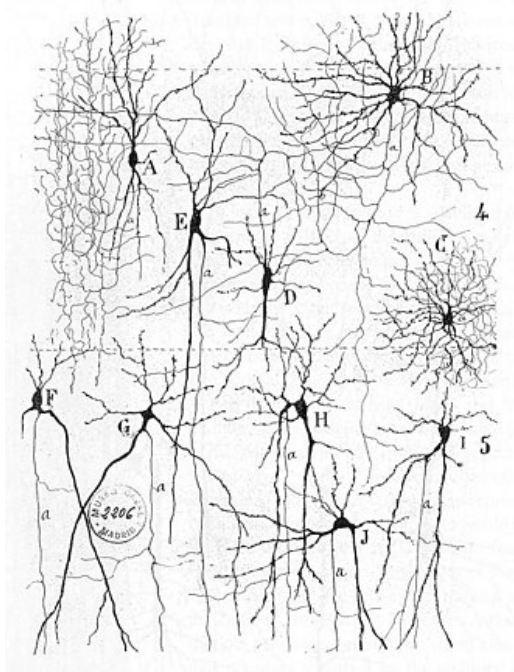


Master systèmes biologiques et concepts physiques

# Biophysique du neurone



Jacques Bourg

[jacques.bourg@cnrs.fr](mailto:jacques.bourg@cnrs.fr)

Post-doctorant, laboratoire de dynamique corticale et  
intégration multisensorielle.



# L'émergence de la *théorie du neurone*

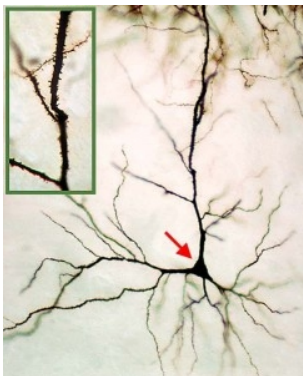
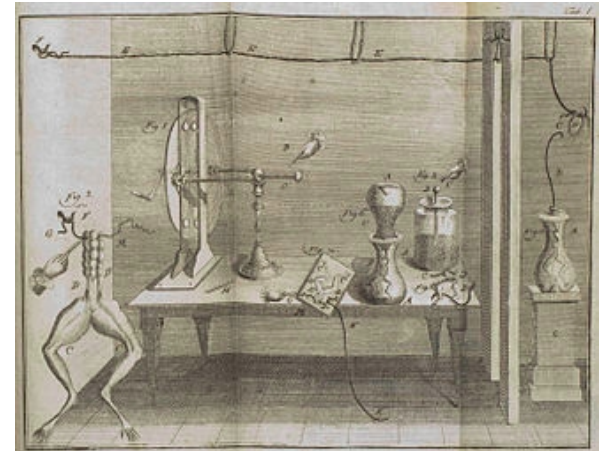


**1590:** Invention du **microscope optique** par Janssen et Galilée.

**1646:** Kircher utilise un microscope optique pour **observer le sang**.

**1791:** Galvani formule l'hypothèse d'une « **électricité animale** », qui serait sécrétée par le cerveau.

**1863:** Otto Friedrich Karl Deiters fait la première **description anatomique** des cellules nerveuses, avec leurs dendrites et axone. Il postule que les dendrites fusionnent entre elles et forment un **réseau continu** : **théorie reticulaire**.



**1873:** Camilo Golgi met au point une technique de coloration au nitrate d'argent permettant de marquer une petite quantité de cellules dans leur intégralité (1%).

**1887:** Santiago Ramón y Cajal utilise la méthode de Golgi, pour montrer que les neurones sont des cellules distinctes: **théorie du neurone**.

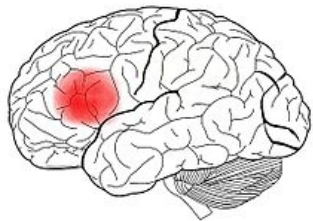
# L'émergence de la *théorie de l'esprit*



**IV a.c.:** Platon et Aristote affirment que l'intelligence de l'homme ne peut pas être assimilée ni expliquée par son corps matériel (**Dualisme**).

Aristote affirme que **le cœur est le siège** “des sensations, des passions et de l'intelligence” (contre Hippocrate, qui pointe le cerveau). Aristote avance que **le cerveau ne sert qu'à refroidir le corps** (une sorte de radiateur, en raison de sa grande vascularisation).

Au **XVII<sup>e</sup> siècle**, Descartes affirme que l'esprit est une substance immatérielle. Il affirme contre La Métrie que les animaux seraient des assemblages de pièces et rouages, dénués de conscience et de pensée (**animaux-machines**). Pour La Métrie le corps doit être considéré comme une machine dans laquelle le cerveau est l'organe où se manifeste ce qu'on appelle l'âme (**théorie de l'homme-machine**).



**1861:** Broca localise les **aires spécialisées dans le langage**.

**1936:** invention de l'**ordinateur programmable** par Turing.

**1940:** Donald Hebb introduit le **connectionnisme**, qui postule que les phénomènes mentaux ou comportementaux sont des processus émergents qui résultent de l'activité de **neurones interconnectés**.

# Sommaire

- 1- Qu'est ce qu'un neurone ?
- 2- Principes de la polarisation électrique du neurone
- 3- Principes du potentiel d'action
- 4- La conduction dans les câbles cellulaires
- 5- La transmission synaptique
- 6- La plasticité synaptique

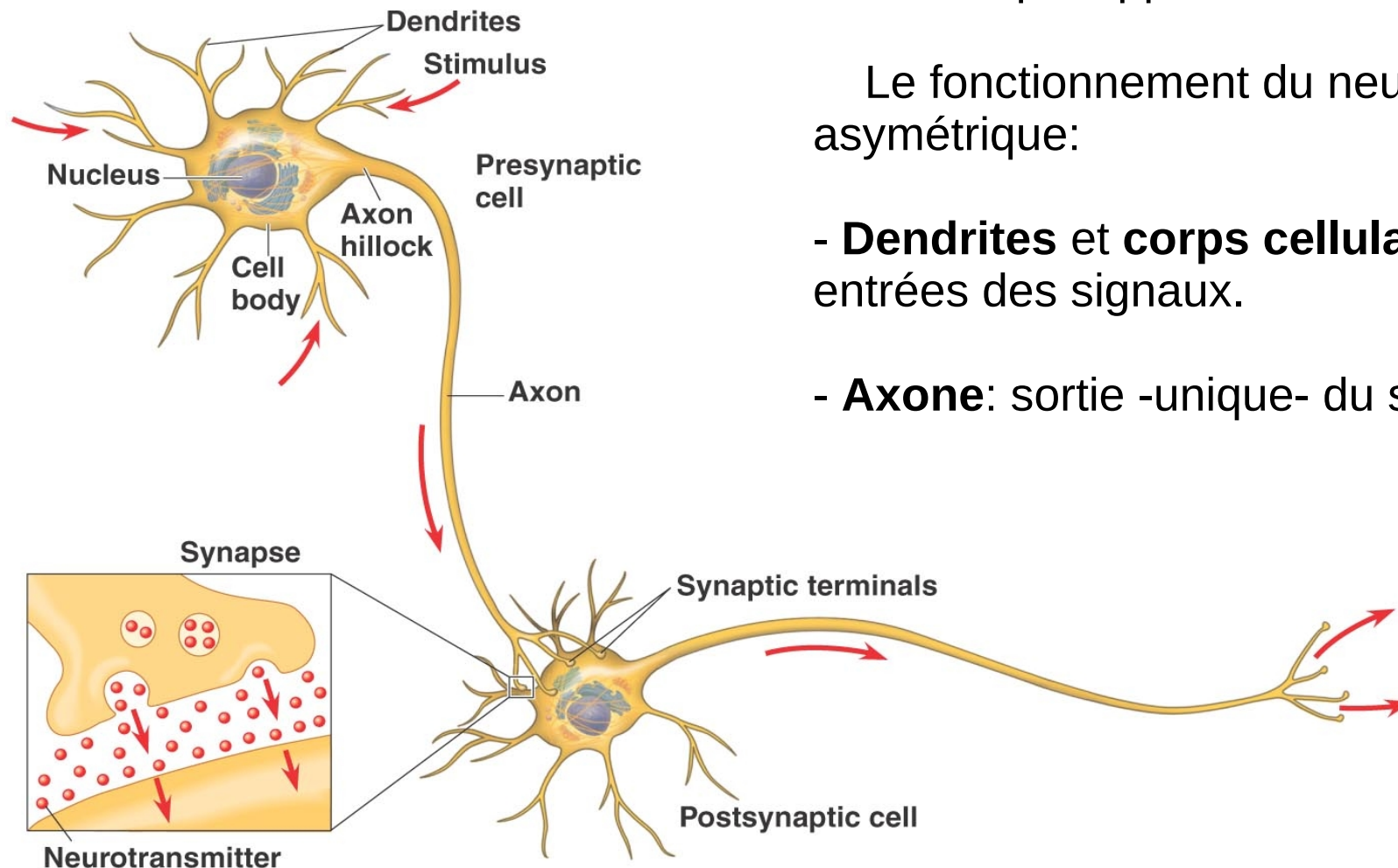
Première partie: qu'est ce qu'un neurone ?

# Les neurones sont des cellules polarisées

Les neurones transmettent un signal bioélectrique appelé l'**influx nerveux**.

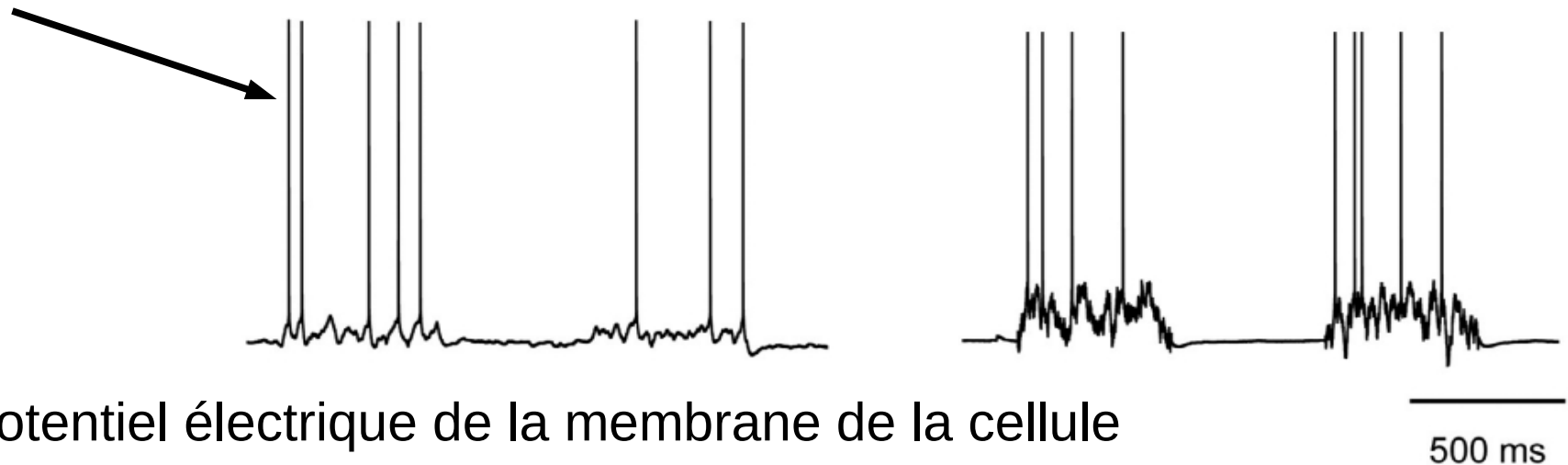
Le fonctionnement du neurone est asymétrique:

- **Dendrites et corps cellulaire (soma):** entrées des signaux.
- **Axone:** sortie -unique- du signal.



# Le neurone est l'unité fonctionnelle de base du système nerveux

Potentiels d'action

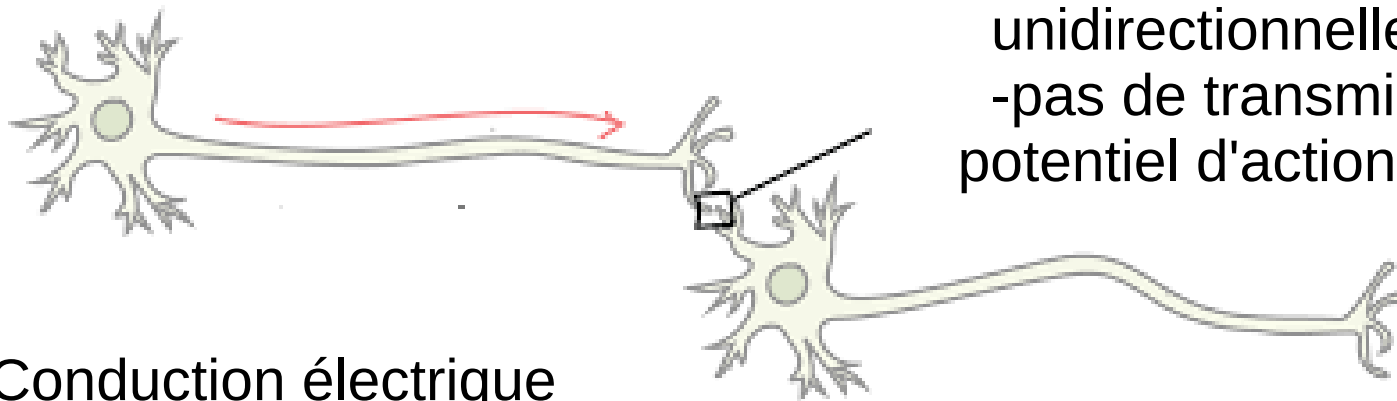


Ils ont deux propriétés physiologiques : **l'excitabilité**, c'est-à-dire la capacité de répondre aux stimulations et de convertir celles-ci en impulsions nerveuses, et la **conductivité**, c'est-à-dire la capacité de transmettre les impulsions.

# La polarité permet la transmission orientée des informations, d'un neurone à l'autre, suivant trois processus:

1: Conduction électrique passive (dendrites et soma).

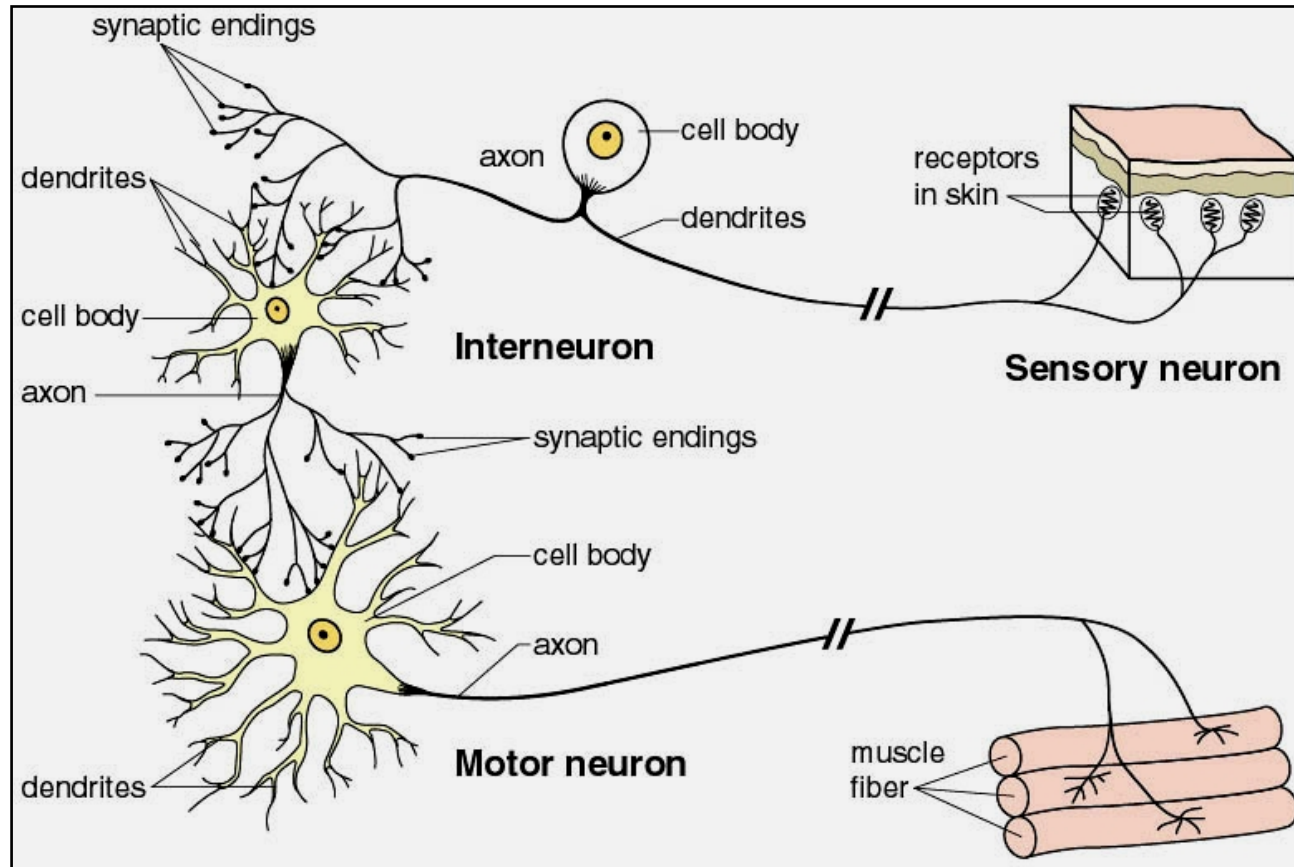
2: Conduction électrique active et binaire: potentiel d'action unidirectionnel (axone)



3: Transmission chimique unidirectionnelle et binaire -pas de transmission sans potentiel d'action- (synapse).

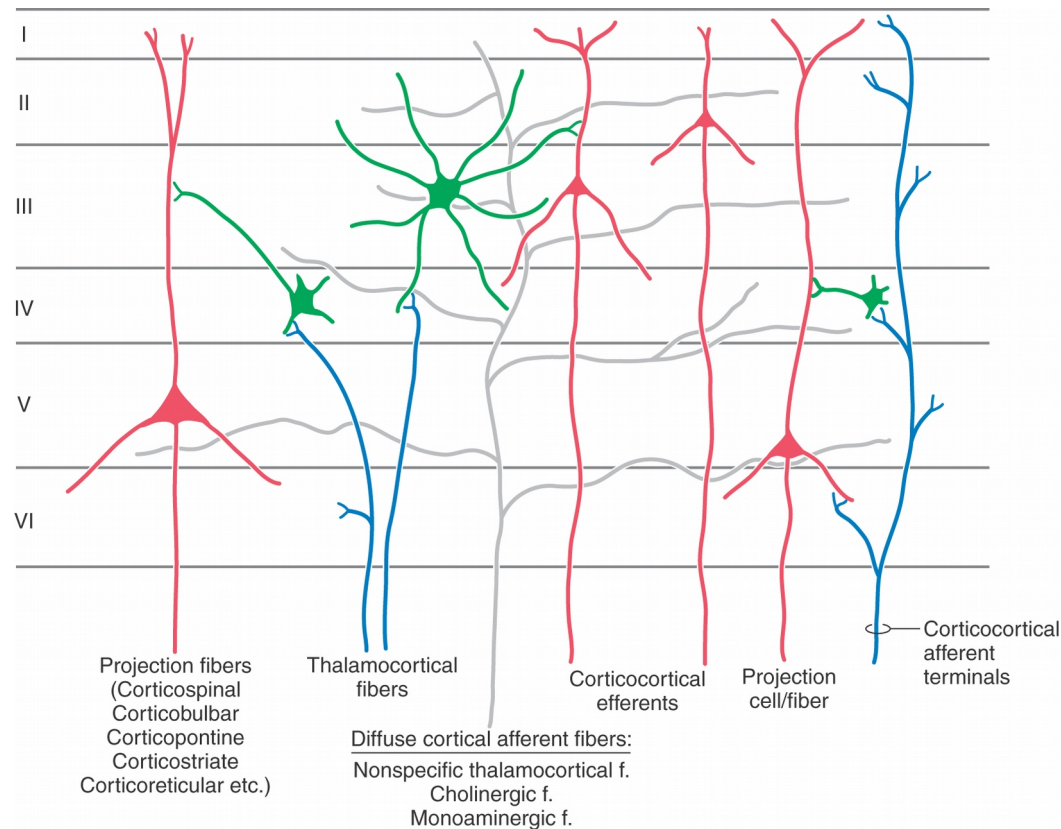


# Les catégories fonctionnelles des neurones périphériques



- **Neurones sensoriels** transportent les informations de la périphérie vers les centres de traitement des informations.
- **Interneurones** interprètent et modulent les influx nerveux
- **Motoneurones** transportent les informations aux muscles

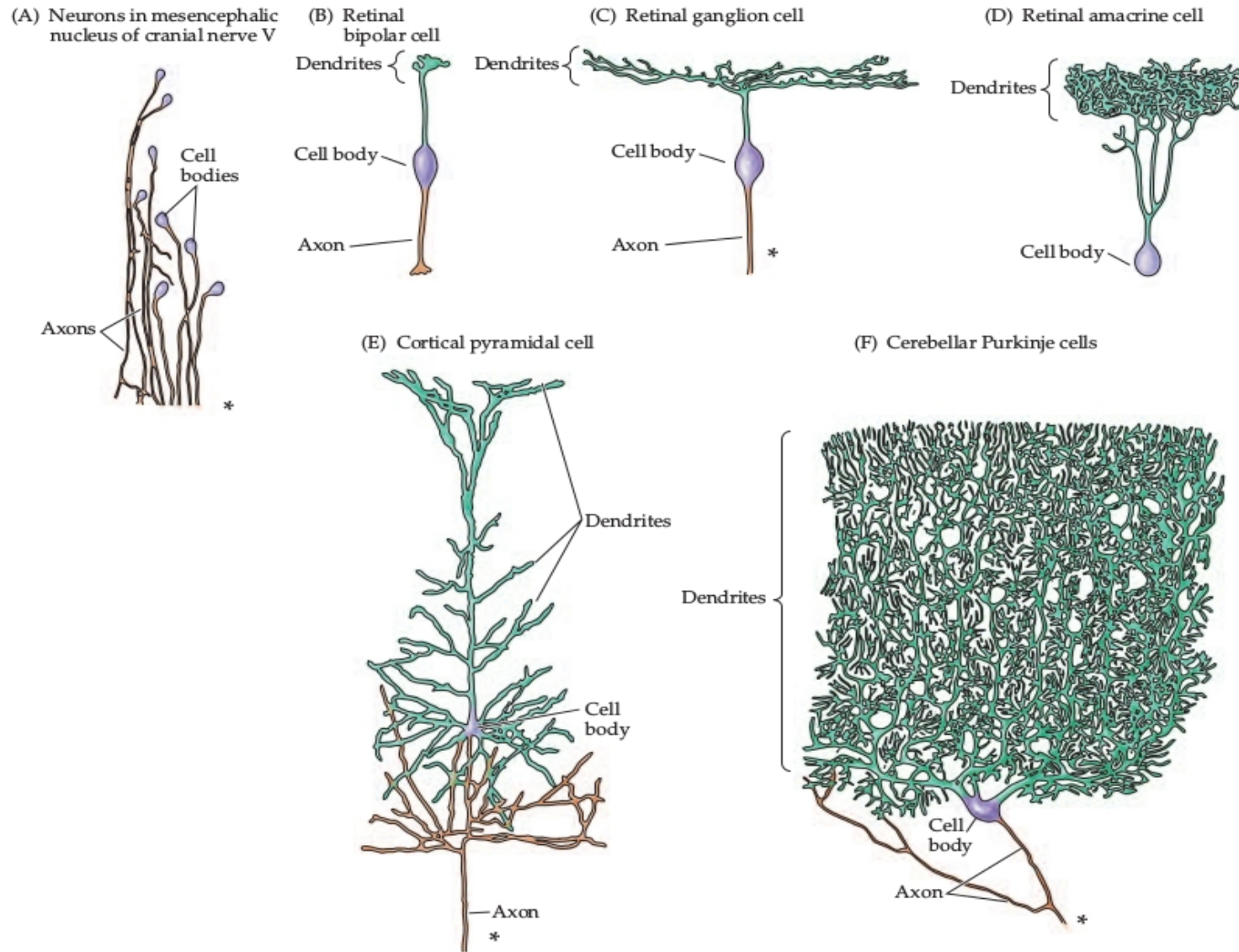
# Les catégories fonctionnelles des neurones centraux



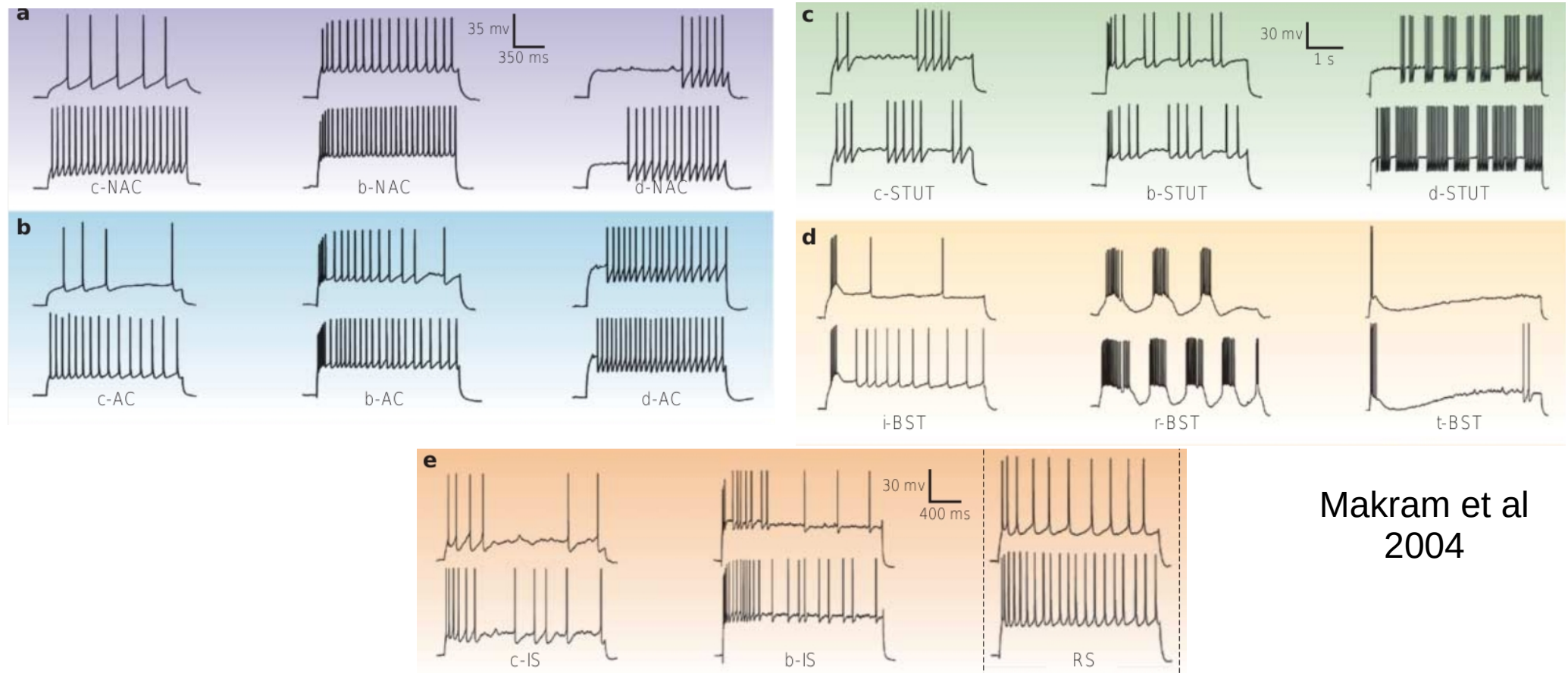
**Neurones de projection:** projettent en dehors du circuit considéré.

**Interneurones:** connections locales uniquement.

# Une très grande diversité morphologique



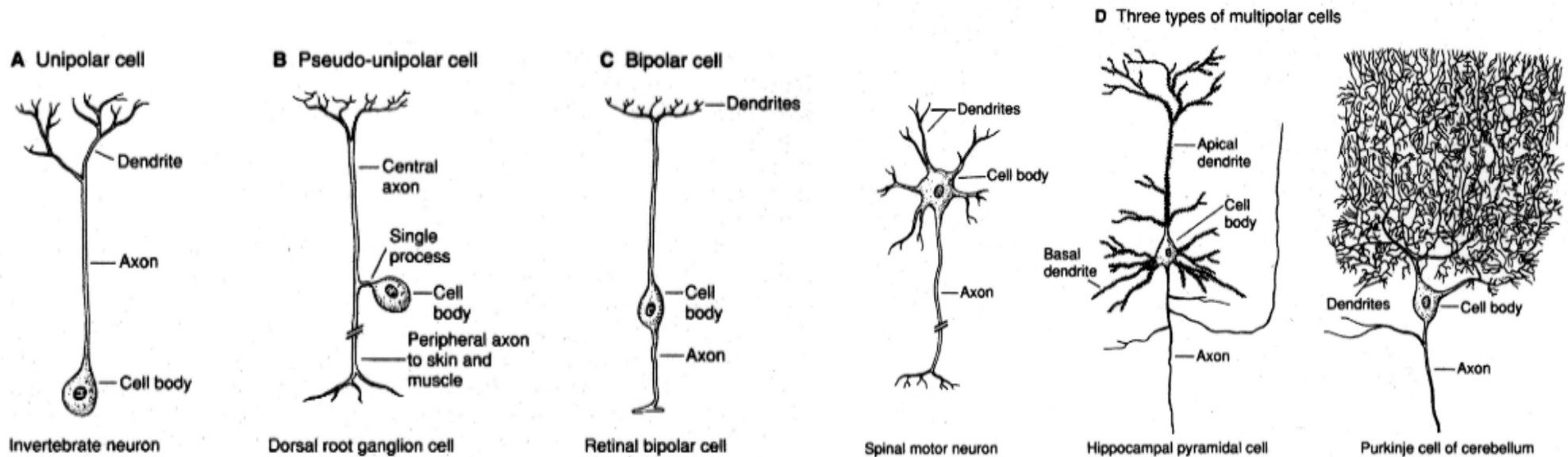
# Des dizaines de profils électrophysiologiques différents



Makram et al  
2004

# Comment classe t'on les neurones ?

## Quel est le niveau de détail biologique qui convient pour comprendre le fonctionnement des circuits neuronaux ?

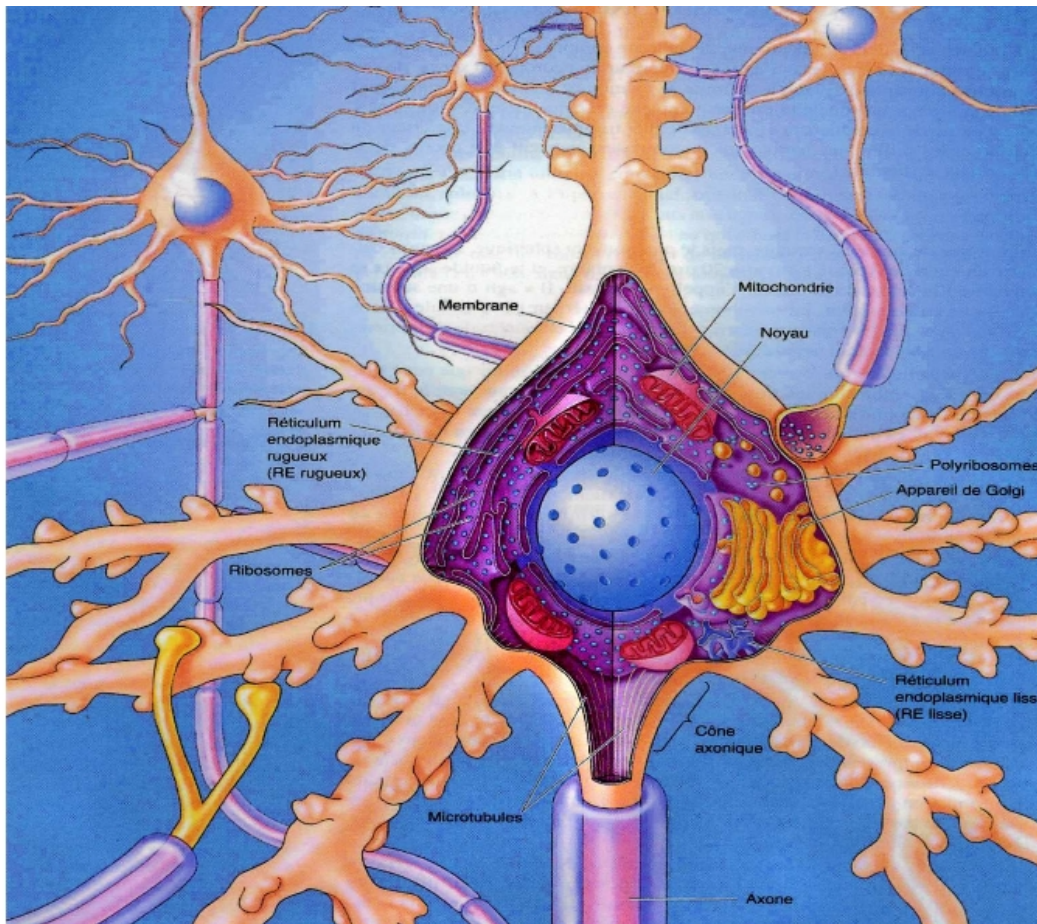


La taxonomie des neurones doit prendre en compte de nombreux paramètres: la forme, la connectivité locale et de longue portée, l'histoire développementale, l'expression génique et le profil électro-physiologique.



# Anatomie du neurone (1)

Le neurone est une cellule spécialisée



Le neurone possède des structures communes à toutes les cellules animales:

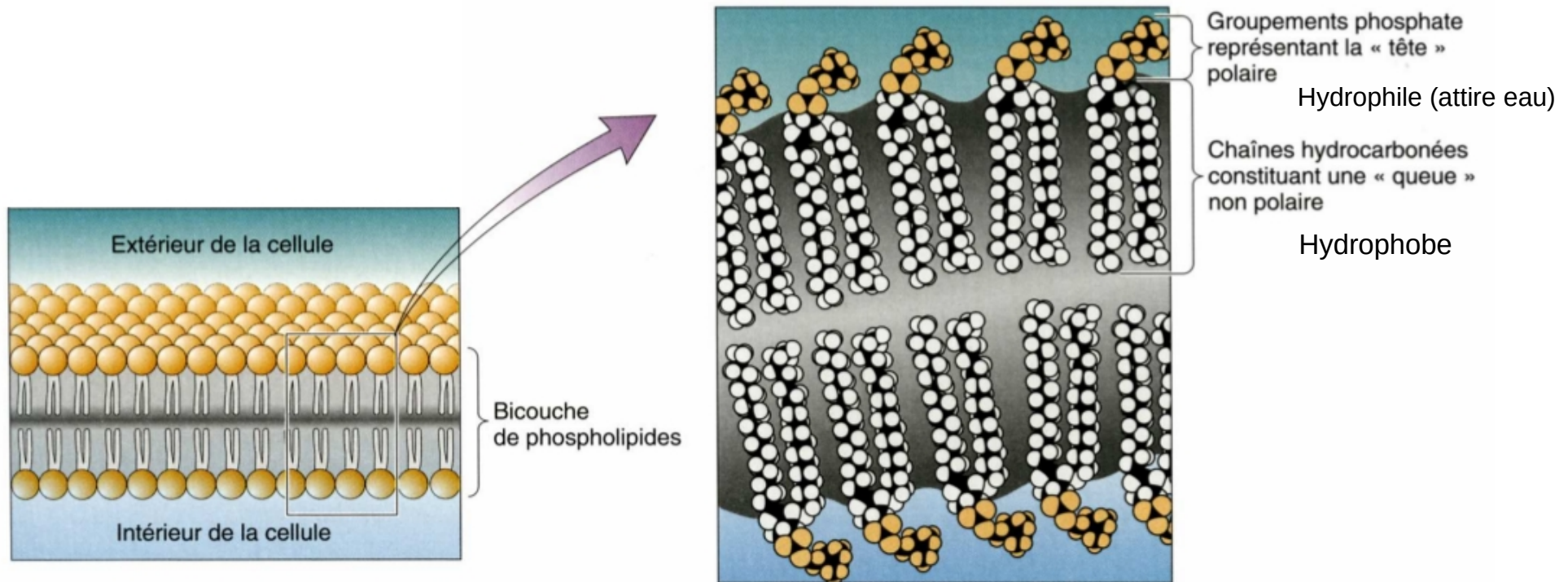
- Noyau
- Mitochondrie
- Appareil de Golgi
- Réticulum endoplasmique
- Ribosomes
- Membrane

Et des structures spécialisées:

- axone
- gaine de myéline
- terminaison axonale
- dendrites
- canaux ioniques
- pompes ioniques

# Anatomie du neurone (2)

## La membrane



Dans un milieu aqueux, les phospholipides s'associent spontanément pour former une **bicouche sphérique**. La membrane de la cellule sépare le milieu intracellulaire du milieu extracellulaire et constitue une barrière imperméable aux molécules hydrophiles.

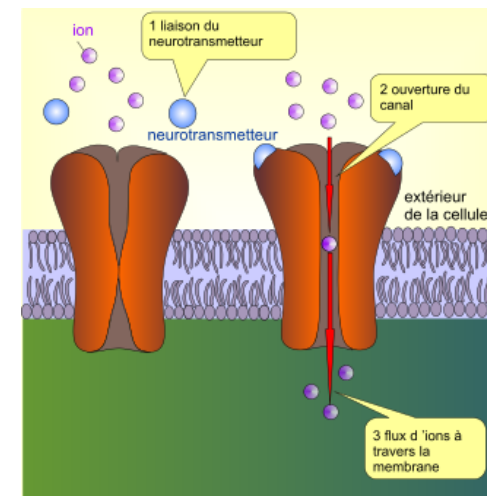
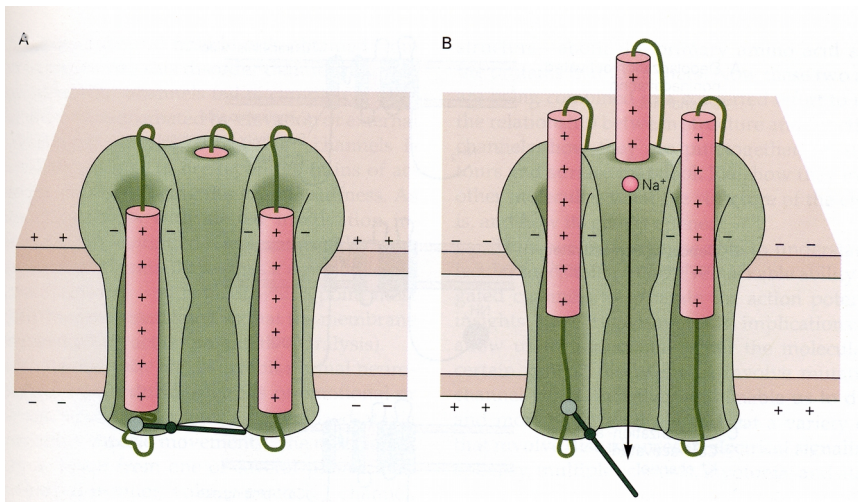
# Anatomie du neurone (3)

## Les canaux ioniques

Les canaux ioniques sont des protéines transmembranaires qui régulent le trafic d'ions entre le milieu **intra et extra cellulaire**.

Trois catégories importantes:

- **Canaux de fuite**: ouverts en permanence.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ : responsables du potentiel d'équilibre.
- **Voltage dépendants** ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , ...): génération/transmission potentiel d'action et exocytose .
- **Ionotropes**: s'ouvrent en présence d'un ligand particulier qui déclenche l'ouverture du canal ionique: localisés au niveau des neurones postsynaptiques où ils convertissent un signal chimique en un signal électrique.





# Anatomie du neurone (3)

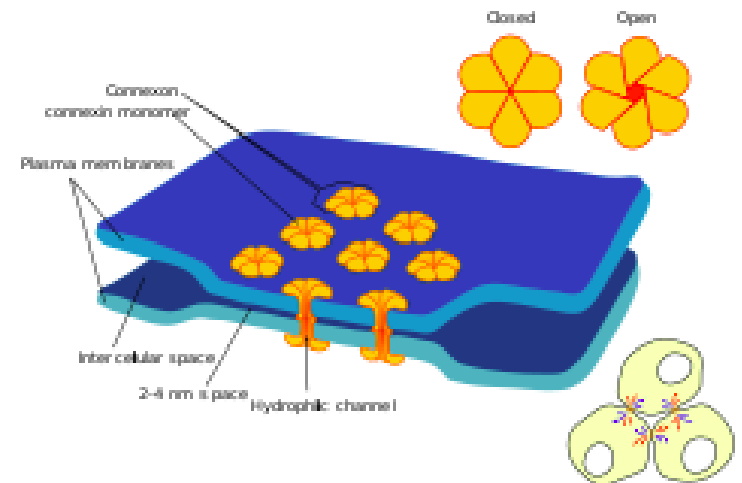
## Les canaux ioniques

D'autres canaux ioniques peuvent être ouverts par : des étirements mécaniques, des variations de température, de pH, des protéines G, des variations d'osmolarité.

Les canaux ioniques sont caractérisés par leur **selectivité**: certains canaux ne laissent passer qu'un seul type d'ion: calcium, sodium, eau... Alors que d'autres - comme les canaux nicotiniques- laissent passer tous les ions positifs monovalents.

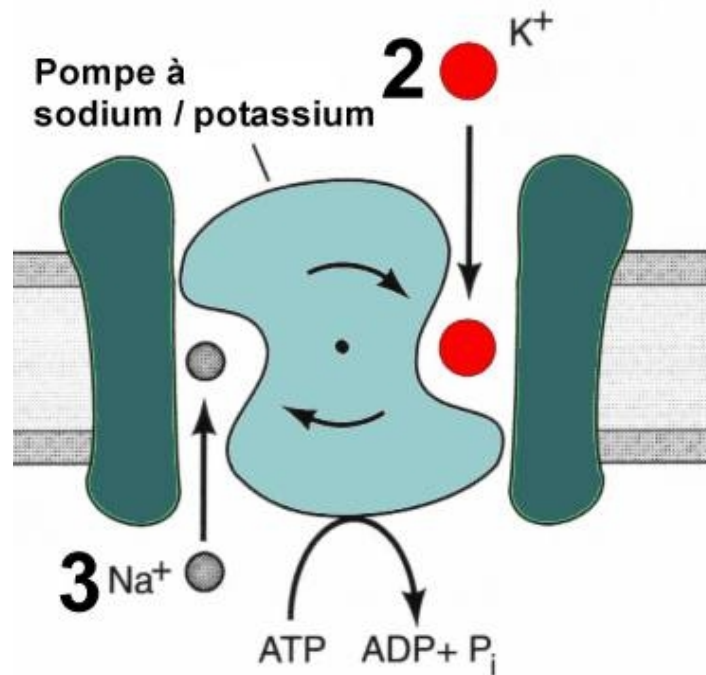
Le degré de selectivité d'un canal ionique à un ion donné s'appelle la **permeabilité**. La **conductance** mesure le degré avec lequel les canaux permettent le passage des ions.

Il existe un type particulier de canal ionique qui permet de mettre en contact une cellule avec une autre: les **jonctions communicantes**.



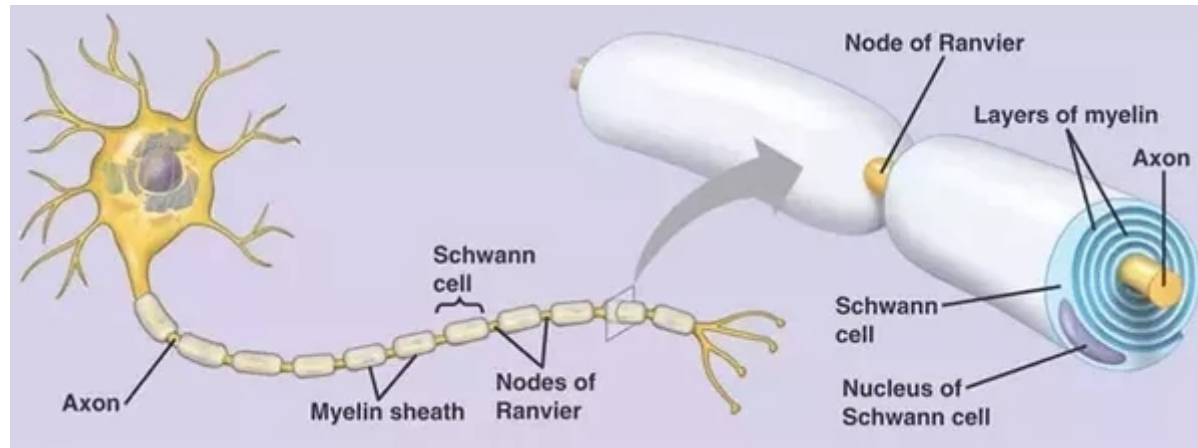
# Anatomie du neurone (4)

## Les pompes ioniques

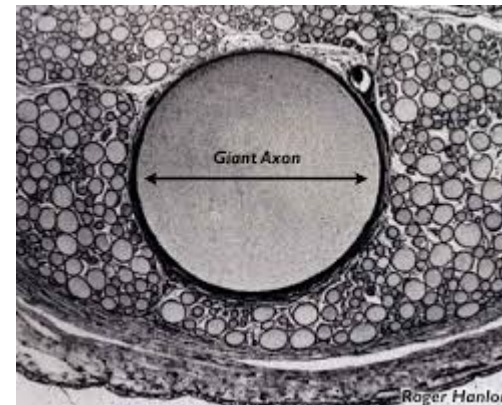
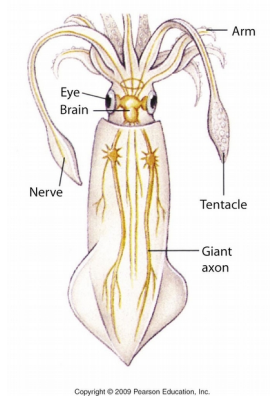


# Anatomie du neurone (5)

## Les axones et les gaines de myéline

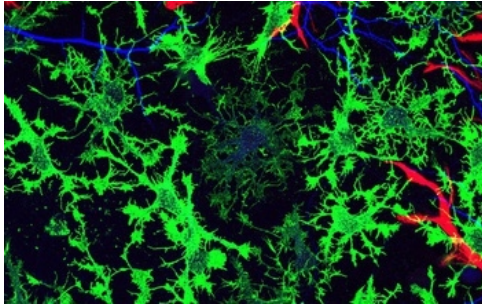


Les axones non-myélinisés conduisent l'influx nerveux à des vitesses de l'ordre de 0.5-2.0 m/s, alors que les axones myélinisés entre 80-120 m/s, grâce à la **conduction saltatoire** entre les noeuds de ranvier.



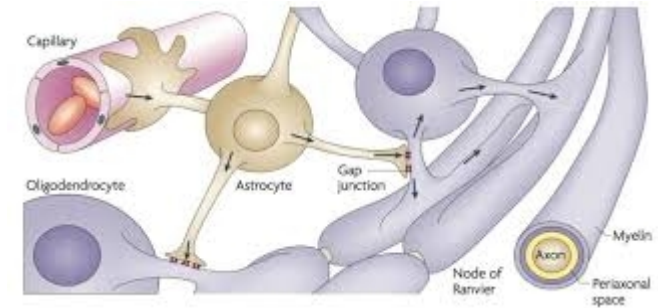
# Apparté: les cellules gliales

50 % du volume du cerveau

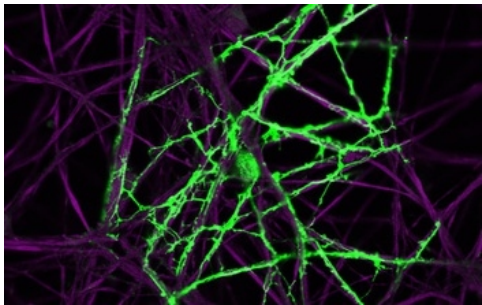


## Astrocytes

- Régulent flux sanguin
- Approvisionnent les neurones en nutriments.
- Nettoient le milieu extracellulaire.



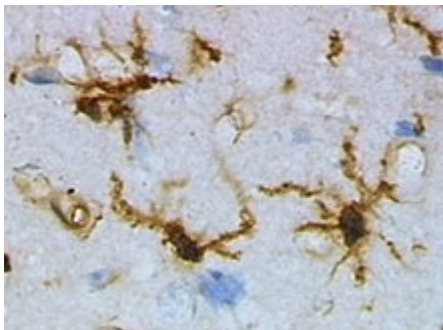
## Oligodendrocytes et cellules de Swann



- Formation de la gaine de myéline:  
SNC: Oligodendrocytes.  
SNP: cellules de Swann.

→ **Rôle dans le traitement de l'information: action modulatrice sur la neurotransmission (mal comprise).**

## Microglie



- Défense immunitaire.
- Type de globule blanc.