

Neurophysiologie, signalisation cellulaire et contraction musculaire

1. Introduction et généralités sur le SN

1.1. Le SN

1.2. Organisation de l'encéphale

1.3. Fonctions du SN

2. Neurones et influx nerveux

2.1. Constitution des neurones et des nerfs

2.2. Neurone et potentiel membranaire de repos

2.3. Neurone et potentiel d'action

2.4. La synapse chimique

2.5. Exemple de signalisation chimique : transmission neuromusculaire

3. SN et relations avec l'environnement

3.1. Moelle épinière

3.2. Encéphale

- Tronc cérébral (bulbe rachidien, noyaux des nerfs crâniens, centres moteurs particuliers, formation réticulée)
- Cervelet
- Cerveau (hémisphères cérébraux, diencéphale, télencéphale)

4. Voies sensibles et motrices

4.1. Voies ascendantes (sensitives)

4.2. Voies descendantes (motrices)

- Voie pyramidale (faisceaux pyramidaux)
- Faisceaux extra-pyramidaux (voies arché-motrices, paléo-motrices, néo-motrices)

5. Muscle et contraction musculaire

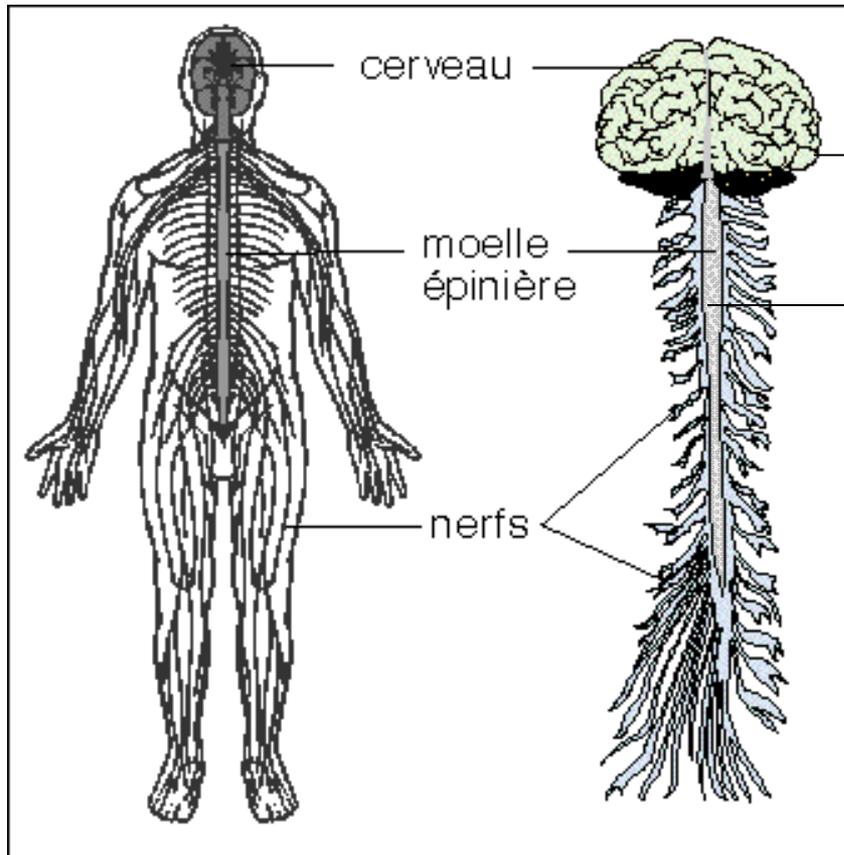
5.1. Caractéristiques du tissu musculaire

5.2. Anatomie du muscle (niveaux macroscopiques, microscopiques et ultramicroscopiques)

5.3. Contraction musculaire

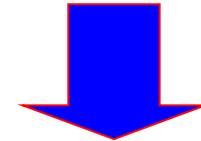
1. Introduction et généralités sur le SN

• Le système nerveux



Dans le crâne

Dans le canal vertébral de la
colonne vertébrale



Recouverts par 3 membranes =
méninges (protection)

Espaces entre les membranes = liquide céphalorachidien.

Le SNC flotte dans un récipient rempli de liquide : protection

• Le système nerveux (SN) est adapté pour fournir des signaux rapides sur de longues distances (mm – m)

• Le SN =

➤ encéphale

➤ moelle épinière

➤ nerfs périphériques

(nerfs crâniens et rachidiens)

➤ SN végétatif ou autonome

➤ SN entérique

SNC (central)

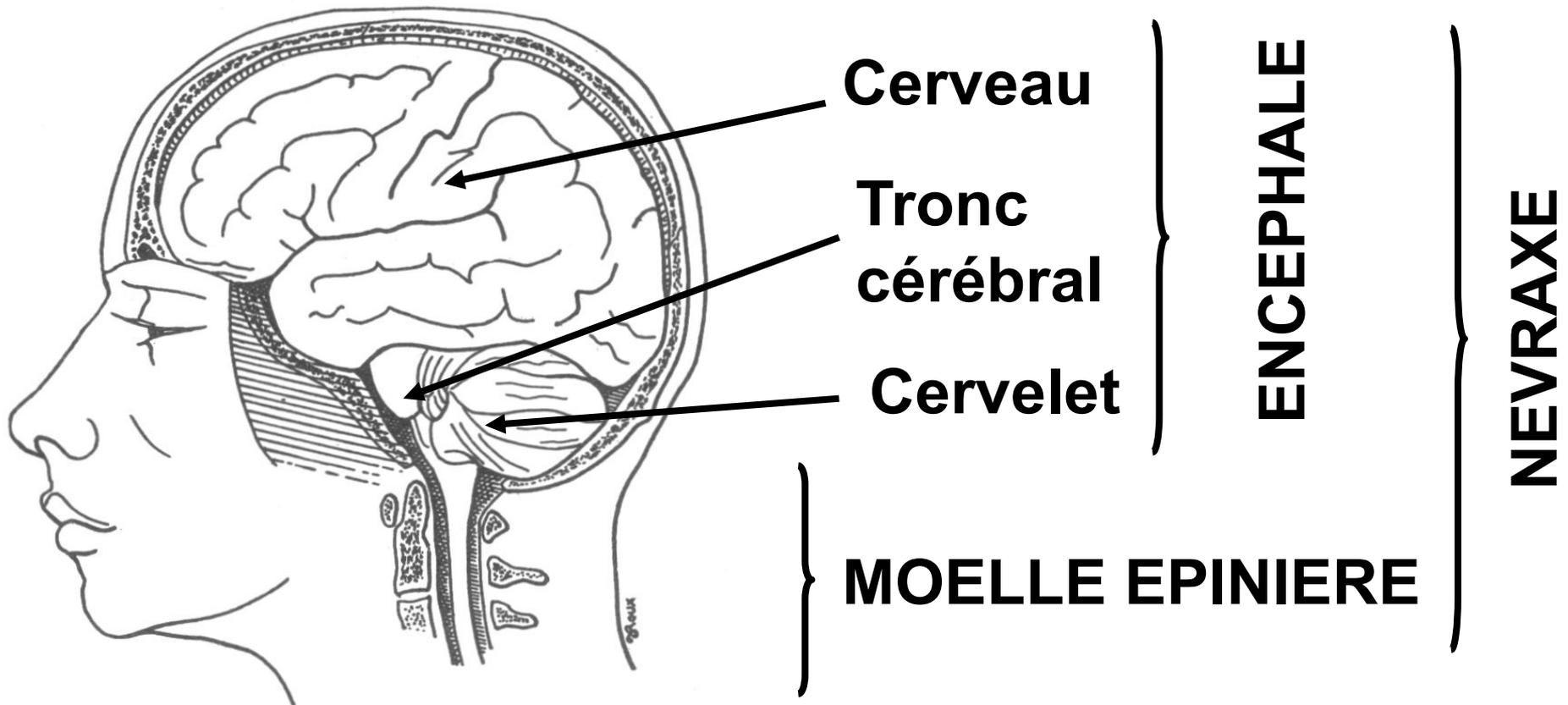
SNP (périphérique)

Innerve les vaisseaux sanguins et organes internes
Contrôle l'activité du tube digestif

- Organisation de l'encéphale (1)

L'encéphale comporte le cerveau, le tronc cérébral et le cervelet.

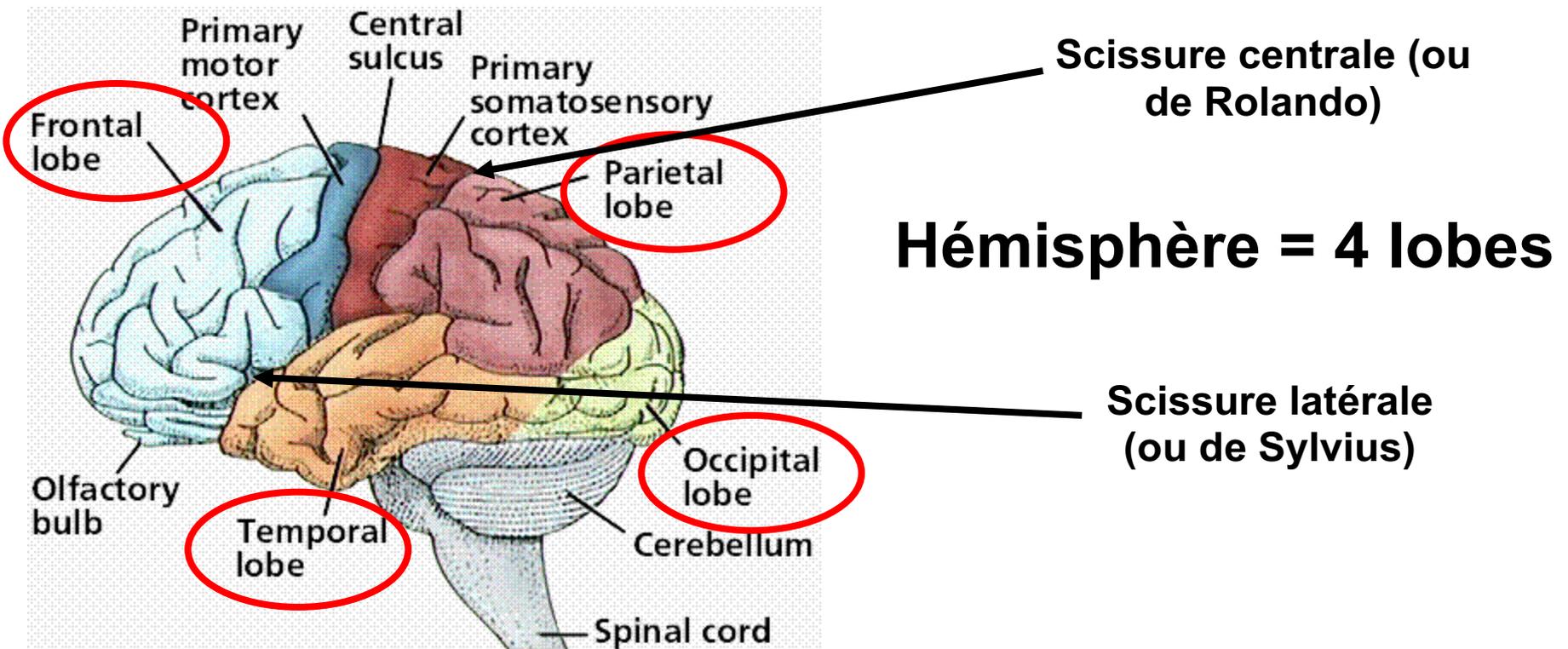
Ce sont des centres d'intégration, qui analysent les infos sensorielles afin de donner des réponses motrices basées sur l'expérience, les réflexes....



- Organisation de l'encéphale (2)

La surface du cerveau comporte de nombreux de replis = scissures ou sillons et des surfaces lisses = gyrus (circonvolutions cérébrales)

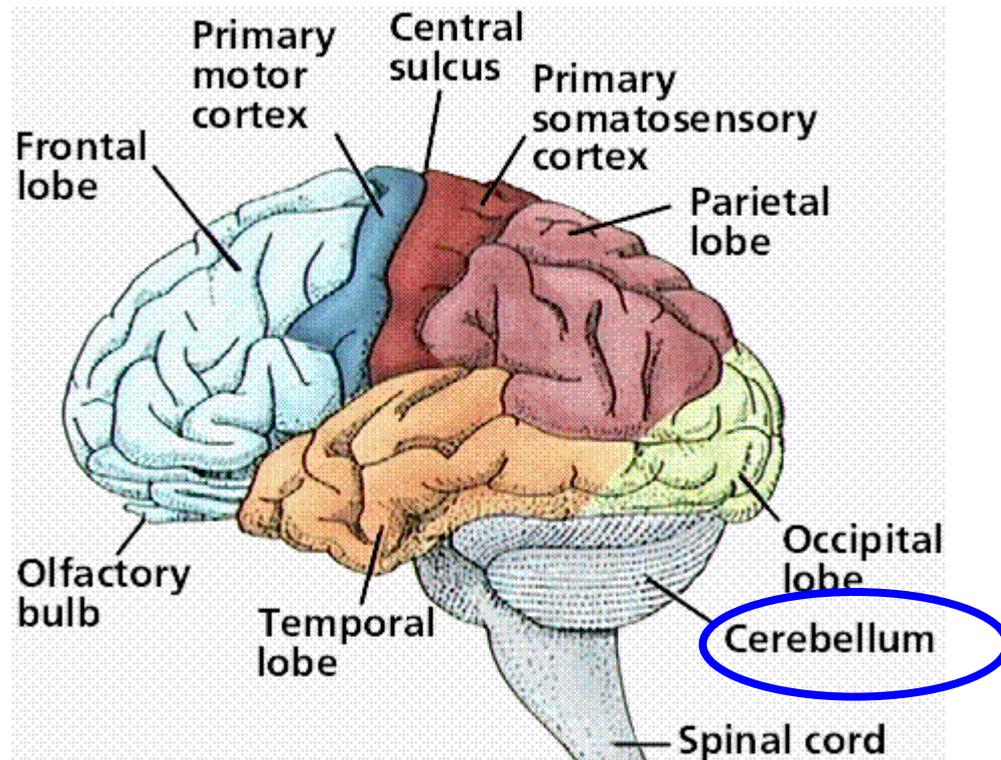
Cerveau = 2 hémisphères cérébraux divisés par la scissure interhémisphérique



- Organisation de l'encéphale (3)

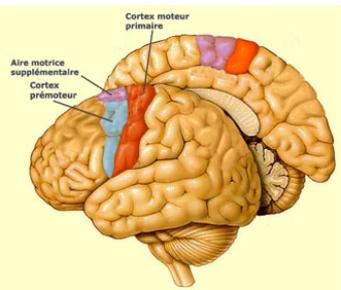
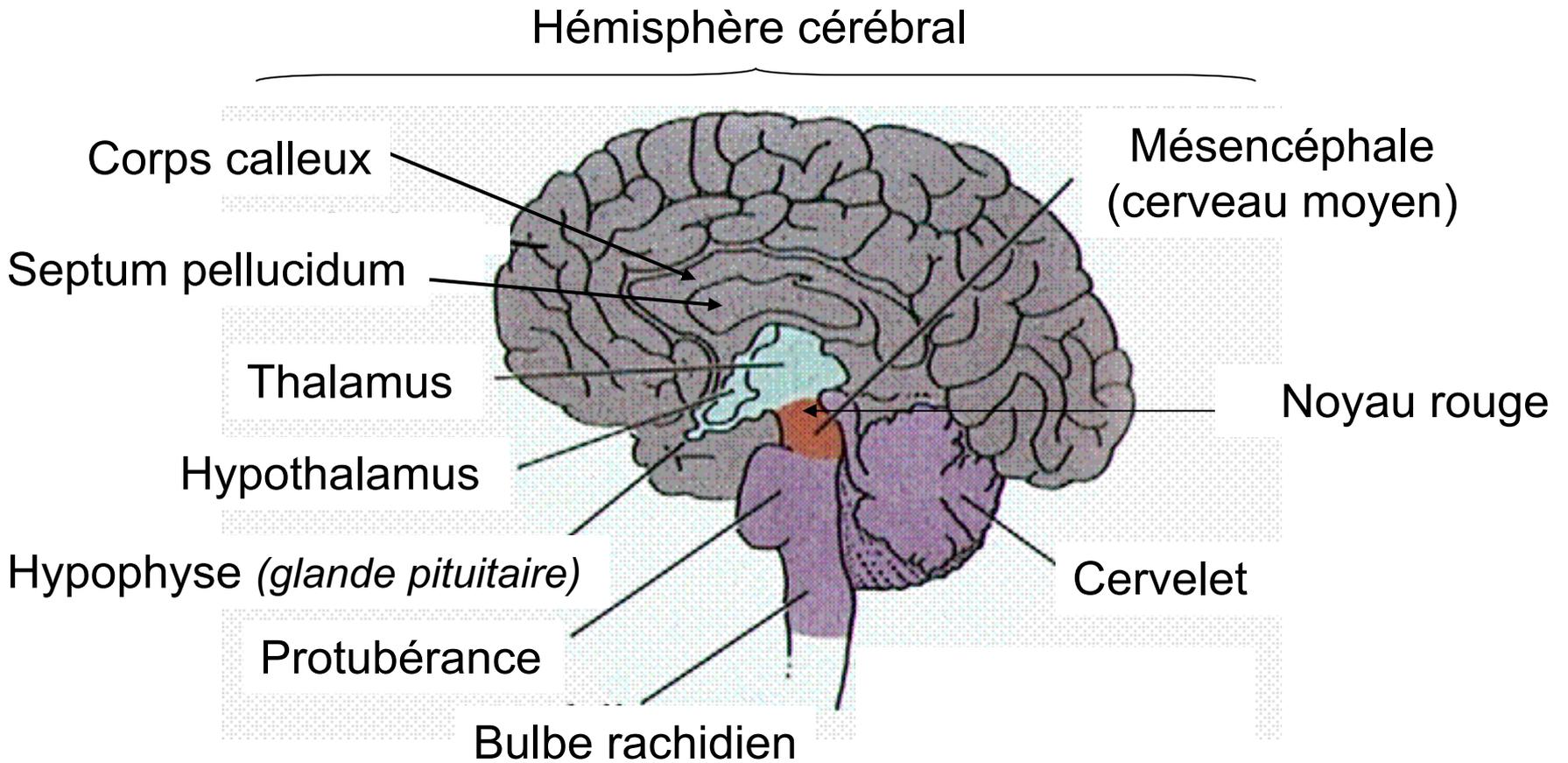
En arrière des hémisphères cérébraux : cervelet = nombreuses circonvolutions

Avant



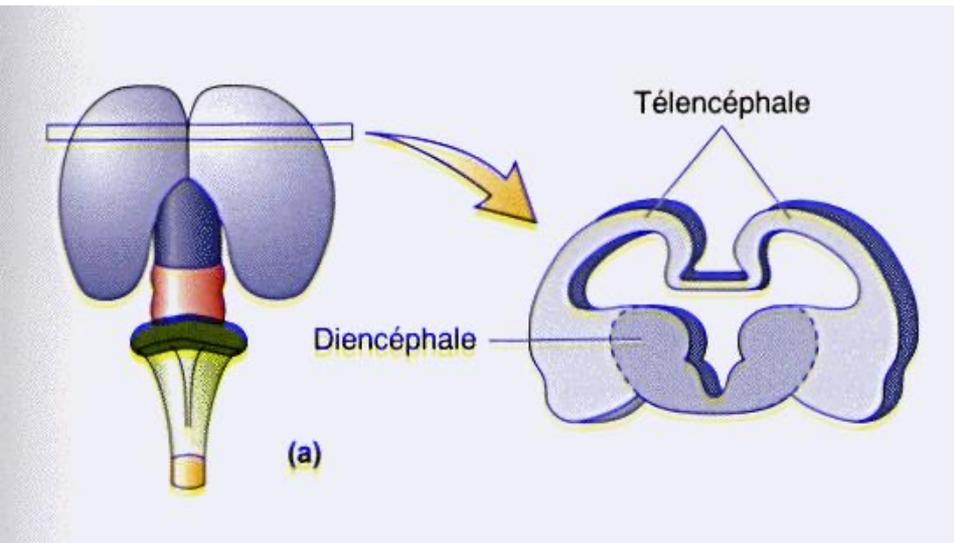
Arrière

- Organisation de l'encéphale (4)



Coupe longitudinale de l'encéphale selon la ligne moyenne entre les hémisphères cérébraux

Développement du système nerveux



Terminologie classique :

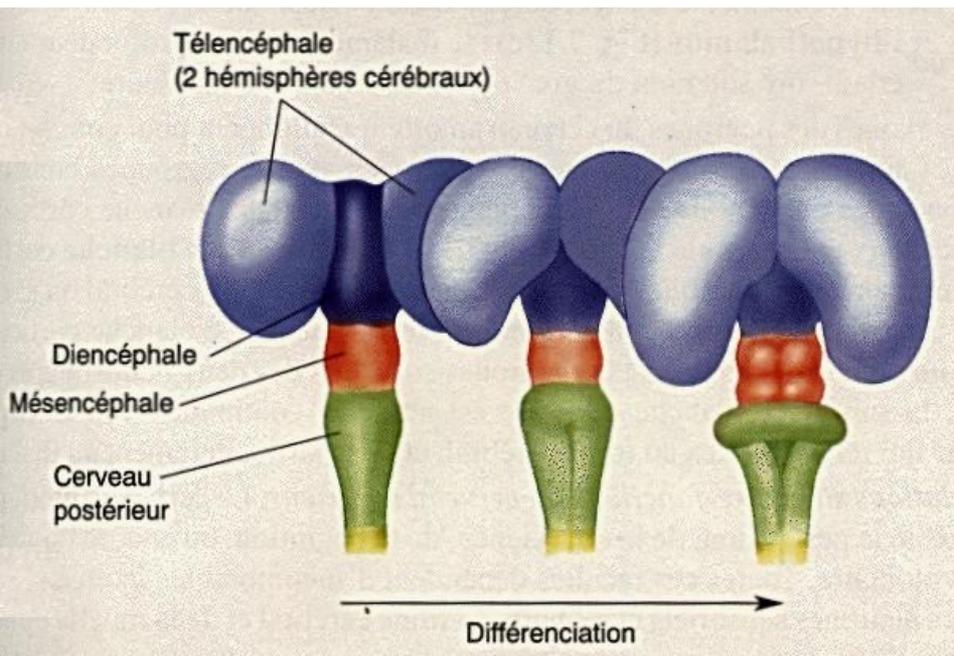
- **Prosencéphale (cerveau antérieur) =**
Télocéphale + Diencéphale

- **Mésencéphale (cerveau moyen)**

- **Rhombocéphale (cerveau postérieur)**

1) Métencéphale = Cervelet + Protubérance

2) Myélocéphale = bulbe rachidien



- Organisation de l'encéphale (5)

Corps calleux : fait la connexion entre les 2 hémisphères

Septum pellucidum : structure membranaire sous le corps calleux. Il sépare deux espaces internes appelés **ventricules cérébraux latéraux**, remplis de LCR.

Thalamus : sous le corps calleux et le septum pellucidum. Traite les infos provenant des sens.

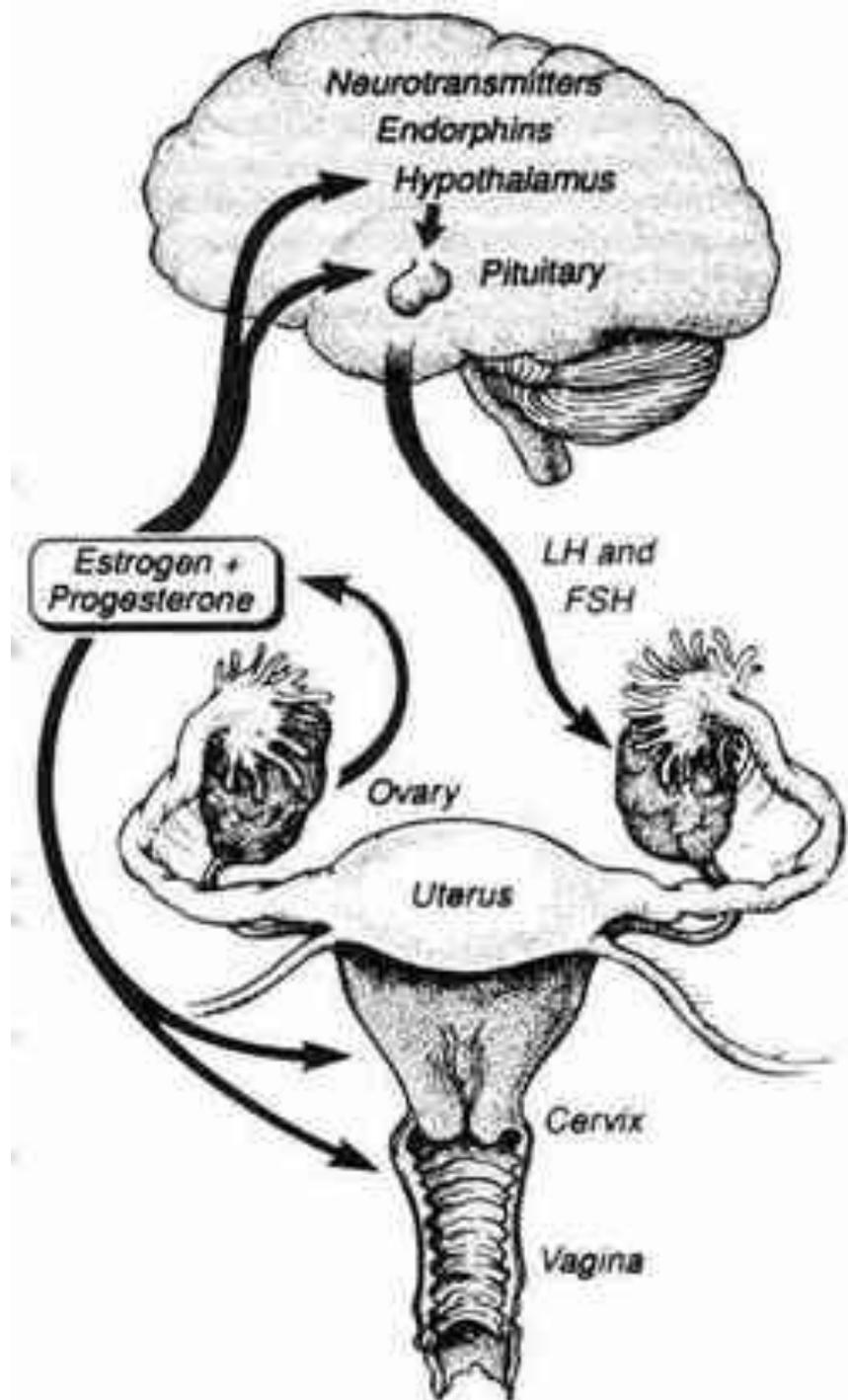
- Organisation de l'encéphale (6)

Hypothalamus : en position ventrale antérieure par rapport au thalamus. Joue un rôle vital dans la régulation du système endocrine via son contrôle sur **l'hypophyse**.

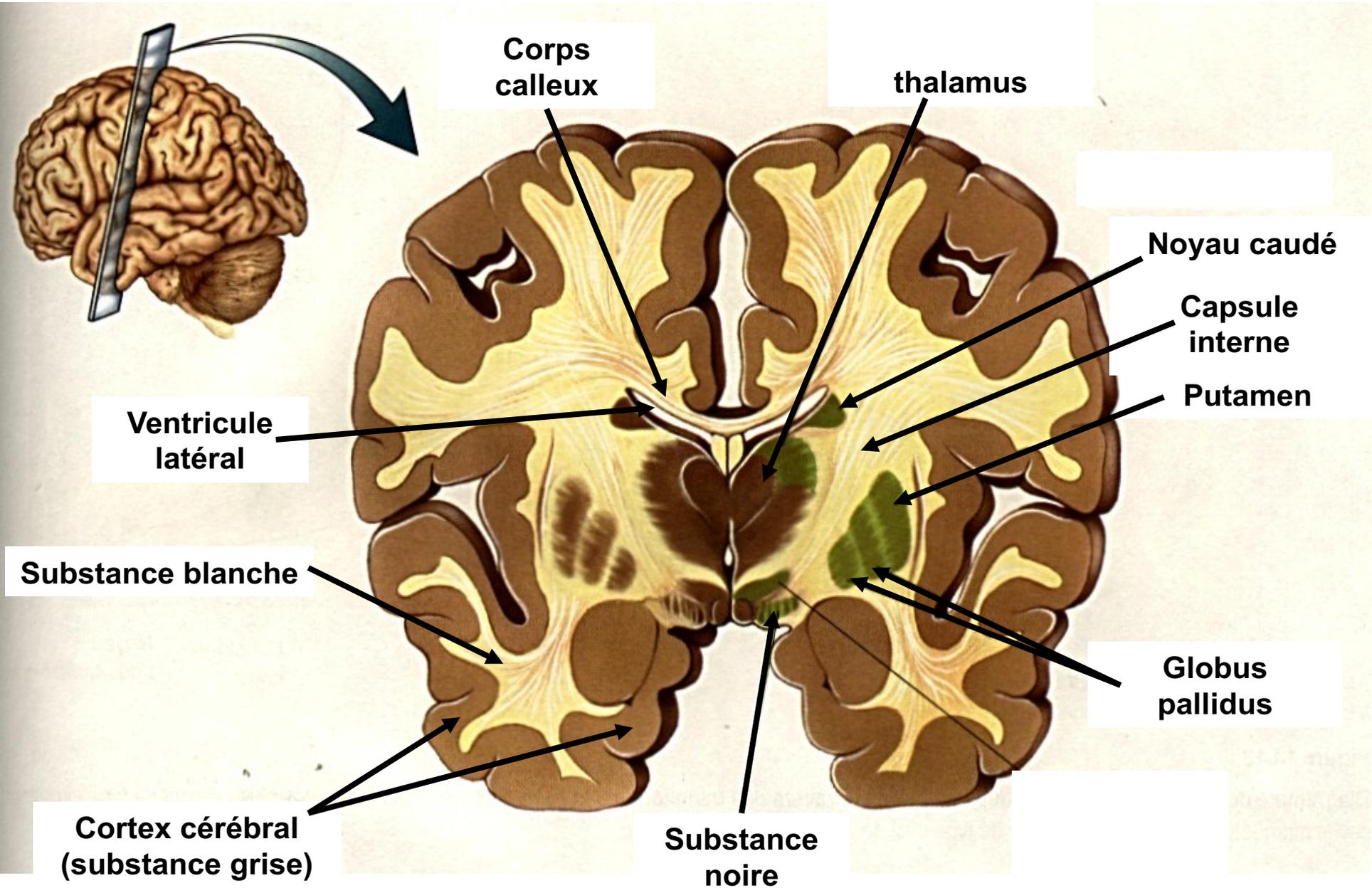
Protubérance : gros renflement contenant des fibres connectant les 2 moitiés du cervelet. Elle débouche sur le **bulbe rachidien**.

Bulbe rachidien : fait la connexion avec la moelle épinière qui se situe dans le canal spinal de la colonne vertébrale

**Hypothalamus
hypophyse
hormones**



• Organisation de l'encéphale (7):



- Organisation de l'encéphale (8):

Cortex cérébral : couleur grise. Le cortex et les autres parties du cerveau qui ont la même apparence = substance grise. La substance grise contient un grand nombre de corps cellulaires de cellules nerveuses

Substance blanche : à l'intérieur de la substance grise du cortex cérébral. Paquets de fibres nerveuses comme dans le corps calleux. Blanc car les axones sont recouverts de myéline.

Noyaux gris centraux (corps striés) : noyau caudé + putamen + globus pallidus (+ thalamus).

- Organisation de l'encéphale (9):

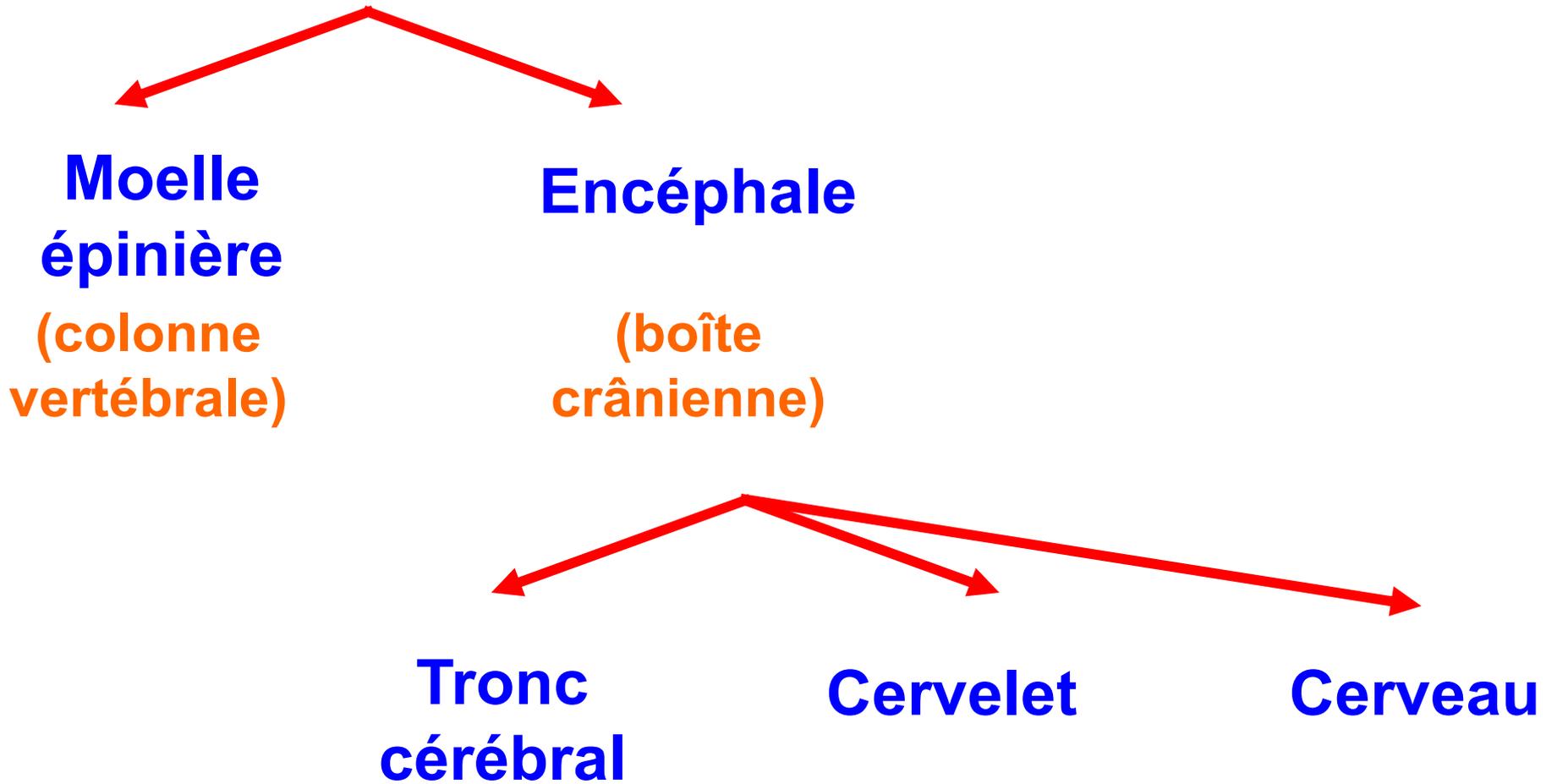
Capsule interne : entre le noyau caudé et le putamen. Contient des fibres nerveuses qui connectent le cortex cérébral à la moelle épinière

Substance noire : petite structure sous le thalamus

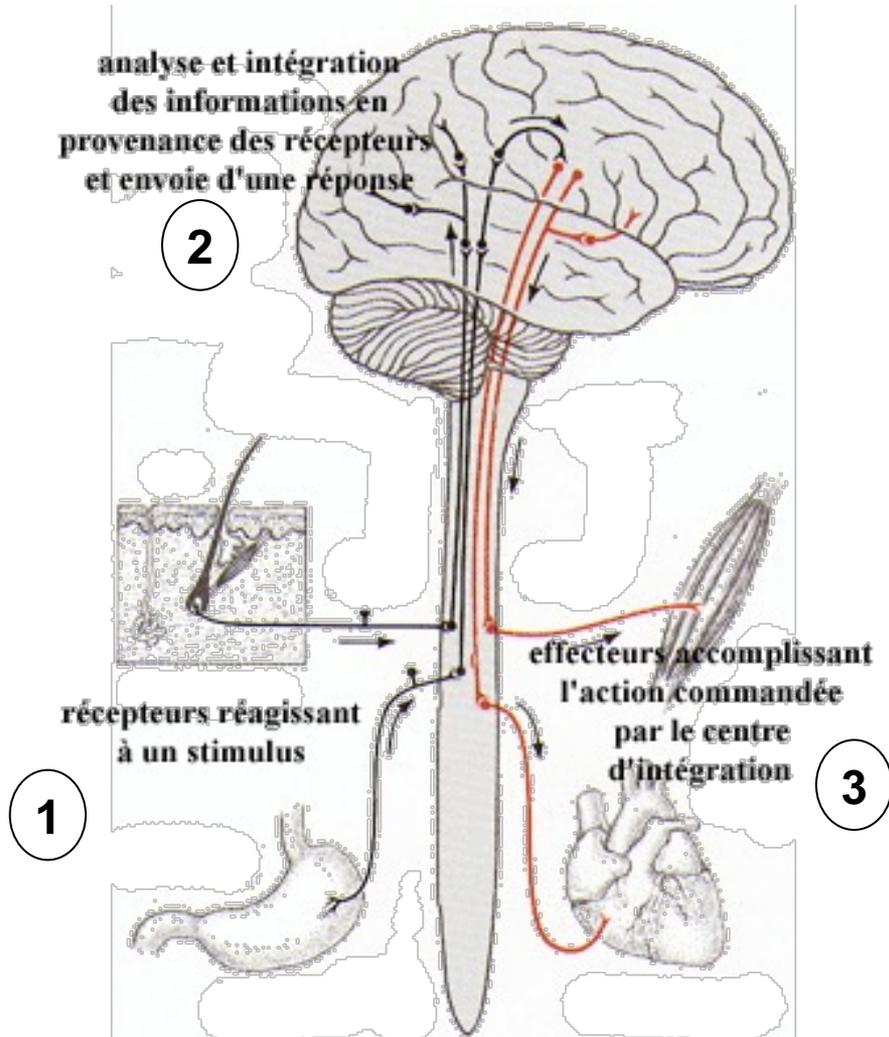
Noyau rouge : petite structure dans le tronc cérébral

Toutes ces structures jouent un rôle important dans le contrôle du mouvement

SYSTEME NERVEUX CENTRAL



- Le SN a 3 fonctions principales

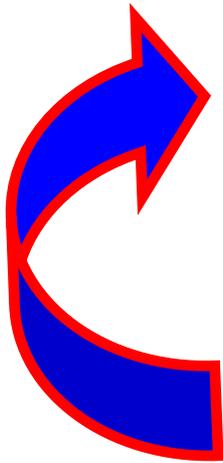


1) Fonction sensitive : détection des modifications internes et externes (rôle des récepteurs)

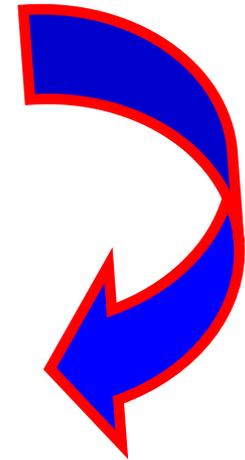
2) Fonction intégratrice : analyse et intègre les infos venant des récepteurs. Comparaison avec valeurs de références puis décision d'une réponse appropriée

3) Fonction motrice : envoie d'un signal à l'effecteur

Rôle des nerfs et des neurones : circulation de l'information



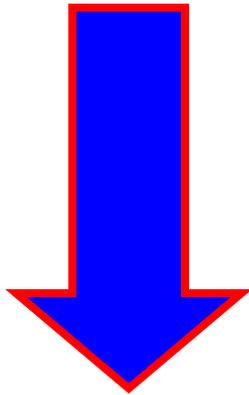
Signaux d'entrée :
systèmes sensoriels



Signaux de sortie :
systèmes moteurs

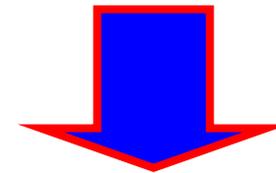
SYSTÈME NERVEUX PÉRIPHÉRIQUE

(nerfs crâniens, nerfs
rachidiens...)



**TRANSPORT DES
INFORMATIONS**

SYSTÈME NERVEUX CENTRAL



*** ENREGISTREMENT DES
INFORMATIONS
ENTRANTES.**

*** ÉLABORATION DES
INFORMATIONS DE
SORTIE**

A) Il y a plusieurs types d'infos qui sont fournies au SNC (encéphale + ME) :

1) Informations sensorielles

(les 5 organes des sens)

Vision

Tact

Audition

Olfaction

Gustation

Forte

Faible

2) Informations sensibles

(les autres)

Sens musculaire
(proprioception)

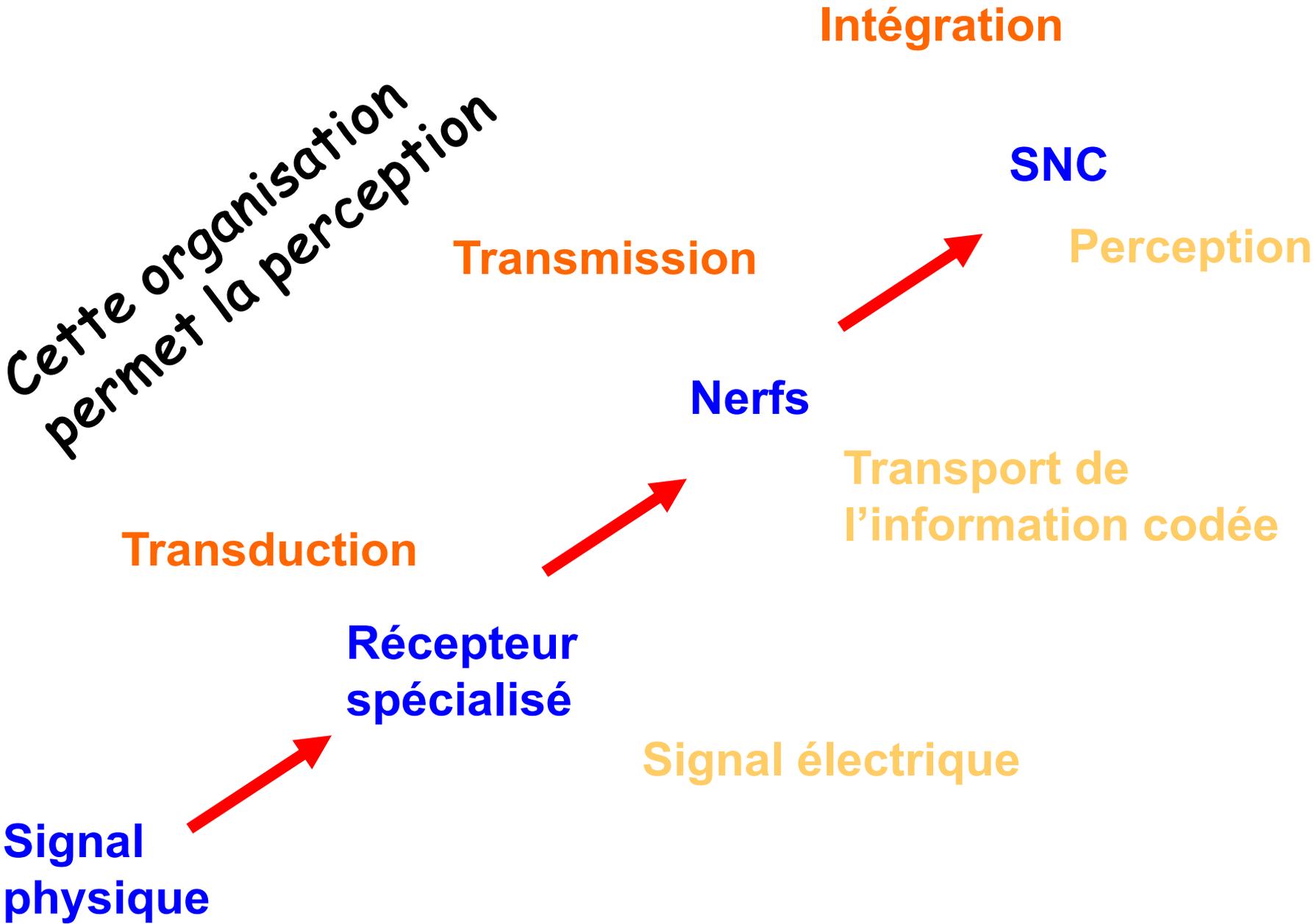
Douleur

Forte

Faible

Elaboration des messages afférents

Cette organisation permet la perception



B) Des commandes sont construites par le SNC (encéphale + ME)

1^e cas :

Stimulation  **Réponse**

**La réponse est involontaire. C'est un réflexe
Réponse aux sollicitations du monde extérieur.**

2^e cas :

**Élaboration d'un comportement volontaire
Action délibérée sur l'environnement**

Elaboration des messages efférents

*Cette organisation
permet le mouvement*

Construction du
mouvement

SNC

Commande

Transmission

Nerfs

Transport de
l'information codée

Transduction

**Effecteur
spécialisé**

Signal électrique

**Signal
physique**



RELATIONS ENTRE

MOUVEMENTS

STRUCTURES NERVEUSES

**PROGRAMMES ACQUIS
PAR APPRENTISSAGE**



**STRUCTURES SOUS-
CORTICALES ET
CORTICALES**

**PROGRAMMES
MOTEURS PRIMAIRES**



**TRONC CÉRÉBRAL
CERVELET**

REFLEXES

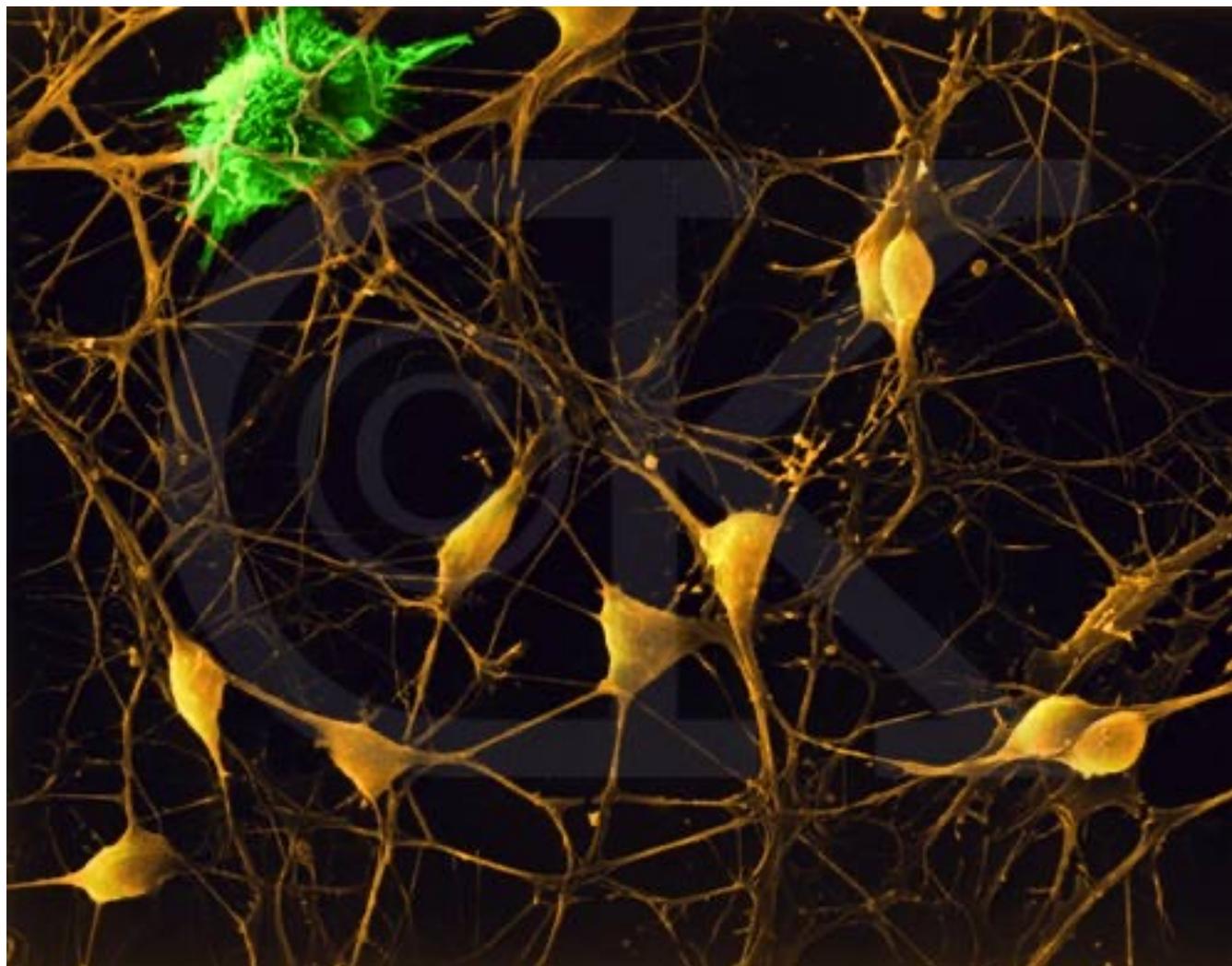


MOELLE ÉPINIÈRE

2. Les neurones et les influx nerveux

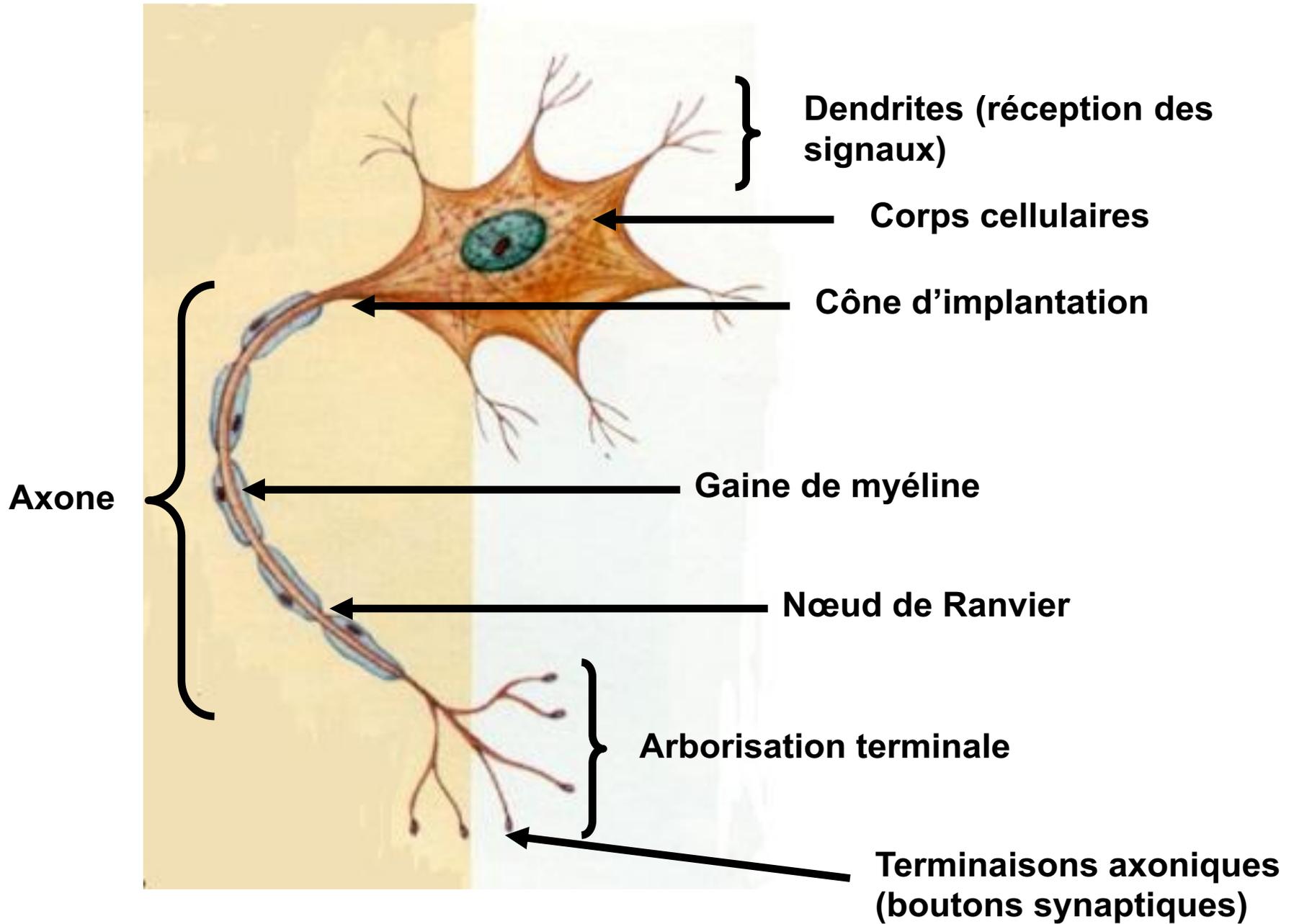
Comment l'information est-elle véhiculée ?

1. Les neurones et les influx nerveux



**Réseaux de
neurones et
astrocytes**

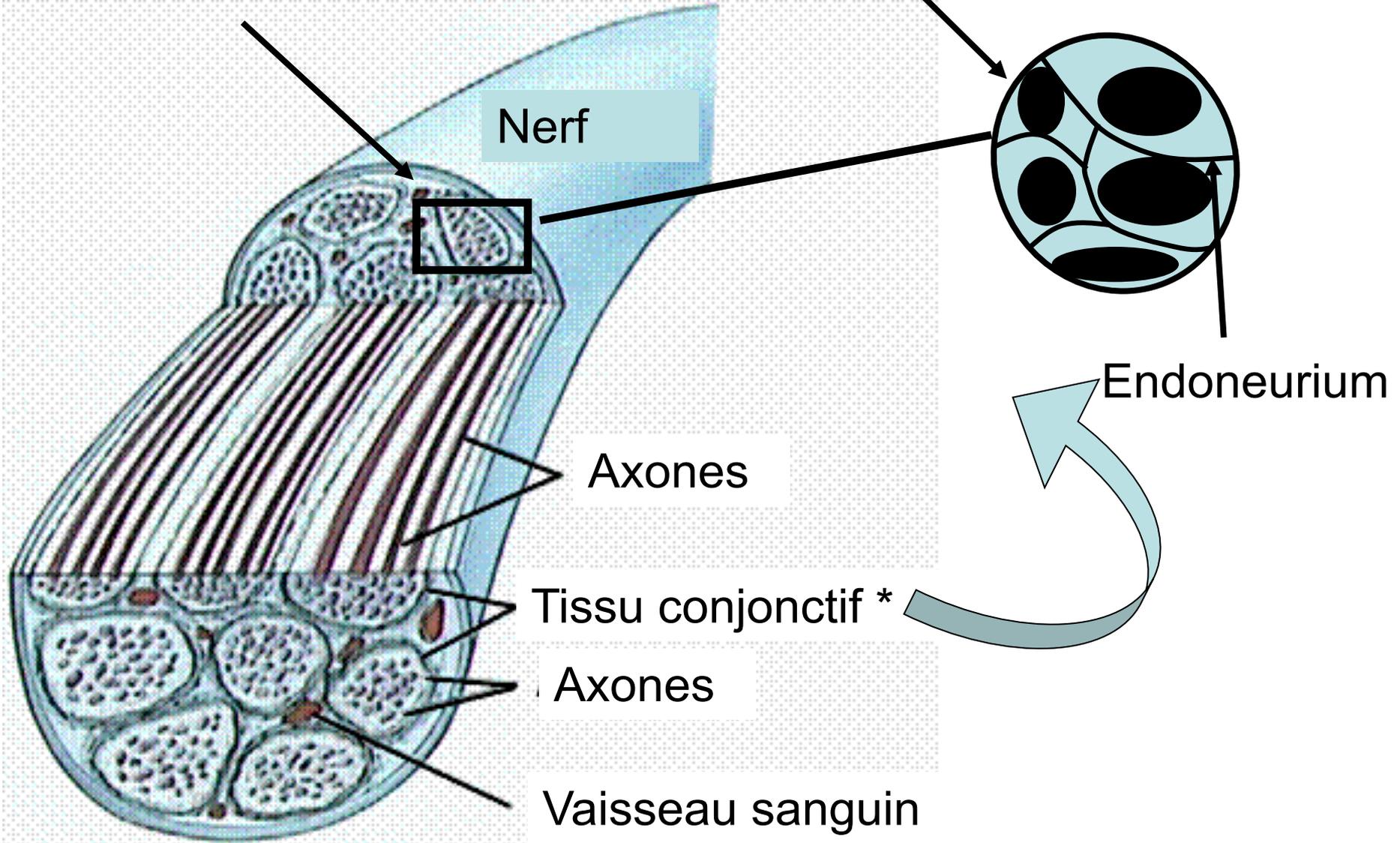
- Constitution d'un neurone : véhicule l'information



- Constitution d'un nerf (1) : tronc nerveux

Epineurium

Périneurium



Nerf

Axones

Tissu conjonctif *

Axones

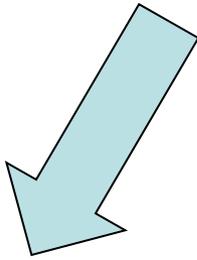
Vaisseau sanguin

Endoneurium

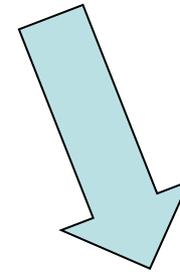
• Constitution d'un nerf (2)

Tissu conjonctif protège les neurones des lésions :

- Epineurium : la plus externe des couches d'un nerf périphérique. Permet d'amarrer le tronc nerveux au tissu adjacent
- Périneurium : entoure les axones qui cheminent en faisceau. Les axones cheminent en faisceaux et forment des fascicules.
- Endoneurium : fine couche de tissu conjonctif qui protège chaque axone



Tronc nerveux transmettant des infos à partir d'organes sensoriels spécifiques : nerfs sensitifs



Tronc nerveux transmettant des signaux du SNC vers des effecteurs spécifiques (nerfs moteurs)

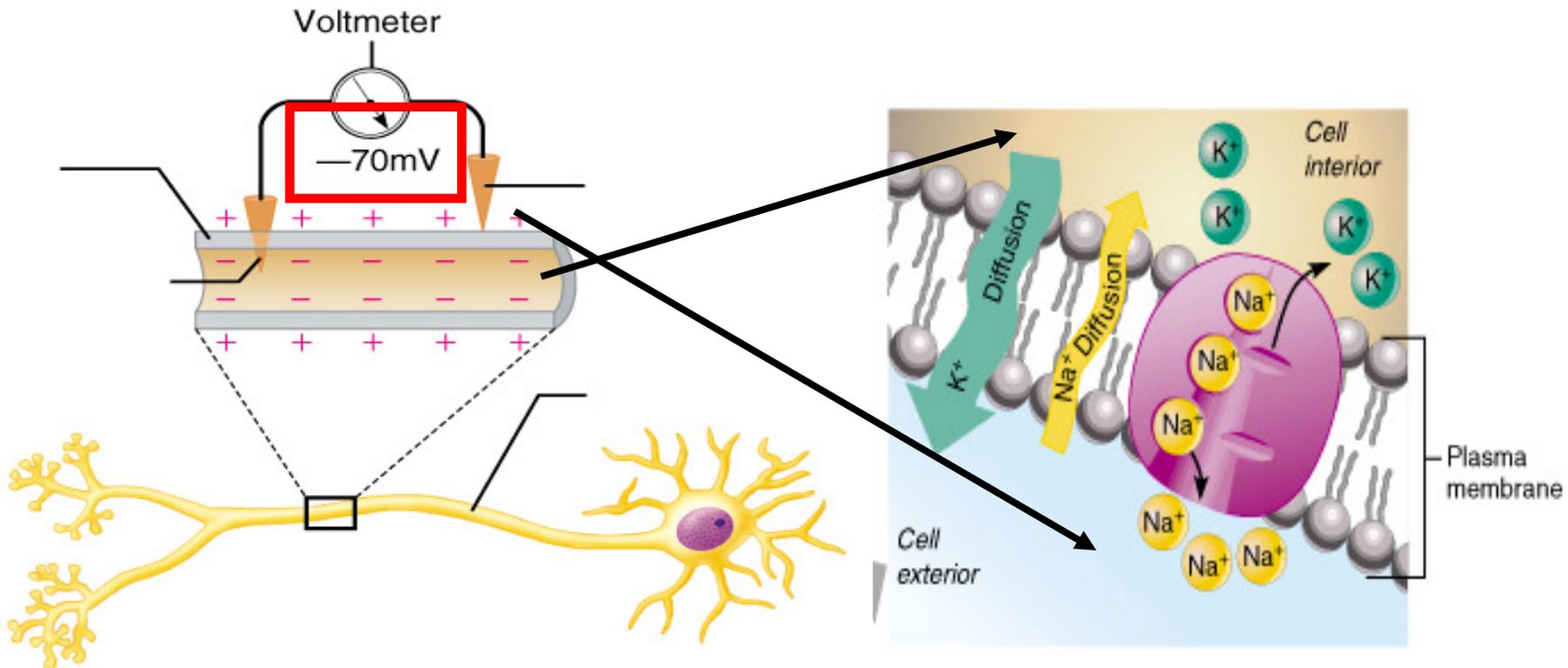
Nerfs mixtes

• Le neurone et son potentiel membranaire de repos (1)

Potentiel de repos: différence de potentiel dans un neurone au repos

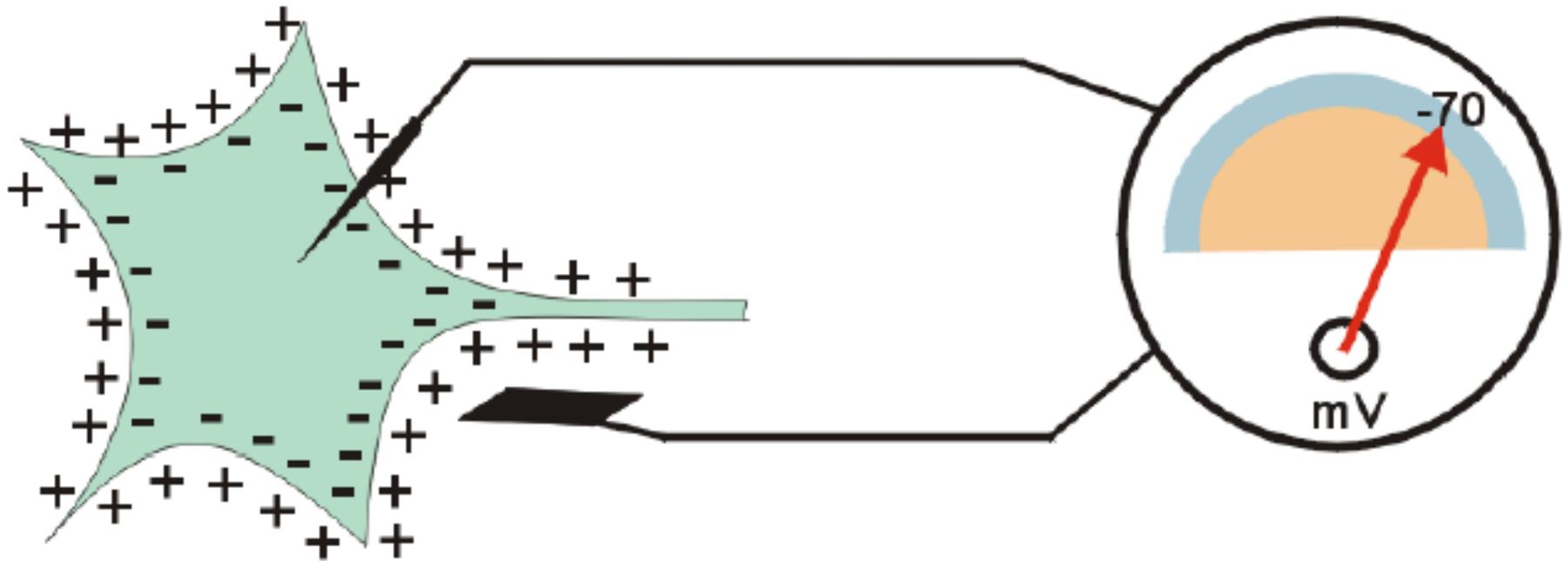
Valeur proche du potentiel d'équilibre du potassium

Maintien du potentiel de repos grâce à des pompes K^+ et Na^+



- Le neurone et son potentiel membranaire de repos (2)

POTENTIEL DE REPOS DU NEURONE



Potentiel de repos = - 70 mV

• Le neurone et son potentiel membranaire de repos (3)

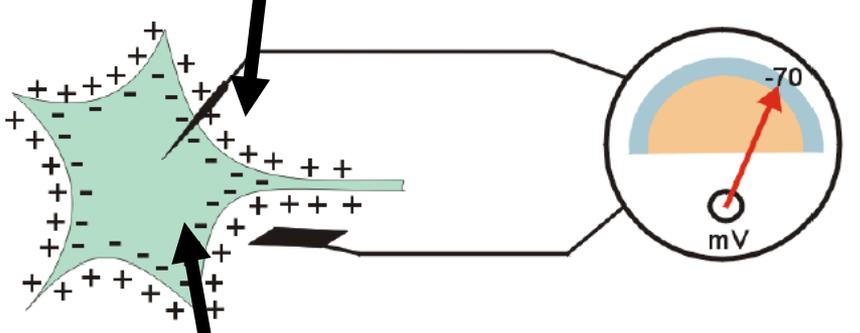
Extérieur de la membrane :

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

Ions négatifs = Cl^- surtout

Surplus d'ions positifs

POTENTIEL DE REPOS DU NEURONE



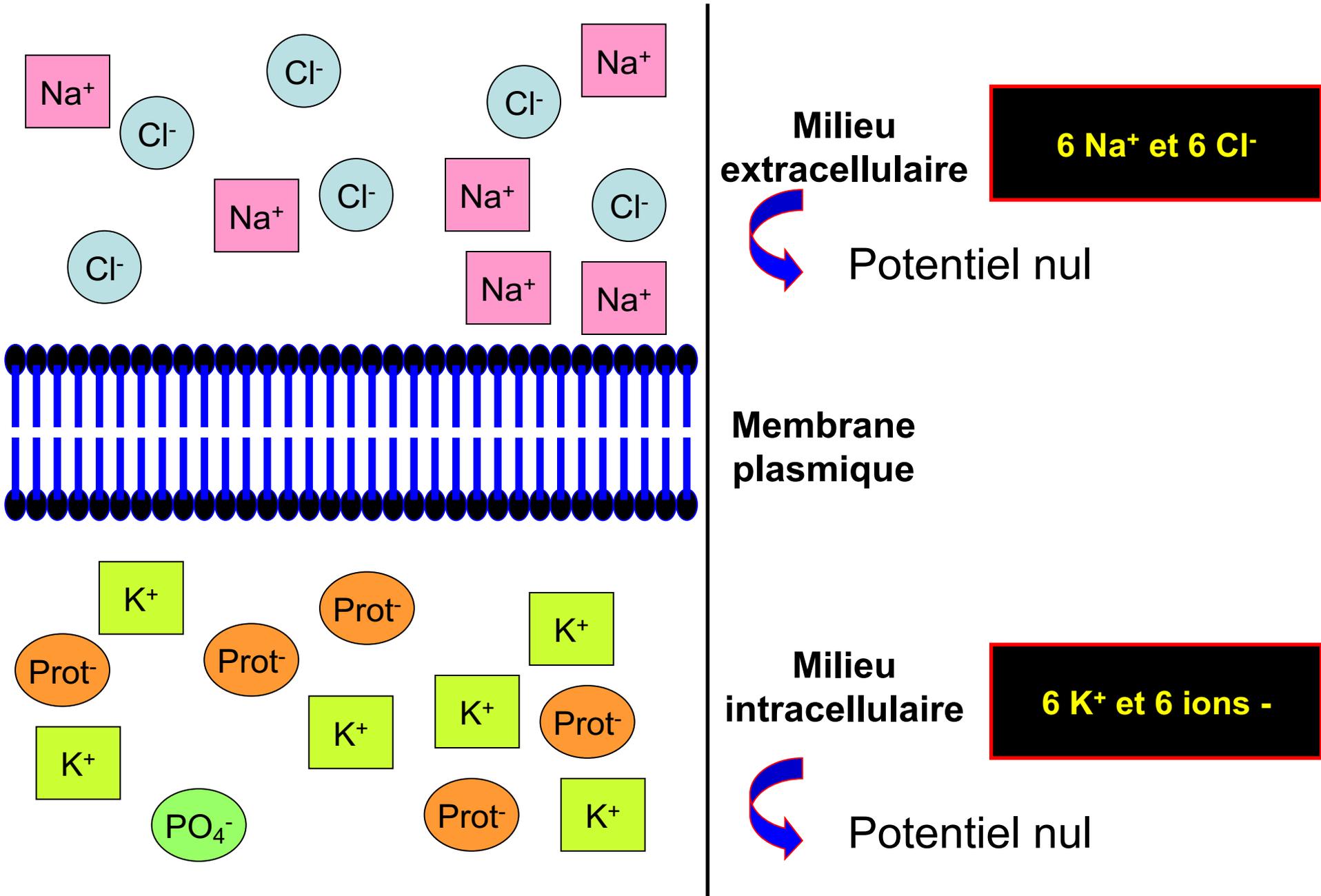
Intérieur de la membrane :

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

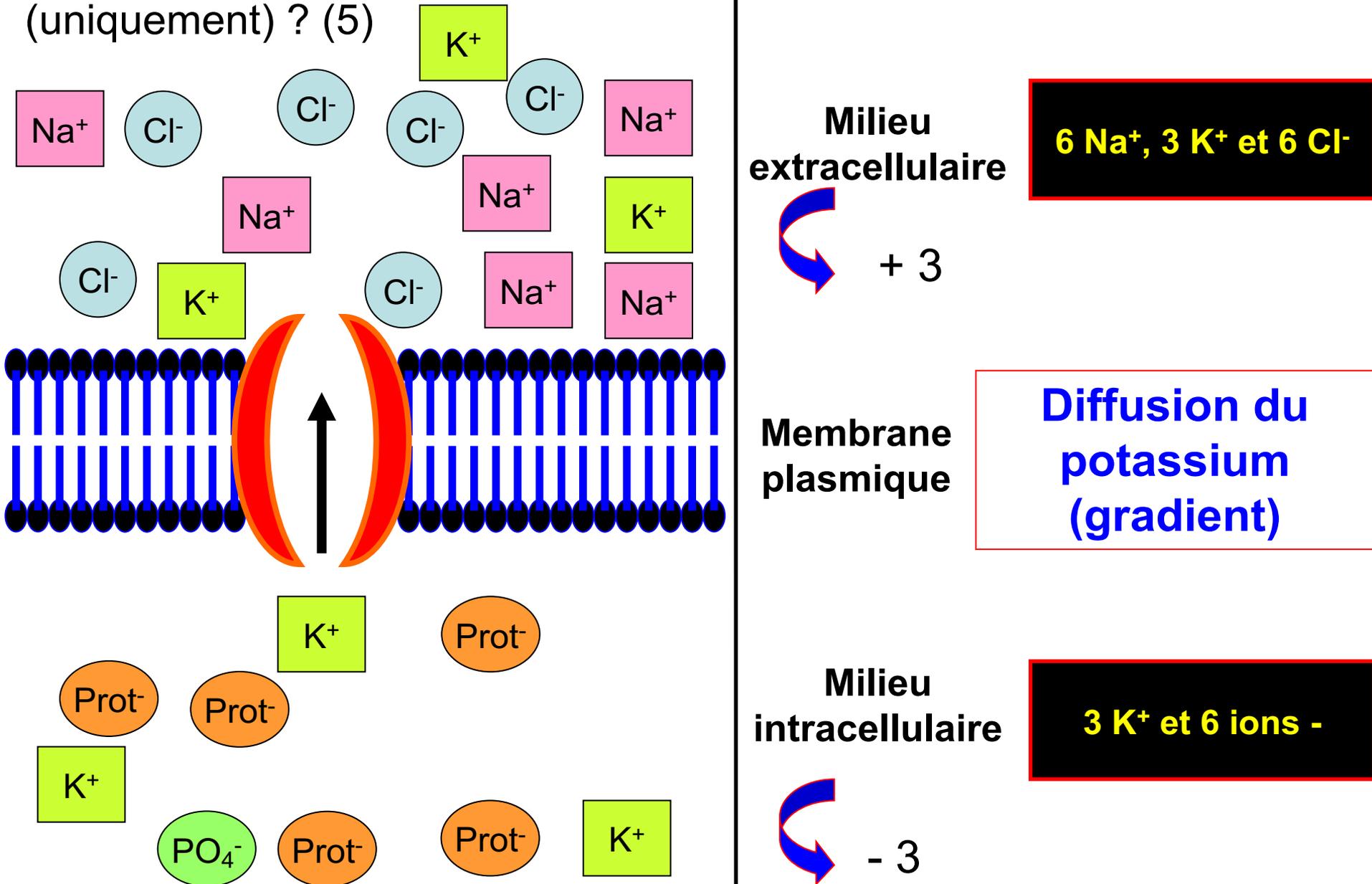
Ions négatifs = protéines et ions phosphates

Surplus d'ions négatifs

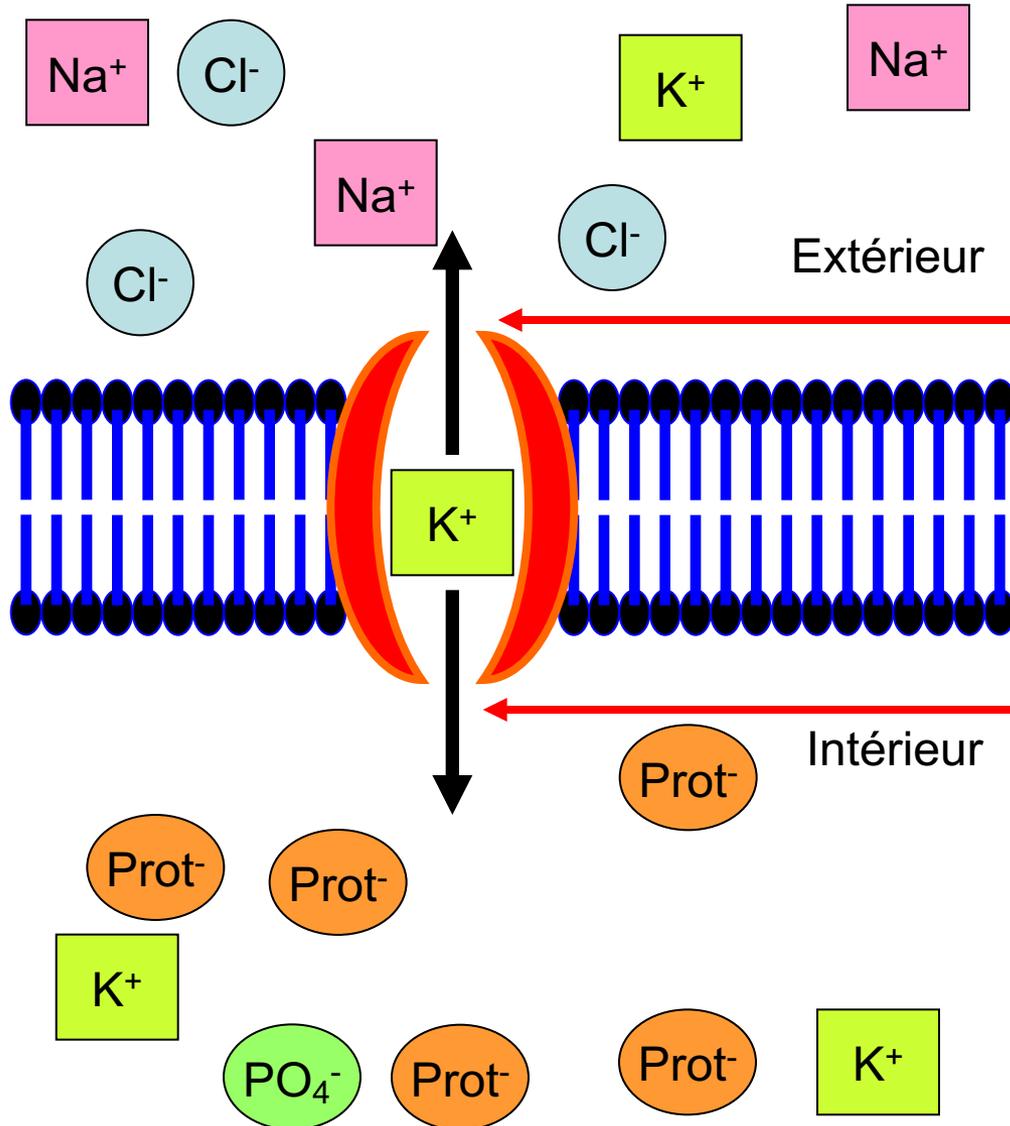
• Le neurone et son potentiel membranaire de repos : cas 1 (4)



• Le neurone et son potentiel membranaire de repos : cas 2, que se passe-t-il si on ajoute des canaux permettant le passage de K^+ (uniquement) ? (5)



Cependant, la diffusion du K^+ ne se fera pas jusqu'à l'équilibre des concentrations de K^+ de part et d'autre de la membrane (6)

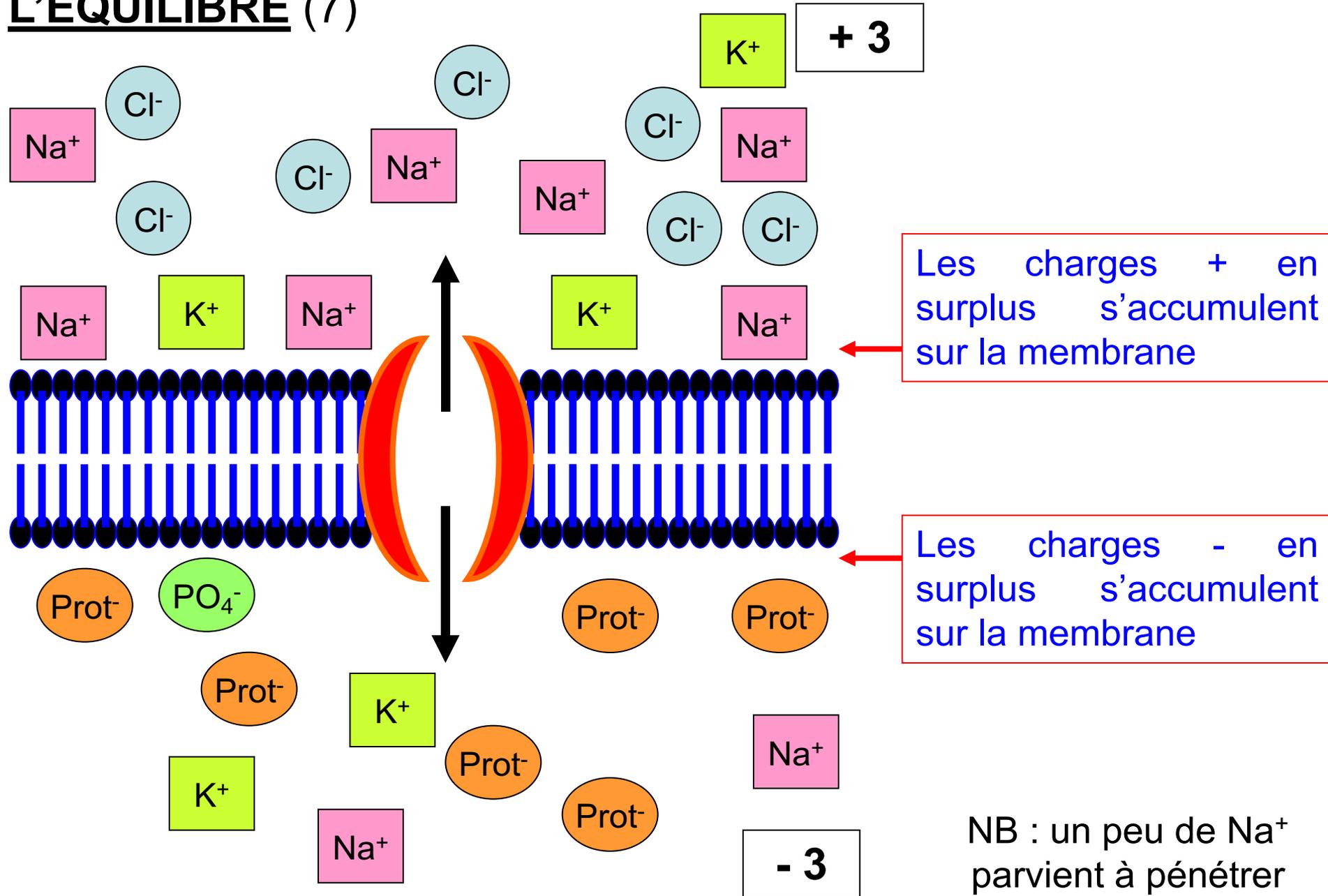


Le K^+ cherche à diffuser en suivant son gradient de concentration

Le K^+ est attiré par les charges $-$ de l'intérieur et repoussé par les charges $+$ de l'extérieur

Le gradient électrique qui se forme arrête la diffusion

• Le neurone et son potentiel membranaire de repos : **A**
L'EQUILIBRE (7)



- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (1)

A la fin du XVIIIème siècle, Galvani a montré que la stimulation électrique d'un nerf de la cuisse de grenouille provoquait la contraction musculaire

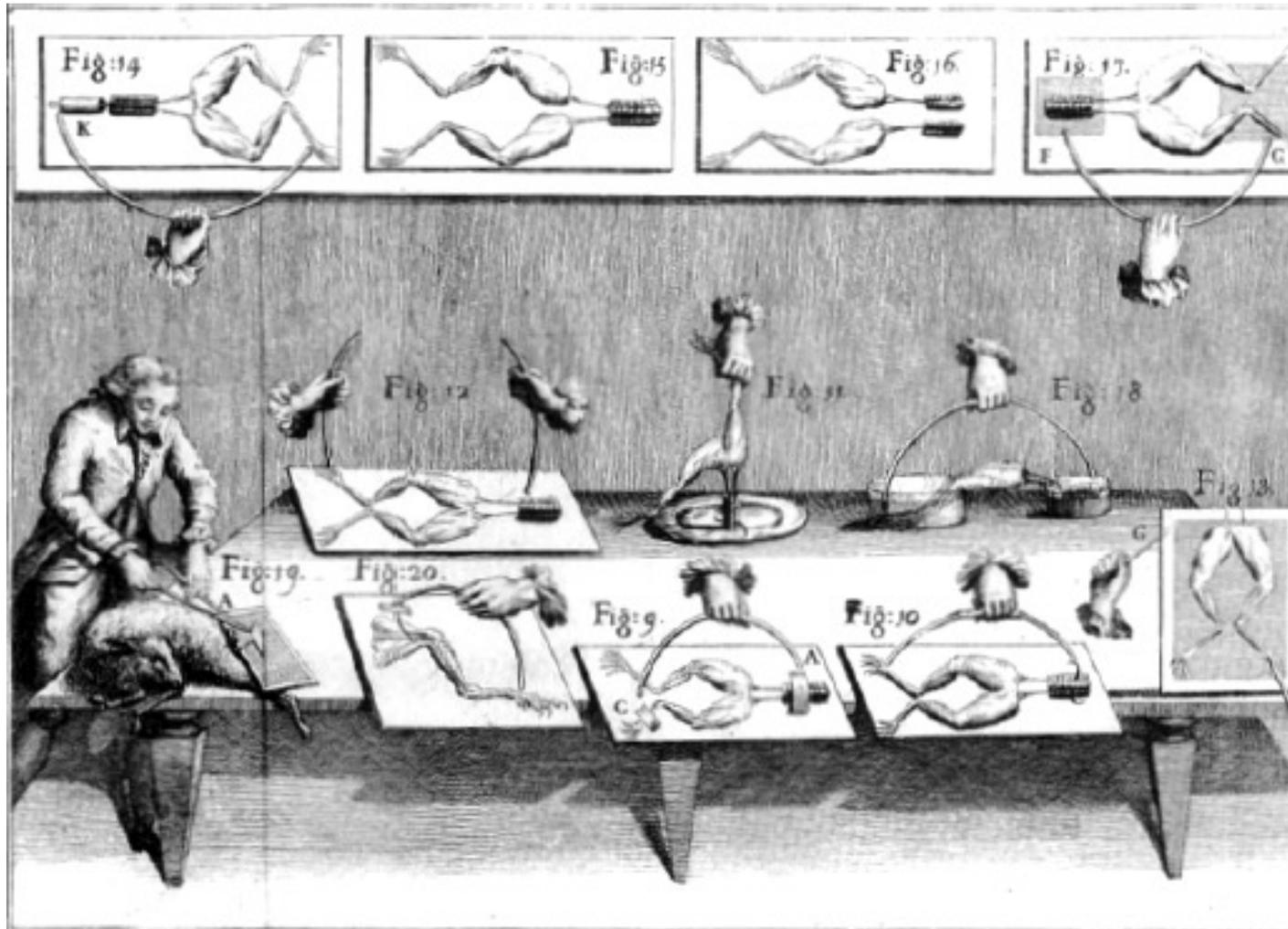


L'excitation nerveuse est accompagnée d'une **onde électrique** qui se propage le long du nerf



Onde = influx nerveux ou potentiel d'action

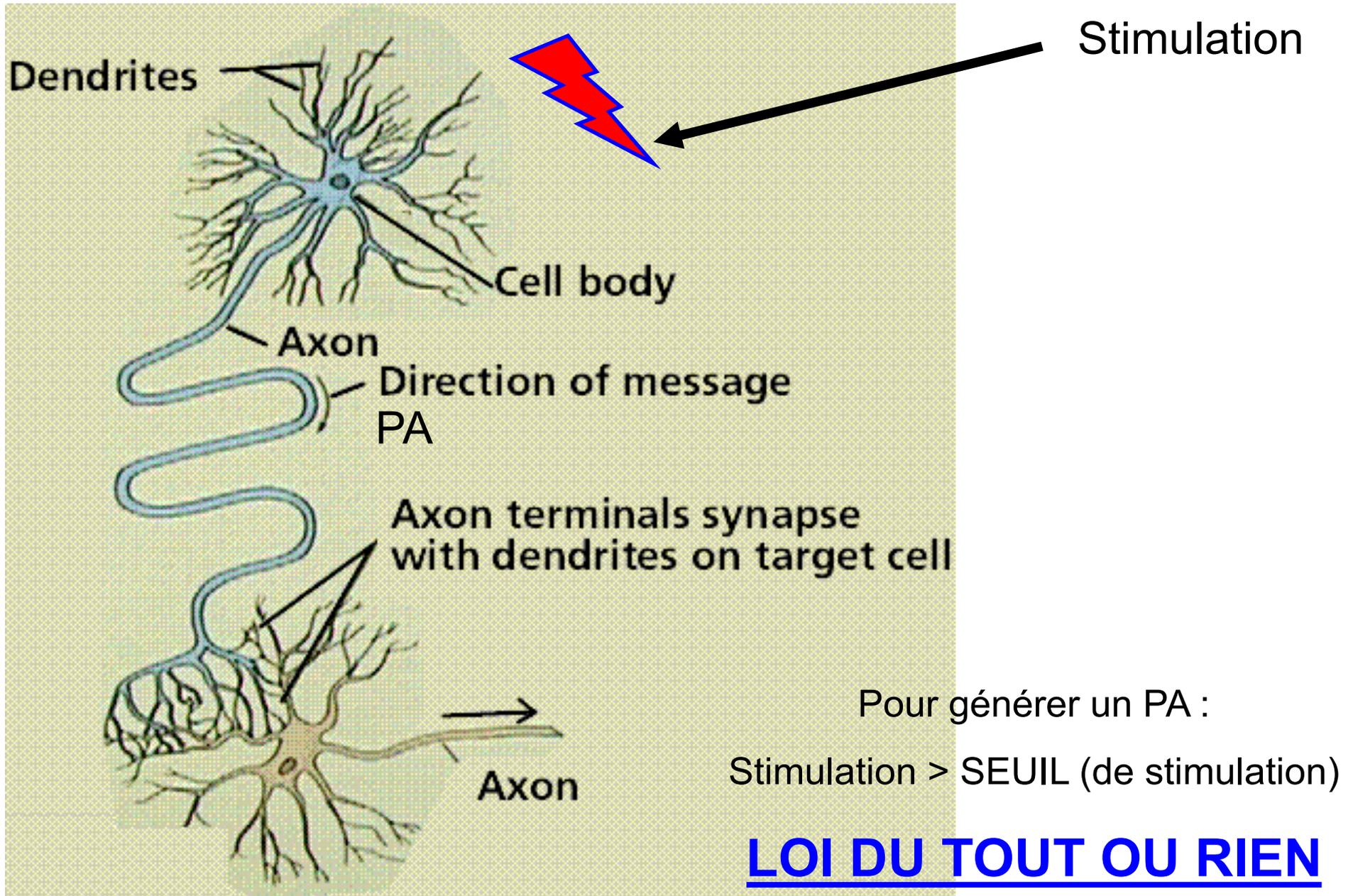
- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (2)



Luigi Galvani (1737-1798).

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (3)
- Les neurones possèdent 2 importantes propriétés fonctionnelles:
 - Excitabilité: capacité de réagir à un stimulus et de le convertir en influx nerveux
 - Conductivité: capacité de propager cet influx nerveux et de le transmettre à d'autres neurones, à des muscles ou à des glandes

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (4)



- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (5)

Un stimulus électrique **en dessous** du seuil est dit **infraliminaire** et ne provoque pas de PA.

Un stimulus électrique **au dessus** du seuil est dit **supraliminaire** provoque un PA.

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (6)

Une stimulation augmente le potentiel de repos. Si le seuil de stimulation est dépassé (si la dépolarisation est suffisante), il y a apparition d'un PA.

Durant le PA, la polarité du potentiel de membrane (-70 mV) s'inverse brutalement et atteint une valeur pic de $+40$ mV à $+50$ mV.

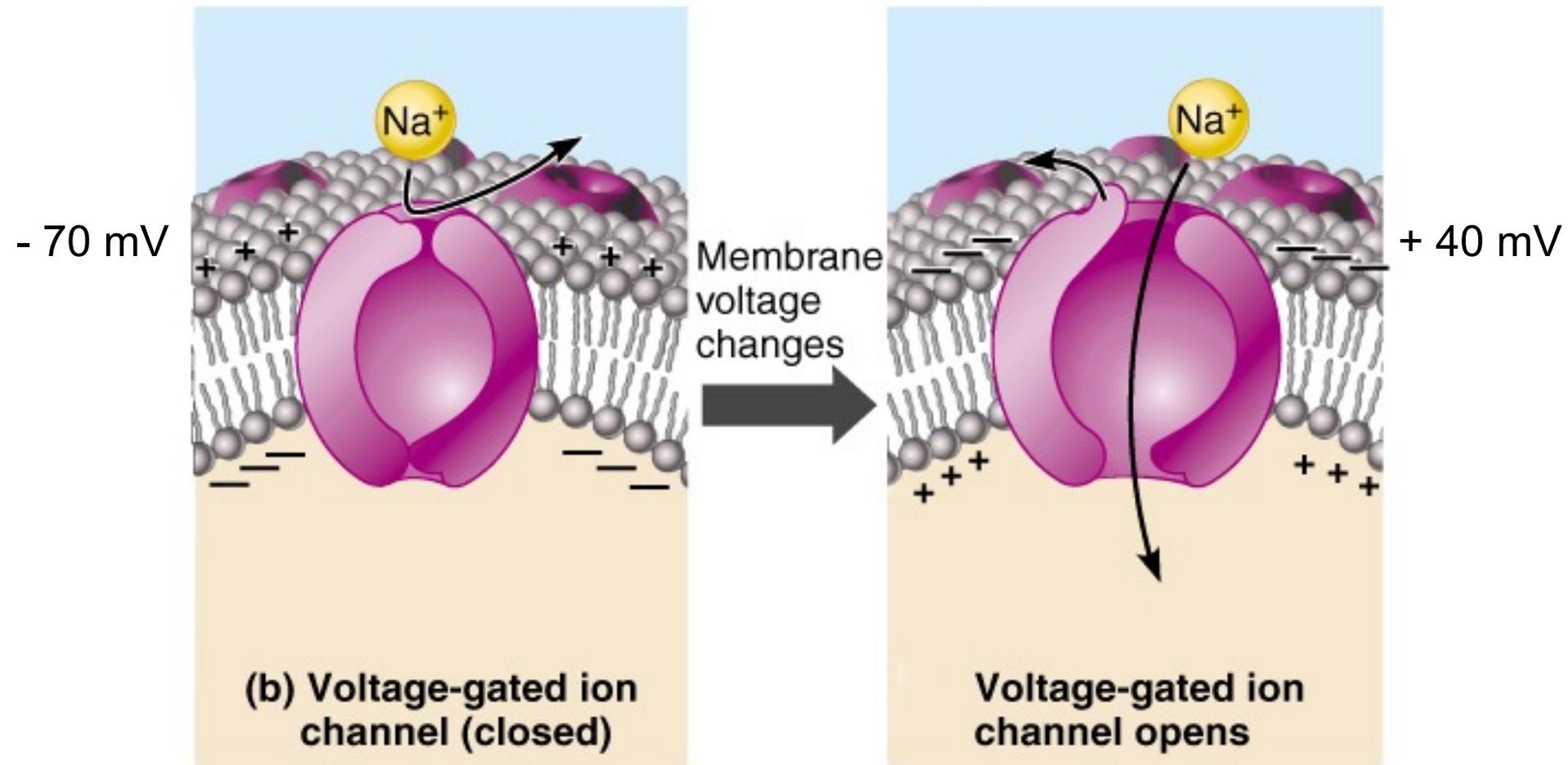
La production de PA est rendue possible par la présence de nombreux types de canaux ioniques dans la membrane plasmique des neurones. Ex: les canaux Voltage dépendant (sensibles au voltage)

Ces canaux s'ouvrent et se ferment en réponse à des stimuli particuliers laissant ainsi échapper des ions : ce qui va modifier le potentiel de membrane.

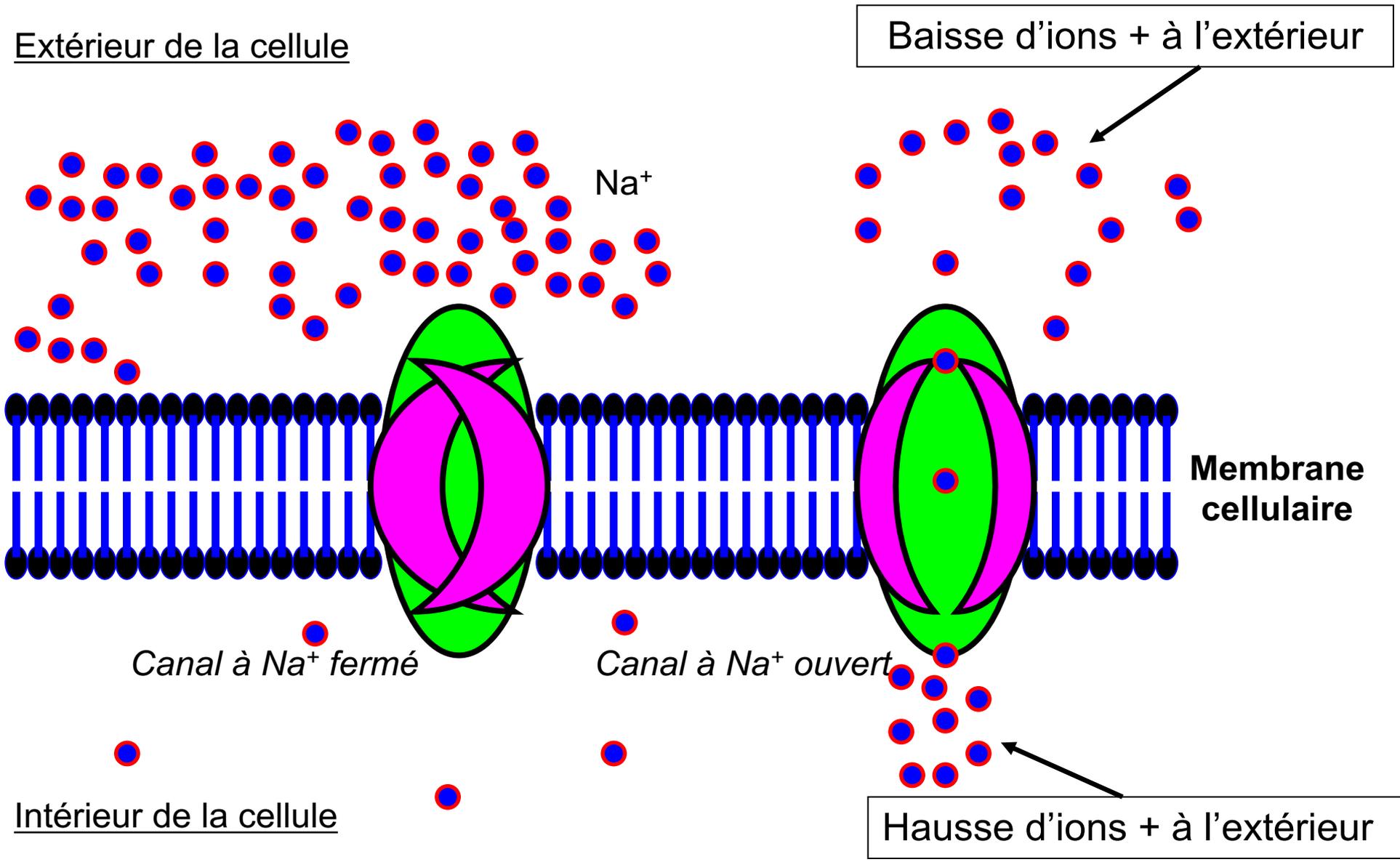
- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (7)

Cas des neurones :

Les canaux sodiques voltage dépendant



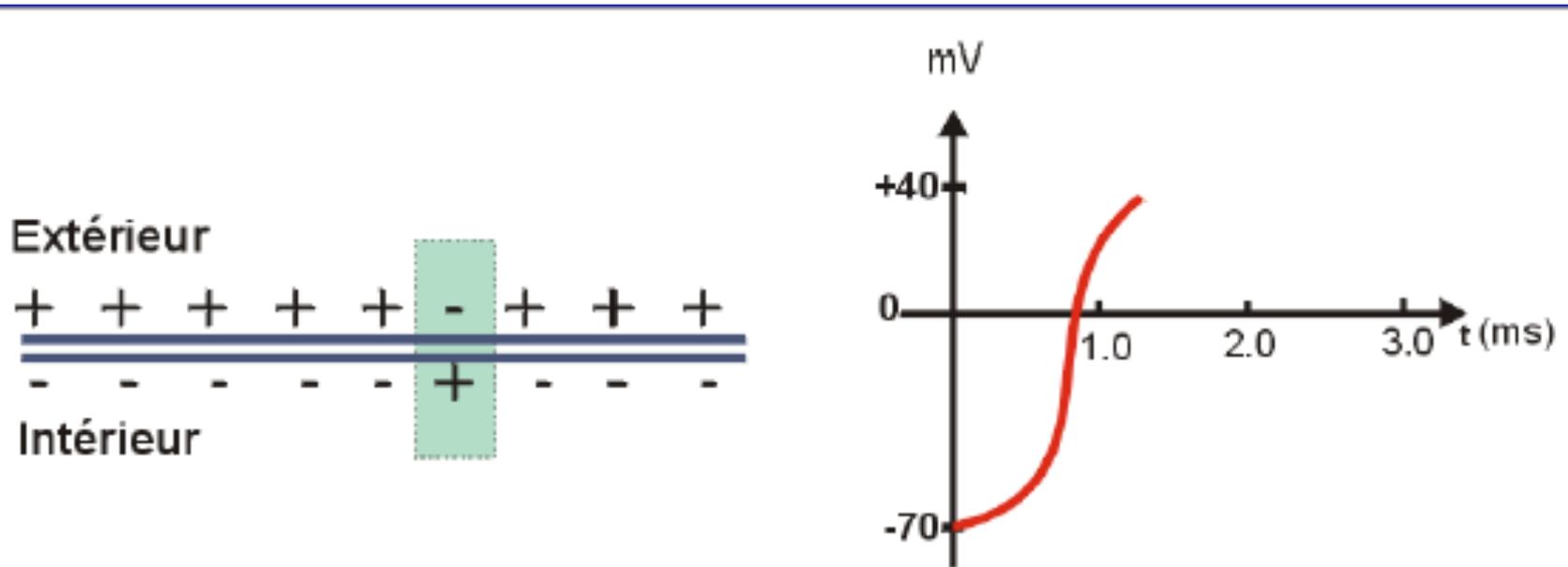
- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (8). Les neurones peuvent réagir à un stimulus (excitabilité). La réaction = ouverture des canaux sodiques voltage dépendant.



- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (9).

A l'endroit où s'exerce le stimulus, on a une ouverture des canaux à sodium qui provoquent une entrée massive de Na^+ , ce qui entraîne un changement de polarité membranaire.

La membrane est plus perméable au Na^+ qu'au K^+ pendant la dépolarisation, jusqu'au pic du PA.

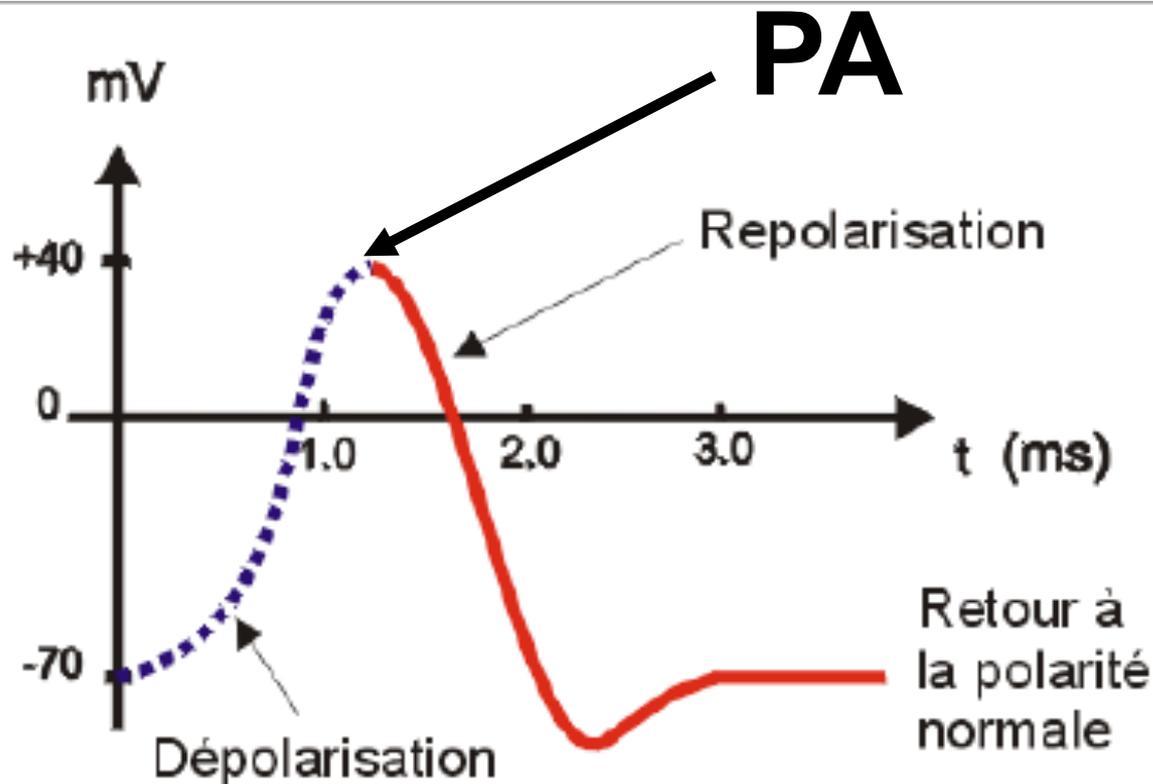


Au point stimulé, la polarité s'inverse

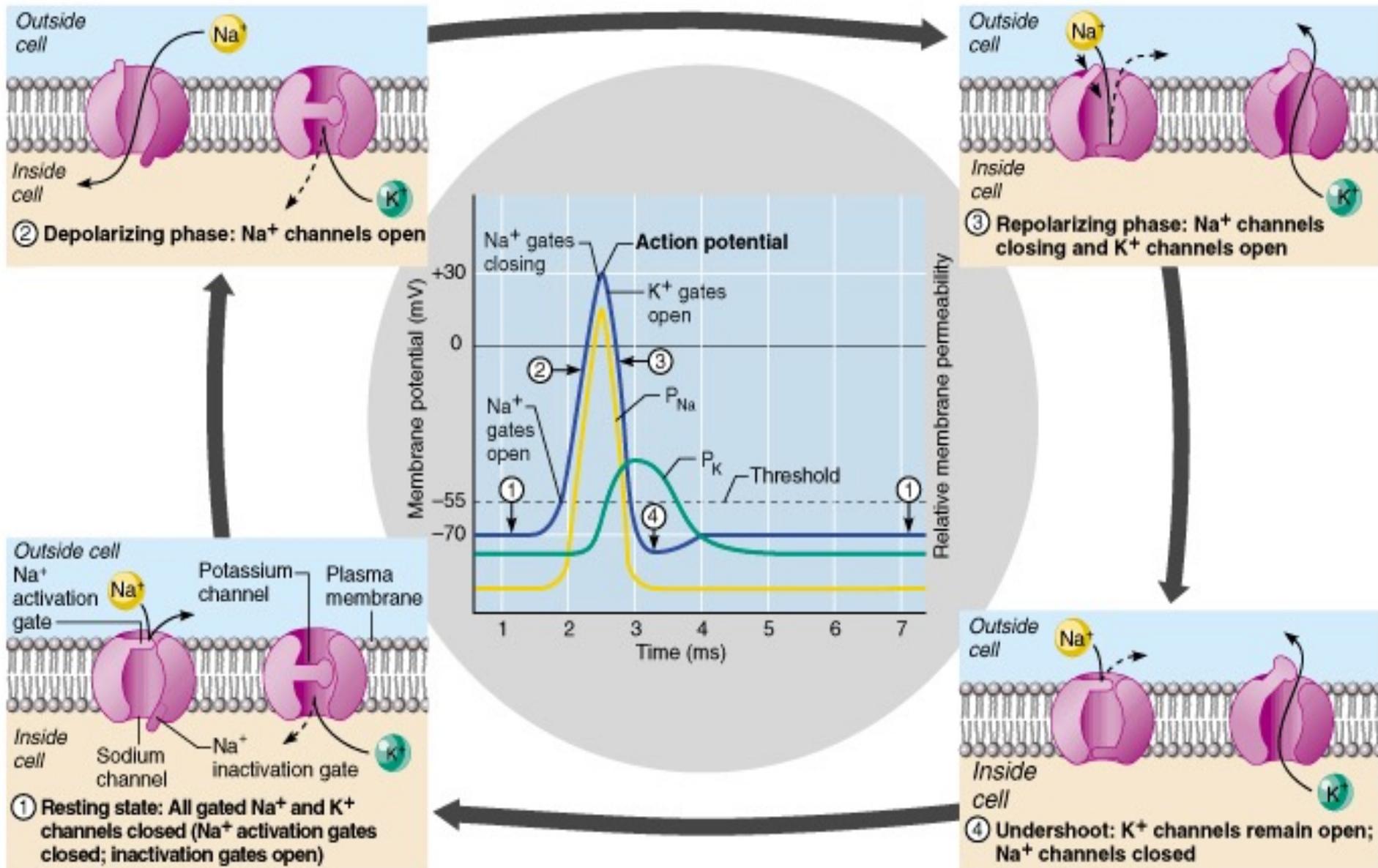
- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (10).

Le point dépolarisé reprend rapidement sa polarité car :

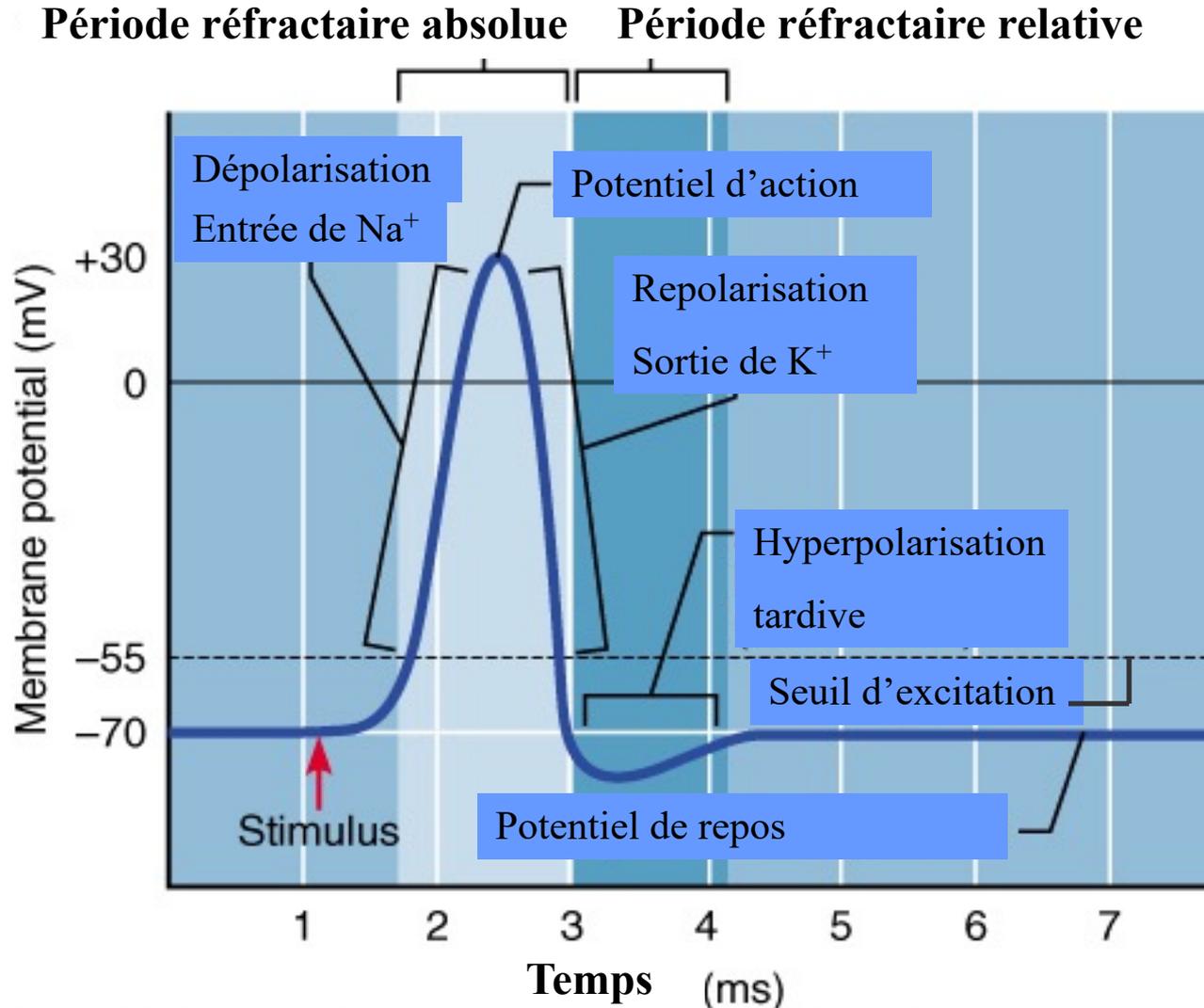
- fermeture des canaux à Na^+
- Ré-ouverture des canaux à K^+ (augmentation de la perméabilité membranaire au K^+)



• Le neurone et le potentiel d'action (PA) (11).



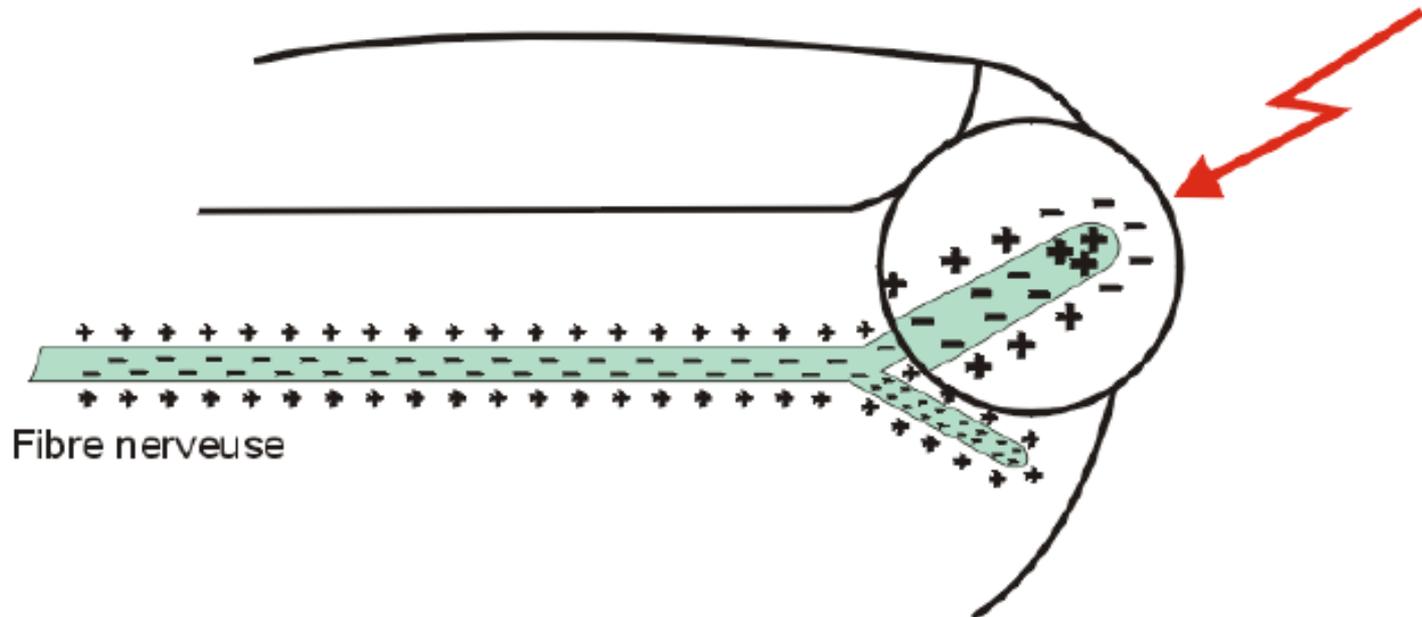
- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (12) : les périodes réfractaires



- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (13) : les périodes réfractaires

Période réfractaire absolue :

Si un stimulus est porté immédiatement après la survenue d'un PA, un second PA ne peut être généré. Les canaux sodiques ont été inactivés pendant la repolarisation. Il faut attendre une période au potentiel membranaire de repos avant qu'ils puissent être ré ouverts par un stimulus



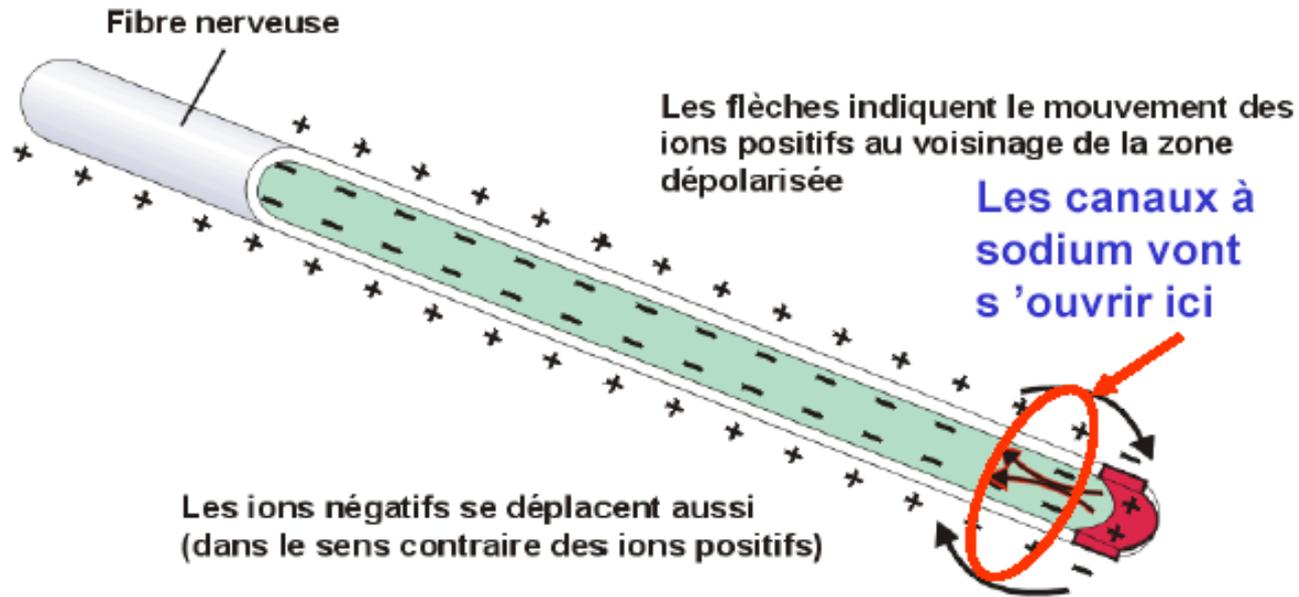
- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (14) : les périodes réfractaires

Période réfractaire relative :

Après la période réfractaire absolue, le seuil est plus élevé que la normale pendant une courte période (10 ms). Il faut donc un stimulus plus fort que le 1^{er} pour engendrer un nouveau PA.

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (15) : propagation du PA ou influx nerveux le long de l'axone

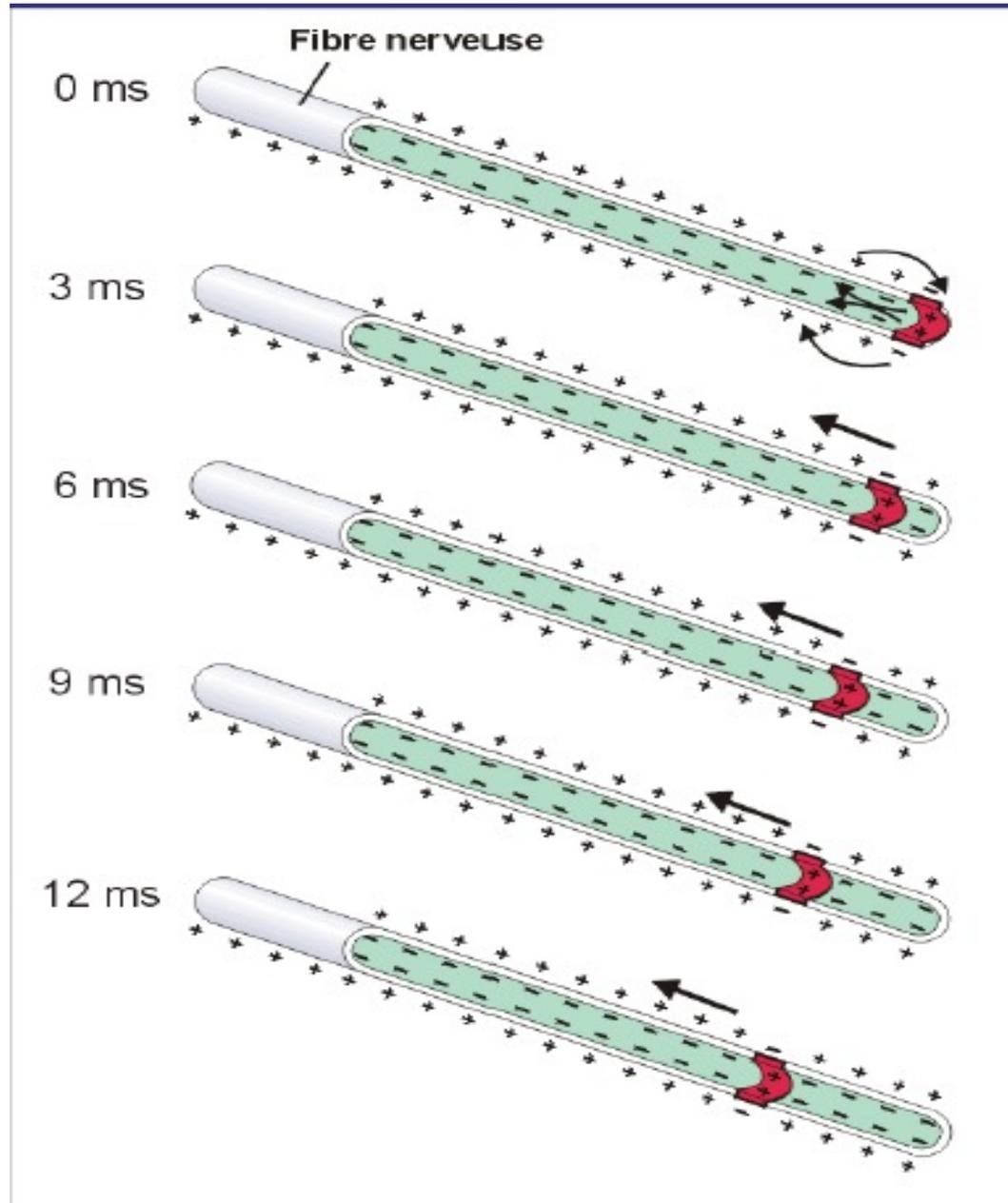
Quand un PA apparaît, il est rapidement transmis sur toute la longueur de l'axone.



Quand un PA se propage le long de l'axone, la zone active de la membrane et celle au repos sont à des potentiels différents, et un petit courant électrique se développe entre ces deux régions. Ceci forme un circuit local qui lie la zone active à la membrane voisine au repos, qui ensuite se dépolarise. Cela entraîne l'ouverture des canaux Na^+ , et quand un nombre suffisant est ouvert, le PA envahit cette partie de la membrane. Ce processus se répète le long de l'axone.

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (16) : propagation du PA ou influx nerveux le long de l'axone

**Influx nerveux =
propagation du PA**



- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (17) : propagation du PA ou influx nerveux le long de l'axone

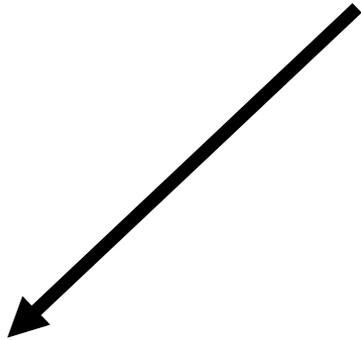
La propagation de l'influx se fait de son point d'origine le long de l'axone. La propagation est dite orthodromique \neq antidromique (ou rétrograde).

La propagation antidromique est impossible en raison de la période réfractaire de la zone où a lieu la dépolarisation.

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (18) : propagation du PA ou influx nerveux le long de l'axone

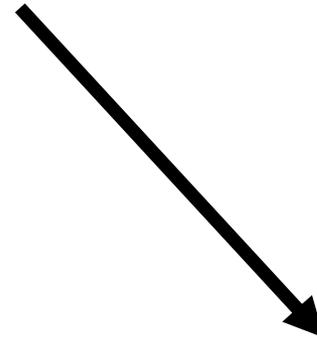
La vitesse de propagation de l'influx nerveux :

3 Km/h à 300 Km/h



Rôle du diamètre

↗ Diamètre = ↗ vitesse

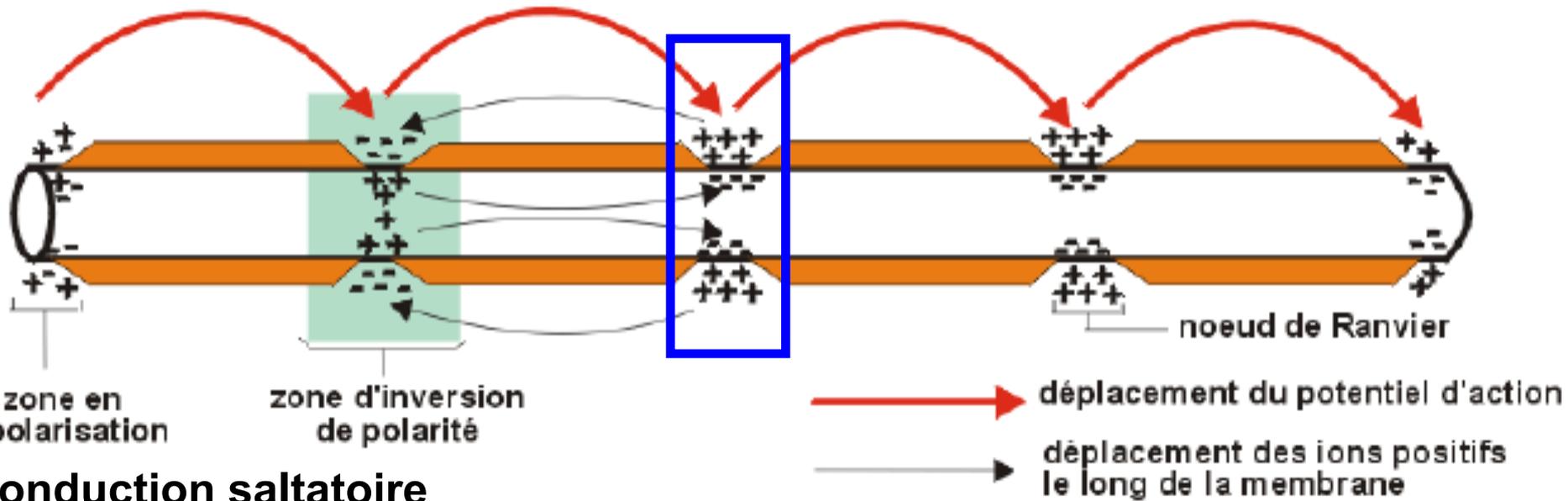
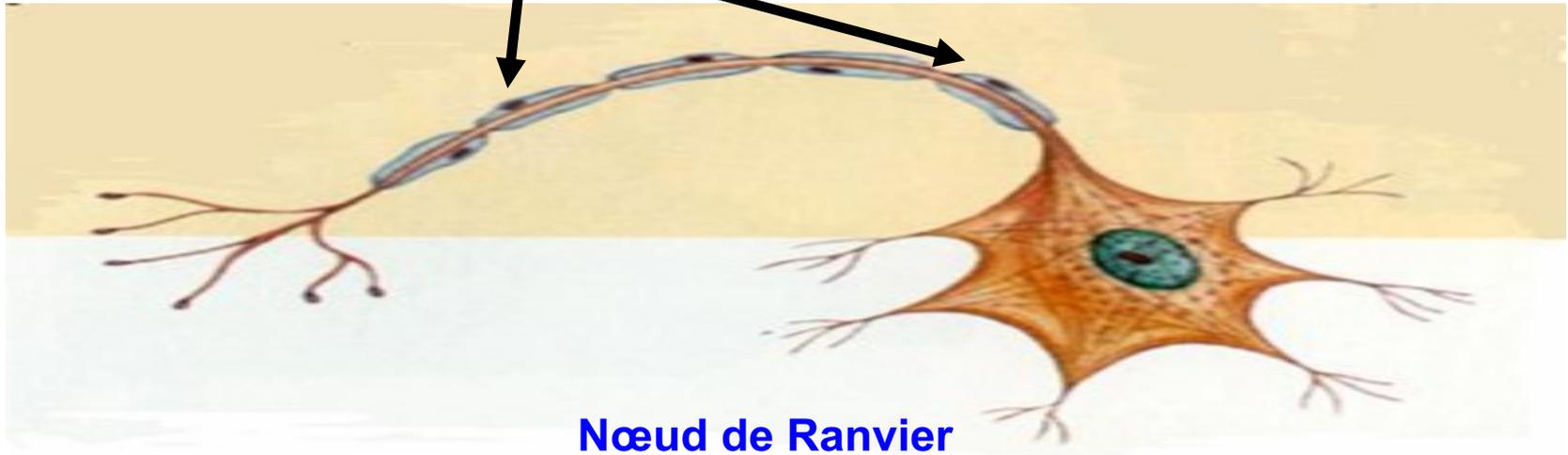


Présence de myéline

↗ vitesse

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (19) : propagation du PA ou influx nerveux le long de l'axone

Rôle de la myéline : conduction saltatoire



Conduction saltatoire

- Le neurone et le potentiel d'action (PA) (20) : propagation du PA ou influx nerveux le long de l'axone

Rôle de la myéline : conduction saltatoire

Dans les axones myélinisés, la membrane de l'axone est isolée du liquide extracellulaire par les couches de myéline, sauf aux nœuds de Ranvier où la membrane de l'axone est en contact direct avec le liquide extracellulaire.

Dans ce cas, un PA au niveau d'un nœud de Ranvier réalise son circuit local avec le prochain nœud de Ranvier.

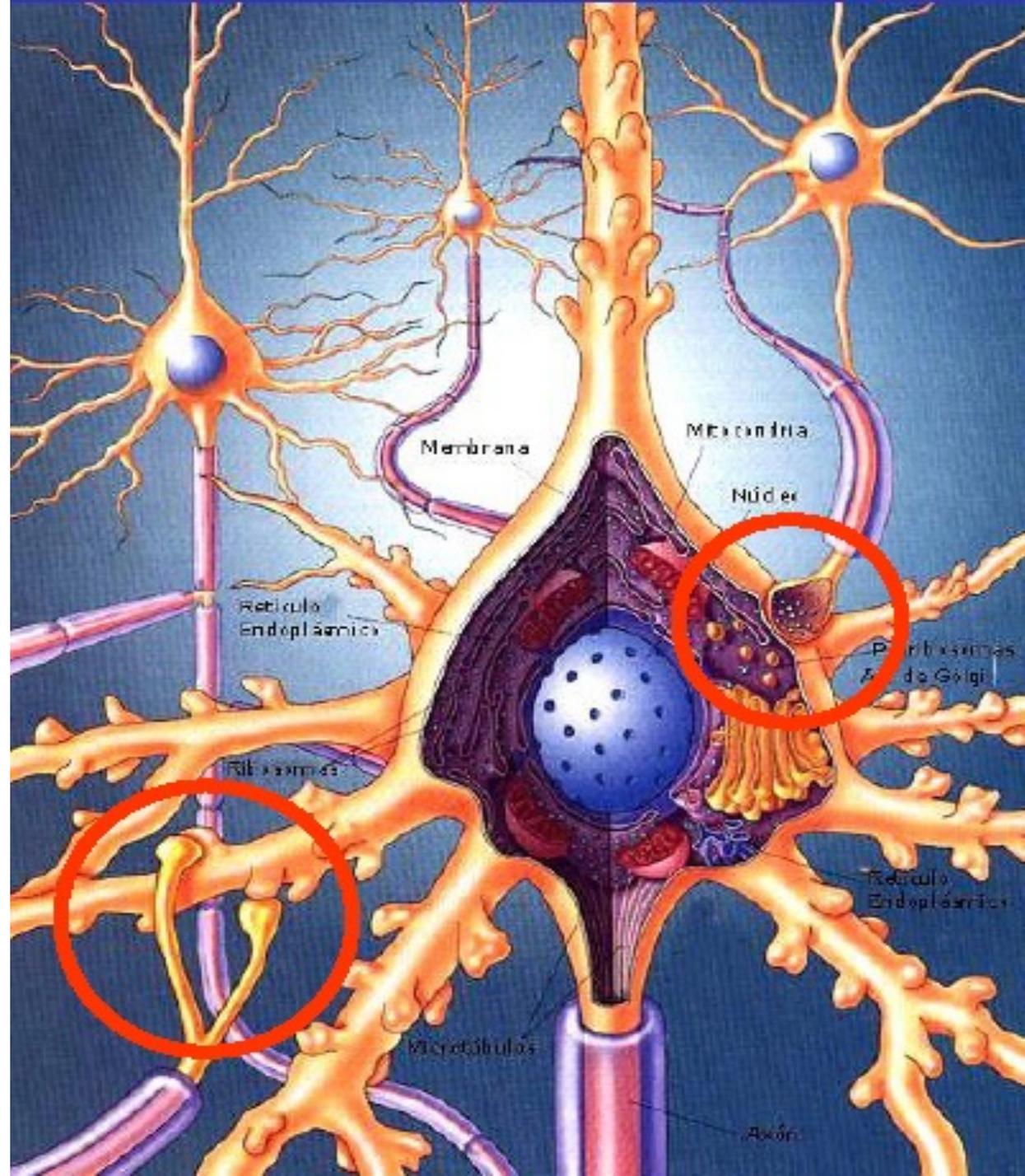
Le PA saute d'un nœud de Ranvier à l'autre

1.4. La synapse chimique (1)

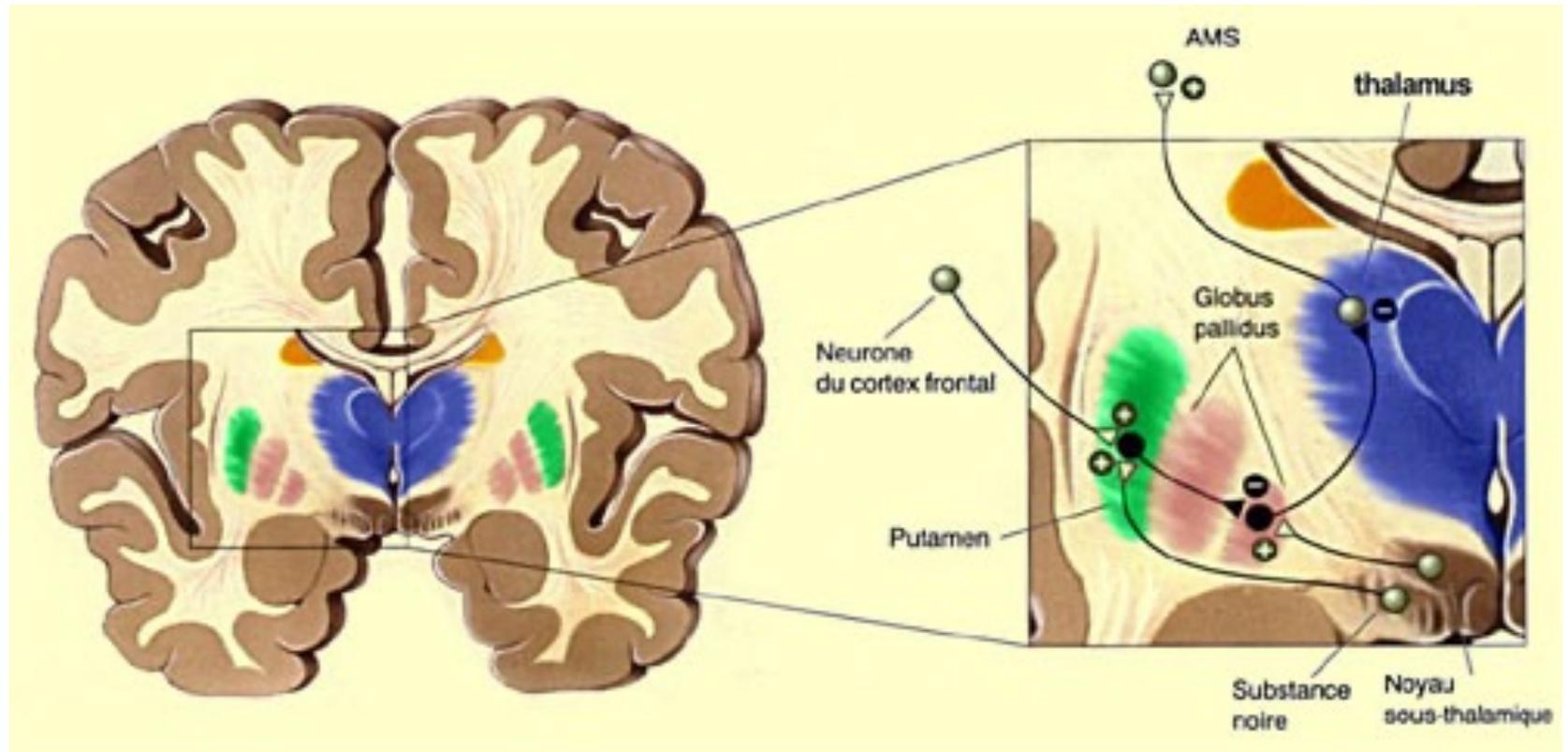
Synapse = point de connexion entre 2 neurones ou entre 1 neurone et une autre cellule (musculaire par exemple)



- La synapse (2)



- La synapse (3)



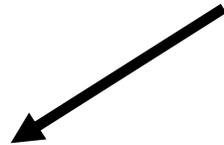
Quand un axone atteint sa cible, il forme une jonction spéciale appelée synapse.

La cellule nerveuse qui donne naissance à l'axone est appelée neurone pré-synaptique et la cellule cible est appelée cellule post-synaptique.

- La synapse (4)

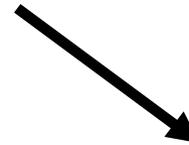
- Les synapses sont unidirectionnelles : l'info passe de la cellule pré-synaptique à la cellule post-synaptique
- Si activité de la cellule post-synaptique ↗ = **synapse excitatrice**
- Si activité de la cellule pré-synaptique conduit à ↘ l'activité de la cellule post-synaptique = **synapse inhibitrice**

2 types de synapses



Synapse chimique

**Sécrétion de substances
chimiques (neuromédiateur)**

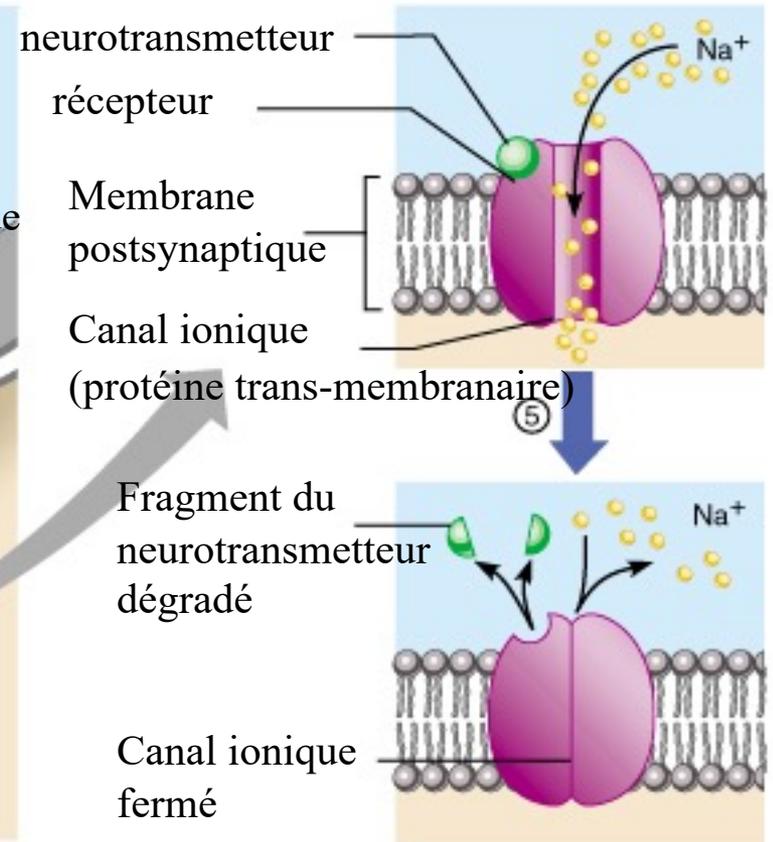
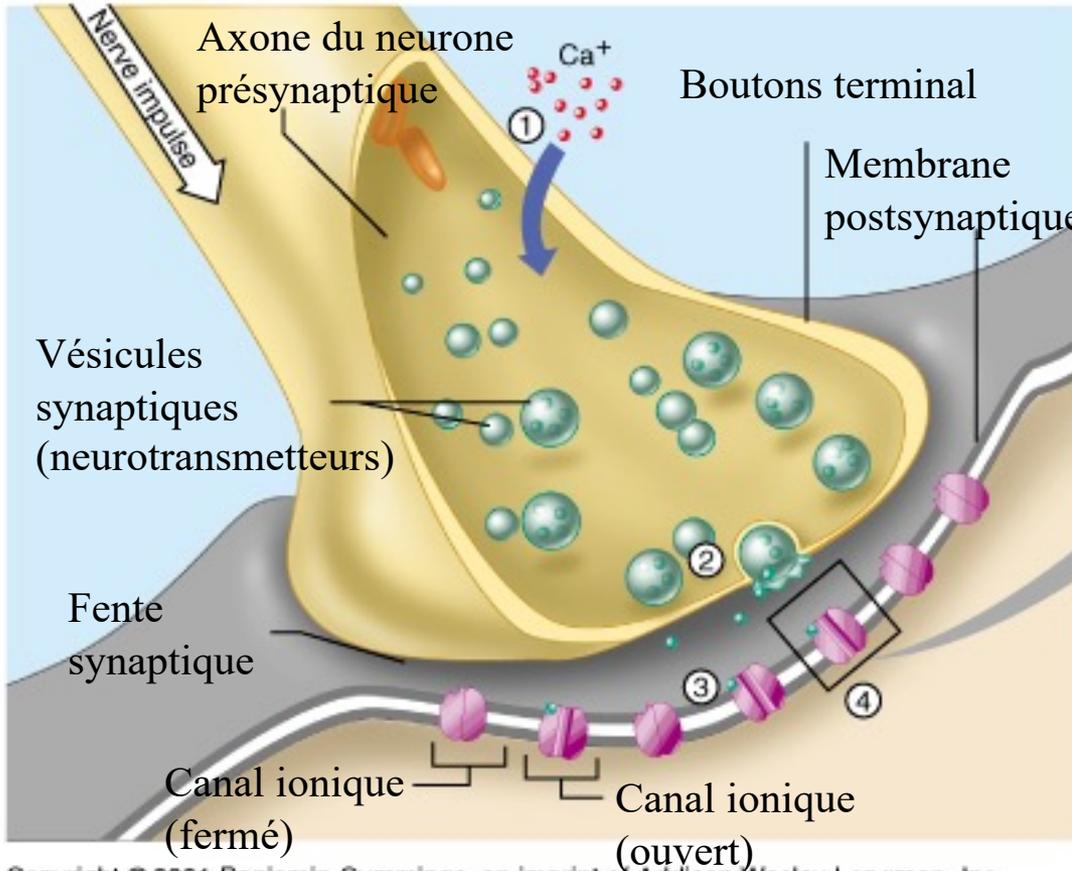


Synapse électrique

Assez rares chez l'homme.

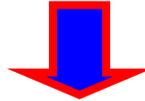
• La synapse (5)

La synapse chimique (entre deux neurones)

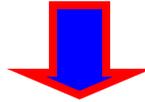


- La synapse (6)

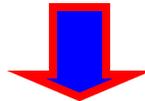
Influx nerveux arrive au niveau du bouton synaptique du neurone pré-synaptique



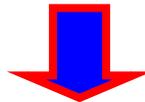
Dépolarisation de la membrane du bouton synaptique



Libération par exocytose du neurotransmetteur dans la fente synaptique

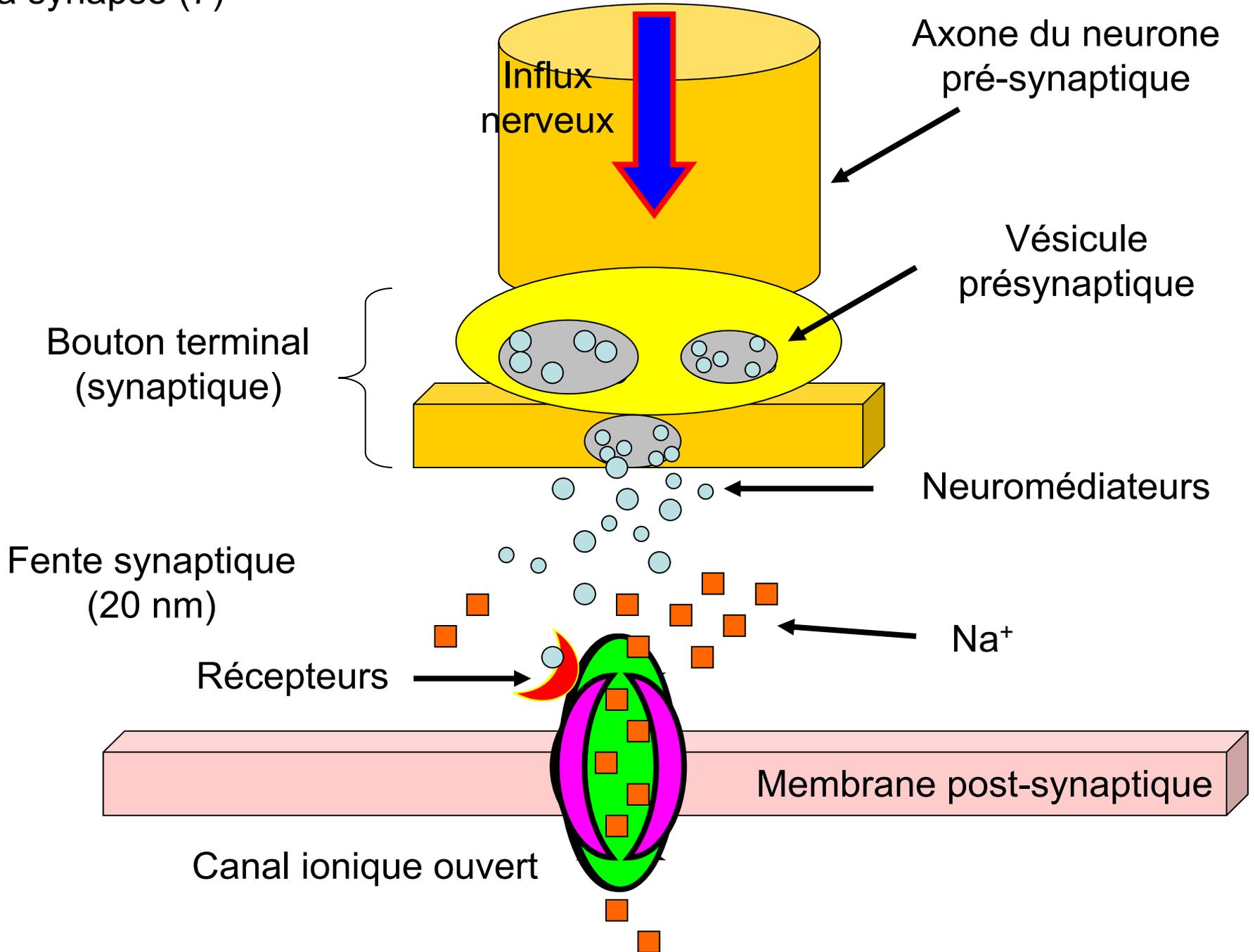


Le neurotransmetteur se fixe sur son récepteur (spécifique) sur le neurone post-synaptique



La fixation du neurotransmetteur provoque l'ouverture de canaux ioniques

• La synapse (7)

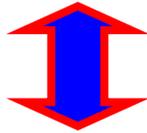


- La synapse (8)

La liaison du récepteur avec le neurotransmetteur peut avoir deux effets



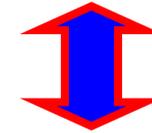
Baisse de la polarité de la membrane du neurone post-synaptique



Ouverture de canaux à sodium

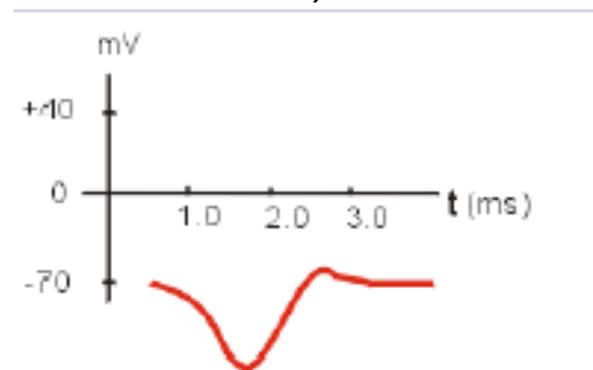
- ↘ polarité membranaire
- PA si dépolarisation > seuil
- influx

Hyperpolarisation de la membrane post-synaptique



Ouverture de canaux à Cl⁻ voire canaux supplémentaires à K⁺

- ↗ polarité membranaire
- neurone plus difficile à dépolariser (< seuil)



- La synapse (9)

L'effet du neurotransmetteur est fonction du type de neurotransmetteur (*Ach, GABA, glutamate, dopamine...*) et du type de récepteur (*Nicotinique, muscarinique, GABA_A, GABA_B, AMPA, NMDA, récepteurs D₁ et D₂...*).

- Neurotransmetteur excitateur

➔ **PPSE** (potentiel post-synaptique excitateur)

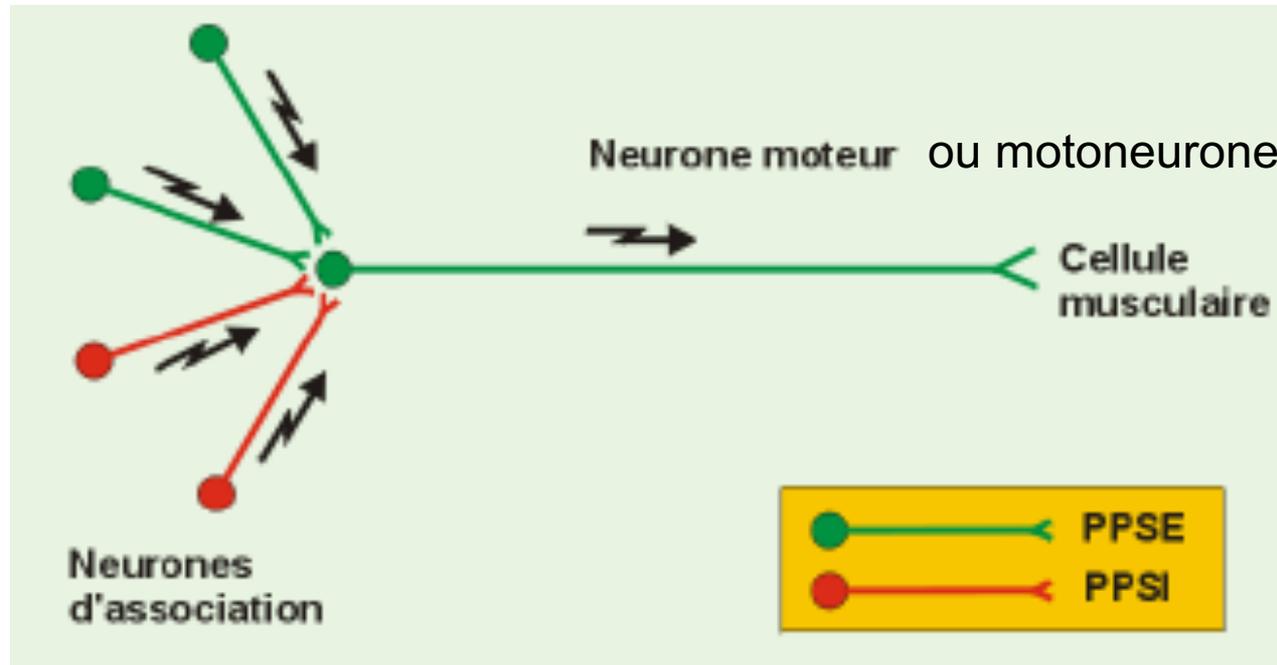
- Neurotransmetteur inhibiteur

➔ **PPSI** (potentiel post-synaptique inhibiteur)

- La synapse (10)

Chaque neurone reçoit des terminaisons PPSE et PPSI

Exemple du neurone moteur:



- 1) S'il y a plus de PPSE / PPSI, le neurone moteur est dépolarisé au-delà du seuil et il y a influx
- 2) S'il y a plus de PPSI / PPSE, le neurone moteur ne se dépolarise pas jusqu'au seuil et il n'y a pas d'influx.

- La synapse (11)

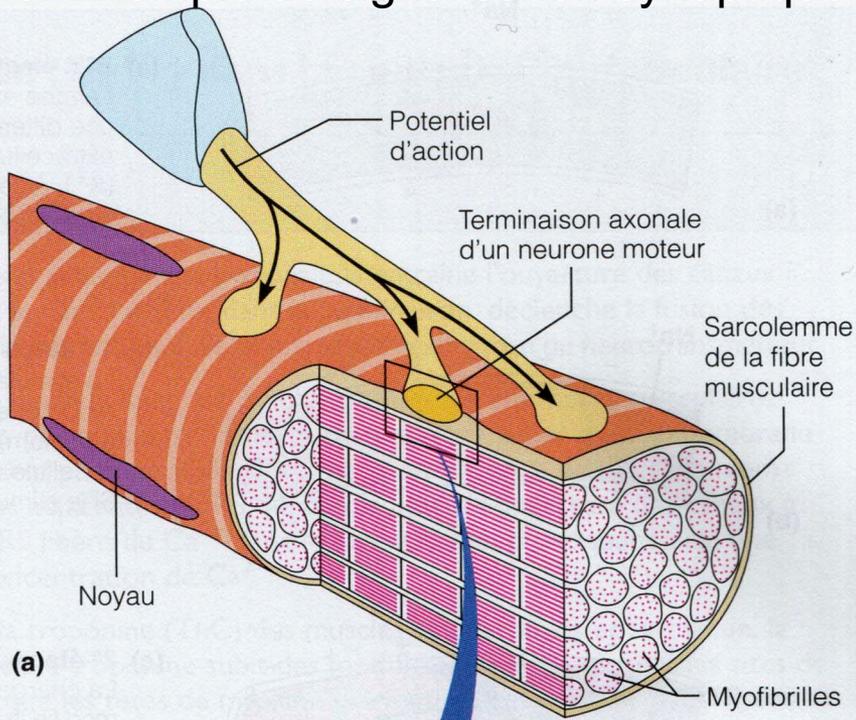
- **La sommation temporelle :**

Comme un PPSE (10 ms) dure de temps qu'un PA au niveau de la terminaison nerveuse (1-2 ms), il est possible d'avoir un deuxième PA arrivant à la terminaison nerveuse (en dehors de la période réfractaire) qui va générer un autre PPSE avant que le 1er ait diminué. Les 2 PPSE s'additionnent = dépolarisation plus forte.

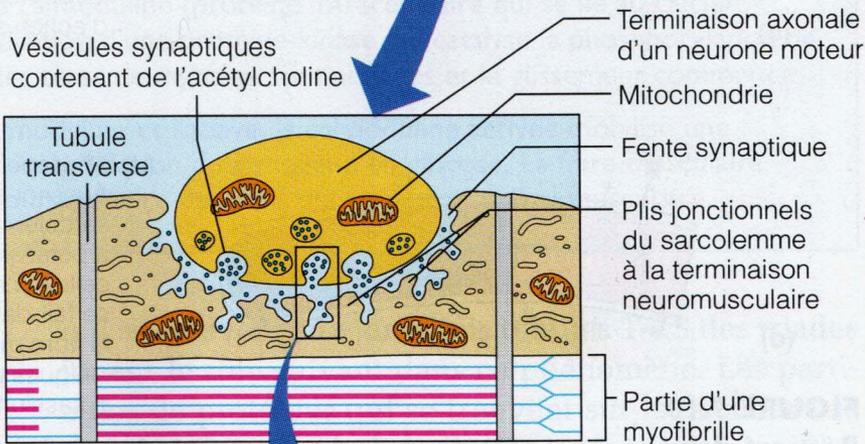
- **La sommation spatiale :**

Comme une cellule nerveuse peut recevoir plusieurs synapses: possibilité d'avoir ajout de plusieurs PPSE en même temps (exemple d'avant).

1.5. Exemple de signalisation synaptique : transmission neuromusculaire

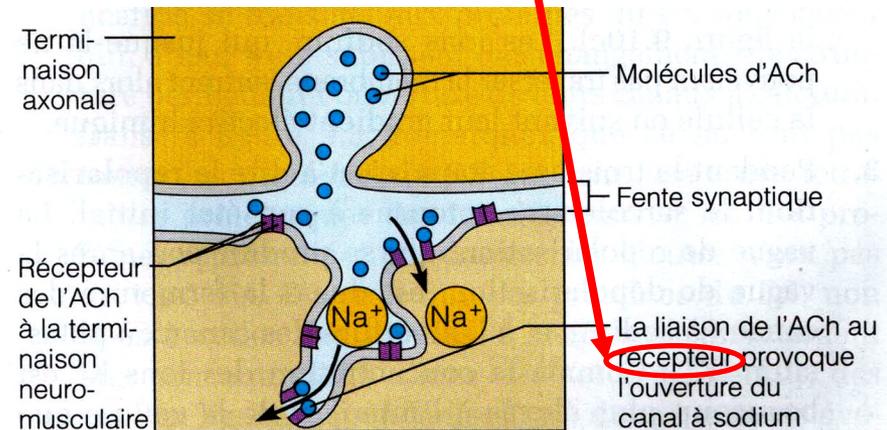


(a)



(b)

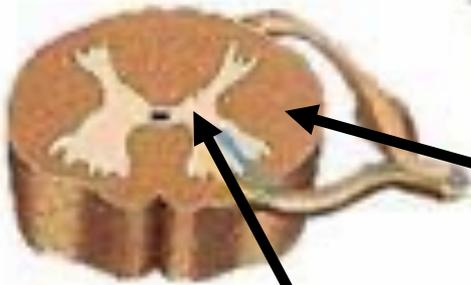
Récepteur nicotinique



3. Le système nerveux et les relations avec l'environnement

1. La moelle épinière

- Organisation de la moelle épinière (1)



Très fragile (grosseur d'un crayon)

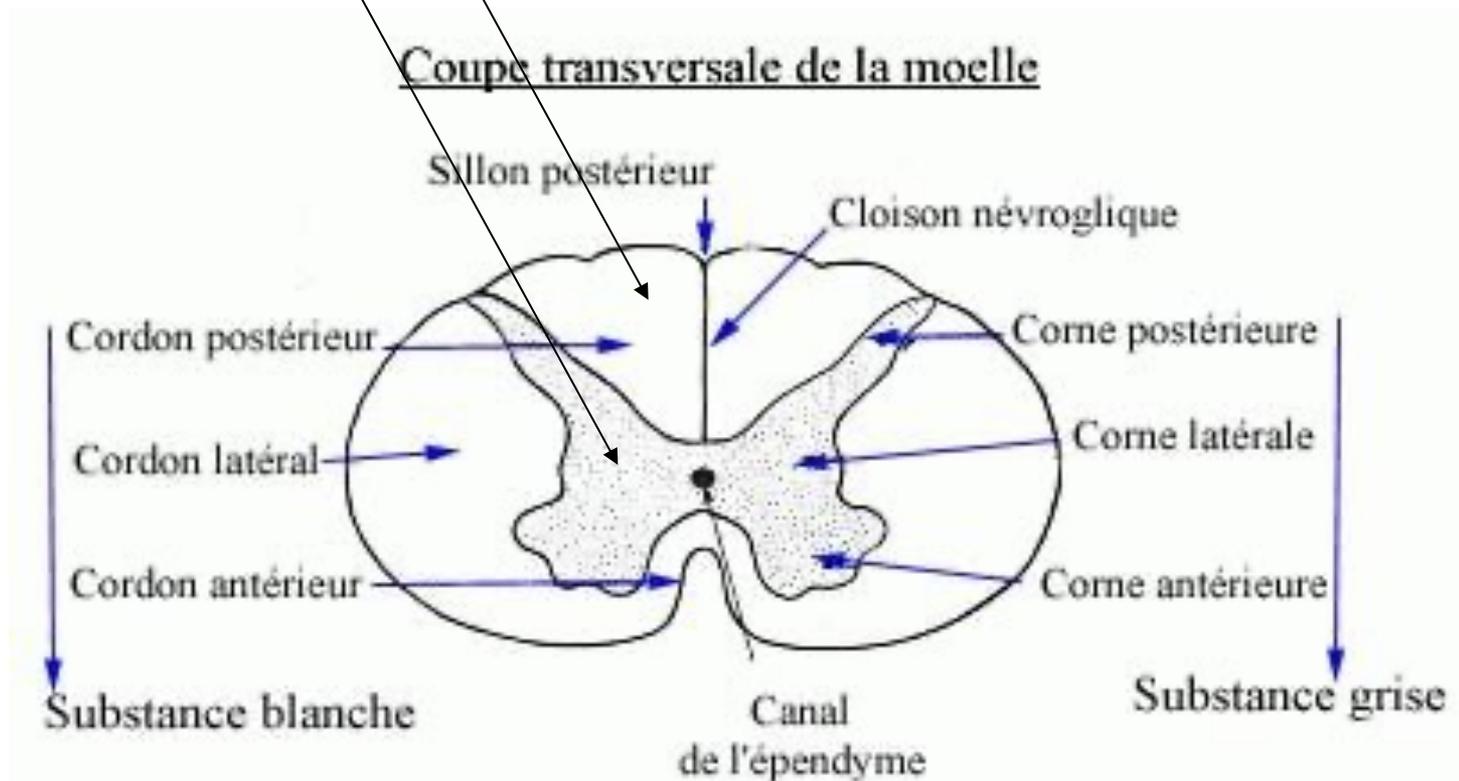
Région centrale = grise (forme de H) entourée de substance blanche.

C'est un cordon de tissu nerveux situé dans le canal vertébral et s'étendant de la première vertèbre cervicale à la deuxième vertèbre lombaire. Elle est protégée par les méninges.

• Organisation de la moelle épinière (2)

La substance blanche : organisée en cordons et contient des fibres nerveuses motrices et sensibles qui s'étendent entre le cerveau et la ME.

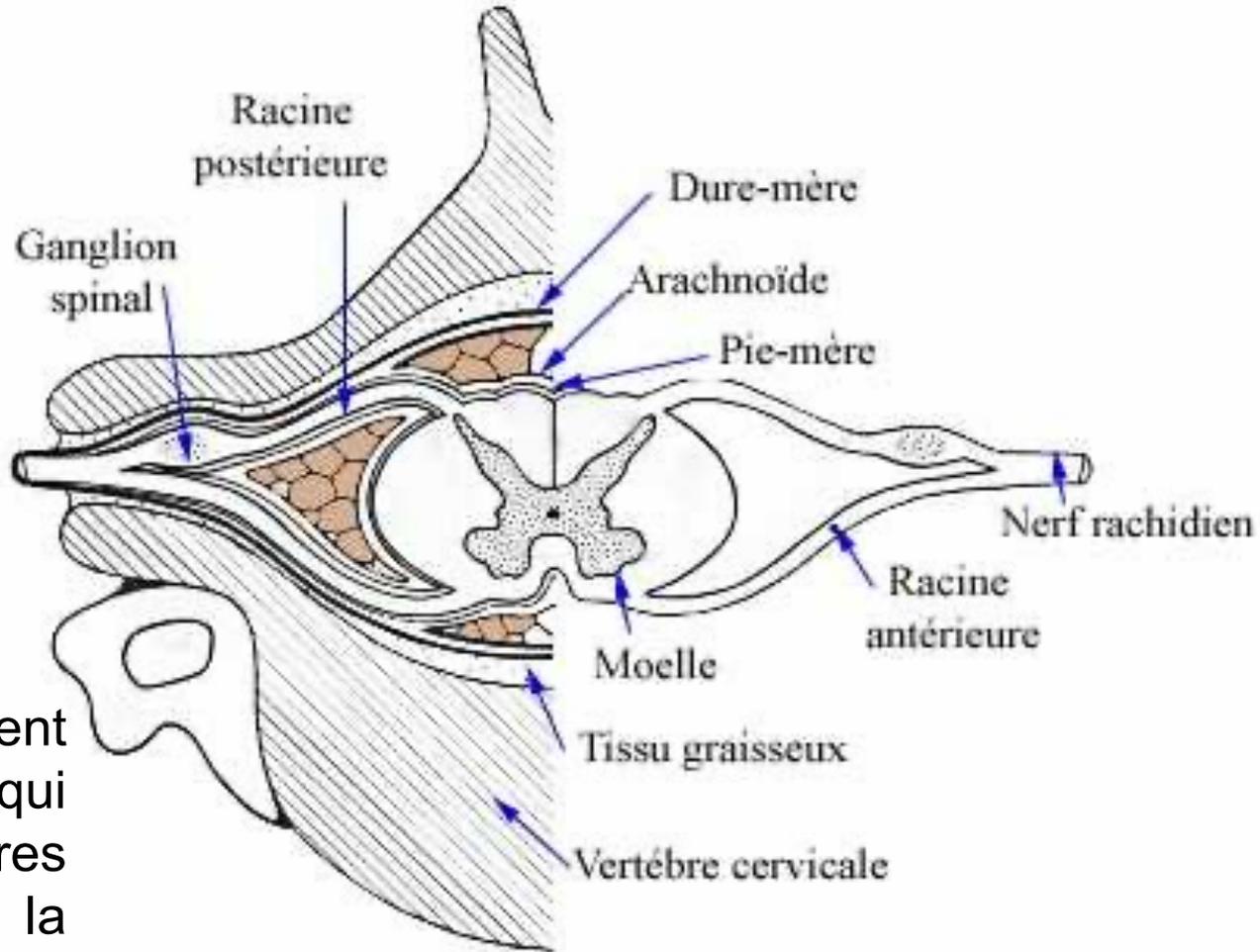
La substance grise : divisé en 2 cornes dorsales (postérieures) et 2 cornes ventrales (antérieures). Elle contient les corps cellulaires des neurones, leurs dendrites et leurs synapses. C'est le centre nerveux de la moelle. Au centre, il y a le canal de l'épendyme



• Organisation de la moelle épinière (3)

On a 31 paires de nerfs spinaux. Chaque paire possède une racine dorsale (ou postérieure) et une racine ventrale (ou antérieure).

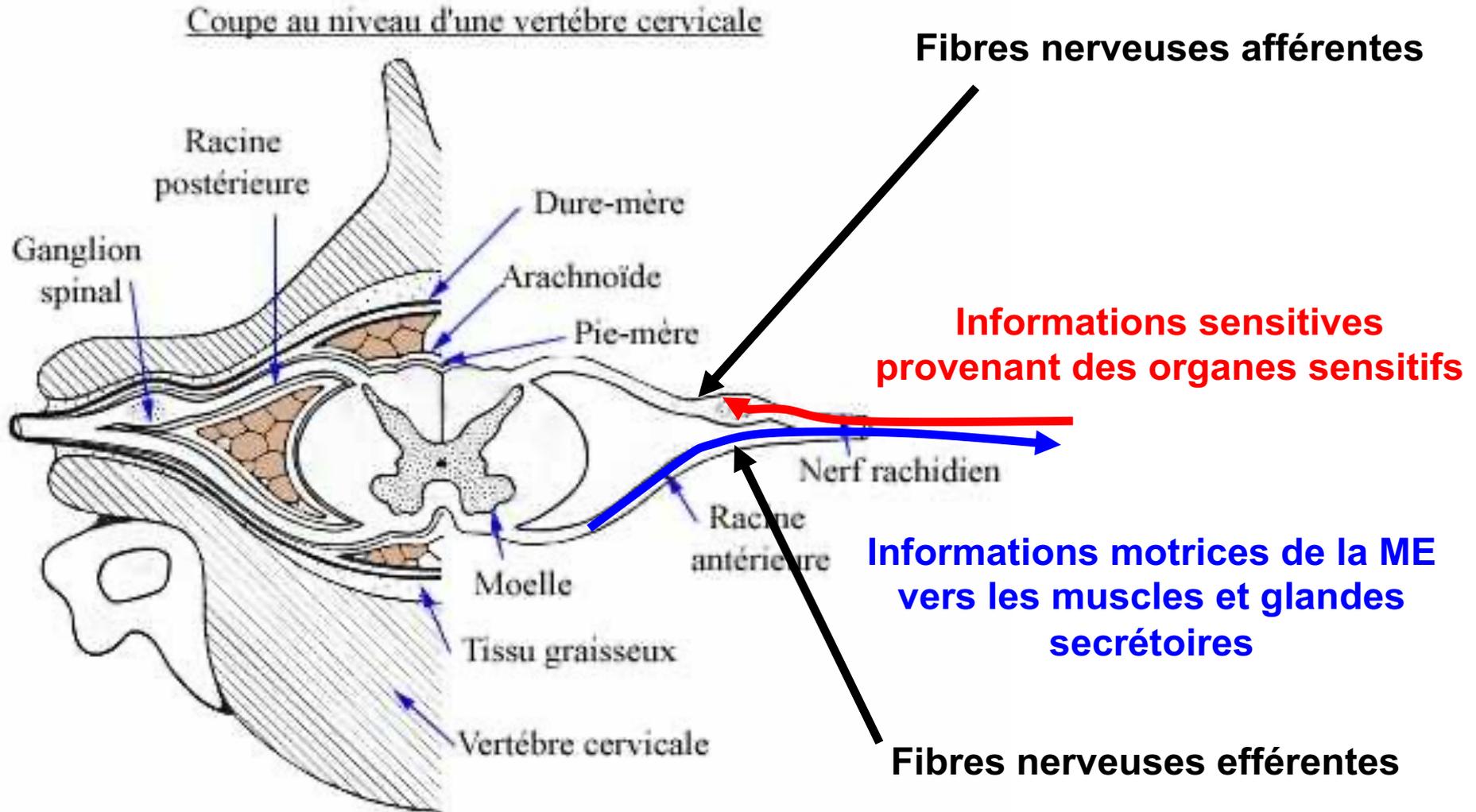
Coupe au niveau d'une vertèbre cervicale



Les fibres de la racine ventrale naissent des cellules nerveuses situées dans la corne ventrale de la matière grise de la ME.

Racine dorsale : renflement appelé ganglion spinal qui contient les corps cellulaires des fibres nerveuses de la racine dorsale.

- Organisation de la moelle épinière (4)



• Organisation de la moelle épinière (5)

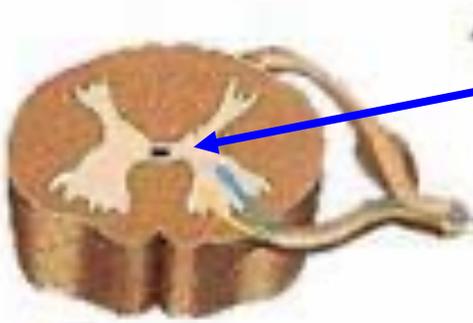
La corne ventrale de la substance grise :

- fonction motrice.
- contient les motoneurones dont les axones forment les fibres motrices des nerfs périphériques.

La corne dorsale :

- fonction sensitive.
- Ses neurones sont regroupés en 3 noyaux principaux :
 - a) le noyau de **CLARKE** situé sur le bord médial du col de la corne dorsale
 - b) le noyau de **BETCHEREW** est situé sur le bord latéral du col.
 - c) le noyau propre de la corne dorsale.

- Organisation de la moelle épinière (6)



La substance grise = centre nerveux segmentaire

- Centre nerveux car, c'est là que se déroulent les phénomènes réflexes
- Segmentaire, car la ME est formée de 31 segments étagés qui donne naissance aux racines d'un nerf spinal. Chaque segment = neuromère.

Neuromères : 8 cervicaux, 12 thoraciques, 5 lombaires, 5 sacrés et 1 coccygien.

- Organisation de la moelle épinière (7)

Notion de métamérie

Les informations arrivent à la moelle par 31 racines rachidiennes :

8 racines cervicales

12 racines thoraciques

5 racines lombaires

5 racines sacrées

1 racine coccygienne

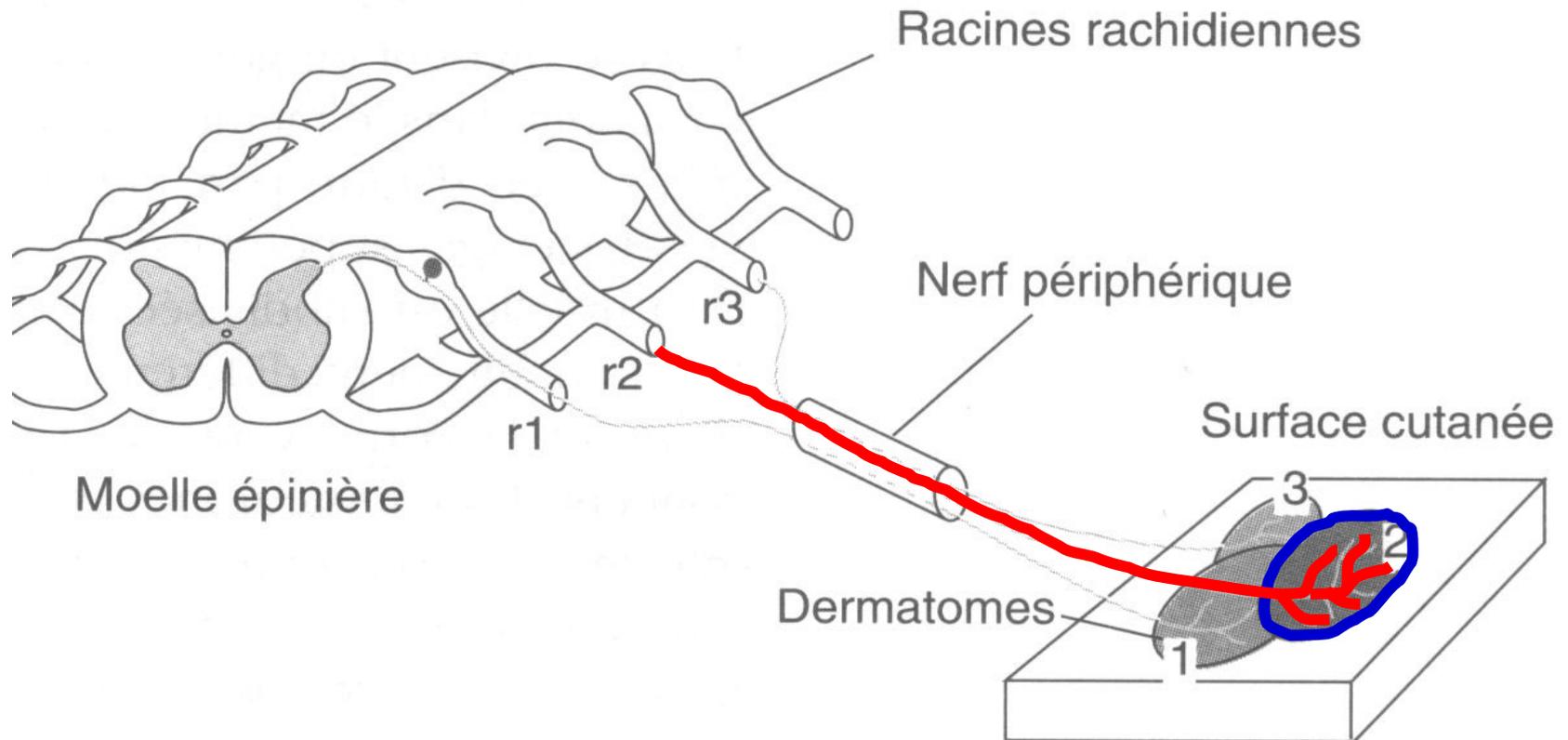
Les informations partent de la moelle par ces mêmes racines.

- Organisation de la moelle épinière (8)

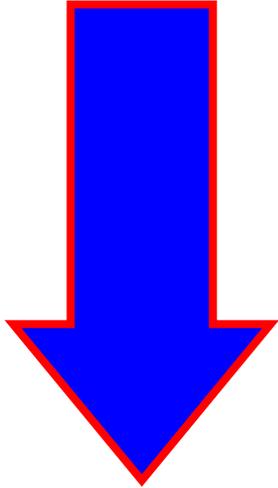
Notion de métamérie

Chaque racine innerve un territoire corporel précis.

On appelle métamérie, la correspondance entre une racine rachidienne et une partie du corps.

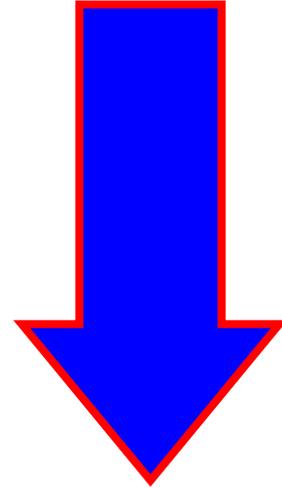


SUBSTANCE GRISE



Centres de traitement
des informations

SUBSTANCE BLANCHE



Voies de conduction
des informations

Traitement des informations

CENTRES DE LA SENSIBILITÉ

Corne postérieure

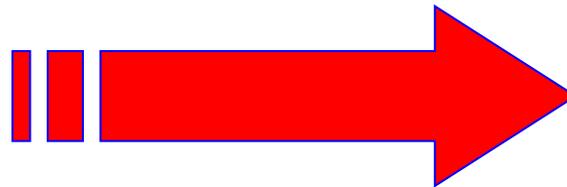


Conduction des informations

Voies des sensibilités (voies afférentes)

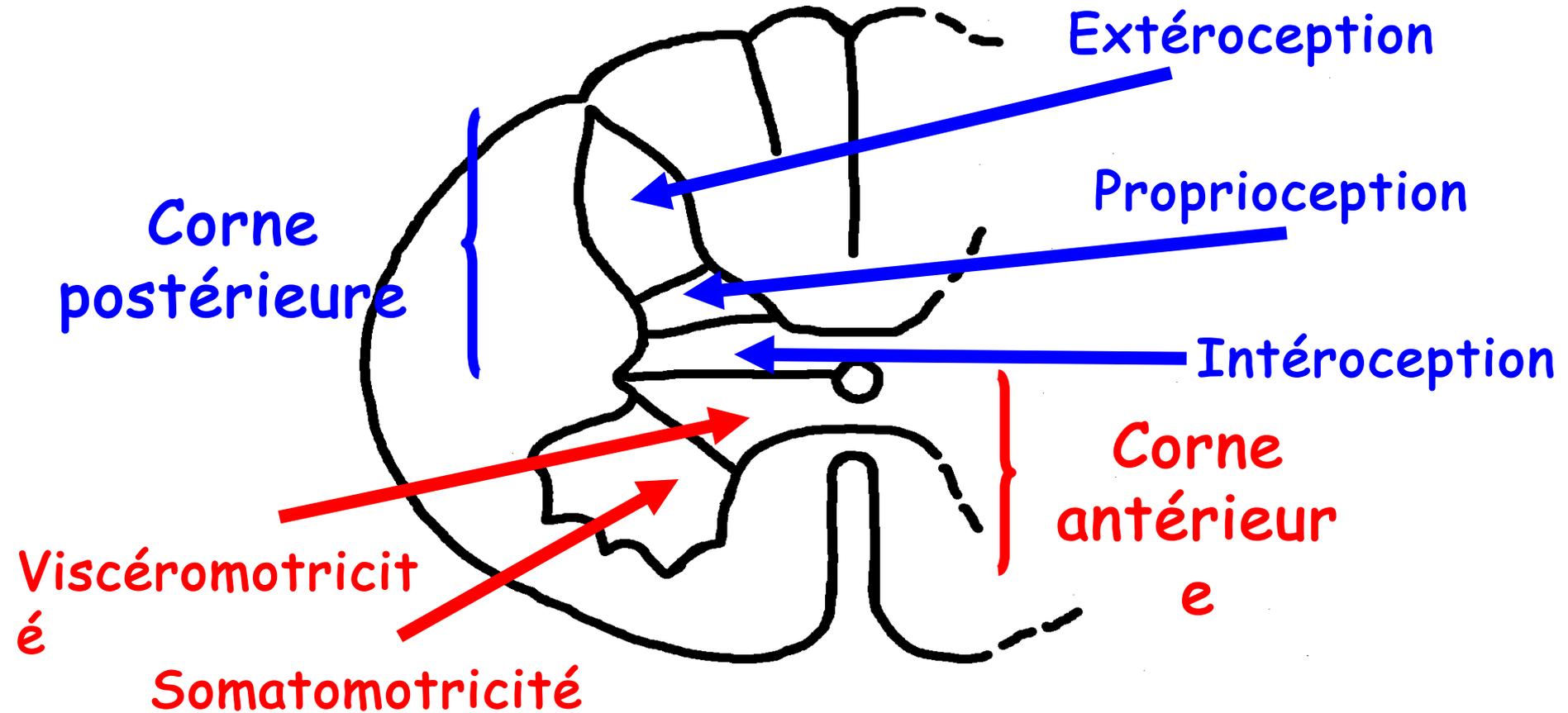
CENTRES DE LA MOTRICITÉ

Corne antérieure



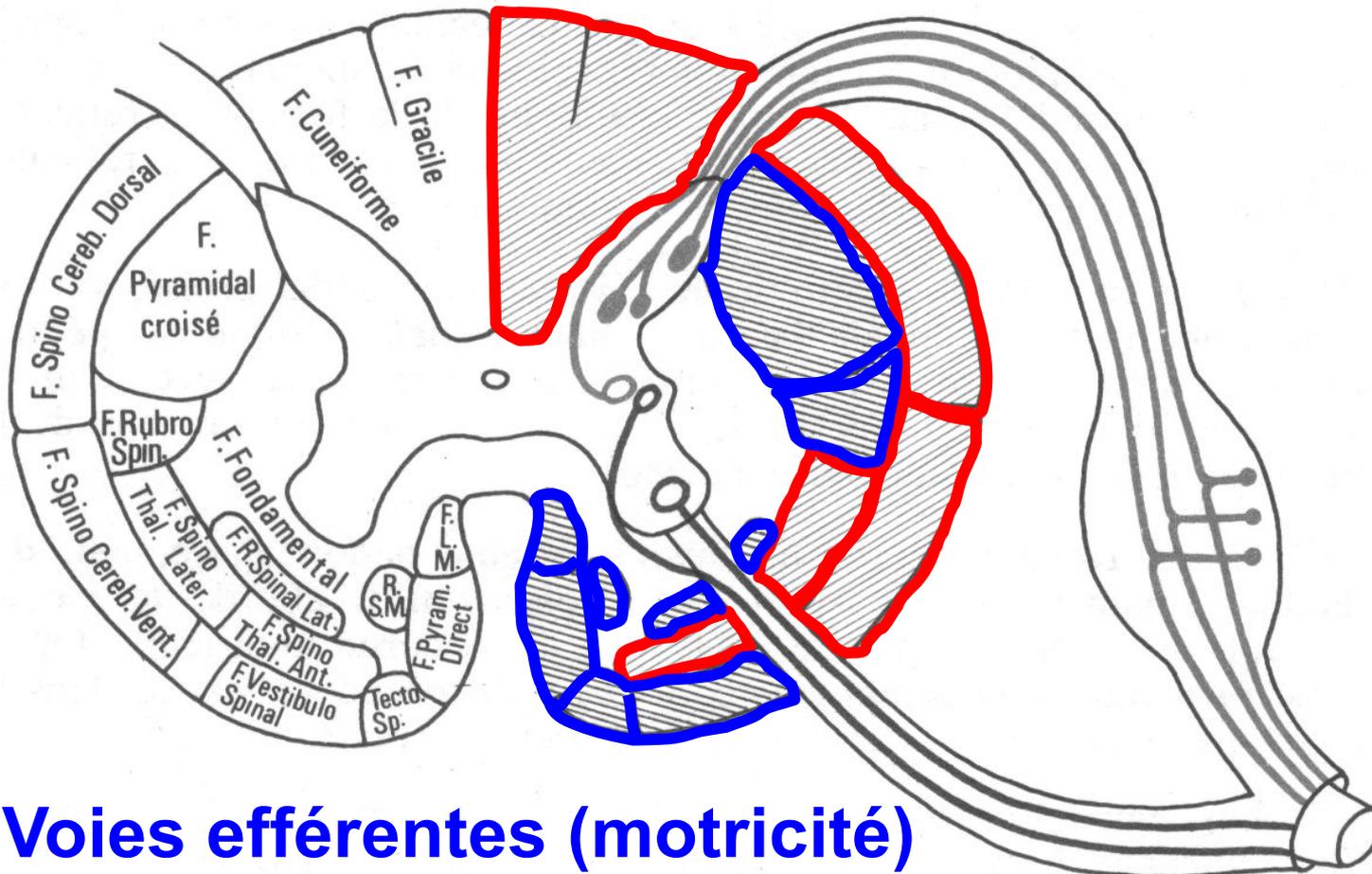
Voies des motricités (voies efférentes)

- **Substance grise = centres de traitement de l'information.**



- Substance blanche = voies de conduction

Voies afférentes (sensibilité)

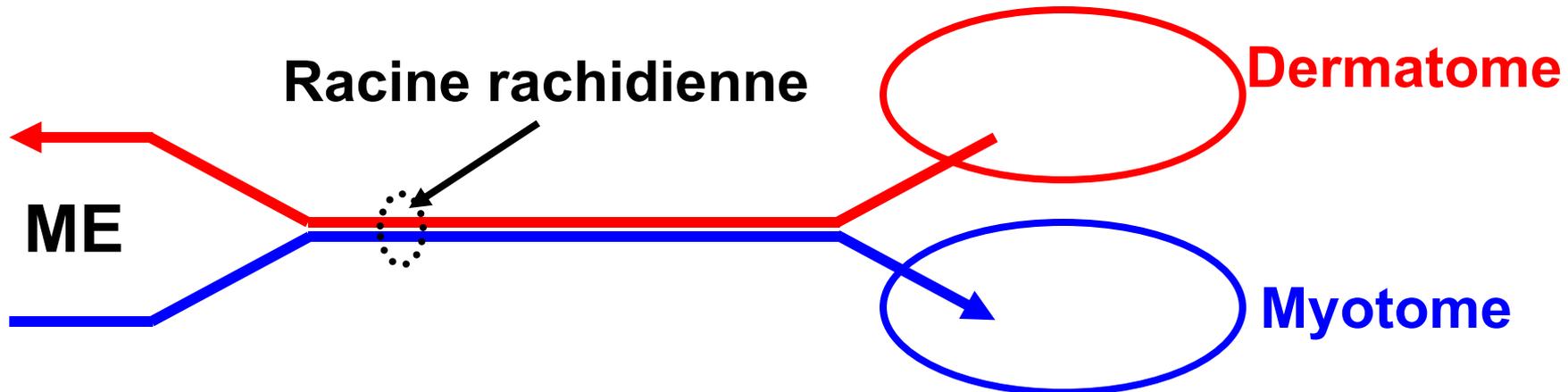


Voies efférentes (motricité)

- Les 2 aspects de la métamérie :

**racine rachidienne
(branche sensitive)** ↔ **territoire cutané**

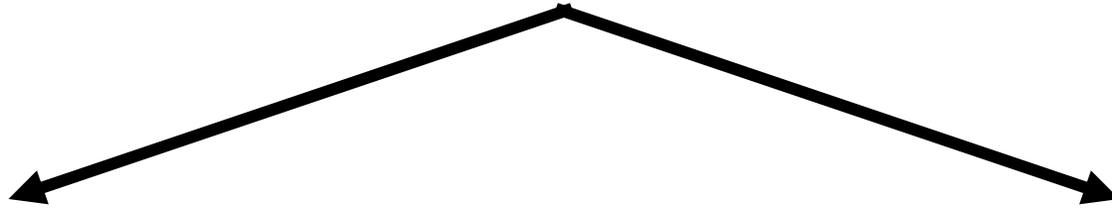
**racine rachidienne
(branche motrice)** ↔ **territoire musculaire**



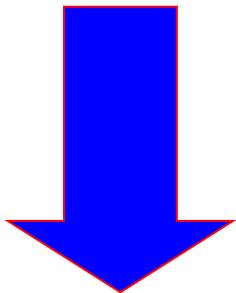
- **Fonction de la moelle épinière**

Le réflexe est une réponse à une stimulation.

2 origines possibles :

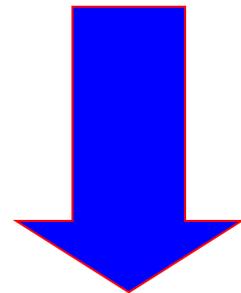


Externe



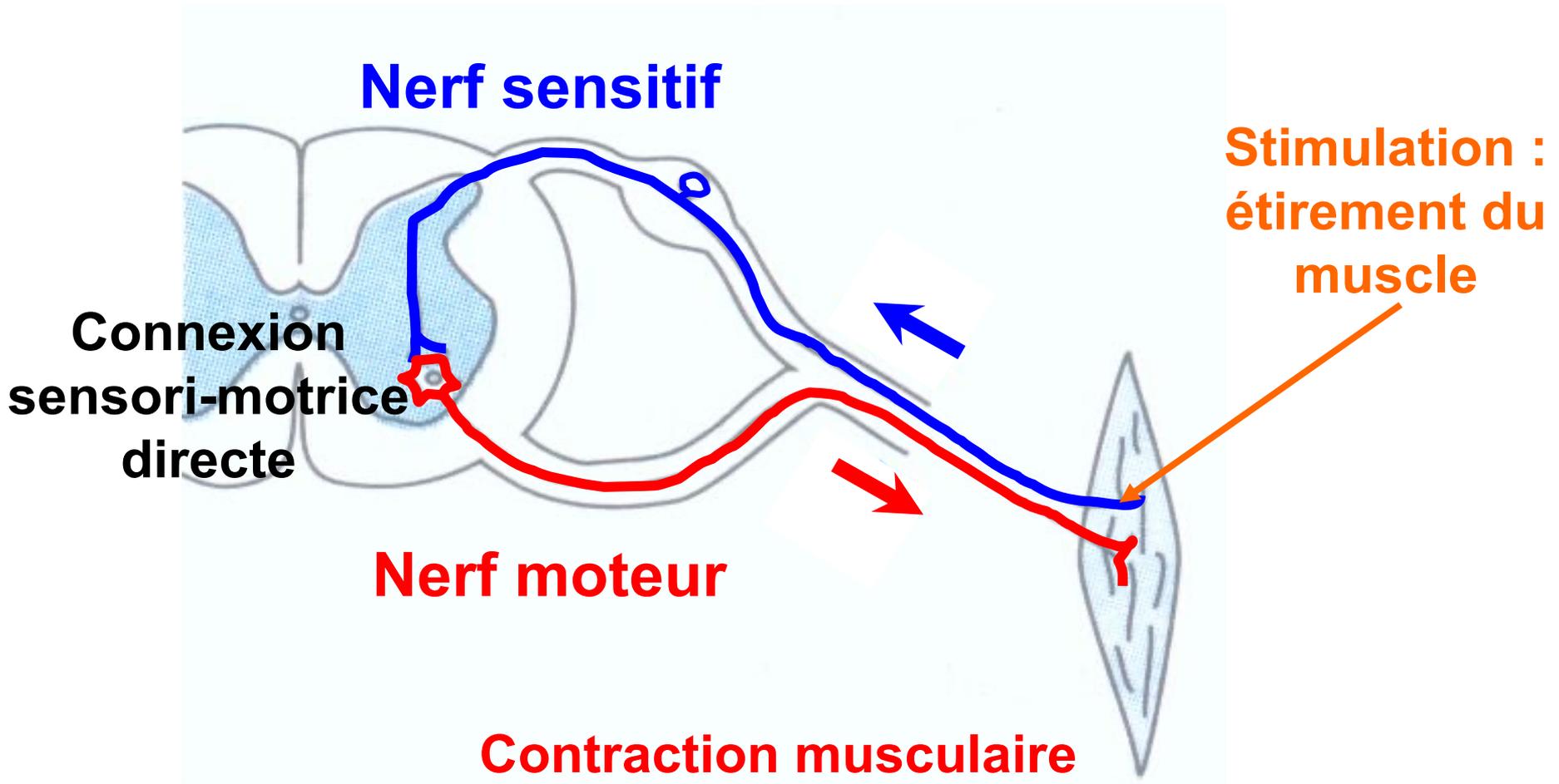
**Réflexe
extéroceptif**

Interne



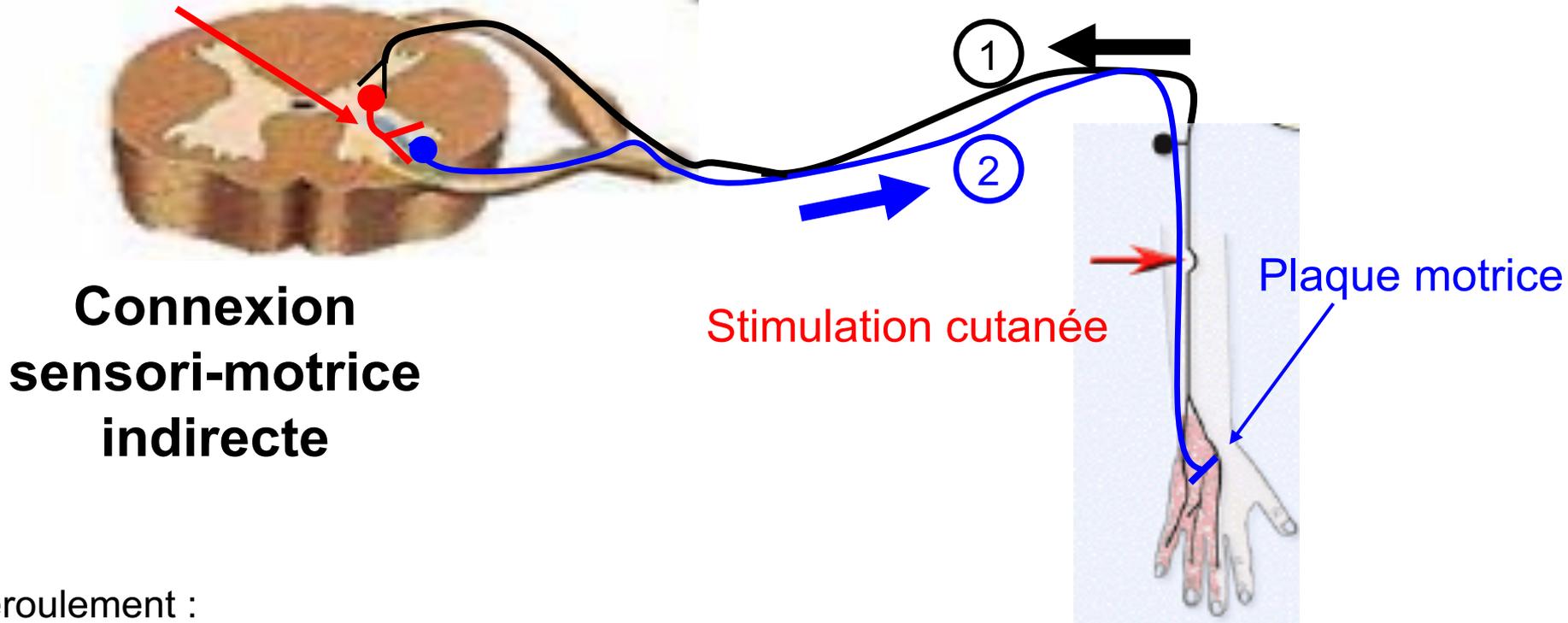
**Réflexe
proprioceptif**

- **Circuit du réflexe proprioceptif**



• Circuit du réflexe extéroceptif

Neurone d'association



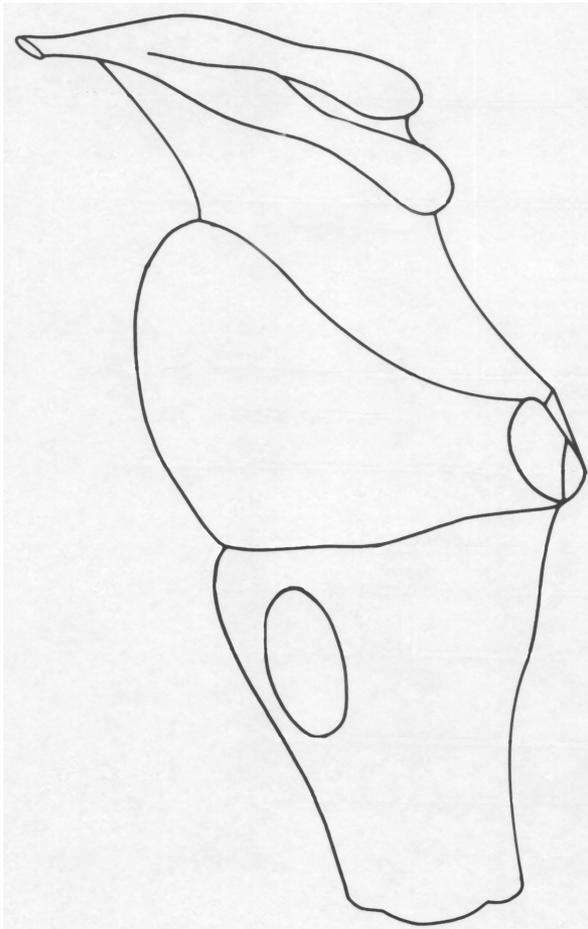
Déroulement :

- 1) Information sensitive périphérique (tact, douleur etc ...) véhiculée par le nerf périphérique puis par le nerf spinal. Il pénètre par la racine dorsale jusqu'à la substance grise médullaire.
- 2) Par articulation monosynaptique (ou **plurisynaptique**), l'influx nerveux aboutit à un motoneurone de la corne ventrale. L'influx nerveux moteur efférent chemine alors dans la racine ventrale, puis dans le nerf spinal jusqu'à la plaque motrice de la fibre musculaire qui réagit par contraction.

2. L'encéphale

2.a. Le tronc cérébral

Cerveau



Moelle épinière

MÉSENCÉPHALE

PONT ou PROTUBÉRANCE

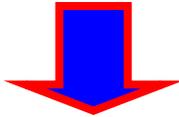
BULBE

**Tronc cérébral
= 3 étages**

2.a.1. Le bulbe rachidien

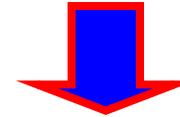
On y trouve la formation réticulée. Elle s'étend sur toute la longueur du tronc cérébral

Portion bulbaire du centre cardio-vasculaire

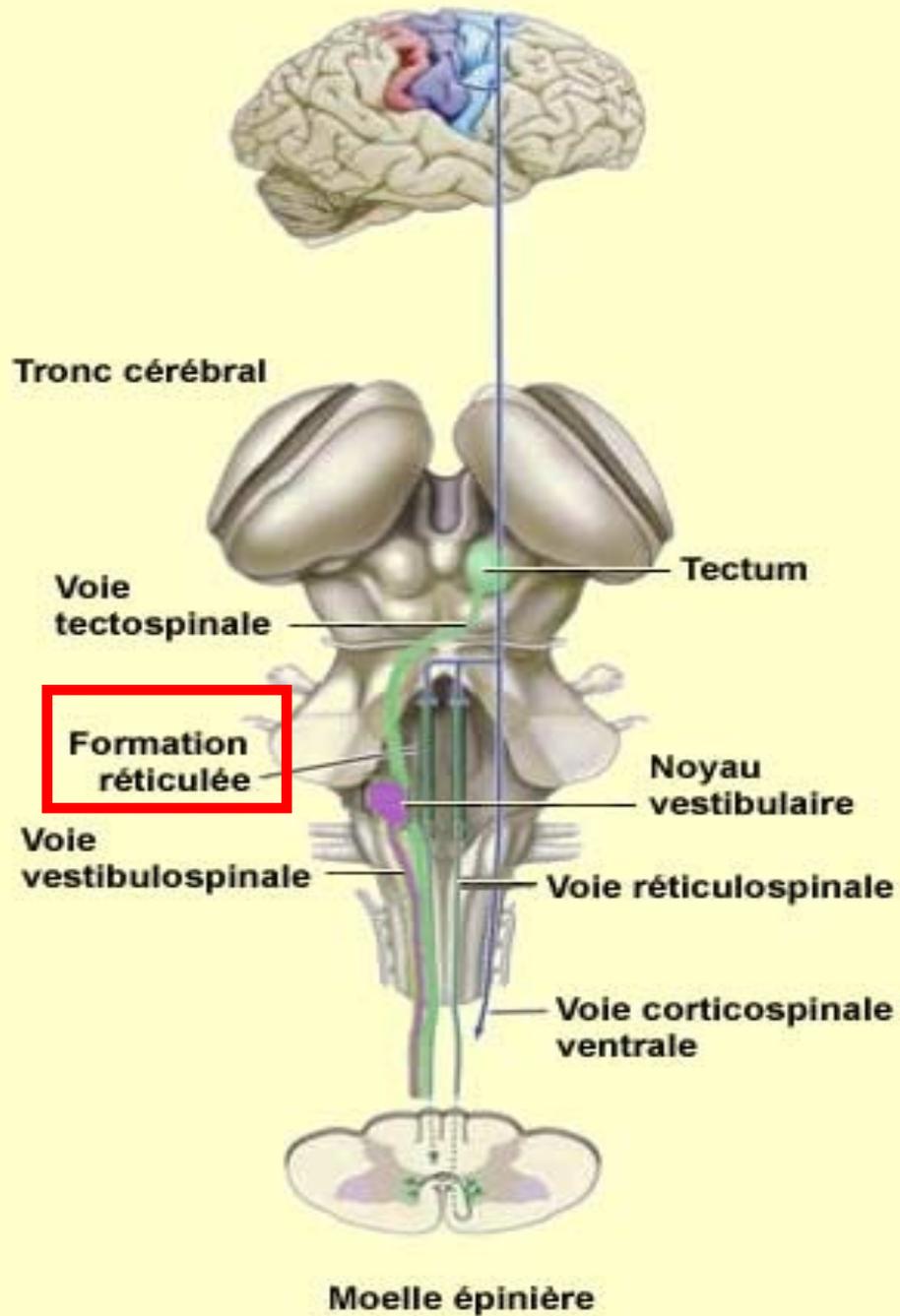


Contrôle de la résistance vasculaire, de la pression artérielle et de l'activité cardiaque

Portion bulbaire du centre respiratoire



Contrôle des mouvements inspiratoires et expiratoires



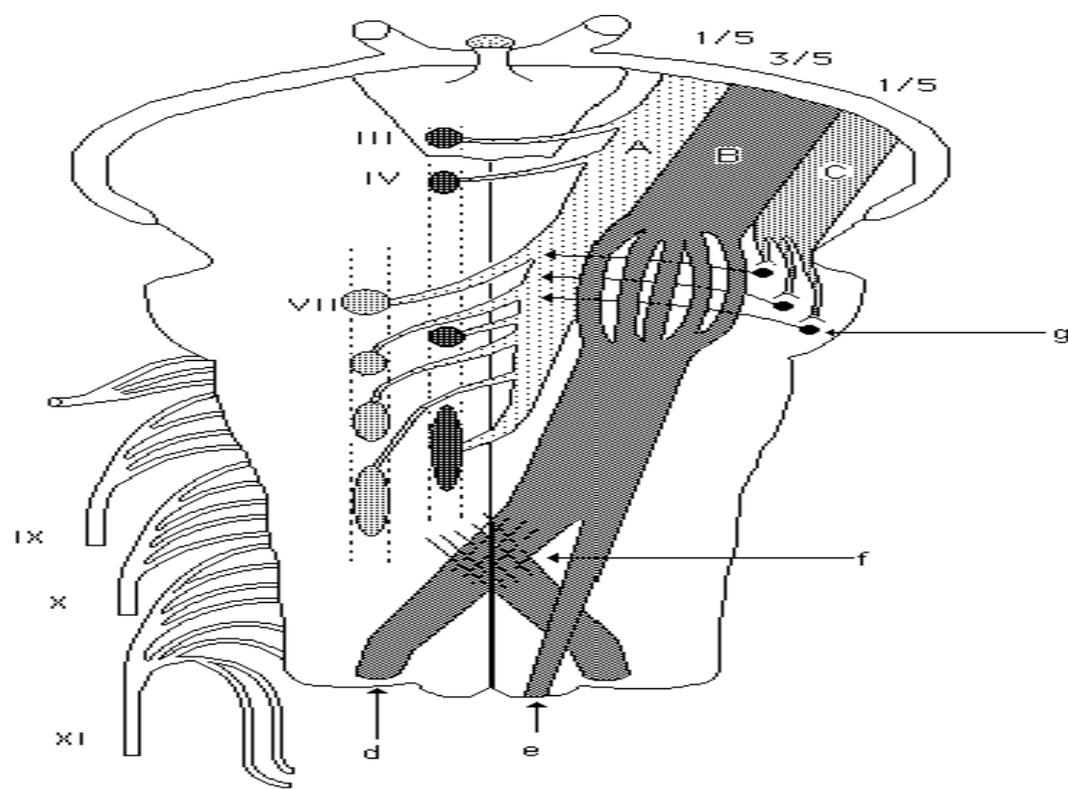
2.a.2. Les noyaux des nerfs crâniens

Ils sont situés sur toute la longueur du tronc cérébral =
centres nerveux moteurs et sensitifs

Ils donnent naissance à des nerfs sensitifs,
mixtes et moteurs.

Sensitif Moteur Mixte**Fonction**

	Sensitif	Moteur	Mixte	Fonction
I. Olfactif				Odorat
II. Optique				Vision
VIII. Auditif et Vestibulaire				Audition et équilibration
III. Moteur oculaire commun				Motricité oculaire
IV. Pathétique				Motricité oculaire
VI. Moteur oculaire externe				Motricité oculaire
XII. Grand hypoglosse				Musculature linguale
V. Trijumeau				Mastication et gustation
VII. Facial				Innervation de la face et du cou
IX. Glosso-pharyngien				Langue et pharynx
X. Pneumogastrique				Viscères
X. Grand hypoglosse				Pharynx



6.4.2. - Tronc cérébral : Systématisation des voies de la motricité

6.4.2. - Tronc cérébral : Systématisation des voies de la motricité

A : Faisceau Géniculé. B : Faisceau Pyramidal. C : Faisceau Cortico - Pontique

d : Faisceau Pyramidal Croisé. e : Faisceau Pyramidal Direct. f : Décussation motrice.

g : Neurones ponto - cérébelleux.

2.a.3. Les centres moteurs particuliers

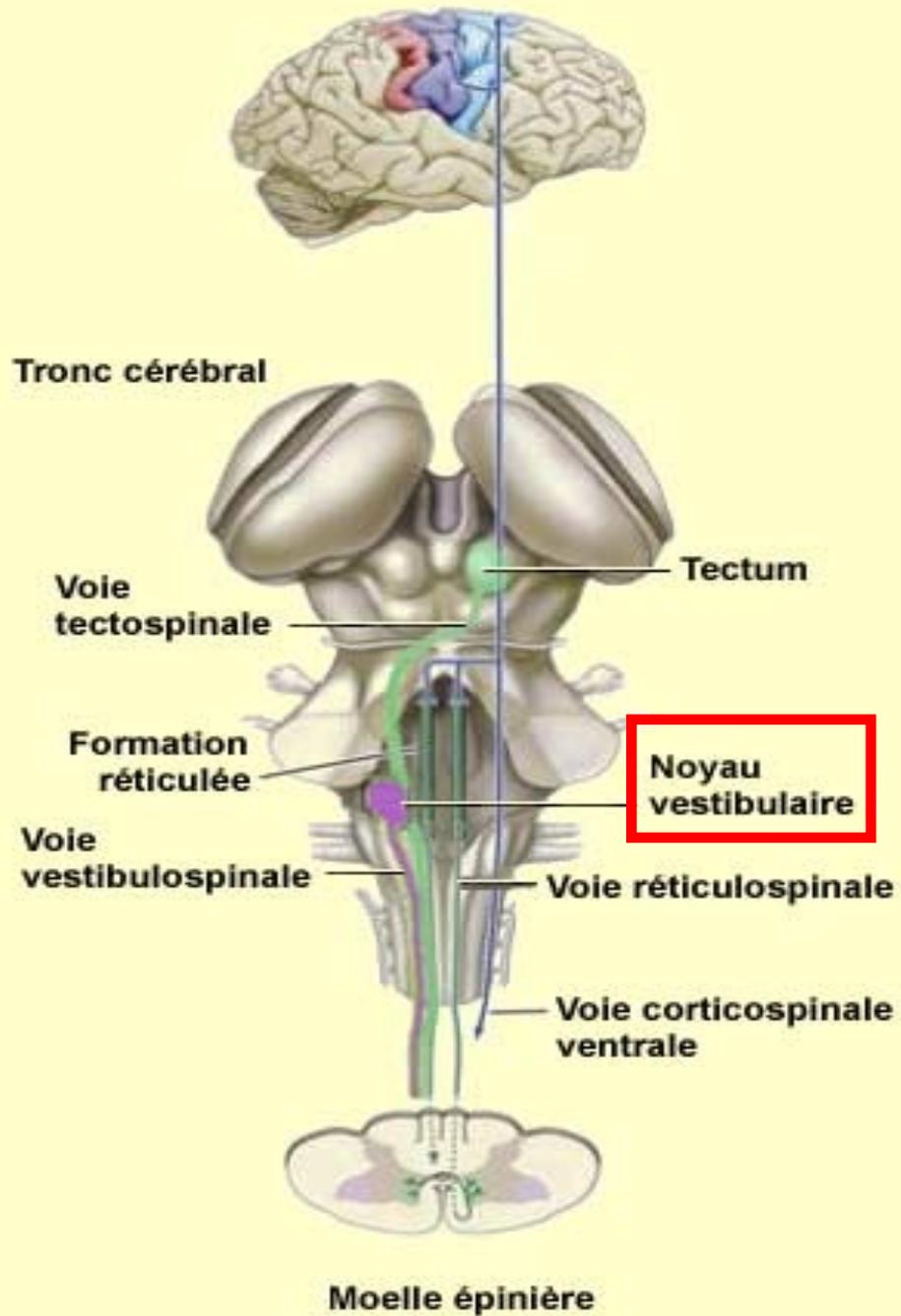
Ils se répartissent sur toute l'étendue du tronc cérébral.

Noyaux vestibulaires :

**Ils reçoivent les fibres nerveuses vestibulaires. Situés globalement à la jonction entre le bulbe et la protubérance.
Contrôle des programmes primaires posturaux.**

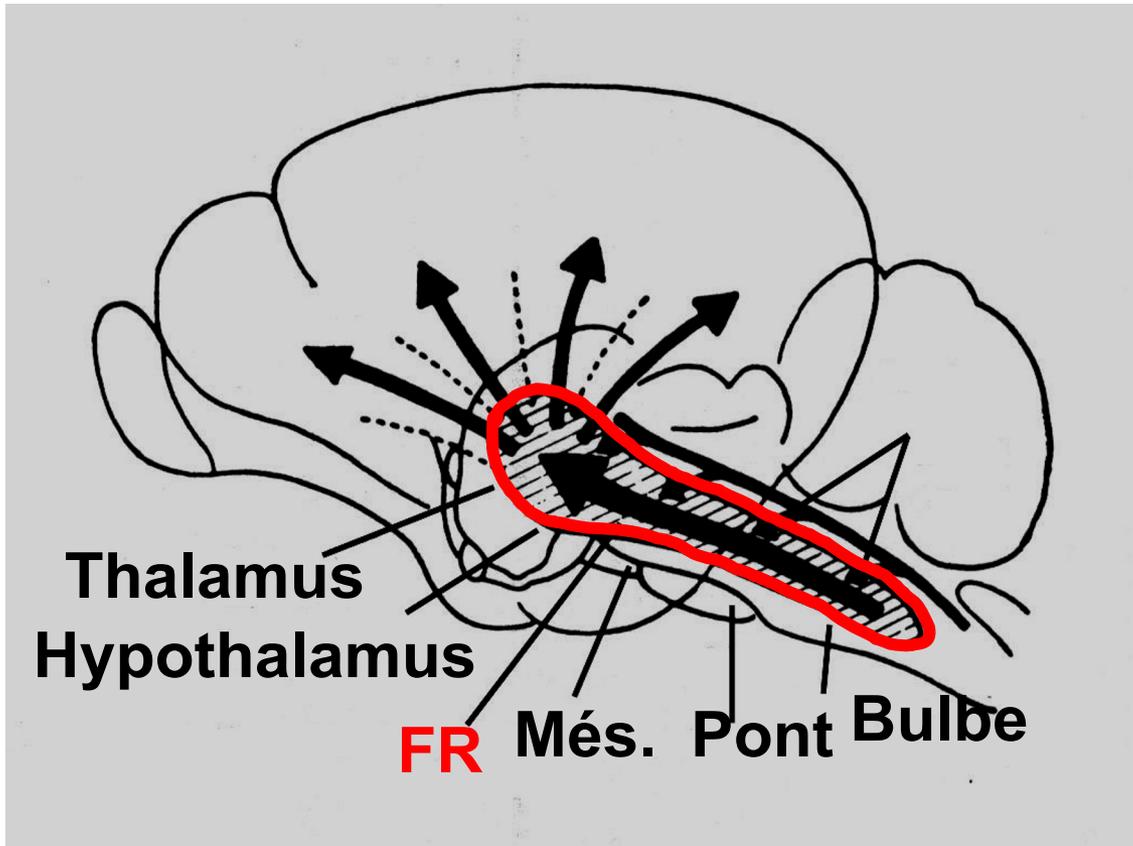
Noyaux du mésencéphale :

Contrôle des programmes primaires locomoteurs (substance noire par exemple).



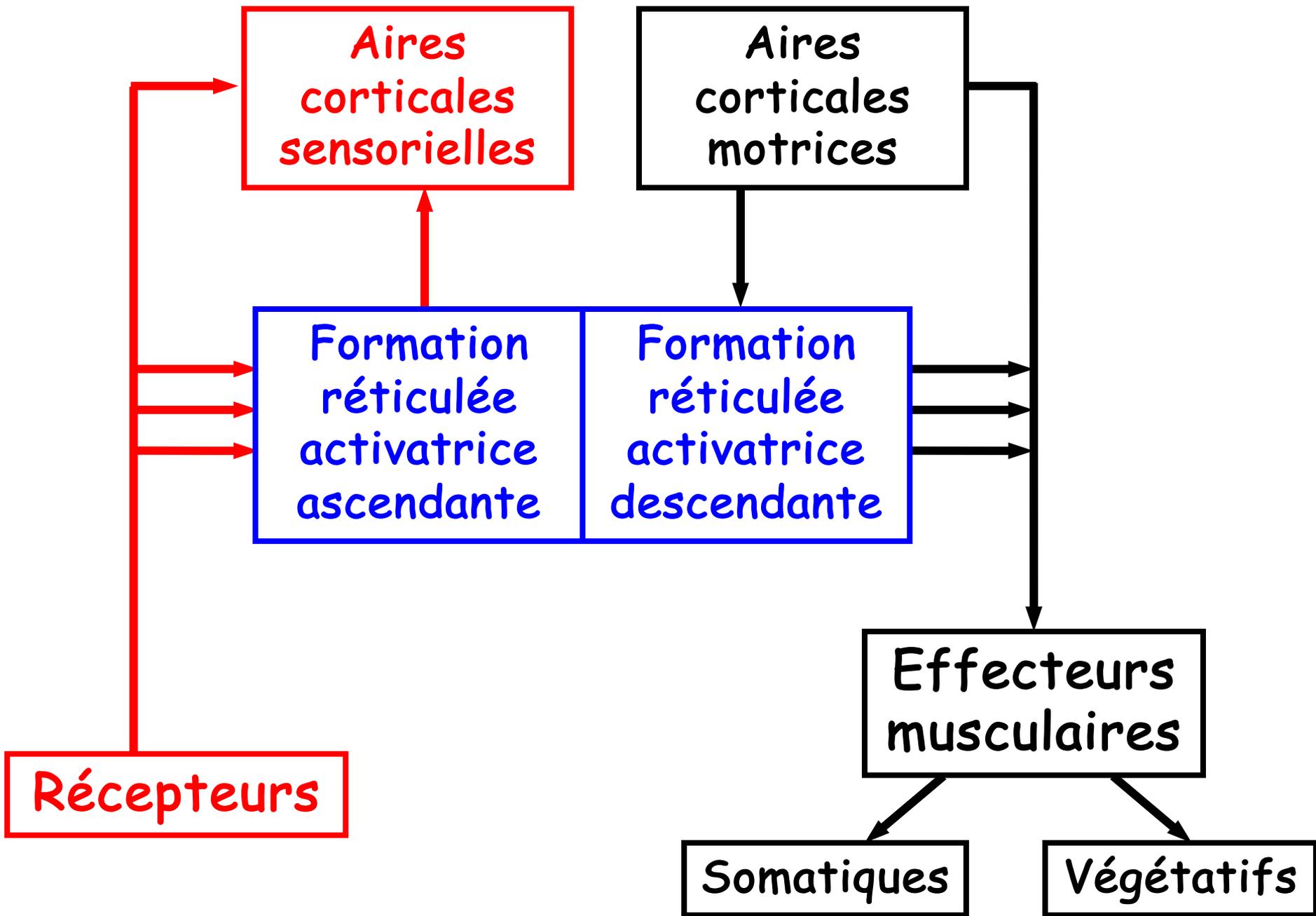
2.a.4. La formation réticulée (FR)

Structure diffuse qui s'étend sur toute la hauteur du tronc cérébral et même au-delà.



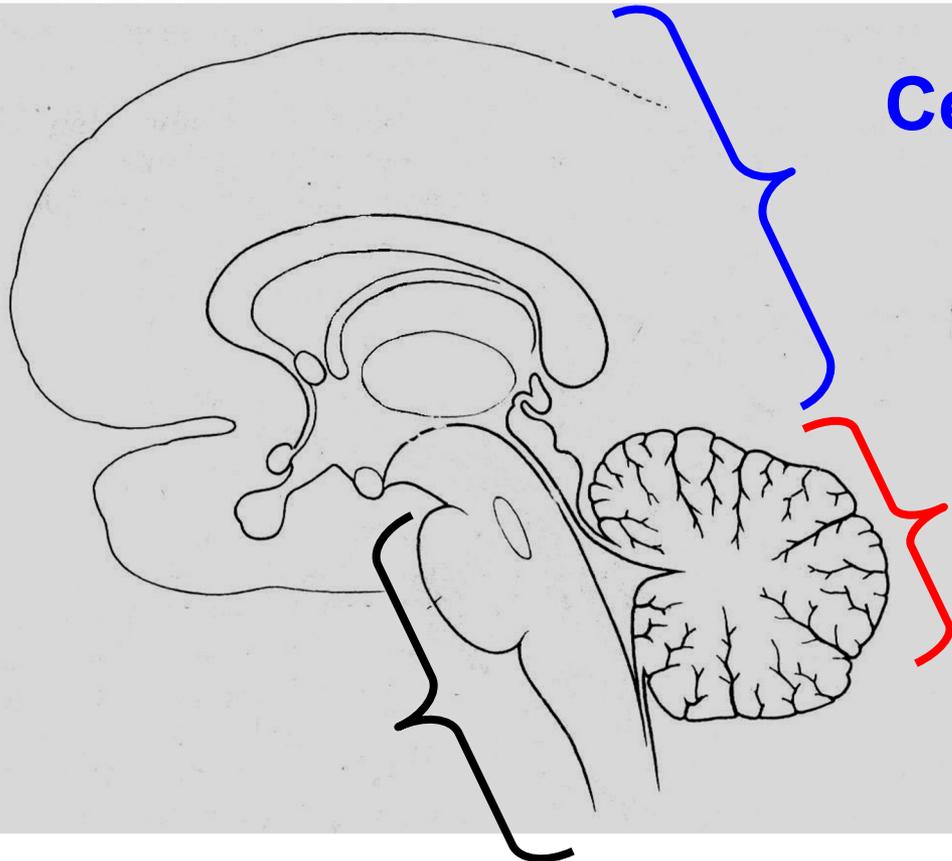
Elle a une fonction activatrice :

- * Des structures cérébrales**
- * Des effecteurs périphériques**

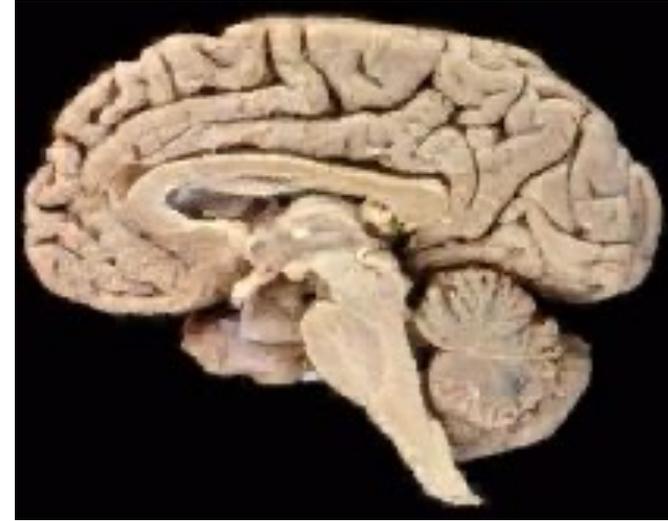


2. L'encéphale

2.b. Le cervelet



Cerveau



Cervelet

Tronc cérébral

Généralités

Second système nerveux placé en parallèle sur l'axe moelle épinière – cerveau.

Il s'y rattache :

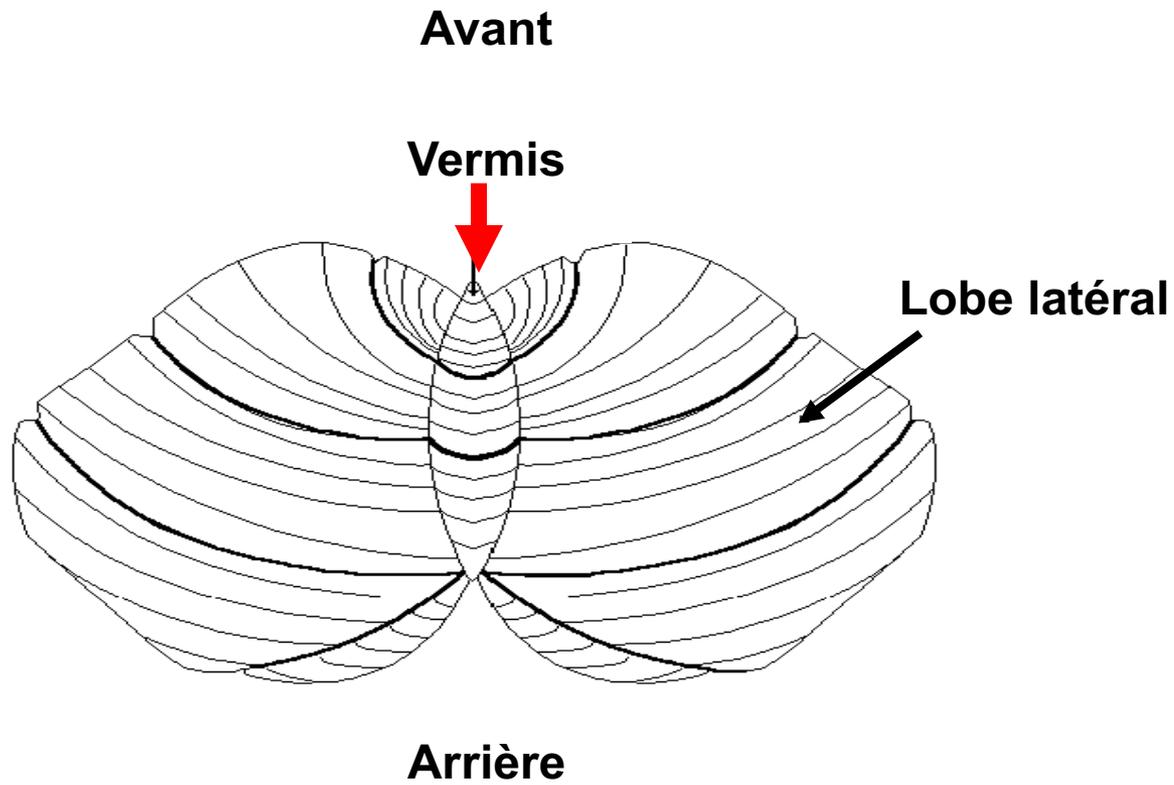
- **Au niveau du PONT (tronc cérébral)**
- **Par 6 points d'ancrage appelés pédoncules cérébelleux.**

Les échanges d'information :

CERVELET  **MOELLE EPINIERE**

CERVELET  **CERVEAU.**

Cervelet



Cervelet face supérieure

Les fonctions motrices du cervelet

VERMIS :

fonction posturale

CERVELET INTERMEDIAIRE :

Contrôle des mouvements en cours d'exécution

CERVELET LATERAL :

Réglage des paramètres de l'exécution (force, vitesse, amplitude).

Apprentissage d'un mouvement nouveau.

TONUS MUSCULAIRE

Moelle

Paléocervelet

MOTRICITE VOLONTAIRE

Cortex

Néocervelet

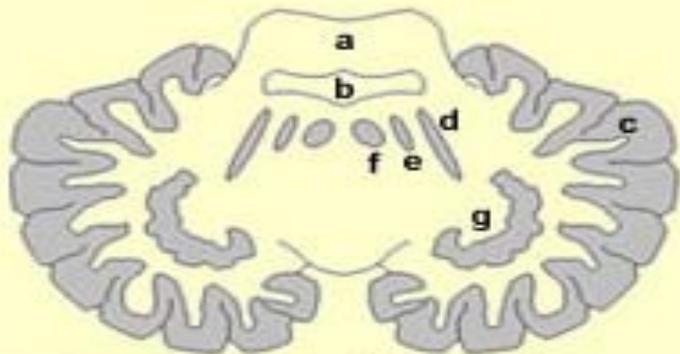
Protubérance

Vestibule

Archeocervelet

EQUILIBRE

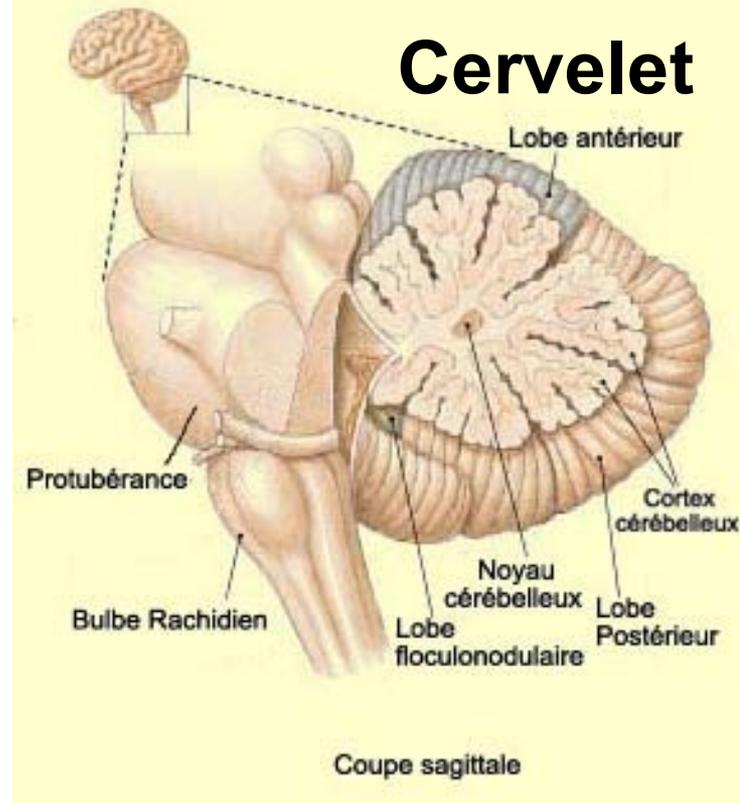
(lobe floculo-nodulaire)



Coupe horizontale du cervelet

- a : Protubérance
- b : Cavité du 4ème ventricule
- c : Cortex cérébelleux
- d : Embolus
- e : Globulus
- f : Noyau du toit (ou noyau du faîte)
- g : Noyau dentelé

Cervelet

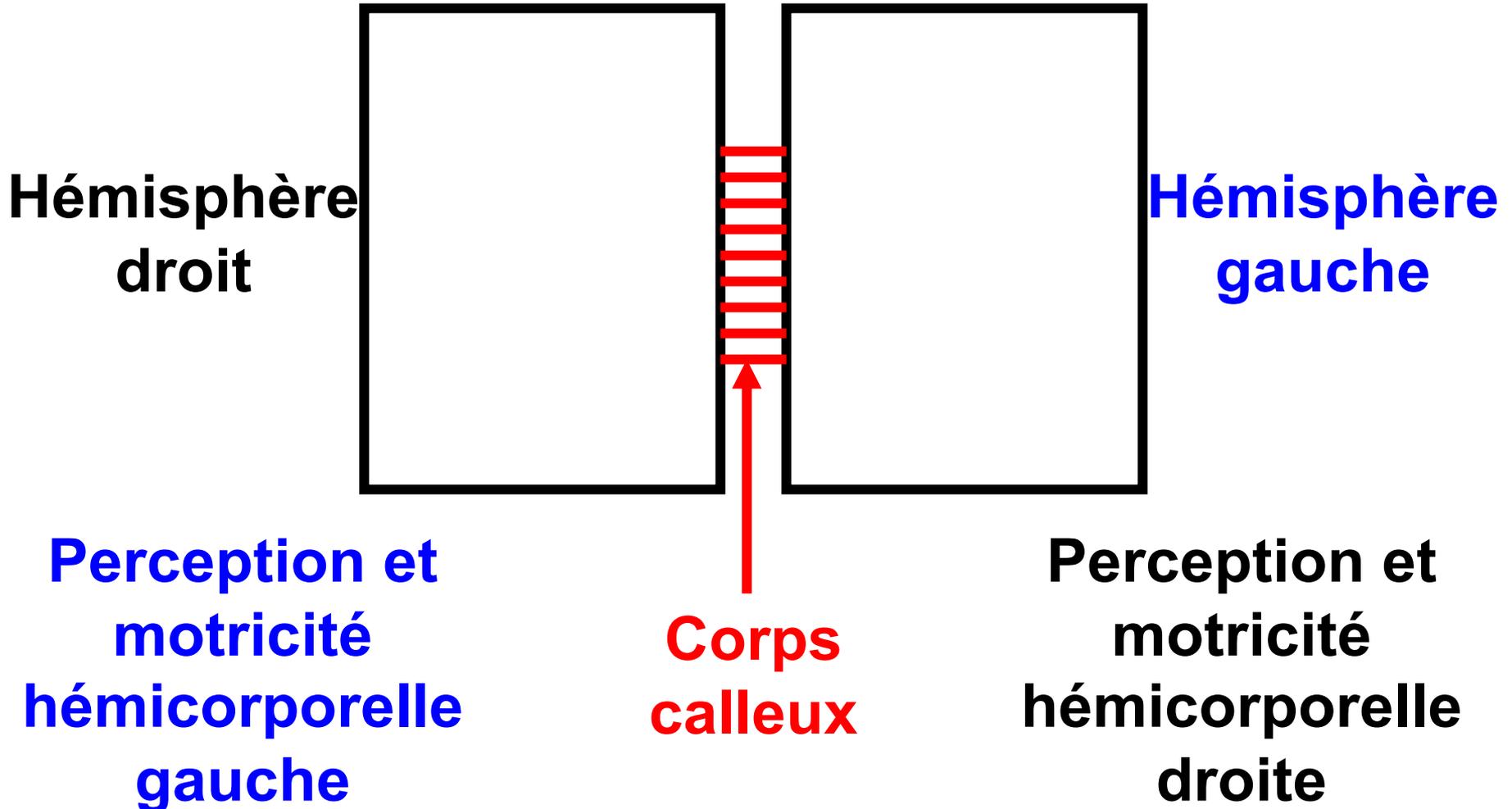


- Cortex cérébelleux : analyse et corrige les commandes motrices
- Noyau dentelé : reçoit les fibres efférentes des hémisphères cérébelleux
- Embolus, globulus, noyau du toit : reçoivent les fibres efférentes du vermis

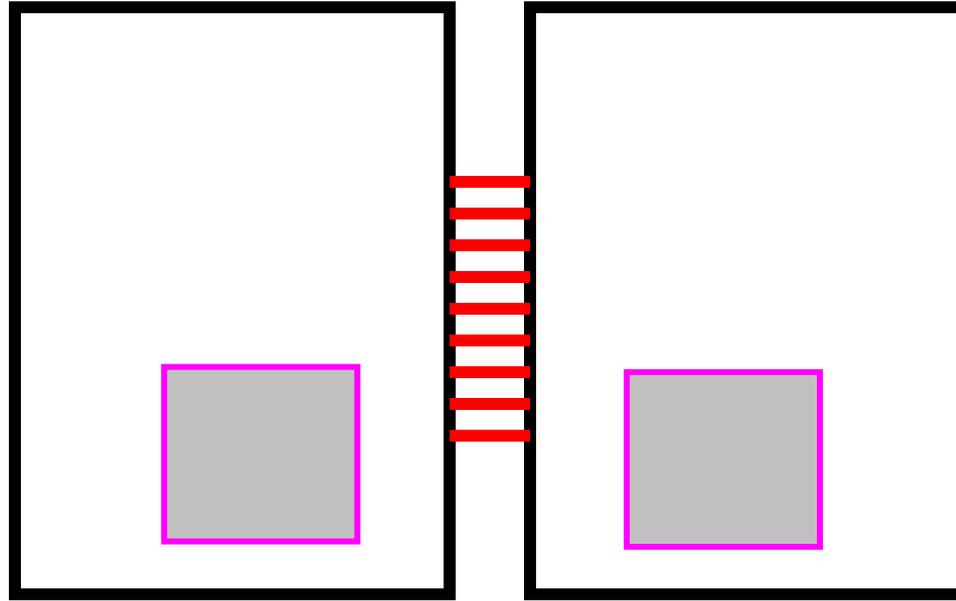
2. L'encéphale

2.c. Le cerveau

2.c.1. Les hémisphères cérébraux



Les hémisphères cérébraux

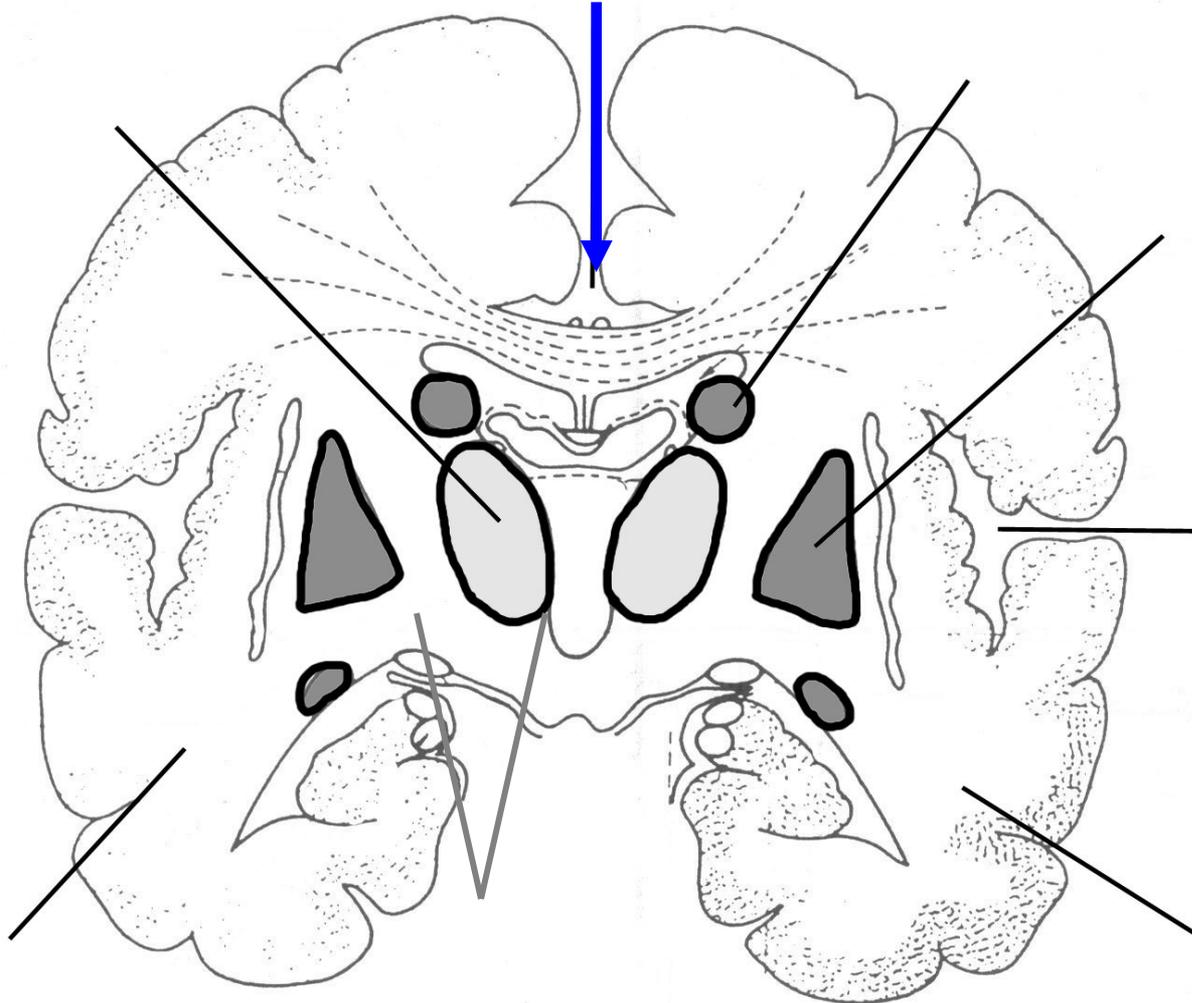


Chaque
structure
nerveuse
apparaît en
double

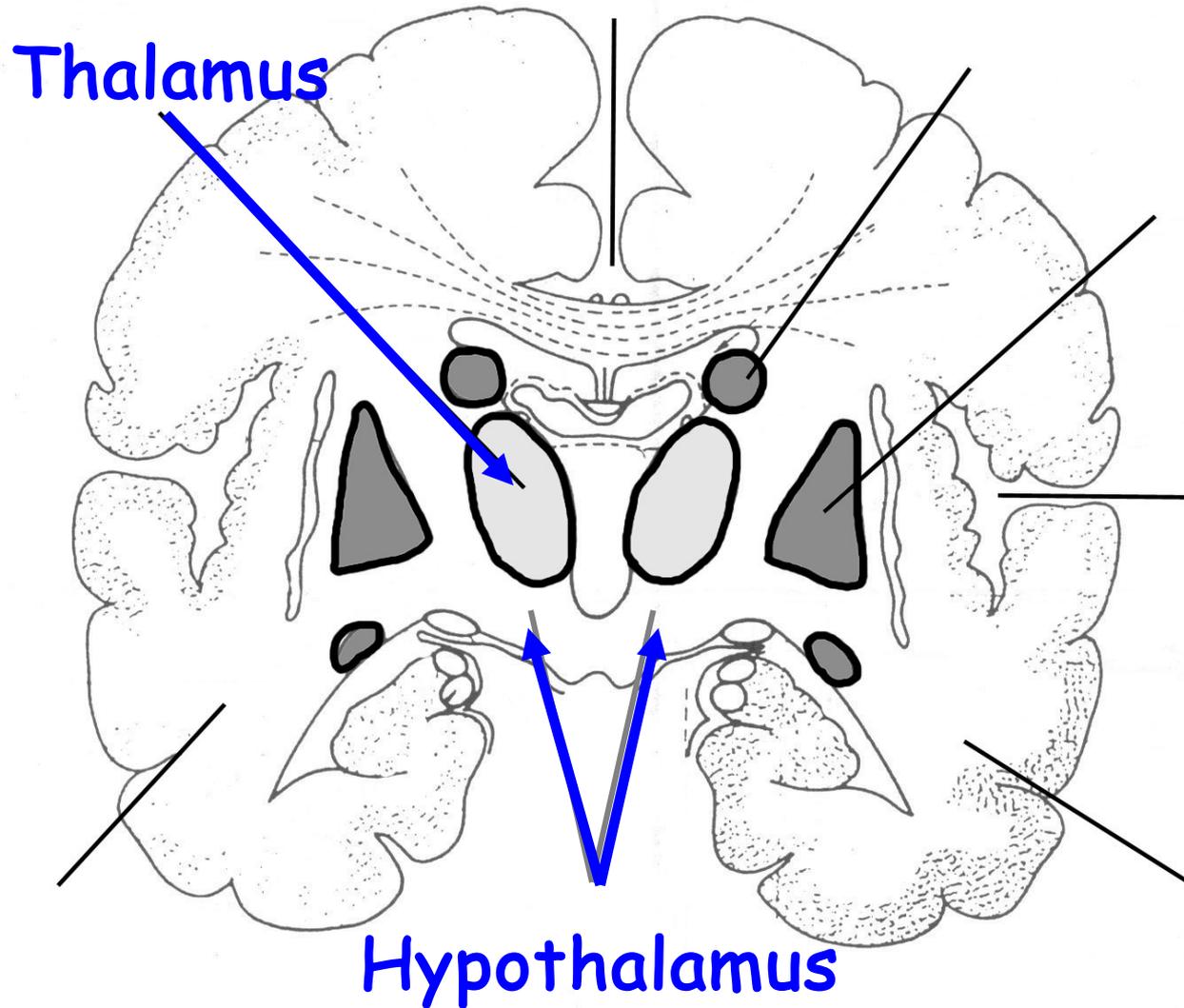
Chaque
structure
contrôle
l'hémicorps
controlatéral

Les hémisphères cérébraux

Scissure interhémisphérique



2.c.2. Le diencéphale (coupe frontale)



2.c.2. Le diencéphale

Thalamus :

- ensemble de noyaux accolés les uns aux autres.
 - **constituant des relais de la sensibilité et de la motricité.**
- **toutes les modalités sensorielles (sauf l'olfaction) ont un relais thalamique.**
- **c'est un centre d'intégration plurimodalitaire**

2.c.2. Le diencéphale

Hypothalamus :

- ensemble de noyaux accolés les uns aux autres.
- constituant le centre de contrôle du SNV (ou autonome).
- toutes les fonctions végétatives sont sous contrôle hypothalamique.
- il assure l'homéostasie végétative mais régule aussi les comportements de survie.

2.c.2. Le diencéphale

Hypothalamus et hypophyse :

- **à eux d'eux, ils forment le système responsable de la production et de la libération hormonale dans le sang.**
- **L'hypophyse reste sous contrôle hypothalamique.**
 - **Ce système contrôle toutes les autres glandes endocrines de l'organisme (surrénales, thyroïde et glandes sexuelles).**

2.c.3. Le télencéphale

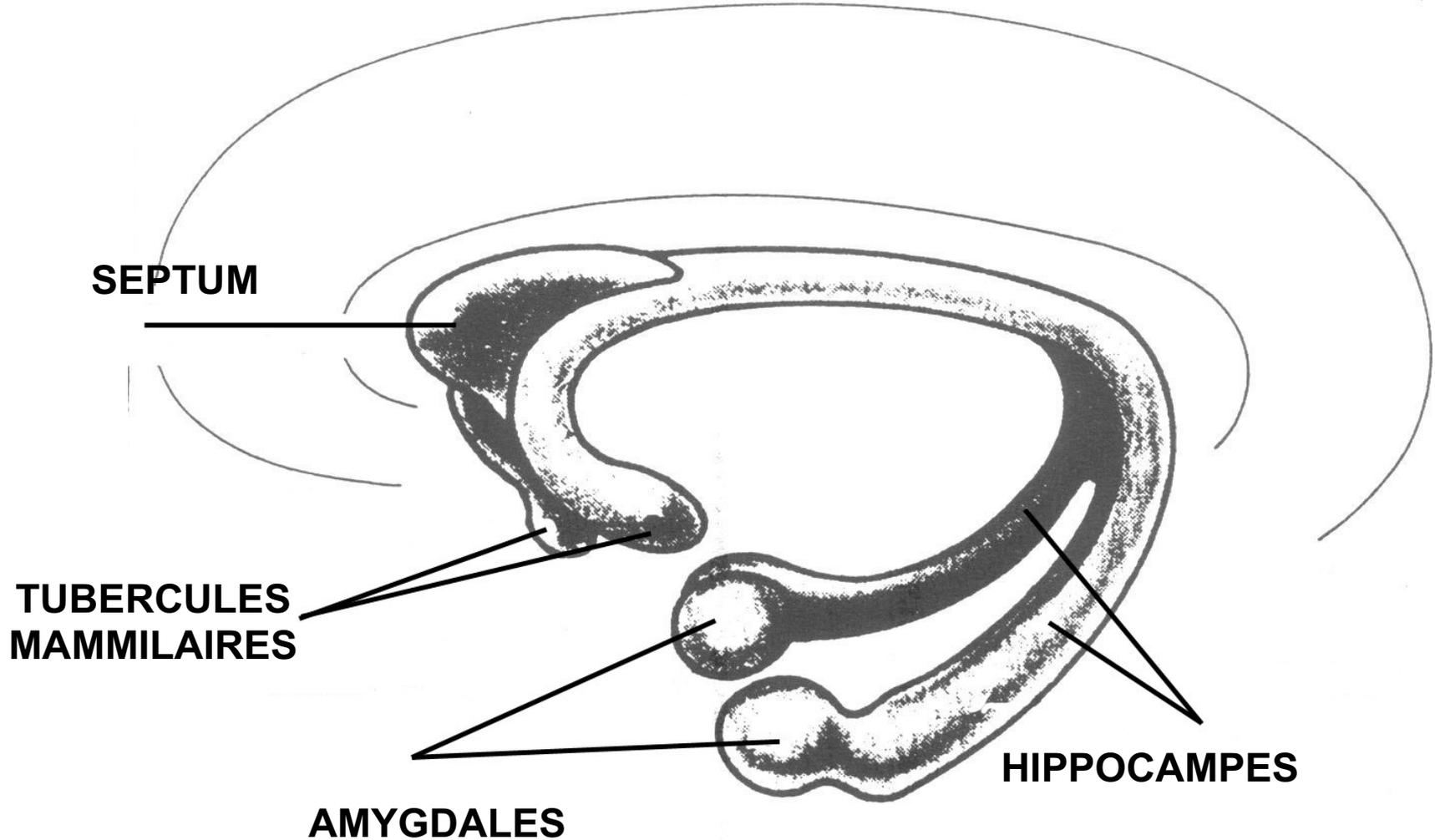
C'est le cerveau des comportements complexes, orientés vers un but précis.

Il est composé :

- du système limbique**
- des noyaux gris centraux**
- des aires corticales.**

Le système limbique :

Ensemble de structures sous-corticales



SYSTEME LIMBIQUE : CERVEAU DES EMOTIONS

Toute information prend une connotation affective.

Plus particulièrement :

SEPTUM :
agressivité

AMYGDALE :
peur

**TUBERCULES
MAMMILAIRES et
HIPPOCAMPE :**
mise en mémoire

Le système limbique :

Relations entre mémoire et affectivité

Seules les informations à forte charge émotionnelle restent en mémoire.

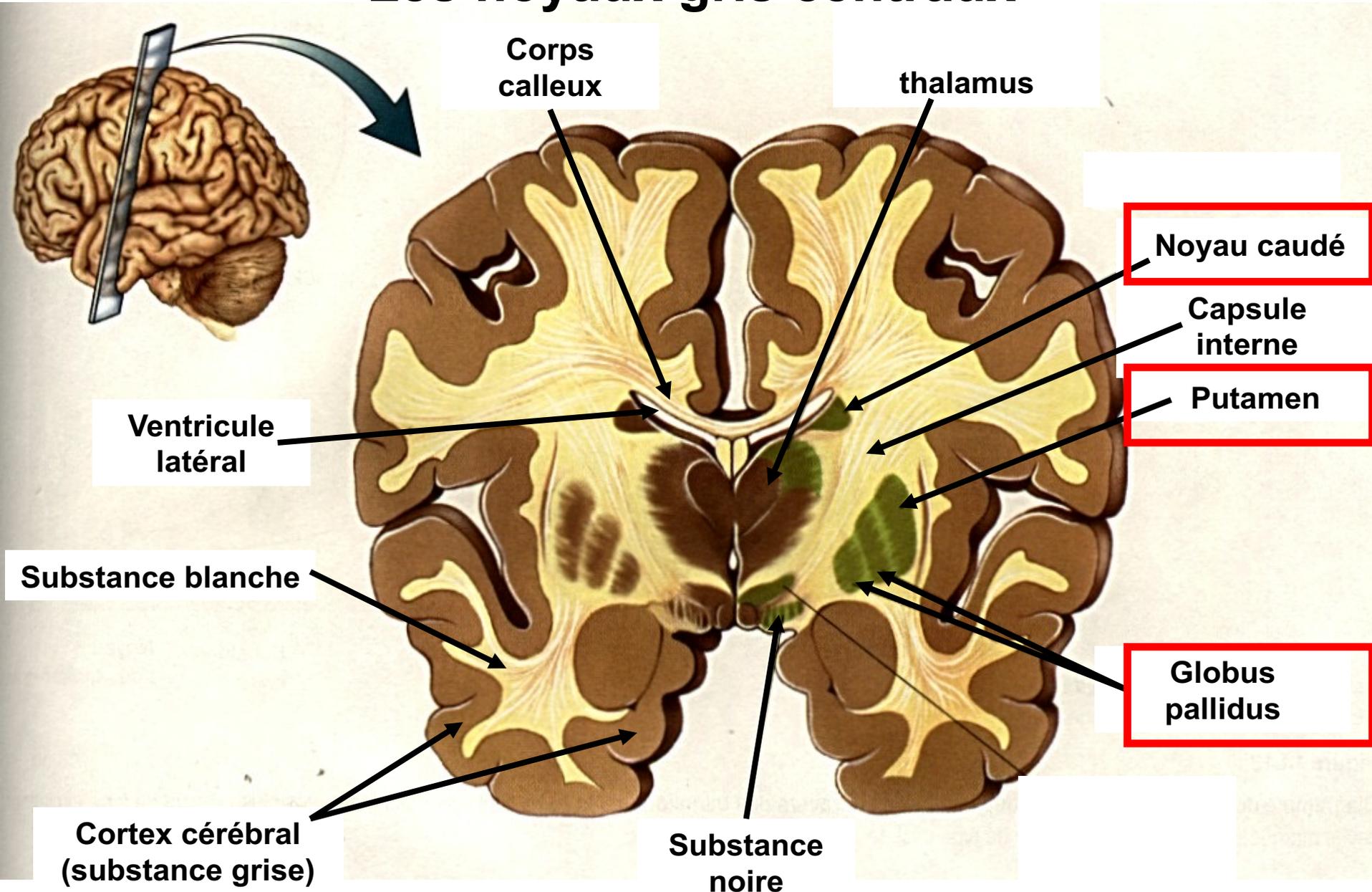
Les autres ne sont

- **Pas mémorisées**

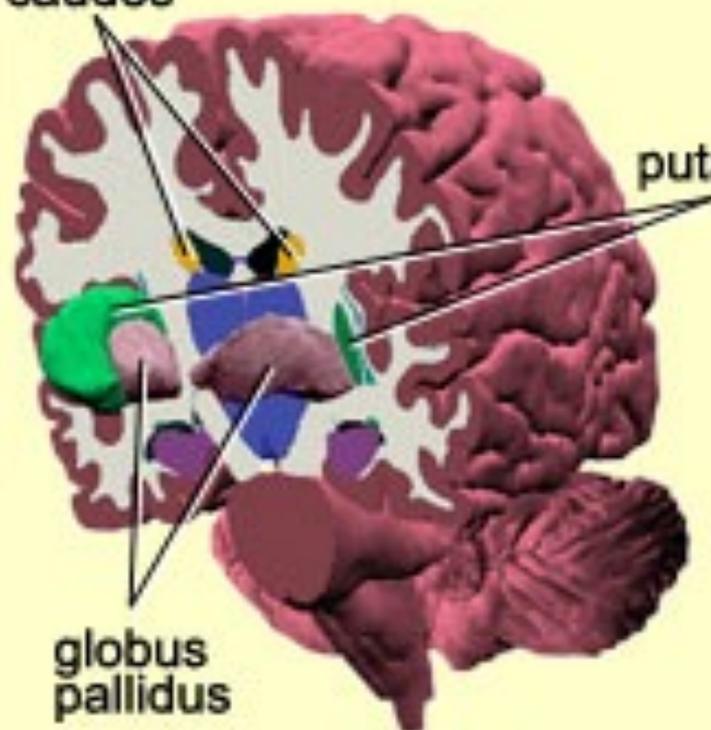
ou

- **Oubliées rapidement**

Les noyaux gris centraux



noyaux
caudés

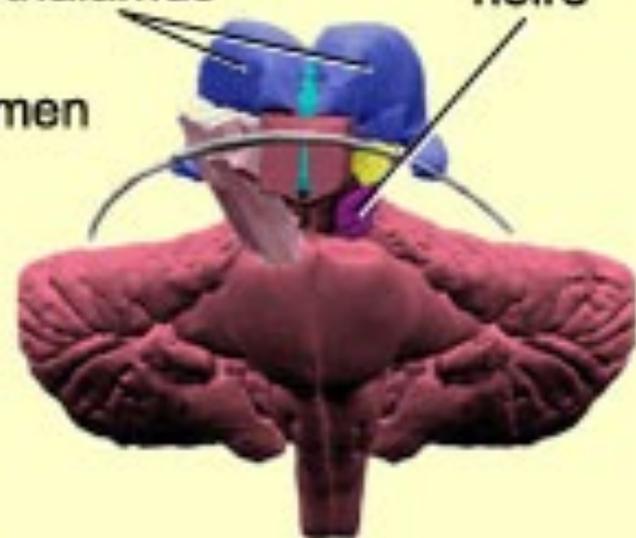


globus
pallidus

thalamus

substance
noire

putamen



Les noyaux gris centraux

Ensemble de noyaux sous-corticaux impliqués dans la motricité.

Ils assurent la construction du plan d'action :

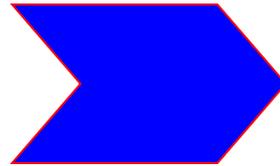
Configuration de l'action projetée.

Ils assurent également leur mémorisation :

Mémoire des savoir-faire

Retour sur les mémoires

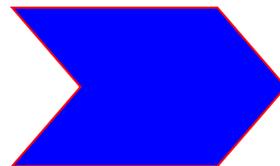
**MÉMOIRE DES
ÉVÉNEMENTS
MÉMOIRE DES
CONNAISSANCES**



SYSTEME

LIMBIQUE

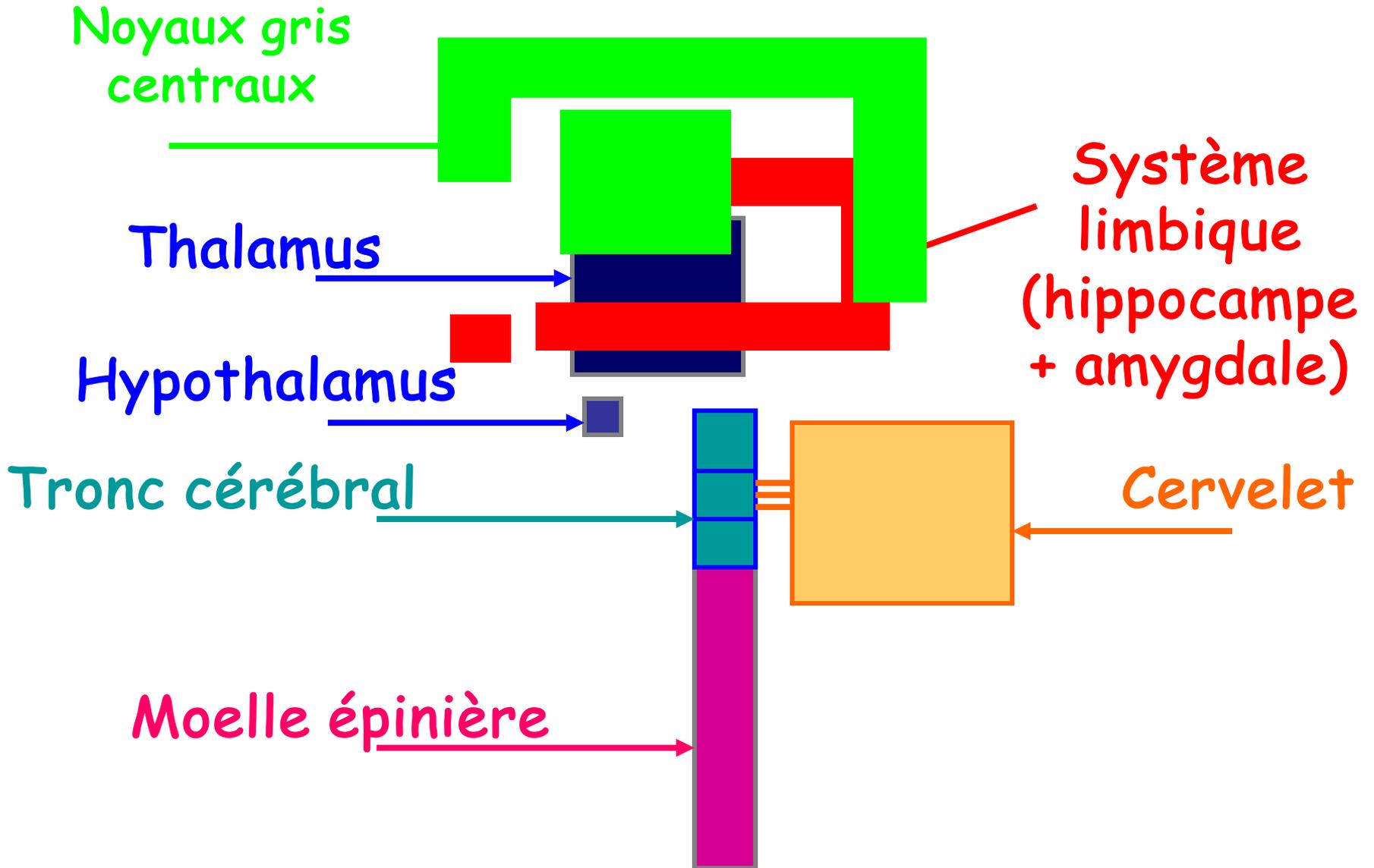
**MÉMOIRE DES
SAVOIR-FAIRE
(techniques sportives)**



NOYAUX GRIS

CENTRAUX

ORGANISATION SIMPLIFIÉE DU SNC



Les aires corticales

Reliefs délimitées par des dépressions.

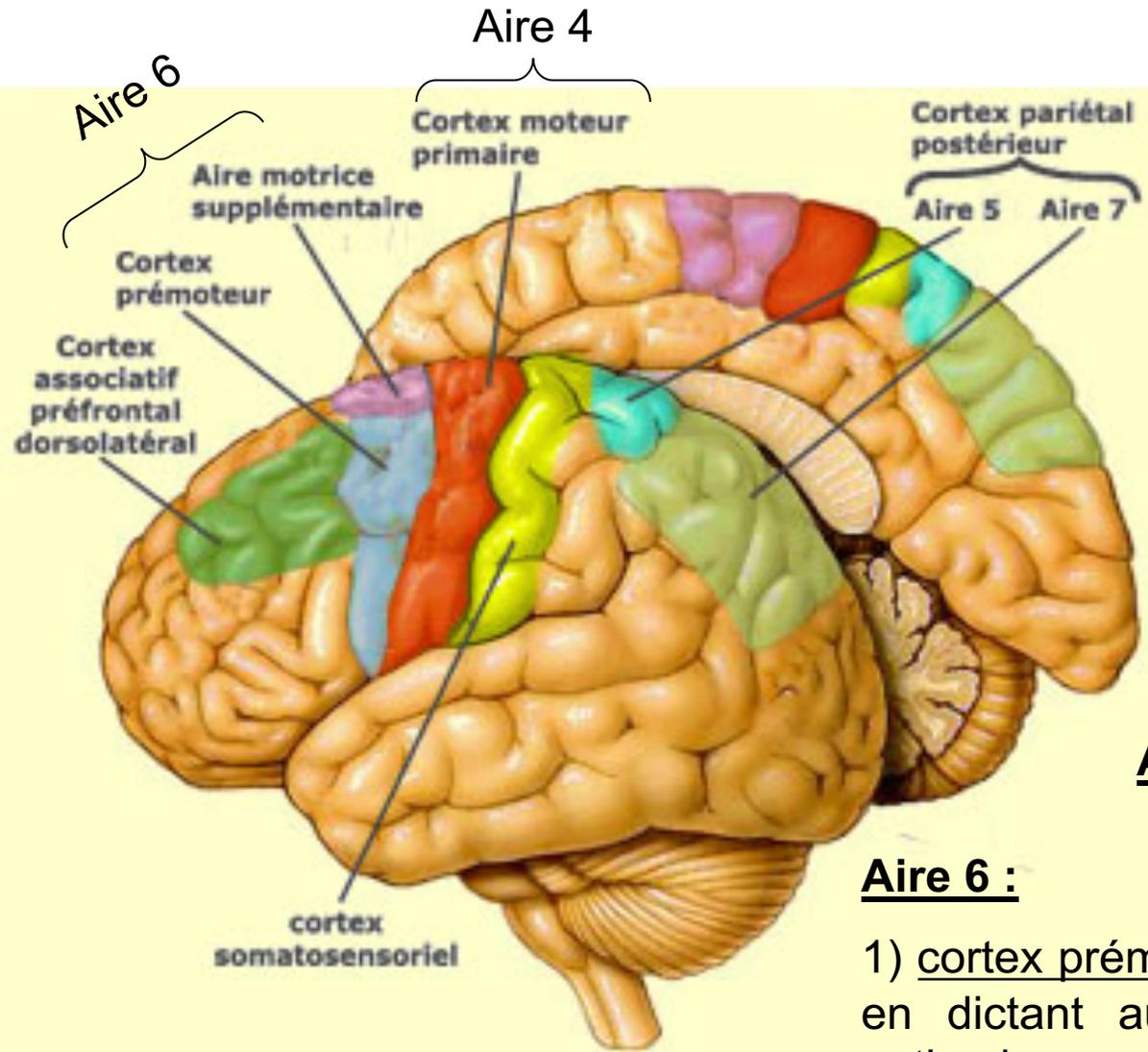
**Ils assurent la construction du plan
d'action :**

Configuration de l'action projetée.

Ils assurent également leur mémorisation :

Mémoire des savoir-faire

- Aires fonctionnelles du cortex cérébral : rôle dans le mouvement (1)



Aire 4 : Cortex moteur primaire

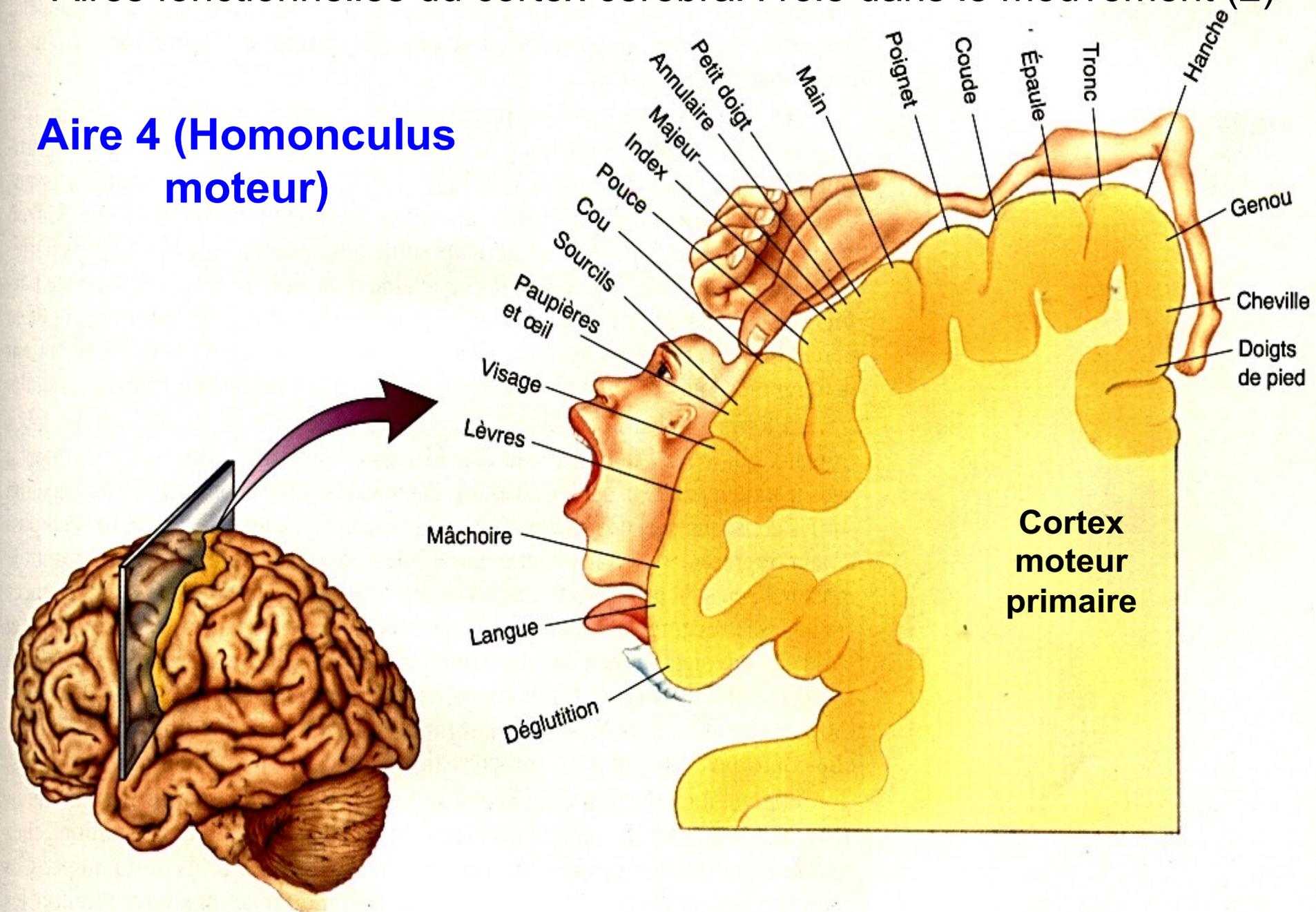
Aire 6 :

1) cortex prémoteur = régulation de la posture en dictant au cortex moteur une position optimale pour un mouvement donné

2) aire motrice supplémentaire = influence la planification et l'initiation des mouvements

• Aires fonctionnelles du cortex cérébral : rôle dans le mouvement (2)

Aire 4 (Homunculus moteur)



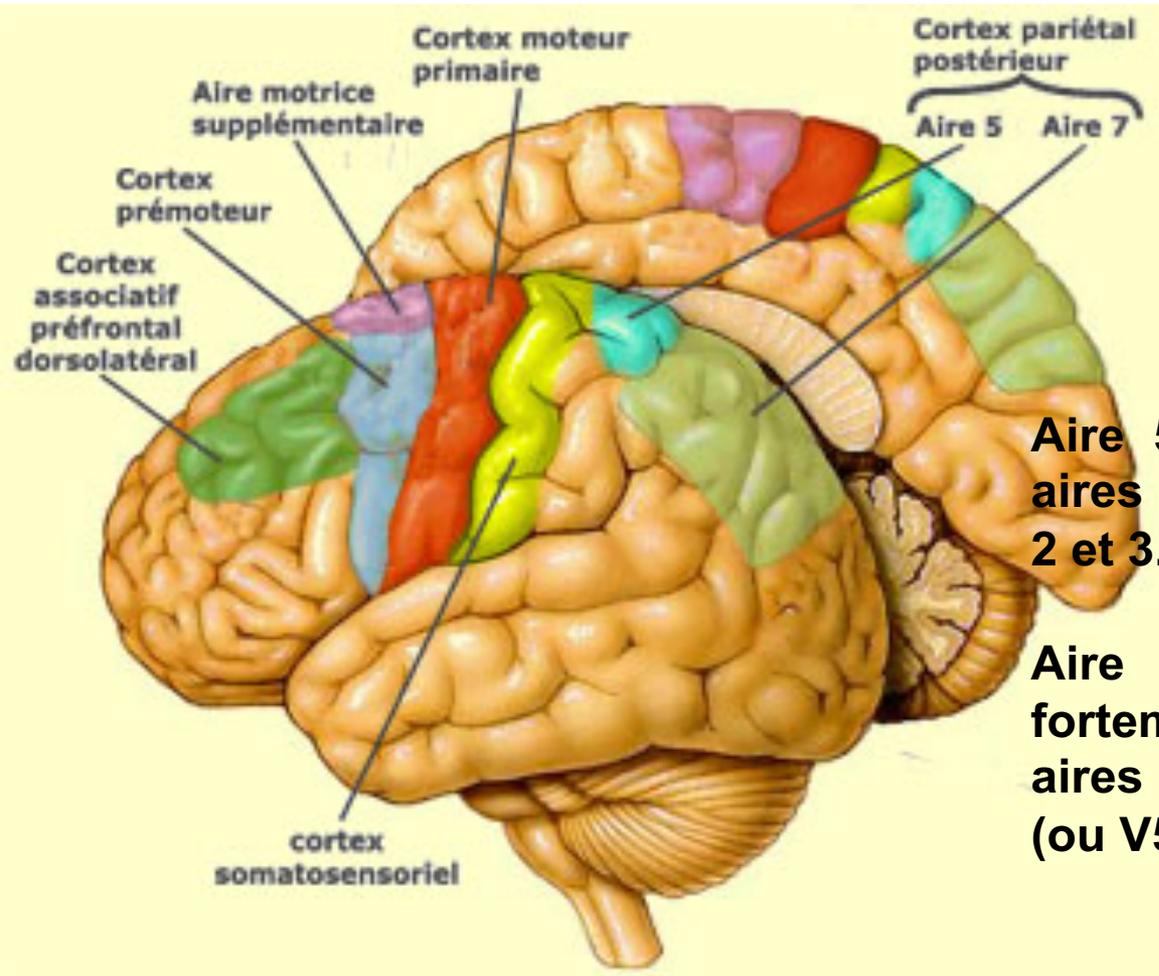
- Aires fonctionnelles du cortex cérébral : rôle dans le mouvement (3)

Le cortex moteur primaire (tout comme le secondaire) a une organisation somatotropique

Stimulation de certaines zones induisent un mouvement ou un acte spécifique

Les zones du corps qui ont les **habiletés motrices les plus fines** (doigts, lèvres, langues) ont une **représentation disproportionnée** / zones du corps qui ont des habiletés motrices moins fines (tronc)

- Aires fonctionnelles du cortex cérébral : rôle dans le mouvement (4)

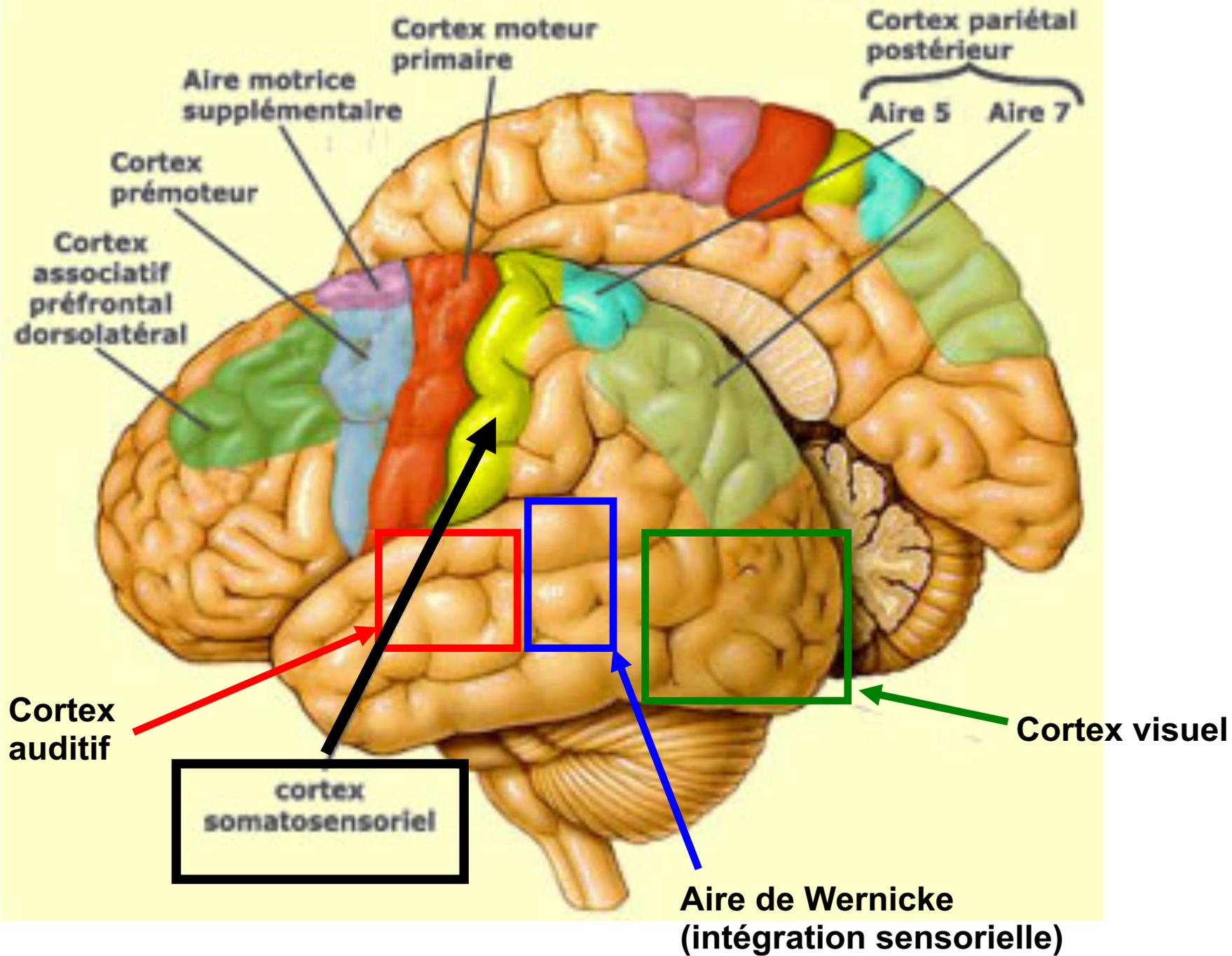


Aire 5 : reçoit les informations des aires corticales somatosensorielles 1, 2 et 3.

Aire 7: intègre des signaux déjà fortement intégrés en provenance des aires visuelles communes comme MT (ou V5)

Implication du cortex pariétal postérieur (en plus du frontal) dans le mouvement volontaire = évaluation du contexte dans lequel s'effectue le mouvement (informations somatosensorielles, proprioceptives et visuelles).

Il produit des modèles internes du mouvement à effectuer, en amont des cortex prémoteur et moteur.

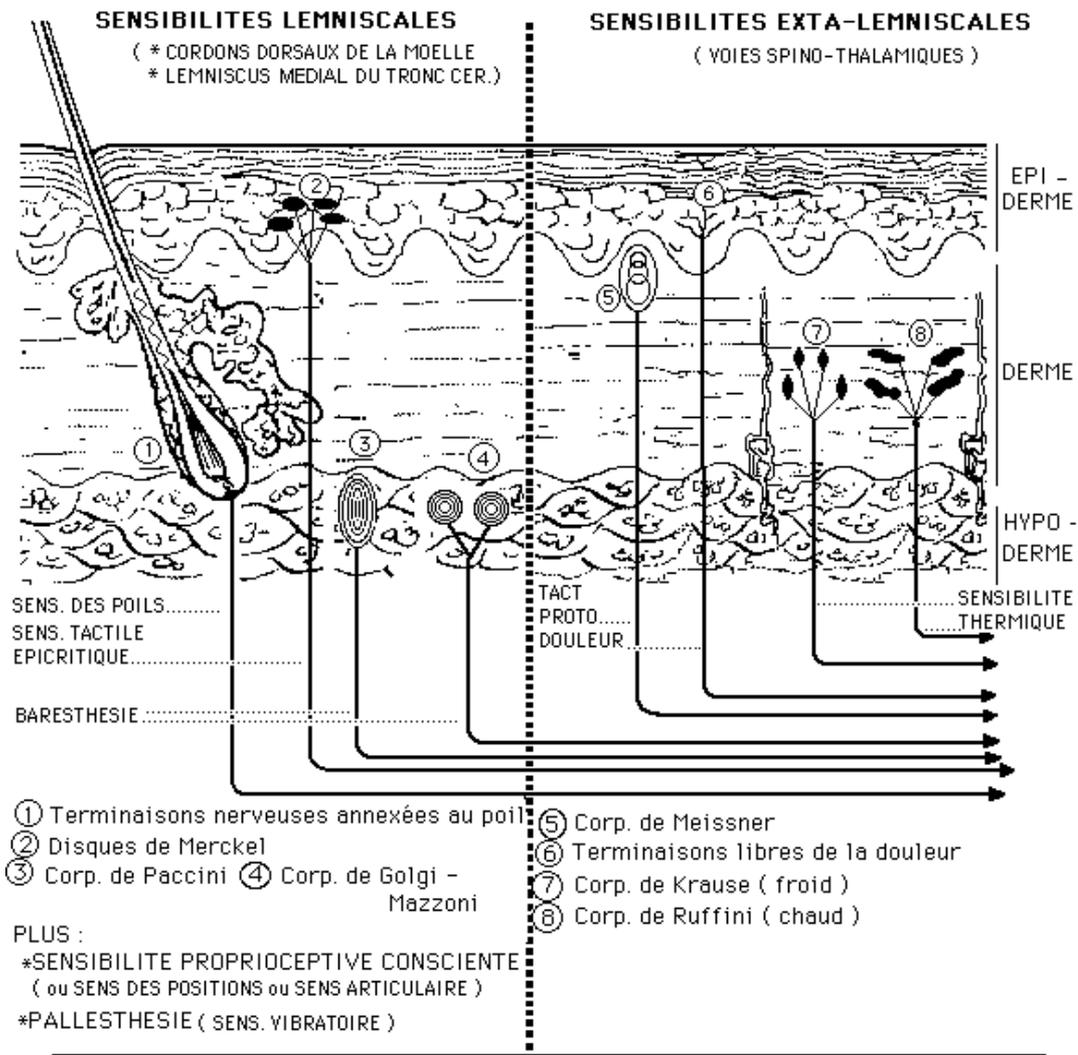


4. Les voies sensibles et motrices

La substance blanche est formée par les longs faisceaux verticaux, groupés autour de la substance grise dans les cordons médullaires, ventraux (antérieurs), latéraux et dorsaux (postérieurs).

1) Les voies ascendantes (sensitives)

Elles commencent au niveau de corpuscules sensitifs spécifiques situés dans la peau (sensibilité superficielle) ou situés dans les capsules articulaires (sensibilité profonde).



SENSIBILITES SPINO-CEREBELLEUSES : Sensibilité proprioceptive inconsciente

- Faisceau Spino-cérébelleux direct (F. de Fleischsig)
- Faisceau Spino-cérébelleux croisé (F. de Gowers)

5.4.2.1.1. - COUPE DE PEAU

Structure et organisation des corpuscules sensitifs

- Voies sensibles : voies ascendantes

➤ Structure et organisation des corpuscules sensitifs : (le classement se fait en fonction de leur trajet dans le névraxe)

1) **Voie lemniscale** : les sensibilités montent dans les cordons dorsaux de la ME, atteignent le tronc cérébral et se groupent pour former un tractus sensitif « LEMNISCUS ou ruban de REIL »

Concerne les sensibilités tactiles, proprioceptives....

2) **Voie extra-lemniscale** : les sensibilités montent dans le cordon latéral de la ME. Dans le tronc cérébral, elles sont situées en dehors du LEMNISCUS

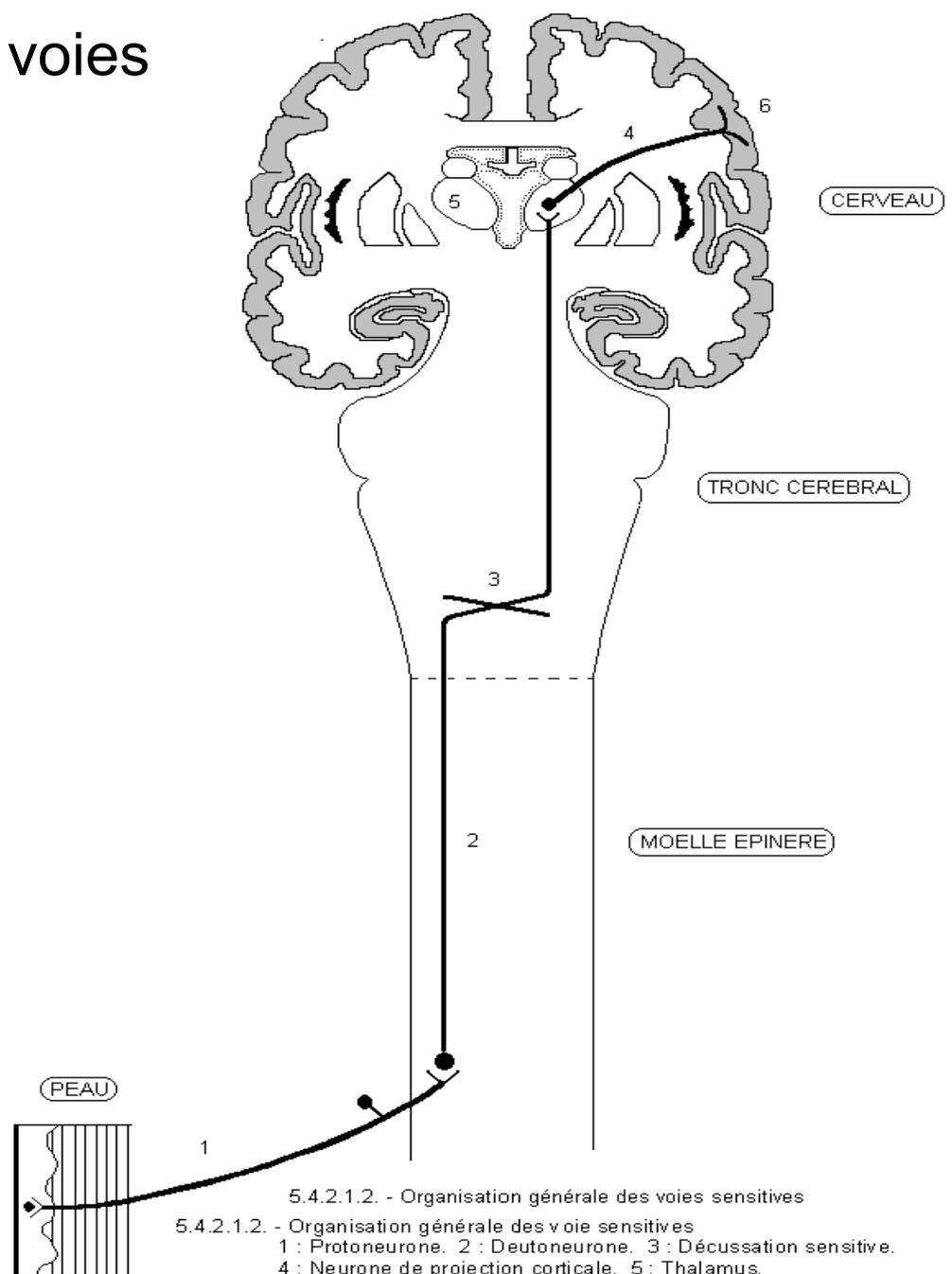
Concerne les sensibilités thermiques, analgésiques....

3) **Voie spino-cérébelleuse** : les sensibilités montent de la ME au cervelet.

Concerne les sensibilités proprioceptives.....

• Voies sensibles : voies ascendantes

➤ Organisation générale



5.4.2.1.2. - Organisation générale des voies sensibles

5.4.2.1.2. - Organisation générale des voie sensibles

- 1 : Protoneurone. 2 : Deutoneurone. 3 : Décussation sensitive.
- 4 : Neurone de projection corticale. 5 : Thalamus.
- 6 : Aires corticales de la Somesthésie.

- Voies sensibles : voies ascendantes

- Organisation générale

1) Protoneurone :

Fait suite au corpuscule sensitif. Il se situe dans les troncs nerveux périphériques, puis dans la racine dorsale du nerf spinal. Le corps cellulaire = dans ganglion spinal de la racine dorsale. Axone dans la ME qui s'articule avec le deutoneurone

2) Deutoneurone :

Situé dans le névraxe. Il constitue les faisceaux sensitifs qui montent la ME. Certains montent vers le cervelet (voies spino-cérébelleuses) et les autres vers les noyaux gris centraux du cerveau (voies lemniscales et extra-lemniscales) dont le thalamus.

3) Troisième neurone ou neurone terminal :

S'articule avec le précédent et se termine dans l'écorce du cerveau. C'est le neurone de projection corticale.

2) Les voies descendantes (motrices)

Il en existe deux catégories

A) La voie pyramidale (le faisceau pyramidal)

- **Voie directe et monosynaptique** = voie cortico-spinale.
Responsable de la motricité volontaire.

- Chaîne de 2 neurones :

- Neurone 1 = neurone central dont le trajet est cortico-spinal.

Si lésion (quel que soit le niveau : cervau, tronc cérébal, ME) :
paralysie central, spaticité

Neurone 2 = motoneurone de la corne ventrale (motoneurone périphérique).

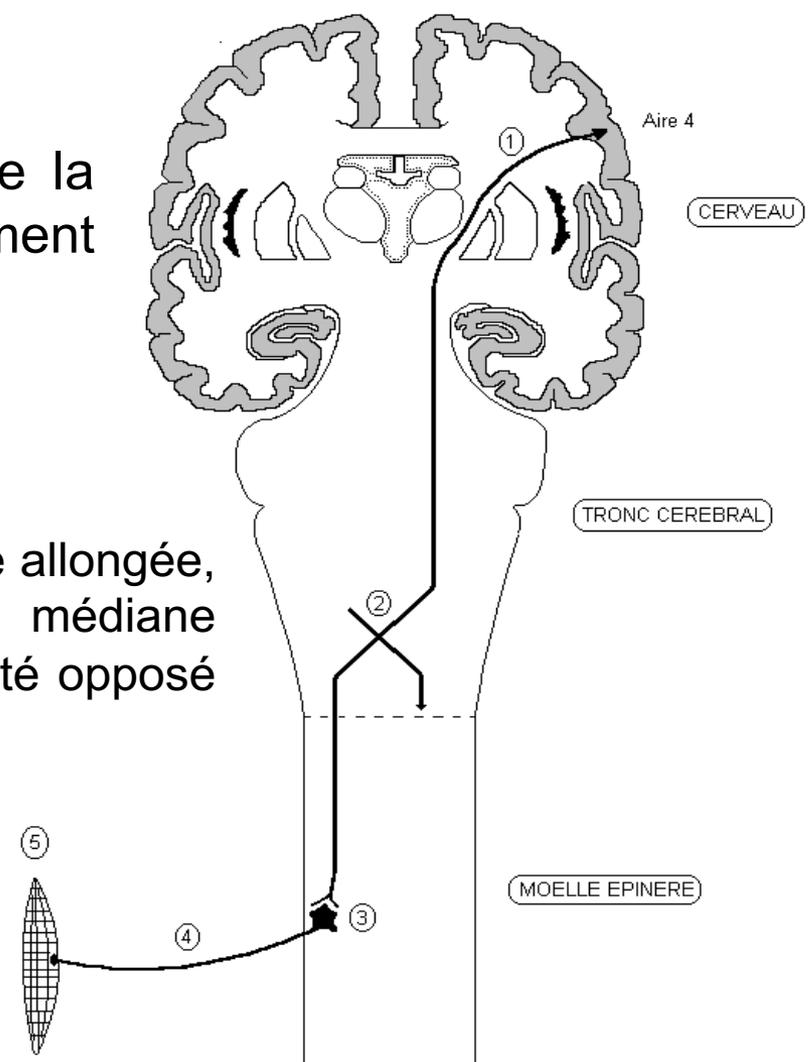
Si lésion : paralysie périphérique, flasque.

A) La voie pyramidale (le faisceau pyramidal)

La voie motrice principale issue du cortex et descendant dans la moelle est responsable du mouvement volontaire précis et sélectif. La voie pyramidale est encore appelée voie idio-cynétique (= voie motrice particulière).

FP descend du cortex cérébral, traverse la capsule interne et se dirige verticalement vers le tronc cérébral et la ME

Dans le tronc cérébral, au niveau de la moelle allongée, FP croise (en grande partie) la ligne médiane (décussation pyramidale) et descend du côté opposé de l'hémisphère cérébral d'origine.



5.4.2.2.1. - Organisation générale de la Voie pyramidale

5.4.2.2.1. - Organisation générale de la Voie Pyramidale

1 : Neurone central. 2 : Décussation motrice.

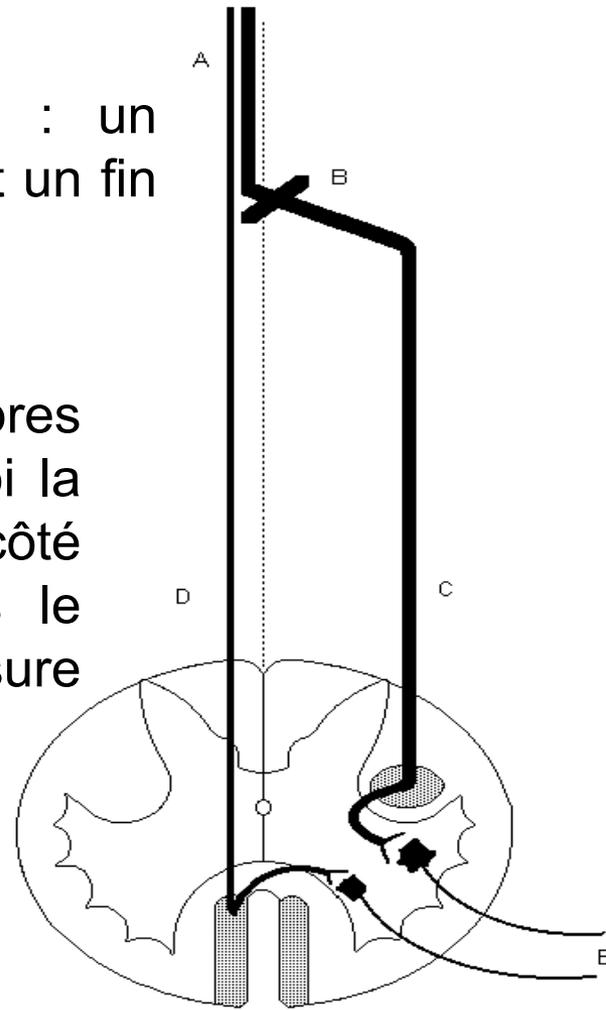
3 : Synapse dans la corne ventrale.

4 : Motoneurone périphérique. 5 : fibre musculaire striée.

A) La voie pyramidale (le faisceau pyramidal FP)

FP se divise donc en 2 faisceaux : un volumineux faisceau pyramidal croisé et un fin faisceau pyramidal direct.

Ce dernier = faible contingent de fibres motrices pyramidales qui n'ont pas subi la décussation. Il descend donc du même côté que celui d'origine et se place dans le cordon ventral de la ME (près de la fissure médiane).



5.4.2.2.1. La voie motrice pyramidale dans la moelle épinière

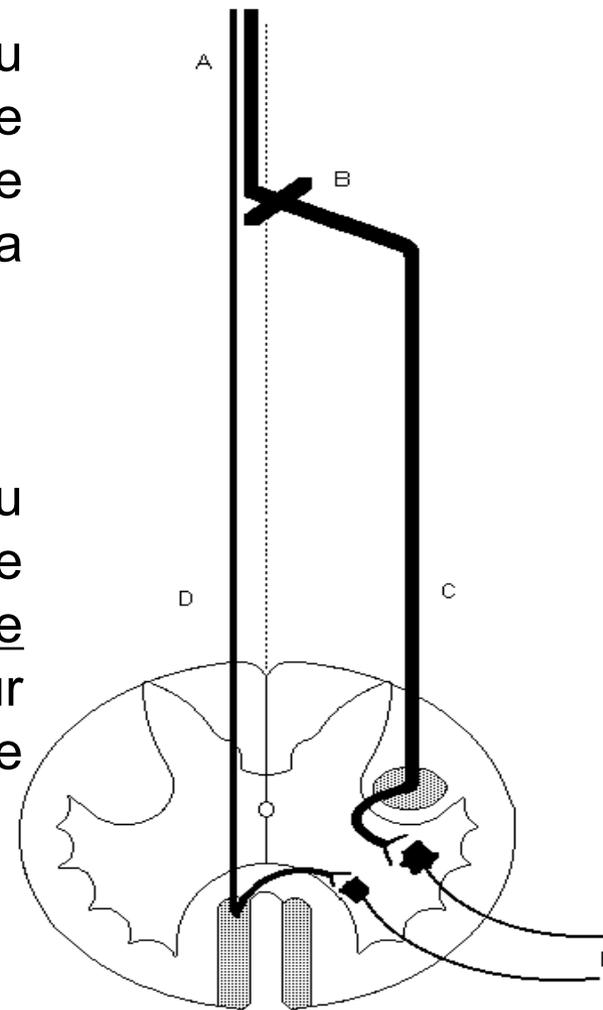
5.4.2.2.1. - La voie motrice pyramidale dans la moelle épinière

A : Faisceau pyramidal. B : Décussation motrice. C : Faisceau pyramidal croisé
D : Faisceau pyramidal direct. E : Motoneurones périphériques.

A) La voie pyramidale (le faisceau pyramidal FP)

Les neurones contenus dans le faisceau pyramidal croisé se terminent du même côté en s'articulant dans la corne ventrale avec les motoneurones alpha au niveau de chaque neuromère.

Les neurones contenus dans le faisceau pyramidal direct croisent la ligne médiane au niveau de chaque neuromère et s'articulent à leur tour avec les motoneurones de la corne ventrale du côté opposé.

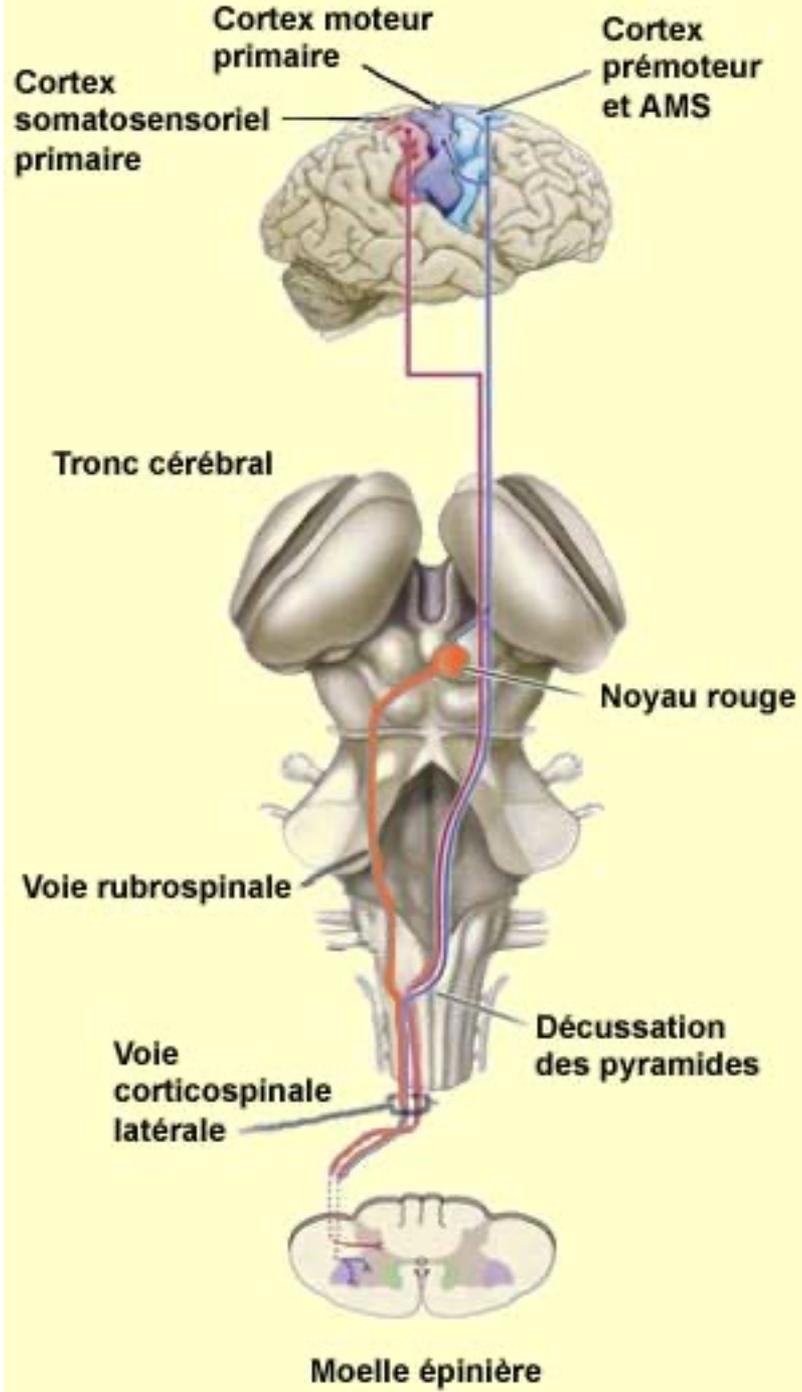


5.4.2.2.1. La voie motrice pyramidale dans la moelle épinière

5.4.2.2.1. - La voie motrice pyramidale dans la moelle épinière

A : Faisceau pyramidal. B : Décussation motrice. C : Faisceau pyramidal croisé
D : Faisceau pyramidal direct. E : Motoneurones périphériques.

En définitive, la voie pyramidale est totalement croisée



B) Les faisceaux extra-pyramidaux

- Voies neurologiques motrices indirectes et polysynaptiques
- Si lésion : troubles moteurs centraux avec rigidité de type plastique

Responsables de l'activité motrice globale consciente ou non qui se manifeste dans le cadre du mouvement.

Elles mettent en oeuvre des groupes musculaires entiers d'où leur appellation voie motrices holocinétiques (= voies motrices globales).

B) Les voies ou faisceaux extra-pyramidaux (FEP)

Elles proviennent des différents centres moteurs du cerveau et du tronc cérébral et parcourent verticalement les cordons de substance blanche de la moelle.

**Il est commode de les classer en 3 catégories :
voies archéo-motrices, paléo-motrices et néo-motrices.**

B.1. Les voies extra-pyramidales archéo-motrices

- **Le faisceau vestibulo-spinal :**

En rapport avec le maintien de l'équilibre.

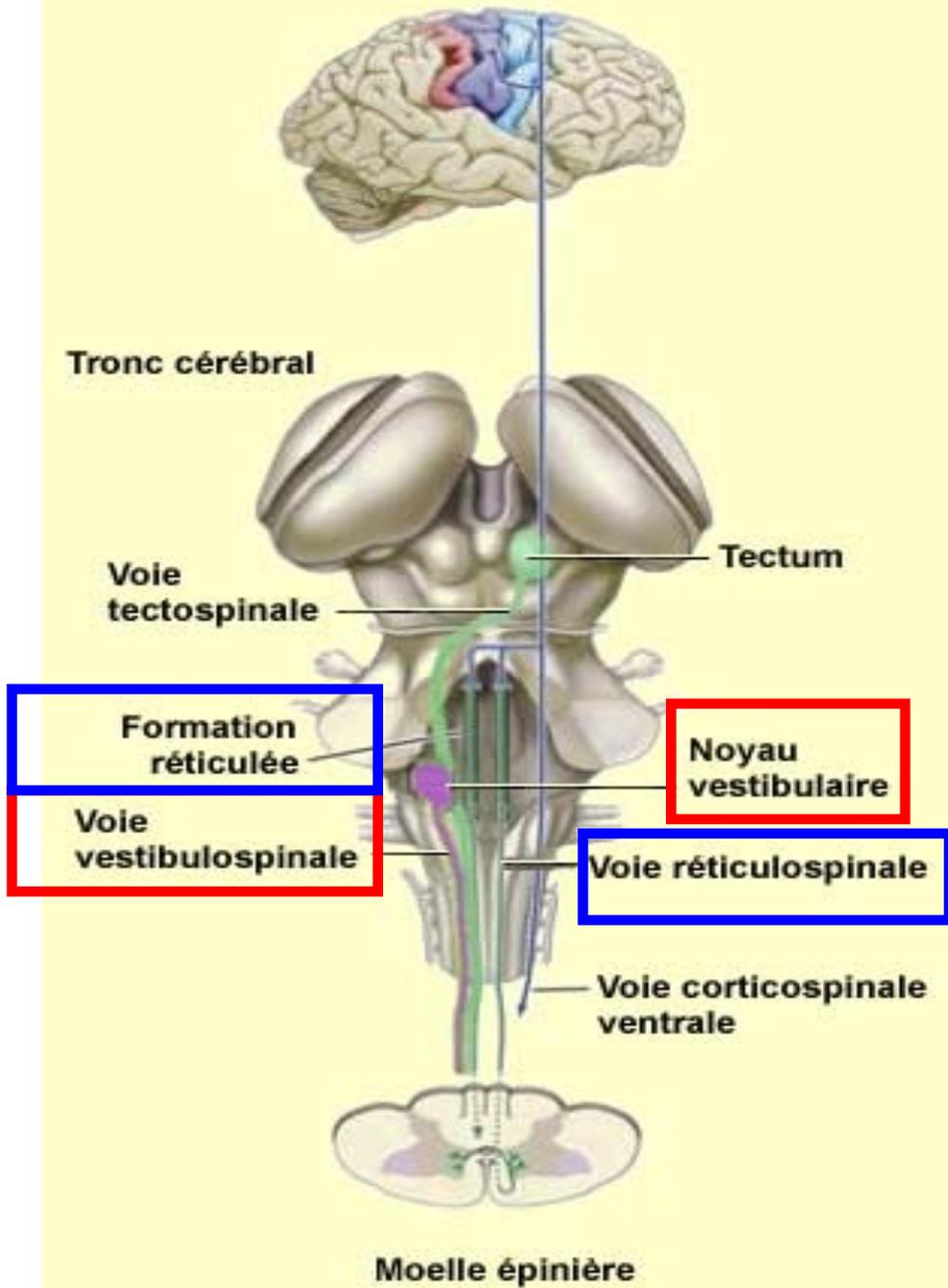
Descend des noyaux vestibulaires de la moelle allongée et se divise en faisceau vestibulo-spinal direct et faisceau vestibulo-spinal croisé. Il est placé dans le cordon ventral de ME.

- **Le faisceau réticulo-spinal :**

Issu de la substance réticulée du tronc cérébral, il comprend deux parties :

- 1) le faisceau réticulo-spinal médian à fonction facilitante. Il se place dans le cordon ventral de ME.

- 2) le faisceau réticulo-spinal latéral à fonction inhibitrice. Il se place dans le cordon latéral de ME.



B.2. Les voies extra-pyramidales paléo-motrices

Elles sont en rapport avec les mouvements globaux automatiques et inconscients.

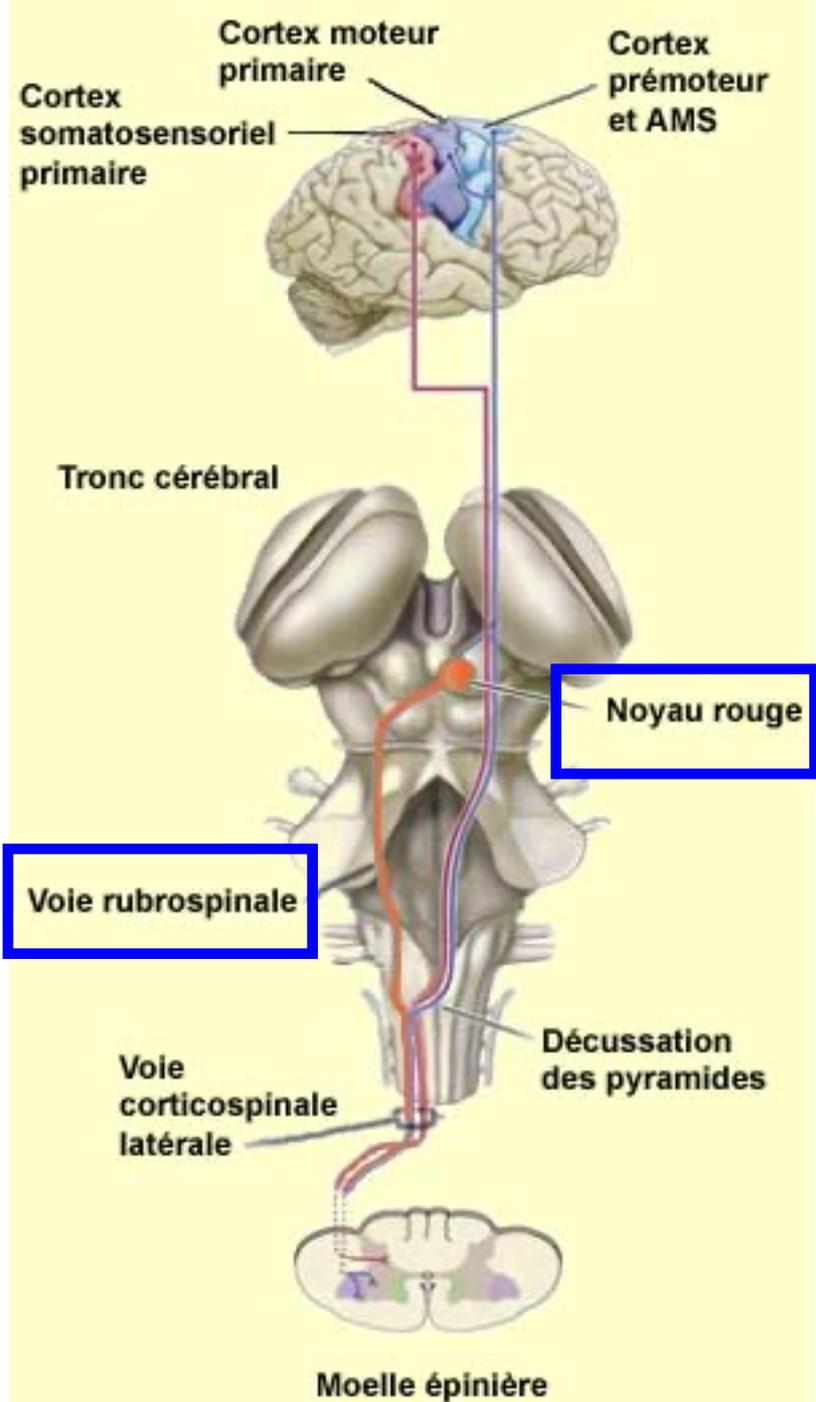
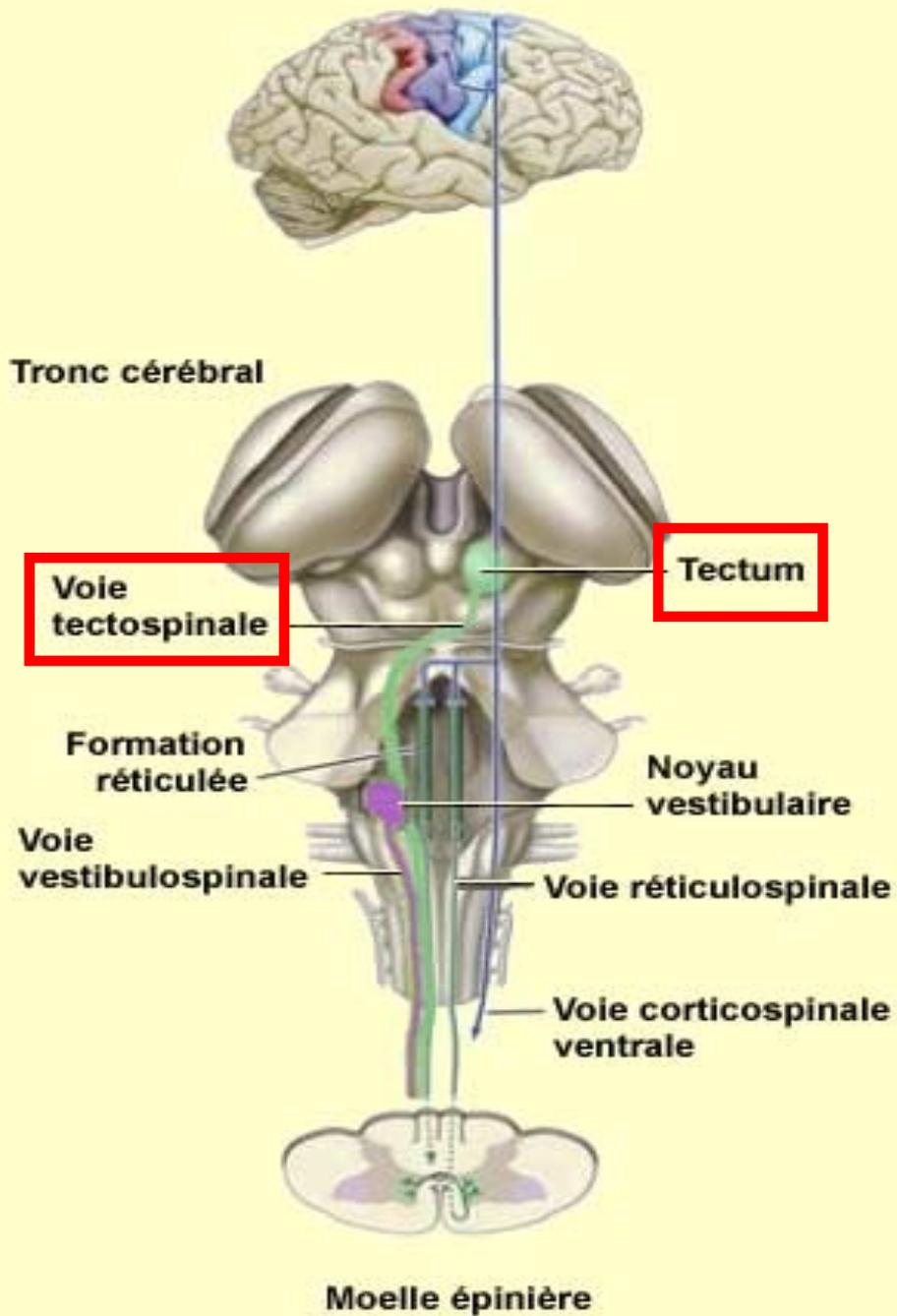
- **Le faisceau rubro-spinal :**

Descend du noyau rouge du tronc cérébral. Il se place dans le cordon latéral d ME.

- **Le faisceau tecto-spinal :**

Descend des tubercules quadrijumeaux (tectum) du tronc cérébral. Il se place dans le cordon ventral de ME.

Il concerne les mouvements de la tête en rapport avec les sensations visuelles et auditives.



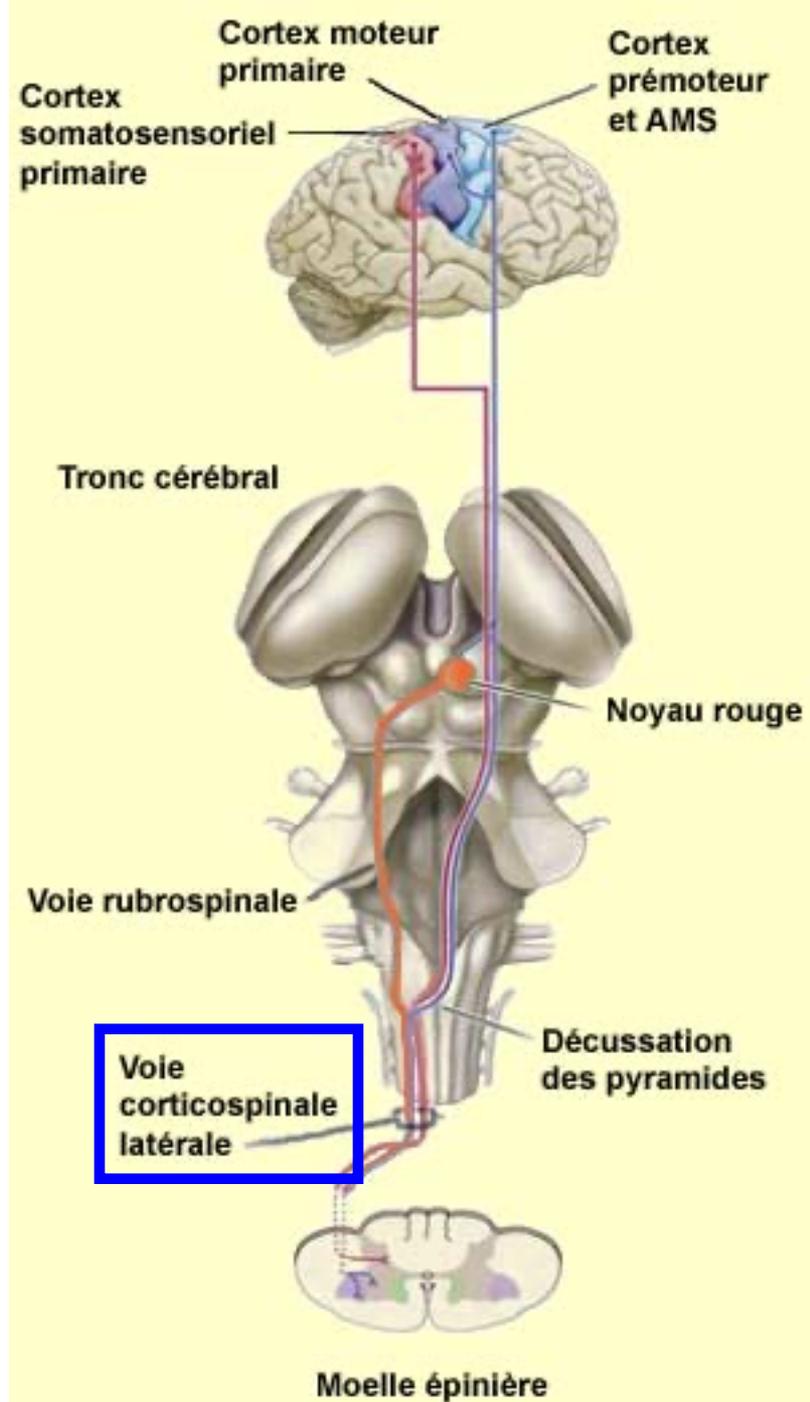
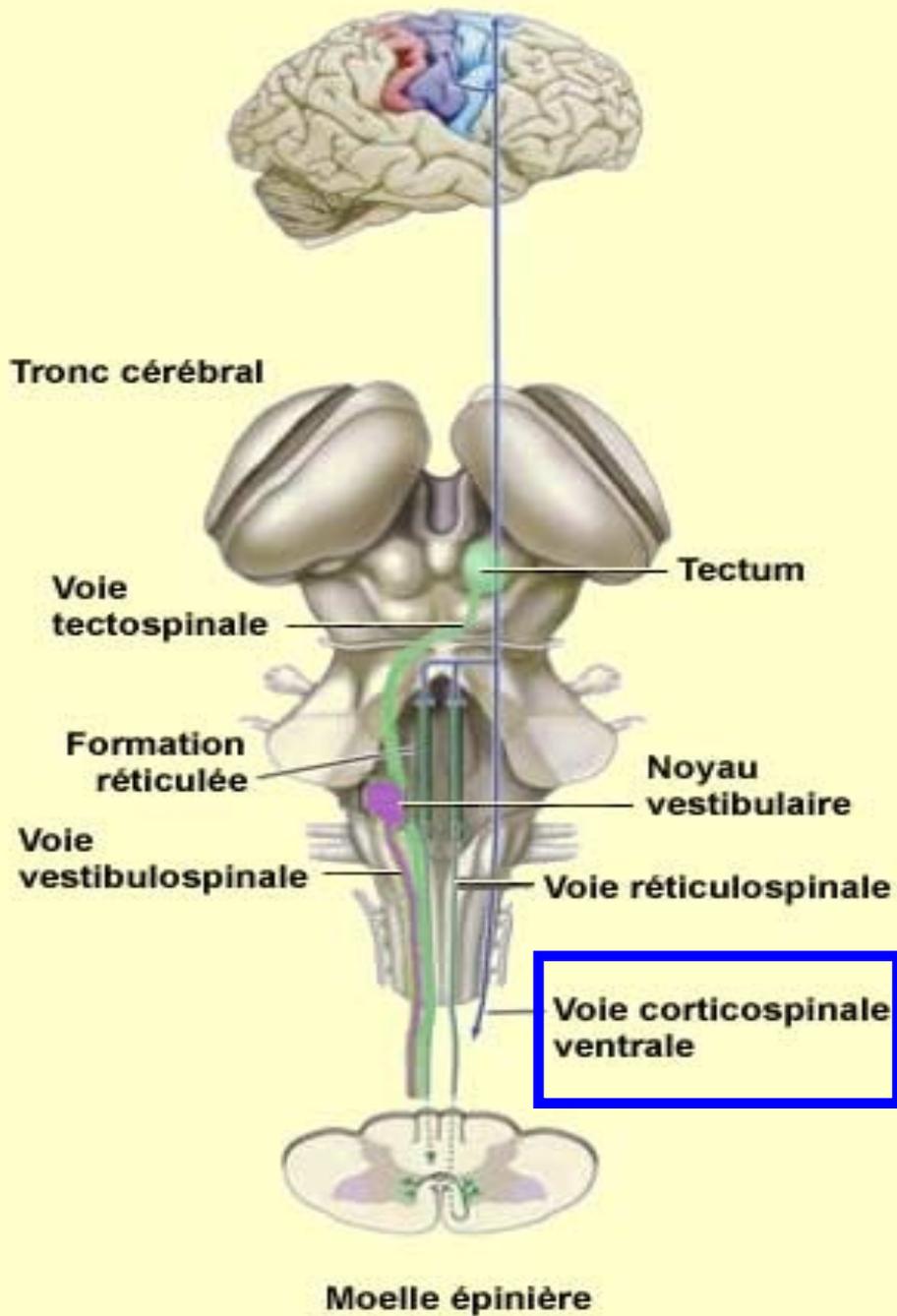
B.3. Les voies extra-pyramidales néo-motrices

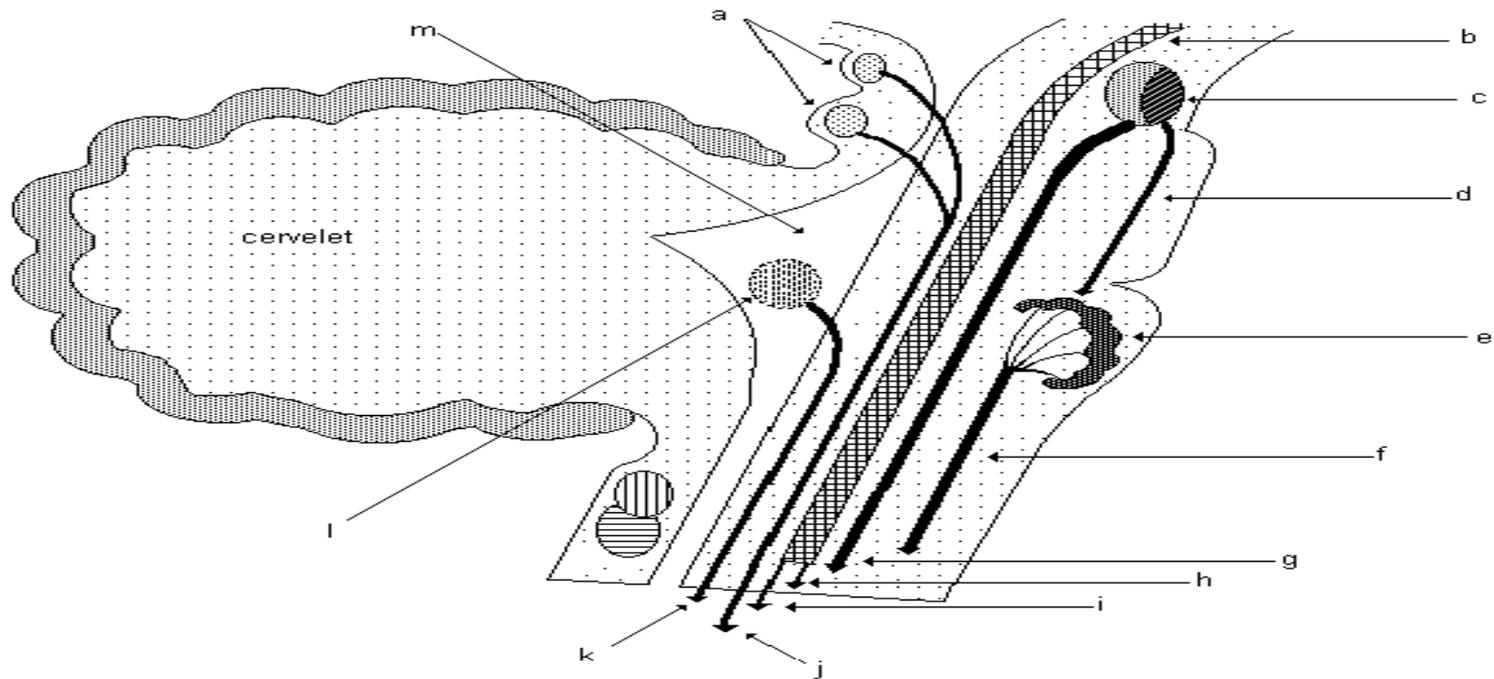
- **Le faisceau olivo-spinal :**

Issu de l'olive de la moelle allongée, il concerne l'activité des muscles synergiques du mouvement du membre supérieur et, de ce fait, n'existe qu'au niveau du renflement cervical de la moelle épinière. Il se place dans le cordon ventral.

- **les voies cortico-spinales extra-pyramidales :**

Elles sont nombreuses et importantes. Elles proviennent du cortex du cerveau. Elles descendent dans la moelle, mêlées aux fibres du faisceau pyramidal.





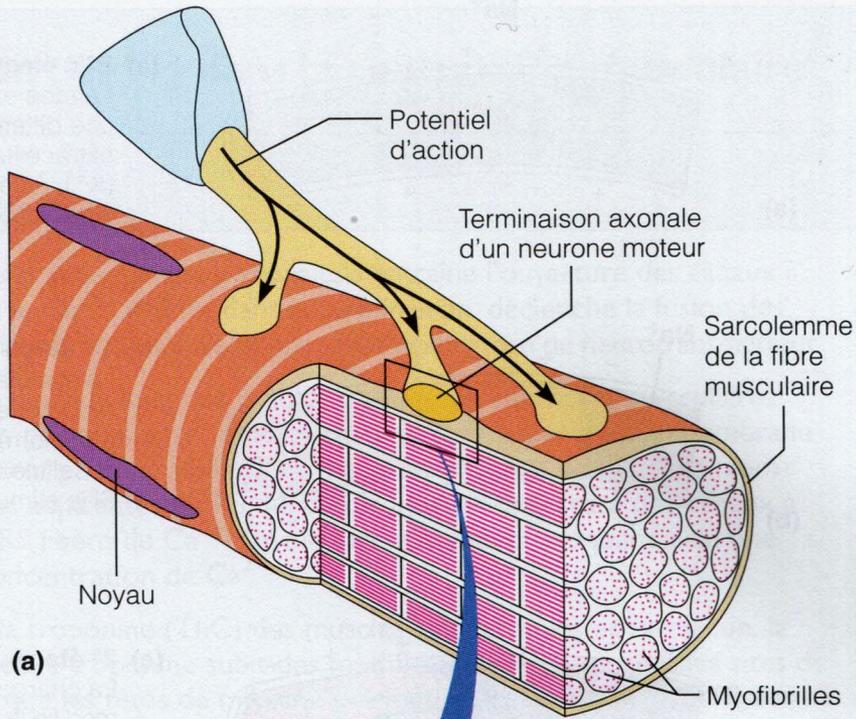
6.4.2.3. - Les voies extra- pyramidales dans le tronc cérébral
(coupe vertico - sagittale du tronc cérébral)

6.4.2.3. - Les voies extra - pyramidales dans le Tronc cérébral

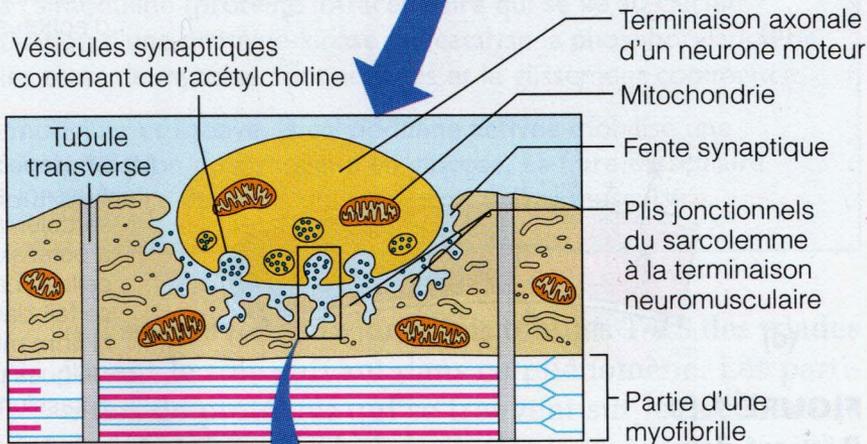
- a : Noyaux du toit du mésencéphale (colliculus supérieur et colliculus inférieur).
- b : Substance réticulée. c : Noyau Rouge. d : Faisceau central de la calotte.
- e : Olive de la moelle allongée. f : Faisceau Olivo - spinal. g : Faisceau Rubro - spinal.
- h : Faisceau Réticulo - spinal médian. i : Faisceau Réticulo - spinal latéral.
- j : Faisceau Tecto - spinal. k : Faisceau Vestibulo - spinal. l : Noyau vestibulaire.
- m : cavité du 4ème ventricule.

Voies extra-pyramidales dans le tronc cérébral

Puis, l'Influx nerveux est communiqué aux motoneurones....

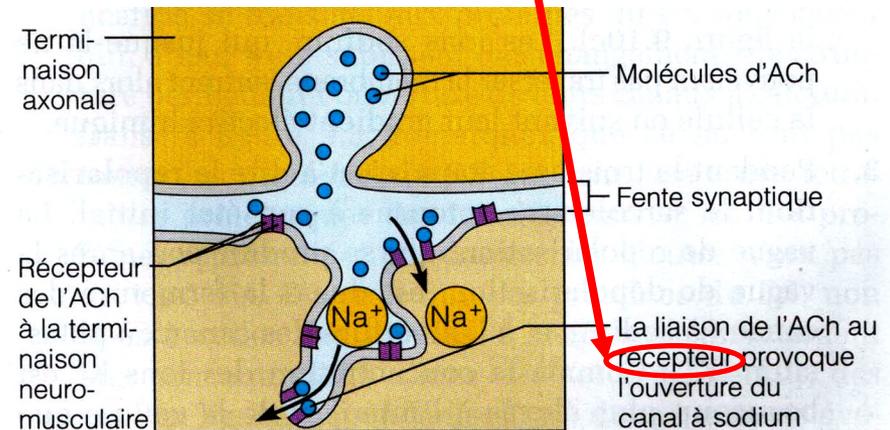


(a)



(b)

Récepteur nicotinique



5. Muscles et contraction musculaire

5.1. Caractéristiques générales du tissu musculaire

Il existe plusieurs types de tissu musculaire :

muscle squelettique, muscle cardiaque et muscle lisse

Les points communs

- Les cellules ont une forme allongée = fibres musculaires
- La contraction est assurée grâce à des myofilaments (actine et myosine)

Les différences

- **Tissu musculaire squelettique** : = les muscles striés
 - sous la forme de muscles squelettiques (recouvre le squelette osseux et s'y attache)
 - fibres musculaires squelettiques = les + longues (forment des stries)
 - plusieurs noyaux par fibre (= par cellule)
 - peuvent être maîtrisées volontairement
 - peuvent se contracter rapidement, et avec une grande force
 - sont très fatigables

- **Le tissu musculaire cardiaque :**

- n'existe que dans le cœur (myocarde)
- strié,
- contraction involontaire
- généralement, un noyau par fibre

- **Le tissu musculaire lisse :**

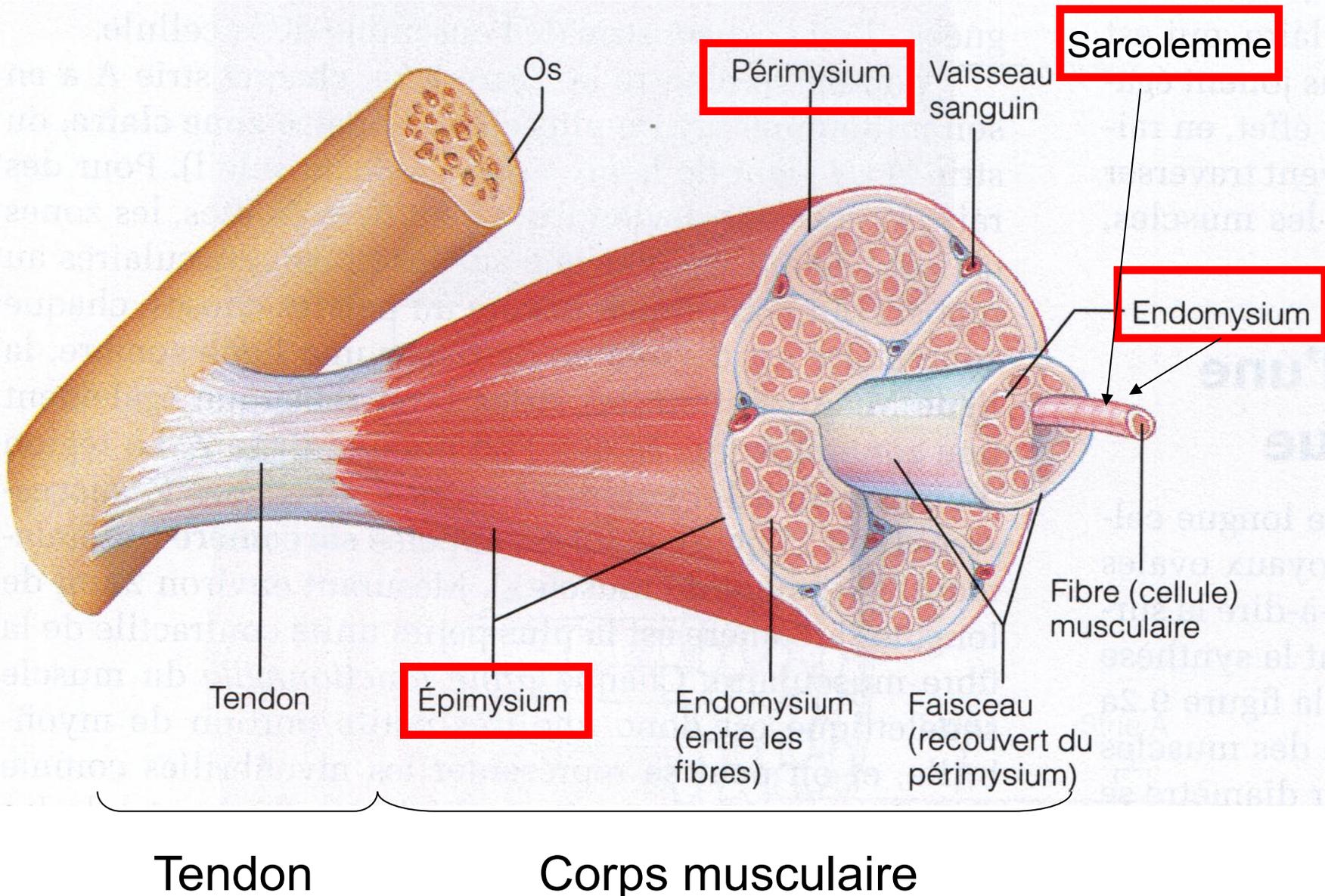
- dans les organes viscéraux creux et vaisseaux sanguins
- non strié,
- involontaires

Généralités sur le tissu musculaire strié squelettique

- Il a plusieurs rôles : mouvement, maintien de la posture, stabilisation des articulations et production de chaleur
- Excitabilité : capable de percevoir un stimulus et d'y répondre
- Contractilité : capable de contracter avec force en présence d'une stimulation appropriée
- Extensibilité : faculté d'étirement au-delà de la longueur de repos.
- Elasticité : possibilité pour les fibres musculaires de se raccourcir et de reprendre leur longueur de repos lorsqu'on les relâche

5.2. Anatomie du muscle

Niveau macroscopique : le muscle



Le corps musculaire est constitué de plusieurs centaines - milliers de fibres musculaires regroupées en faisceaux.

Il y a différentes enveloppes musculaires :

- **EPIMYSIUM** : tissu conjonctif de collagène. Autour du muscle squelettique

Rôle de protection des parties fragiles. Confère aux muscles leur forme spécifique et leur permet de glisser les uns sur les autres

- **PERIMYSIUM** : Autour de chaque faisceau

- **ENDOMYSIUM** : Autour de chaque fibre musculaire

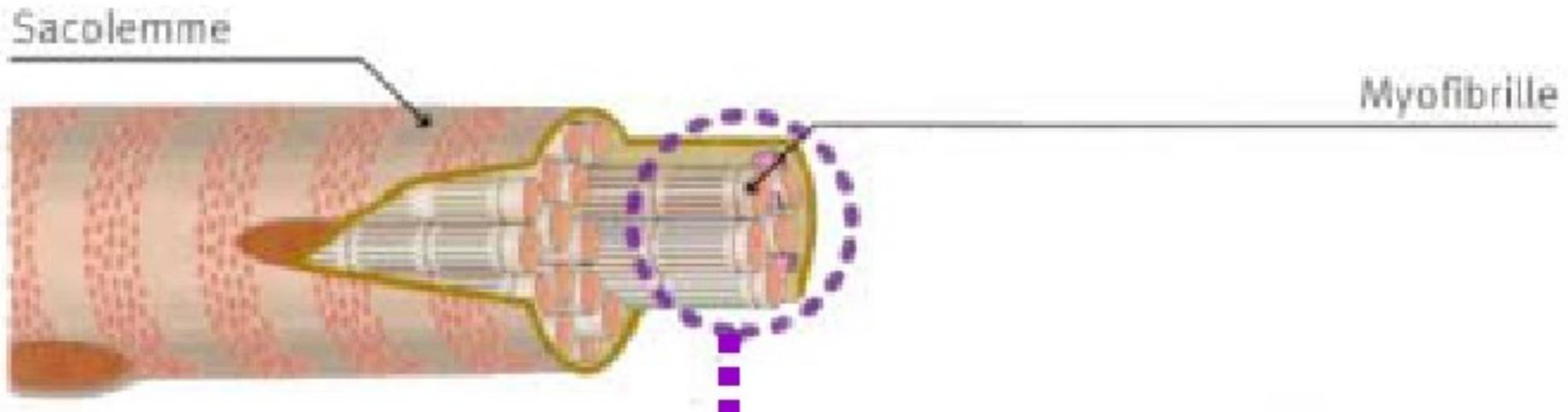
Joue le rôle d'isolant électrique en doublant la membrane électriquement excitable qui recouvre la fibre : le **SARCOLEMME**

Niveau microscopique : la fibre (cellule) musculaire

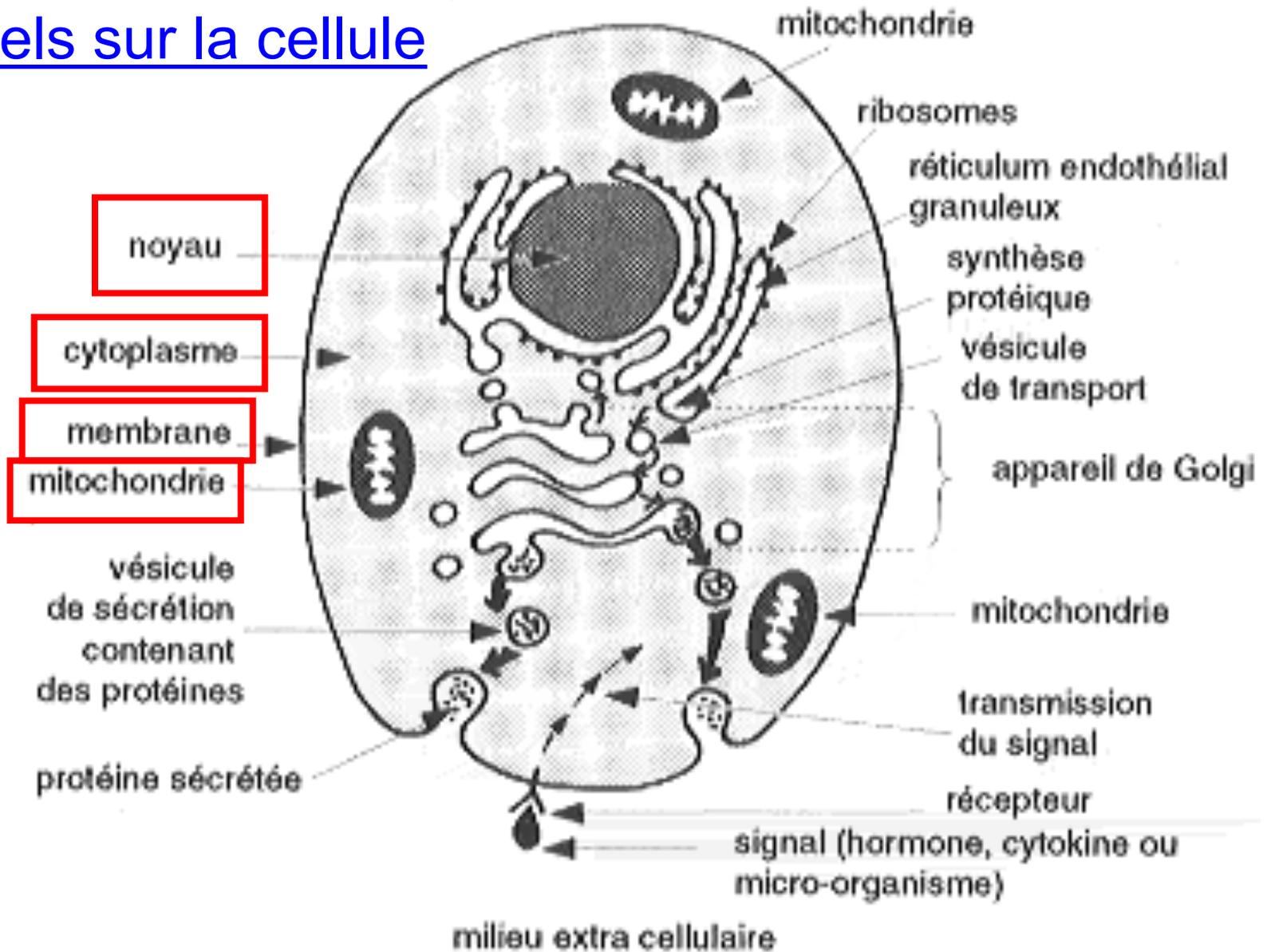
C'est une cellule géante très allongée avec plusieurs noyaux.
Diamètre = 10 à 100 μm et longueur = 1 mm à 30 cm.

Les plus courtes et les plus épaisses : force importante

Les plus longues et fines = mouvements rapides et grande amplitude



Rappels sur la cellule

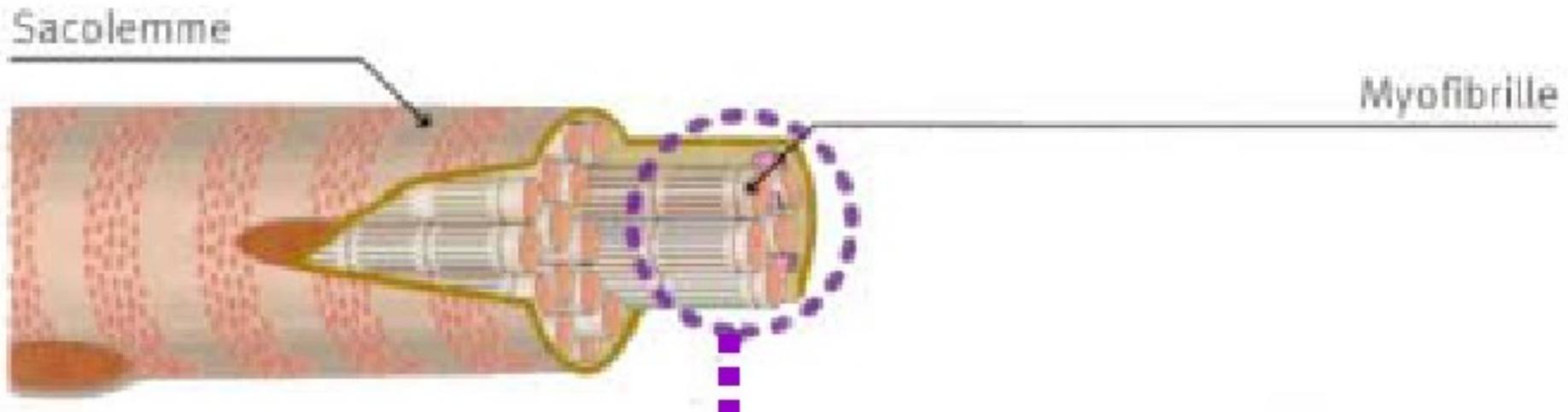


Le cytoplasme (sarcoplasme) de la fibre musculaire contient des réserves énergétiques, de l'eau, des ions (Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , K^+ ...) et de la myoglobine. Il y a des échanges entre les milieux intra- et extra-cellulaires.

Niveau microscopique : la fibre (cellule) musculaire

Tapissée d'une membrane fine électriquement excitable : le sarcolemme

Composée de structures filamenteuses qui parcourent toute la longueur du muscle = myofibrilles



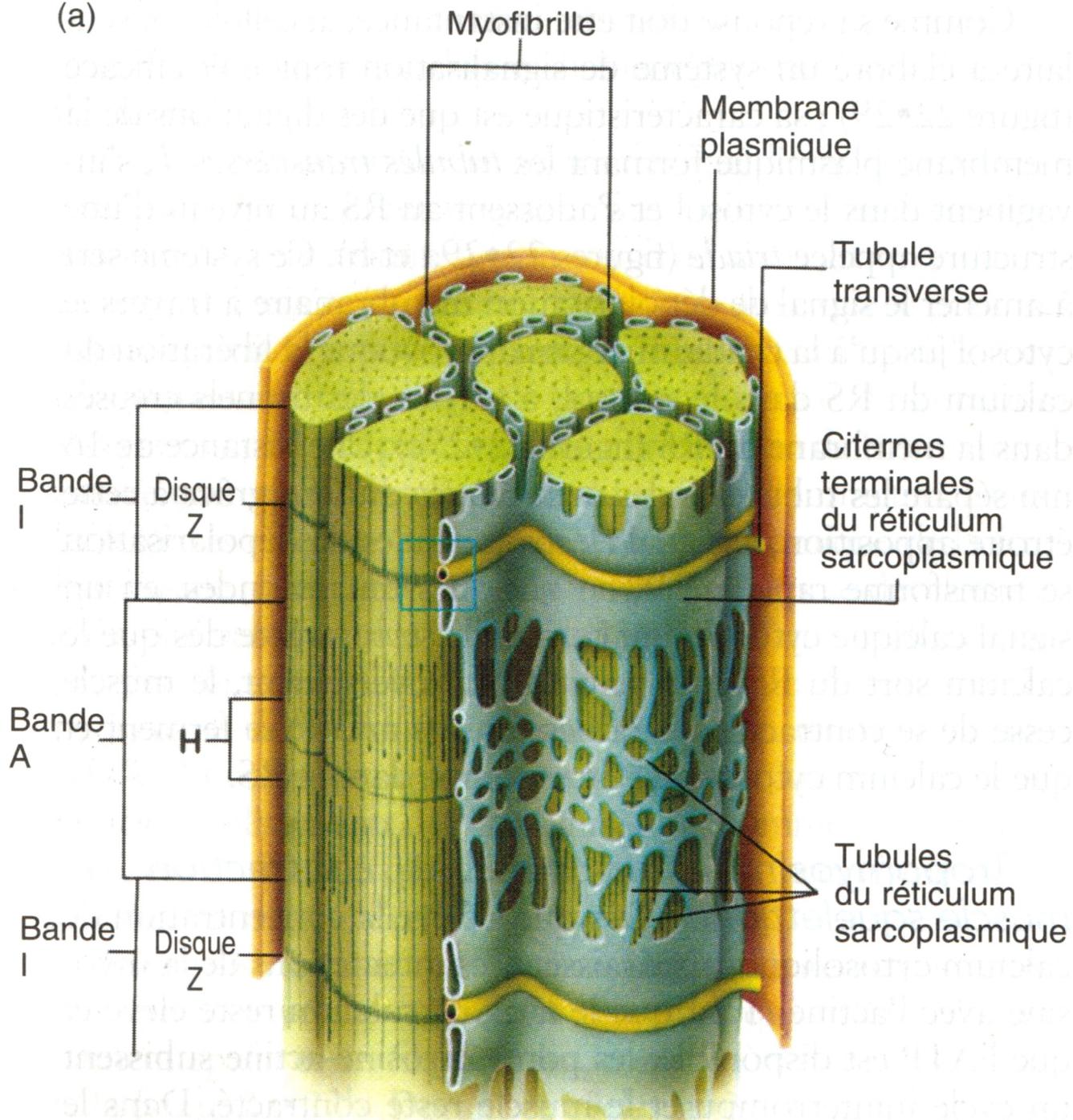
Niveau microscopique : la fibre (cellule) musculaire

Tubules transverses (tubules T) : invaginations du sarcolemme qui forment des tubes étroits qui traversent la fibre.

Réticulum sarcoplasmique (endoplasmique) : réseau de tubules qui parcourt les intervalles entre les myofibrilles

Citernes terminales : ce sont les terminaisons du réticulum sarcoplasmique. Ce sont des réserves de Ca^{2+} .

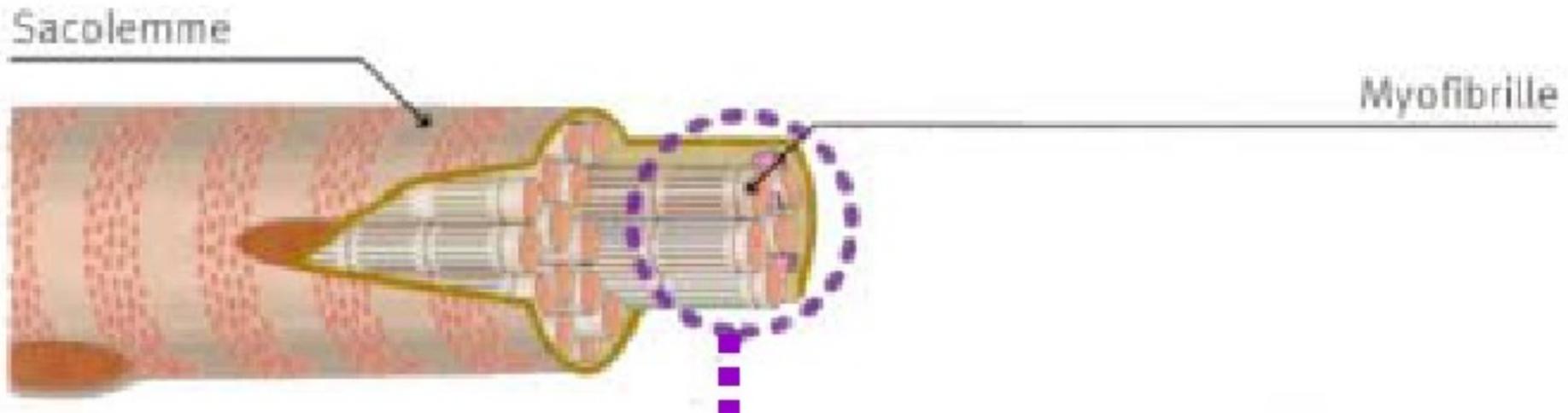
(a)

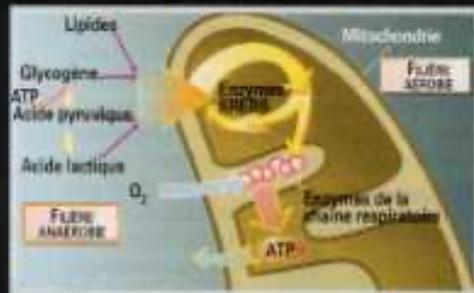


Niveau ultramicroscopique : les myofibrilles

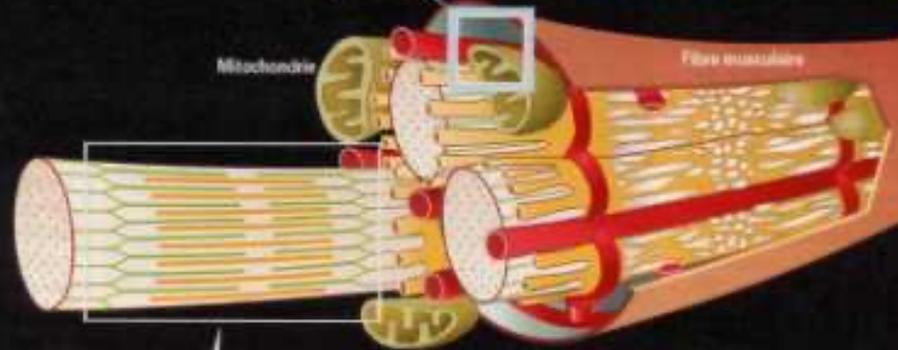
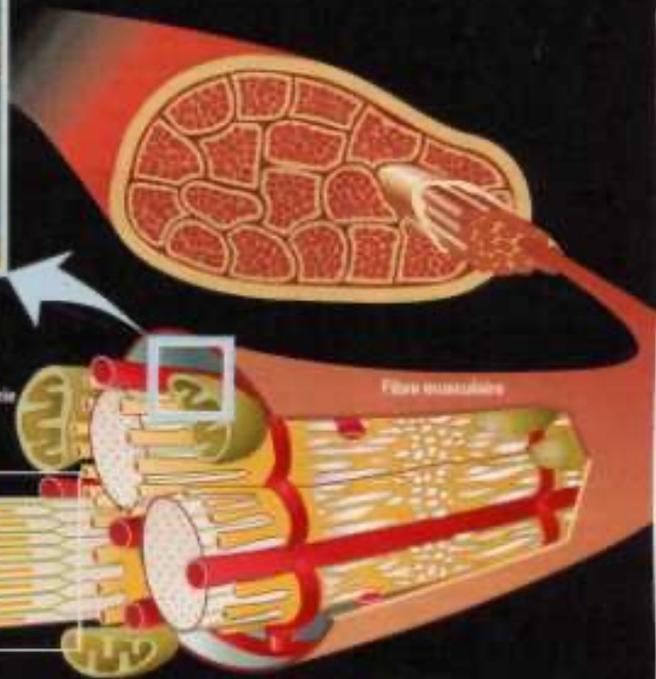
Elles se regroupent parallèlement les unes aux autres pour constituer la fibre musculaire.

Chaque myofibrille est composée d'une succession d'unités nommées « sarcomères ». C'est ce qui donne l'aspect strié (alternance régulière de bandes claires et sombres)





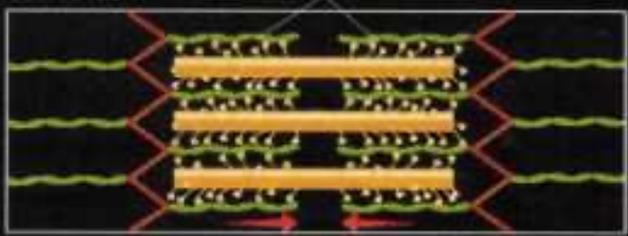
DEGRADATION DES SUBSTRATS



REPOS



CONTRACTION



Au cœur de la contraction musculaire

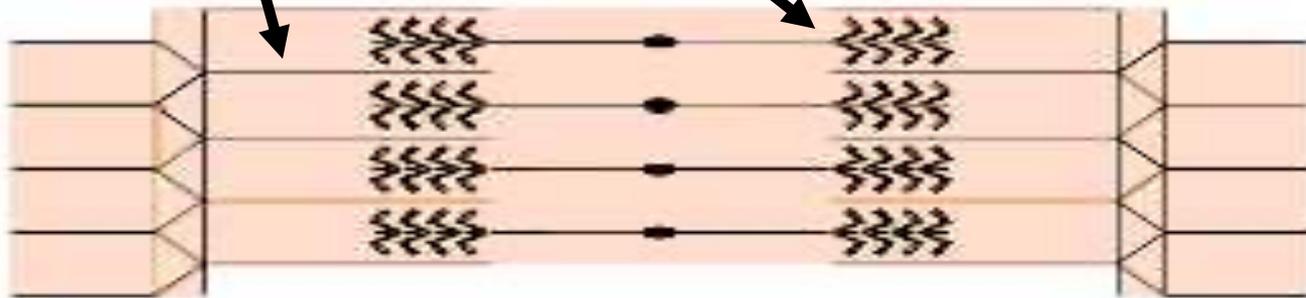
Biceps, triceps et autres muscles sont formés de nombreuses fibres noyées dans du tissu conjonctif. Pouvant atteindre 30 cm de longueur, ces dernières sont elles mêmes composées de cylindres parallèles... découpés en une multitude d'unités contractiles (les sarcomères) mises bout à bout. C'est le raccourcissement simultané des sarcomères qui provoque la contraction. Chacun d'eux est en effet formé d'une alternance de filaments d'actine et de myosine. Au repos, les têtes de myosine sont rangées le long du bâtonnet. Lorsque le muscle se contracte, ces protubérances s'accrochent au filament d'actine, pivotent, et tel un rameur déplacent le filament d'un milliardième de mètre vers le centre du sarcomère. Un mouvement qui ne peut se réaliser qu'en présence d'ATP. Fabriqué dans les mitochondries à partir du glycogène, de l'acide pyruvique et de l'acide lactique, il est en effet indispensable au pivotement des têtes de myosine et à leur retour en position de repos.

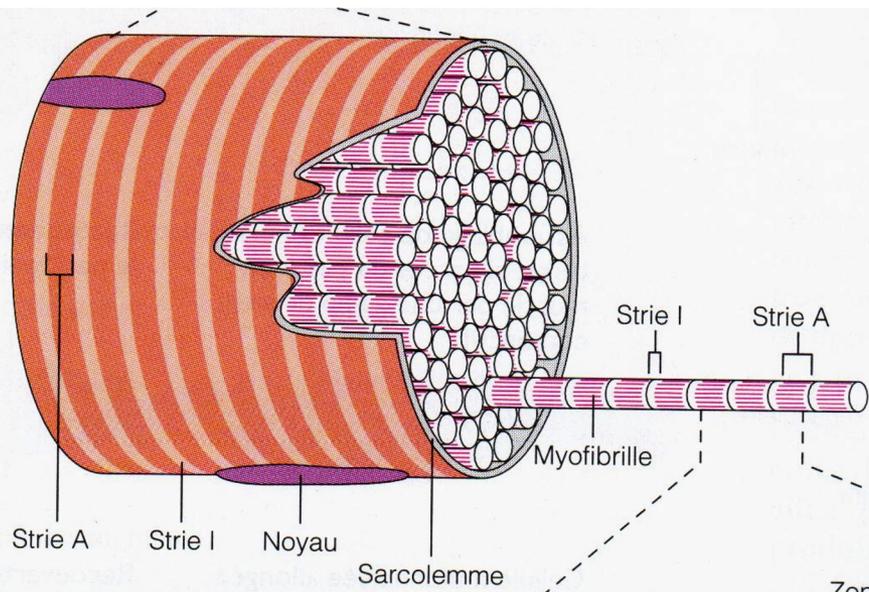
Niveau ultramicroscopique : le sarcomère

Le sarcomère = unité contractile du muscle

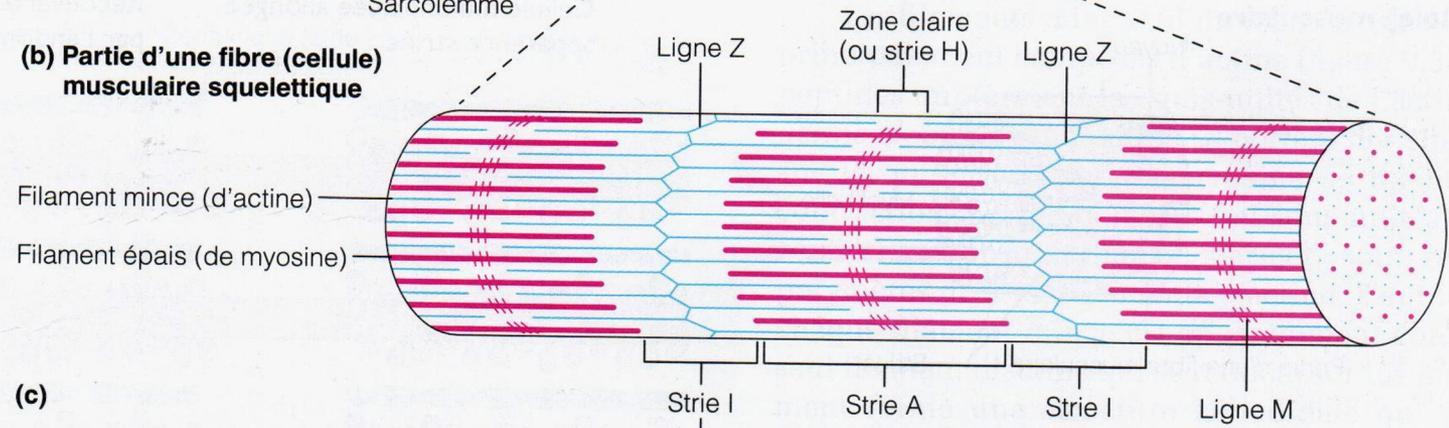
L'alternance des bandes sombres et claires correspond à l'alternance entre 2 types de myofilaments :

- myofilament de myosine (sombre) = filament épais
- myofilament d'actine (clair) = filament fin

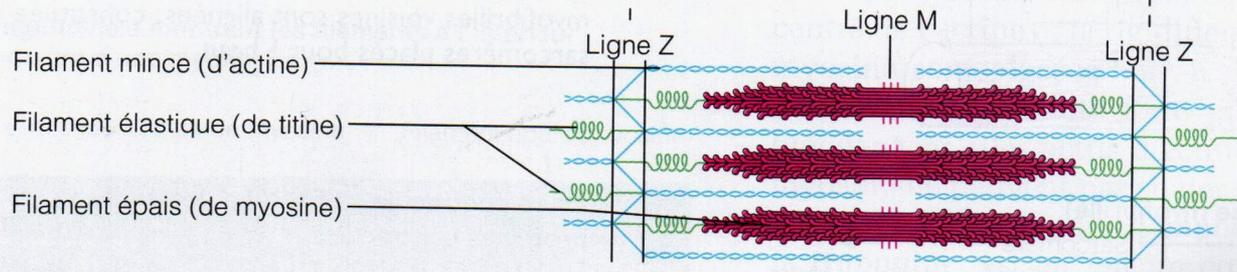




(b) Partie d'une fibre (cellule) musculaire squelettique



(c)



(d)

Niveau ultramicroscopique : le sarcomère

Les lignes Z délimitent le sarcomère. Correspond aux sites de jonctions entre les sarcomères

La bande I est formée de filaments fins.

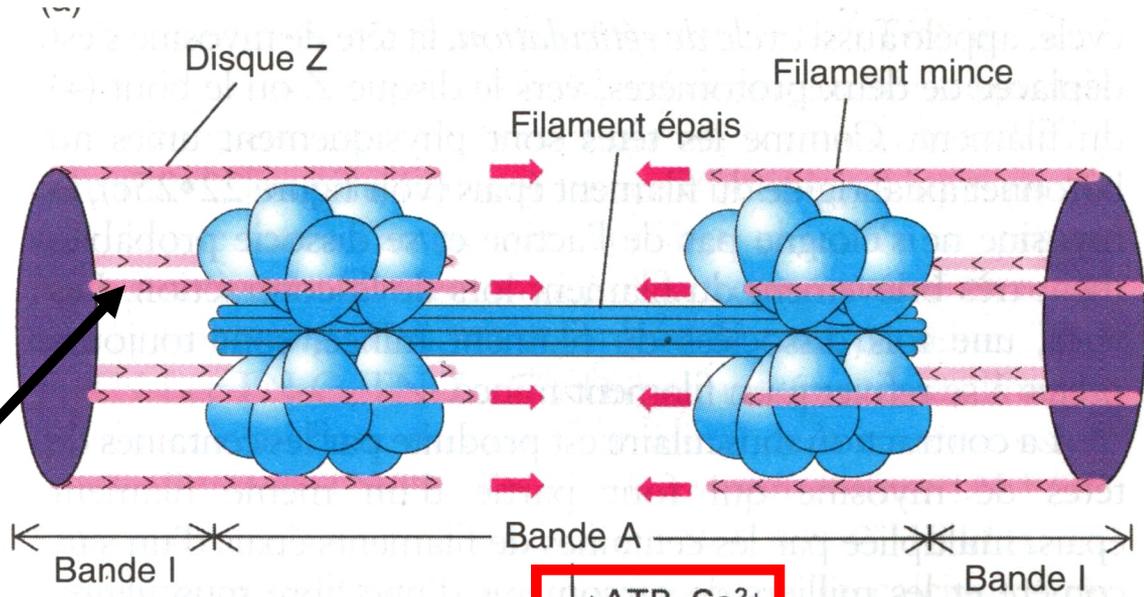
La zone H est formée uniquement de filaments épais.

La bande A est formée de filament fins et épais.

La ligne M est formée par l'union des filaments épais.

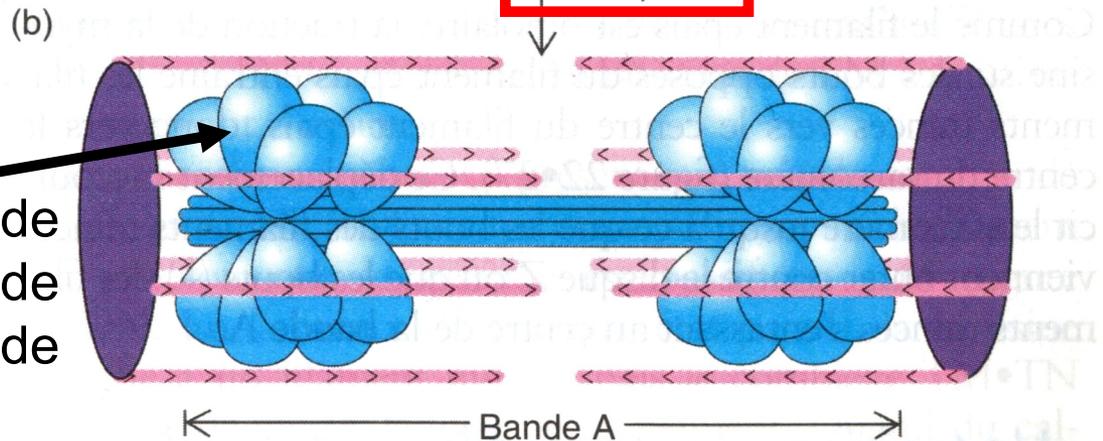
Niveau ultramicroscopique : sarcomère et myofilaments

- Au milieu des filaments fins d'actine, s'intercalent les filaments épais de myosine



- Les filaments fins d'actine = fixés aux stries Z

- Les filaments épais de myosine = assemblage de plusieurs molécules de myosine



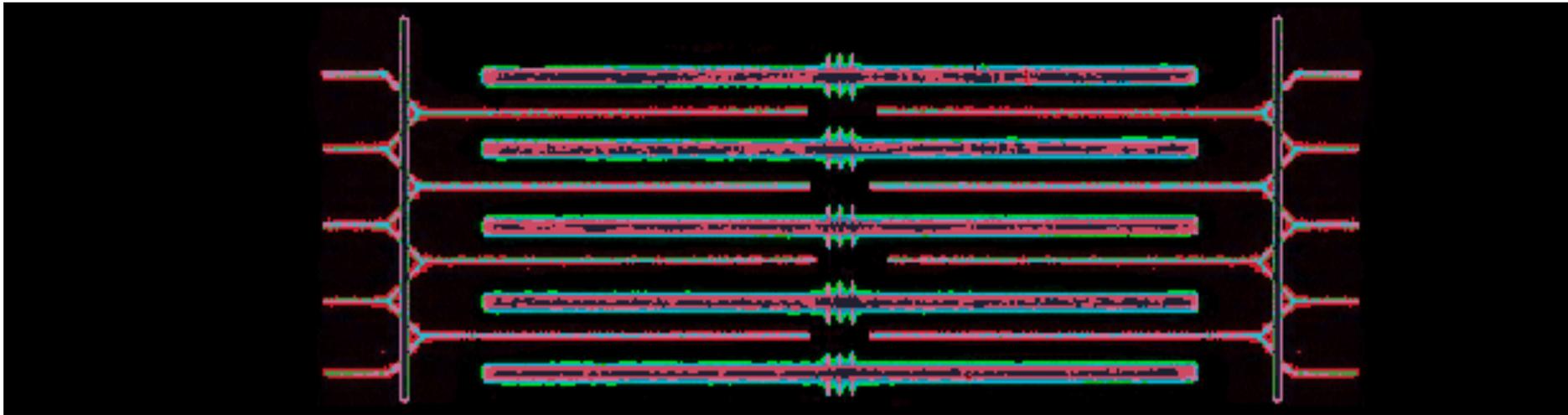
Niveau ultramicroscopique : sarcomère et myofilaments

Pendant la **contraction musculaire**, les **sarcomères se raccourcissent** (et donc les muscles aussi).

ATTENTION : la longueur des myofilaments ne varie pas

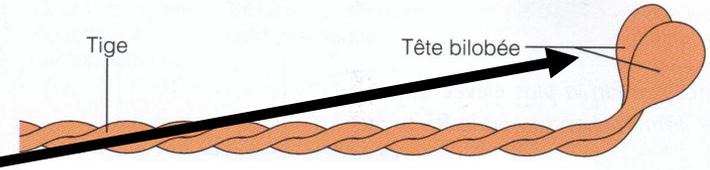
Niveau ultramicroscopique : sarcomère et myofilaments

Contraction d'un sarcomère = glissement des filaments d'actine sur les filaments de myosine

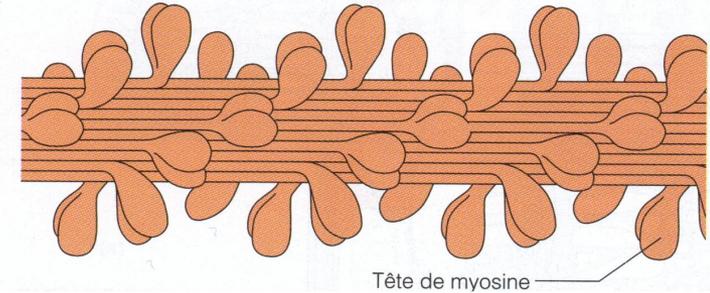


Niveau ultramicroscopique : les myofilaments

Tête de myosine

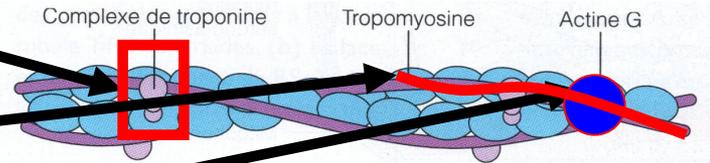


Molécule de myosine



Complexe de troponine

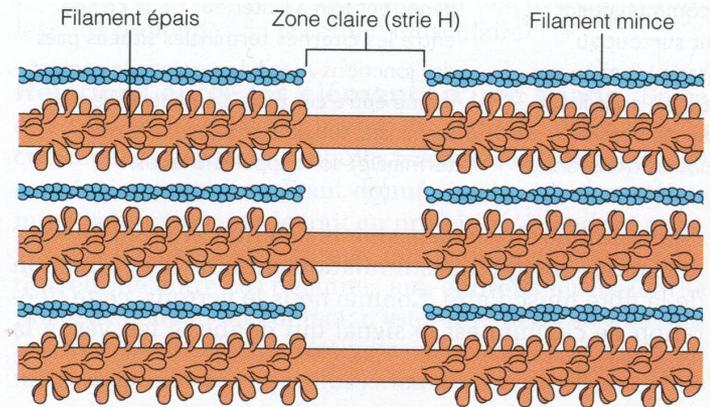
Myofilament de myosine (épais)



Tropomyosine

Myofilament d'actine (fin)

Actine G



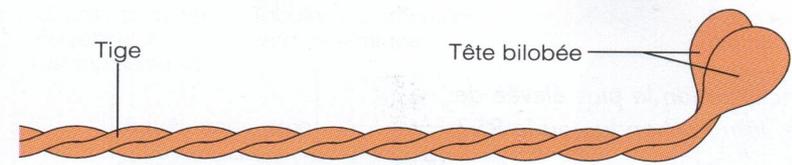
(d) Coupe longitudinale montrant les filaments à l'intérieur d'un sarcomère d'une myofibrille

Pour que le sarcomère se raccourcisse (glissement actine / myosine), il faut que la tête de myosine se fixe d'abord sur l'actine (formation de ponts acto-myosine), puis se contracte pour permettre le glissement de l'actine

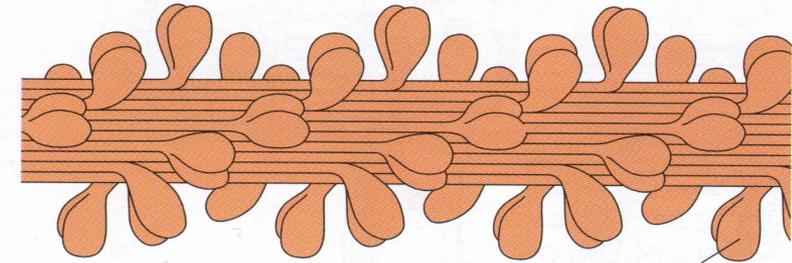
Niveau ultramicroscopique : les myofilaments

- Au repos, les liaisons entre actine et myosine sont empêchés par l'inhibition exercée par 2 protéines : la **troponine** et la **tropomyosine**. Elles bloquent le site actif de l'actine pour la tête de myosine et empêche la formation du pont acto-myosine.

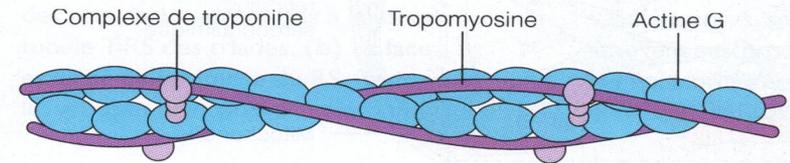
- Verrous placés entre les filaments fins et épais.



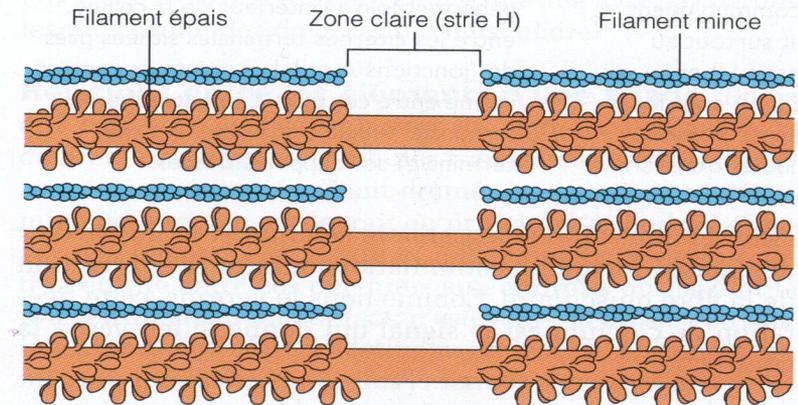
(a) Molécule de myosine



(b) Partie d'un filament épais

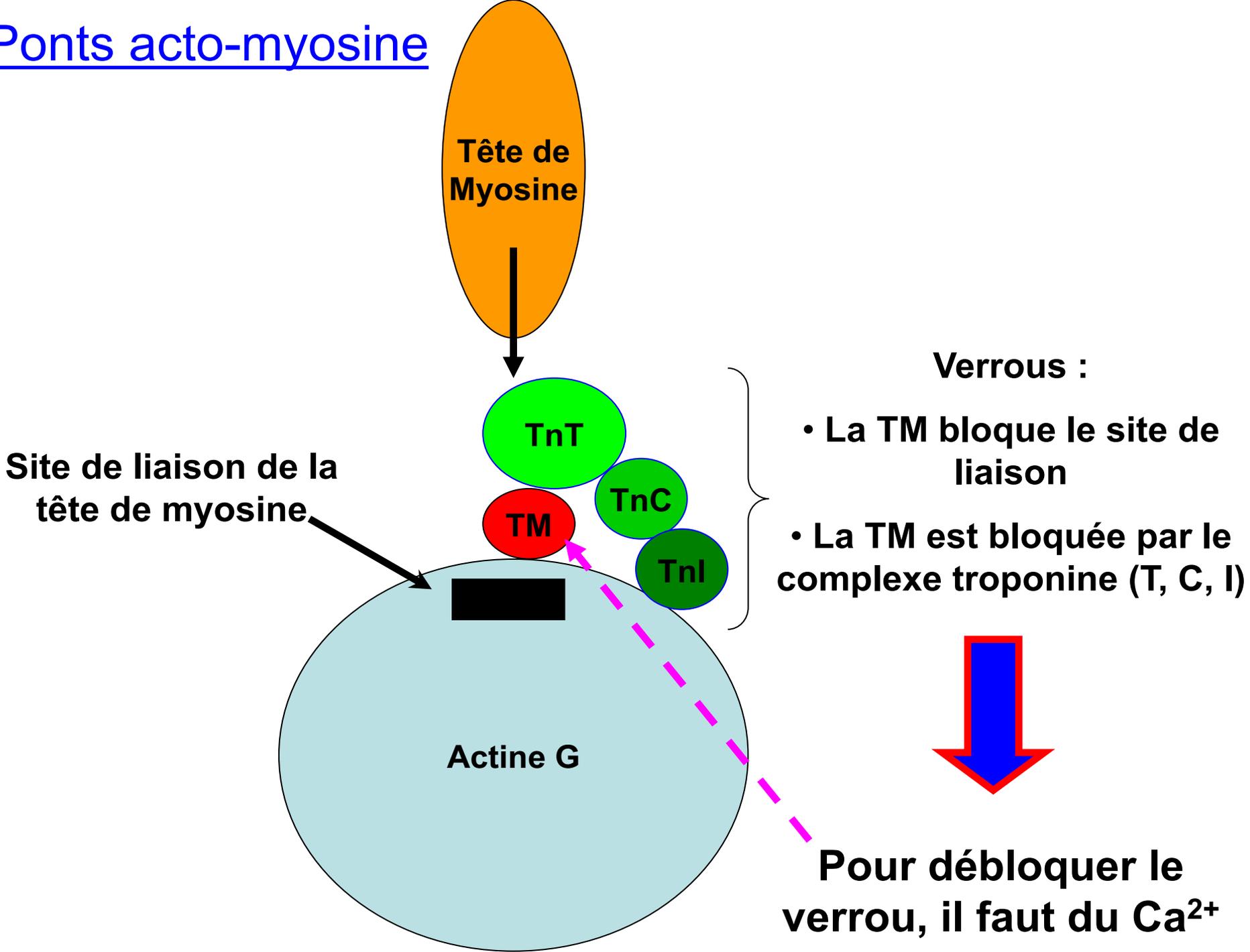


(c) Partie d'un filament mince



(d) Coupe longitudinale montrant les filaments à l'intérieur d'un sarcomère d'une myofibrille

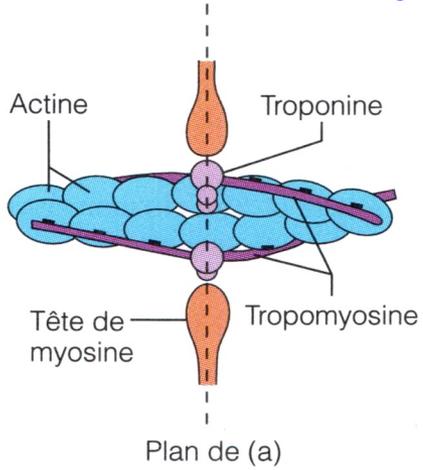
Ponts acto-myosine



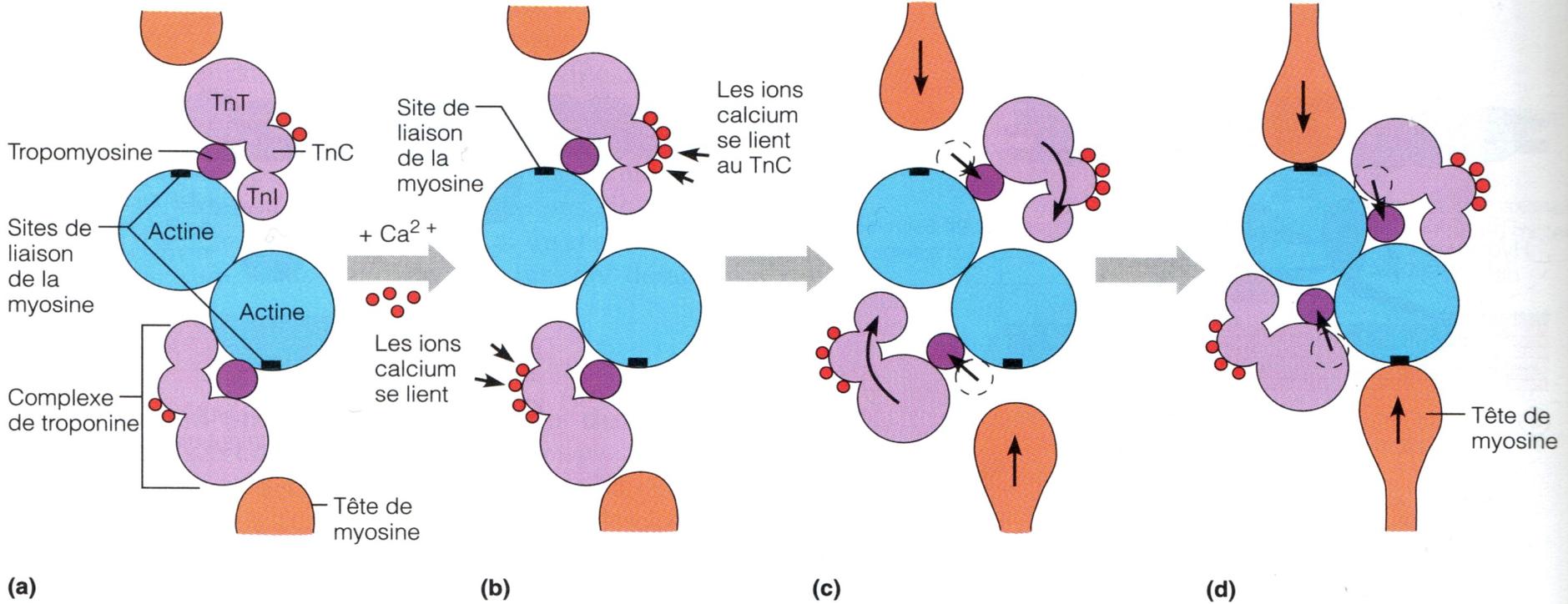
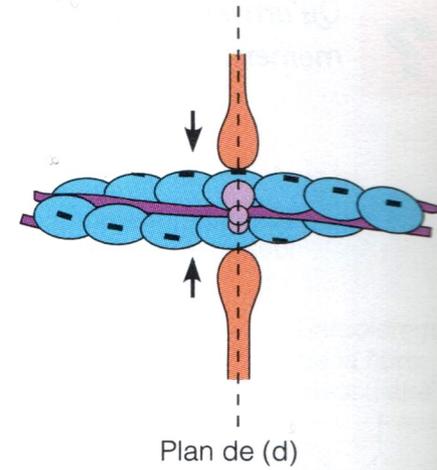
Ponts acto-myosine

L'affinité la TnC (troponine C) pour le calcium a pour effet de faire pivoter sur elles-mêmes les molécules de troponine et de tropomyosine afin de libérer le site de liaison de la tête de myosine sur l'actine

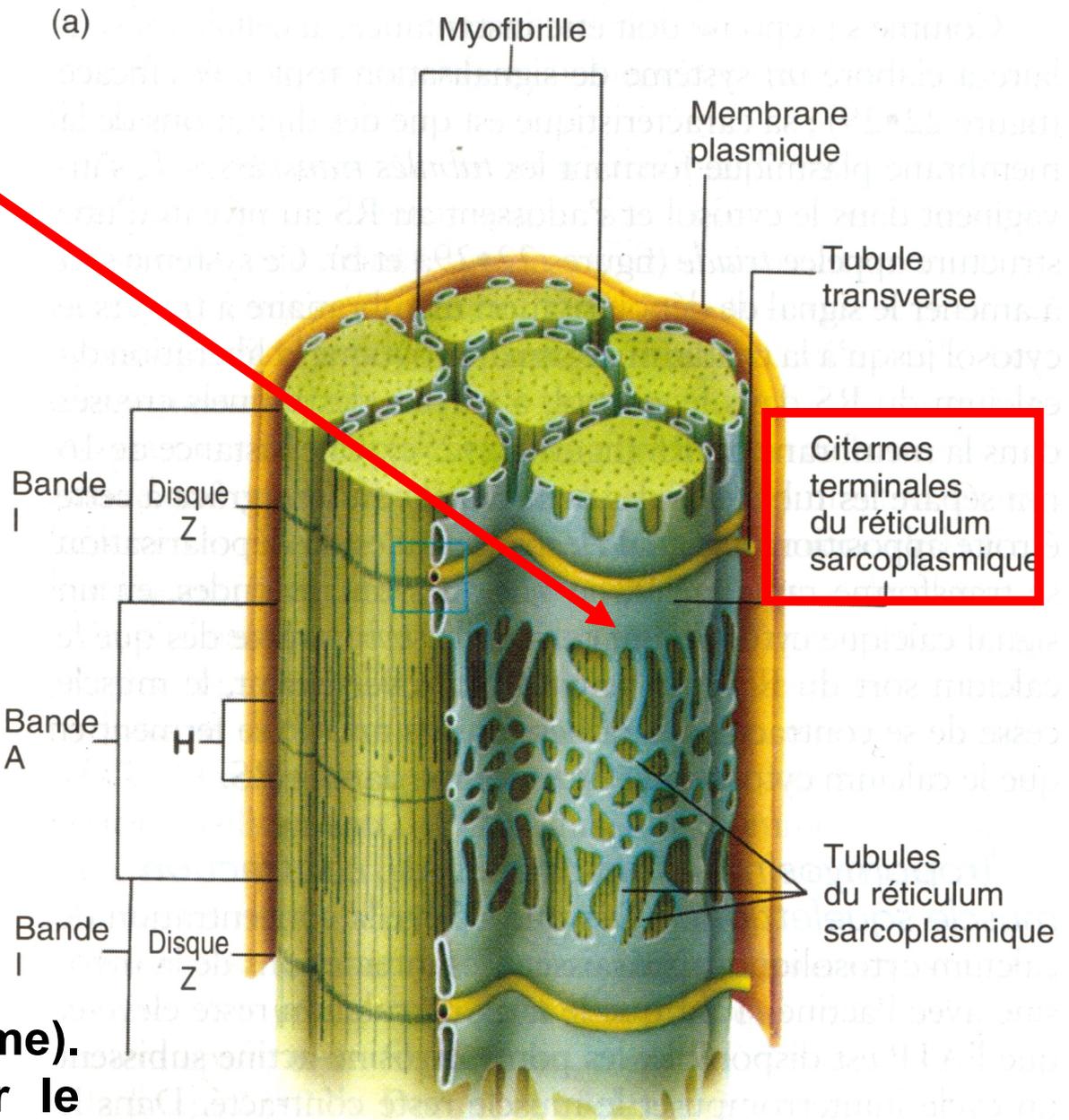
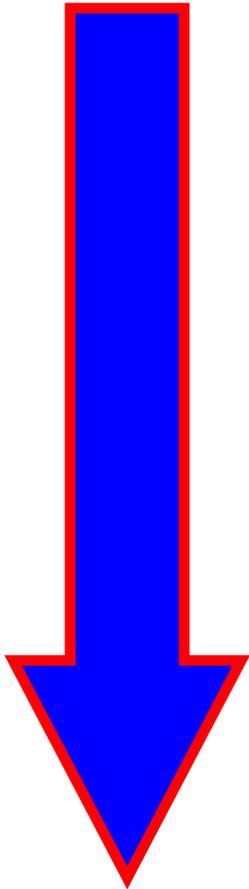
Ponts acto-myosine



Déblocage du verrou et formation des ponts acto-myosine. Rôle du Ca^{2+}

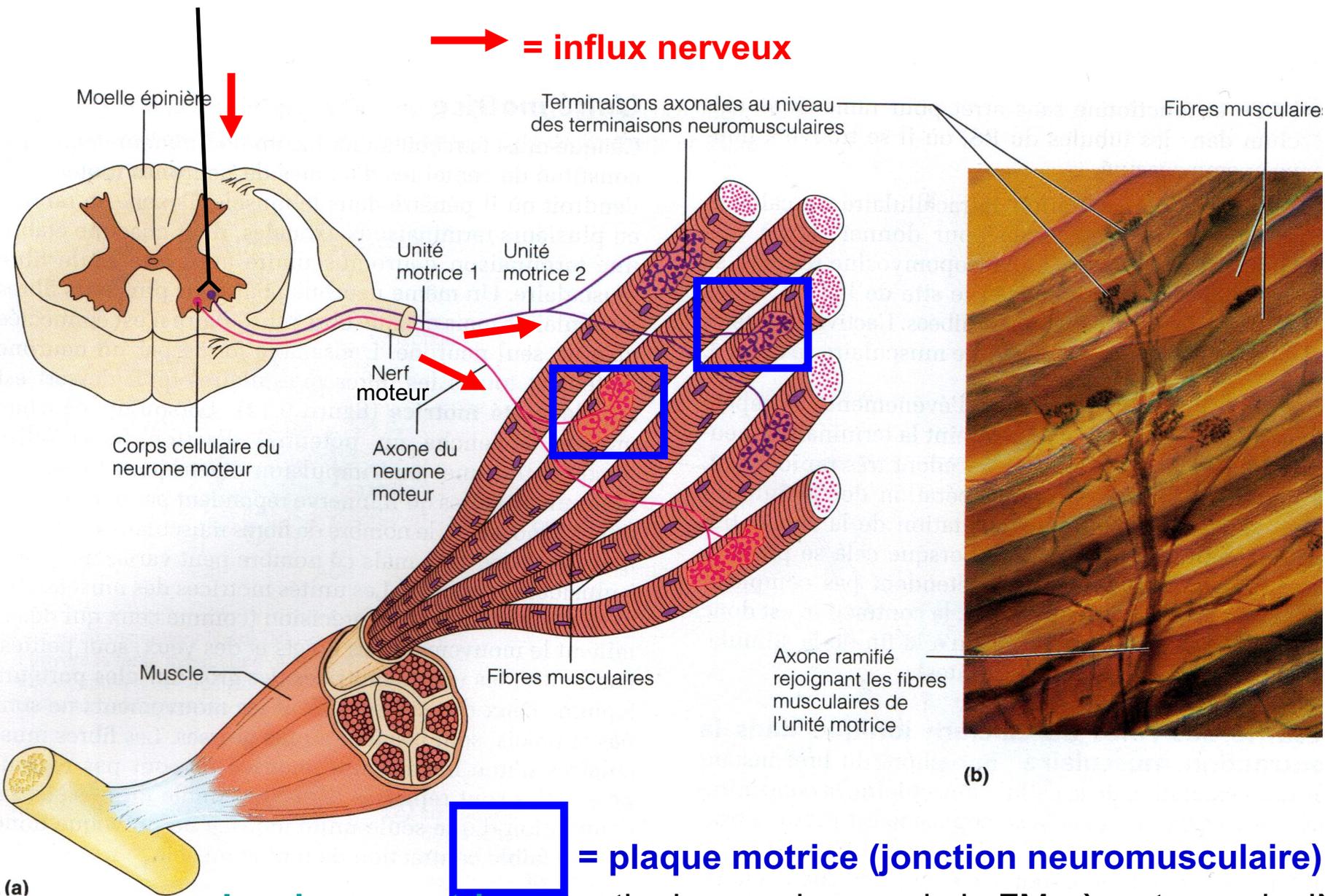


D'où vient le Ca^{2+} ?



**Du cytoplasme (sarcoplasme).
Le Ca^{2+} a été libéré par le
réticulum sarcoplasmique
dans le sarcoplasme**

5.3. Contraction musculaire



(a)

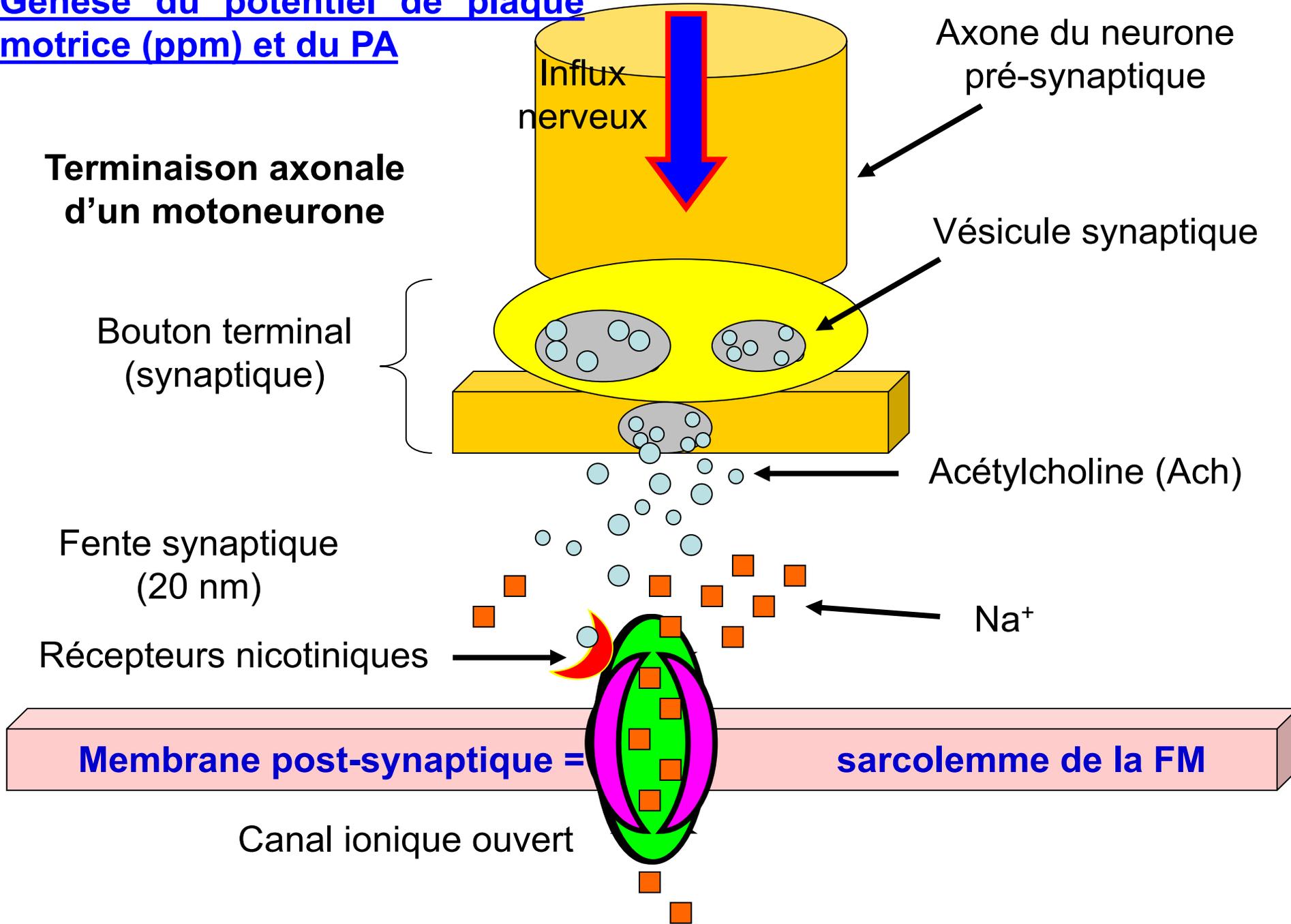
(b)

= plaque motrice (jonction neuromusculaire)

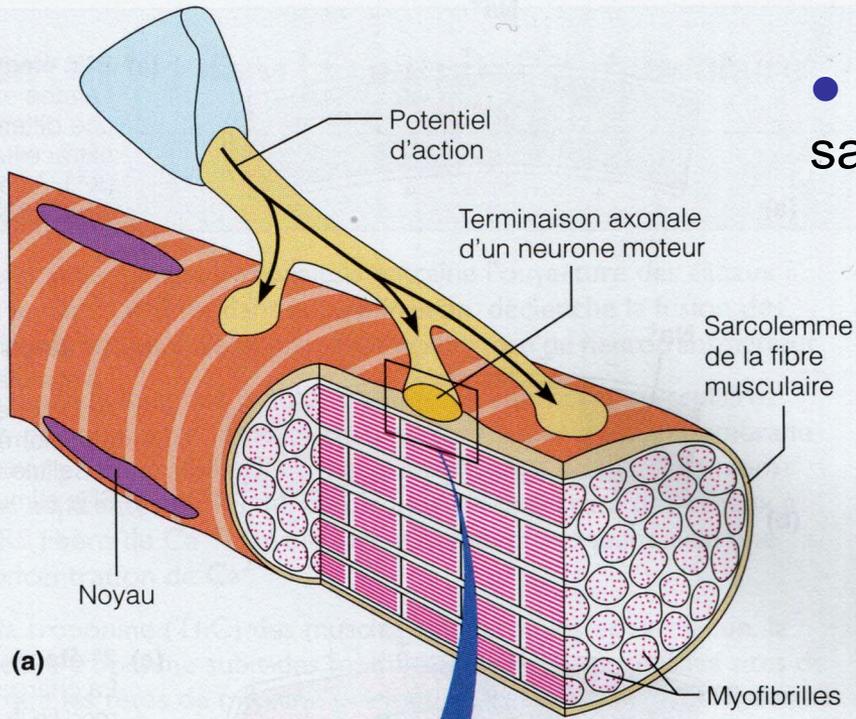
● **La plaque motrice** = partie du sarcolemme de la FM où se trouve la JN

Genèse du potentiel de plaque motrice (ppm) et du PA

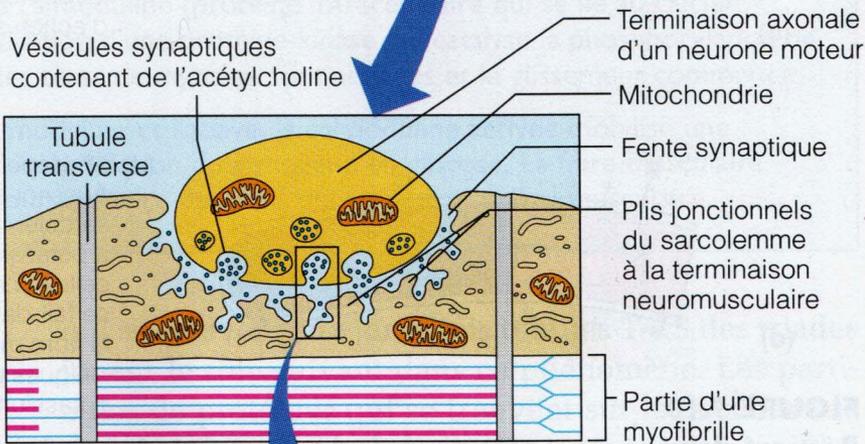
Terminaison axonale d'un motoneurone



- **La plaque motrice** = partie du sarcolemme de la FM où se trouve la JNM

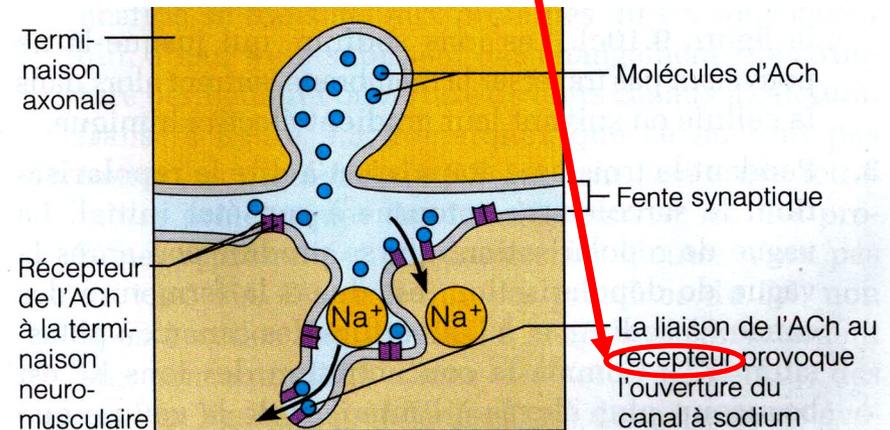


(a)



(b)

Récepteur nicotinique



Genèse du potentiel de plaque motrice (ppm) et du PA

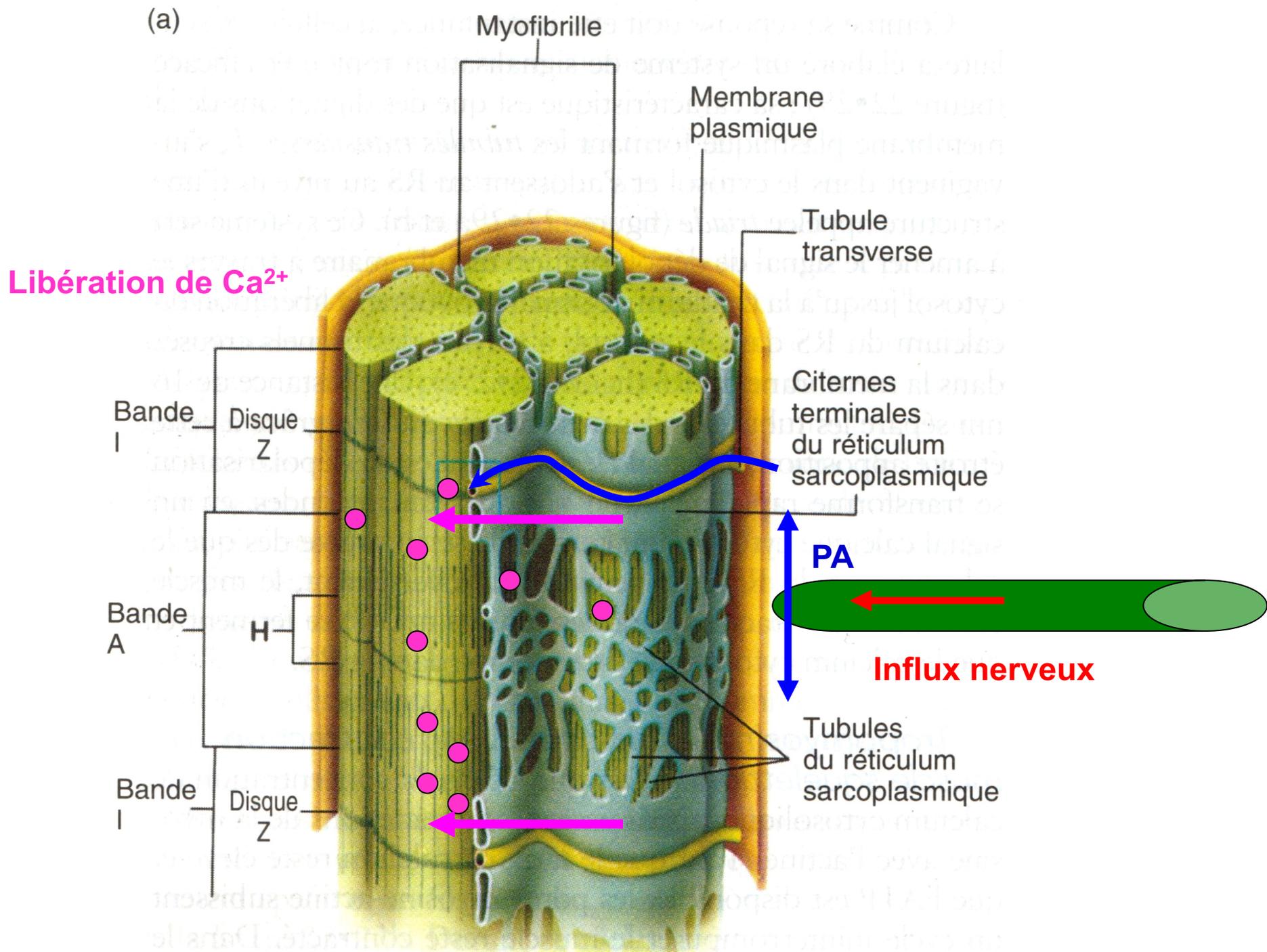
- 1) PA de l'axone moteur envahit la terminaison nerveuse
- 2) Les vésicules synaptiques contenant de l'Ach libèrent leurs contenus dans la fente synaptique
- 3) Les molécules d'Ach diffusent à travers la fente et se lient aux récepteurs nicotiques sur la membrane post-synaptique
- 4) Cela provoque l'ouverture des canaux ioniques ; ce qui provoque la **dépolarisation** de la membrane musculaire dans la zone de la plaque motrice = **ppm**
- 5) **Lorsque le ppm atteint le seuil, la membrane musculaire génère un PA qui se propage le long de la fibre (dans les deux sens).**

Libération du Ca^{2+} par le réticulum sarcoplasmique

6) Le PA va pénétrer à l'intérieur des fibres musculaires grâce aux tubules transverses.

7) **Le PA parcourt les tubules transverses** et les dépolarise. Cela provoque **l'ouverture des canaux calciques du réticulum sarcoplasmique**. Il y a donc une **libération de Ca^{2+} dans le sarcoplasme**.

8) Le Ca^{2+} va se lier à la TnC.... Il y aura donc un pontage actine-myosine



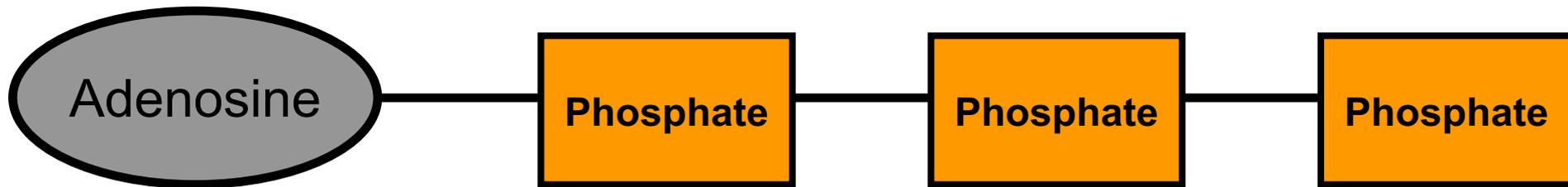
La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

Une fois le pont acto-myosine formé, il faut que les filaments fins d'actine glissent sur les filaments épais de myosine pour provoquer le raccourcissement des sarcomères et donc la contraction du muscle.

Pour cela, il faut de l'ATP.

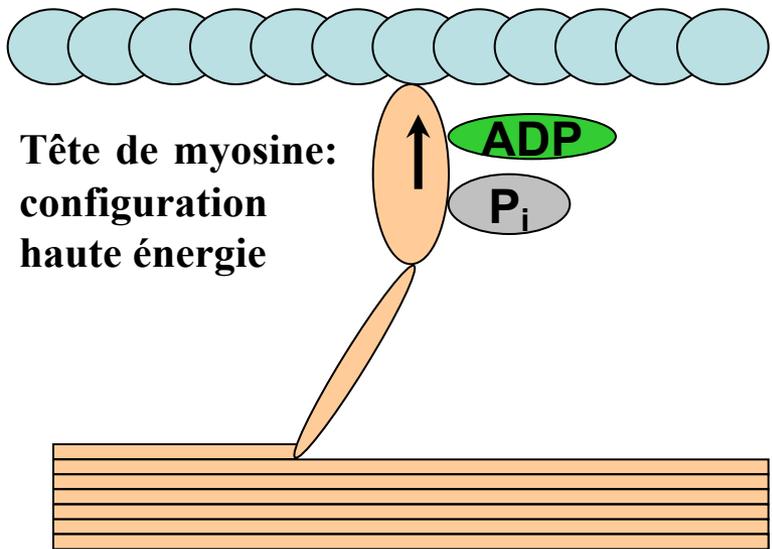
La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

L'ATP est une molécule qui reçoit l'énergie provenant de la dégradation des molécules de lipides, protéines et glucides et qui transmet cette énergie aux fonctions cellulaires.

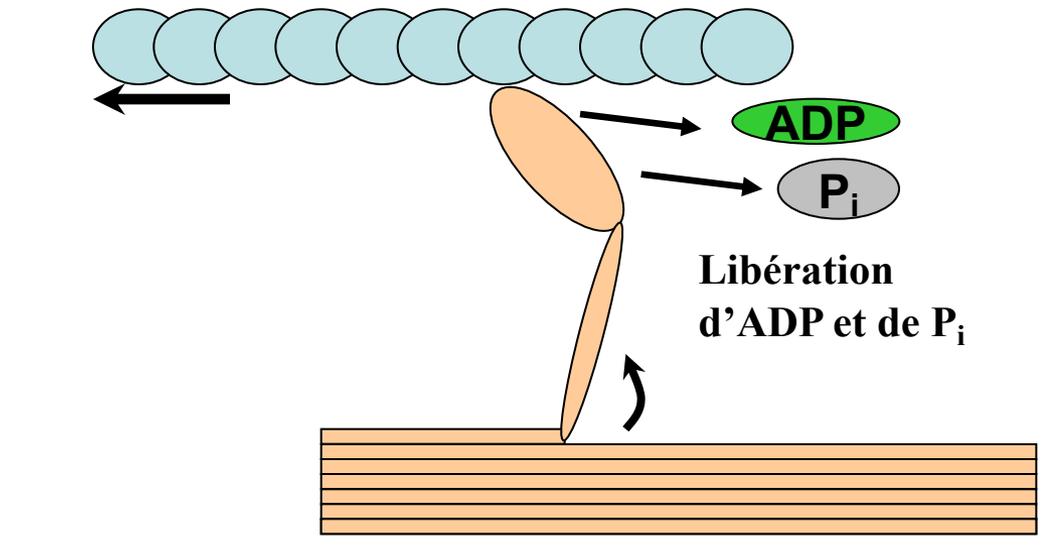


Stockage de l'énergie = dans les liaisons covalentes entre les groupements phosphate.

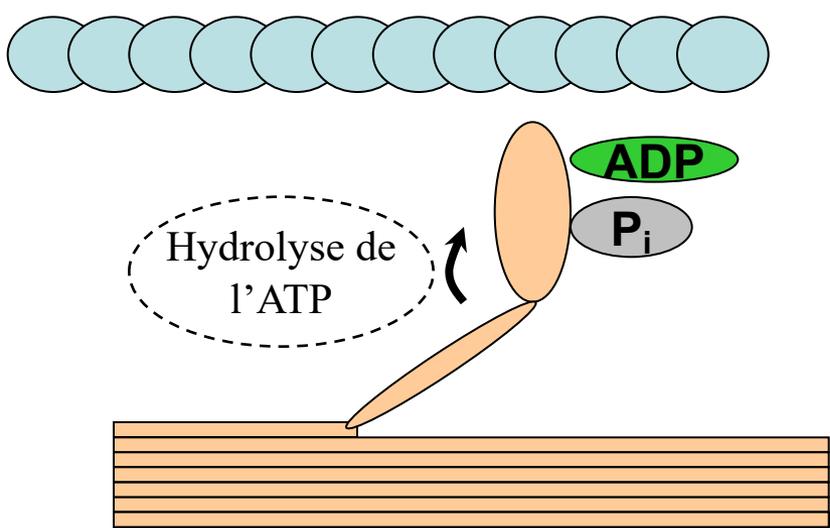
La rupture d'une de ces liaisons libère une quantité importante d'énergie (7kcal/mole) : **ADP + Pi + Energie**



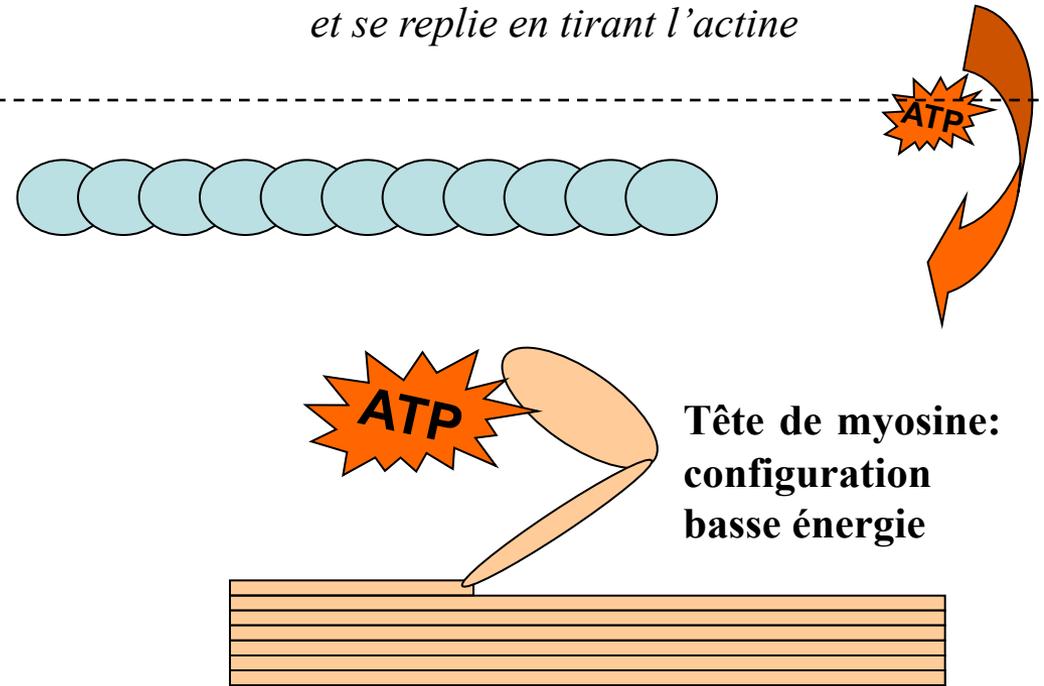
1) La tête de myosine se lie à l'actine



2) Phase active: la tête de myosine pivote et se replie en tirant l'actine



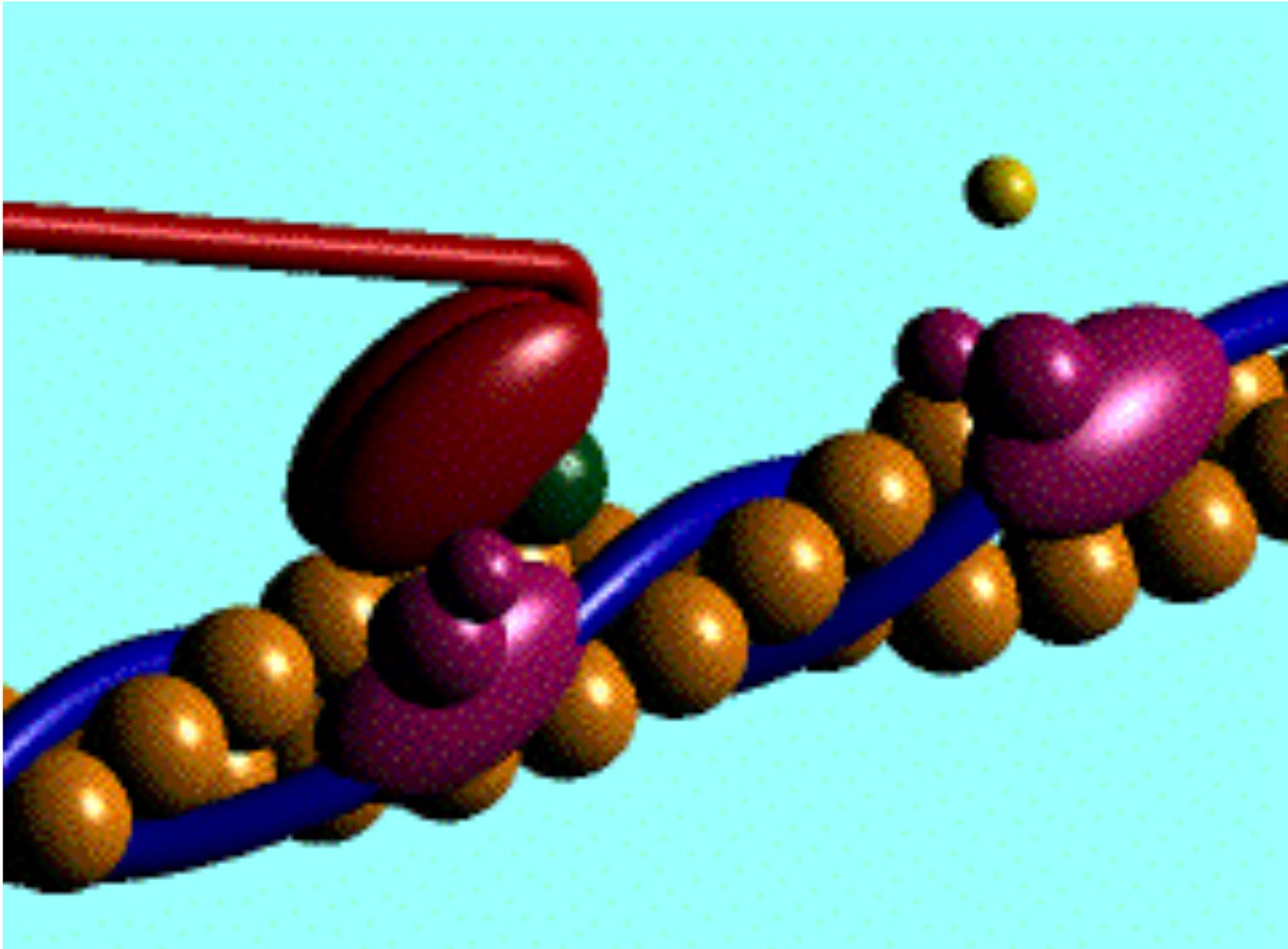
4) Mise sous tension de la tête de myosine quand l'ATP est dissocié en ADP et P_i



3) Détachement de la tête de myosine pendant qu'une nouvelle molécule d'ATP s'y attache

La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

Glissement de l'actine sur la myosine



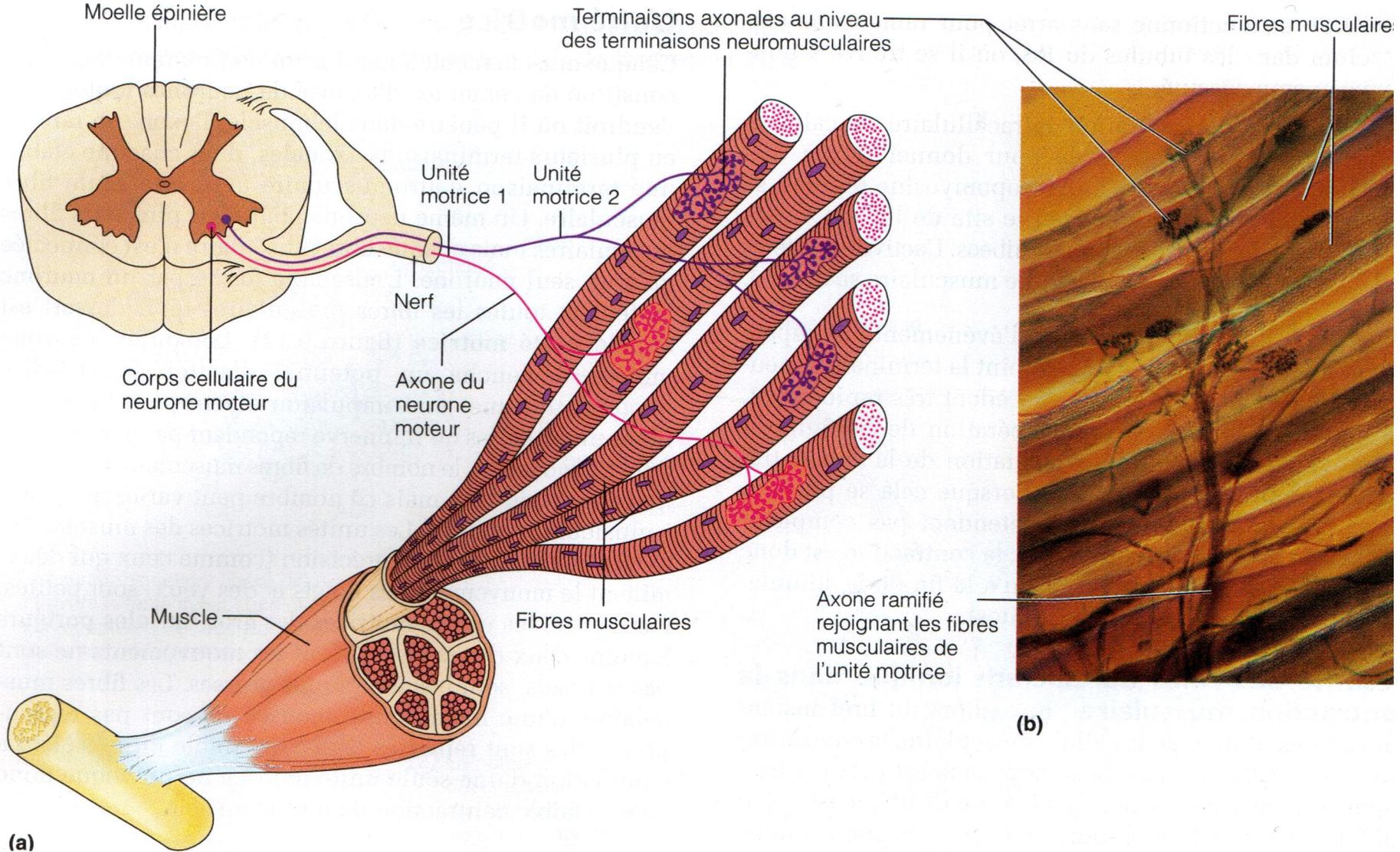
La contraction musculaire – le raccourcissement des sarcomères

- dégradation d'ATP → production d'énergie
- Cette énergie est convertie en mouvement de la tête de chaque molécule de myosine, qui, ensembles, donnent un micromouvement de glissement des filaments d'actine vers le centre du sarcomère.
- Sur leur lancée, les têtes de myosine se détachent des sites où elles étaient fixées et vont chercher d'autres sites voisins pour à nouveau les faire glisser

Le relâchement

- Tant que durent les influx nerveux, ces mécanismes se répètent.
- Lorsque les PA cessent, le Ca^{2+} est aspiré par les citernes (pompes à Ca^{2+}).
 - ➔ tropomyosine vient se replacer en position initiale (verrouillage du site de liaison).

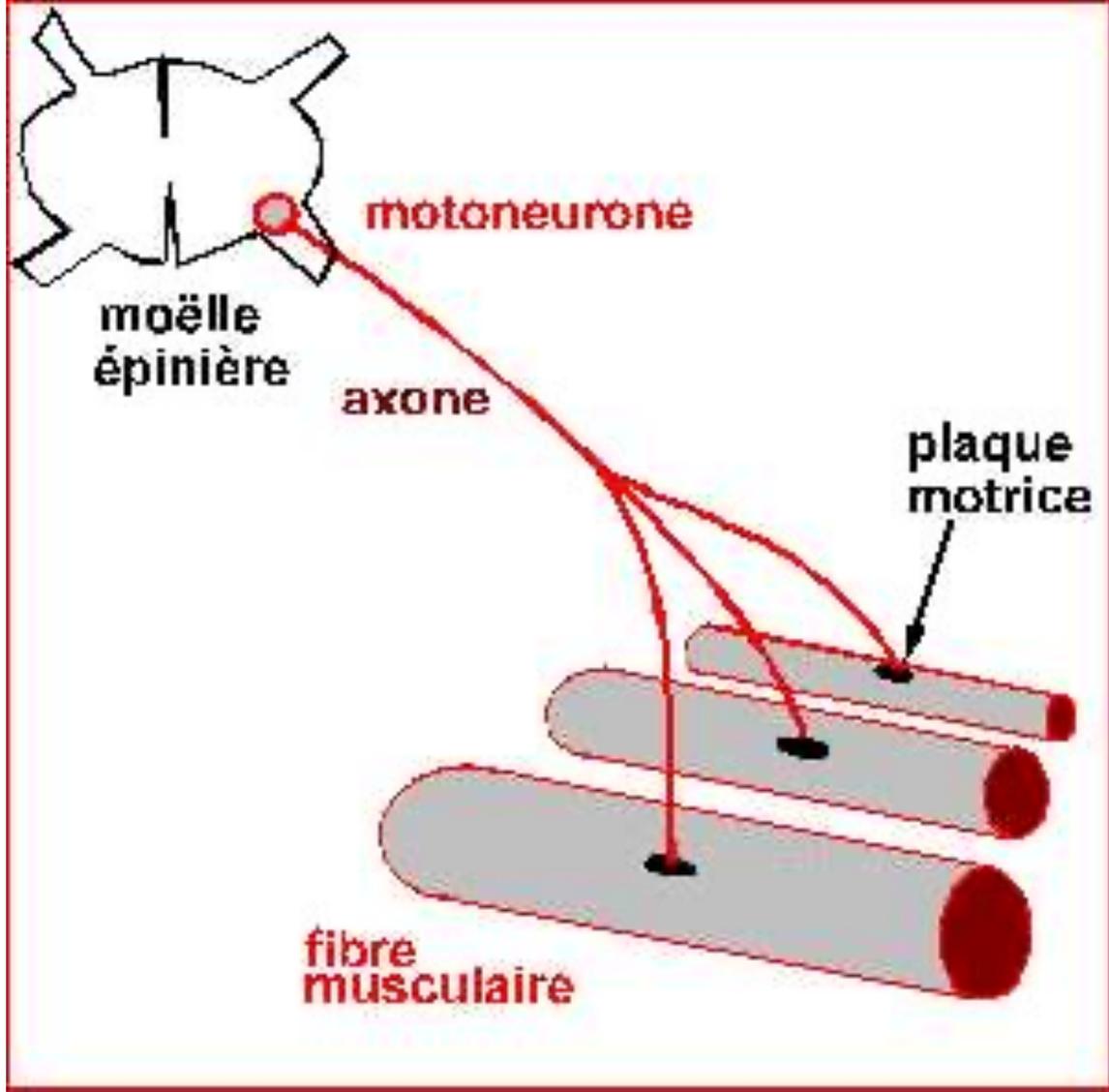
Les unités motrices



Les unités motrices

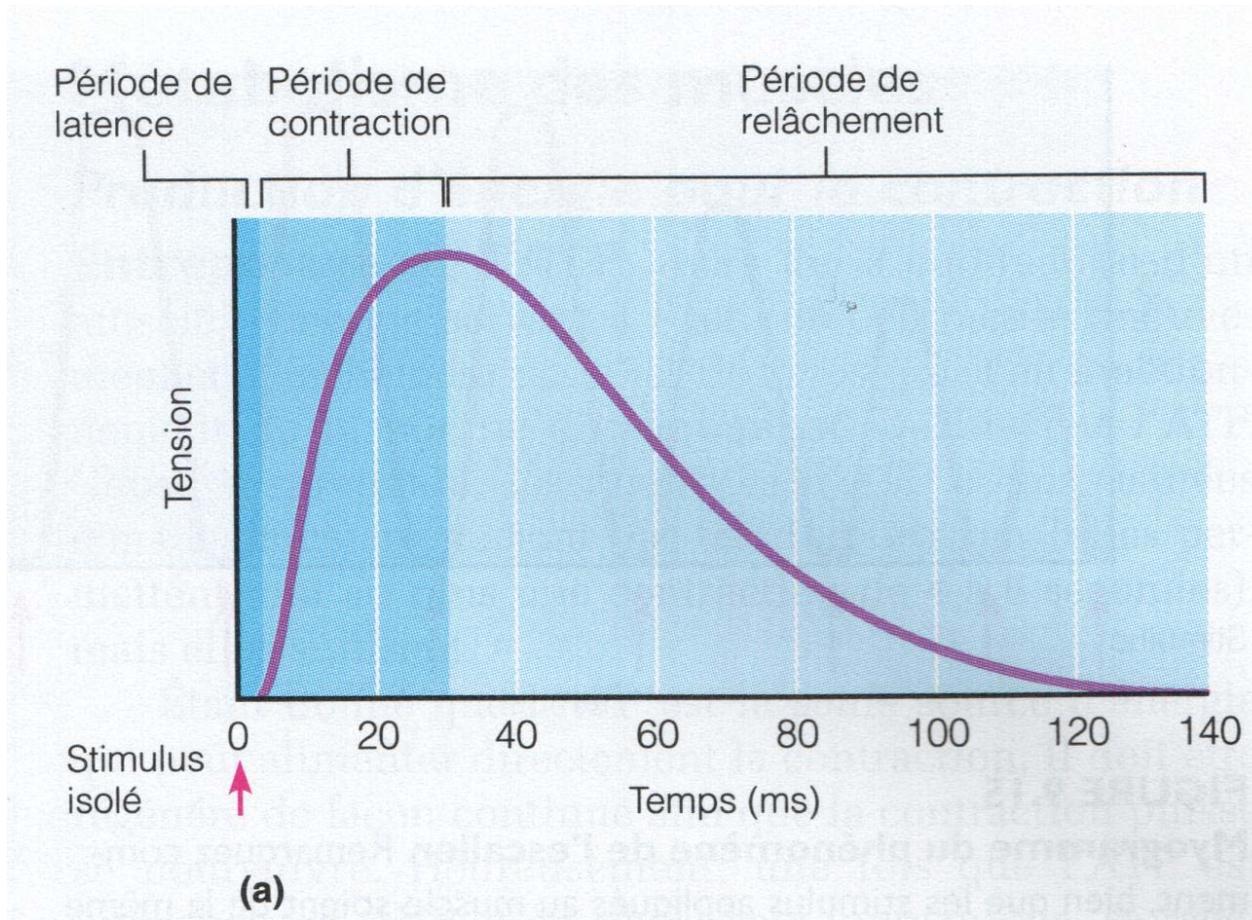
- Un même motoneurone peut régir plusieurs fibres musculaires (pas forcément regroupées)
- **Le motoneurone α** est un neurone dont le corps cellulaire se situe dans la moelle épinière, et la terminaison sur le sarcolemme.
- L'ensemble formé par un motoneurone et toutes les fibres musculaires qu'il dessert est appelé **Unité Motrice**
- **Toutes les fibres musculaires innervés par le même motoneurone ont les mêmes propriétés**

Les unités motrices



La secousse musculaire

- C'est la réponse d'un muscle à un seul stimulus liminaire de courte durée: le muscle se contracte rapidement, puis se relâche.
- +/- vigoureuse (selon le nombre d'UM recruté)



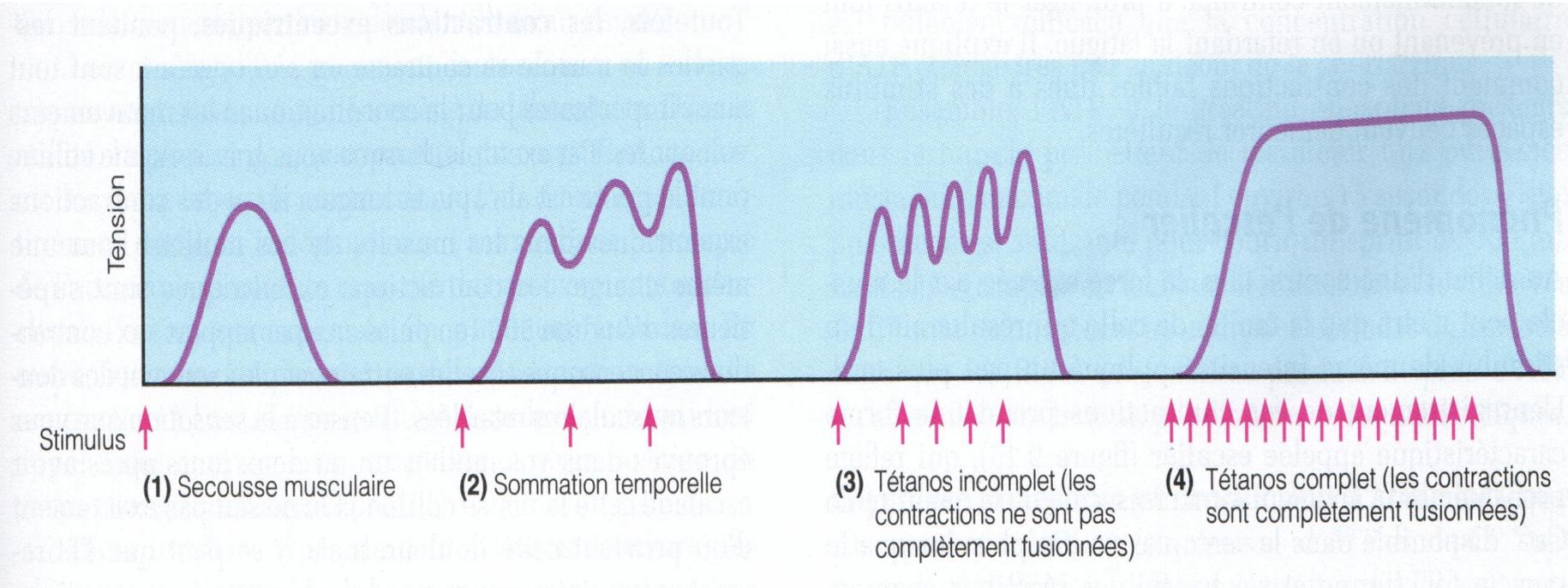
La secousse musculaire

1. Période de latence: les quelques premières millisecondes qui suivent la stimulation (le temps du couplage excitation-contraction)
2. Période de contraction: laps de temps qui s'écoule entre le début du raccourcissement et le maximum de la force de tension : pic du myogramme (10 à 100 ms)
3. Période de relâchement: retour du Ca^{2+} dans le RS (10 à 100 ms)

Sommation temporelle et téтанos

- Si 2 stimulations identiques sont appliquées à un muscle dans un court intervalle, la seconde contraction sera plus vigoureuse que la première.
 - **sommation temporelle** (le second stimulus survient avant que le muscle soit complètement détendu)
- **Le téтанos** : mode habituel de contraction musculaire dans notre organisme : les neurones moteurs envoient des volées d'influx provoquant des secousses.

Sommation temporelle et téтанos



Sommation spatiale

- La force de la contraction dépend de la sommation spatiale : nombre d'unités motrices qui se contractent simultanément
- La stimulation nerveuse d'un nombre croissant d'unités motrices d'un même muscle entraîne une force croissante exercée par ce muscle.
 - contractions musculaires faibles et précises : nombre relativement peu élevé d'unités motrices sont stimulées
 - contraction avec force : grand nombre d'unités motrices recrutées

Les types de fibres musculaires

	Fibres ST	Fibres FTa	Fibres FTb
Diamètre	Faible	Important	Important
Couleur (Myoglobine)	Rouge (élevée)	Rose (intermédiaire)	Blanche (faible)
Vascularisation	Importante	Intermédiaire	Faible
Propriétés contractiles	Faible et longue	Intermédiaire	Forte et brève
Activité ATPasique	+	+++	+++
Source ATP	Oxydation	glycolyse	Glycolyse
Enzymes anaérobies	Faible	Intermédiaire	Forte
Fatigabilité	+	++	+++
Enzymes Krebs	+++	++	+
Nbre Mitochondries	+++	++	+

Les types de fibres musculaires

- En moyenne la plupart des muscles contiennent :
 - environ 50 % de fibres ST
 - 25 % de fibres FTa
 - 25 %
- Le % exact de ces fibres varie en fonction du muscle

Les types de fibres musculaires

Athlète	Sexe	Muscle	%ST	%FT	Surface de section (μm^2)	
					ST	FT
Sprinters	M	Jumeaux	24	76	5,878	6,034
	F	Jumeaux	27	73	3,752	3,930
Coureurs de fond	M	Jumeaux	79	21	8,342	6,485
	F	Jumeau	57	43	6,333	6,116
	F	Vaste externe	51	49	5,487	5,216
Nageurs	M	Deltoïde postérieur	67	33	—	—
Haltérophiles	M	Jumeaux	44	56	5,060	8,910
	M	Deltoïde	53	47	5,010	8,450
Triathlètes	M	Deltoïde postérieur	60	40	—	—
	M	Vaste externe	63	37	—	—
	M	Jumeaux	59	41	—	—
Canoéistes	M	Deltoïde postérieur	71	29	4,920	7,040
Lanceur de poids	M	Jumeaux	38	62	6,367	6,441
Non entraînés	M	Vaste externe	47	53	4,722	4,709
	F	Jumeaux	52	48	3501	3141

Avez-vous des questions ?



Homonculus

Sources

Livres

- G. Brailon. Système nerveux central : à l'usage des étudiants en médecine. Ed. Doin
 - C. Collet. Mouvements et cerveau : neurophysiologie des activités physiques et sportives. Ed. Deboeck
- W. Kahle, H. Leonhardt, W. Platzer. Atlas de poche d'anatomie tome 3 : système nerveux et organes des sens. Ed. Flammarion
- G. Pocock et C.D. Richards (traduction JF Brun, C Caillaud, J Mercier et E Reynaud). Physiologie humaine. Ed. Masson
 - E. Marieb. Anatomie et physiologie humaines. Ed. Deboeck.
 - Purves et al., Life: The Science of Biology, 4th Edition

Sources

Sites internet

- <http://www.anatomie-humaine.com/neuroa/plan.html>

- <http://www.lecerveau.mcgill.ca>

- http://www.univ-brest.fr/S_Commune/Biblio/ANATOMIE/Web_anat/Snc/Tronc_Cerebral/Extrapyr/amidoux.jpg

- www.DennisKunkel.com

Sources

Cours

- Cours de Christian Collet. Université Claude Bernard Lyon 1. UFR STAPS. Lyon.
- Cours de Cyril Martin. Université Claude Bernard Lyon 1. UFR STAPS. Lyon.
 - Cours de Leroyer. UFR STAPS. Réunion.
 - Cours de Ronald Thériault
- Cours de G Bourbonnais. Cégep de Sainte-Foy
- Cours de Rémy Pujol. Faculté de Médecine de Nîmes-Montpellier