

Le réveil



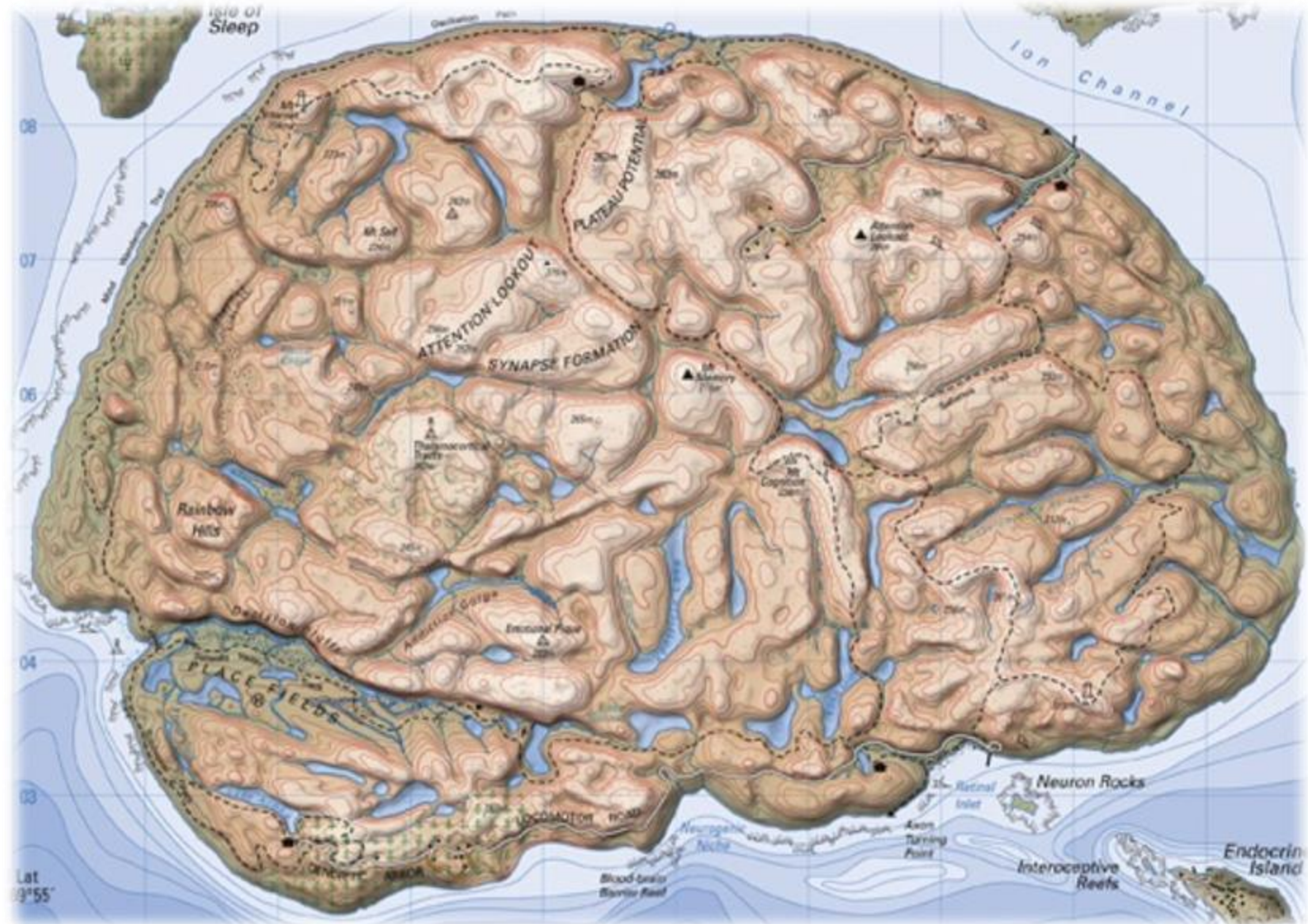
Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation

Denis Jabaudon

Département des Neurosciences
Fondamentales
Clinique de Neurologie

denis.jabaudon@unige.ch

1er novembre 2025



Programme des cours

1. Système nerveux central: Introduction et principes d'organisation (2h)

D. Jabaudon

2. Développement du système nerveux : Grands principes (2h)

A. Ruiz i Altaba

3. Neurotransmission et excitabilité neuronale (2h)

D. Jabaudon et A. Carleton

4. Développement du système nerveux : Aspects cellulaires et connectivité (2h)

D. Jabaudon

5. Neurotransmission et plasticité (5h)

A. Carleton



Programme des cours

6. Neuroimagerie anatomique et fonctionnelle (2h)

P. Vuilleumier

7. Systèmes moteurs (2h)

D. Jabaudon

8. Systèmes sensitifs (2h)

D. Jabaudon / A. Carleton

9. Système nerveux autonome (2h)

Ch. Quairiaux

10. Etats internes et maladies neurologiques et psychiatriques (2h)

D. Jabaudon et A. Carleton



Iconographie



BIEN CONNAITRE LES DETAILS



EXEMPLE CLINIQUE



APPROCHE EXPERIMENTALE



QUESTION NON RESOLUE



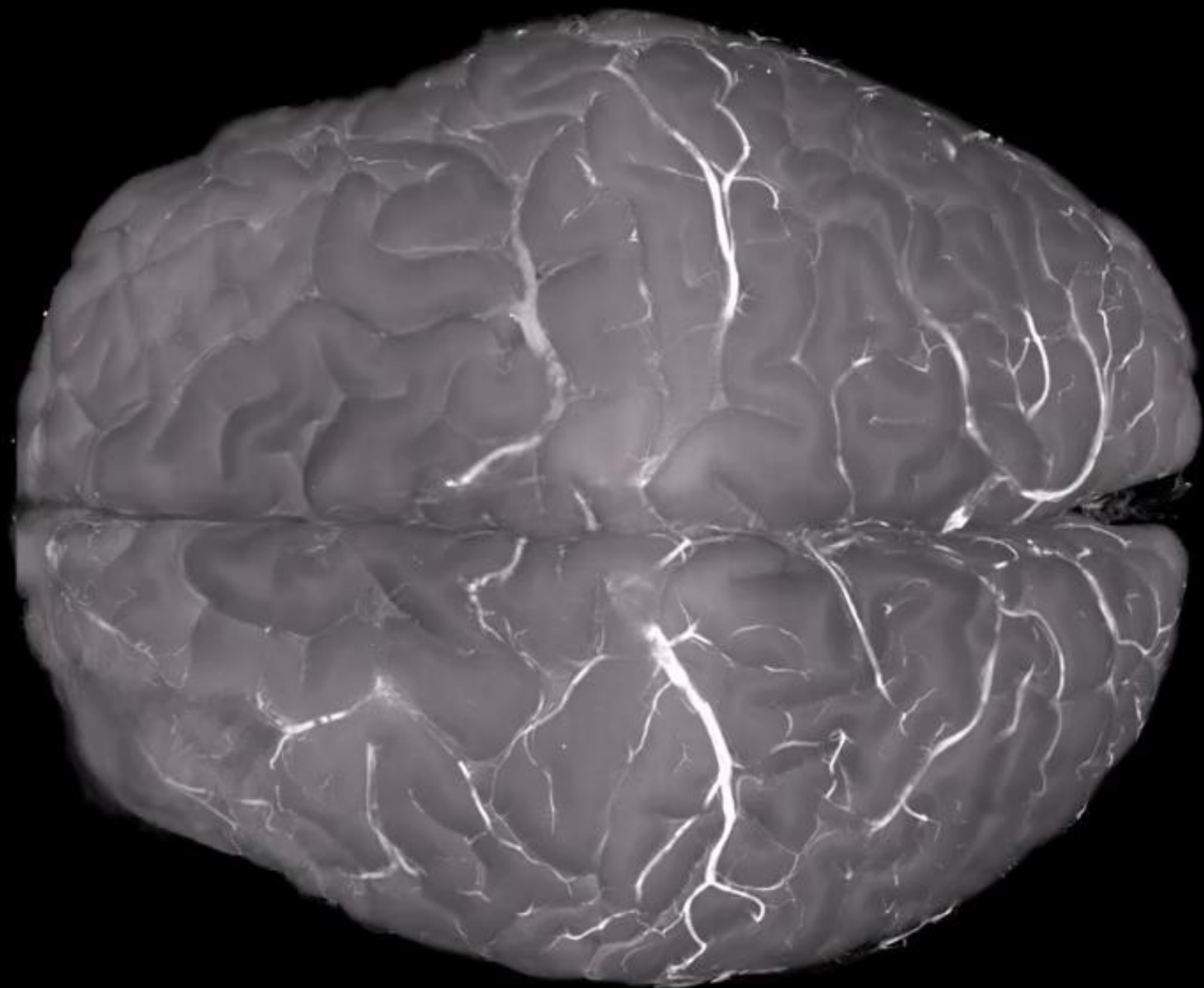
POUR LES SPECIALISTES

L'examen porte sur l'ensemble du cours!

Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation

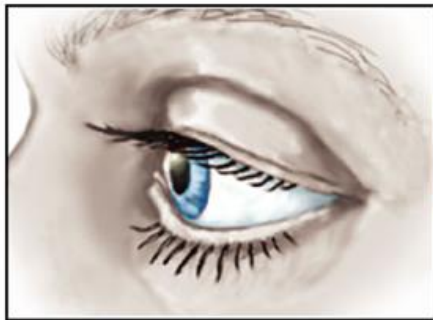
1. Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation (2h)

- Présentation générale du module
- Organisation générale du système nerveux
- Les cellules du système nerveux



25 mm

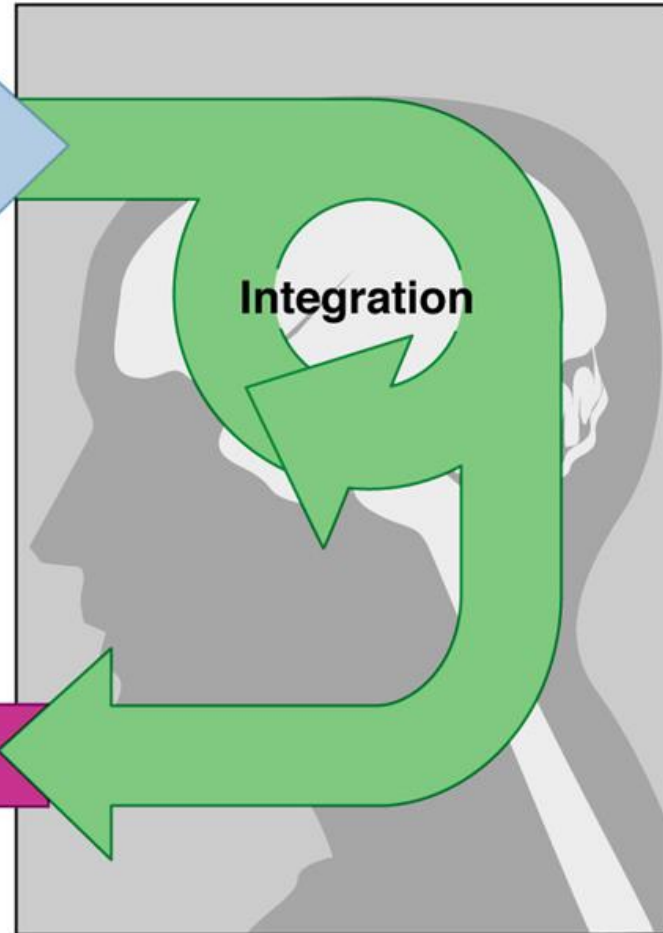
Fonctions du système nerveux



Sensory receptor



Sensory input



Integration



Motor output



Effector cells

Brain and spinal cord

Types de stimuli

Extéroception (détection de l'environnement externe)

- Mécanique: pression (y.c. acoustique) , vibration, température (toucher, audition)
- Optique: vision
- Chimique: olfaction, goût

Proprioception (détection de la position du corps)

- Mécanique: position et déplacement des muscles squelettiques et articulations

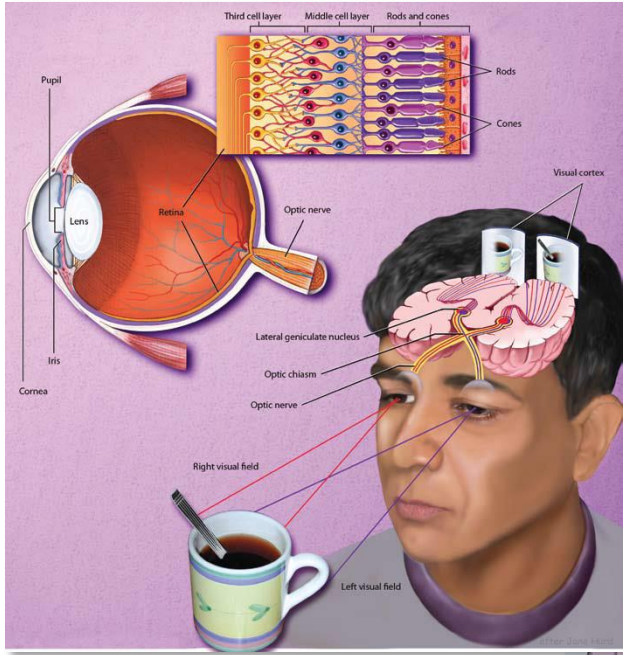
Intéroception (détection de l'environnement interne, viscéral)

- Digestif, respiratoire, cardiovasculaire, urogénital
- Sensations profondes, douleurs

Types d'actions

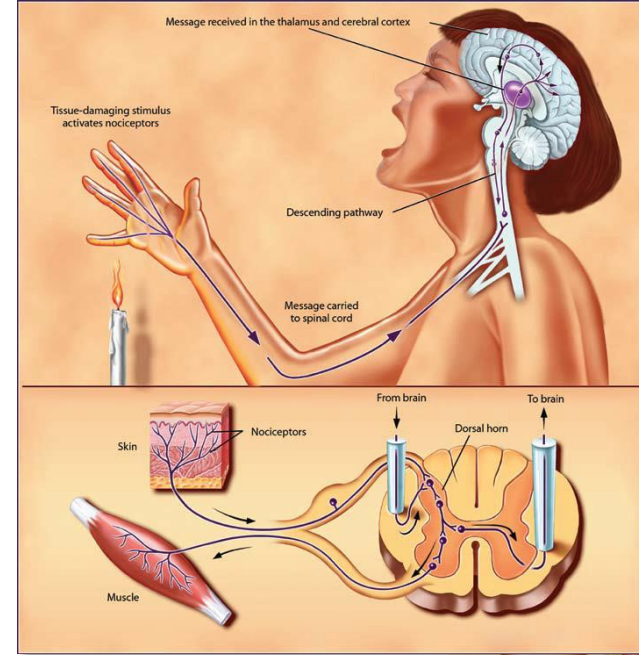
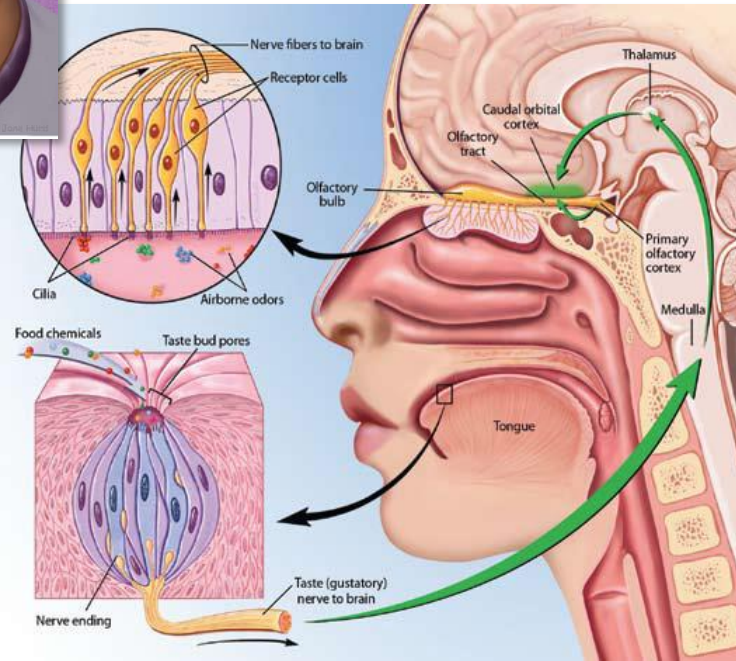


- **Contraction musculaire**
- **Sécrétions** (larmes, sueur, urogénital, digestif)

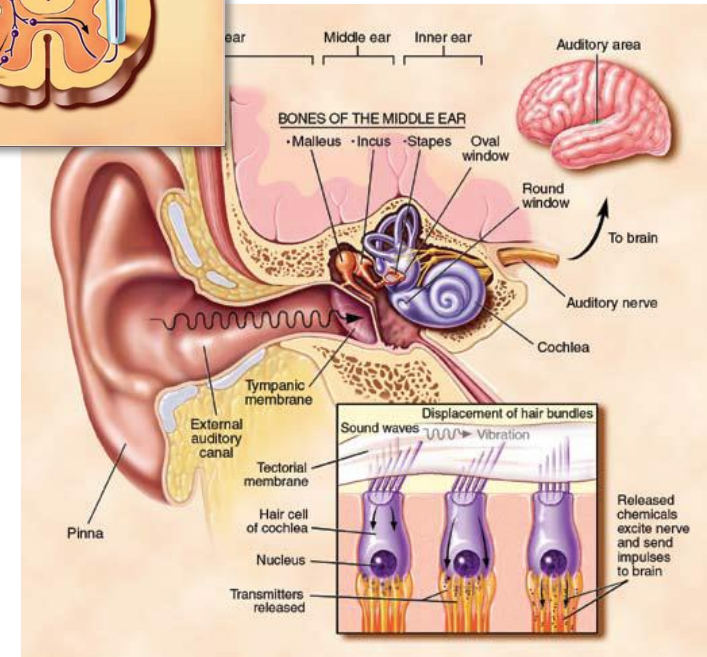


Photoception

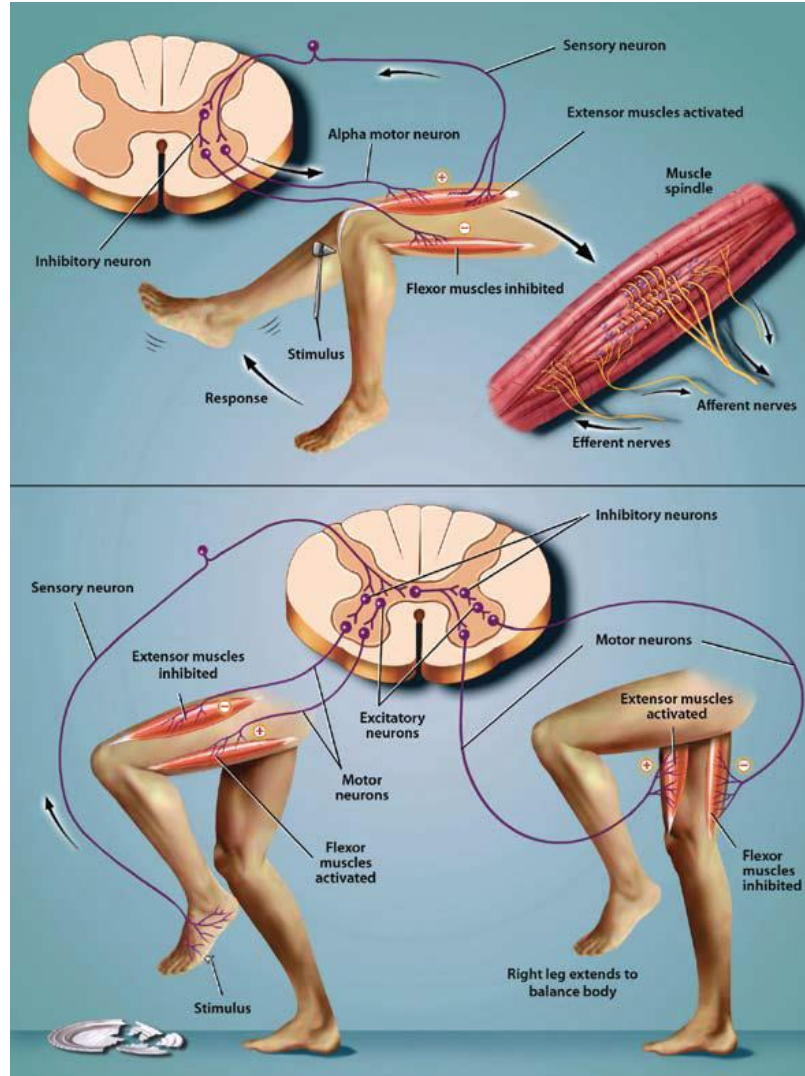
Chemoception



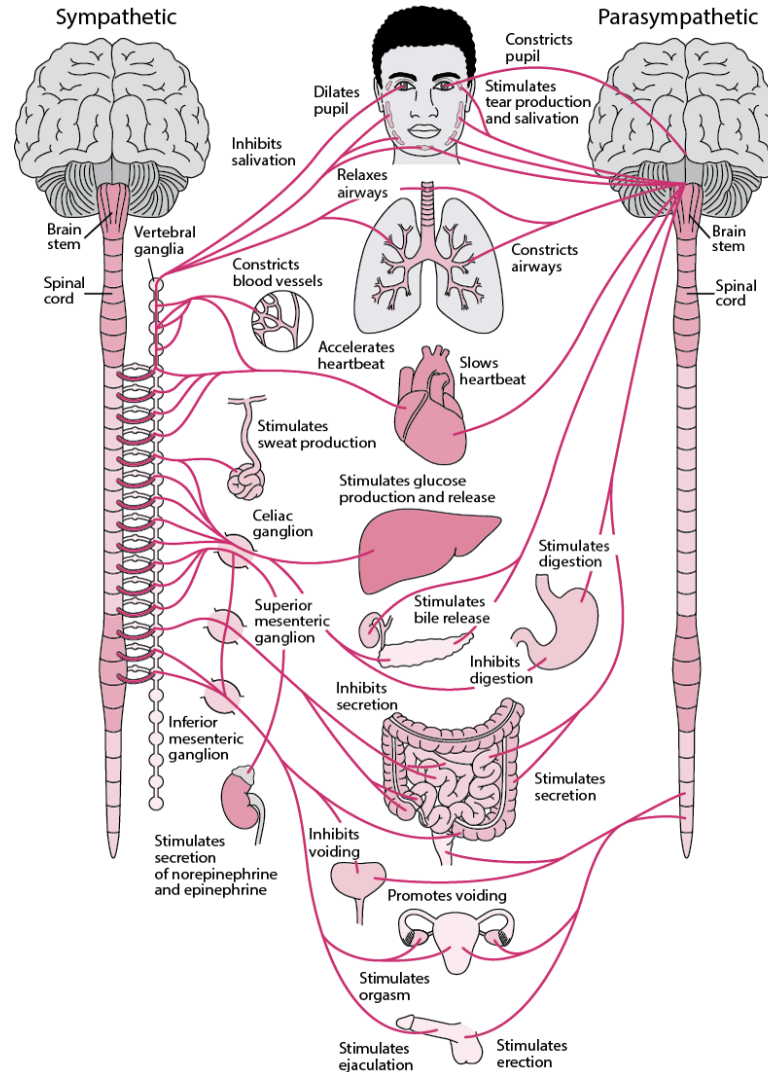
Mécanocception



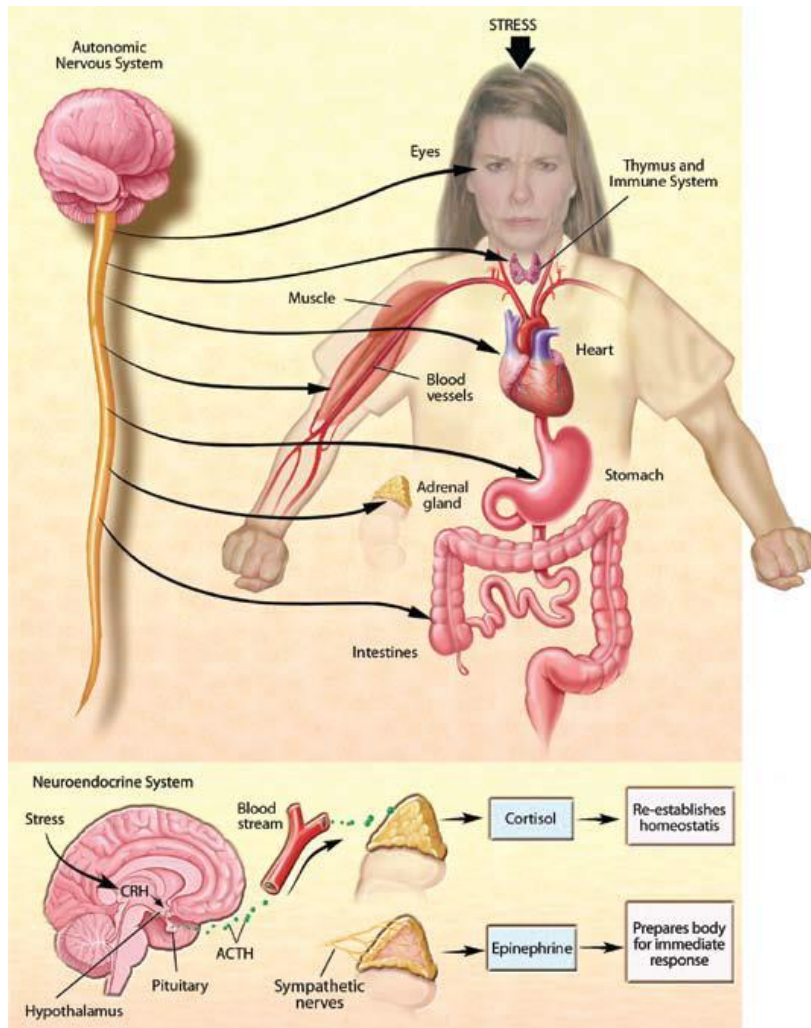
Somatomoteur



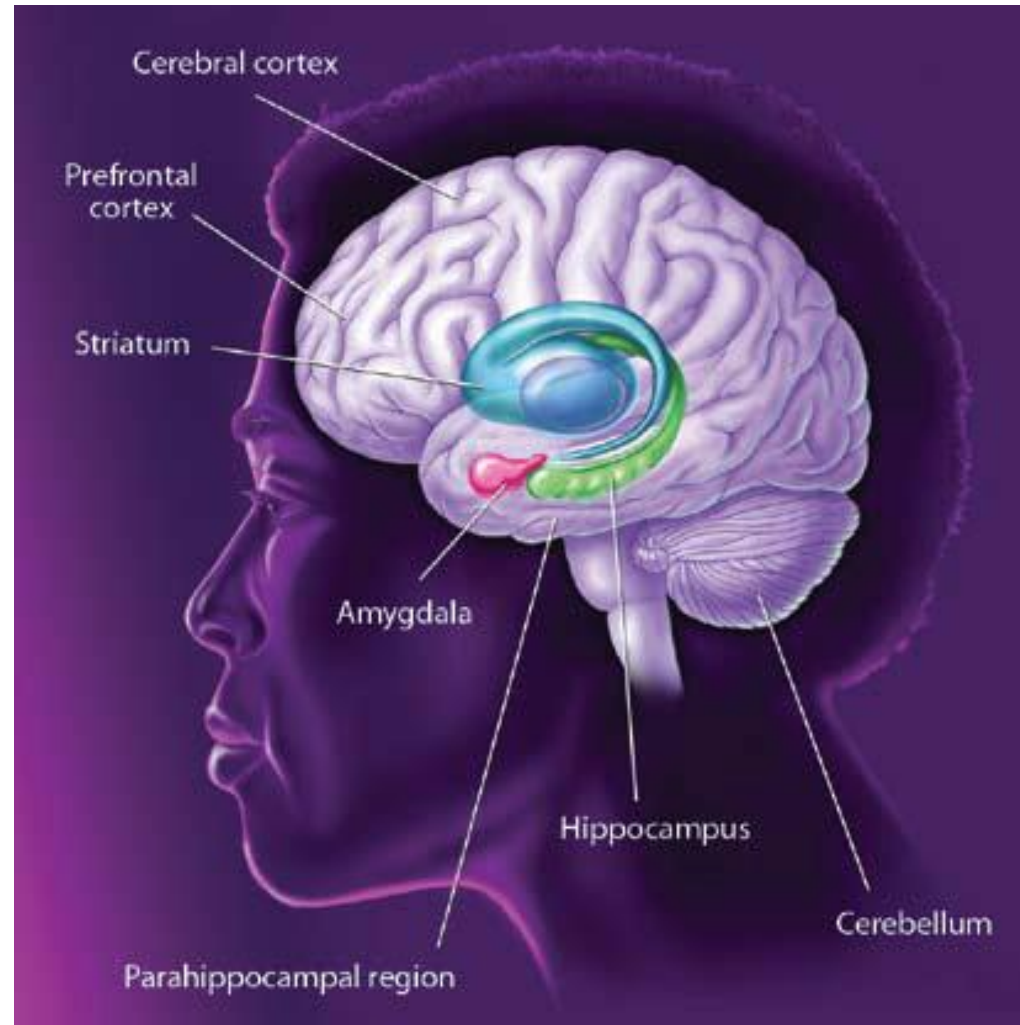
Viscéromoteur



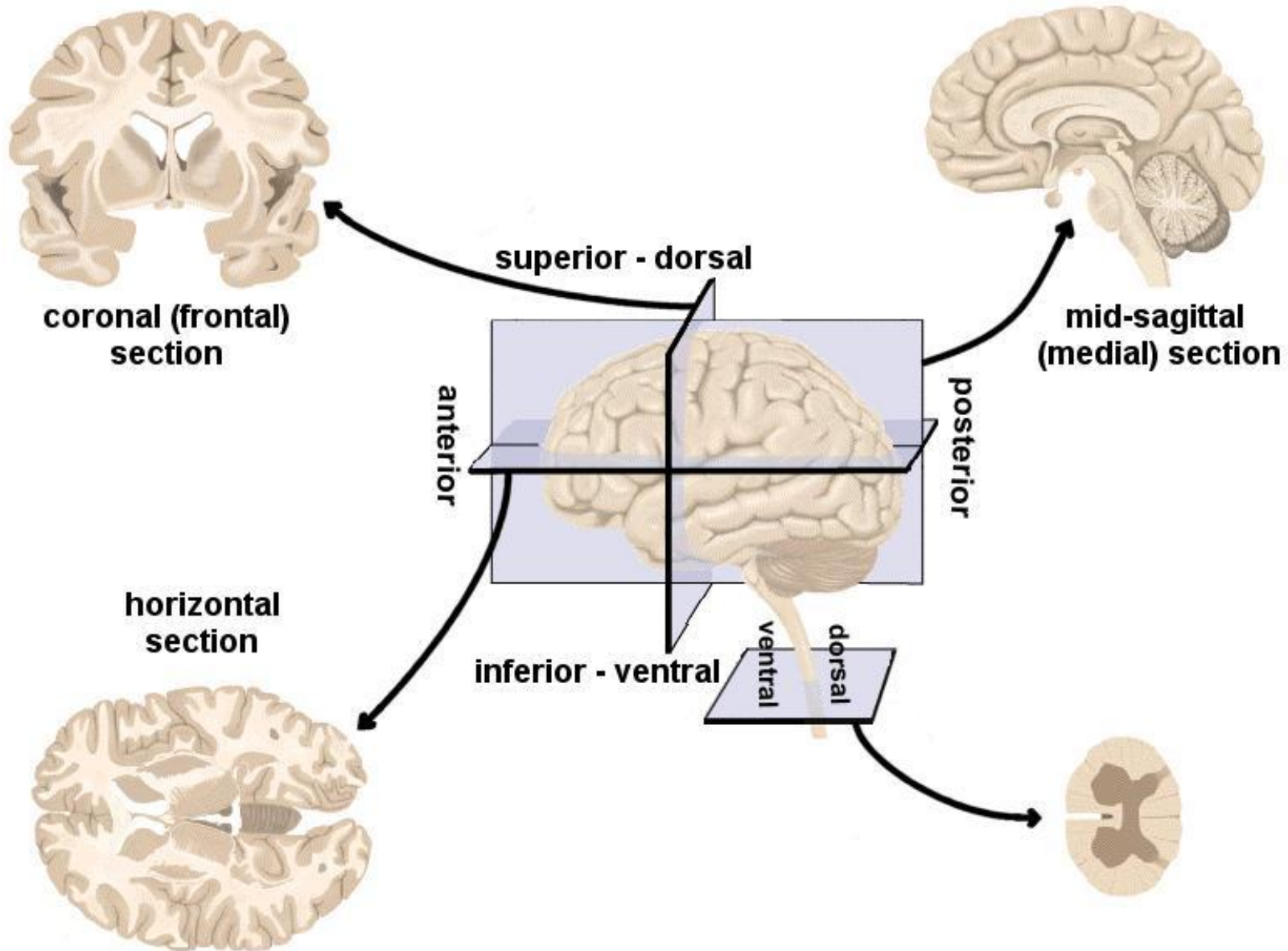
Emotions

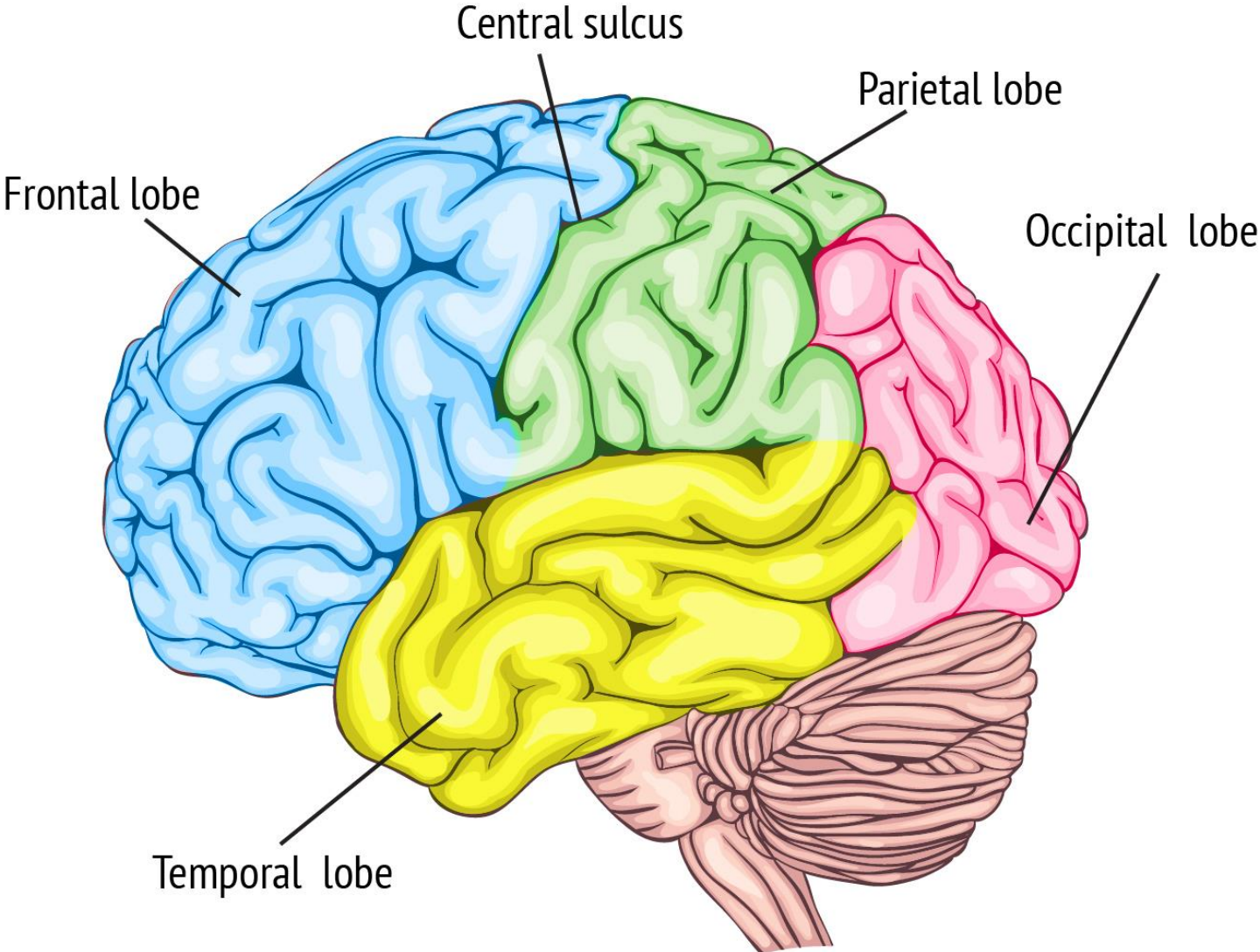


Cognition

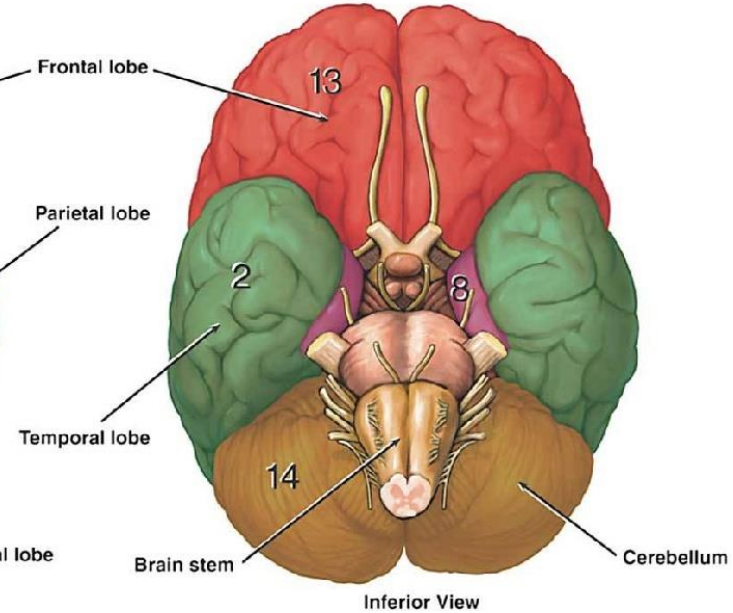
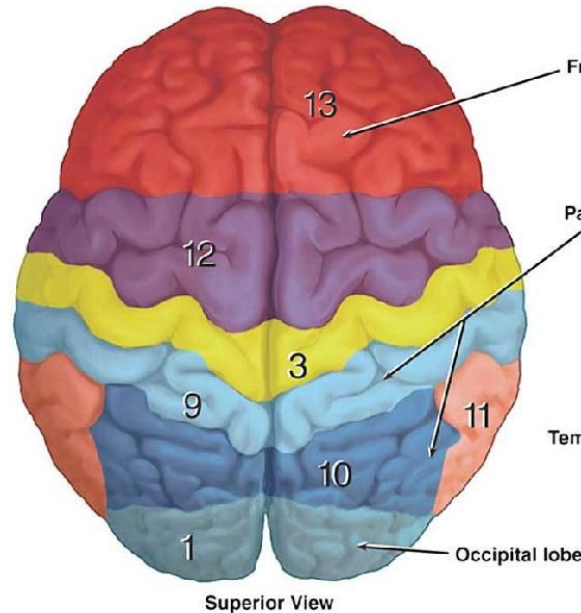
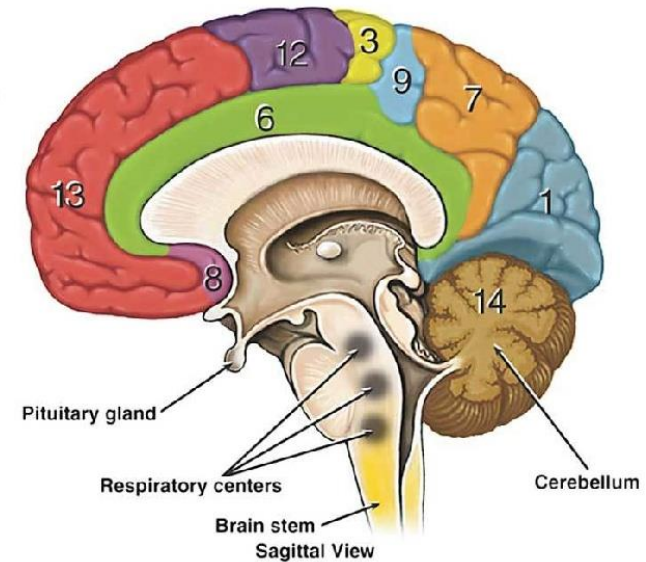
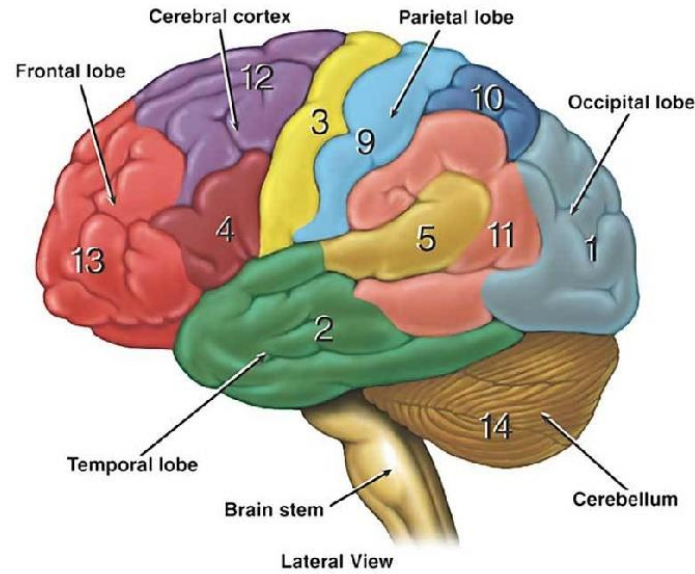


Organisation anatomique du système nerveux





- Functional Areas of the Cerebral Cortex**
- 1 **Visual Area:**
Sight
Image recognition
Image perception
 - 2 **Association Area**
Short-term memory
Equilibrium
Emotion
 - 3 **Motor Function Area**
Initiation of voluntary muscles
 - 4 **Broca's Area**
Muscles of speech
 - 5 **Auditory Area**
Hearing
 - 6 **Emotional Area**
Pain
Hunger
"Fight or flight" response
 - 7 **Sensory Association Area**
 - 8 **Olfactory Area**
Smelling
 - 9 **Sensory Area**
Sensation from muscles and skin
 - 10 **Somatosensory Association Area**
Evaluation of weight, texture, temperature, etc. for object recognition
 - 11 **Wernicke's Area**
Written and spoken language comprehension
 - 12 **Motor Function Area**
Eye movement and orientation
 - 13 **Higher Mental Functions**
Concentration
Planning
Judgment
Emotional expression
Creativity
Inhibition
- Functional Areas of the Cerebellum**
- 14 **Motor Functions**
Coordination of movement
Balance and equilibrium
Posture



Cartes géographiques



Physical Map



Political Map



Communication Map

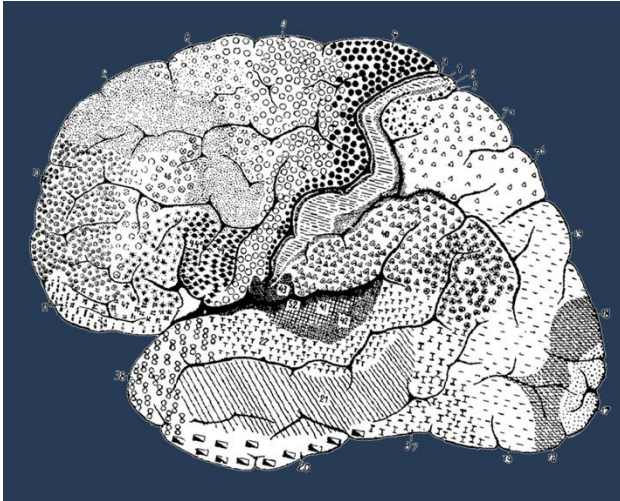


Activity Map

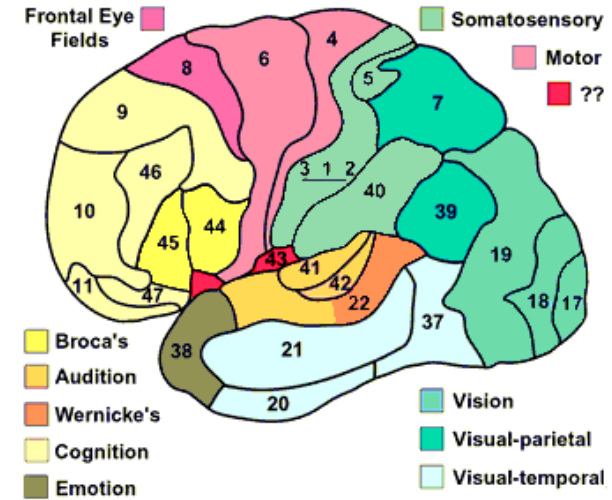




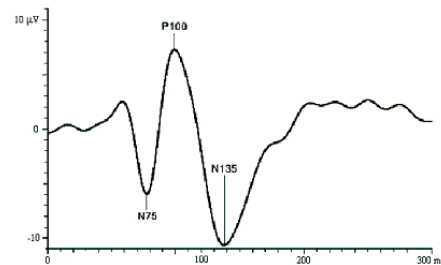
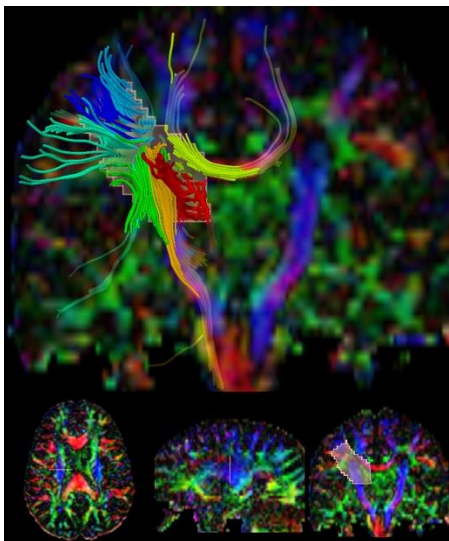
Physical Map: cytoarchitectonics, Brodmann



Political Map: static functional map

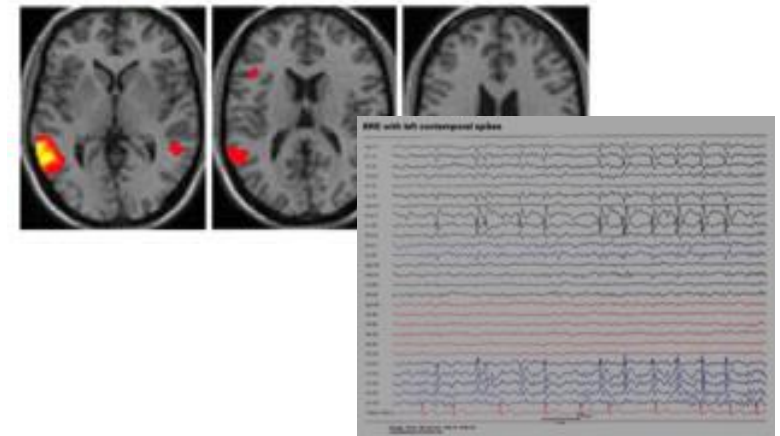


Communication Map: DTI, evoked potentials



Activity Map: EEG, MEG, fMRI,...

Reading Words

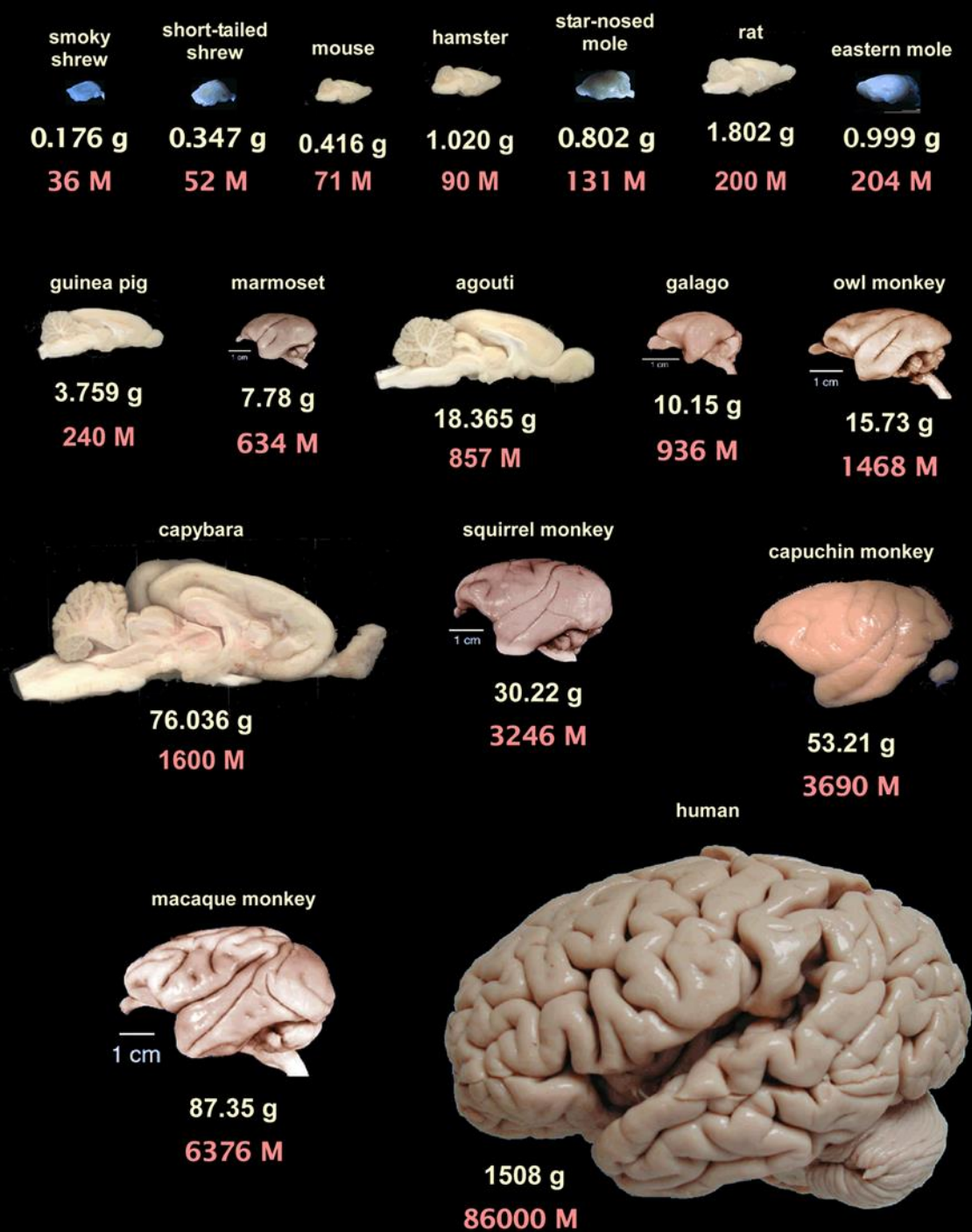




Quelques Chiffres



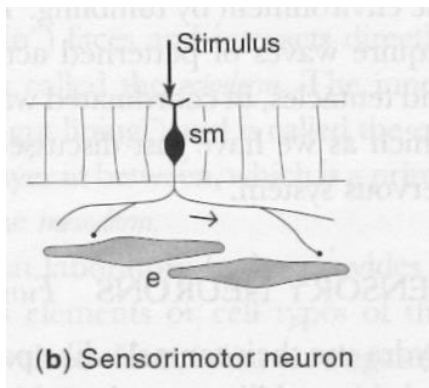
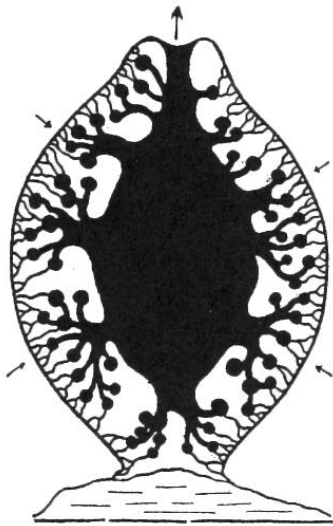
- 100×10^9 neurones dans le cerveau humain (pieuvre 300×10^9 , abeille 950'000)
- 1×10^9 neurones dans la ME; 20×10^9 dans le cortex cérébral; 100×10^8 neurones dans le SN entérique.
- 1000-10'000 synapses / neurone, plus long axone >1m chez homme, 5m girafe.
- Cellules gliales: 1-50x + que de neurones.
- 2% du poids du corps mais 20% de la consommation énergétique (métabolisme basal). Puissance= 20W.
- Vitesse de la conduction nerveuse: variable, max. 100m/s (360 km/h).



Origines du système nerveux

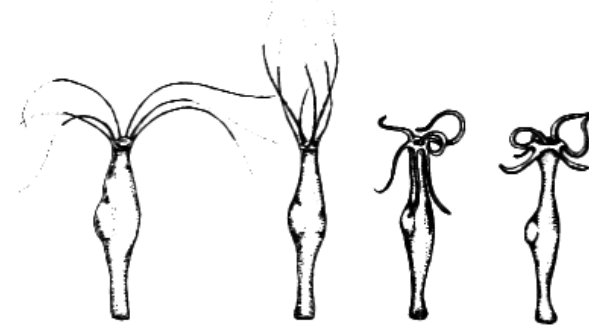


(1) Eponge



Neurones sensorimoteurs

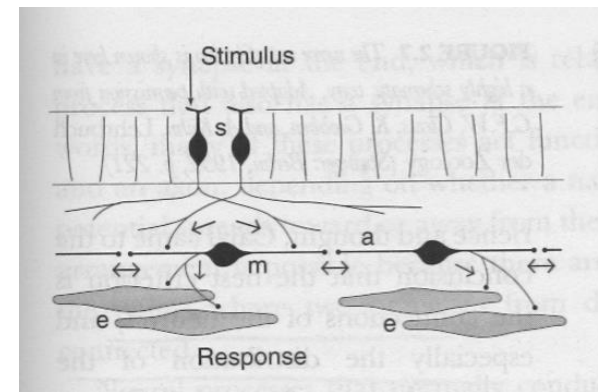
(2) Hydre



(a) feeding behavior



(b) locomotor behavior

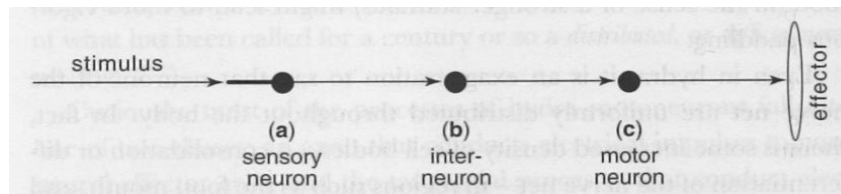
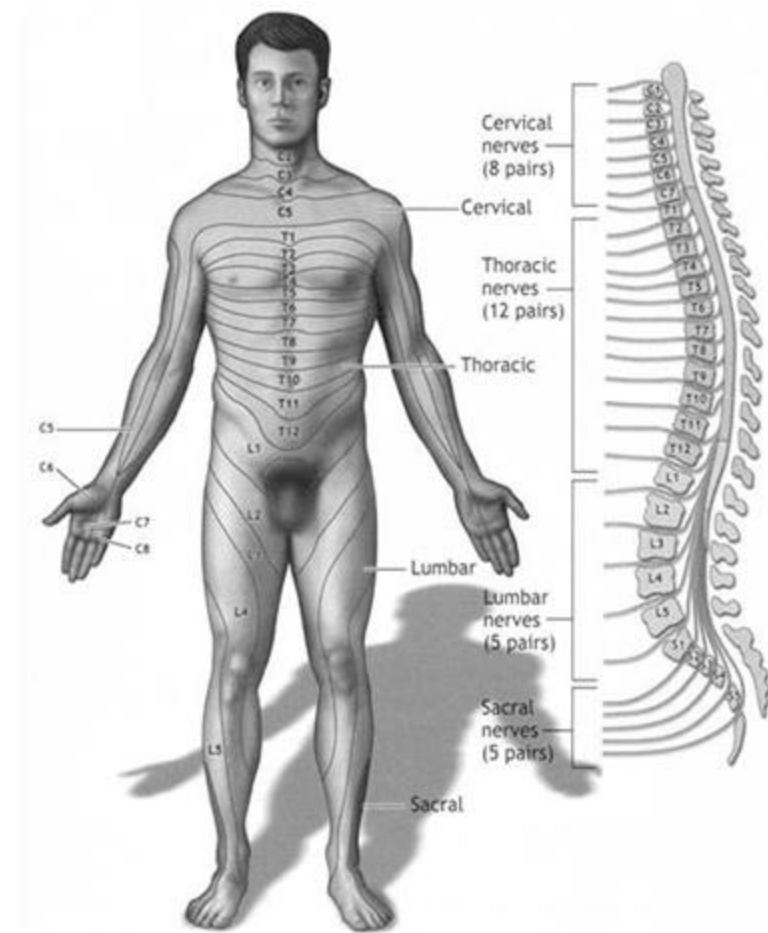
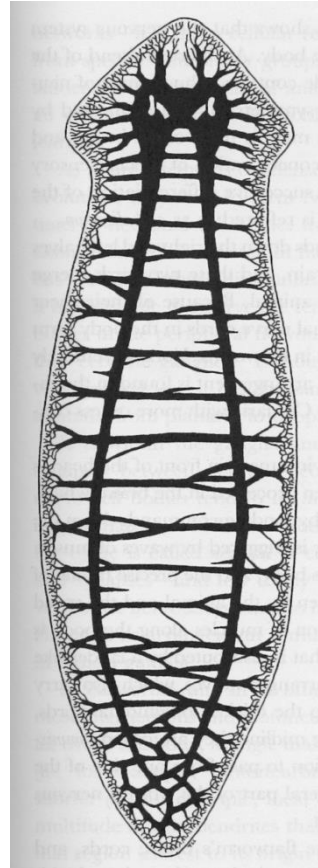


Neurones sensoriels et moteurs

Origines du système nerveux



(3) Annelidés

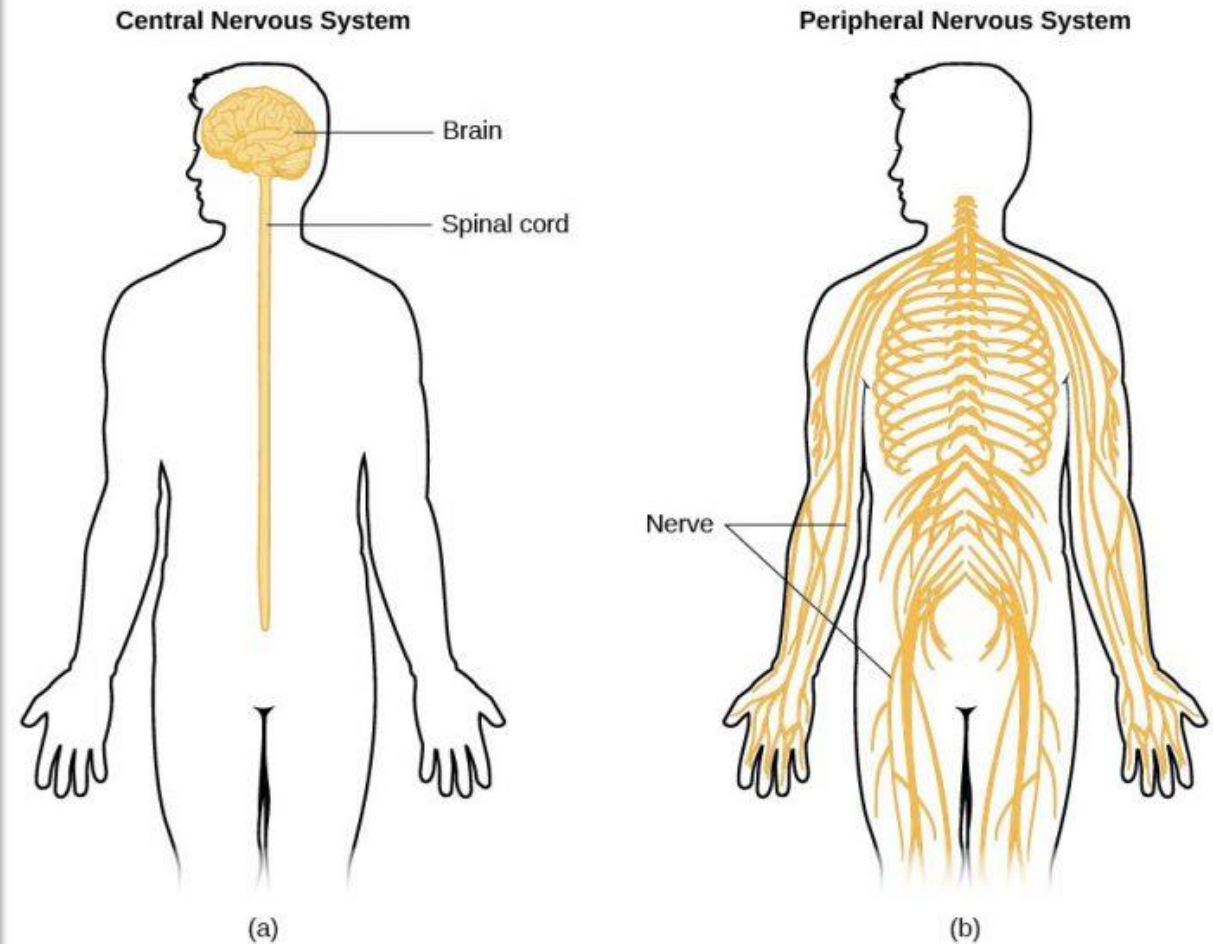


Neurones sensoriels, interneurones, et neurones moteur

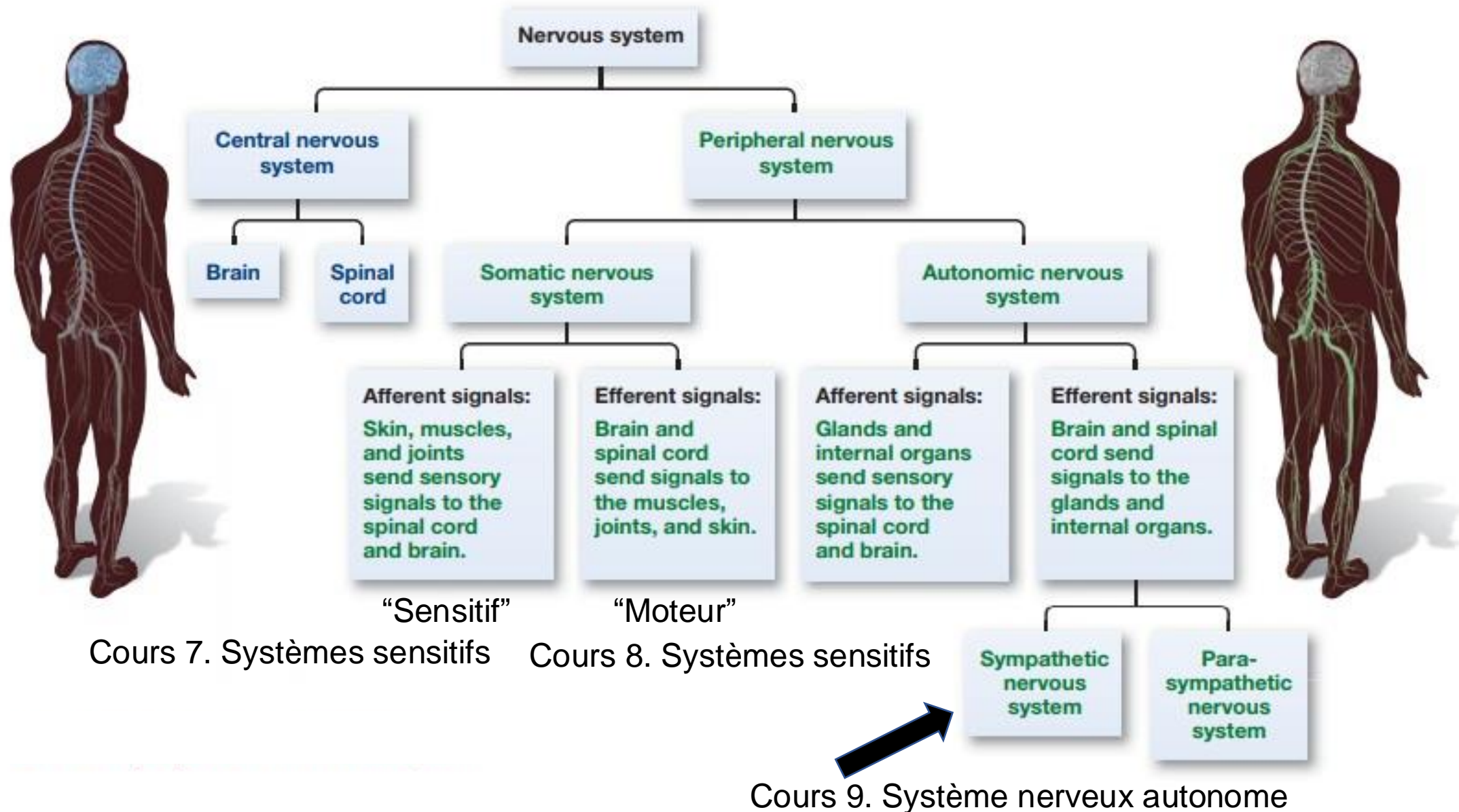
Le Système Nerveux Central (SNC) et Périphérique (SNP)



- Le système nerveux (SN) inclut toutes les cellules nerveuses du corps
- Deux grandes divisions anatomiques:
- SN central (SNC):
 - cerveau et moelle épinière
 - intégration et traitement de l'information
- SN périphérique (SNP):
 - nerfs périphériques, ganglions, récepteurs
 - transmission de l'information destinée au SNC
 - transmission de l'information provenant du SNC



Le Système Nerveux Central (SNC) et Périphérique (SNP)



Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation

1. Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation (2h)

- Presentation generale du module
- Organisation generale du systeme nerveux
- Les cellules du systeme nerveux

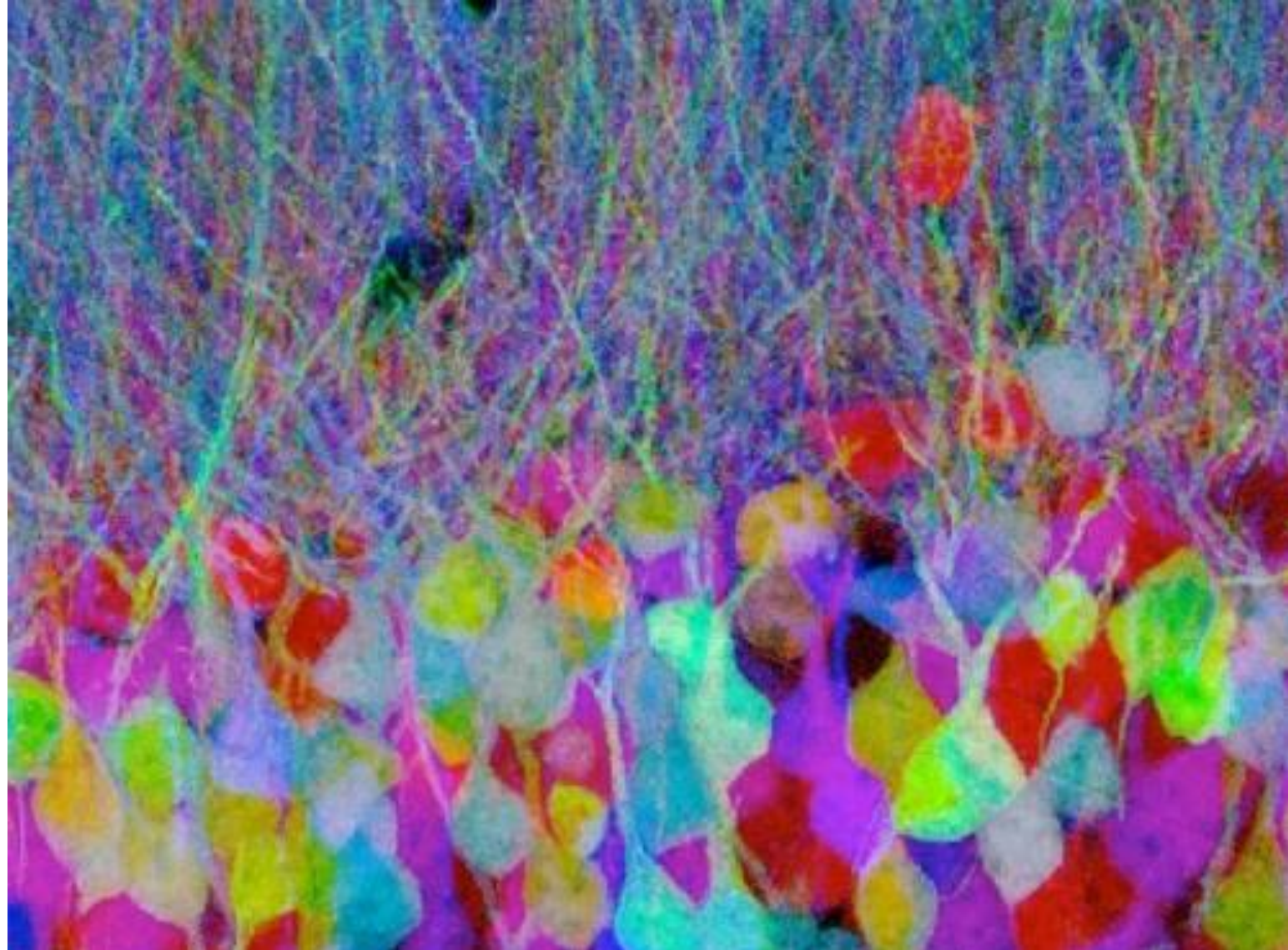
Composition cellulaire du système nerveux

Le tissu nerveux contient deux grandes classes de cellules: les neurones et les cellules gliales.

Les neurones sont responsables de la transmission et du traitement de l'information.

Les cellules gliales sont essentielles au soutien métabolique, structurel et fonctionnel des neurones.

Ces types cellulaires interagissent pour permettre les fonctions du cerveau.



Les cellules du système nerveux

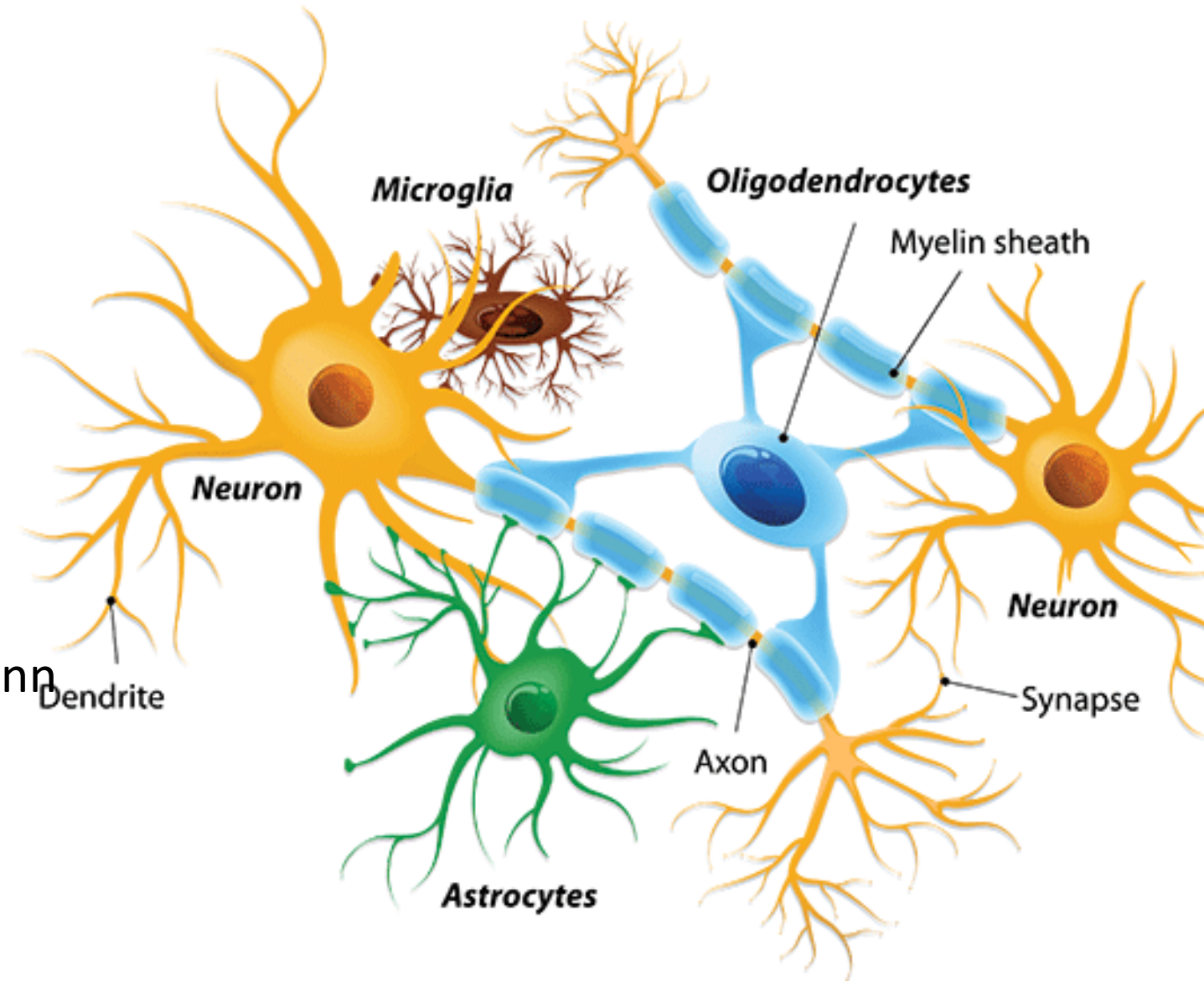


Les neurones

- Structure générale
- Diversité neuronale

Les cellules gliales

- Astrocytes
- Oligodendrocytes et cellules de Schwann
- Microglie

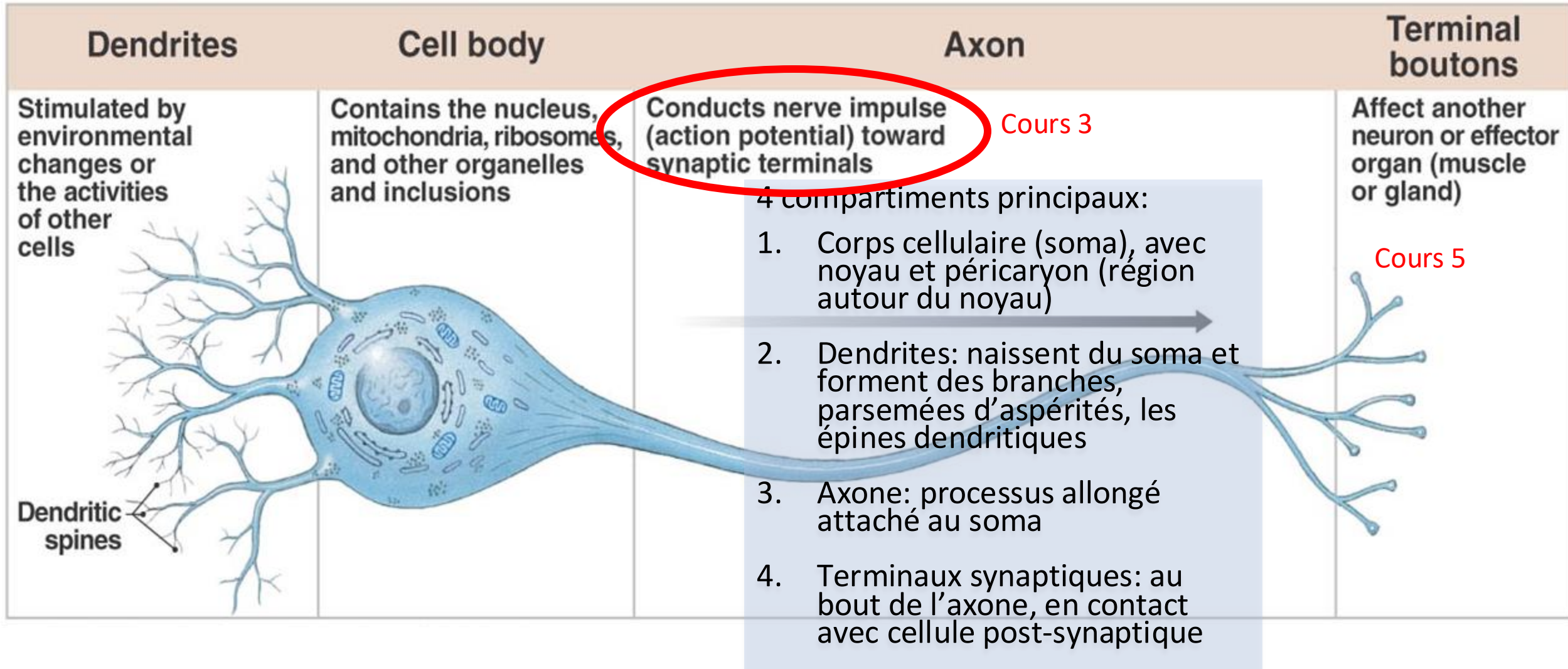


Propriétés fondamentales des neurones

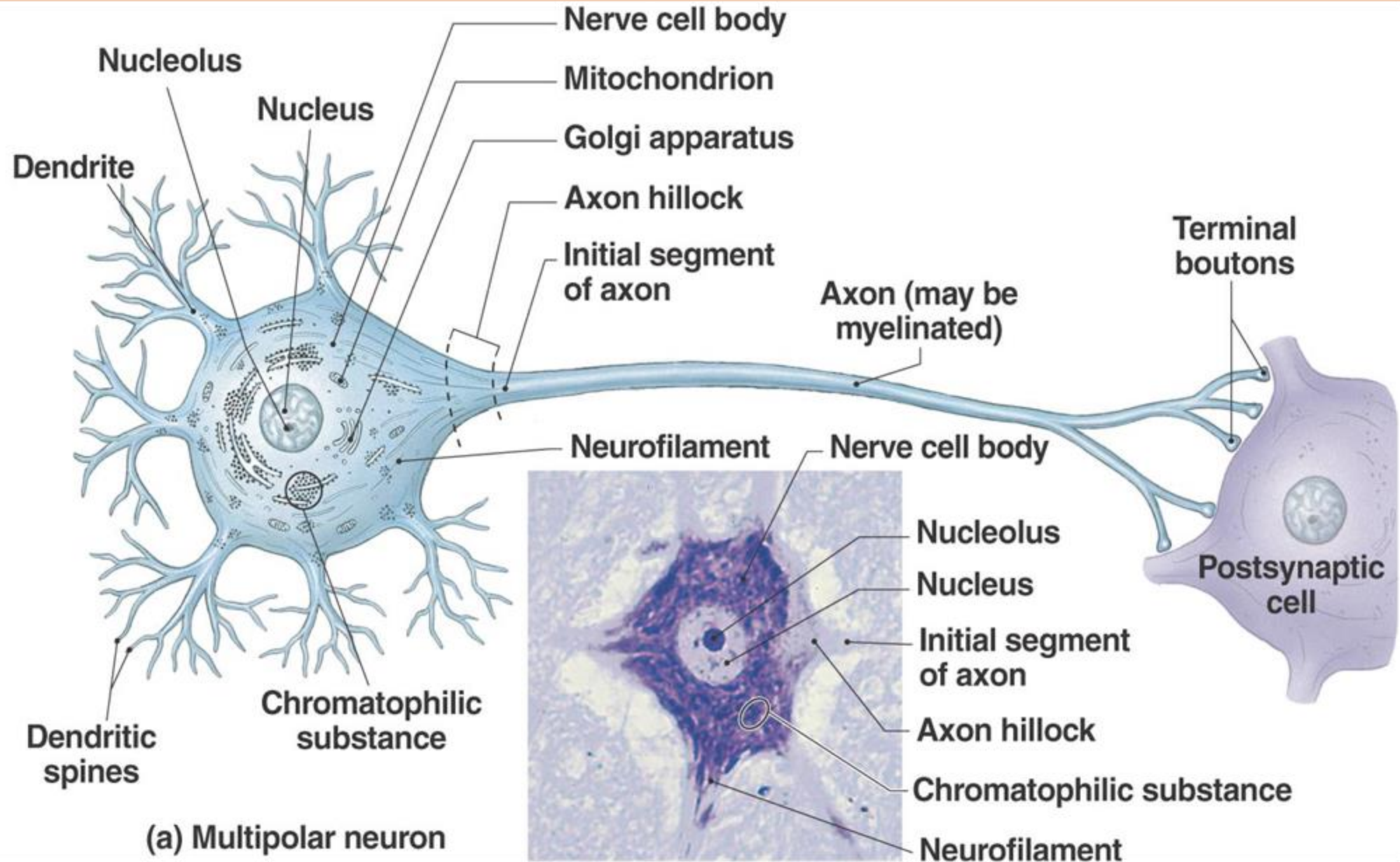


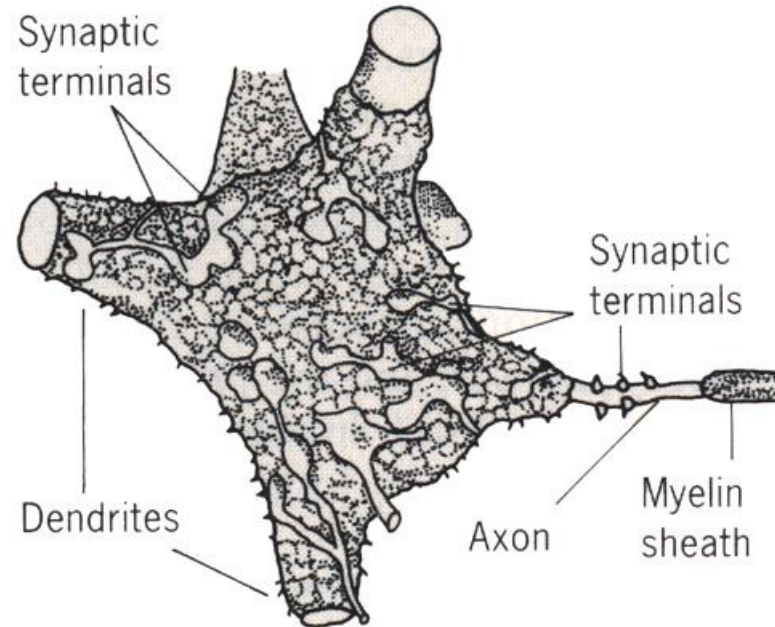
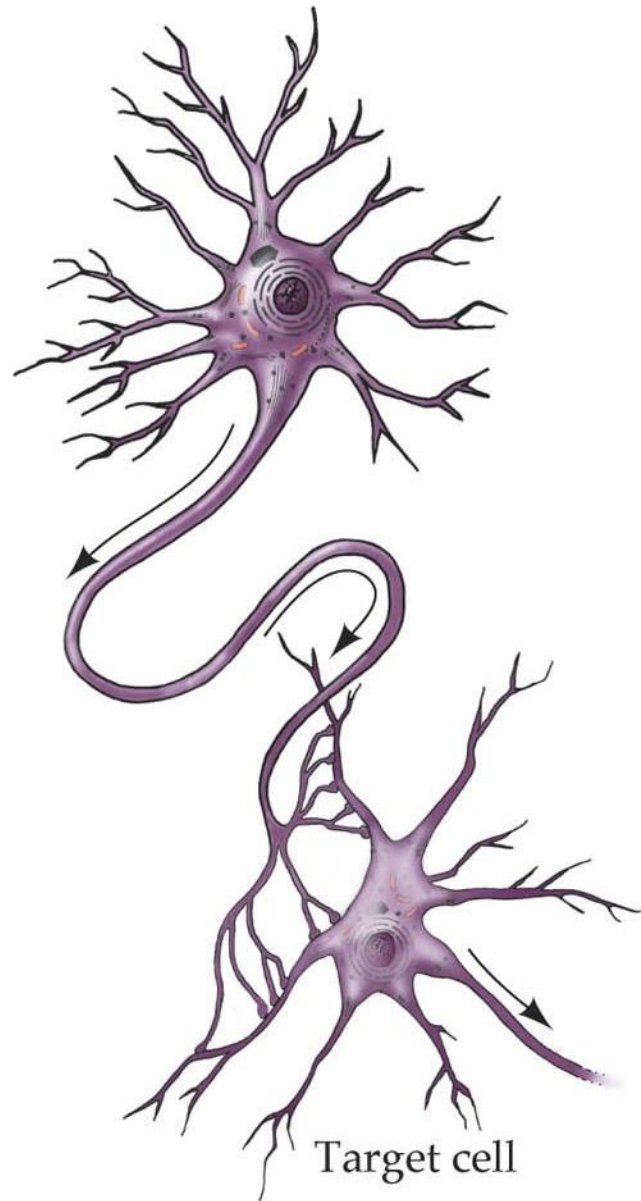
- Excitabilité: capable de réagir à un stimulus
- Conductivité: capable de produire et transmettre des signaux électriques
- Sécrétion: capable de transformer les signaux électriques en signaux chimiques (sécrétion de neurotransmetteur)
- Métabolisme basal élevé
- Longévité
- Perte de la capacité de division. A noter qu'il existe des régions neurogènes même dans le cerveau humain adulte: bulbe olfactif, et gyrus dentelé de l'hippocampe (mémoire).

Le neurone est une cellule polarisée

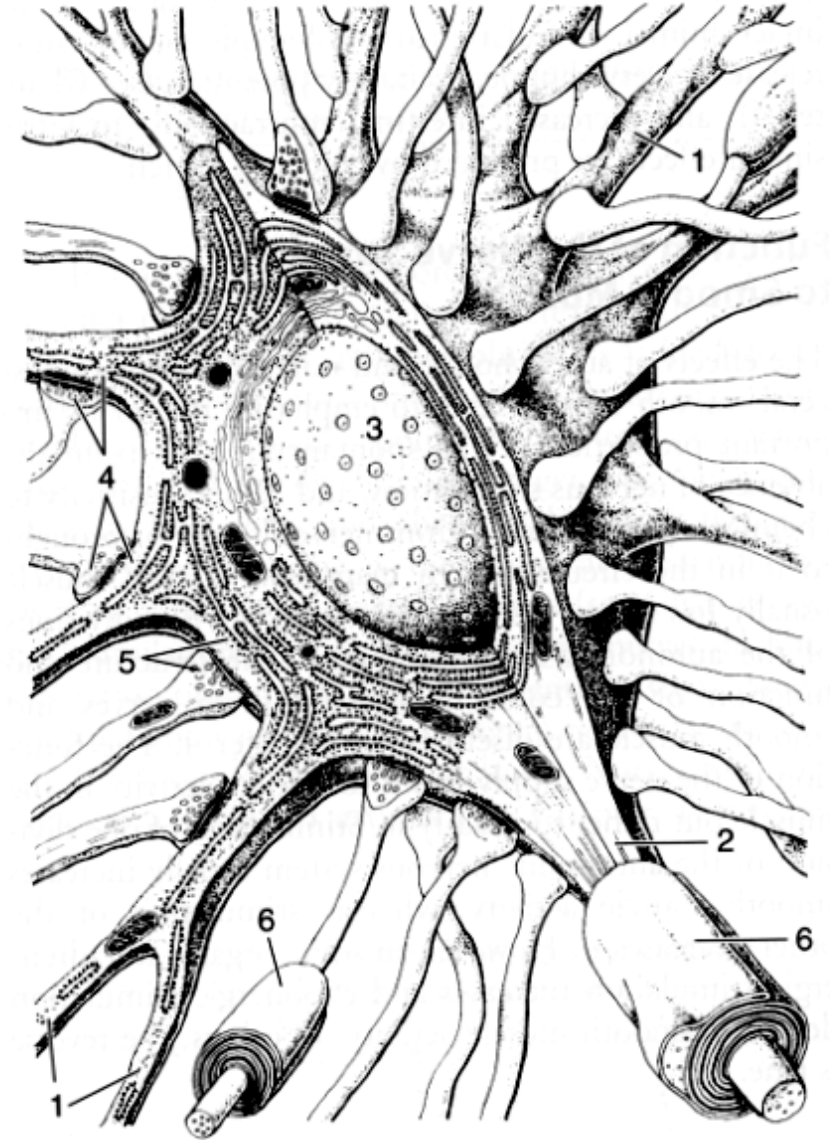


Anatomie du neurone



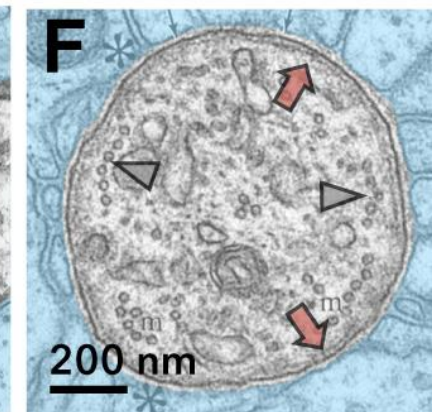
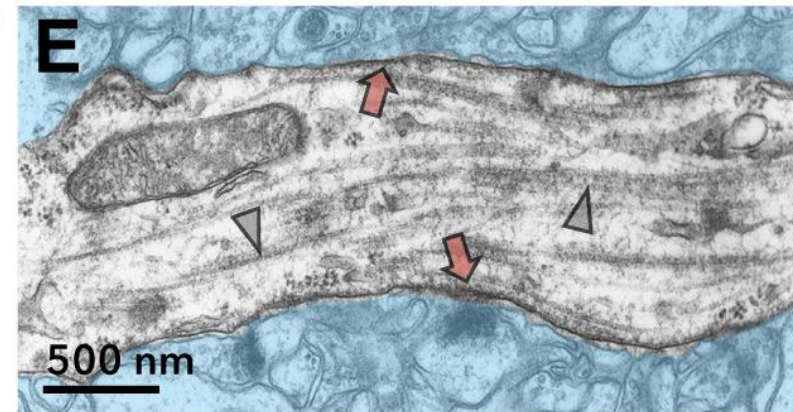
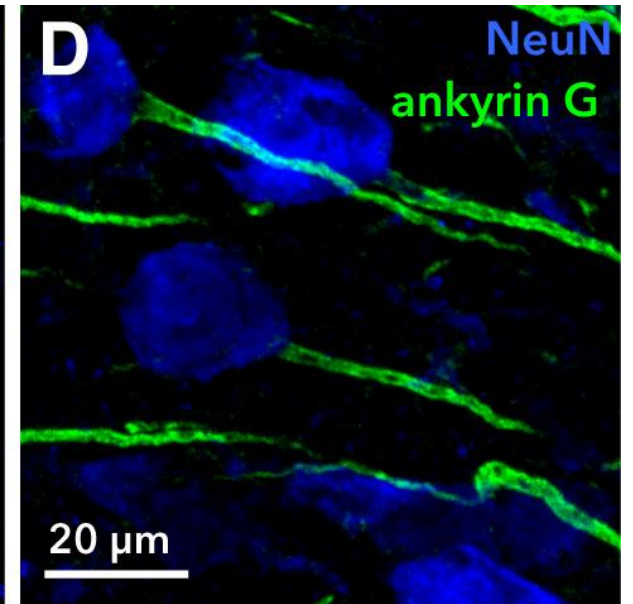
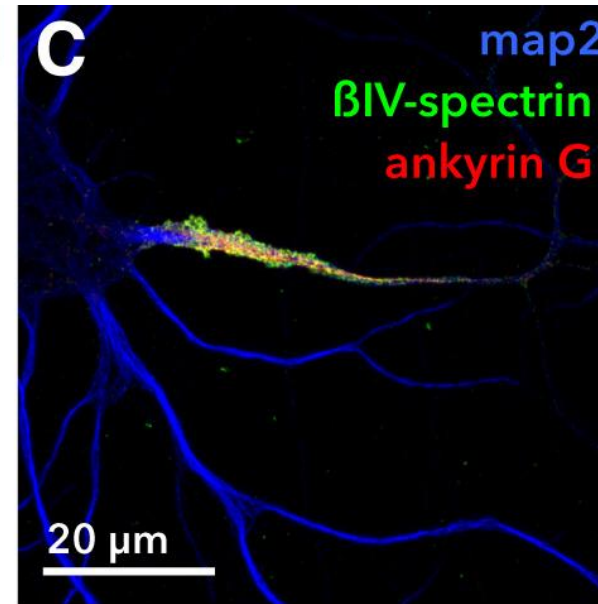
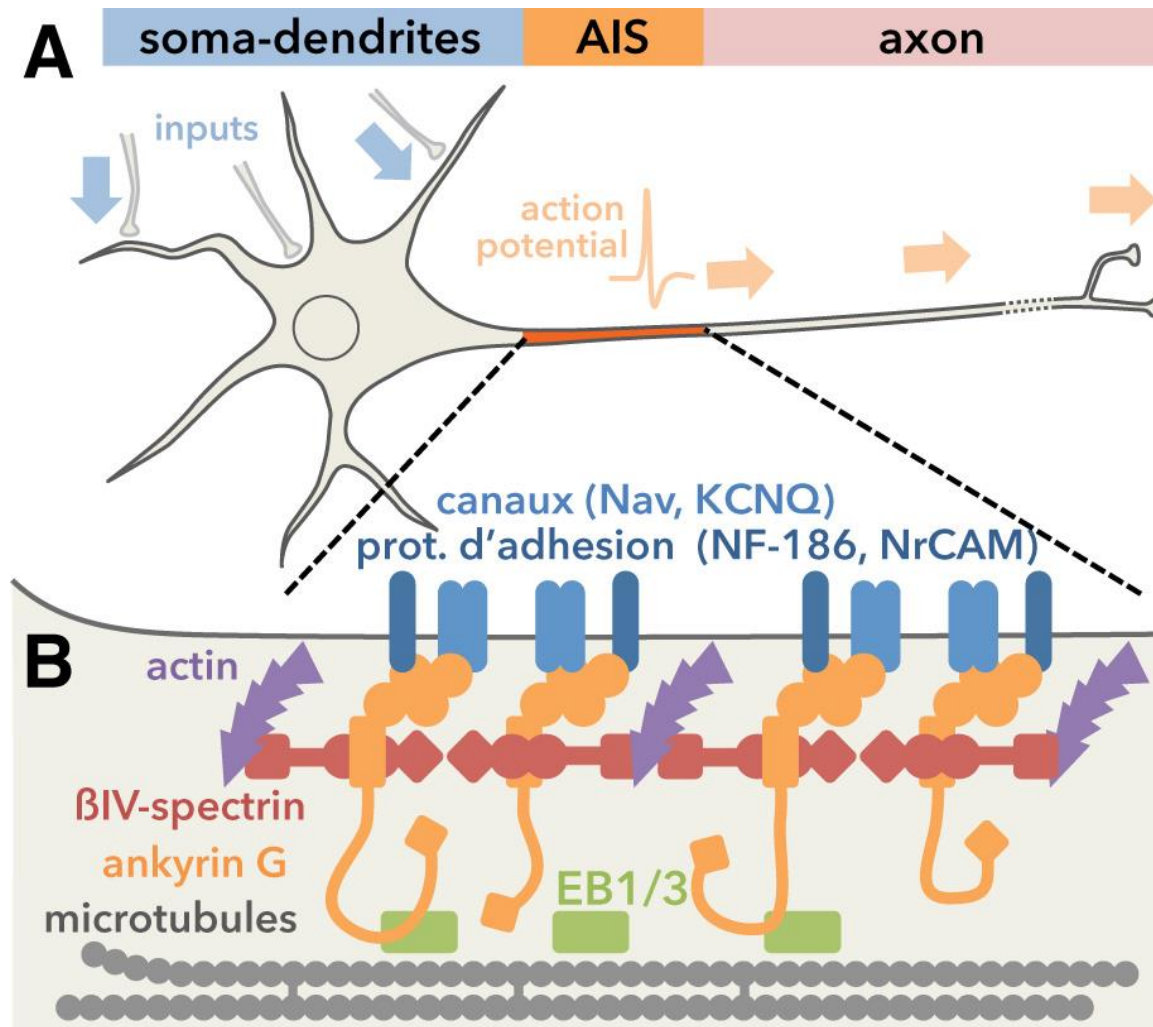


1. dendrites
2. axone
3. noyau
4. Synapse axodendritique
5. Synapse axosomatique
6. Gaine myélinique



Hillock et segment initial de l'axone (AIS)

Cours 3



Soma

- Noyau souvent assez gros, avec gros nucléole.
- Le péricaryon contient les organelles nécessaires à la production énergétique et aux activités biosynthétiques.
- Nombreuses mitochondries et ribosomes libres et en amas
- Les amas de ribosomes sur le réticulum endoplasmique rugueux sont appelés corps de Nissl (substance chromatophile) et sont responsables de la couleur de la « matière grise ».
- Le soma est donc le siège d'une activité transcriptionnelle et translationnelle intense.
- La translation n'est cependant pas limitée au soma: les terminaux pré- et post synaptiques peuvent contenir de l'ARN => synthèse protéique.

Dendrites et axone: neurites

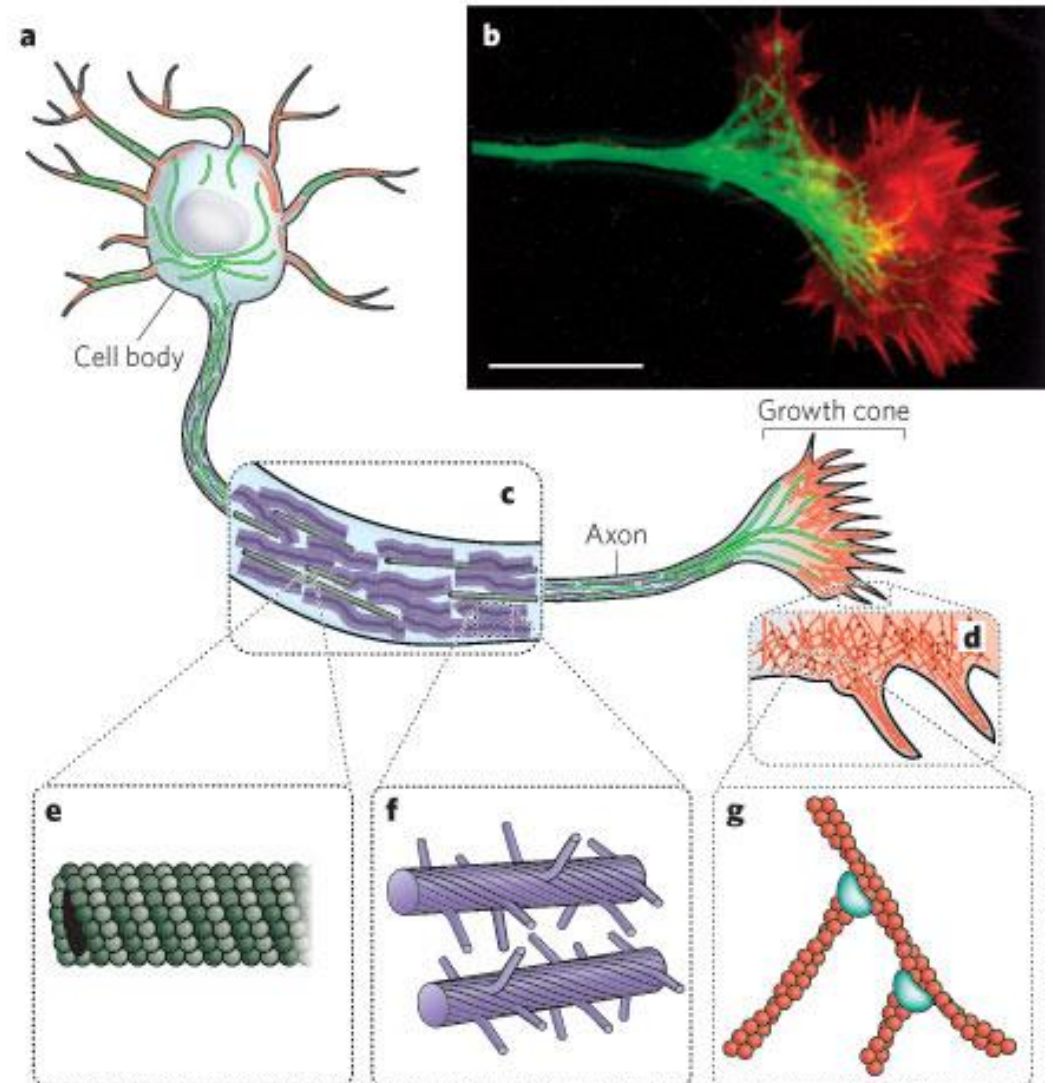
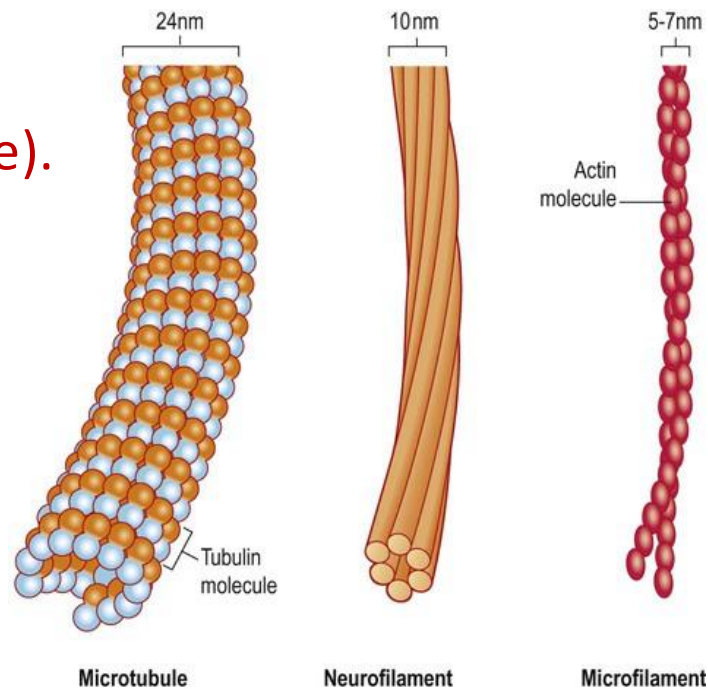


- L'axone est un long processus cytoplasmique qui peut propager un potentiel d'action.
- Le "hillock" de l'axone est en contact avec le soma et est suivi du segment initial (AIS).
- L'axoplasme est le cytoplasme de l'axone.
- L'axone peut produire des branches, ou "collatérales". Ces collatérales peuvent se terminer en arborisations terminales.
- Les arborisations forment des terminaux pré-synaptiques, où un neurone contacte un autre neurone, ou un effecteur (muscle, glande, etc).
- Le transport axoplasmique est le mouvement des organelles, nutriments, molécules et déchets au sein de l'axone.

Cytosquelette neuronal



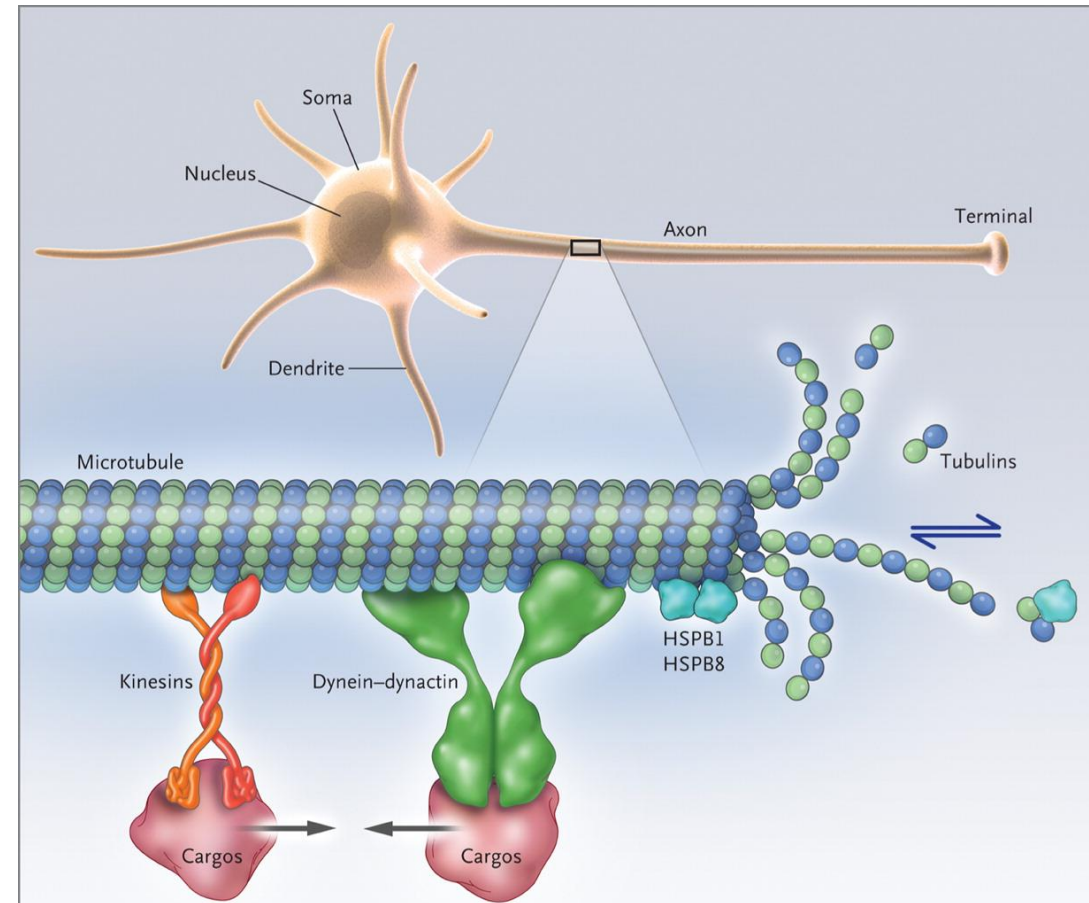
- Microtubules: gros, dans axones, dendrites, filopodes. Polymères d'alpha et bêta tubuline
- Neurofilaments (filaments intermédiaires): très nombreux, présents également dans astrocytes (ex. GFAP). Déterminent diamètre de l'axone
- Microfilaments (filaments d'actine). Dans cône de croissance.



Transport axonal



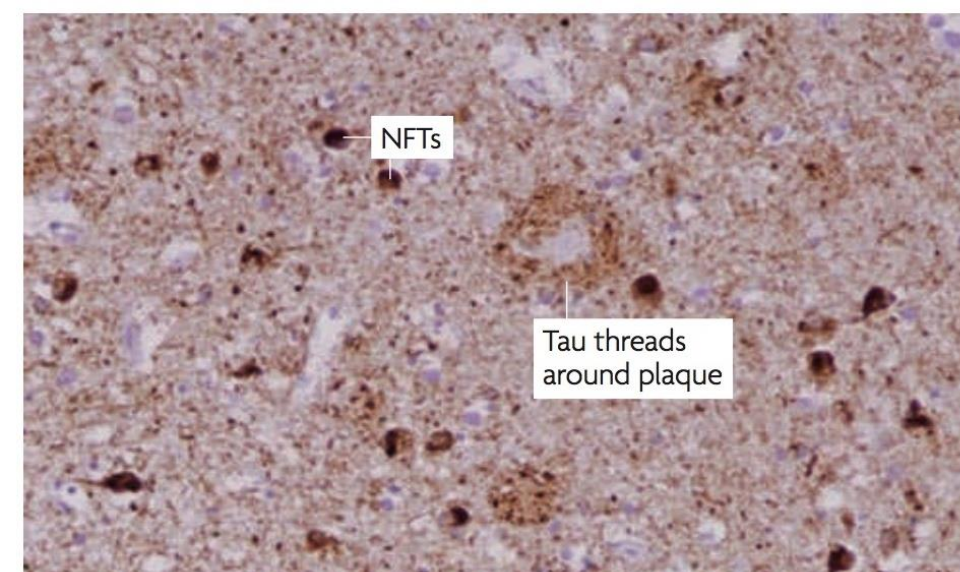
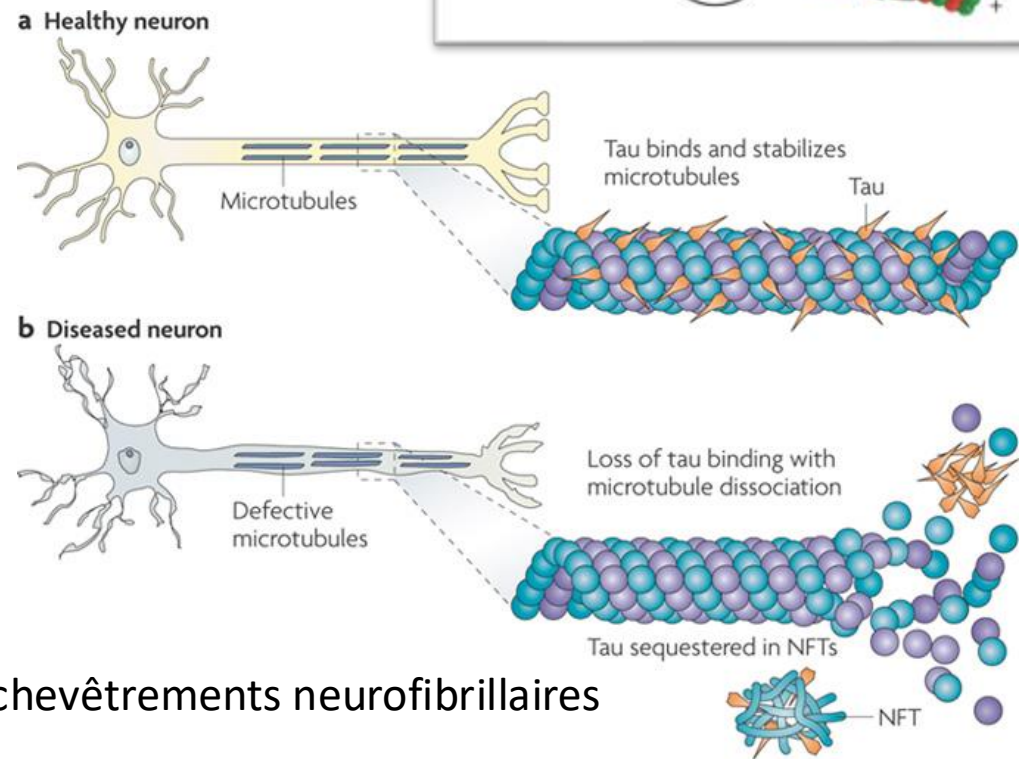
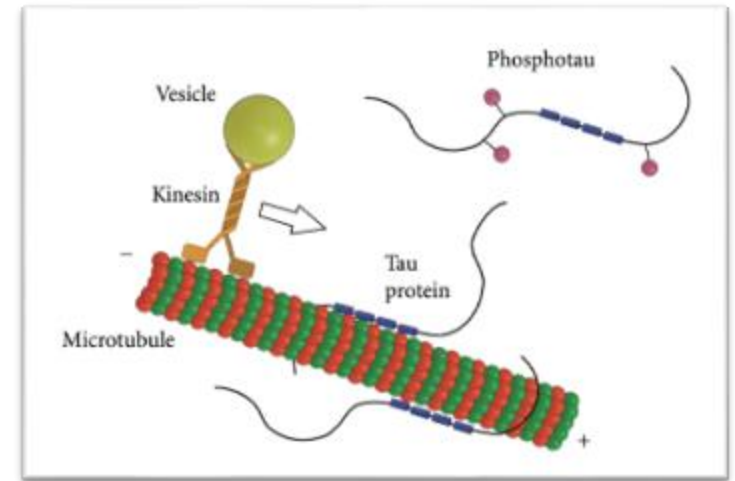
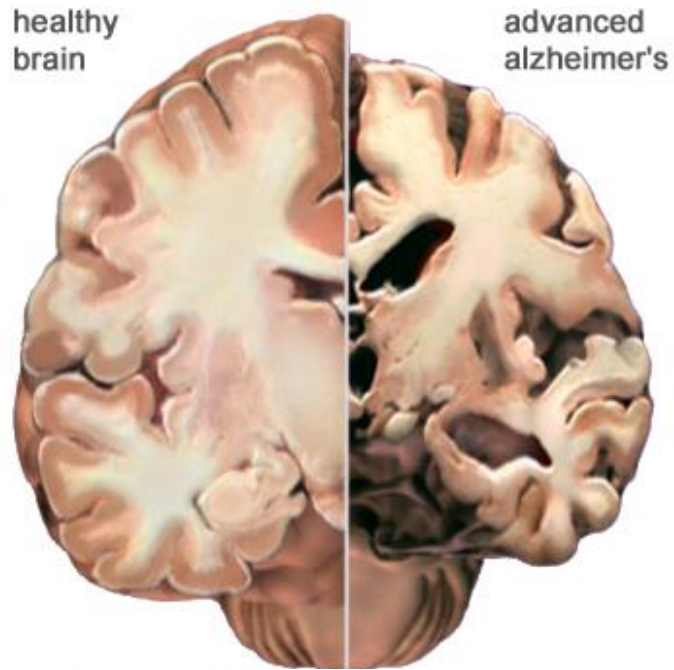
- De nombreuses protéines synthétisées dans le soma doivent être transportées dans l'axone et les terminaux synaptiques.
- Transport antérograde: du soma vers les terminaux pré-synaptiques
- Transport rétrograde: des terminaux pré-synaptiques vers le soma
- Transport rapide:
 - Antérograde: 50-400 mm/j, pour organelles, enzymes, vésicules & petites molécules
 - Rétrograde: pour matériel recyclé et pathogènes (virus rage, polio, herpès); 200-300 mm/j
- Transport lent (flux axoplasmique), antérograde:
 - Déplacement du cytosquelette et nouvel axoplasme, 10 mm/j, réparation & régénération des axones endommagés.



	Defects linked to
Tubulins	CMT and neurodevelopmental disorders
HSPB1 and HSPB8	CMT
Dynein-dynactin	CMT, the Perry syndrome, and hereditary motor neuropathy, type 7B
Kinesins	CMT and hereditary spastic paraplegia
Cargos	CMT (<i>RAB7</i> , <i>NEFL</i> , and <i>WNK1</i> mutations)

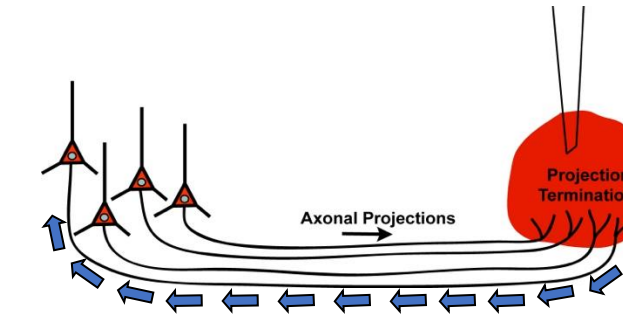
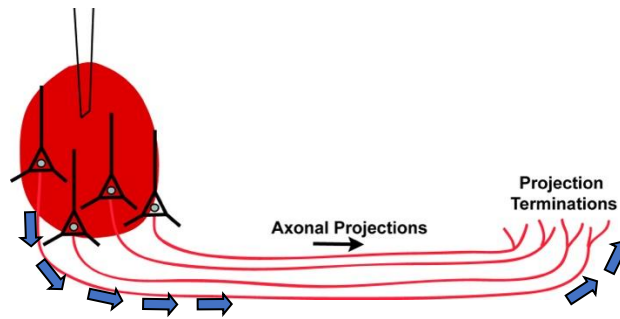
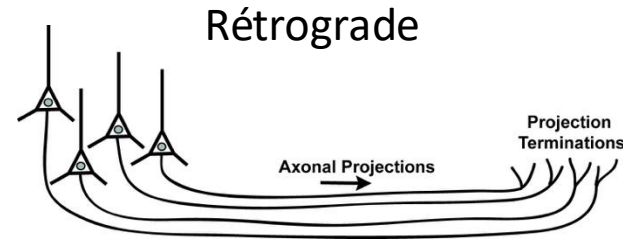
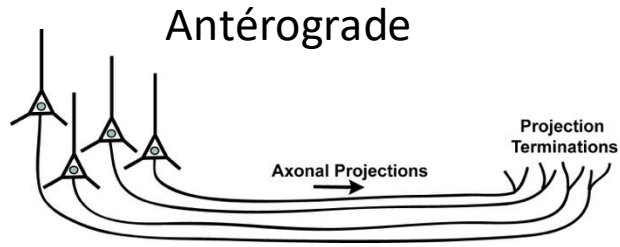


La maladie d'Alzheimer cause une instabilité des microtubules

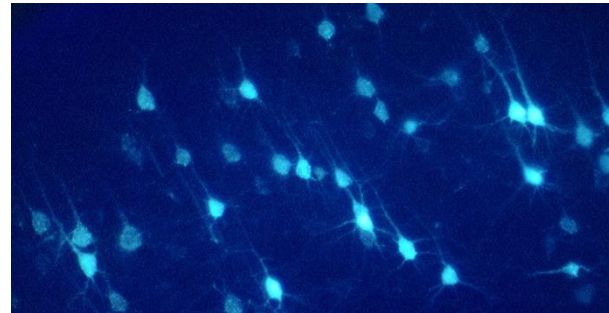
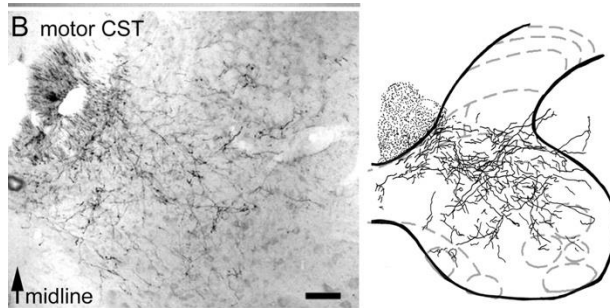
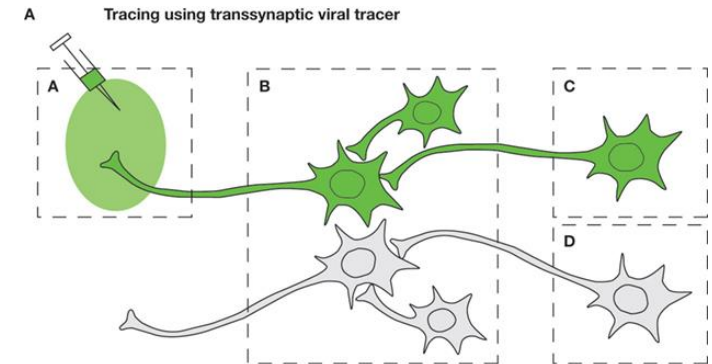


NFT: Enchevêtrements neurofibrillaires

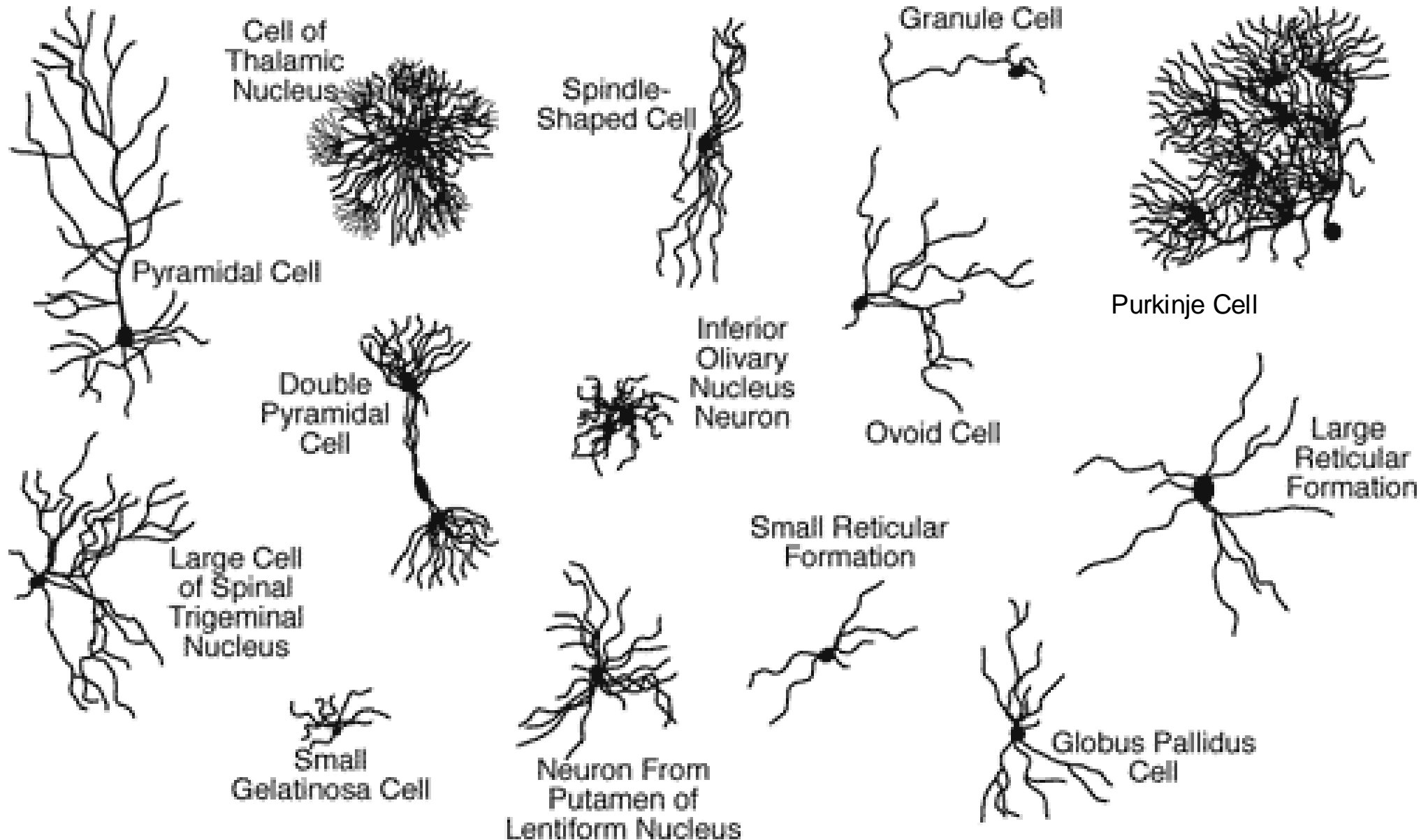
Comprendre la connectivité du cerveau: marquages neuronaux antérogrades et rétrogrades



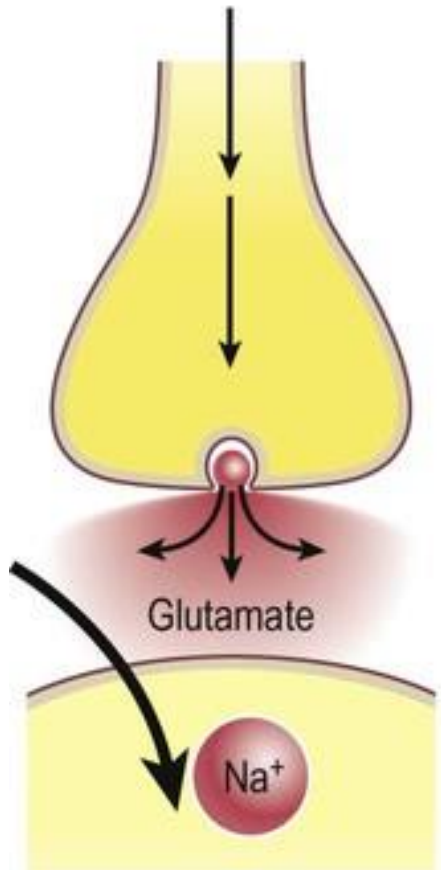
Rétrograde trans-synaptique



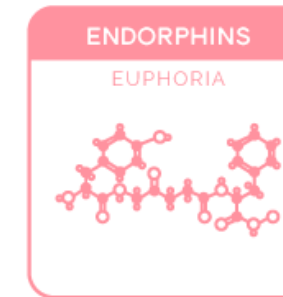
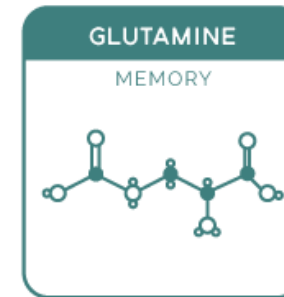
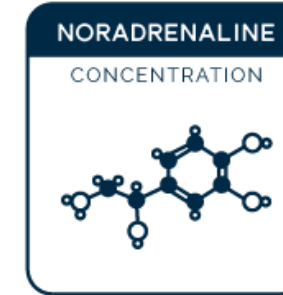
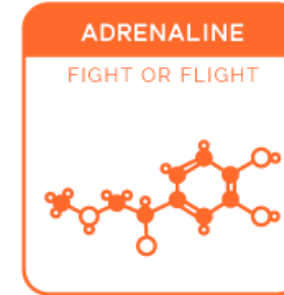
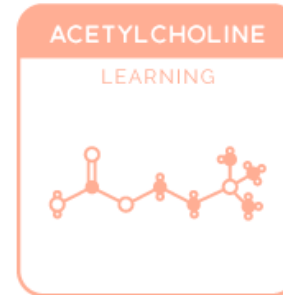
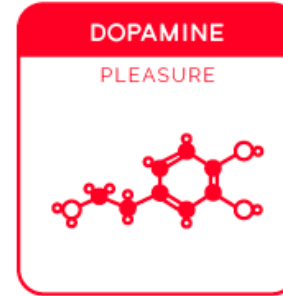
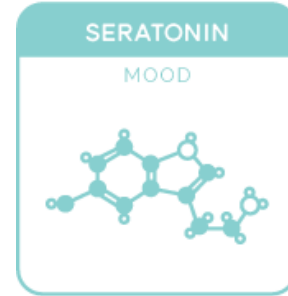
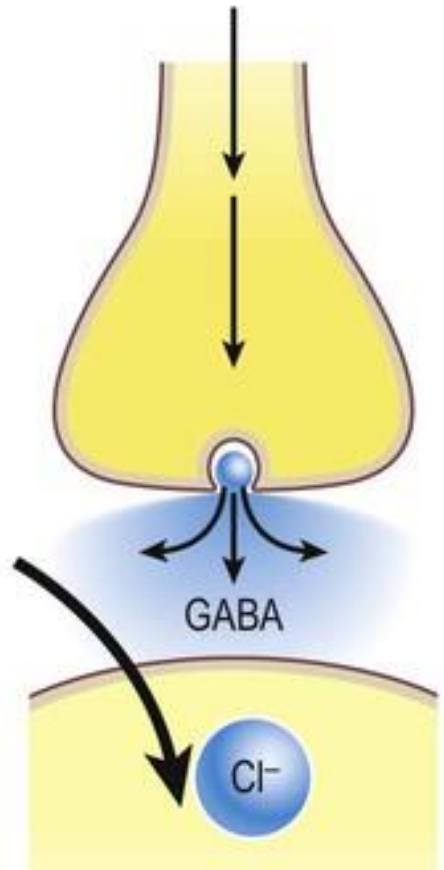
Diversité neuronale: les neurones ont différentes formes



Excitatory synapse



Inhibitory synapse



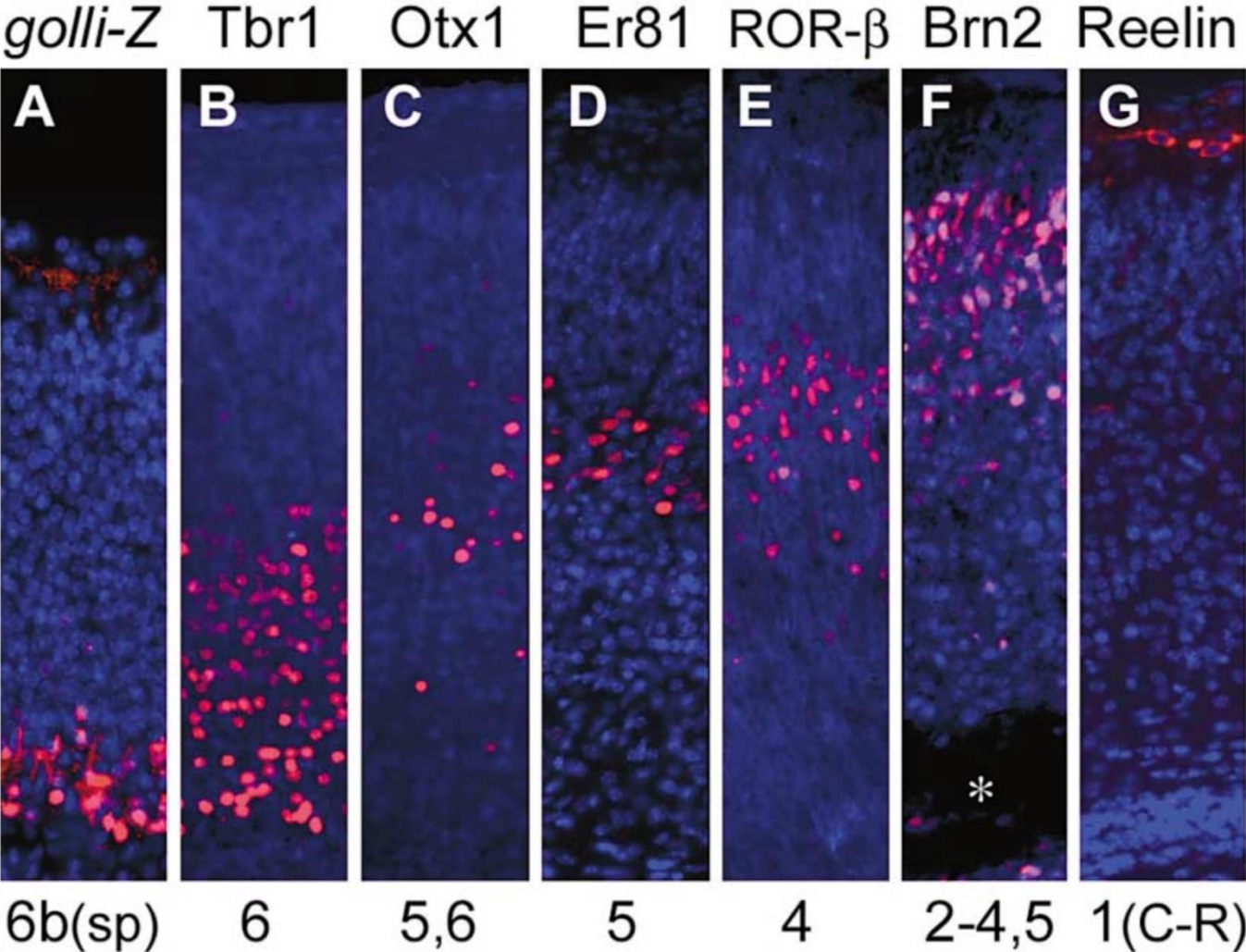
Diversité des neurones corticaux

Différentes positions
et morphologies

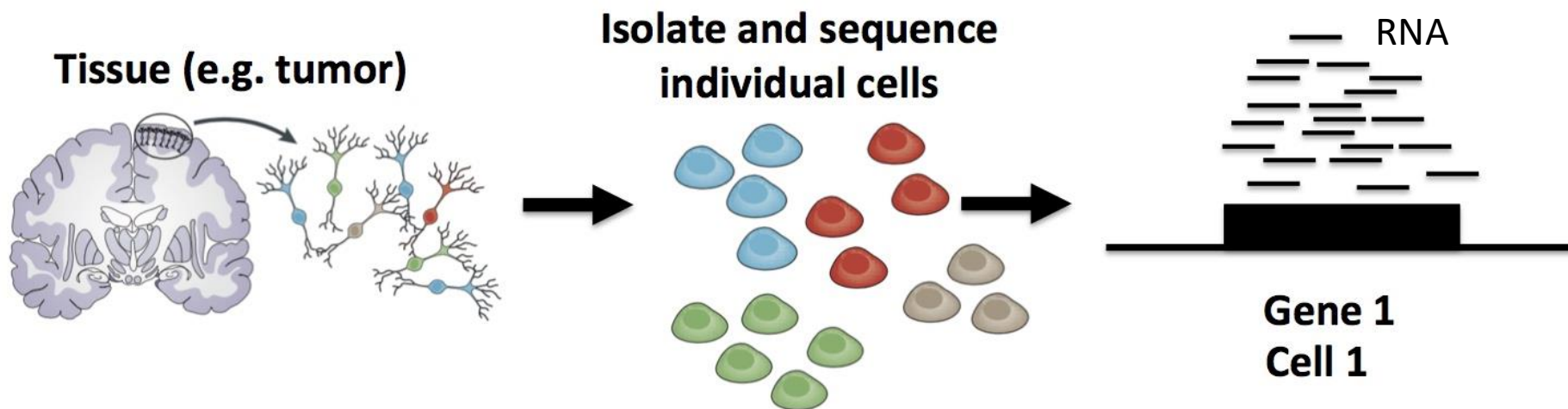


Cajal, 1897

Différents gènes



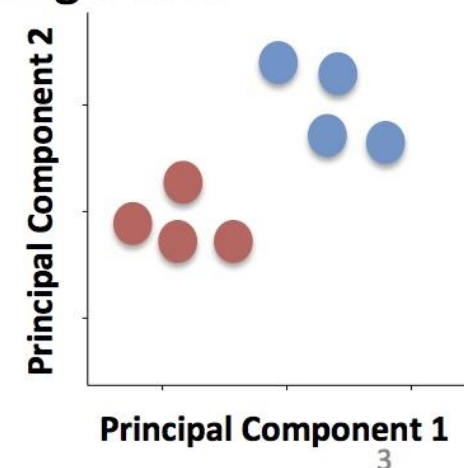
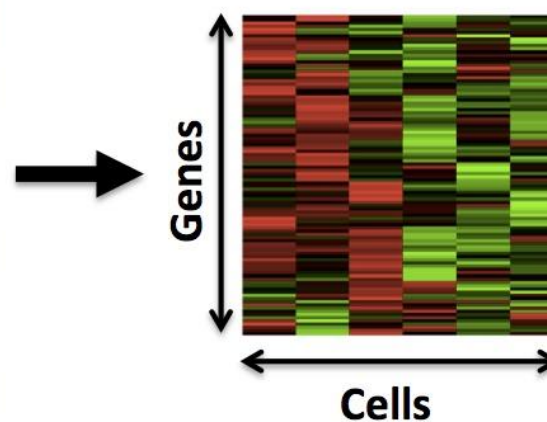
Séquençage à cellule unique



Read Counts

	Cell 1	Cell 2	...
Gene 1	18	0	
Gene 2	1010	506	
Gene 3	0	49	
Gene 4	22	0	
...			

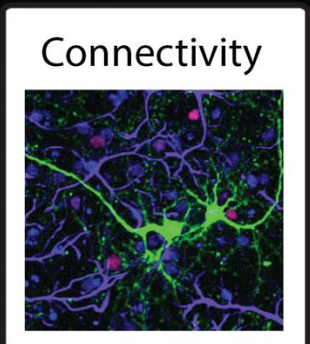
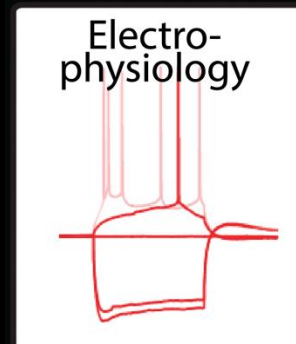
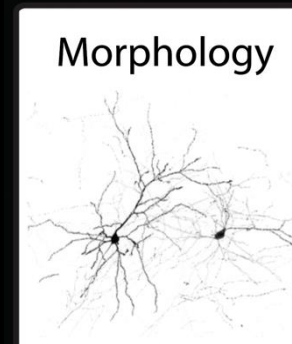
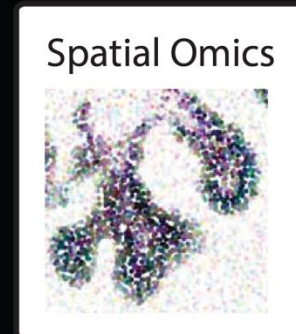
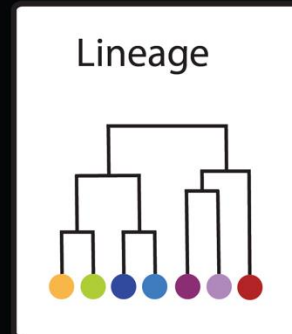
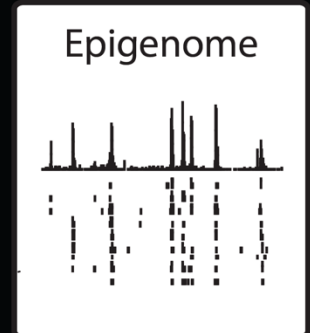
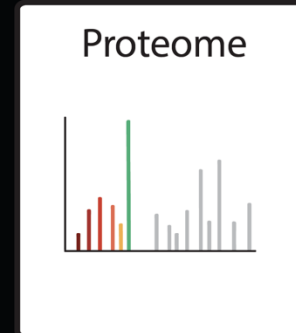
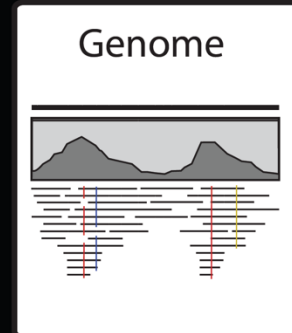
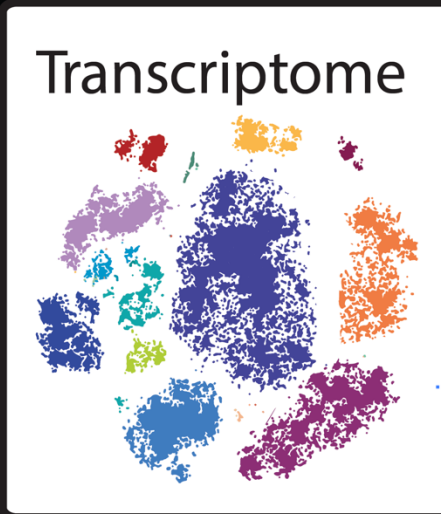
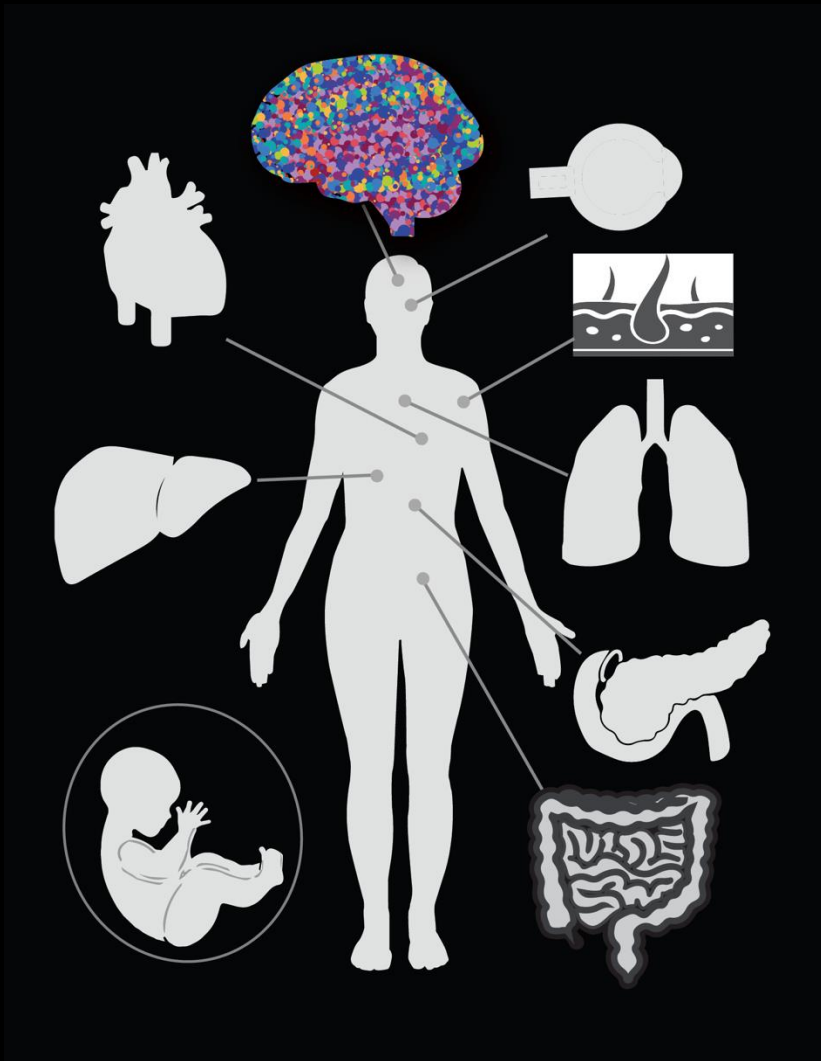
Compare gene expression profiles of single cells



Séquençage à cellule unique et diversité neuronale



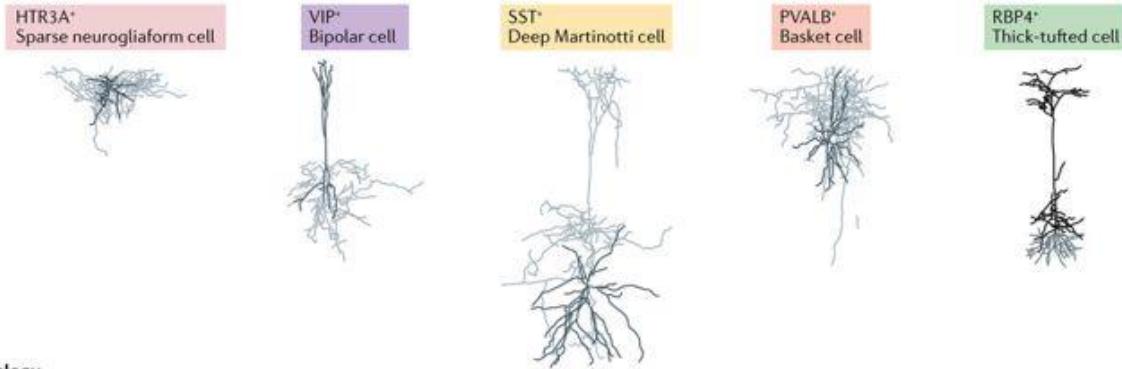
Modes de classification des neurones



Vers une classification multi-modale des neurones



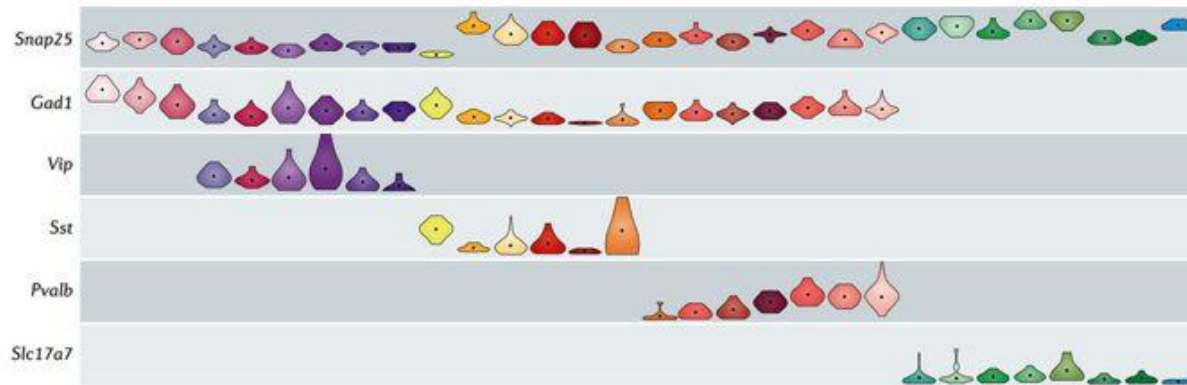
a Morphology



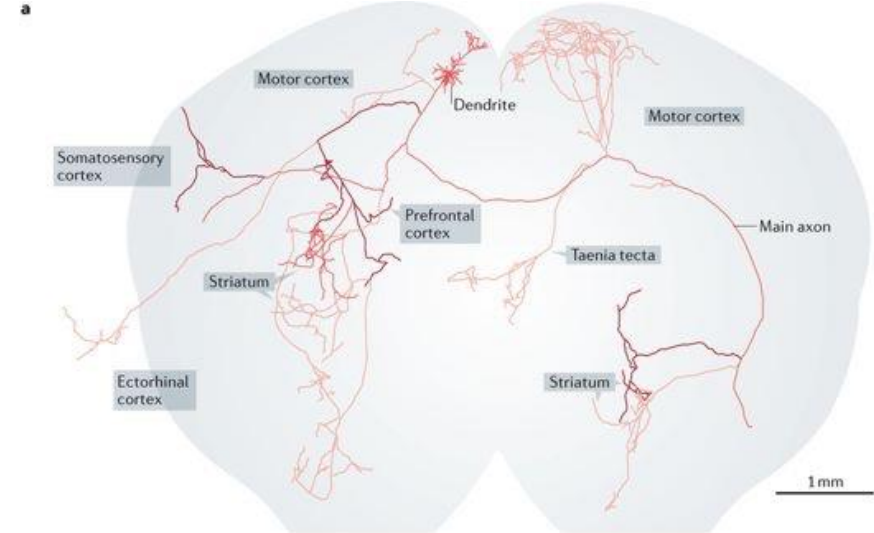
b Physiology



c Molecular signature



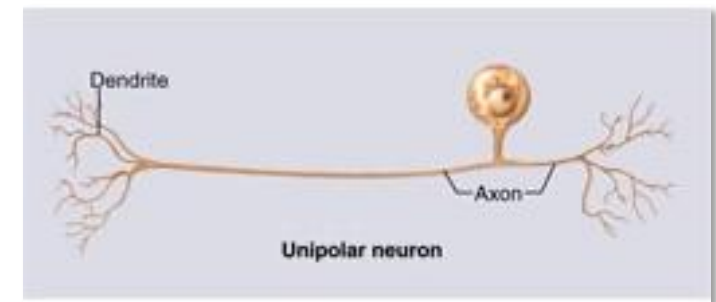
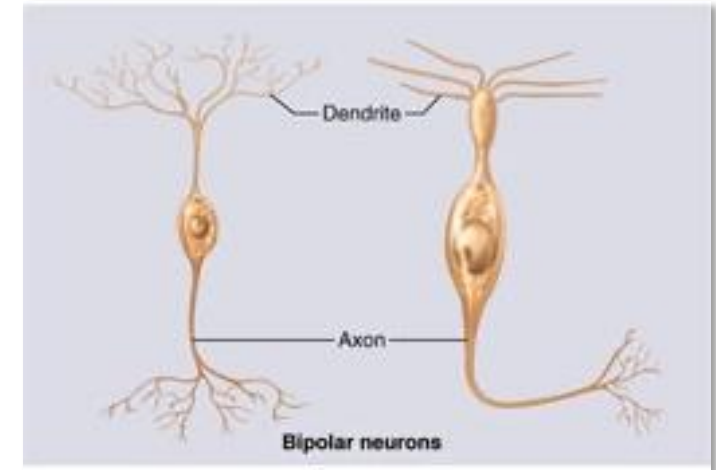
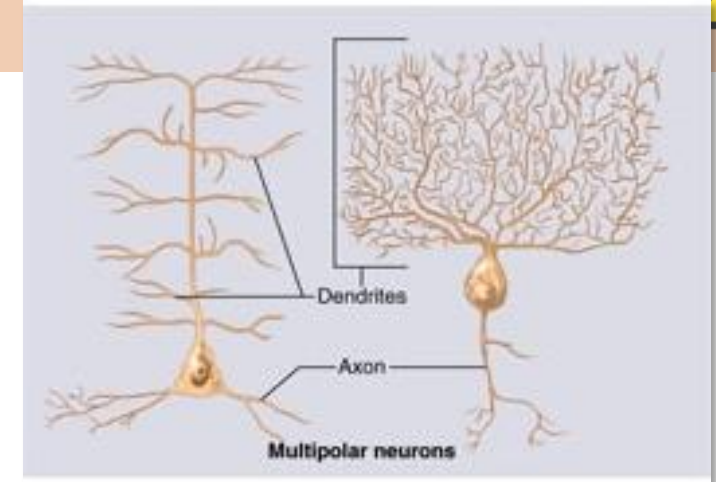
d. connectivity



Types de neurones: classification morphologique



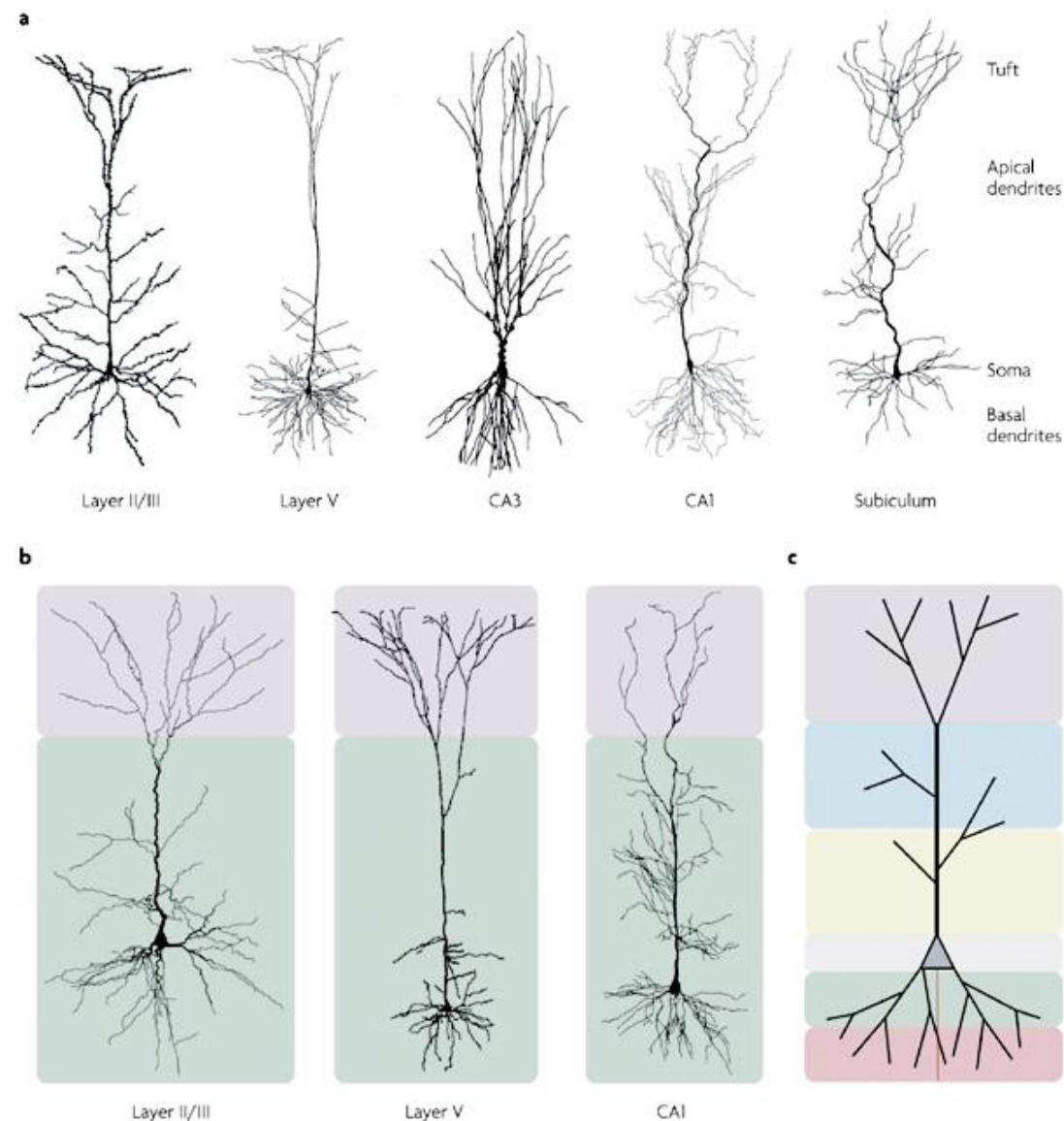
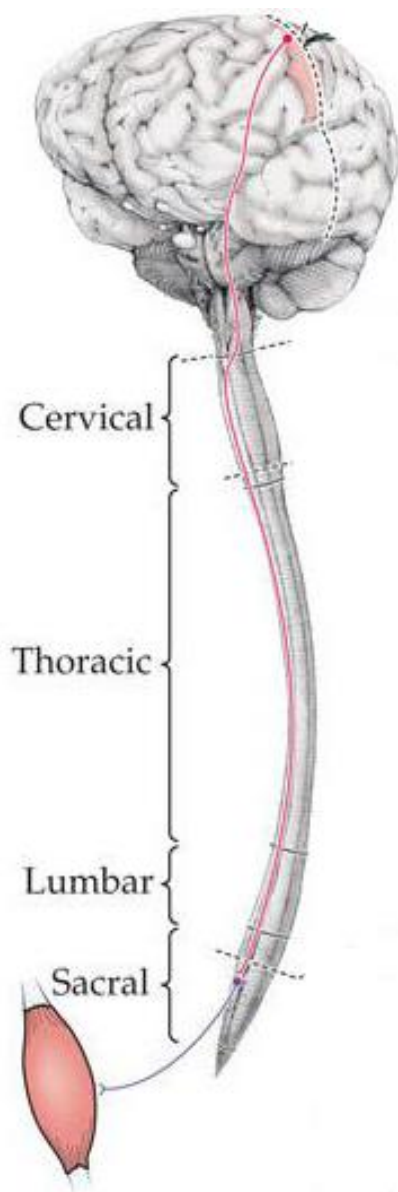
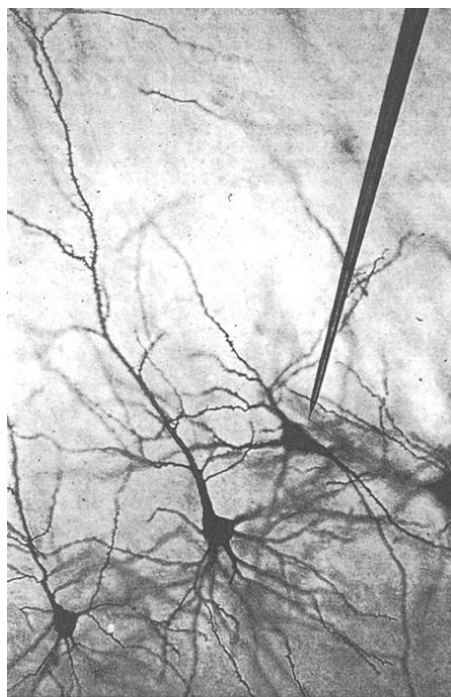
- Neurones multipolaires:
 - le plus courant du SNC
 - plusieurs dendrites/ un axone.
- Neurones bipolaires:
 - fusion des dendrites en 1 segment proximal /un axone.
 - olfactif, rétine, auditif.
- Neurones pseudo-unipolaires:
 - neurones sensitifs du SNP.
 - les signaux électriques ne passent pas par le corps cellulaire; c'est un "câble électrique avec un soma".



Neurones pyramidaux



Constituent 70% des neurones du cortex cérébral. Les neurones pyramidaux moteurs (couche V) dégénèrent dans la **sclérose latérale amyotrophique (SLA)**.



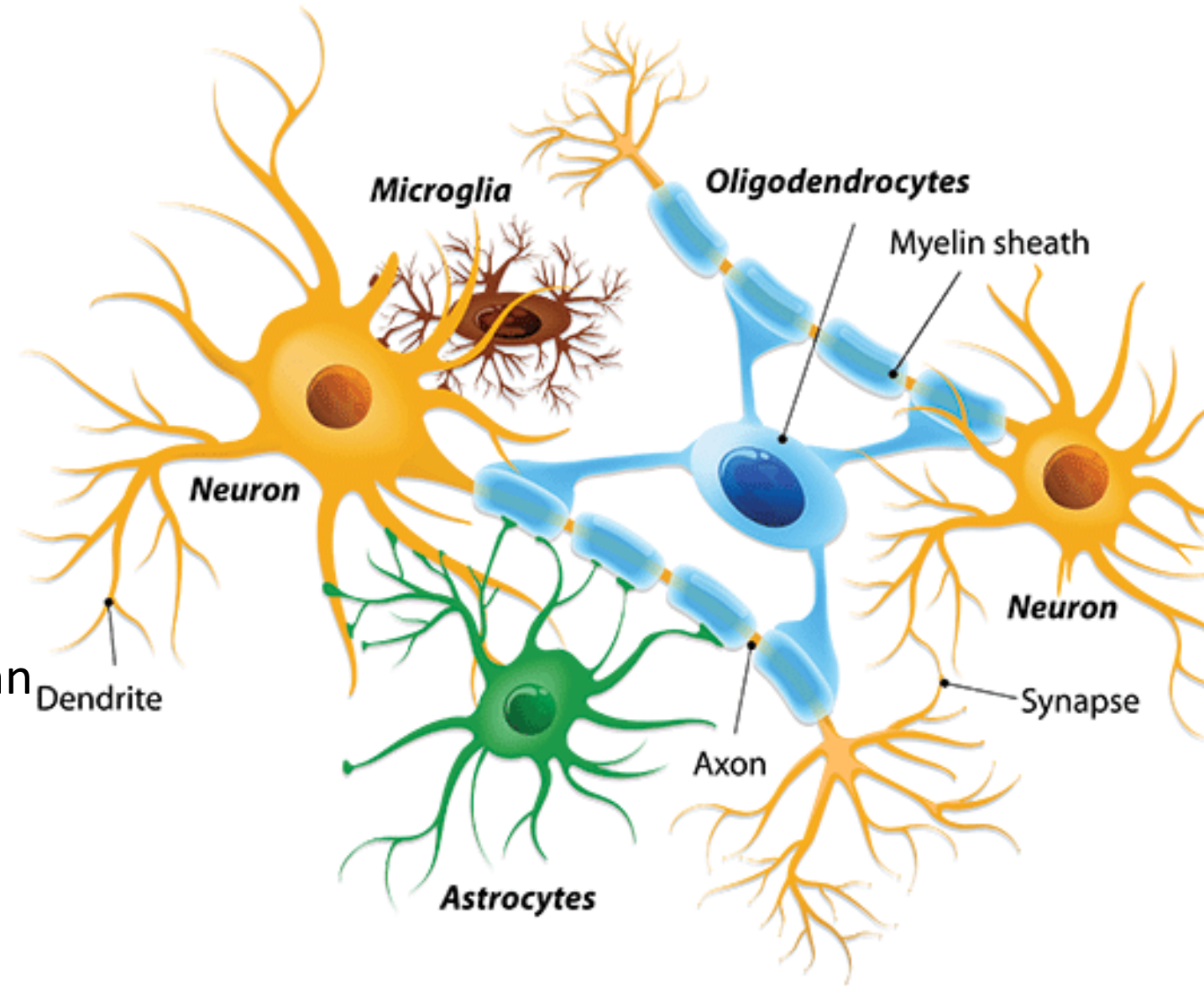
Les cellules du système nerveux

Les neurones

- Structure générale
- Diversité neuronale

Les cellules gliales

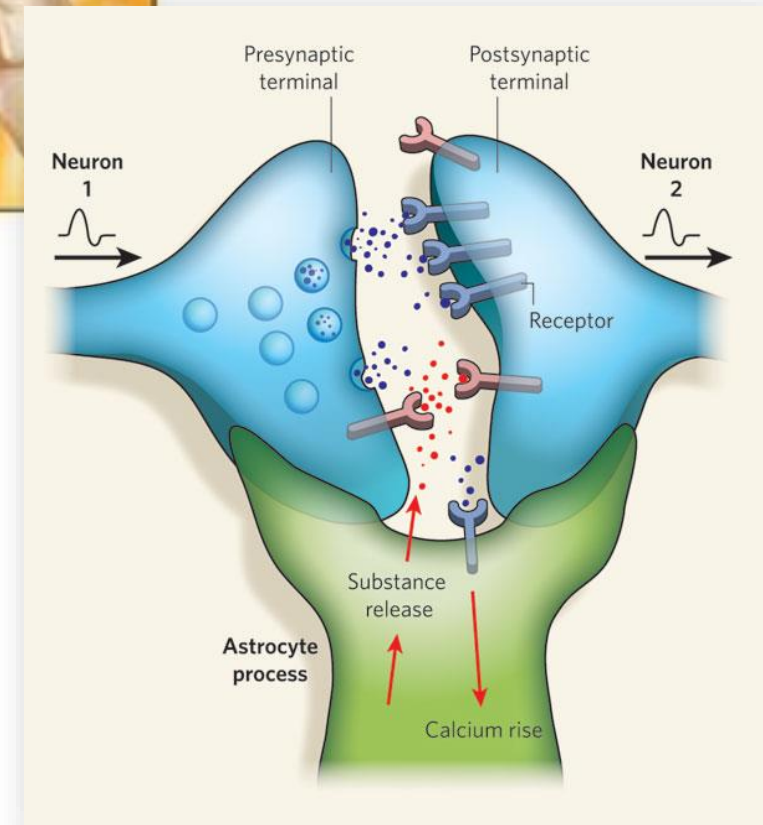
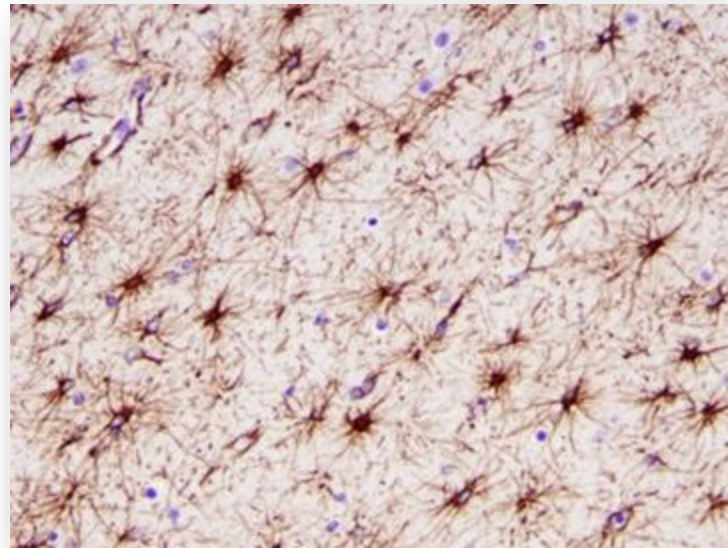
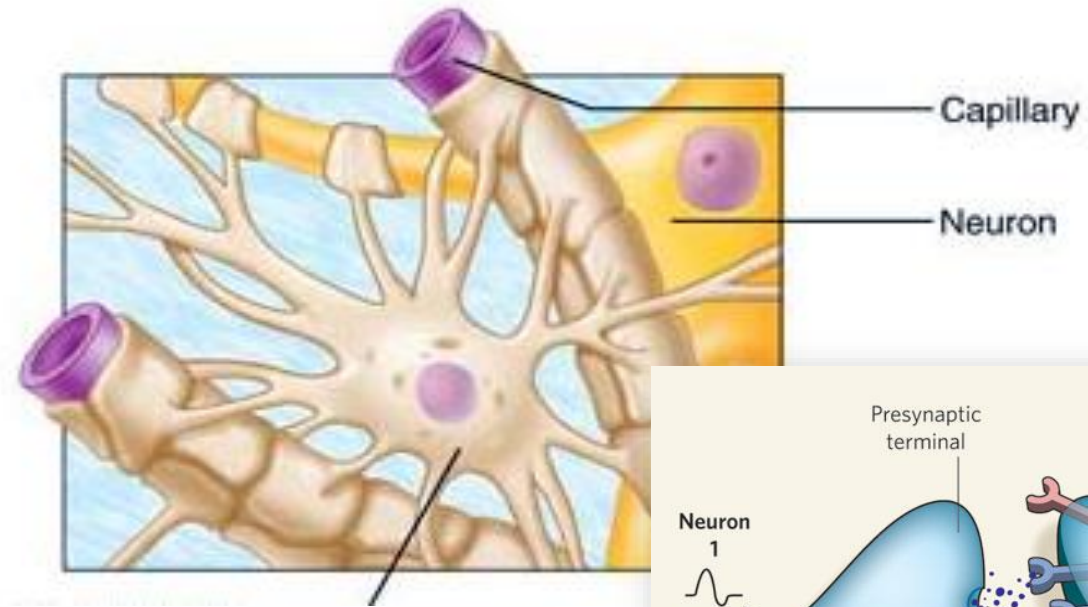
- Astrocytes
- Oligodendrocytes / cellules de Schwann
- Microglie



Astrocytes



- Neuroglie la plus abondante
- Processus radiaux qui adhèrent à neurones et capillaires avoisinants.
- Contrôlent les échanges entre les capillaires et les neurones
- Recapture de glutamate et K^+ extracellulaire
- Recapturent NT
- Nécessaires au métabolisme neuronal
- Rôle de soutien dans la transmission synaptique
- Gliose post lésionnelle



Barrière Hémato-Encéphalique

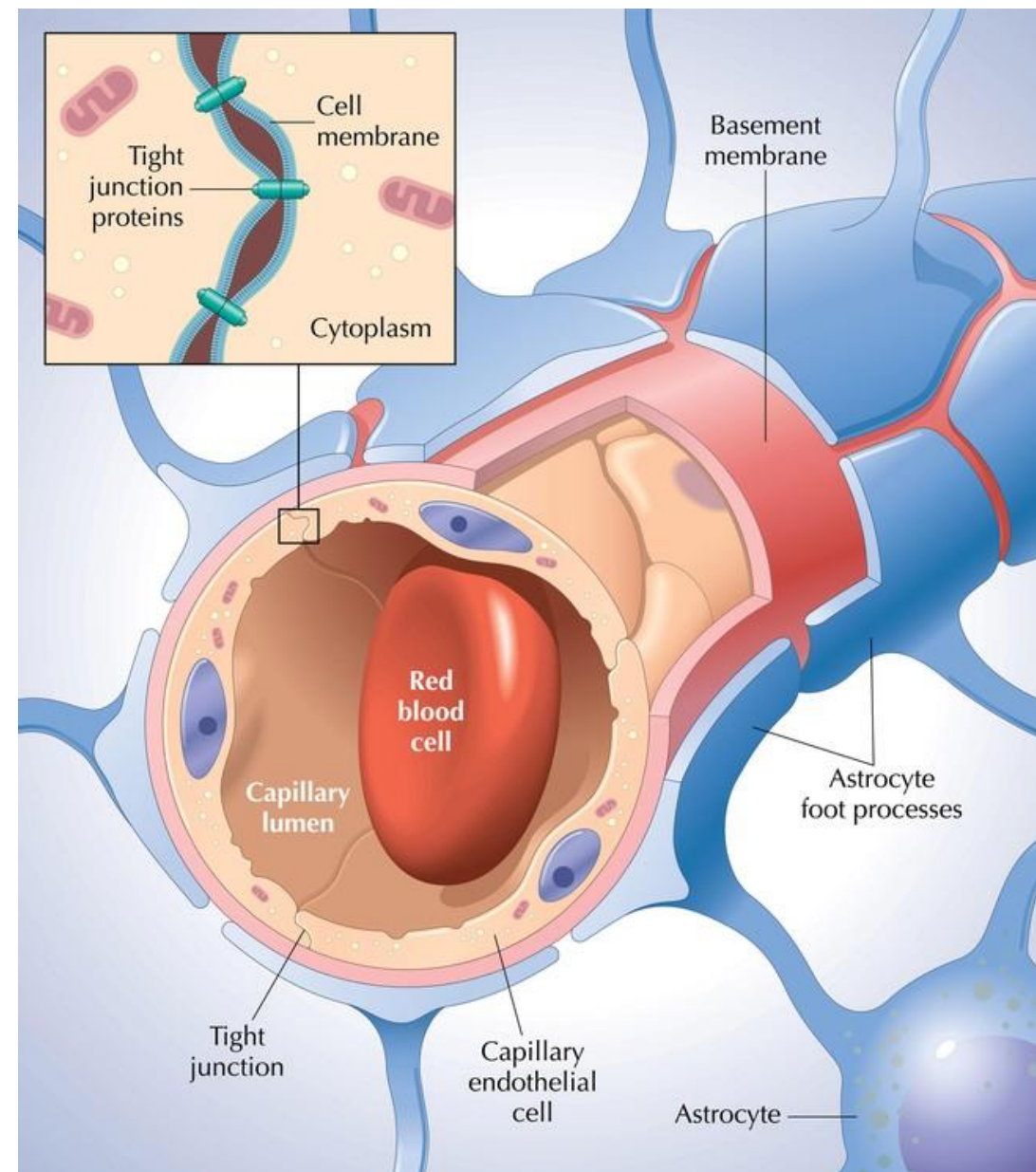
“Blood-brain barrier”

- Formée par les podocytes astrocytaires et les cellules endothéliales.
- Perméable aux substances liposolubles: OH, O₂, CO₂, nicotine, anesthésiques
- D'autres substances ne passent pas (certains médicaments) ou doivent être transportées activement



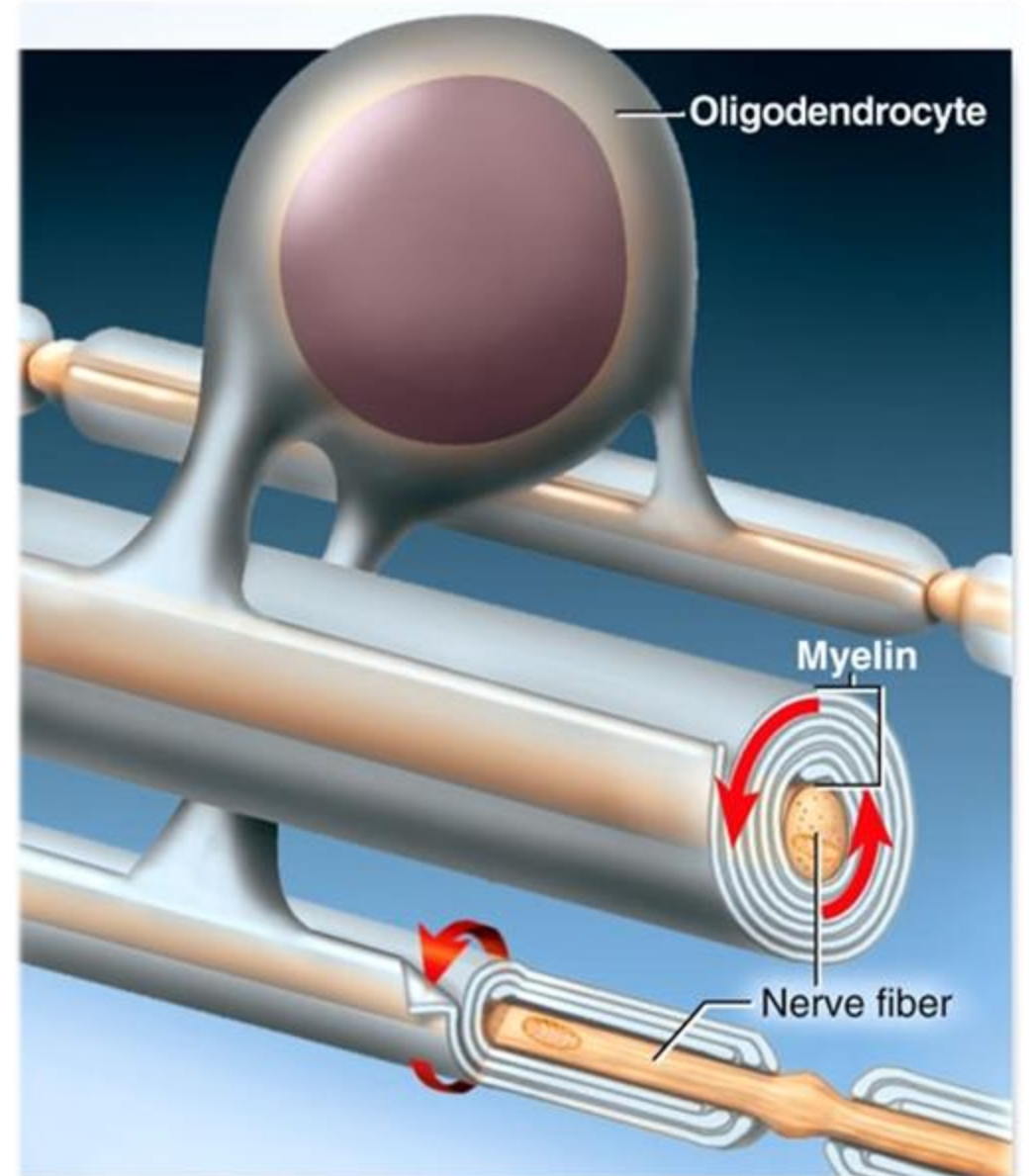
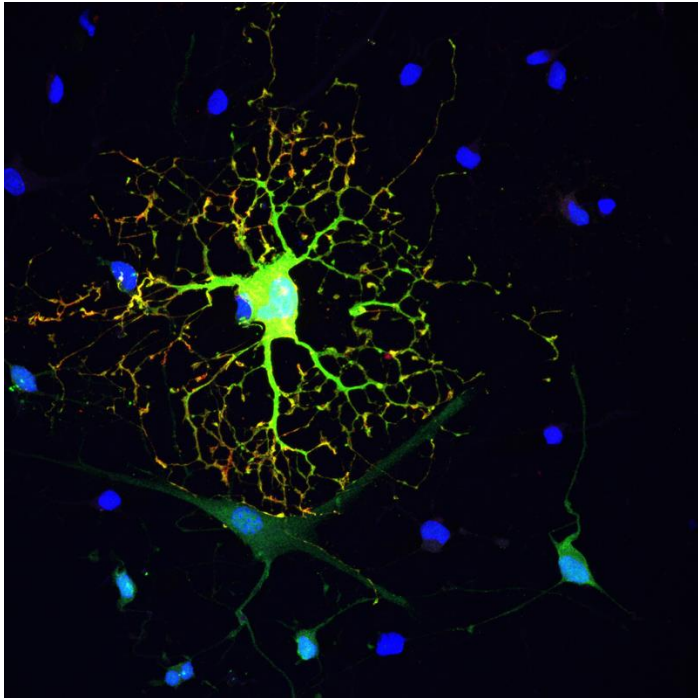
Lina Stern (1878-1968)

1921: Barrière hémato-encéphalique

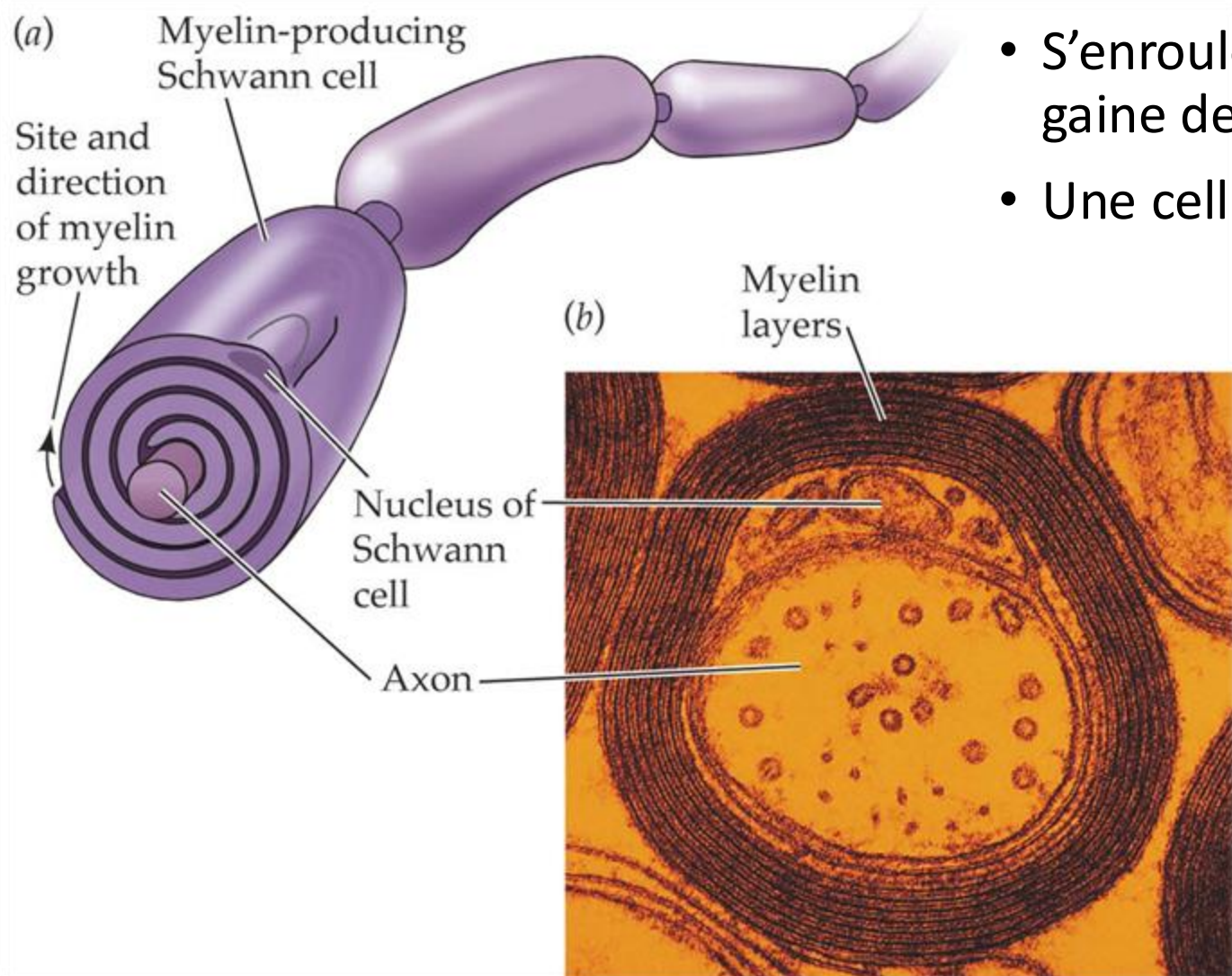


Oligodendrocytes

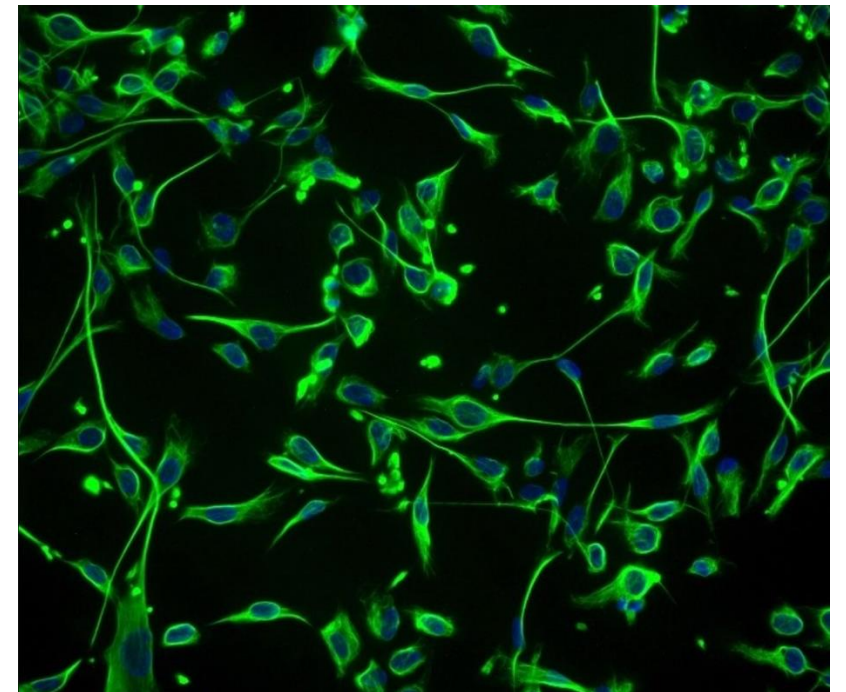
- S'enroulent autour des axones pour produire la gaine de myéline dans le SNC
- Un oligodendrocyte peut engainer plusieurs axones



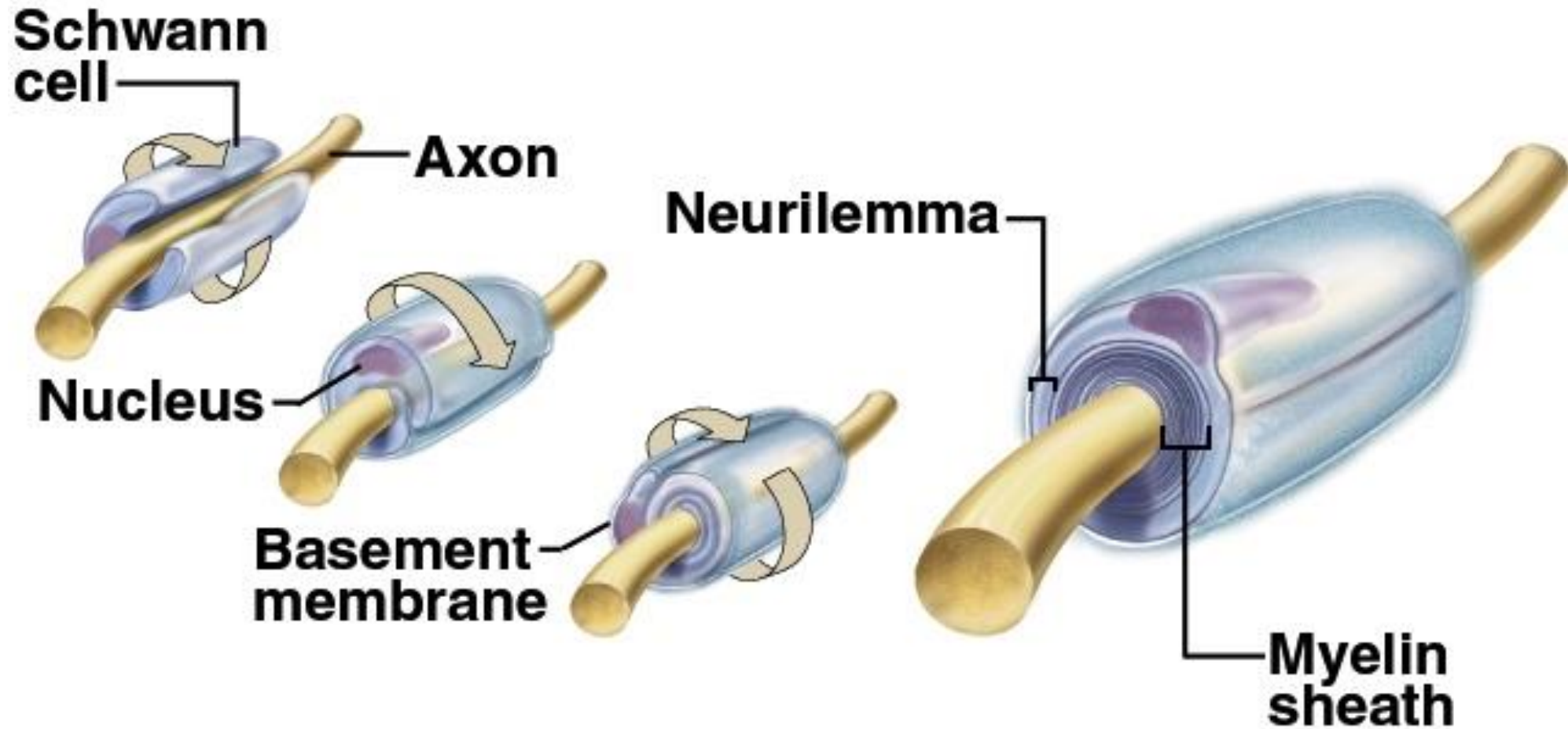
Cellules de Schwann



- S'enroulent autour des axones pour produire la gaine de myéline dans le SNP
- Une cellule de Schwann n'isole qu'un axone



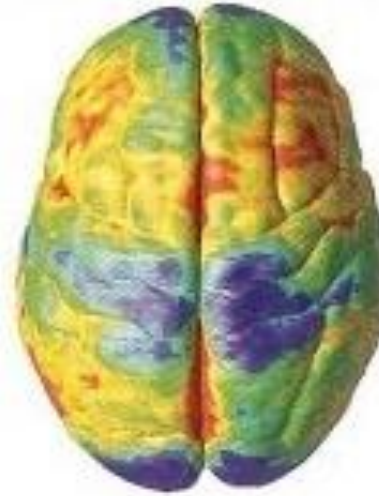
Myélinisation dans le SNP



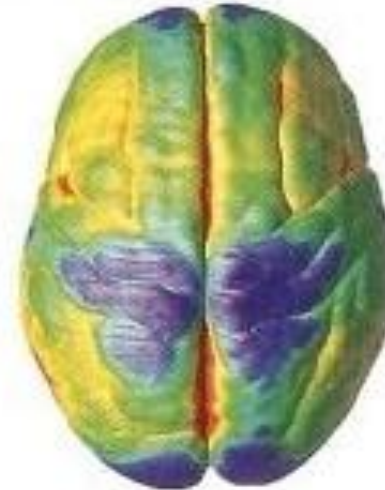
La myélinisation débute chez le foetus et se poursuit jusqu'à l'adolescence

Myéline

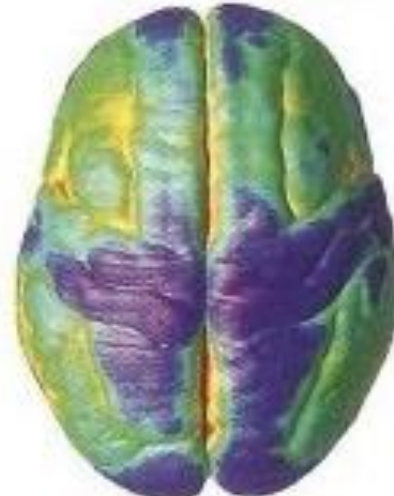
- Couche isolante autour de certains axones qui augmente vitesse de la conduction nerveuse
- Oligodendrocytes dans le SNC et cellules de Schwann dans le SNP
- Enroulement de la membrane plasmatique.
- Processus long, complet à la fin de l'adolescence
- Dans le SNP, l'axone est enroulé par des centaines de couches de membrane
- La couche la plus externe est la cellule de Schwann (neurilemme)
- Recouvert par la lame basale et l'endonèvre



Age 5



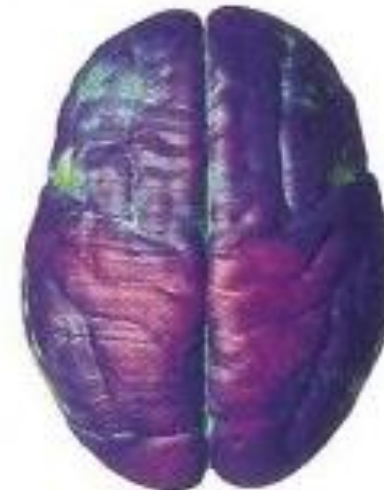
Age 8



Age 12

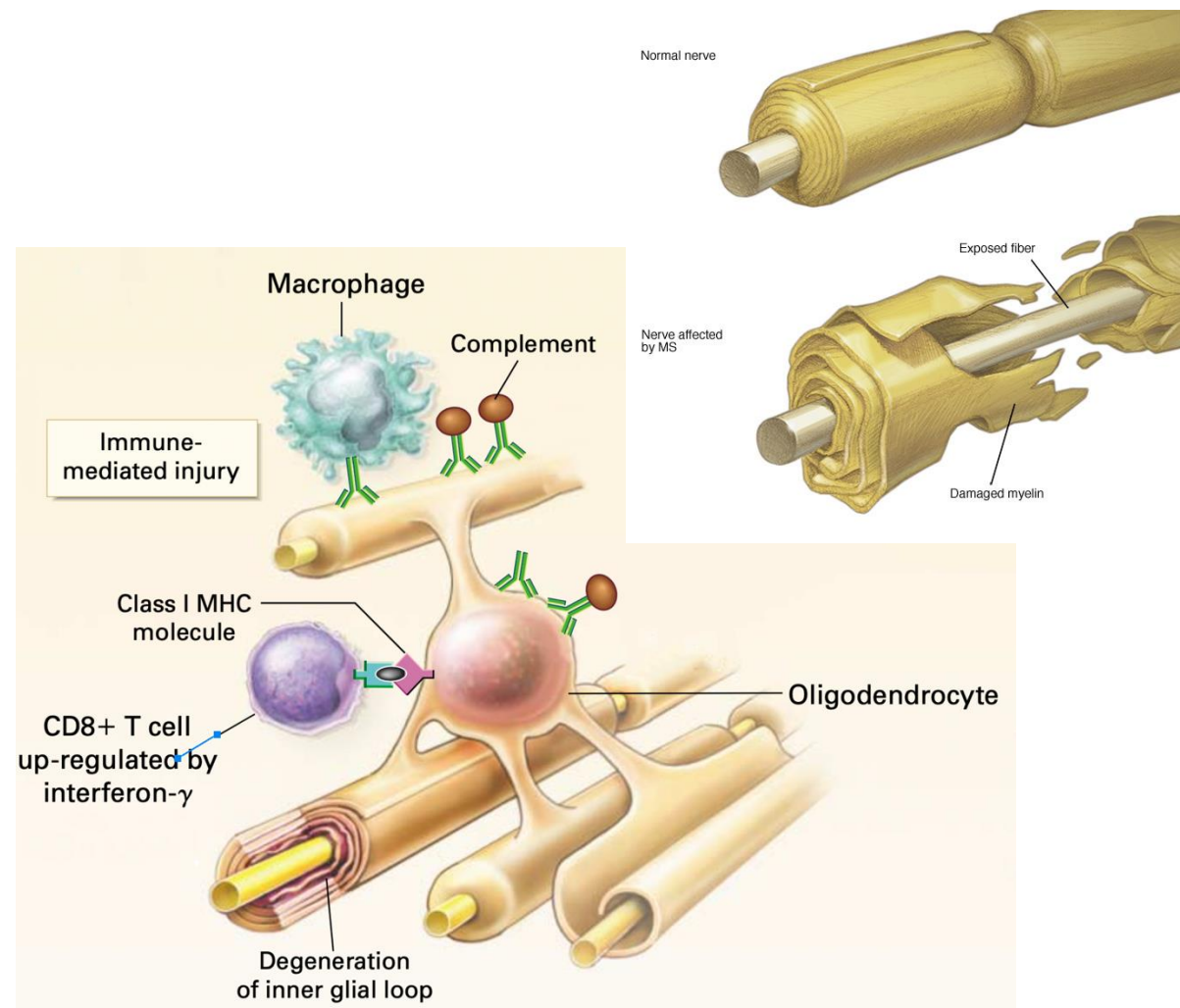
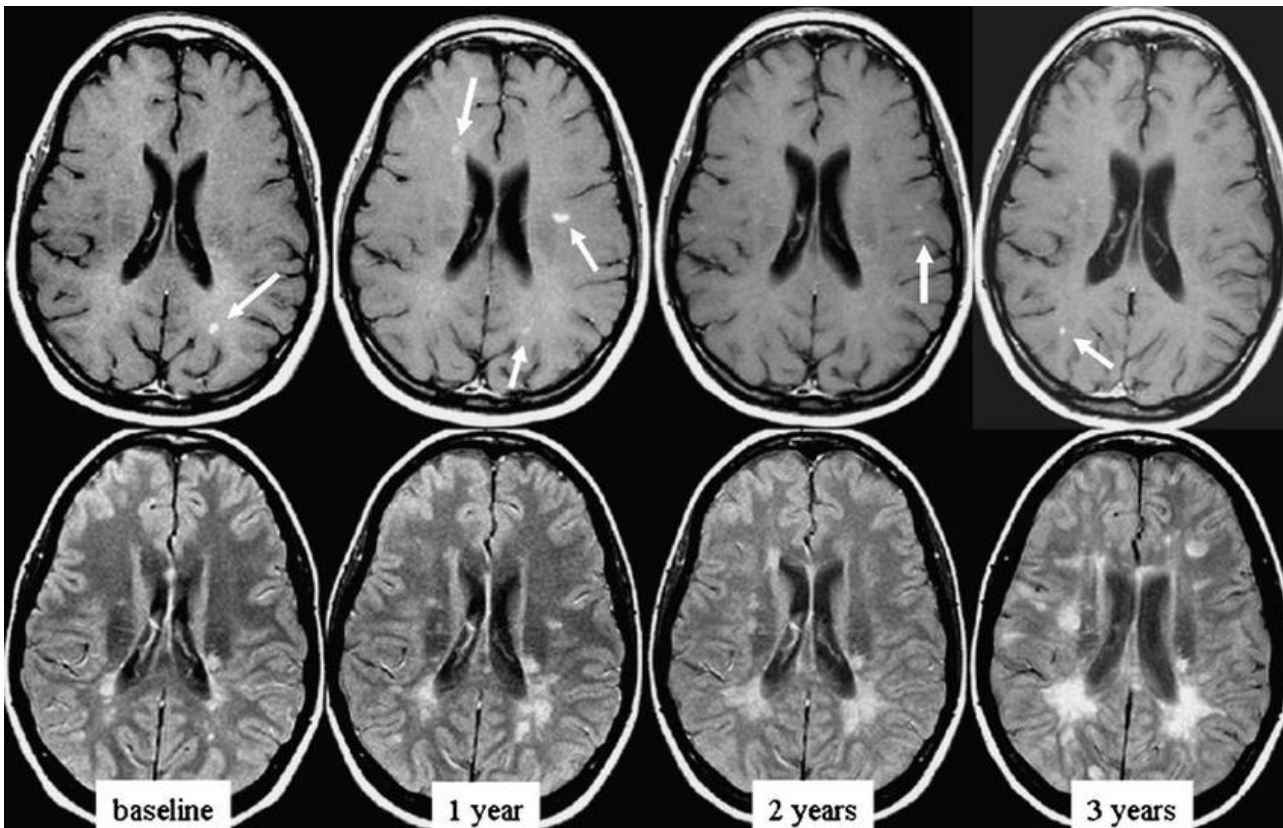


Age 16



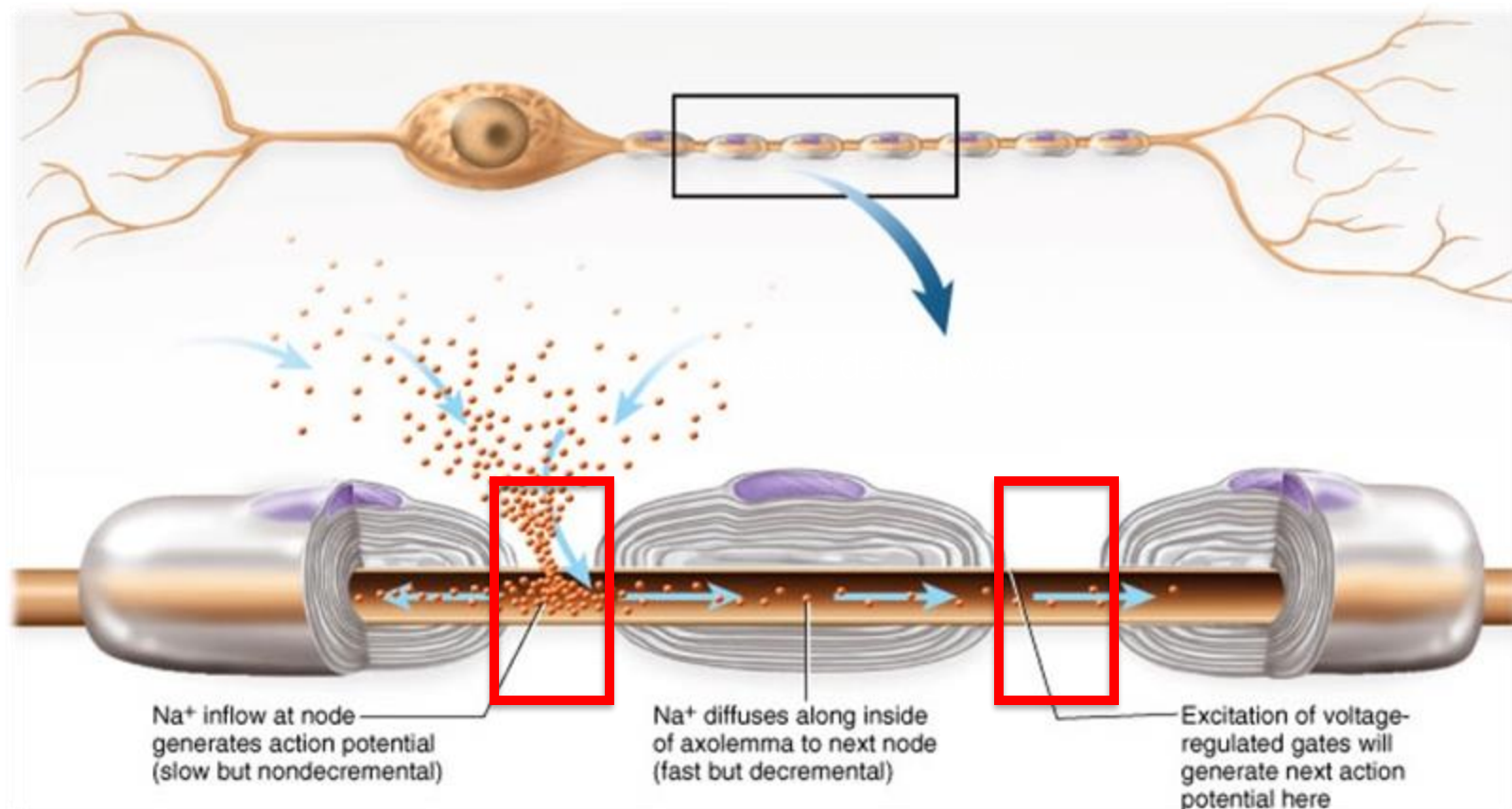
Age 20

Sclérose en plaques et maladies démyélinisantes



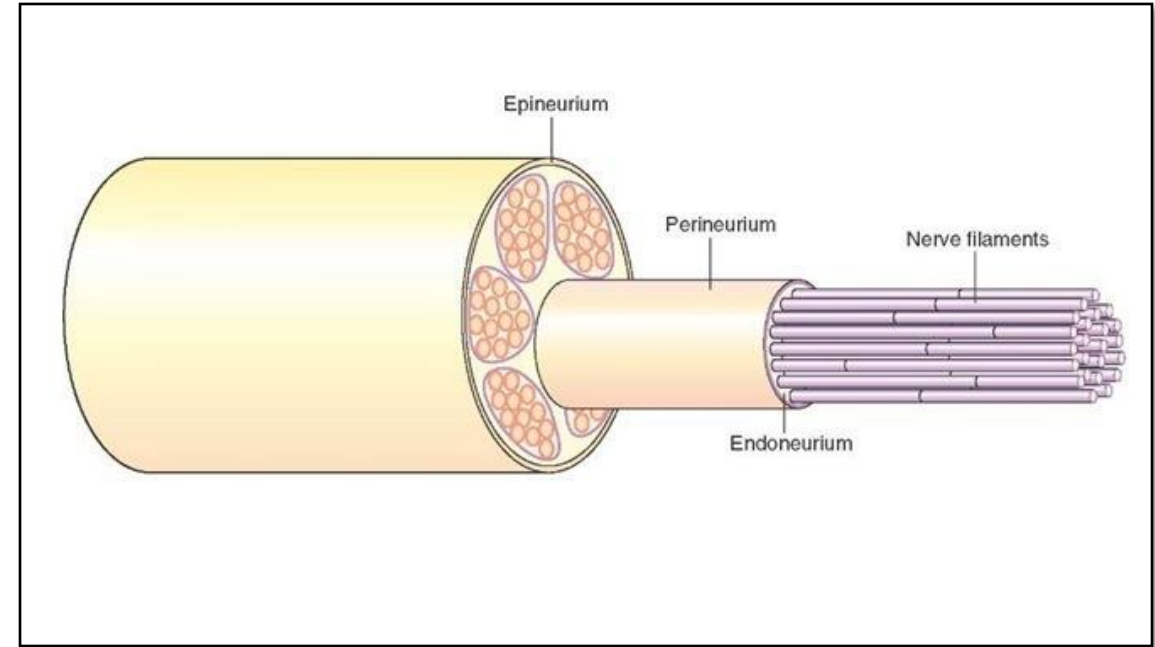
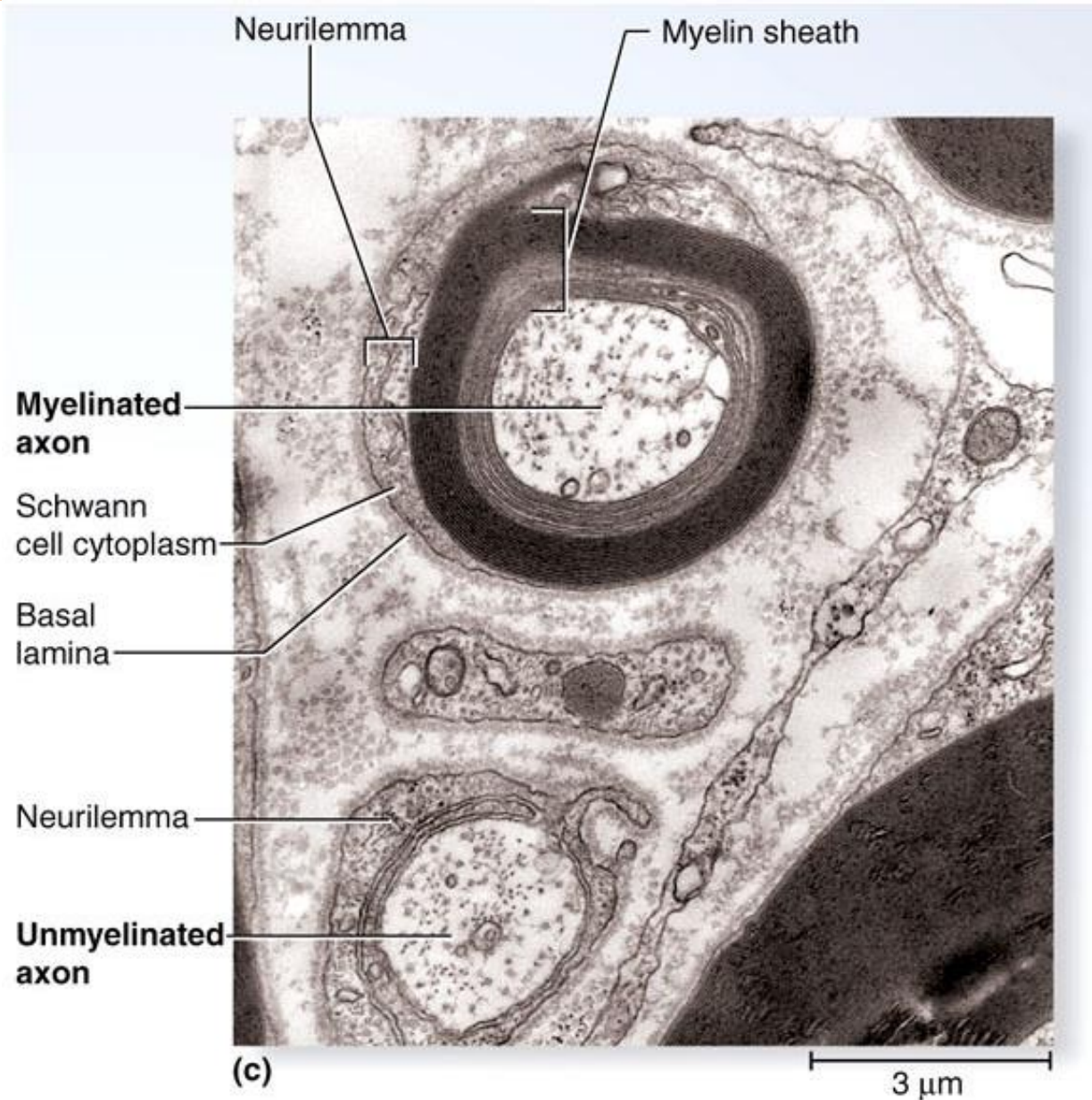
Fibre myélinisée: Conduction saltatoire du potentiel d'action

Cours 3



- Canaux sodiques voltage-dépendants nécessaires pour propager les potentiels d'actions.
 - $< 25 / \mu\text{m}^2$ dans régions myélinisées
 - $12'000 / \mu\text{m}^2$ dans nœuds de Ranvier
- Diffusion rapide de Na⁺ entre les nœuds de Ranvier

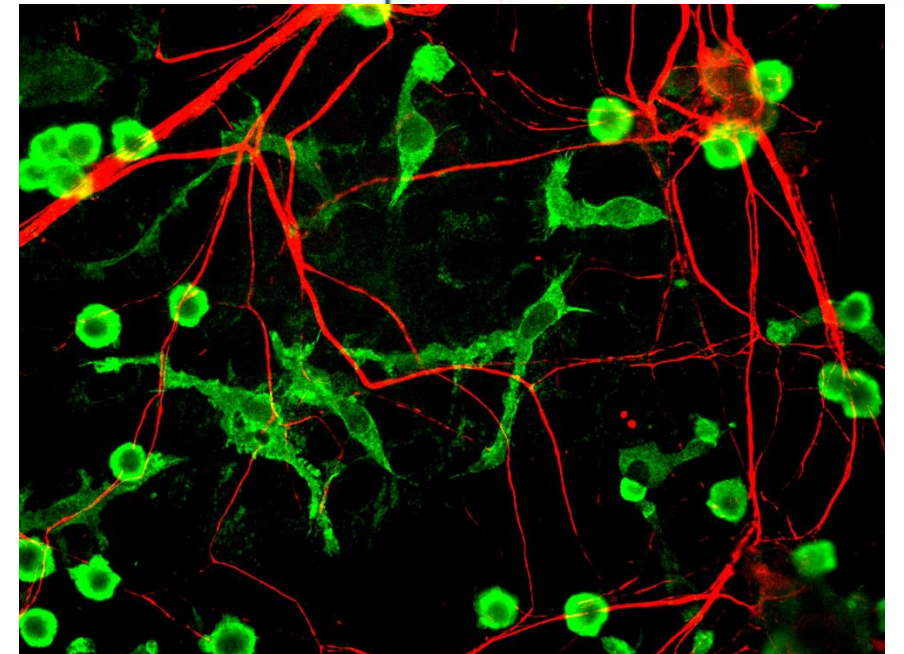
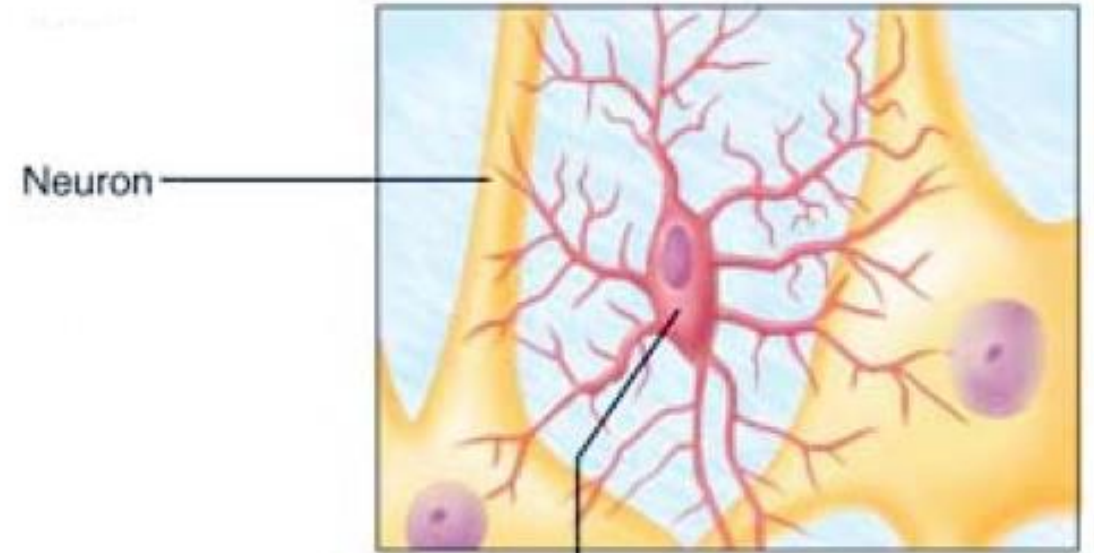
Axones non myélinisés du SNP et structure des nerfs



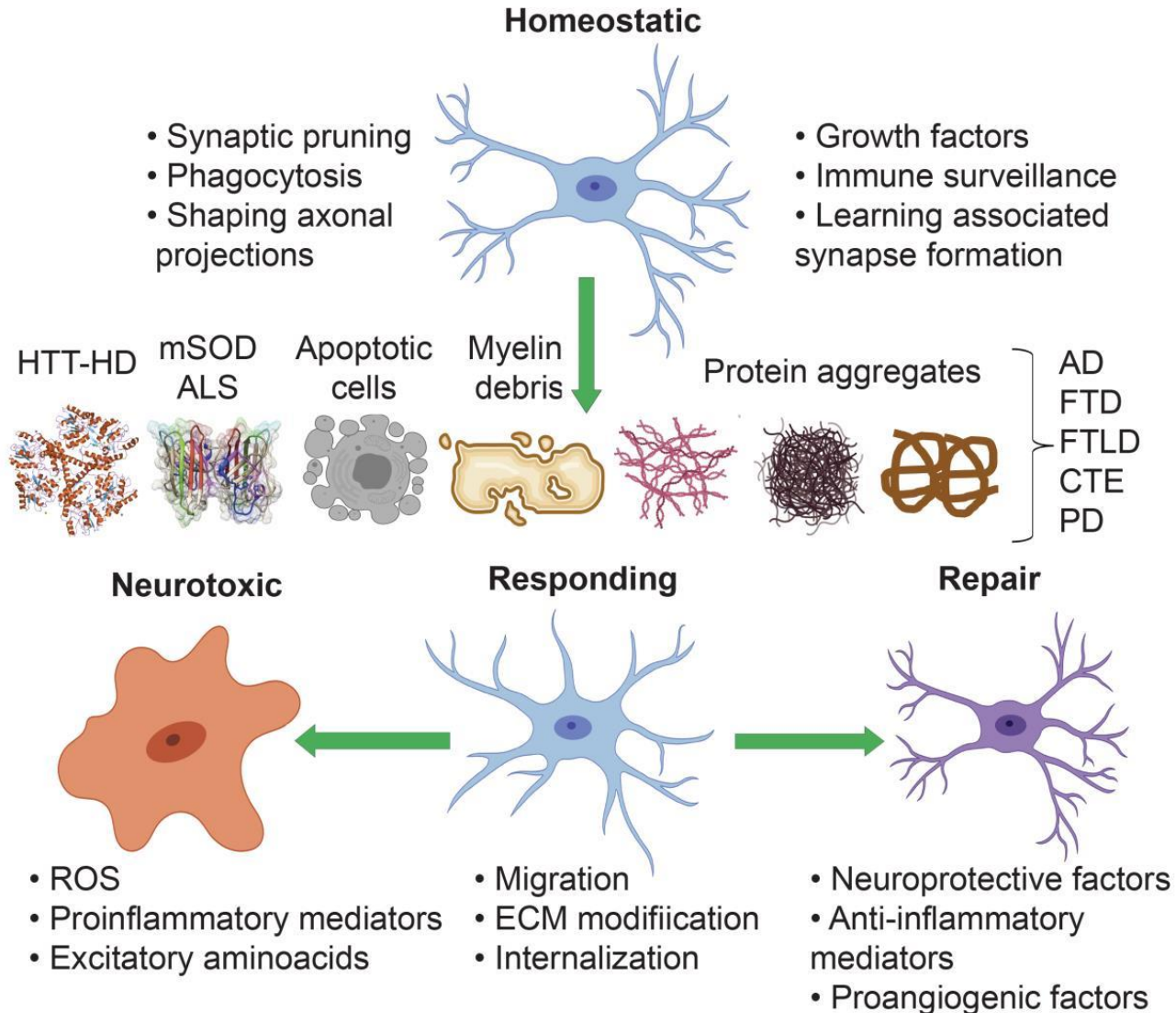
Les axones véhiculant la sensation de douleur sont non myélinisés

Microglie

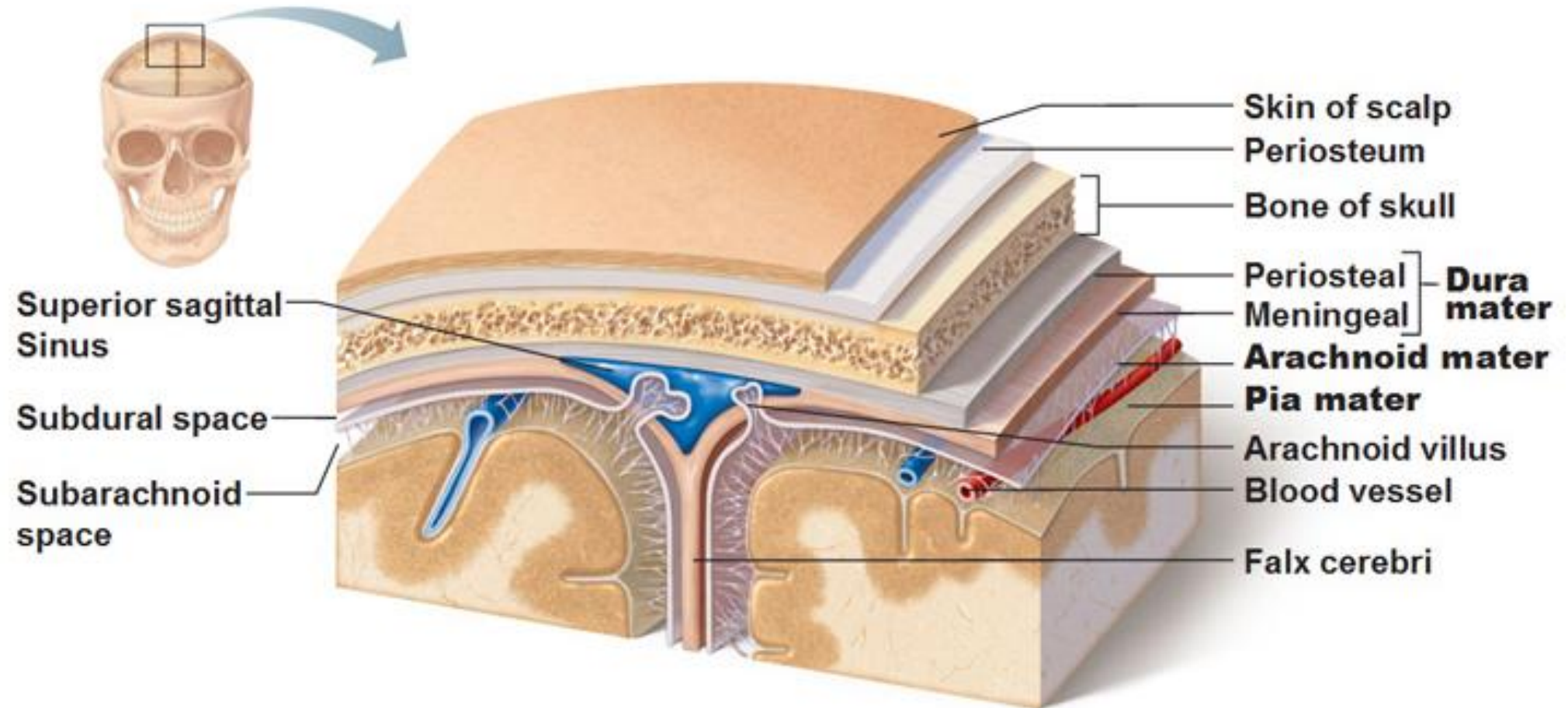
- Forme particulière de macrophage, même origine embryonnaire
- Activé en macrophage quand lésion ou infection
- Migre vers les neurones affectés



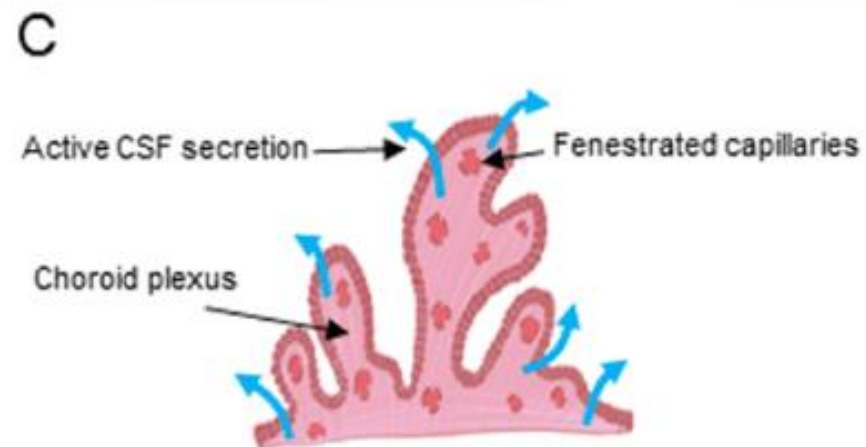
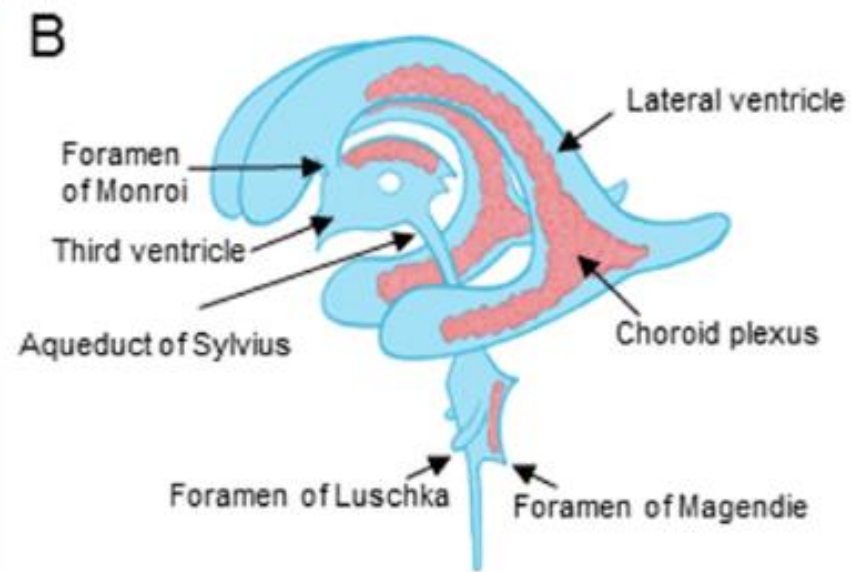
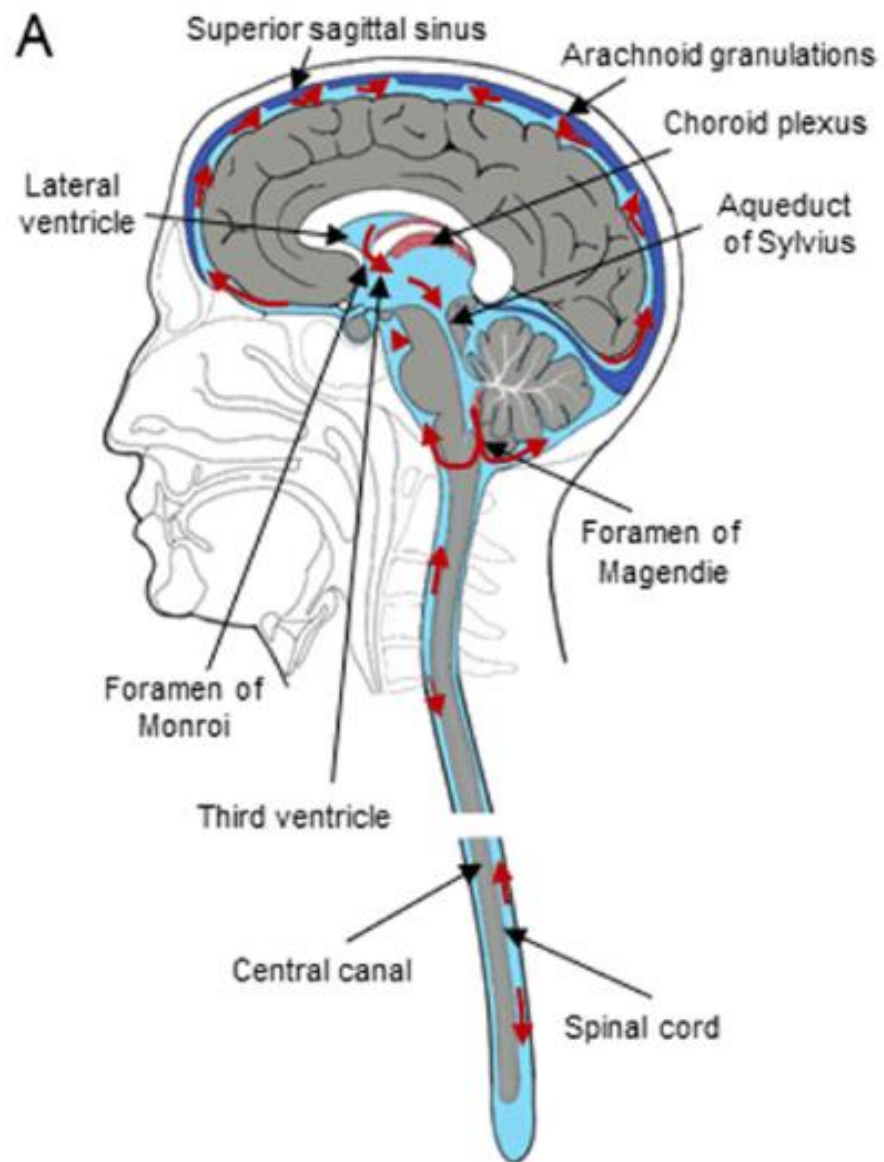
La microglie est impliquée dans de nombreuses pathologies



Les méninges

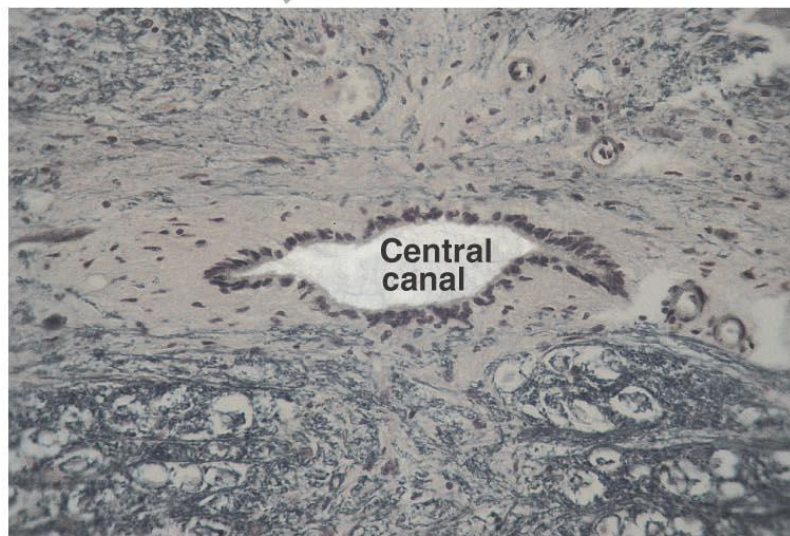
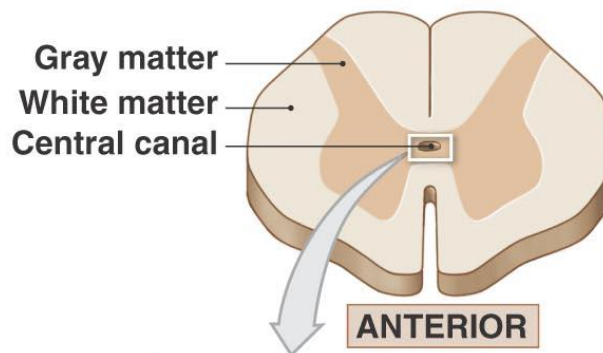
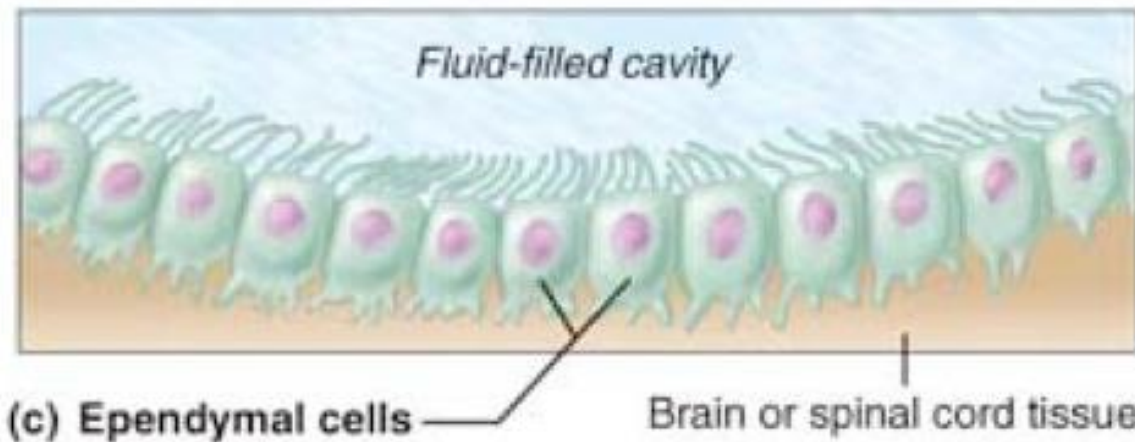


Le liquide cephalo-rachidien et le système ventriculaire

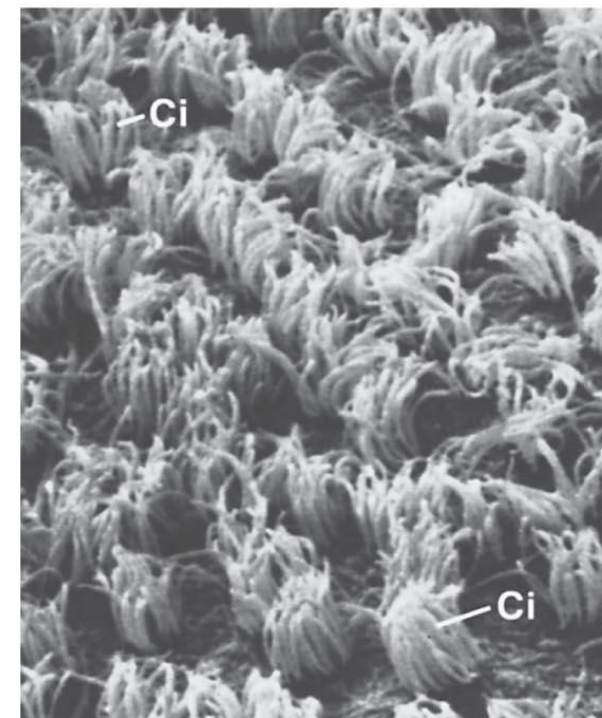


Cellules épendymaires

- Forment la paroi des ventricules dans le SNC
- Barrière perméable entre le liquide céphalo-rachidien (LCR) et le parenchyme cérébral
- Typiquement ciliées

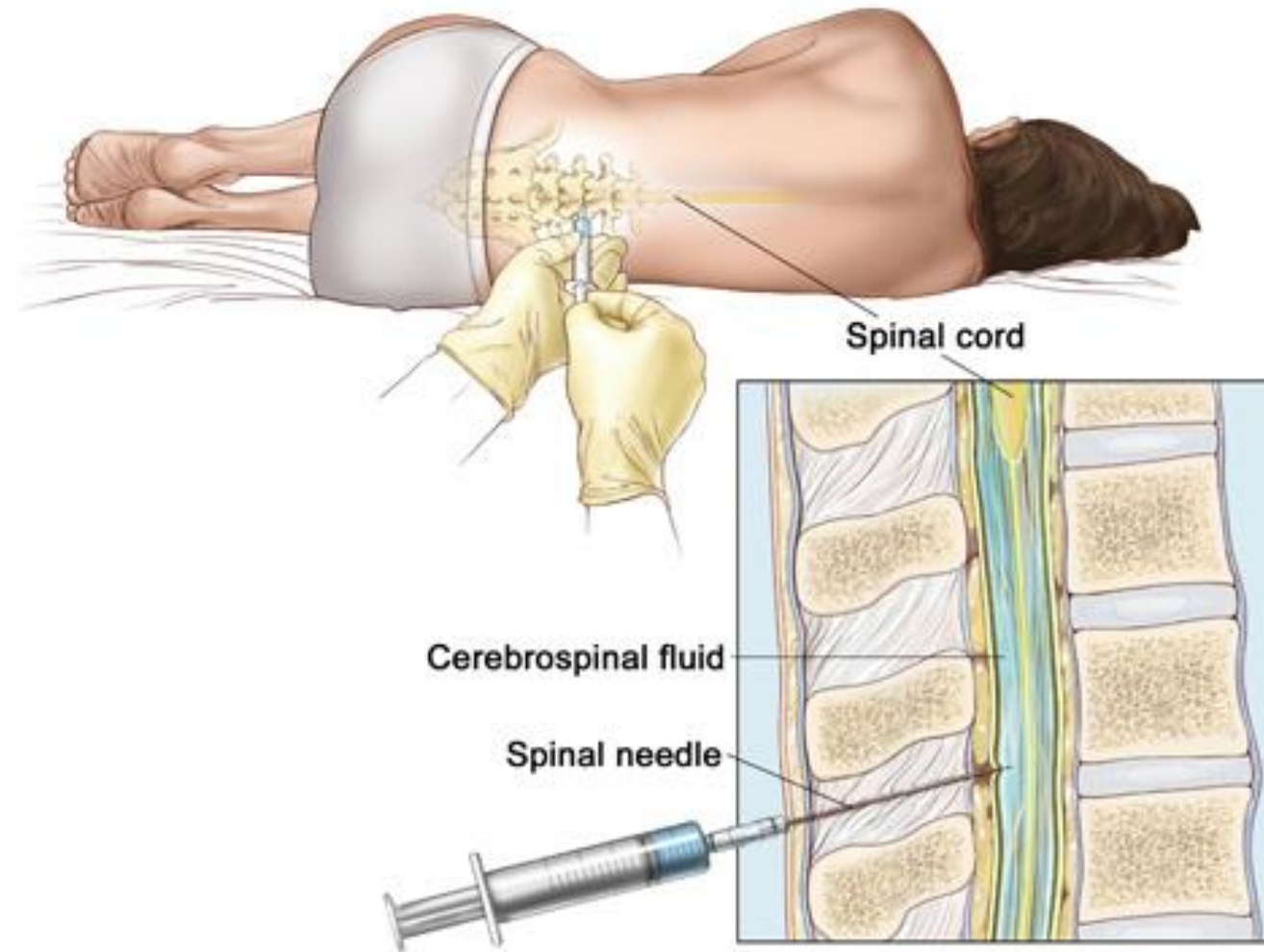


(a)



(b)

Méningite et ponction lombaire



Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation

1. Systeme nerveux central: Introduction et principes d'organisation (2h)

- Presentation generale du module
- Organisation generale du systeme nerveux
- Les cellules du systeme nerveux