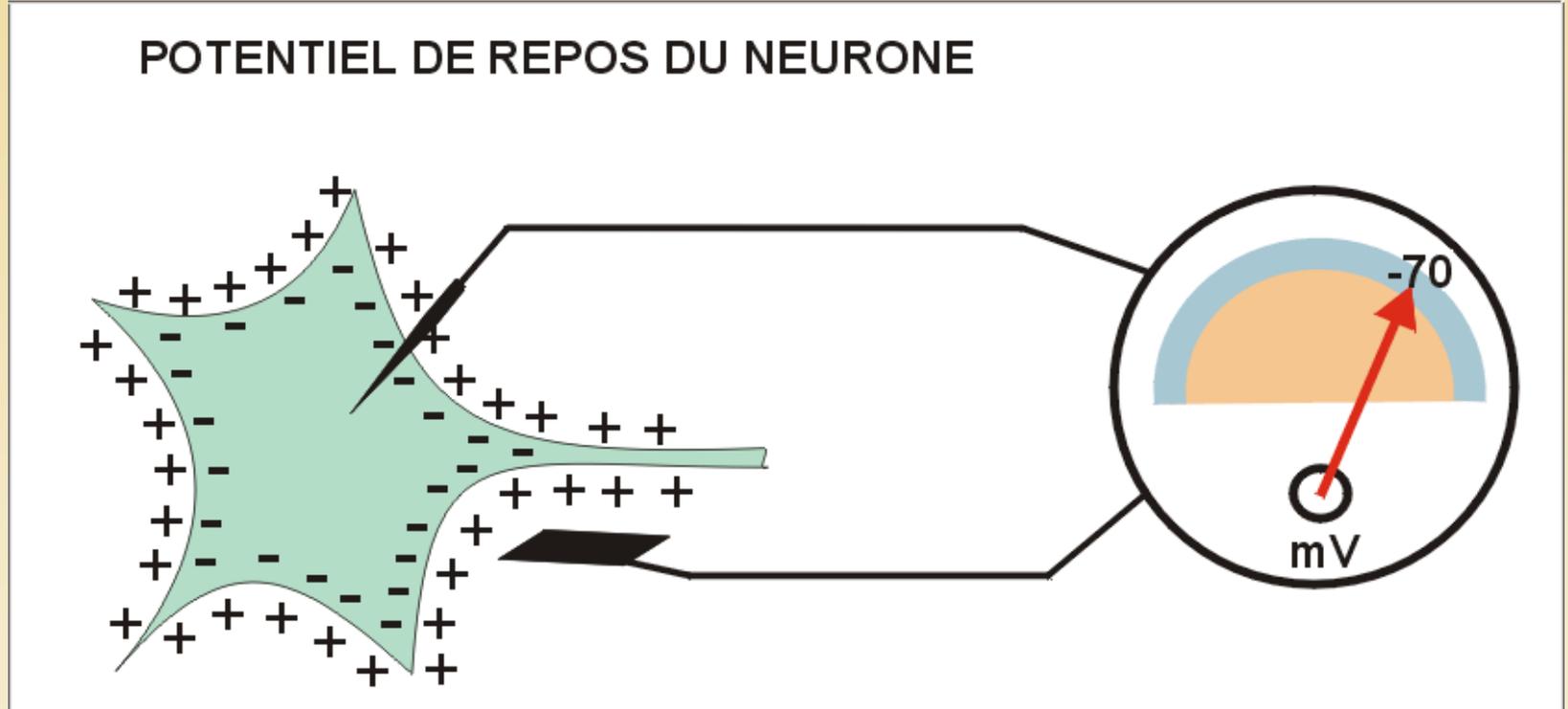
Système nerveux sympathique



La neurophysiologie

(mécanisme de propagation de l'influx nerveux)

Potentiel de repos de la membrane



Il existe une différence de charge entre l'intérieur et l'extérieur de l'axone: forme un potentiel de membrane.

Le potentiel de membrane d'un neurone non stimulé est de -70 mV. (le signe « - » indique que le cytoplasme est chargé négativement alors que la face externe est chargée positivement.)

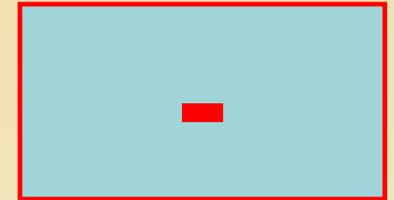
Composition ionique de chaque côté de la membrane de l'axone

Milieu intracellulaire:

Ions positifs: K^+ surtout (un peu de Na^+)

Ions négatifs: protéines et ions phosphates

Il y a un léger surplus d'ions négatifs (-)

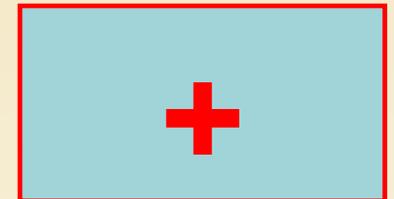


Milieu extracellulaire:

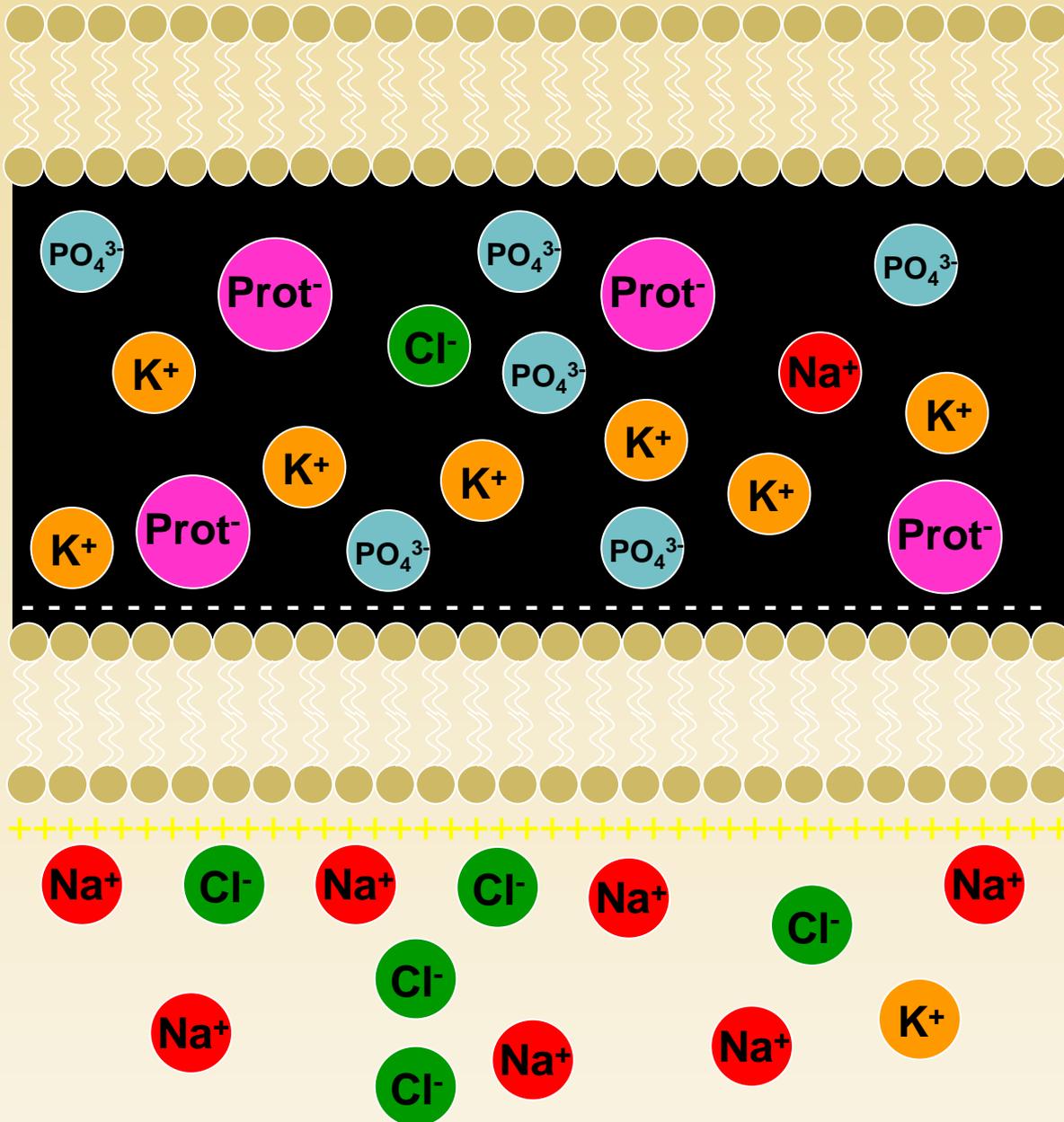
Ions positifs: Na^+ surtout (un peu de K^+)

Ions négatifs: Cl^- surtout

Il y a un léger surplus d'ions positifs (+)



Composition ionique de chaque côté de la membrane de l'axone



Milieu intracellulaire

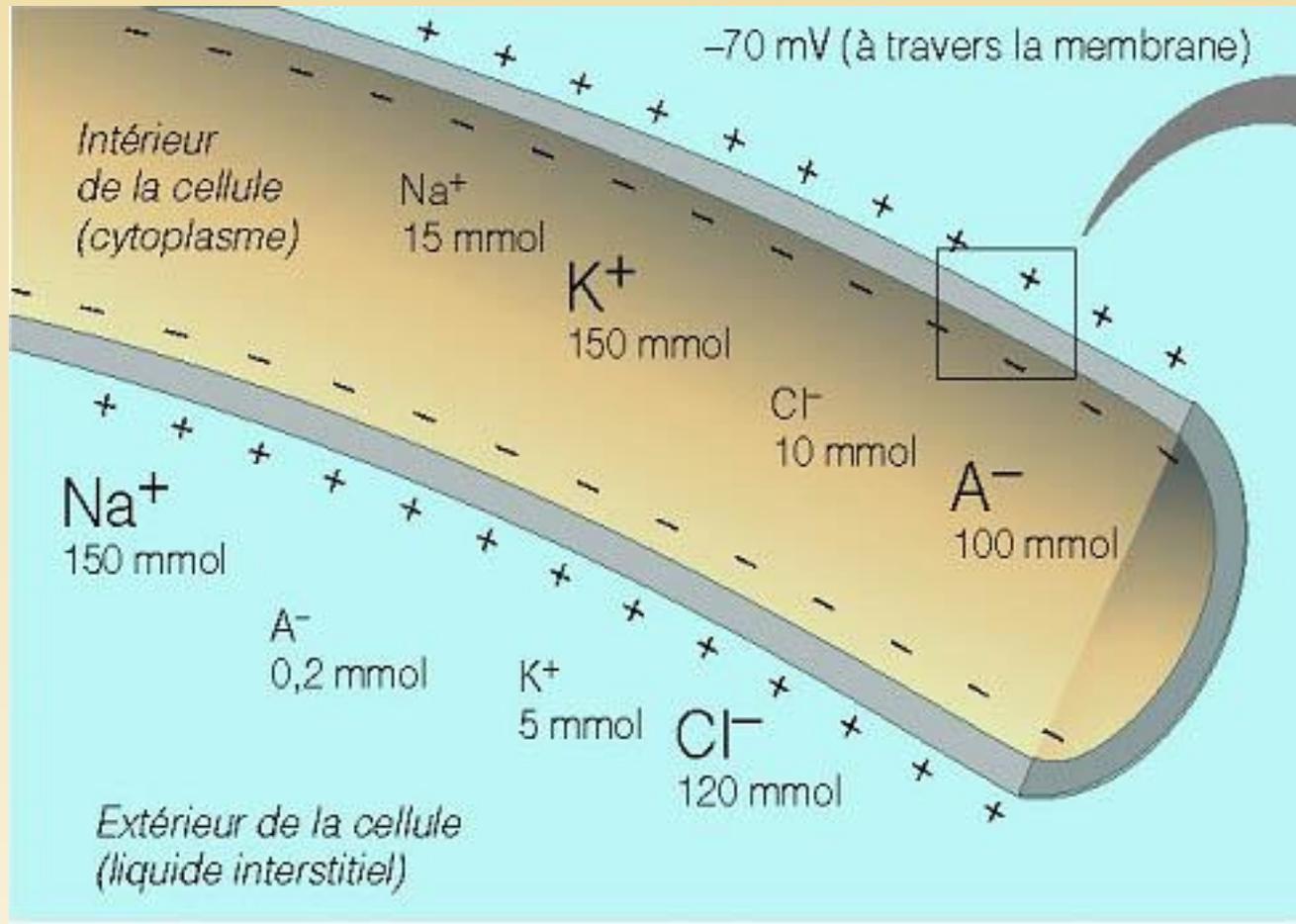


Membrane plasmique

Milieu extracellulaire



Composition ionique de chaque côté de la membrane de l'axone



Composition ionique de chaque côté de la membrane de l'axone

La membrane plasmique est perméable.

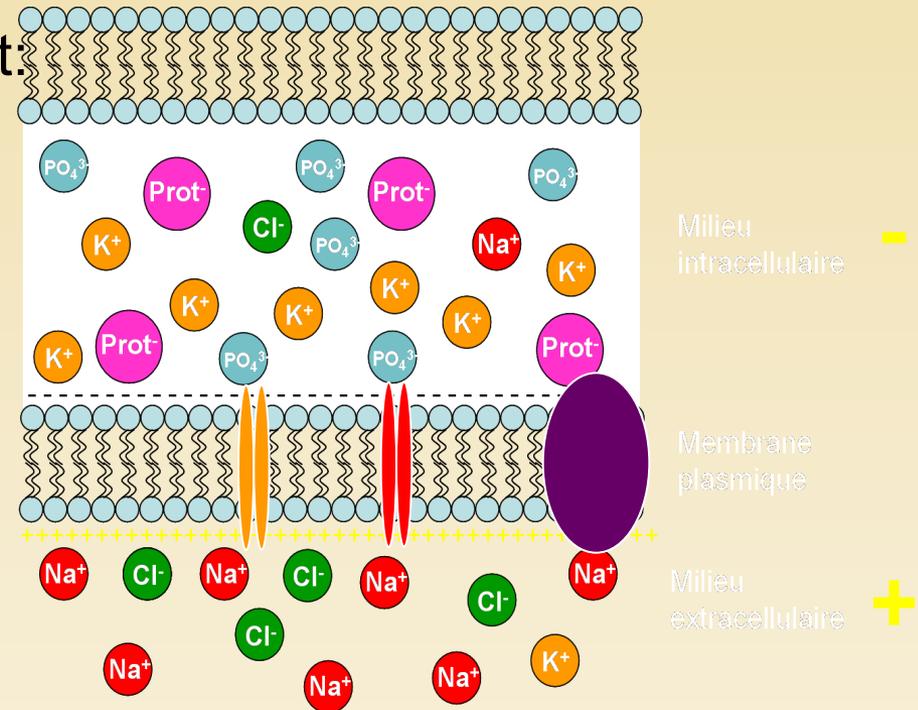
Présence de protéines de transport:

Transporteur à Na^+

Transporteur à K^+

Pompe Na^+/K^+

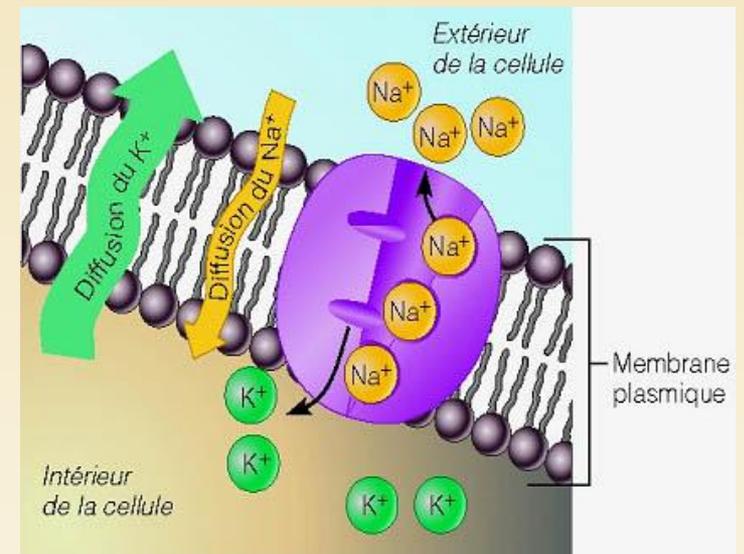
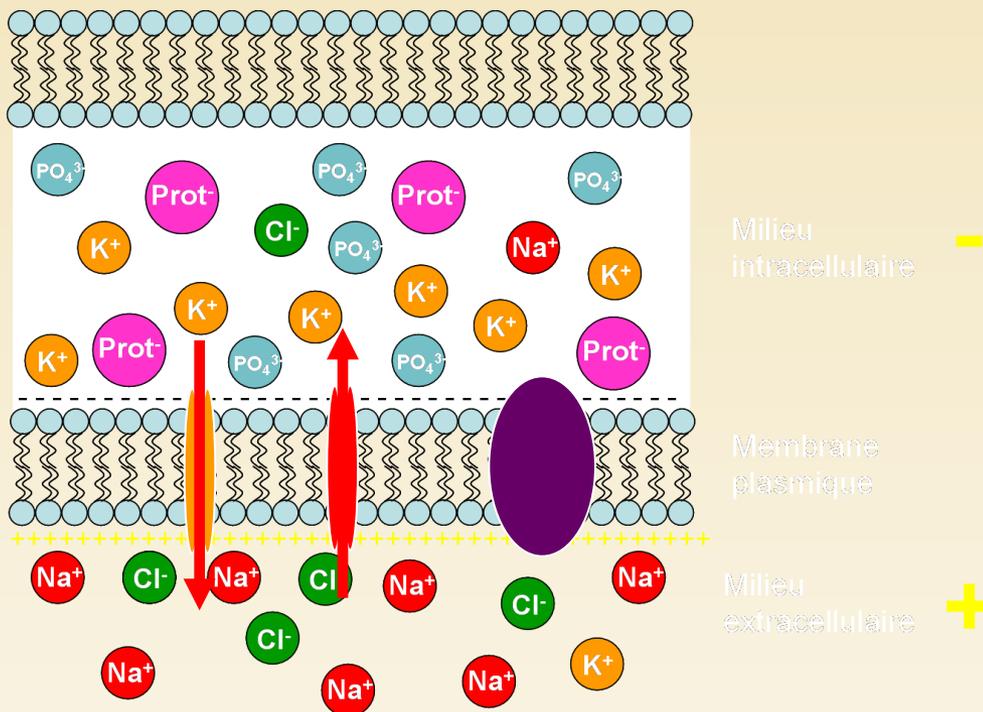
Diffusion et transport actif des ions



Le K^+ diffuse vers l'extérieur de la cellule selon son gradient de concentration.

Le Na^+ diffuse vers l'intérieur de la cellule selon son gradient de concentration.

Cependant, la membrane est plus perméable aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ . Donc, l'extérieur a tendance à être chargé « + ».

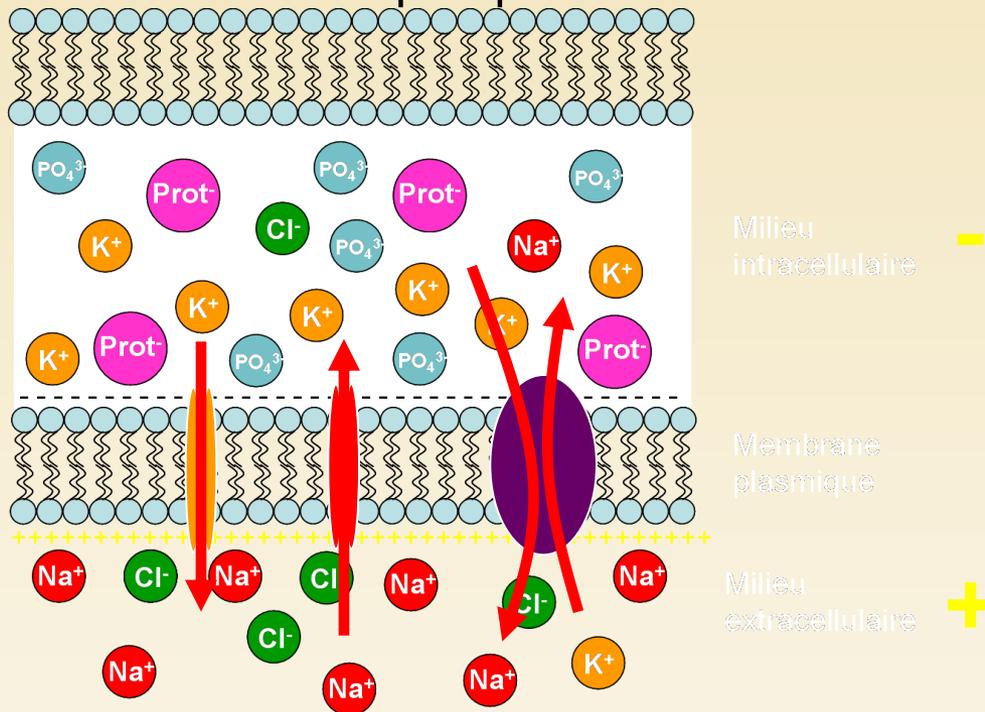


Si on laissait la diffusion se produire, on atteindrait un équilibre des charges de chaque côté de la membrane, ce qui enlèverait le potentiel de repos.

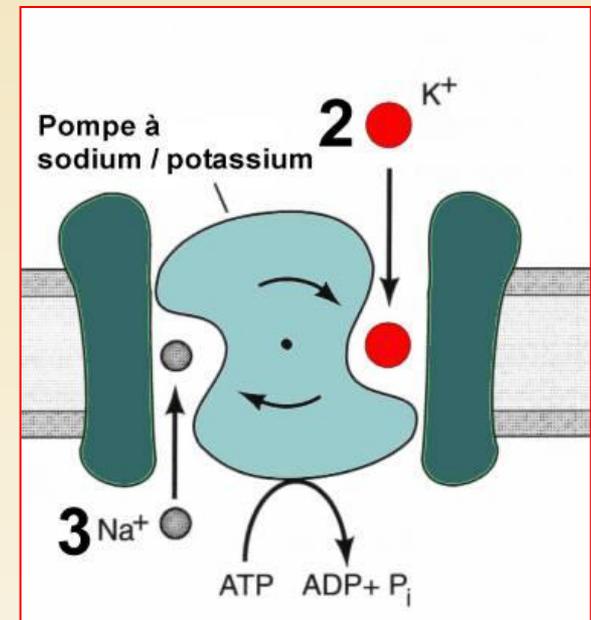
Les pompes Na^+/K^+ pompent les ions Na^+ vers l'extérieur de la cellule et pompent les ions K^+ vers l'intérieur.

Se fait contre le gradient de concentration, donc nécessite de l'énergie (ATP)

Environ 70% de l'énergie dépensée par un neurone sert à faire fonctionner les pompes Na^+/K^+ .



Entrée



Sortie

Les potentiels gradués

Un stimulus provoque l'ouverture de canaux ioniques.

Cela induit la diffusion des ions qui modifient le potentiel de membrane.

Cela crée un potentiel gradué:

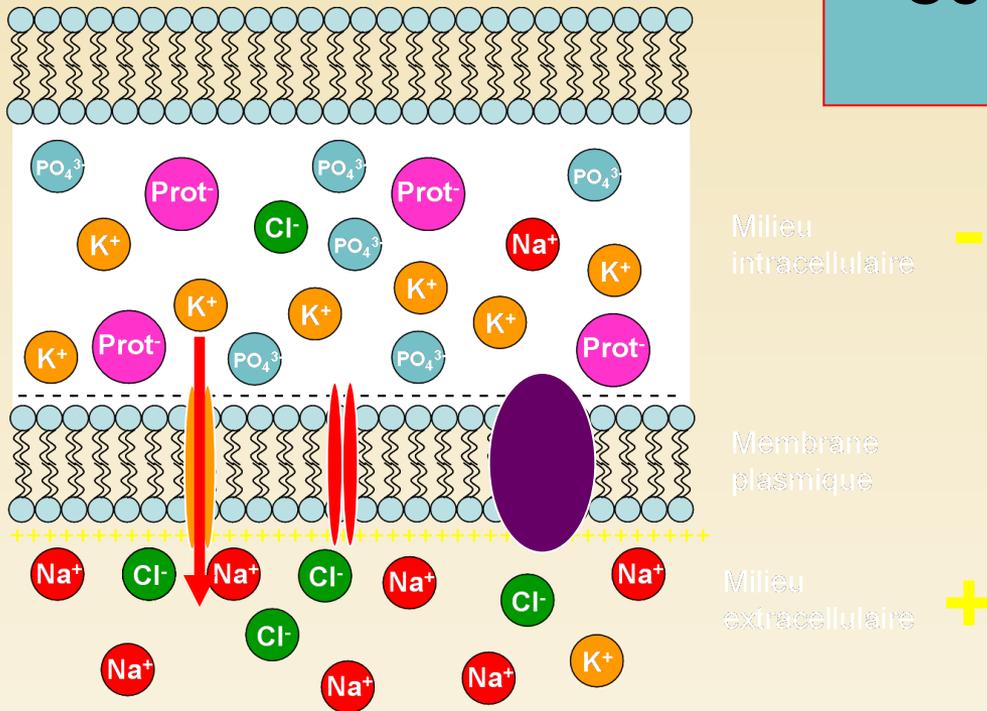
Modification locale et de courte durée du potentiel membranaire.

L'intensité du potentiel gradué est directement proportionnel à l'intensité du stimulus.

Si un stimulus ouvre des canaux à potassium (K^+):

Diffusion des ions K^+ à l'extérieur de la cellule

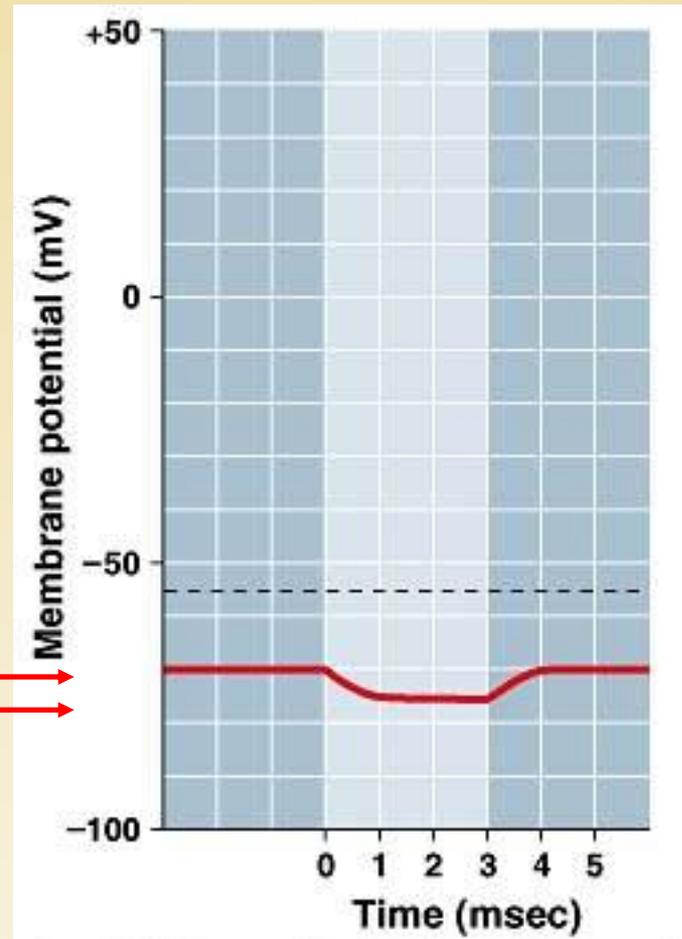
rend le potentiel de membrane **plus** négatif.



Ce phénomène se nomme
l'hyperpolarisation

Hyperpolarisation

Potentiel de repos (-70 mV)
Hyperpolarisation

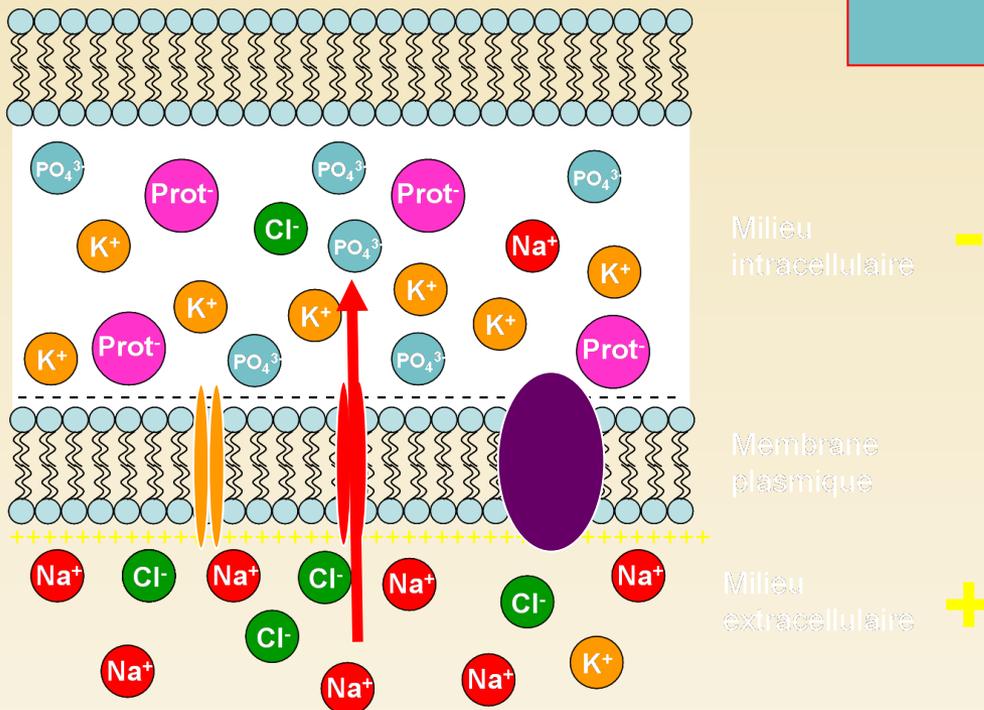


Si un stimulus ouvre des canaux à sodium (Na^+):

Diffusion des ions Na^+ vers l'intérieur de la cellule

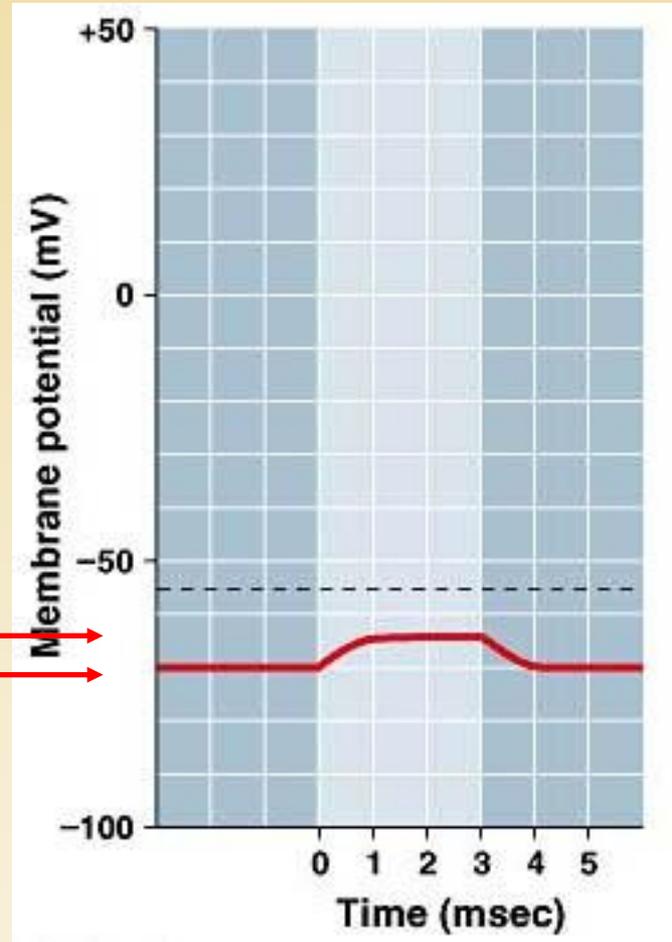
└─┬─> rend le potentiel de membrane **moins** négatif.

Ce phénomène se nomme la **dépolarisation**



Dépolarisation

Dépolarisation
Potentiel de repos (-70 mV)



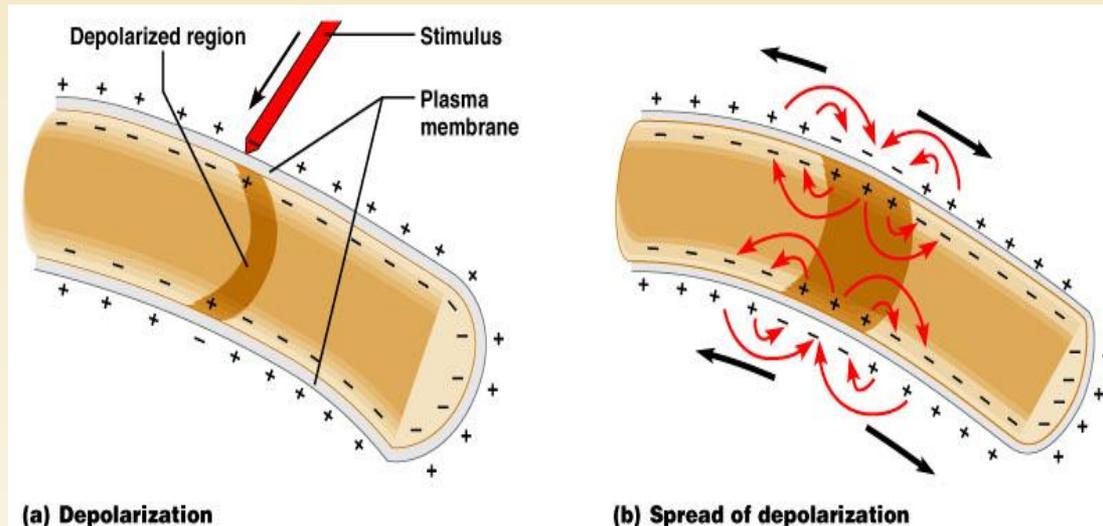
Propagation des potentiels gradués

Suite à un stimulus dépolarisant, les ions positifs qui ont entré dans le neurone migrent vers les régions négatives adjacentes.

Les ions négatifs, pour leur part, migrent vers les régions positives.

Cette migration ne se fait pas de part et d'autre de la membrane, mais bien le long de celle-ci.

La perméabilité de la membrane aux ions fait que les potentiels gradués ne se déplacent que sur de courtes distances avant de disparaître.



Les potentiels d'action

Un stimulus fort ouvre un plus grand nombre de canaux protéiques.

Ceci produit une plus grande perméabilité de la membrane plasmique.



Les potentiels d'action

Si un stimulus dépolarisant est assez fort:

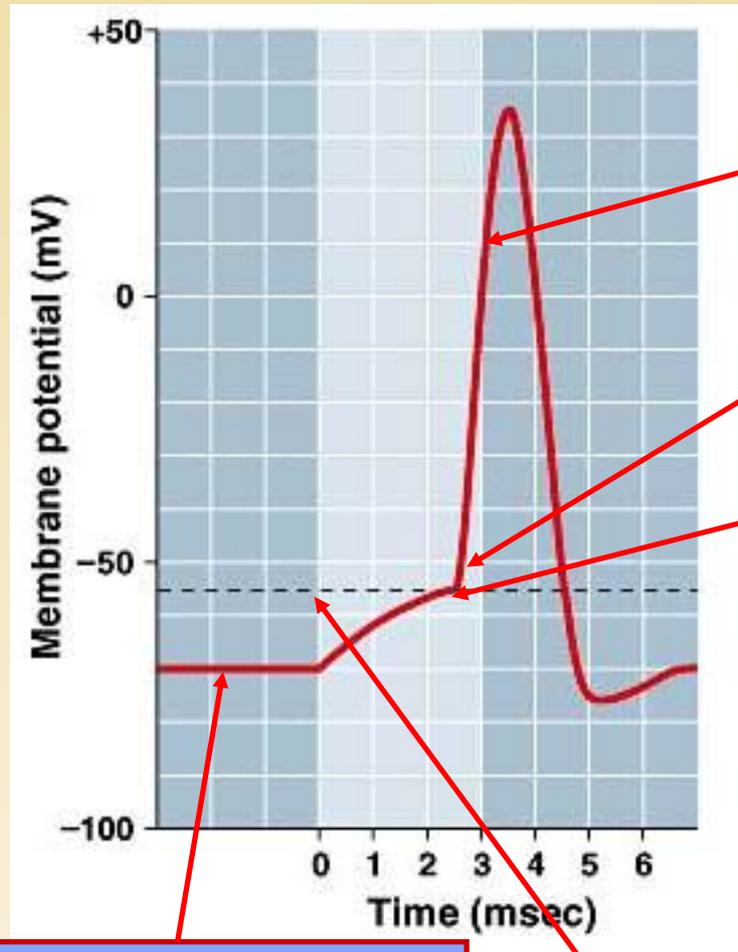
La dépolarisation peut atteindre le seuil d'excitation (environ -55 mV).

Alors, des canaux voltage-dépendants à sodium s'ouvrent et font entrer massivement du Na⁺ dans le neurone.

Ceci accroît la dépolarisation au **point d'inverser les polarités de la membrane.**

La réaction déclenchée par l'atteinte du seuil d'excitation se nomme le potentiel d'action.

Le potentiel d'action

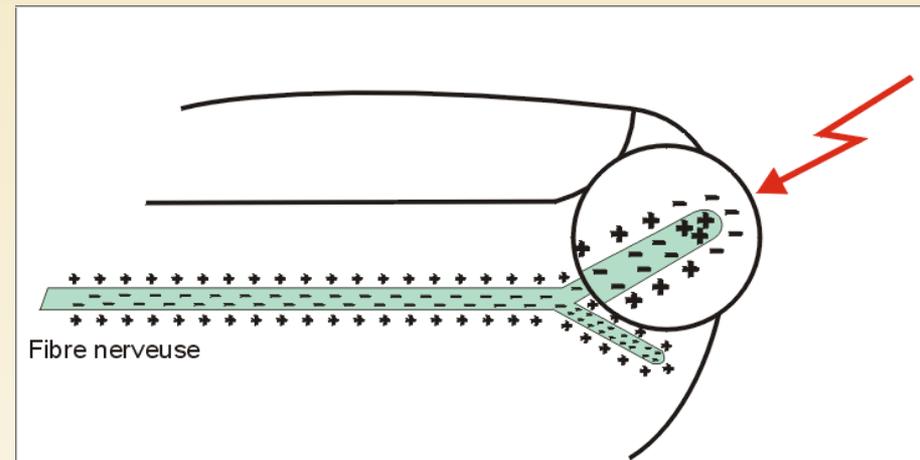


Potentiel de repos

Seuil d'excitation

1. Seuil d'excitation atteint
2. Ouverture des canaux à Na^+ voltage-dépendants
3. Potentiel d'action (inversion des polarités)

Inversion des polarités où le stimulus agit.



Qu'est-ce qu'un canal voltage-dépendant?

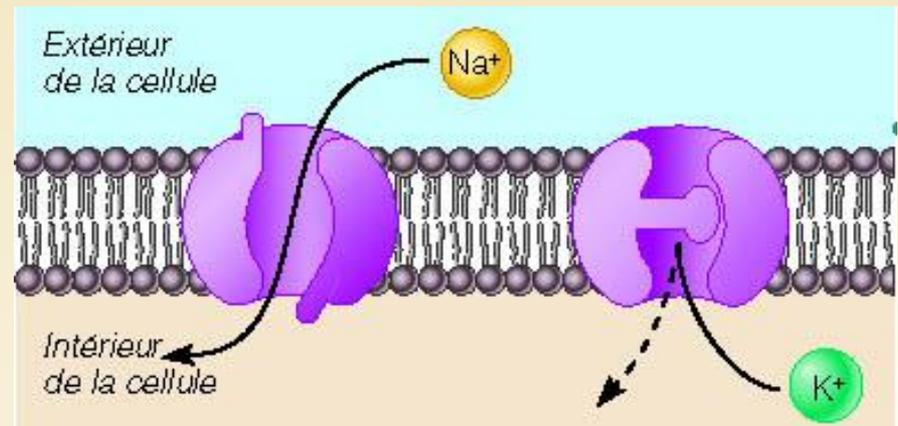
C'est un canal protéique qui s'ouvre sous l'effet d'un courant électrique.

Le déplacement d'ions à travers la membrane du neurone et dans celui-ci constitue un courant électrique qui ouvre les canaux voltage-dépendants.

Deux types de canaux voltage-dépendants sont impliqués dans le potentiel d'action:

Canaux à sodium

Canaux à potassium



Une fois le potentiel d'action atteint, il y a une repolarisation.

Il y a une baisse de polarité.

Due à 2 facteurs:

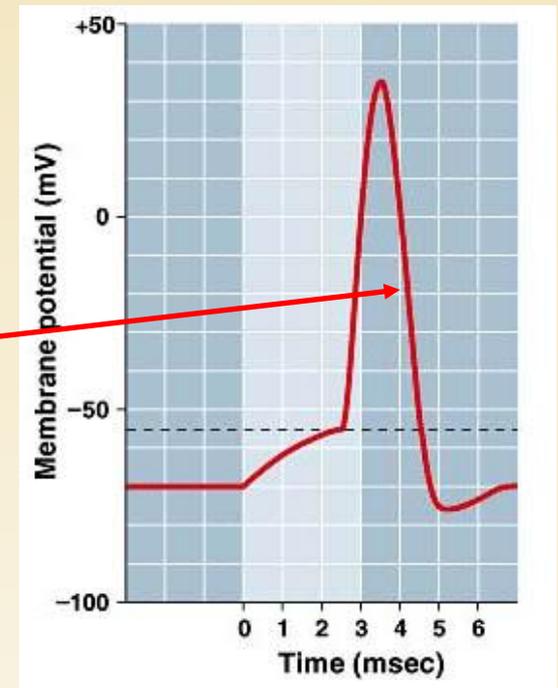
Fermeture des canaux voltage-dépendants à Na^+

Arrêt de diffusion des Na^+

Ouverture des canaux voltage-dépendants à K^+

Sortie des ions K^+

Repolarisation

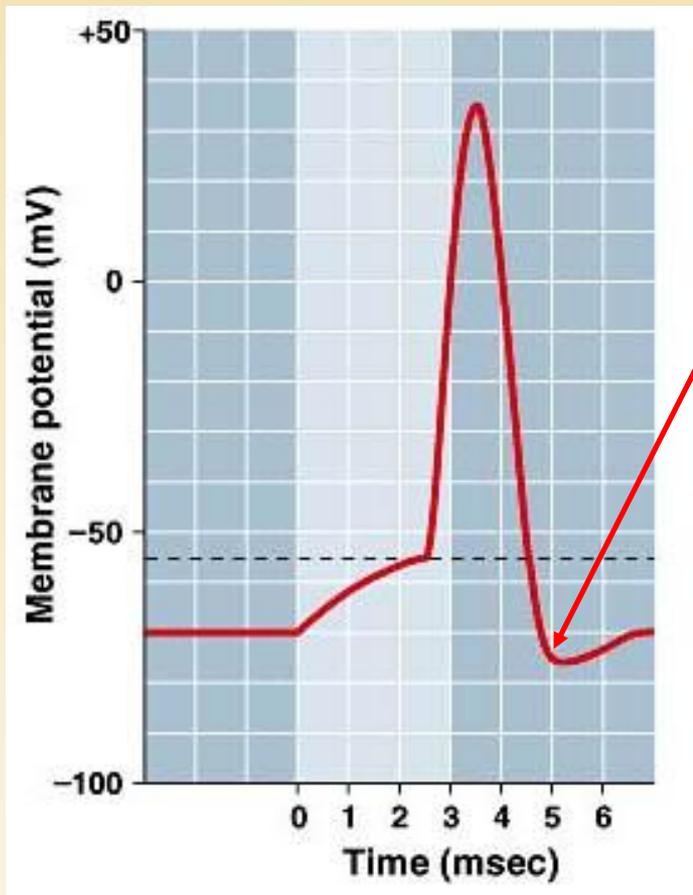


L'excès de sortie des ions K^+ induit une hyperpolarisation.

Le potentiel de membrane devient plus négatif que celui au repos.

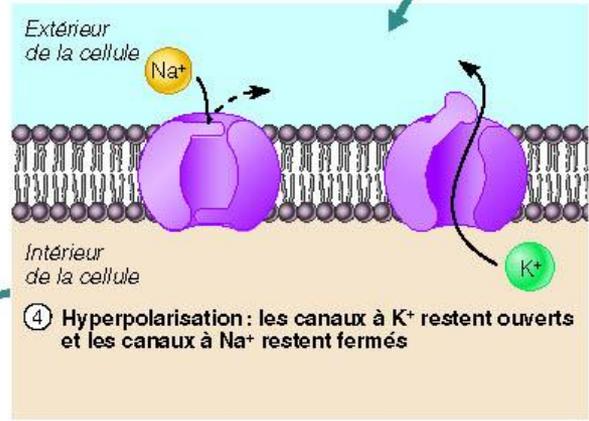
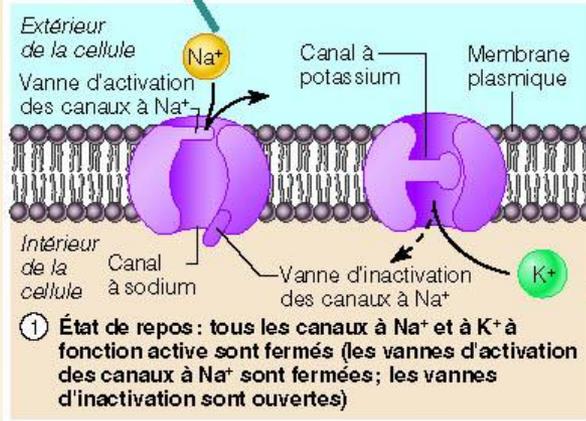
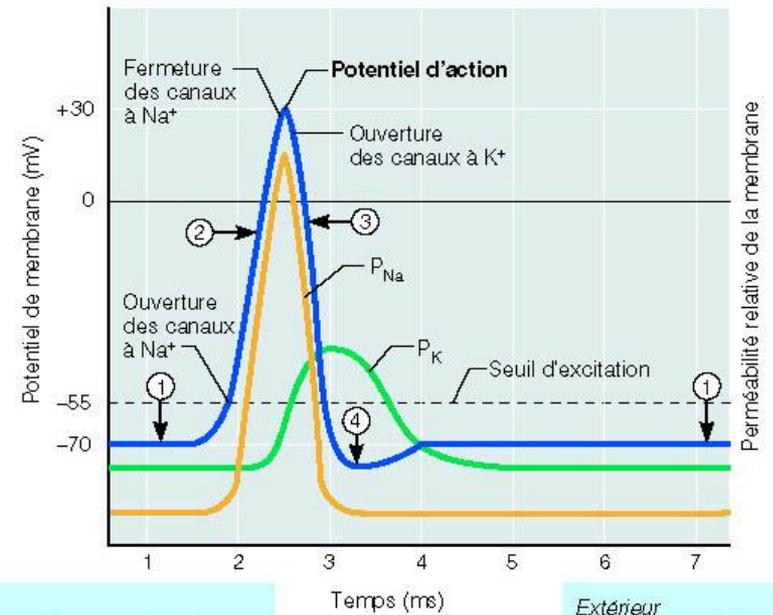
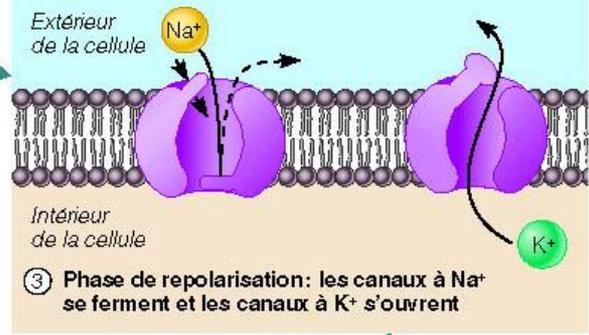
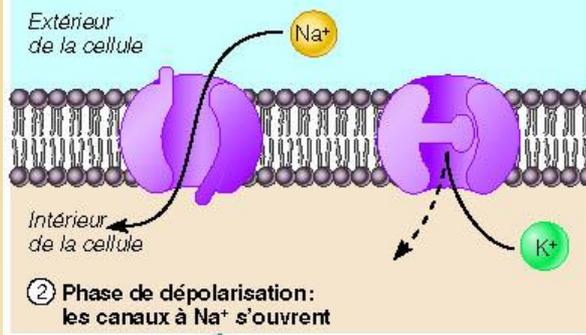
Les canaux voltage-dépendants à K^+ se ferment.

La pompe Na^+/K^+ rétablit le potentiel de repos.



Phase d'hyperpolarisation

Pendant la phase d'hyperpolarisation, le neurone est insensible à un stimulus. L'intervalle de temps de cette hyperpolarisation se nomme la **période réfractaire**.

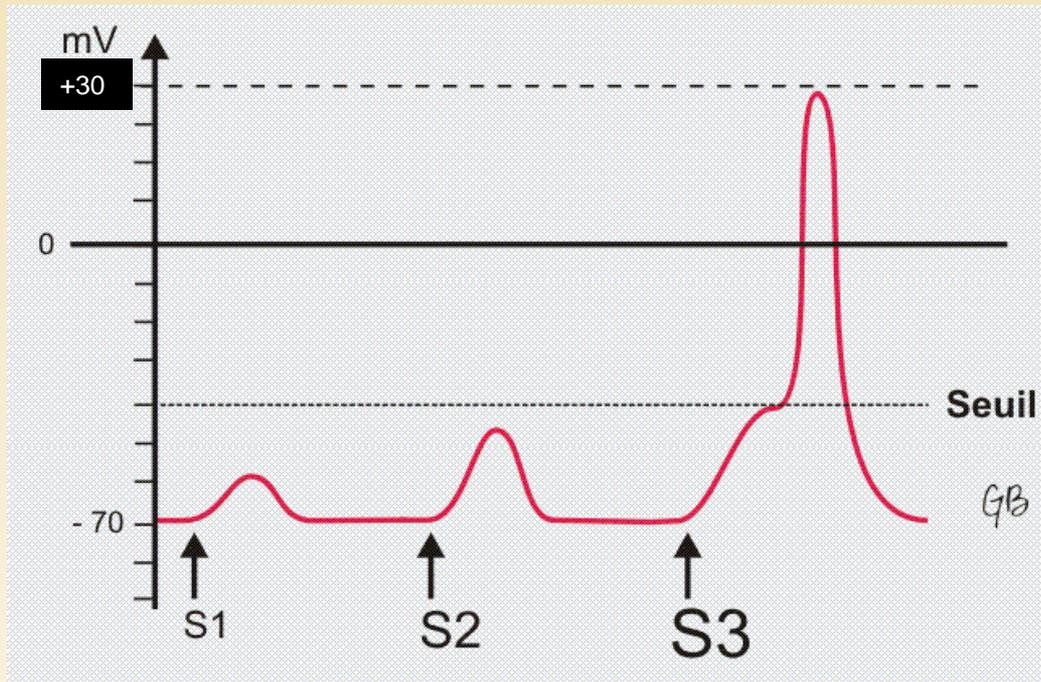


La loi du tout ou rien

Le potentiel d'action est une réaction de type ***tout ou rien***.

Si le stimulus est assez fort pour atteindre le seuil d'excitation: potentiel d'action.

Si le stimulus n'est pas assez fort pour atteindre le seuil d'excitation: pas de potentiel d'action.

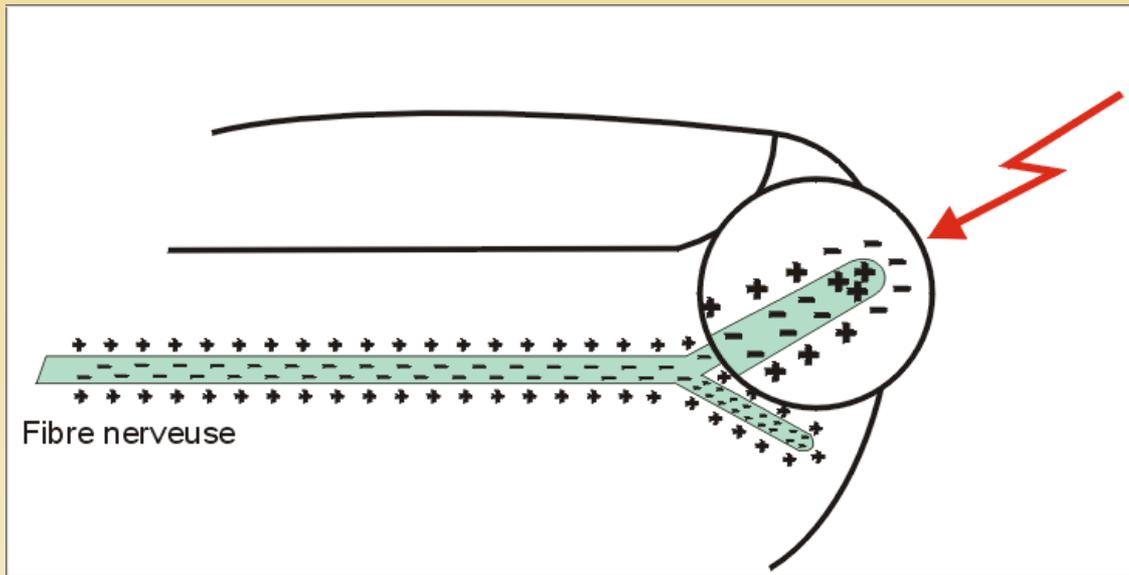


Seul le stimulus S3 est assez intense pour induire un potentiel d'action.

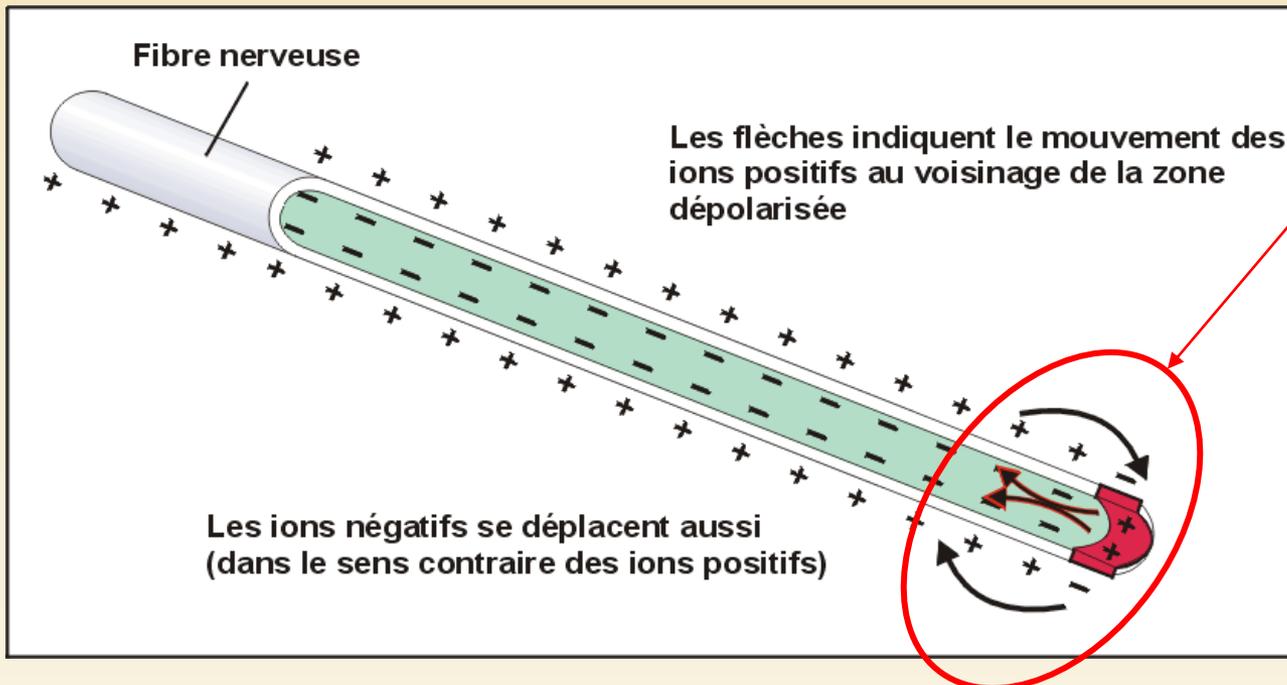
Peu importe l'intensité du stimulus, la dépolarisation ne dépassera pas + 30 mV.

Quel est le lien entre le potentiel d'action et l'influx nerveux?

Influx nerveux: déplacement du potentiel d'action le long de la membrane du neurone.

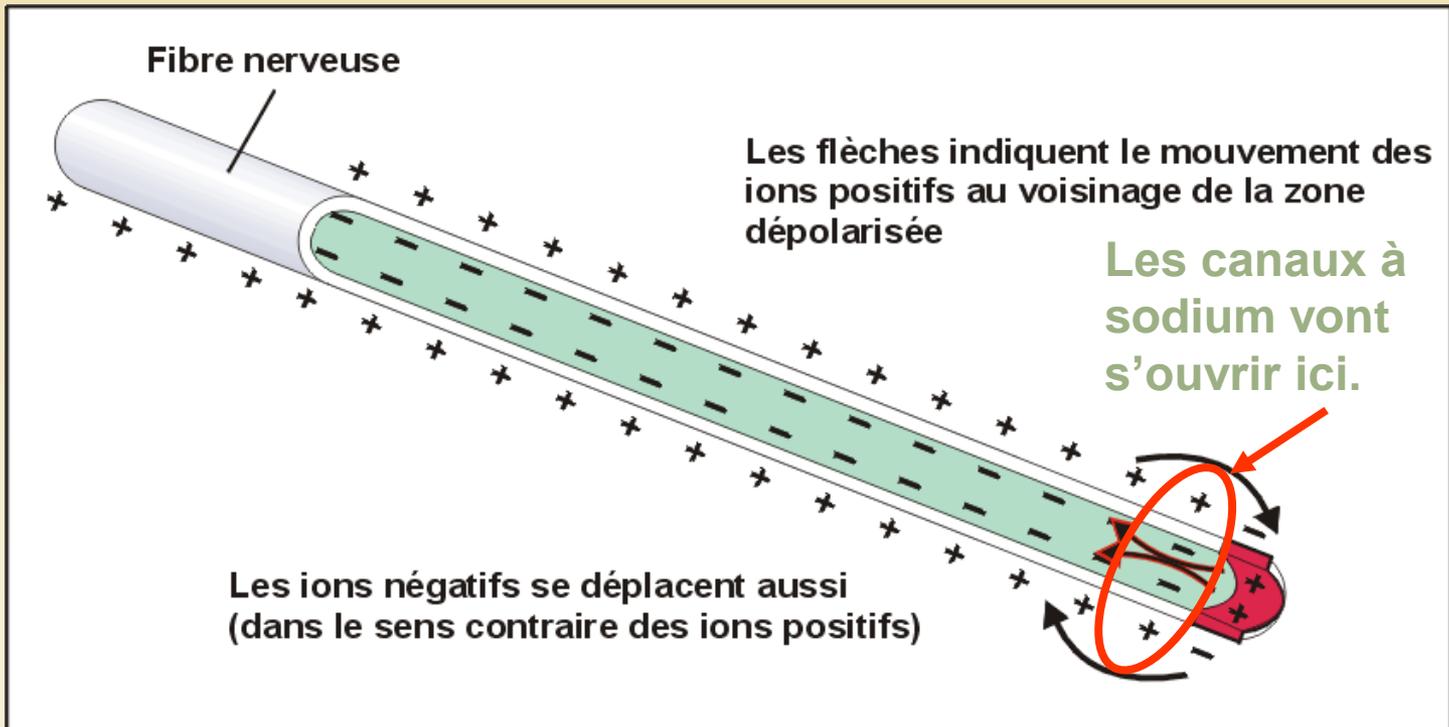


Nous avons vu qu'un stimulus engendrait un potentiel d'action ce qui induisait un inversement de la polarité du neurone à l'endroit où ce stimulus agit.



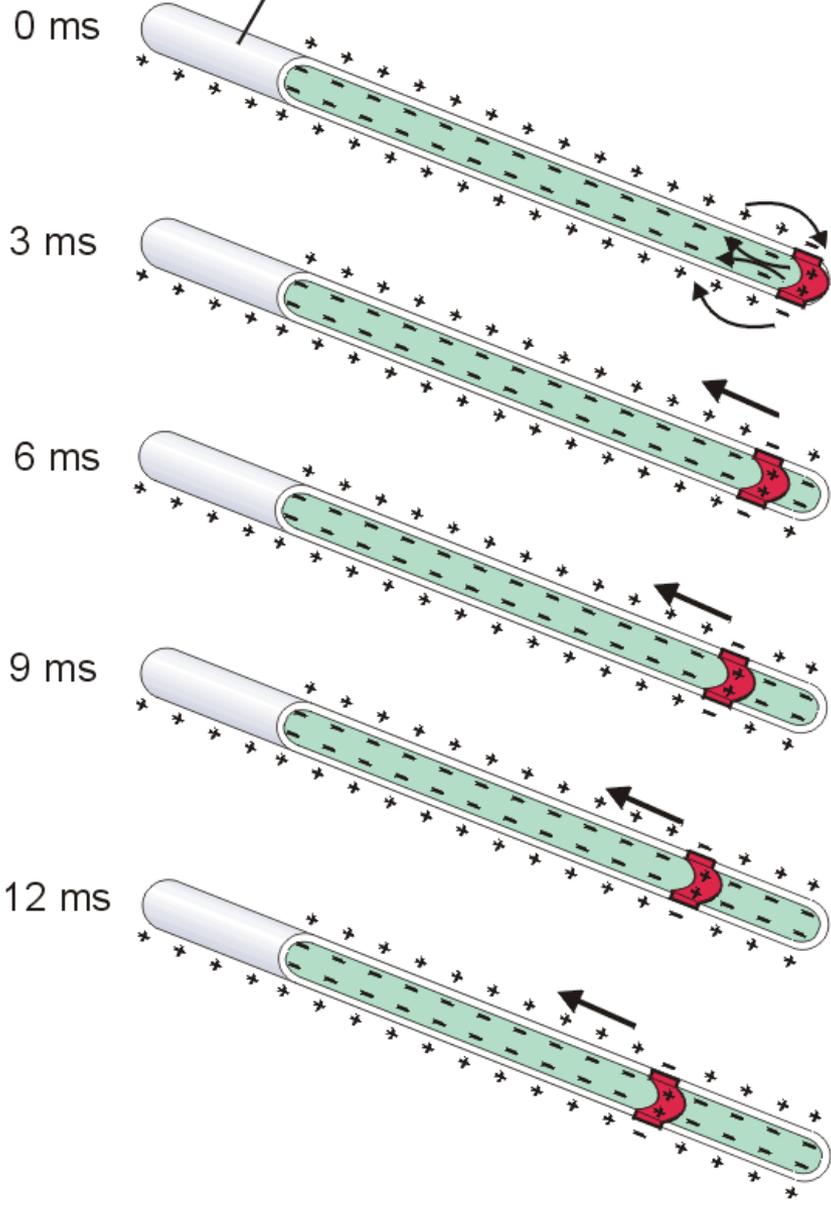
Il y a un déplacement d'ions dans le voisinage de la zone dépolarisée.

Les faibles courants électriques engendrés par le déplacement des ions provoquent l'ouverture de canaux à sodium voltage-dépendants au voisinage de la zone qui s'est dépolarisée, ce qui provoque la dépolarisation de la zone voisine.

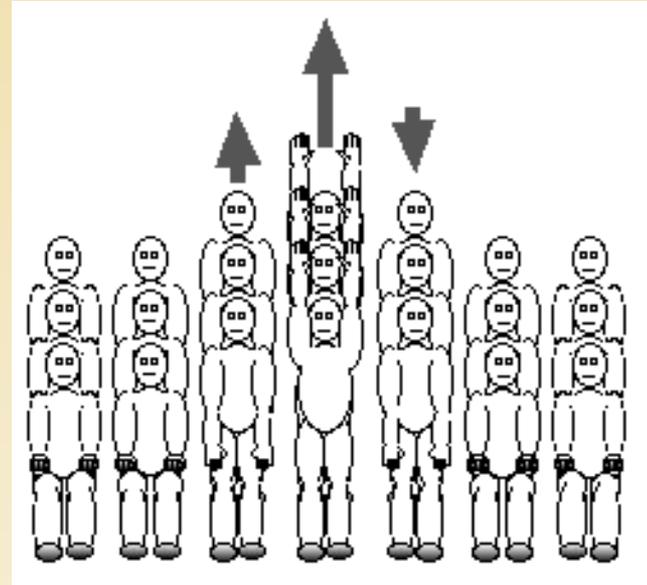


La dépolarisation d'un point de la membrane provoque la dépolarisation du point voisin.

Fibre nerveuse

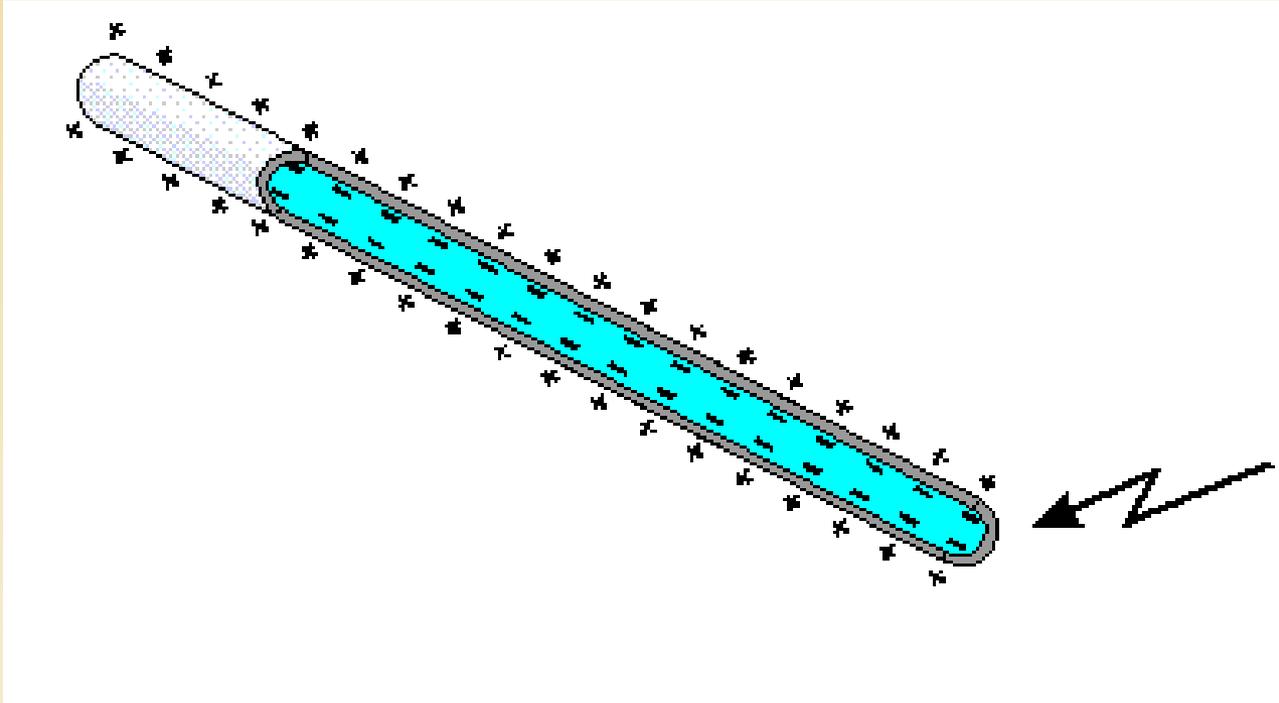


Influx nerveux: déplacement du potentiel d'action le long de la membrane du neurone



Même principe que la vague dans un stade

L'influx nerveux



Les anesthésiques locaux bloquent les canaux à sodium.
Que se passe-t-il si on bloque ces canaux?

Tétrodotoxine

La tétrodotoxine est une neurotoxine retrouvée dans les viscères des tétraodons.

La tétrodotoxine bloque les pores des canaux sodium voltage-dépendants.

L'influx nerveux est donc inhibé et cela cause une paralysie.



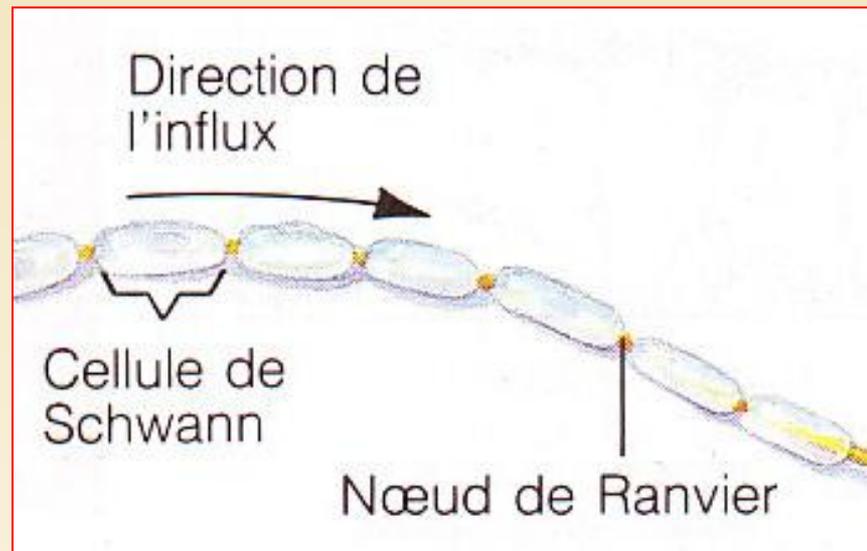
Vitesse de l'influx nerveux

De 3 à 360 km/h environ

La vitesse dépend:

Diamètre de l'axone: grand diamètre = haute vitesse.

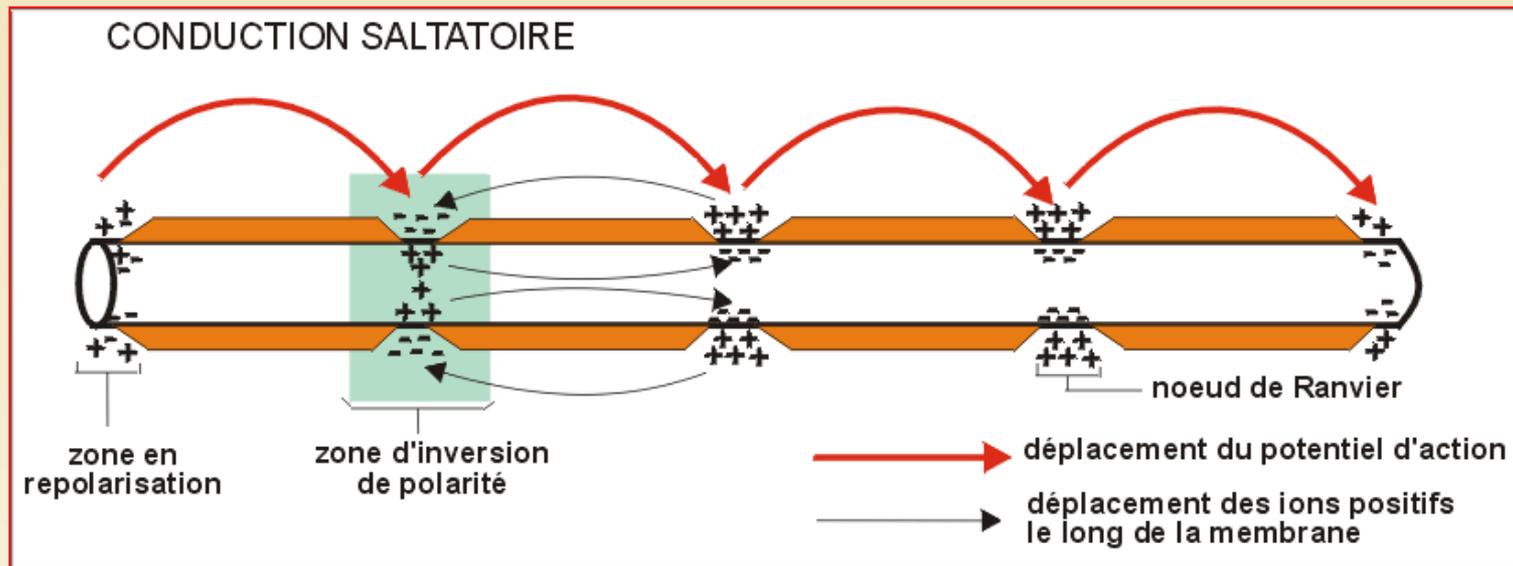
Présence de myéline: augmente la vitesse.



Les canaux voltage-dépendants sont regroupés au niveau des nœuds de Ranvier.

Le potentiel d'action *saute* d'un nœud de Ranvier à l'autre (conduction saltatoire).

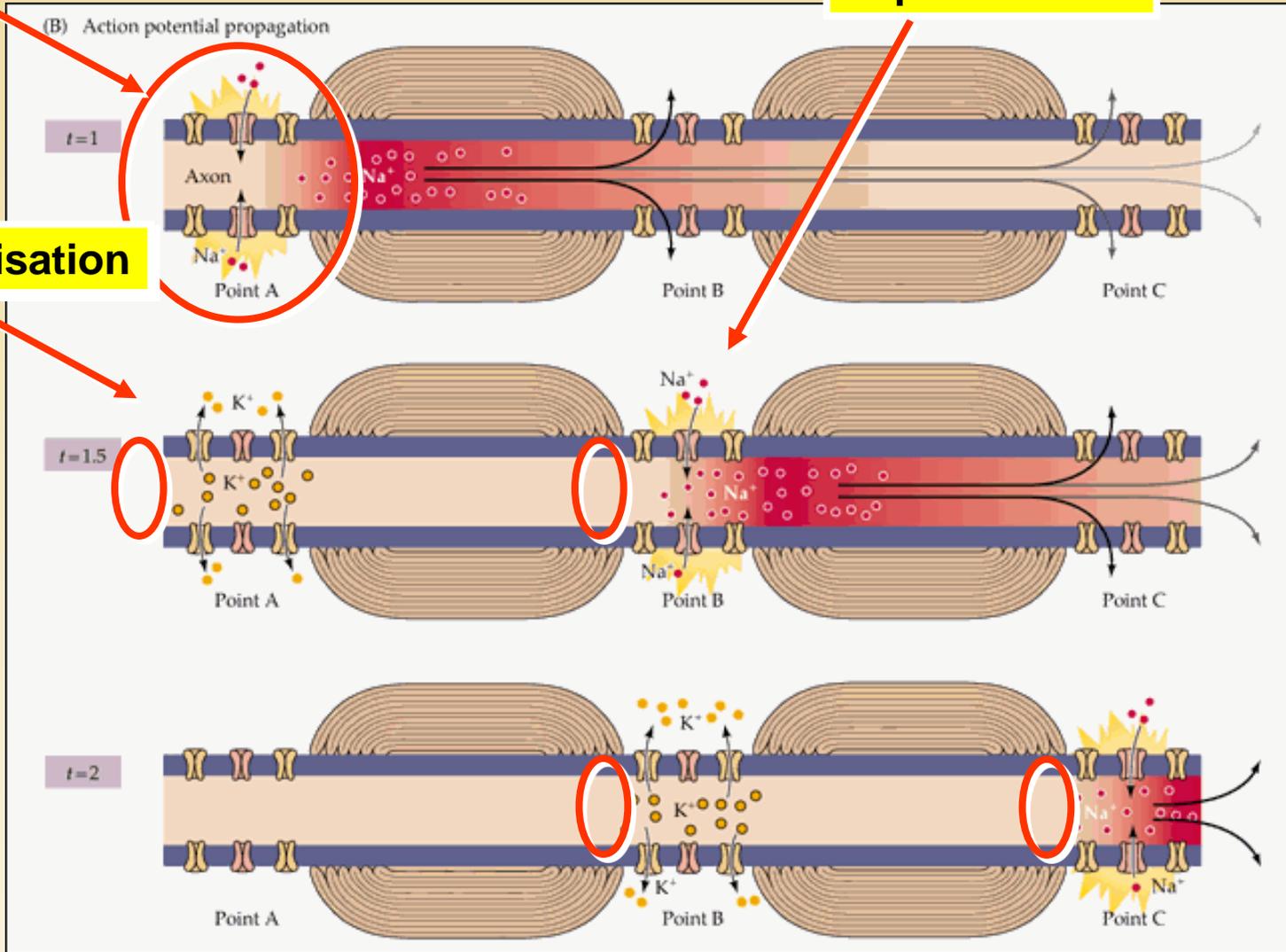
Permet d'accélérer la vitesse de l'influx nerveux.



dépolarisation

dépolarisation

repolarisation



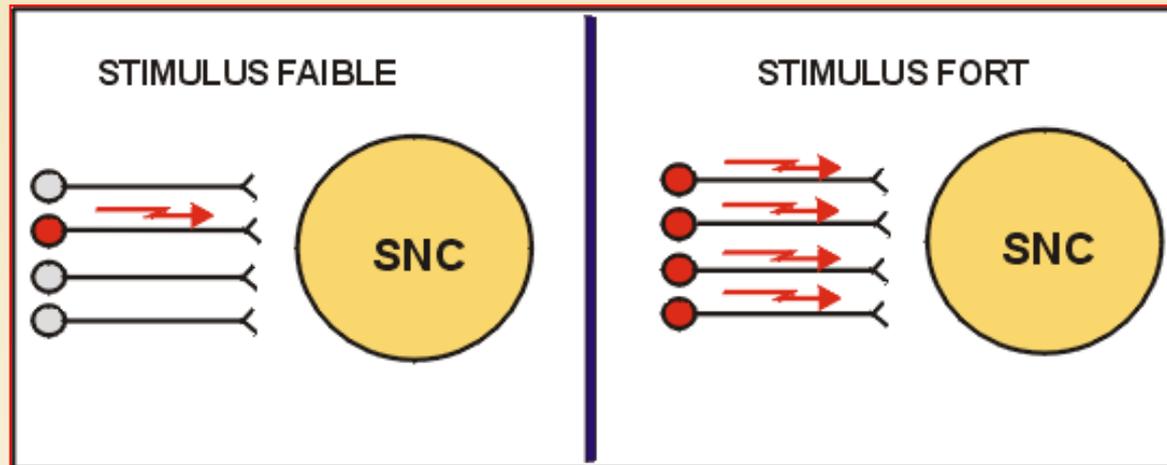
repolarisation

dépolarisation

Perception de l'intensité d'un stimulus

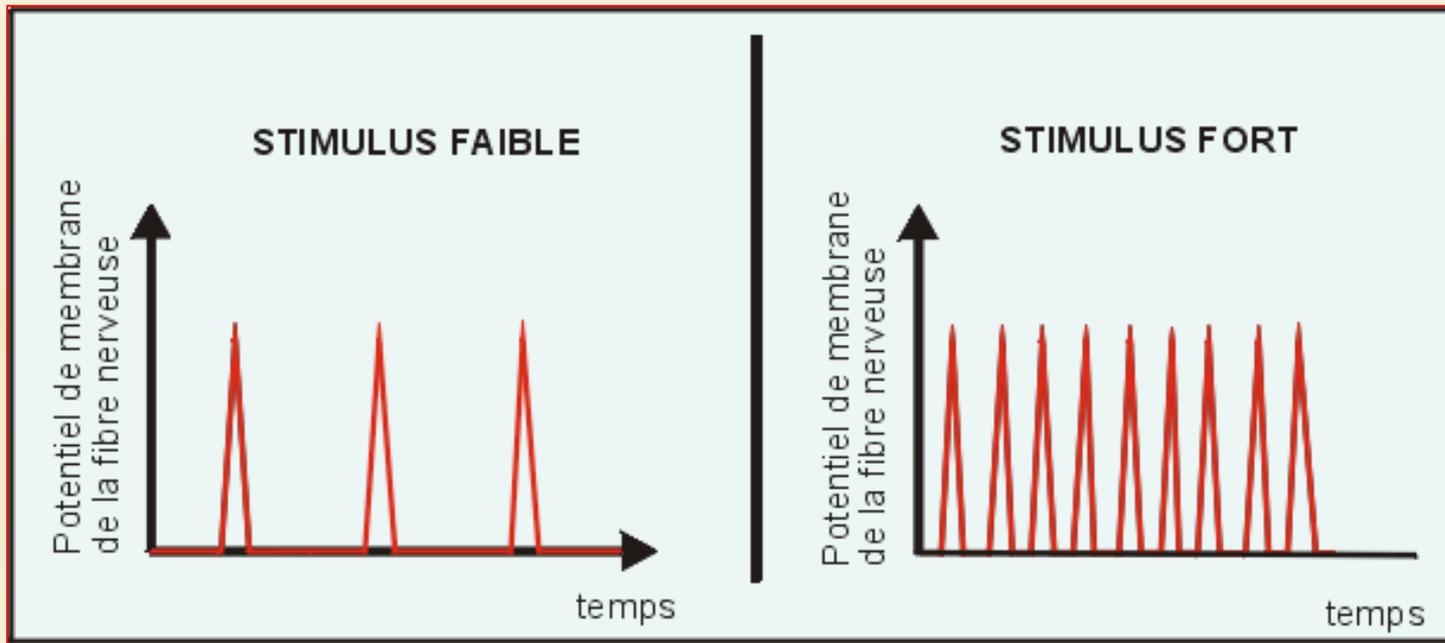
Le SNC peut faire la différence entre un stimulus faible et un stimulus fort même si le potentiel d'action est le même dans les deux cas:

1. Un stimulus fort fait réagir plus de neurones qu'un stimulus faible.



Perception de l'intensité d'un stimulus

2. La fréquence des potentiels produits est plus grande si le stimulus est fort.



Notez que le potentiel d'action a toujours la même intensité.

C'est la fréquence qui détermine l'intensité du stimulus.