

# Bases neurophysiologiques du comportement humain et évolution tout au long de la vie

Yiou E.

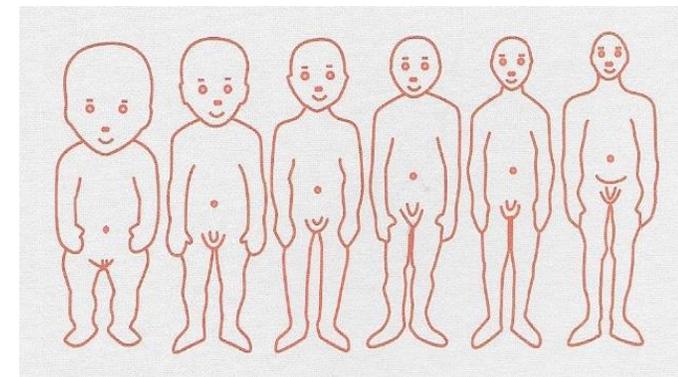
Laboratoire CIAMS

Faculté des Sciences du Sport

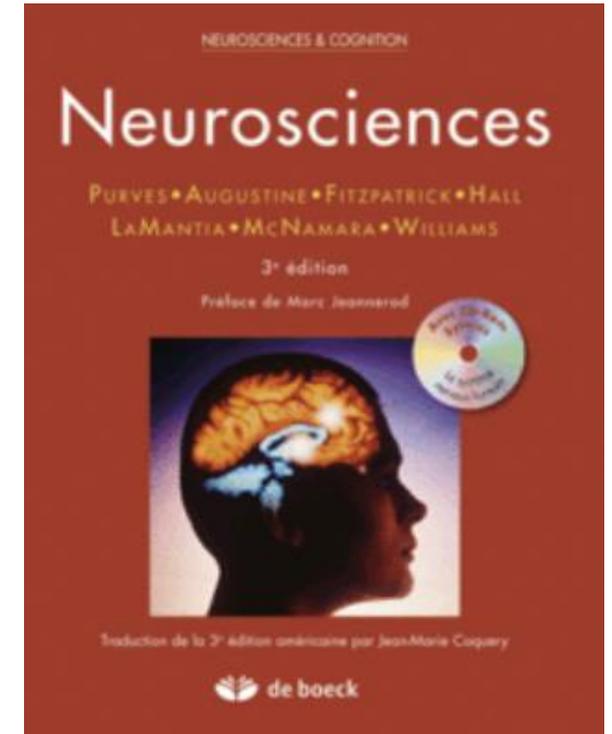
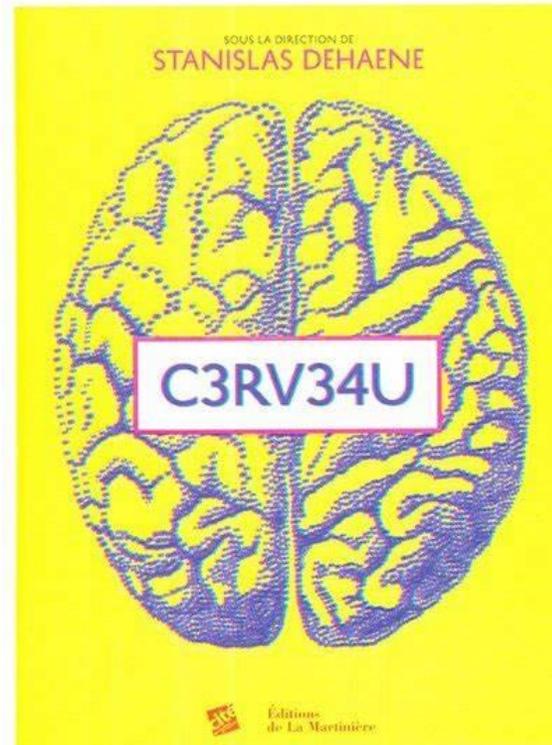
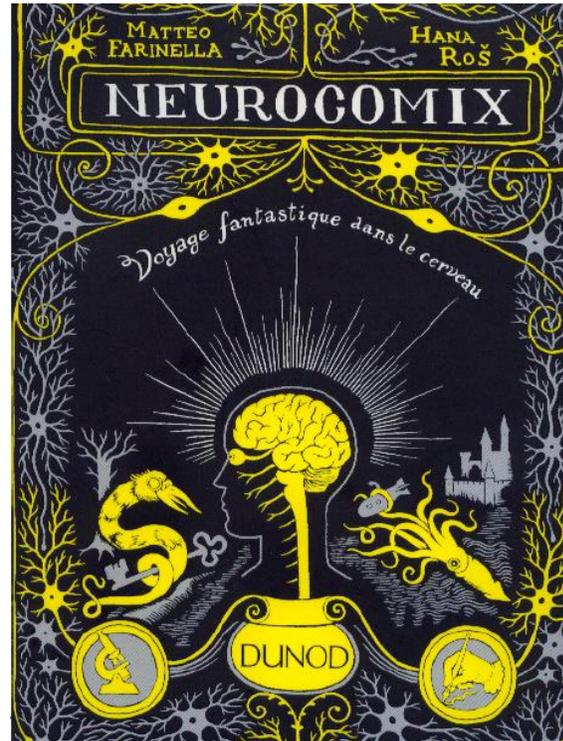
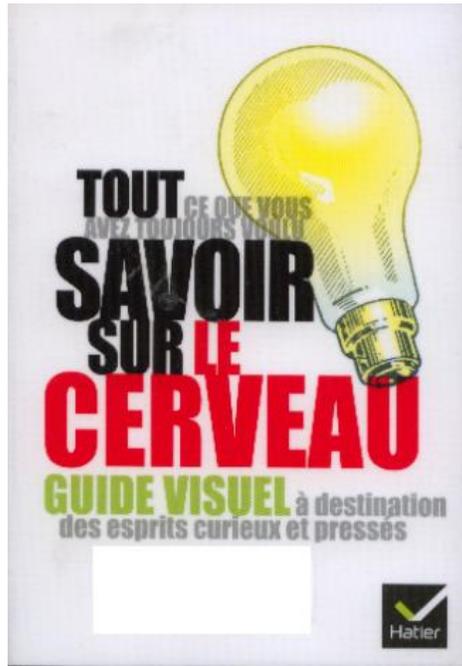
Université Paris-Saclay

université  
PARIS-SACLAY

FACULTÉ  
DES SCIENCES  
DU SPORT



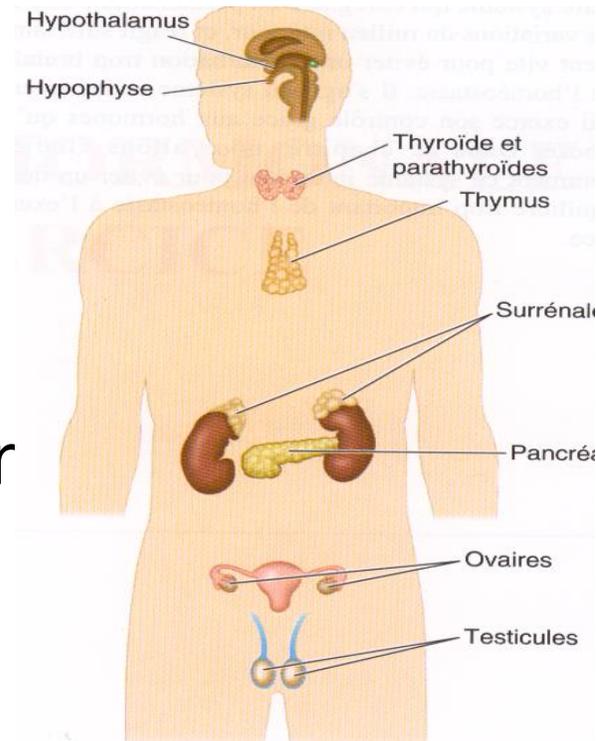
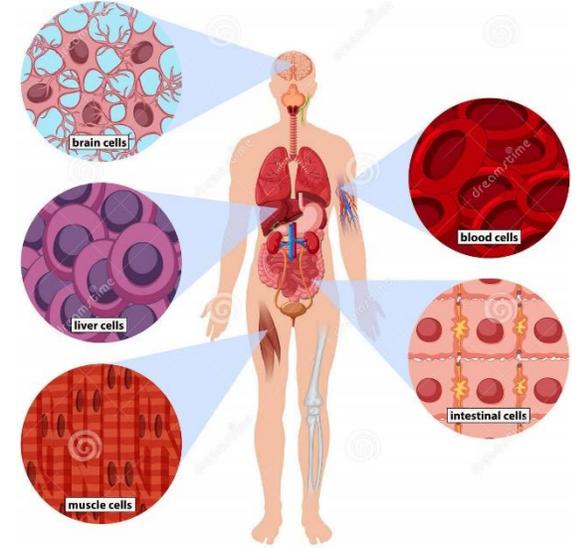
# Quelques références bibliographiques



# Plan général du CM

- 1) Subdivisions anatomiques de base du système nerveux (SN)
- 2) Les cellules spécialisées du SN
- 3) Evolution du cerveau tout au long de la vie

## CELLS OF THE HUMAN BODY



- Corps humain:  $3,0 \cdot 10^{13}$  cellules (cf. cours Physio) +  $3,8 \cdot 10^{13}$  bactéries
- Activité coordonnée des cellules vitale:  
=> Communica°  
Cell jointives  
Cell distantes
- Système hormonal et nerveux permettent la communica° entre cell  
=> Interven° d' « hormones » et « neurotransmetteurs »
- Communica° entre cell => base du comportement humain  
conscience, pensée, contrôle des émotions, motricité,  
développement physique/psychique, libido etc.

# Plan général du CM

**1) Subdivisions anatomiques de base du système nerveux**

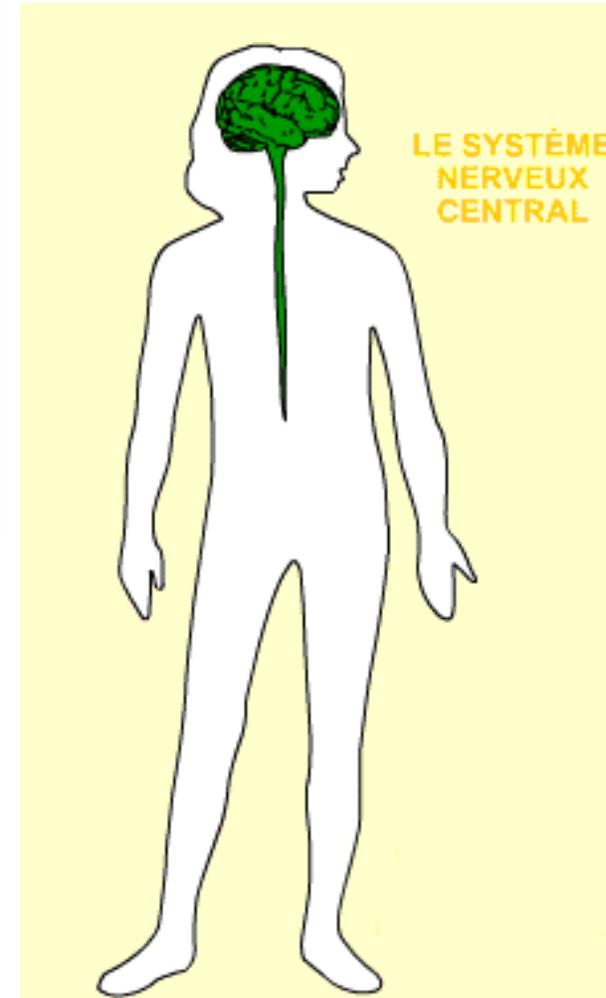
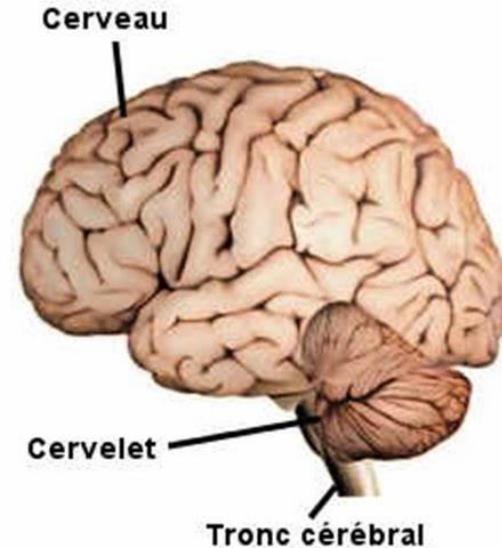
2) Les cellules spécialisées du SN

3) Evolution du cerveau tout au long de la vie

# Classification anatomique: SNC et SNP

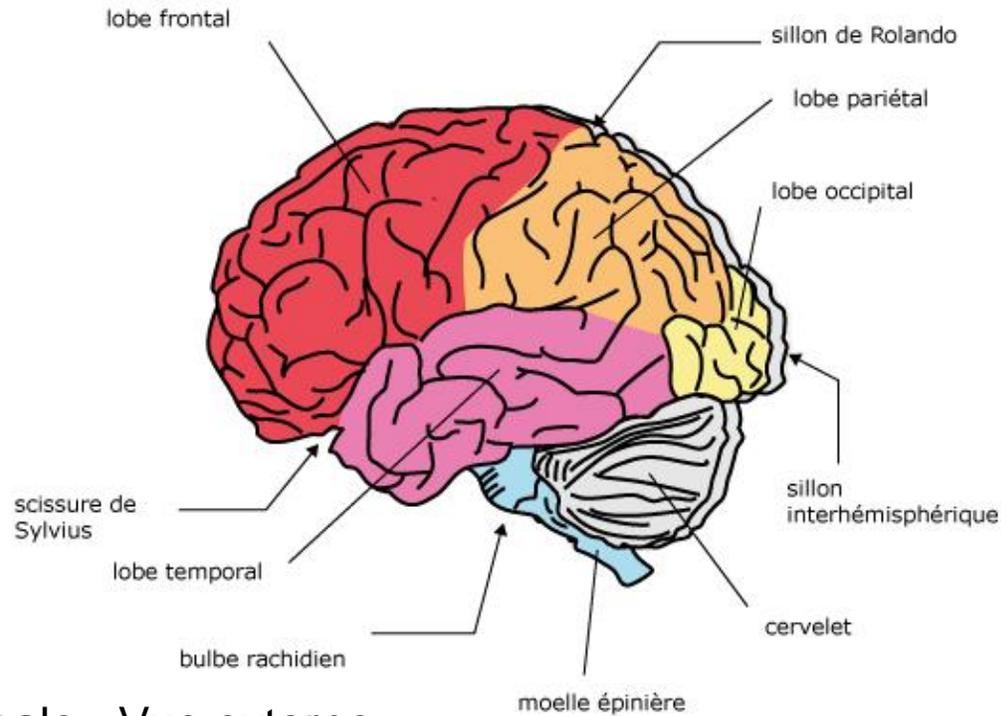
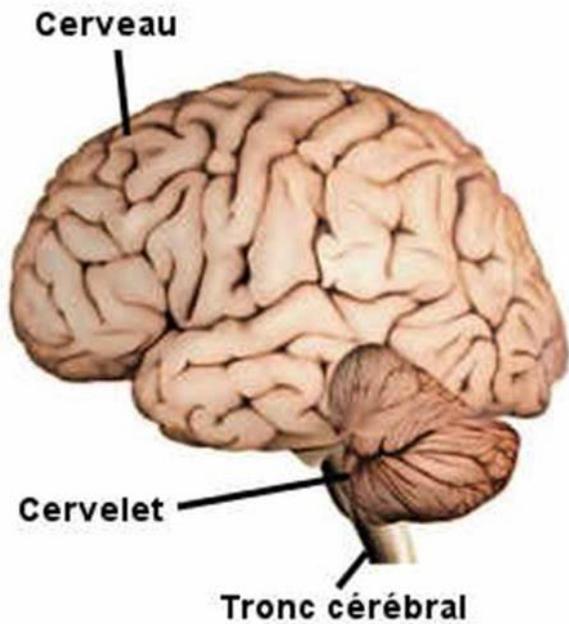
## □ Le SNC

- Encéphale (boite crânienne)
- Moelle épinière (colonne vertébrale)

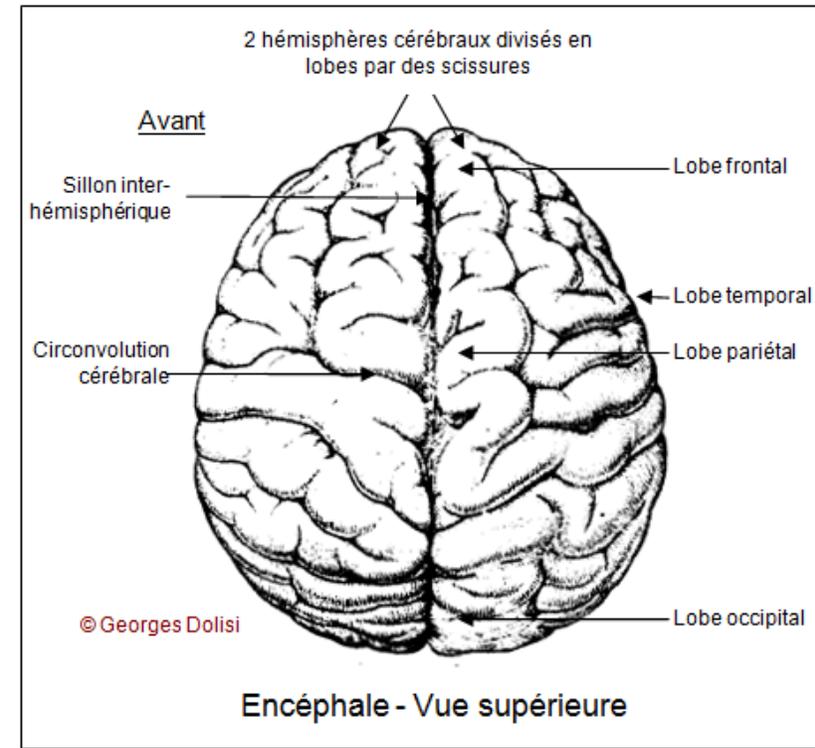


Fonctions : « tour de contrôle »

=> Organisa°, contrôle, régula° des fonctions essentielles de l'organisme: motricité, équilibre, perception (sensibilité, vision, audition, odorat...), fonctions intellectuelles, émotions, comportement etc.



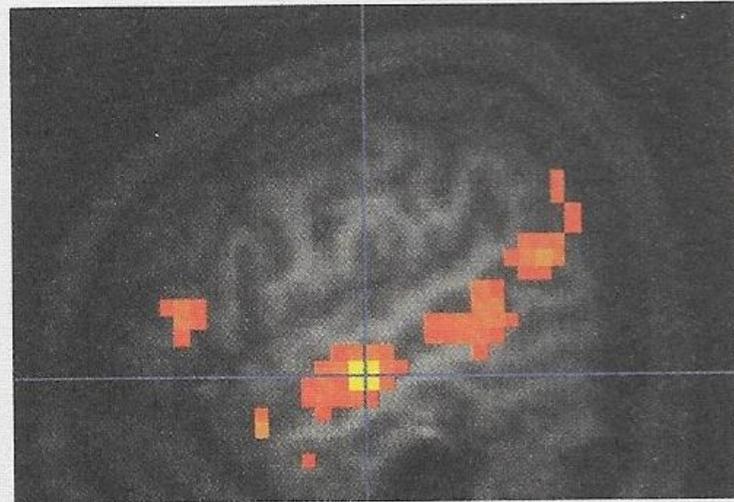
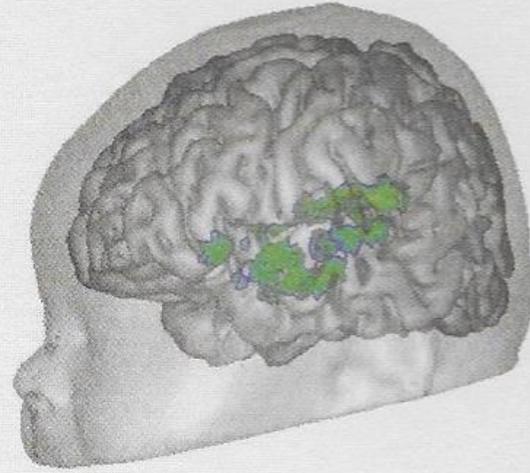
Encéphale - Vue externe



Lobes cérébraux	frontal	pariétal	temporal	occipital
Fonctions	Motricité, raisonnement, conscience, planification, langage etc.	Sensibilité, attention, perception de l'espace etc.	Audition, olfaction, mémoire, langage	vision

- Tronc cérébral => fonctions physiologiques vitales (respiration, déglutition, motricité, veille sommeil etc.)
- Cervelet => équilibre et coordination

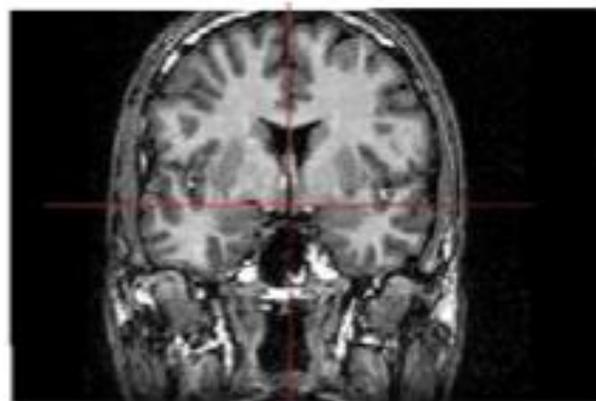
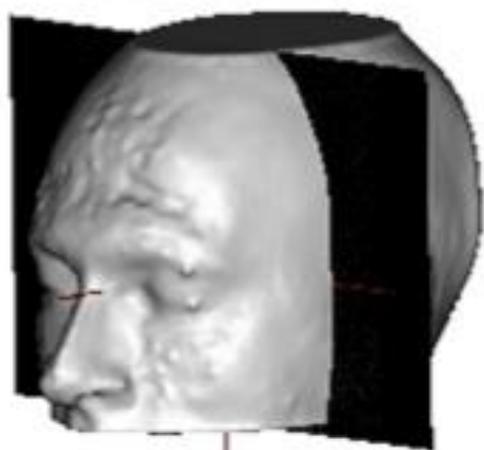
NOURRISSON



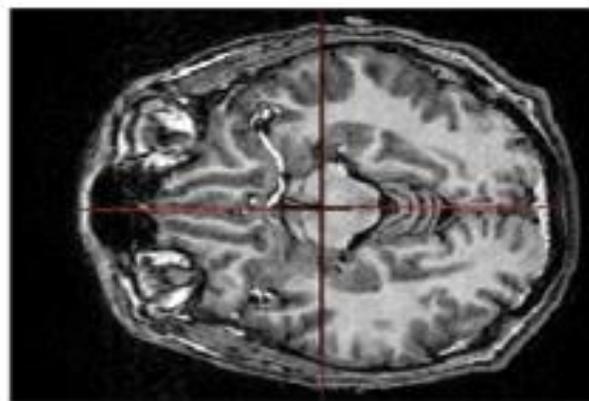
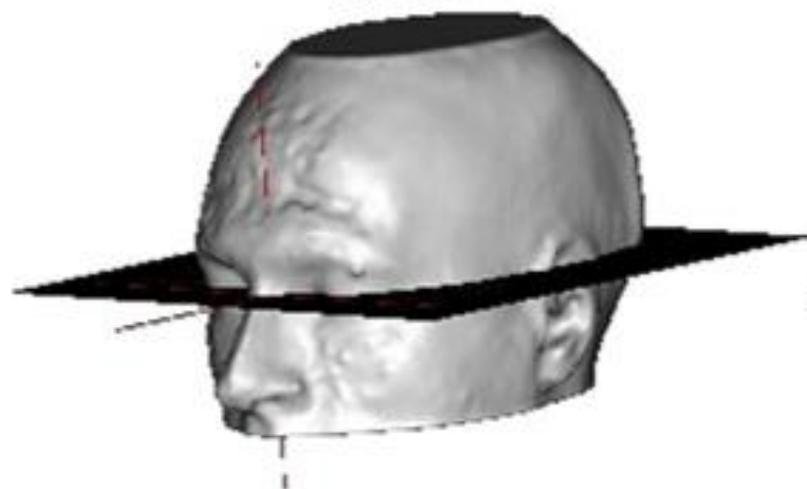
ADULTE

Régions cérébrales activées par l'écoute de la parole (vue externe du cerveau)

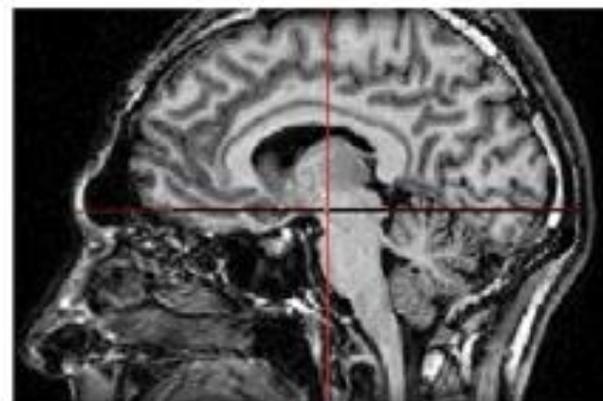
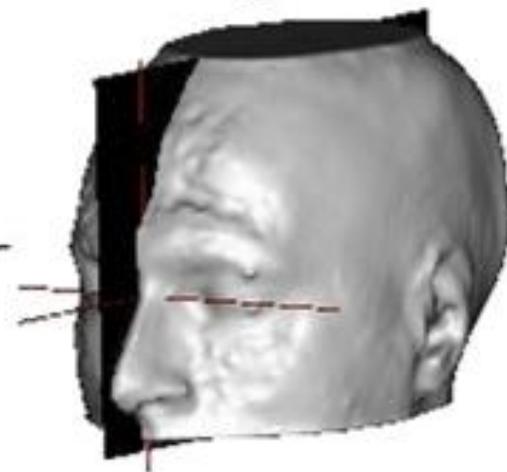
Vue  
coronale

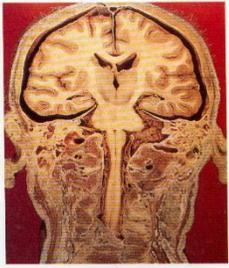


Vue  
axiale



Vue  
sagittale





Substance blanche

Cortex

Corps calleux

Noyau caudé

Putamen

Globus pallidus

Amygdale

Hippocampe

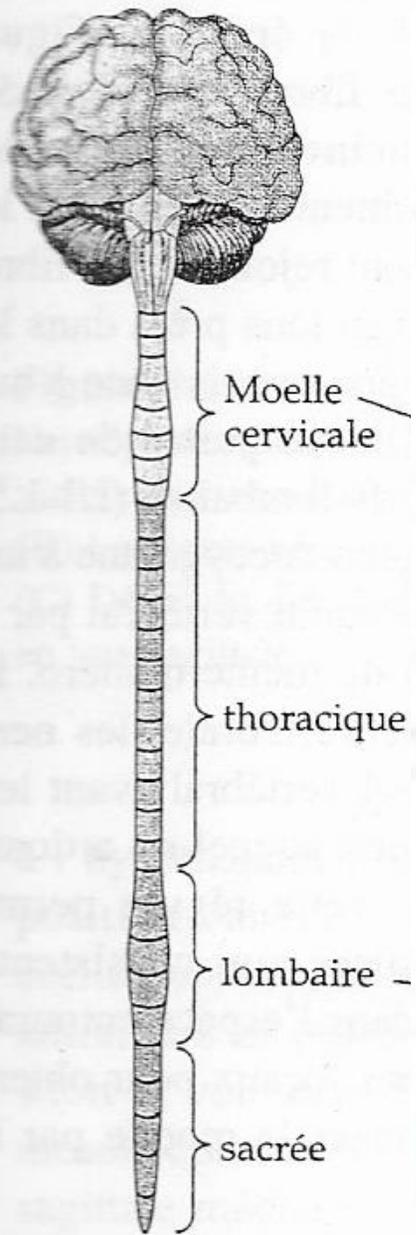
Thalamus

Hypothalamus

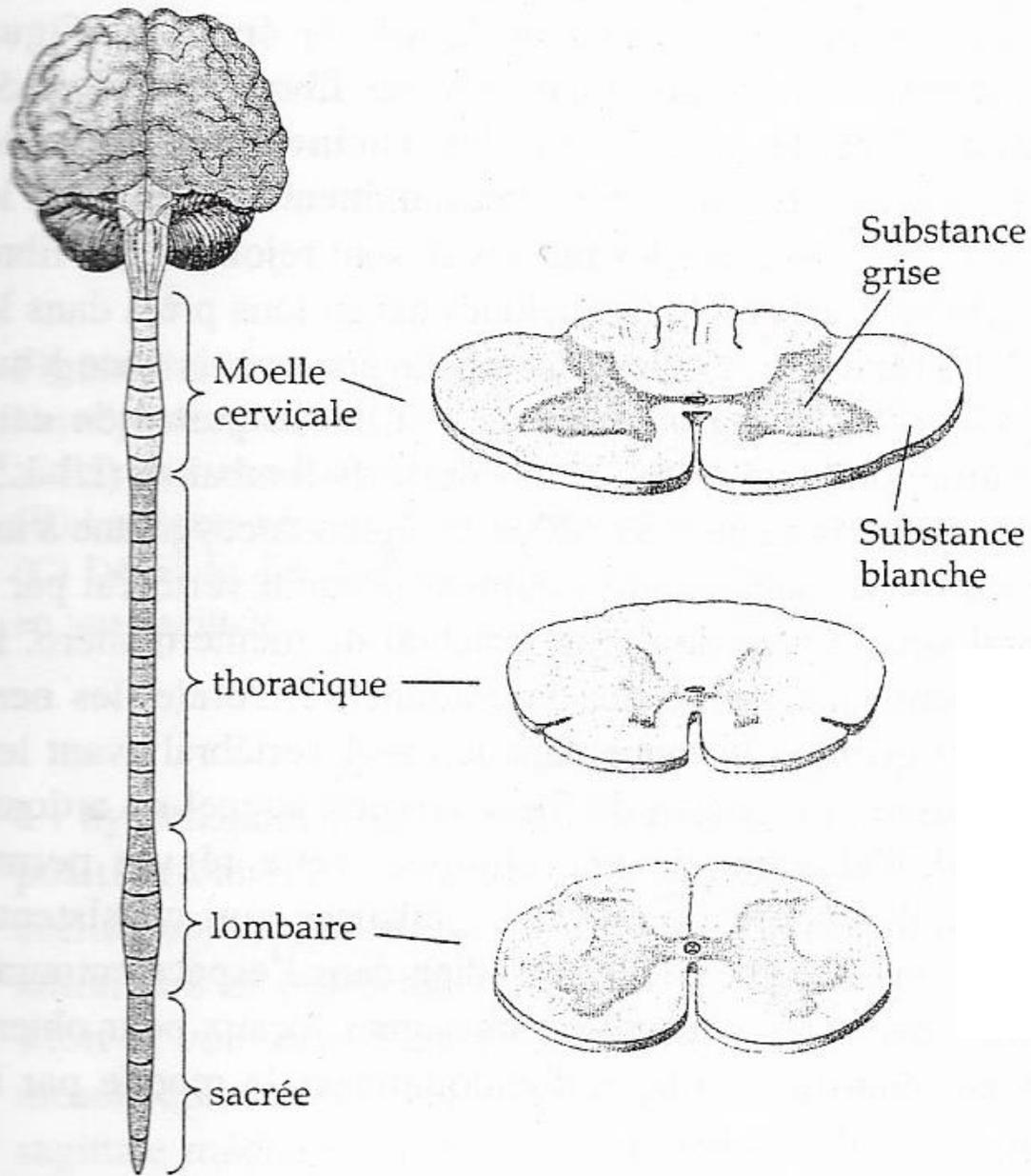
Ganglions de la base

Structure	Caractéristique(s)/ fonction(s)
Cortex	Fine couche de SG contenant corps des neurones
Substance blanche	Int. des hémisphères. Contient axones des neurones
Thalamus	Reçoit et tri informa° sensorielles avant projec° vers Cx
Hypothalamus	Centre de contrôle de la faim, stress, éveil, sécrétion d'hormones (en interagissant avec hypophyse).
Hippocampe	Mémoire
Amygdale	décodage des émotions, en particulier des stimulus menaçant pour l'organisme
Ganglions de la base	Activité motrice

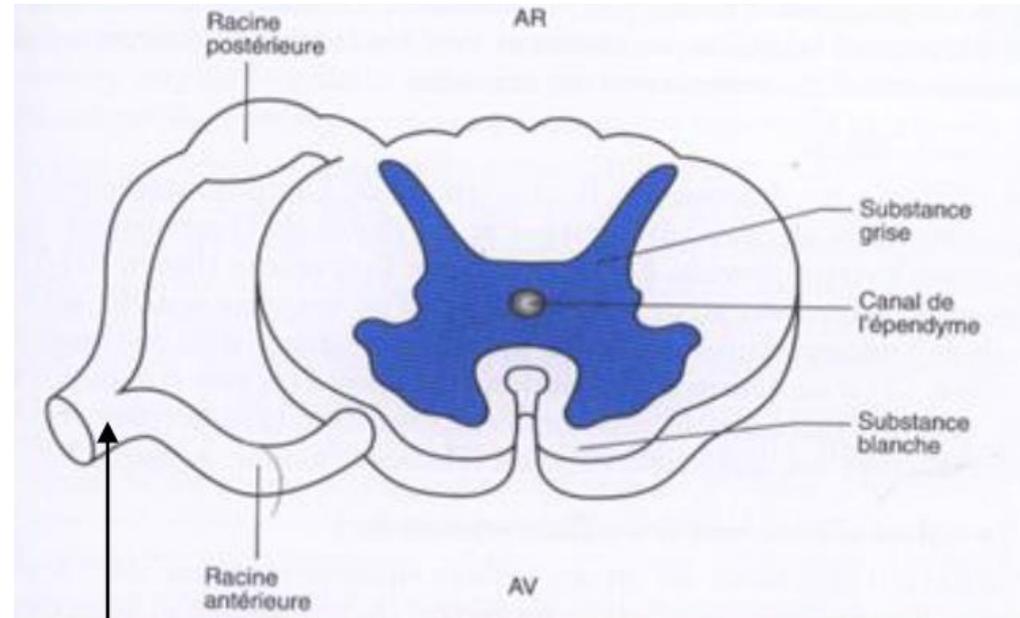
Vue coronale du cerveau passant par le thalamus faisant apparaître les noyaux sous-corticaux



**Segmentation de la moelle épinière**



**Segmentation de la moelle épinière**



**Nerf rachidien**

**Segment rachidien**

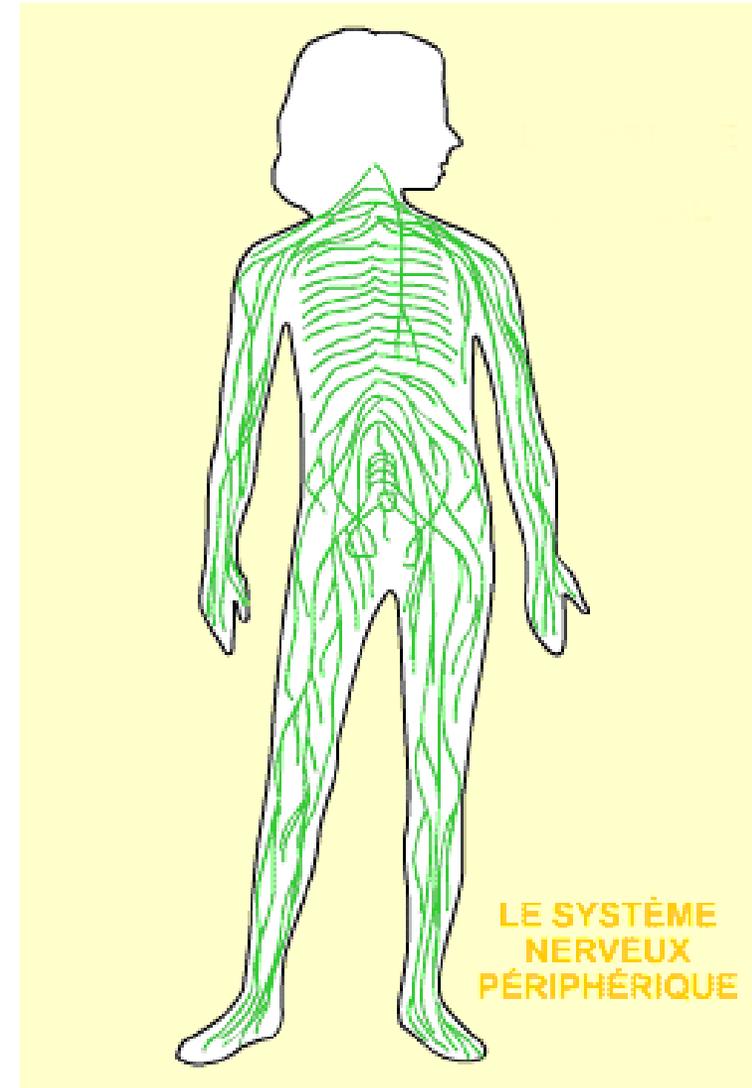
## □ Le SNP

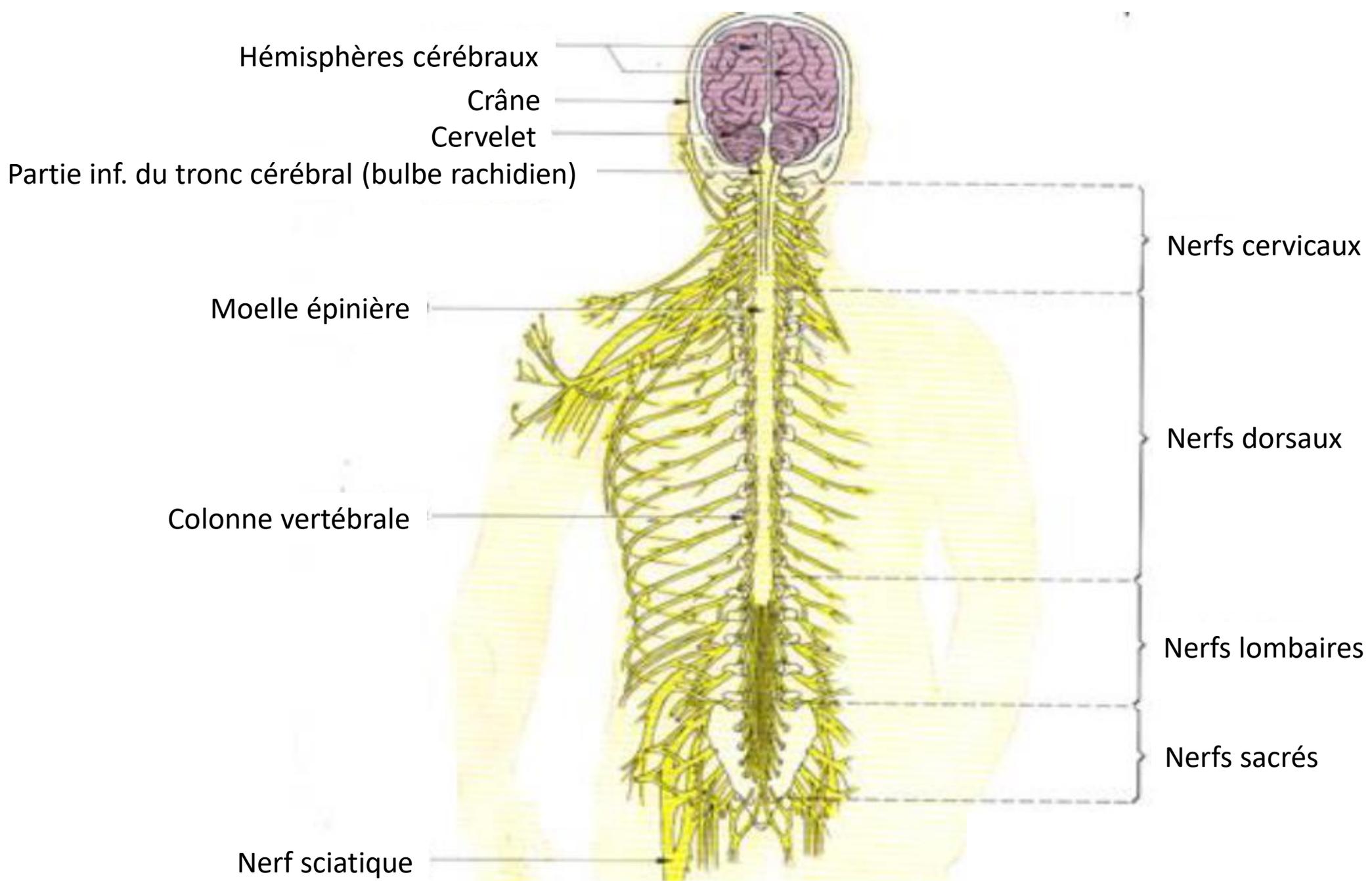
- Ganglions + Nerfs situés hors du SNC

Fonctions: « Transmission des informa° entre SNC et périphérie »

=> Informa° afférentes (depuis capteurs sensoriels vers SNC)

=> Informa° efférentes (depuis SNC vers la périphérie)

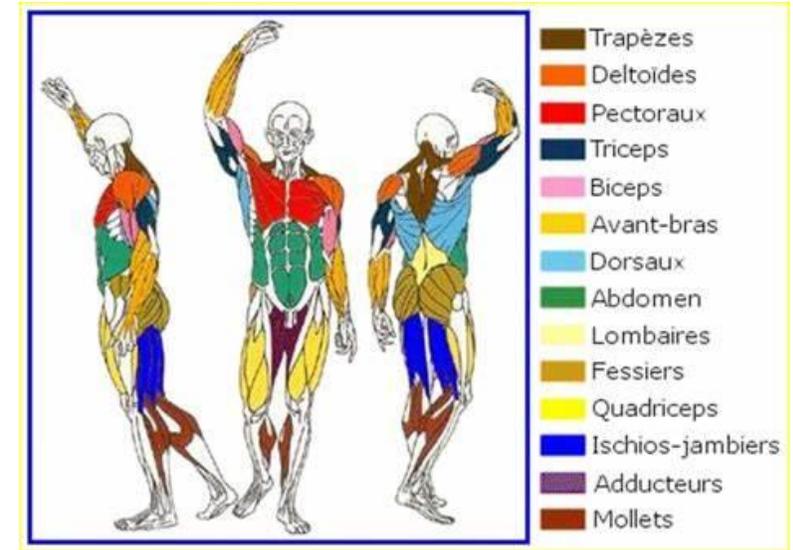




# SNC et nerfs rachidiens

## Classification fonctionnelle du SNP:

- SN Somatique** Muscles striés sq. 
- Vie de relation de l'organisme avec son milieu extérieur
  - Perception / Action
  - Contrôle de l'équilibre et du mouvement



## SN Végétatif (ou Autonome)

- Régula° des fonctions vitales internes
- Réalise l'équilibre de notre milieu intérieur (homéostasie) en coordonnant activités tq:
  - digestion
  - respiration
  - fonctionnement ACV
  - sécrétion d'hormones
  - etc.

## Classification fonctionnelle du SNP:

- **SN Somatique**
- Vie de relation de l'organisme avec son milieu extérieur
  - Perception / Action
  - Contrôle de l'équilibre et du mouvement

## SN Végétatif (ou Autonome) Muscles lisses, cœur, glandes

- Régula° des fonctions vitales internes
- Réalise l'équilibre de notre milieu intérieur (homéostasie) en coordonnant activités tq:
  - digestion
  - respiration
  - fonctionnement ACV
  - sécrétion d'hormones
  - etc.

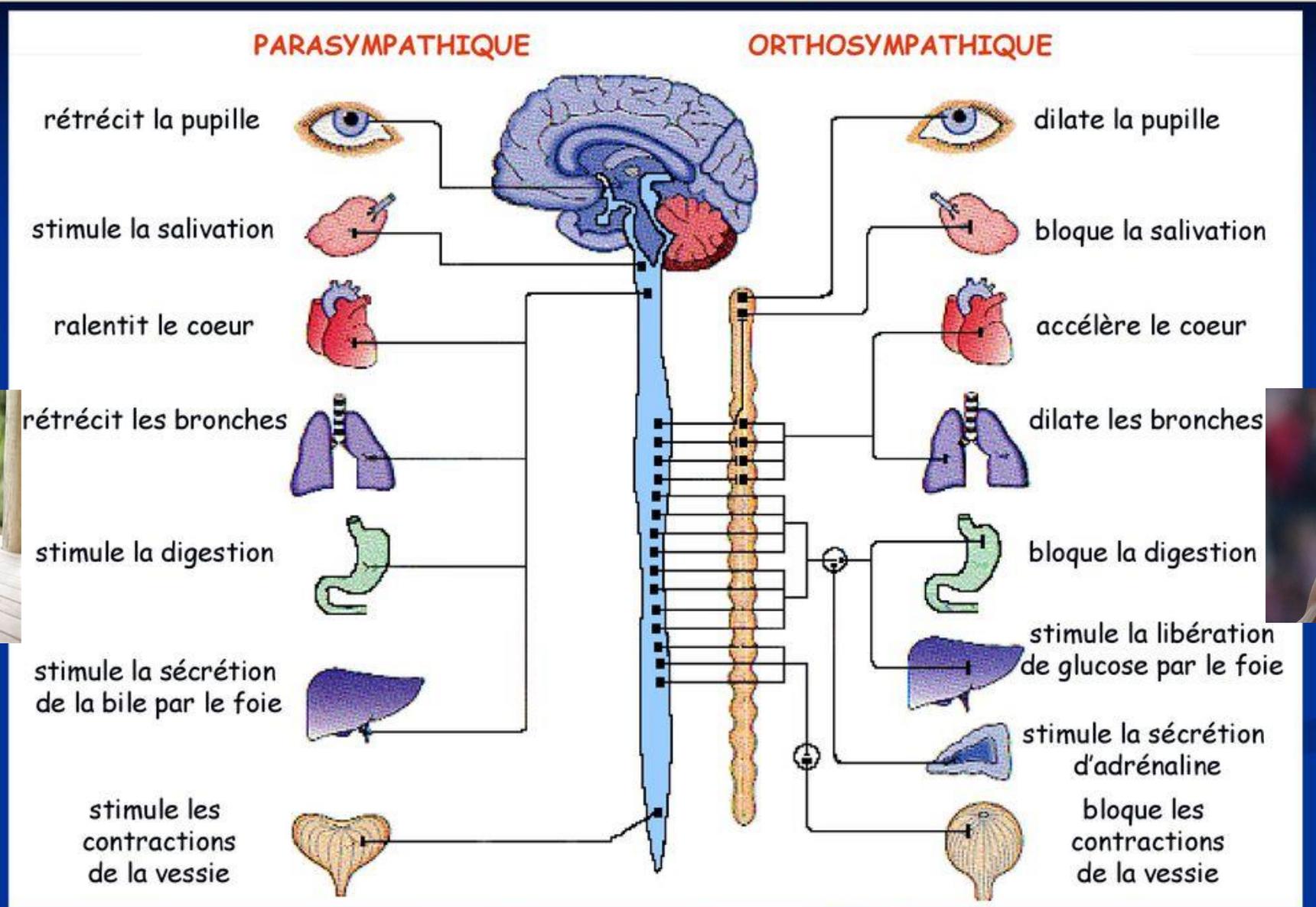


**SN parasympathique:**  
Détente, retour au calme,  
restaura° de l'NRJ

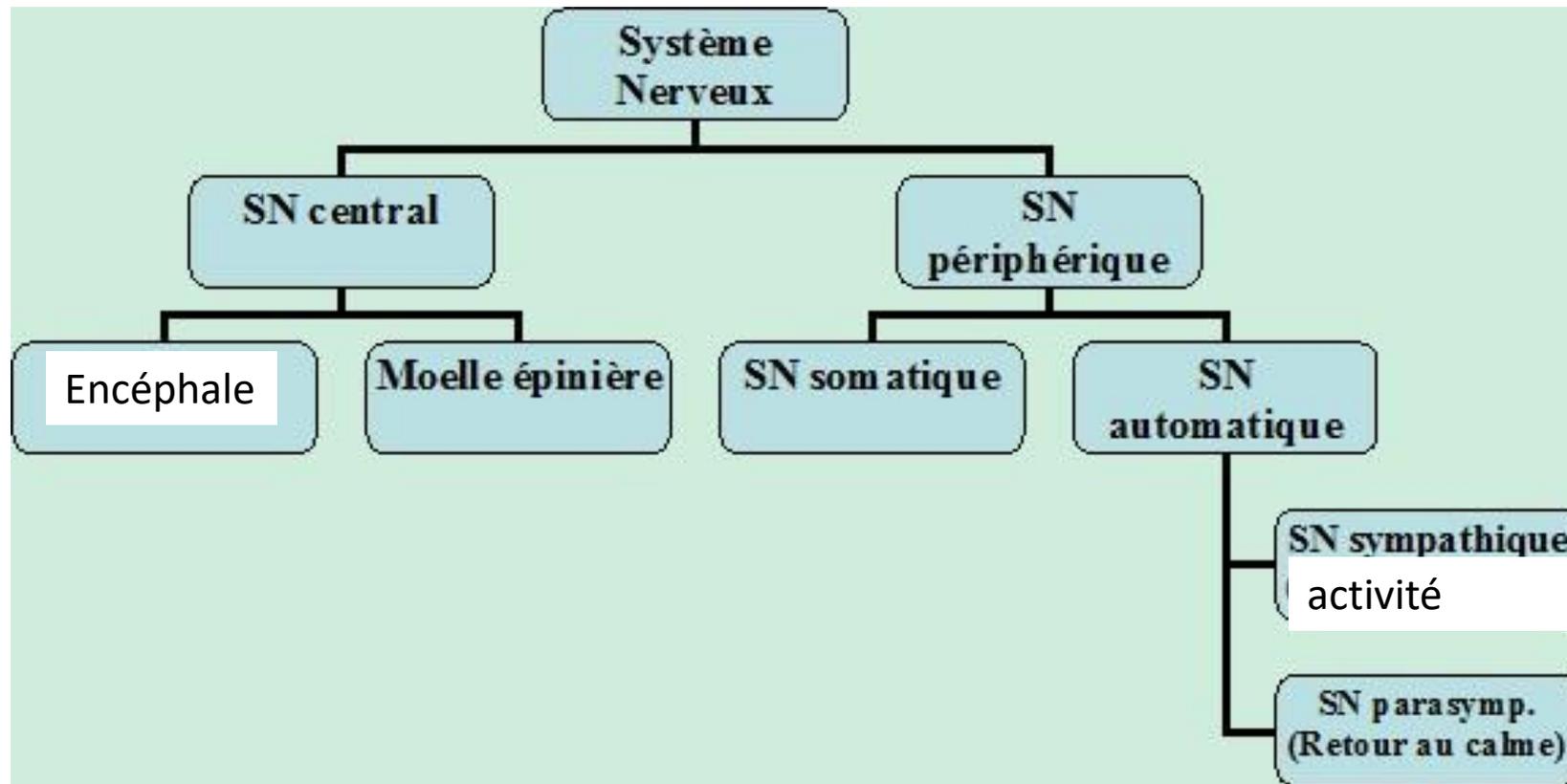
**SN sympathique:**  
Mobilisation de l'NRJ, effort,  
stress, etc.



# Le système nerveux végétatif



# Subdivisions anatomiques de base du système nerveux : synthèse

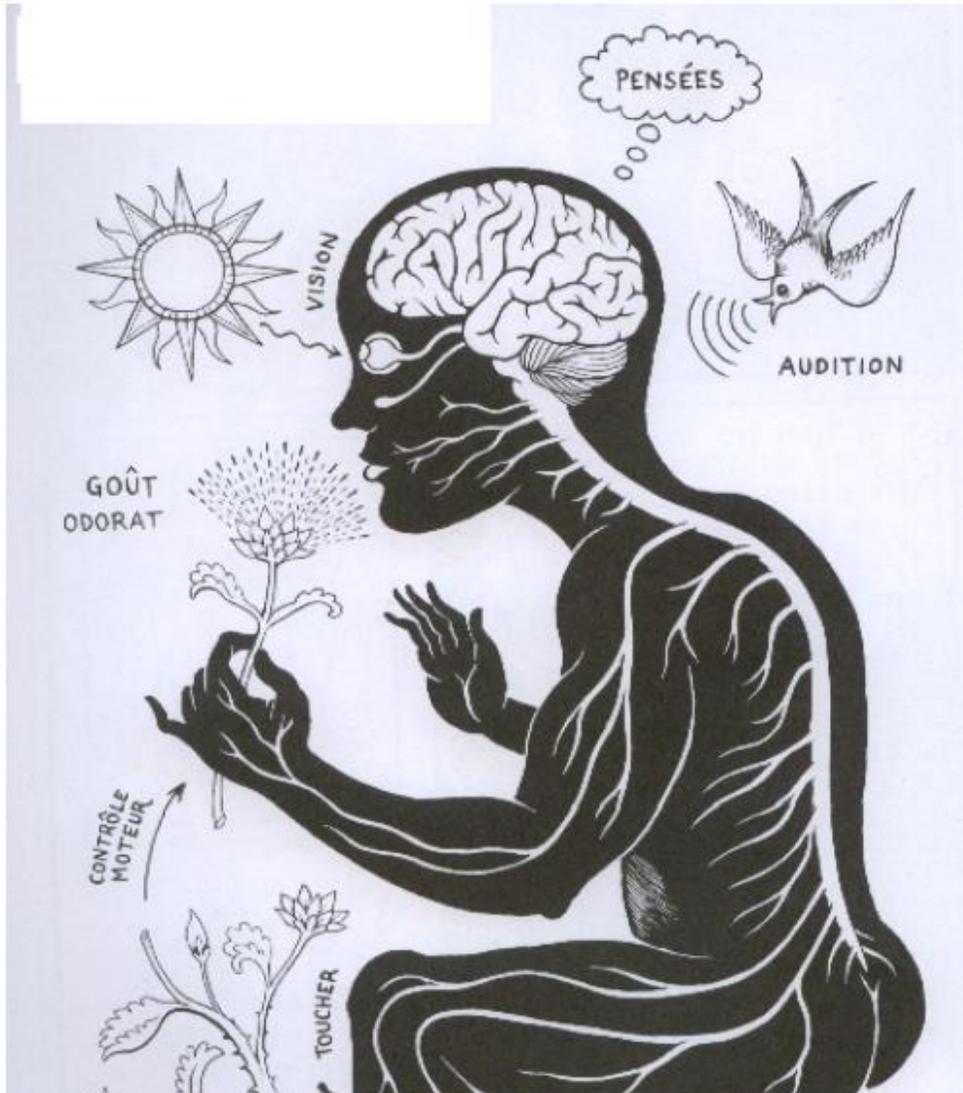


# Plan général du CM

- 1) Subdivisions anatomiques de base du système nerveux (SN)
- 2) Les cellules spécialisées du SN**
- 3) Evolution du cerveau tout au long de la vie

# Les cellules spécialisées du SN

## ■ Le neurone

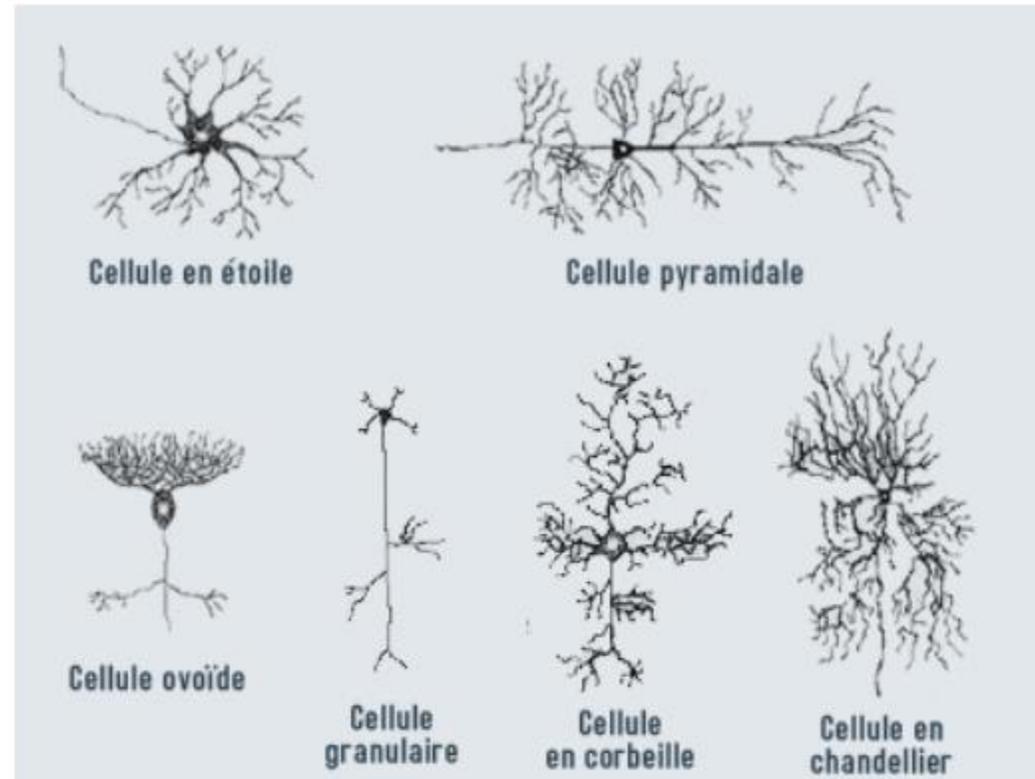
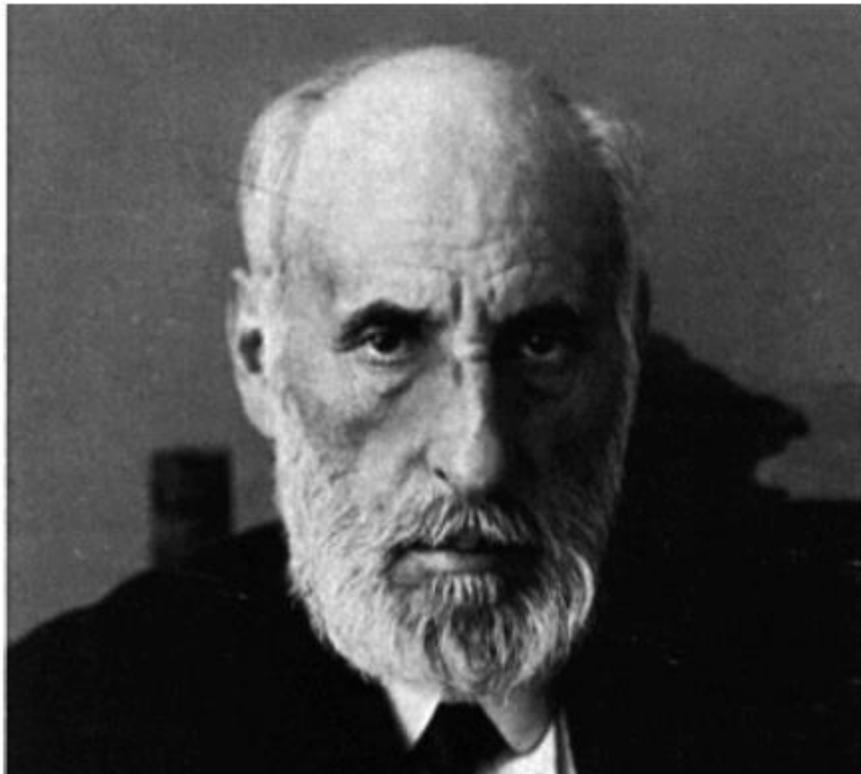


Et les cellules gliales

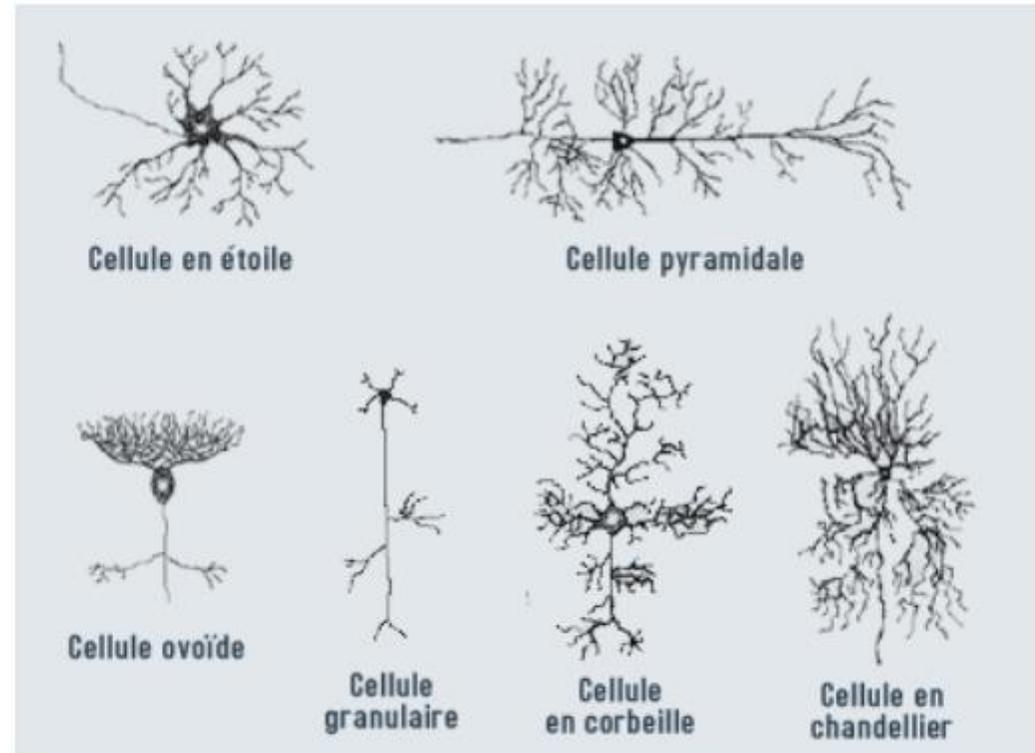
« Tout commence et s'achève avec les neurones: Depuis vos récepteurs sensoriels jusqu'aux nerfs qui contrôlent vos muscles; toutes vos sensations, vos souvenirs ou vos rêves sont transcrits dans ces cellules. »

Farinella & Ros (2013)  
Neurocomix

- ❑ **Santiago Ramon y Cajal** (1852 – 1934): neurobiologiste espagnol lauréat du prix Nobel de Physiologie et Médecine 1906. Considéré comme le père des Neurosciences du fait de ses recherches pionnières sur l'architecture du cerveau + gde passion pour le dessin



- **Camille Golgi (1843 – 1926)**: scientifique italien, co-lauréat du prix Nobel avec Ramon y Cajal. Mis au point une méthode (« réaction noire ») pour colorer un petit nb de neurones => observation de leur arborisation complexe au microscope



- Camille Golgi : « **Théorie réticulaire** »  
=> Neurones fusionnent pour former un réseau dense et ininterrompu (« Reticulum »)

## CONTRE

- Ramon y Cajal : « **Théorie neuronale** »  
=> Les neurones sont des entités cellulaires séparées par de fins espaces (que Sir Charles Scott **Sherrington** nommera « **synapses** »)
  - **Sherrington (1857 - 1952): Prix Nobel de Physiologie et Médecine (1932) pour ses découvertes sur les fonctions des neurones.**

- Camille Golgi : « **Théorie réticulaire** »  
=> Neurones fusionnent pour former un réseau dense et ininterrompu (« Reticulum »)

## CONTRE

- Ramon y Cajal : « **Théorie neuronale** »  
=> Les neurones sont des entités cellulaires séparées par de fins espaces (que Sir **Sherrington** nommera « **synapses** »)

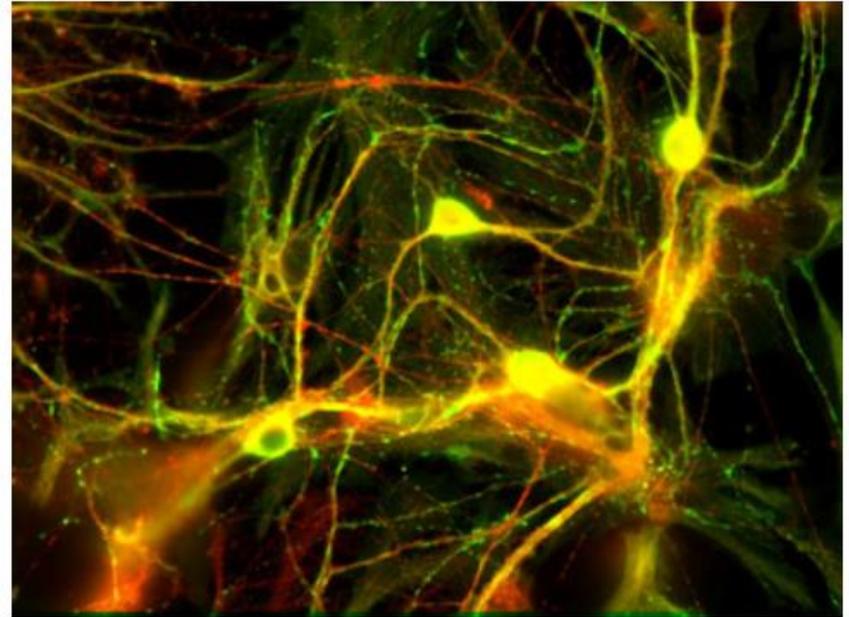
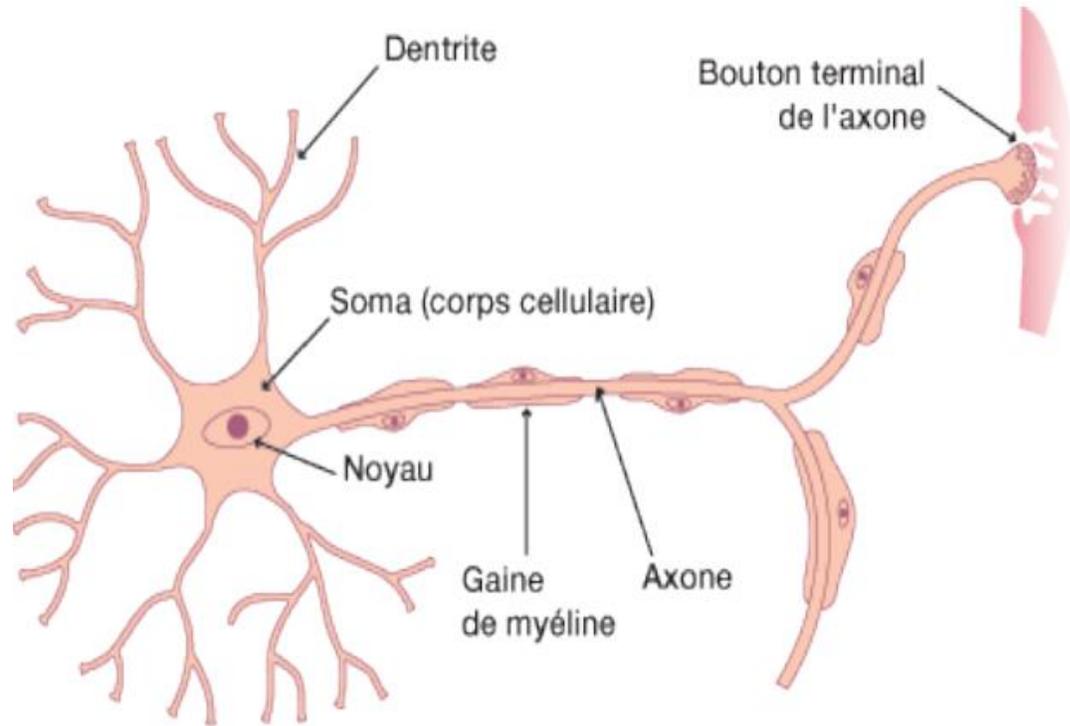
- **Sherrington (1857 - 1952): Prix Nobel de Physiologie et Médecine (1932) pour ses découvertes sur les fonctions des neurones.**

Si les neurones ne sont pas reliés  
physiquement, comment peuvent-ils  
communiquer???

## ■ Le neurone

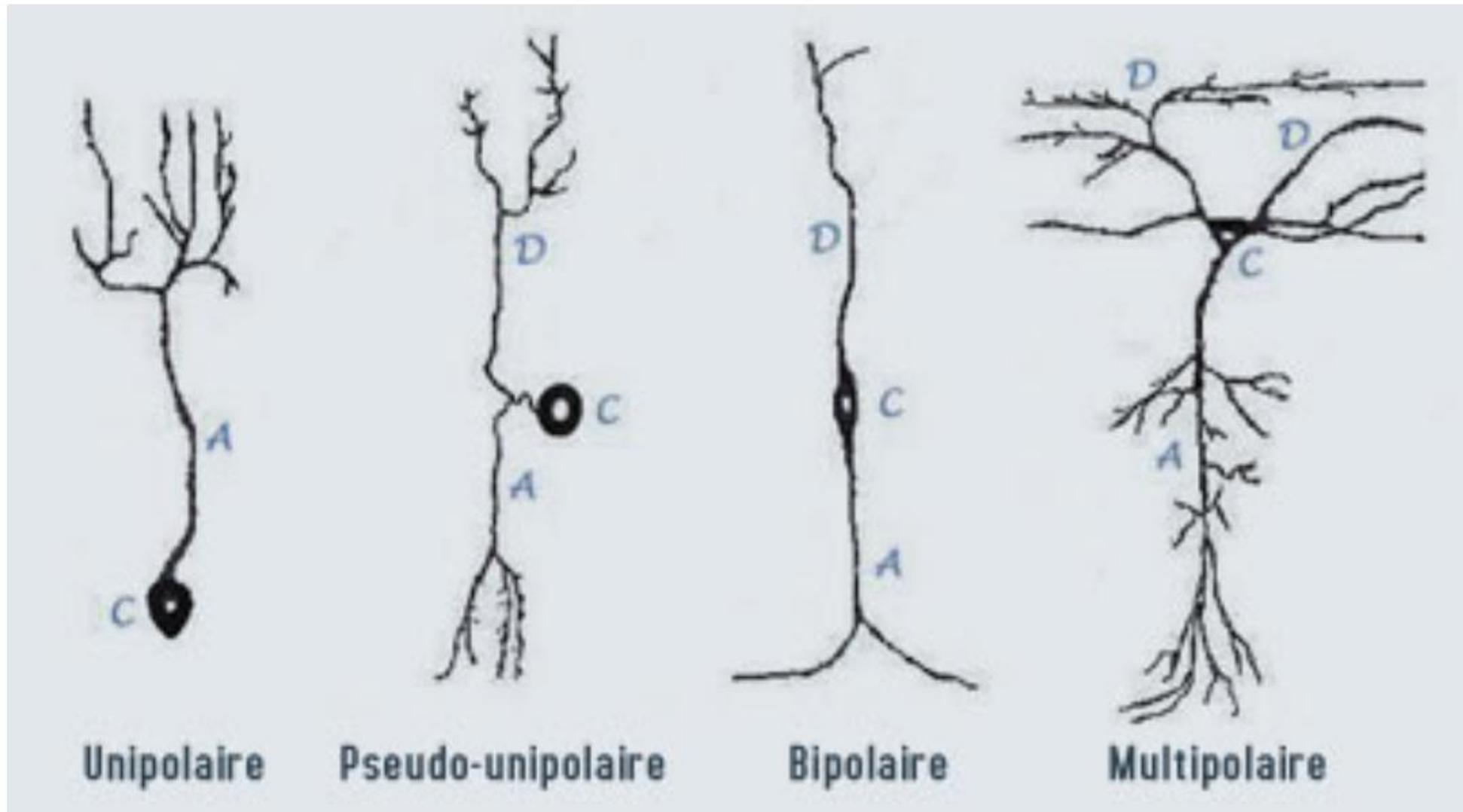
- Unité structurelle et fonctionnelle de base du SN (cf. « théorie neuronale »)
- Possède:
  - un corps cellulaire (ou soma)
    - le noyau et toute la machinerie nécessaire à la synthèse des protéines et au métabolisme.
    - **Lieu d'intégration et production de réponse**
  - de longs prolongements plus ou moins ramifiés, de 2 classes
    - les dendrites.
    - l'axone (un seul par neurone)

# Schéma : neurone



## ■ A noter :

- ❑ Ganglion : ensemble de corps cellulaires
- ❑ Nerfs ou faisceau : ensemble d'axones



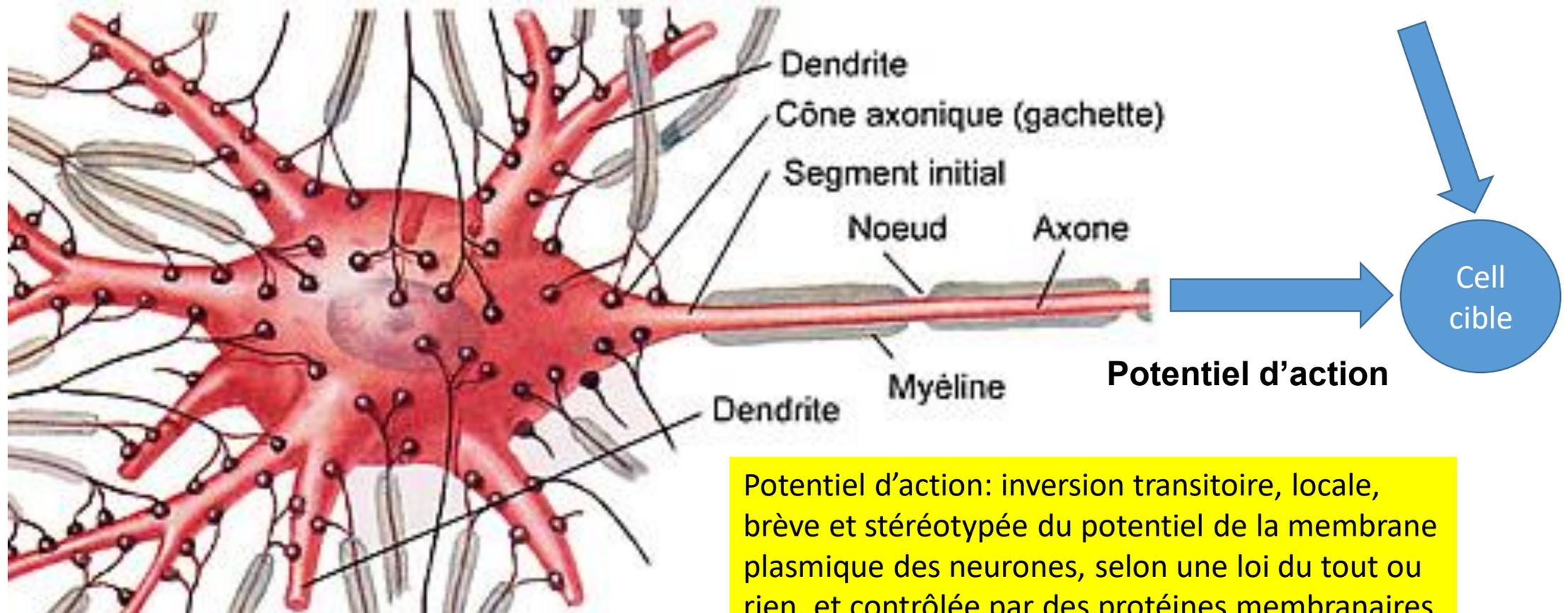
- unipolaire : un seul prolongement axonal
- pseudo-unipolaire : prolongement unique qui se sépare à distance du corps cellulaire en une dendrite et un axone
- bipolaire : constitué d'un axone et d'une dendrite
- multipolaire : un prolongement unique et plusieurs prolongements dendritiques



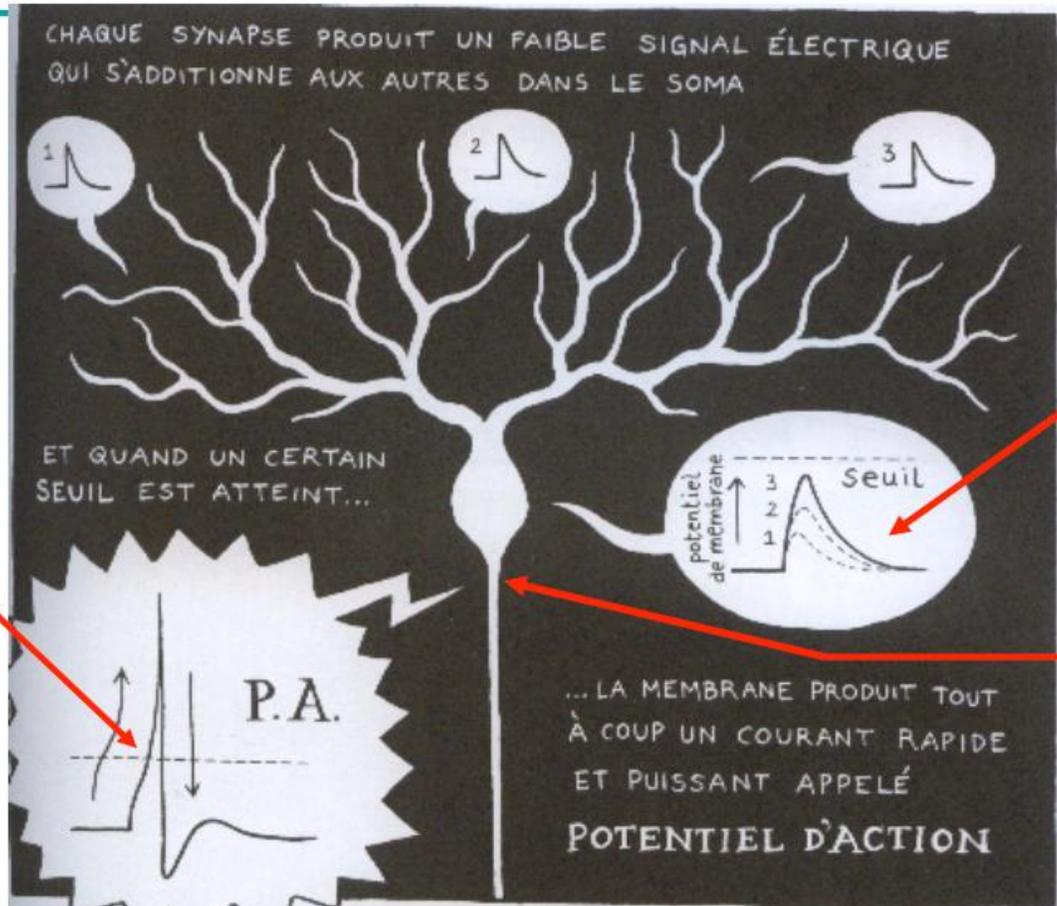
Dessin d' une cellule de Purkinje

Les neurones reçoivent de multiples contacts excitateurs et inhibiteurs (soma / dendrites): **jusqu'à 10 000 contacts / neurone!**

Au niveau du cône axonique: sommation des signaux  
=> **intégration => genèse et propagation (ou non) d'un influx nerveux = potentiel d'action**



# Le potentiel d'action

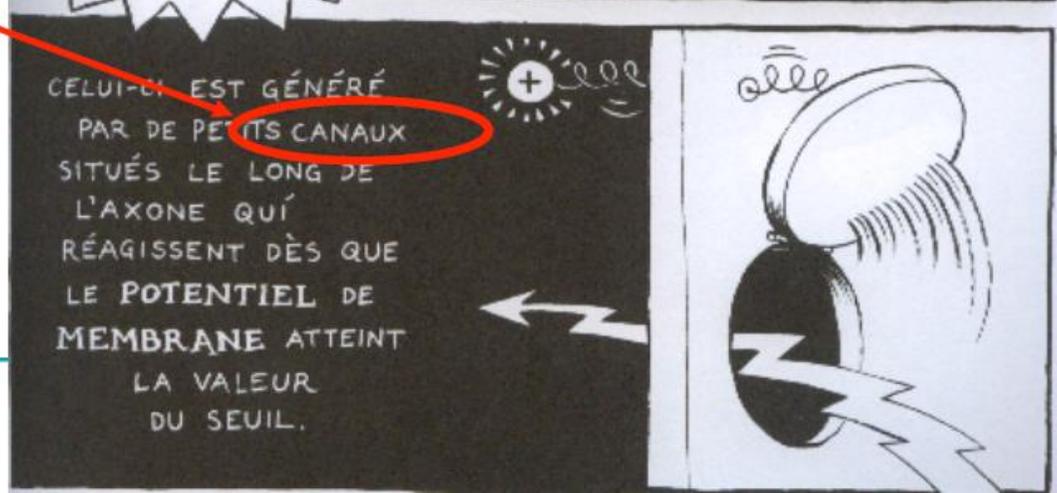


Potentiel de membrane (modulation en amplitude)

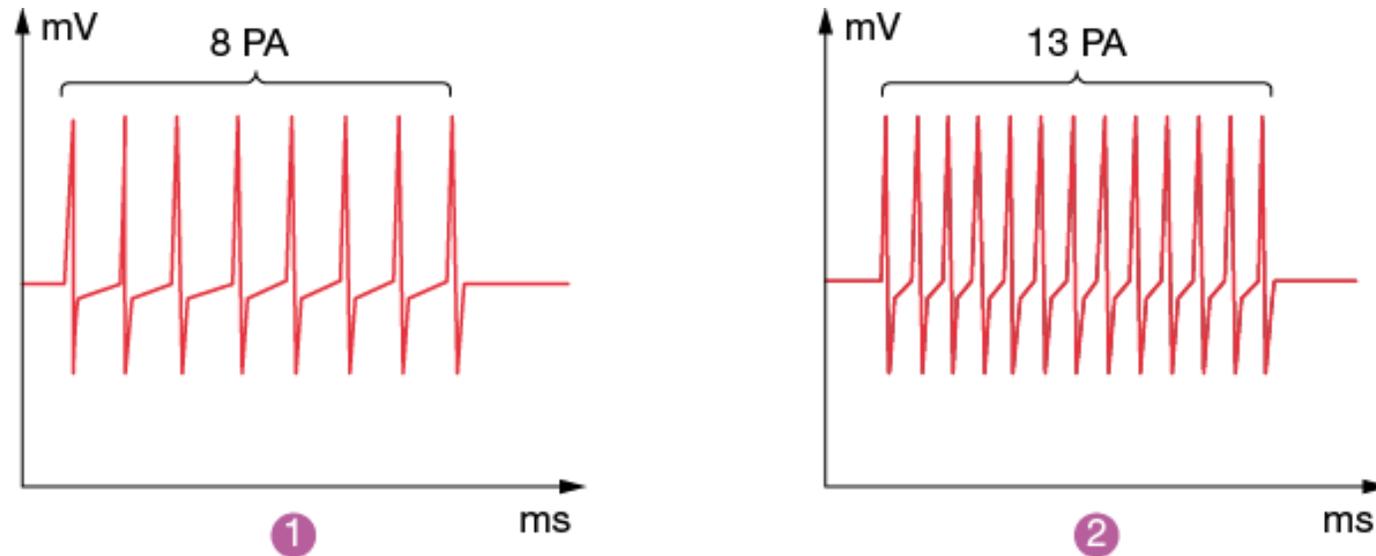
Potentiel d'action (Modulation en fréquence)

Cône axonique

Canaux « voltage-dépendant »

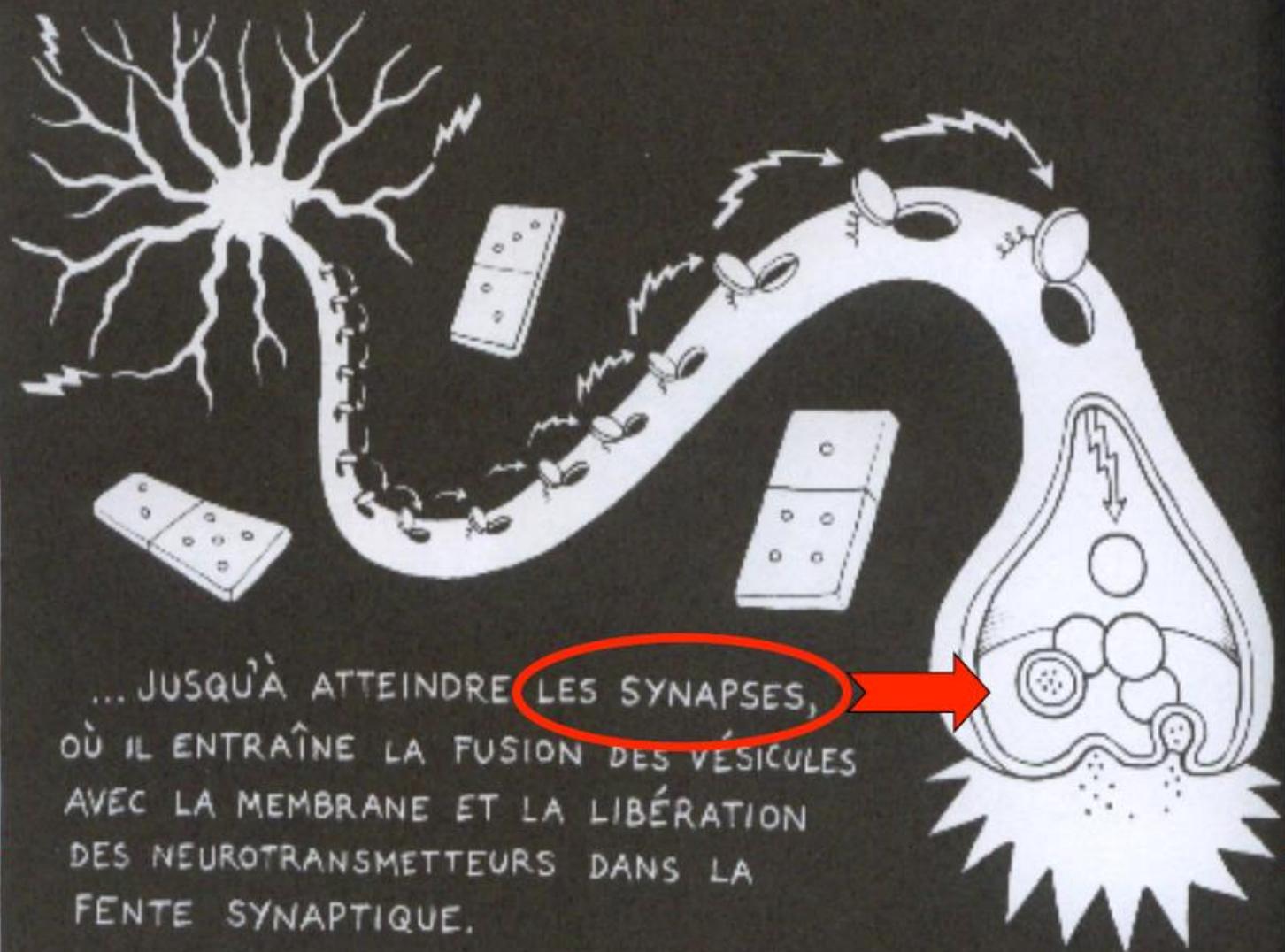


- Fréquence des potentiels d'action: de 1 à 1000/s
- Vitesse propagation variable selon diamètre et présence de myéline : 0,2 m/s à 120 m/s (0,7 km/h à 430 km/h)



- 1 Message nerveux émis par un neurone pyramidal et parcourant l'axone de ce neurone au cours d'une commande volontaire de faible intensité.
- 2 Message nerveux émis par un neurone pyramidal et parcourant l'axone de ce neurone au cours d'une commande volontaire de plus forte intensité.

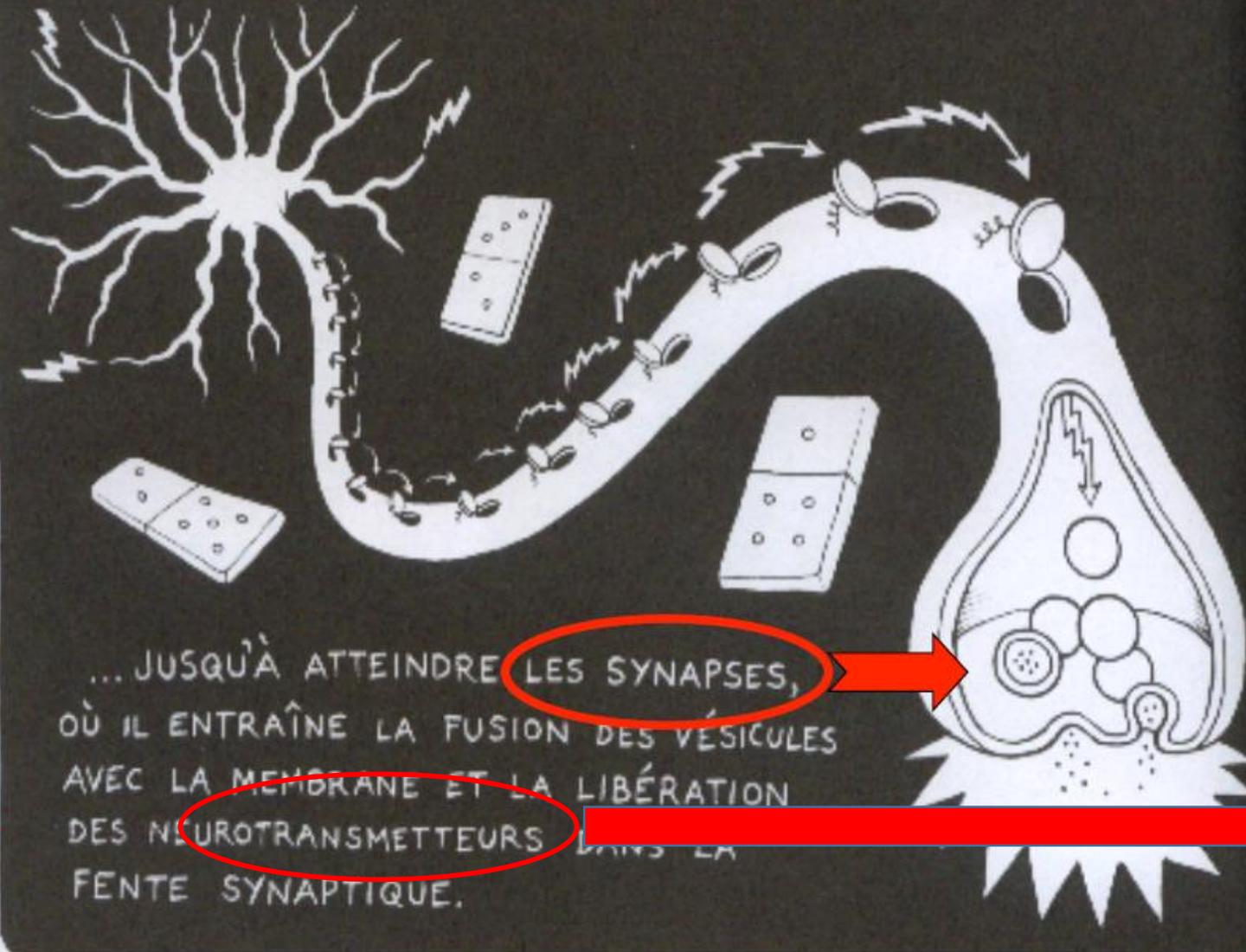
CE SIGNAL ÉLECTRIQUE PARCOURT PAR EFFET DOMINO TOUTE LA LONGUEUR DE L'AXONE QUI EST RICHE EN CANAUX VOLTAGE-DÉPENDANTS ET CIRCULE PAR OUVERTURE DES CANAUX ADJACENTS...



... JUSQU'À ATTEINDRE LES SYNAPSES, OÙ IL ENTRAÎNE LA FUSION DES VÉSICULES AVEC LA MEMBRANE ET LA LIBÉRATION DES NEUROTRANSMETTEURS DANS LA FENTE SYNAPTIQUE.

CE SIGNAL ÉLECTRIQUE PARCOURT PAR EFFET DOMINO TOUTE LA LONGUEUR DE L'AXONE QUI EST RICHE EN CANAUX VOLTAGE-DÉPENDANTS ET CIRCULE PAR OUVERTURE DES CANAUX ADJACENTS...

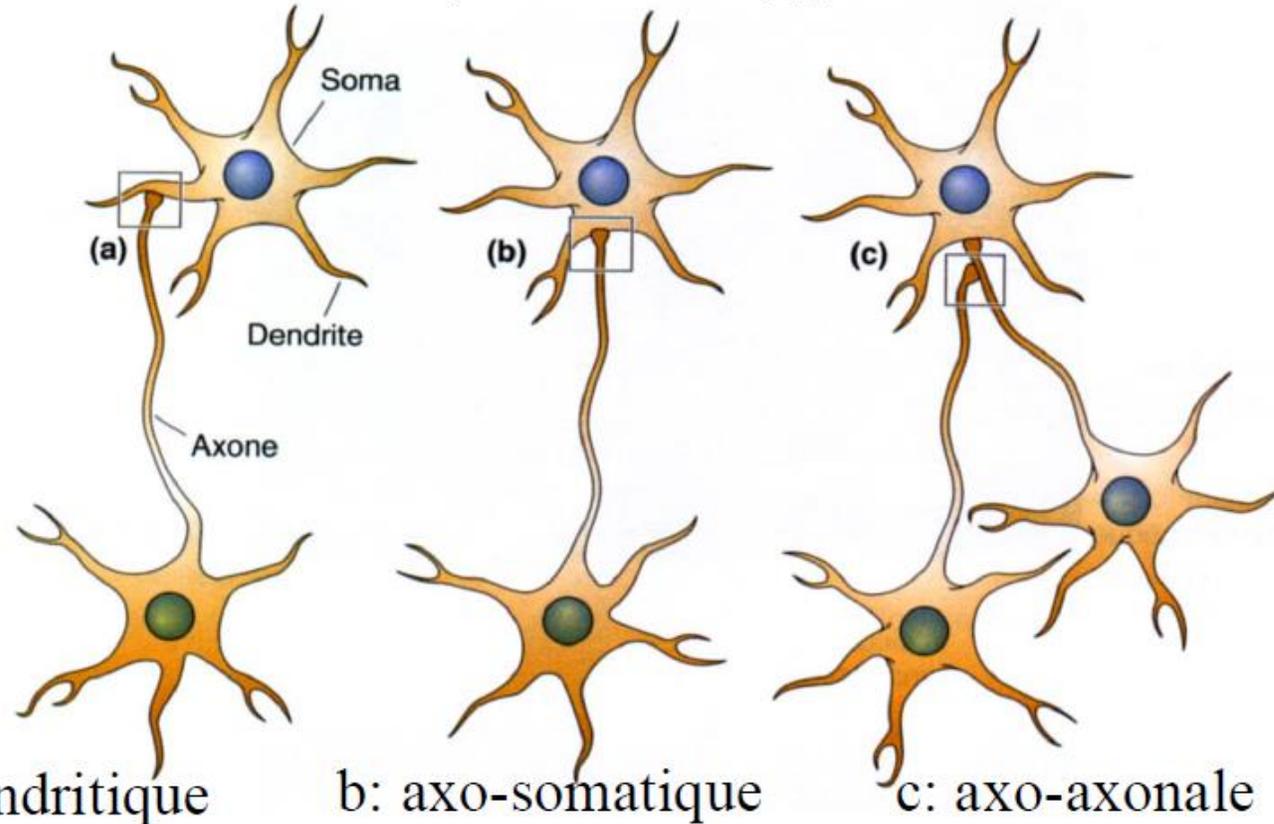
Influx nerveux est de nature **électrochimique**



Molécule excitatrice ou inhibitrice libérée par la synapse au contact de la membrane de la cellule « cible » => Acétylcholine (ACH) dans le cas de la synapse neuromusculaire

# La synapse

- Du grec « syn-aptin » : relier (Sherrington)
- zone de jonction fonctionnelle (~20 nm) qui s'établit entre
  - deux neurones
  - un neurone et une autre cellule (musculaire, glande endocrine...)

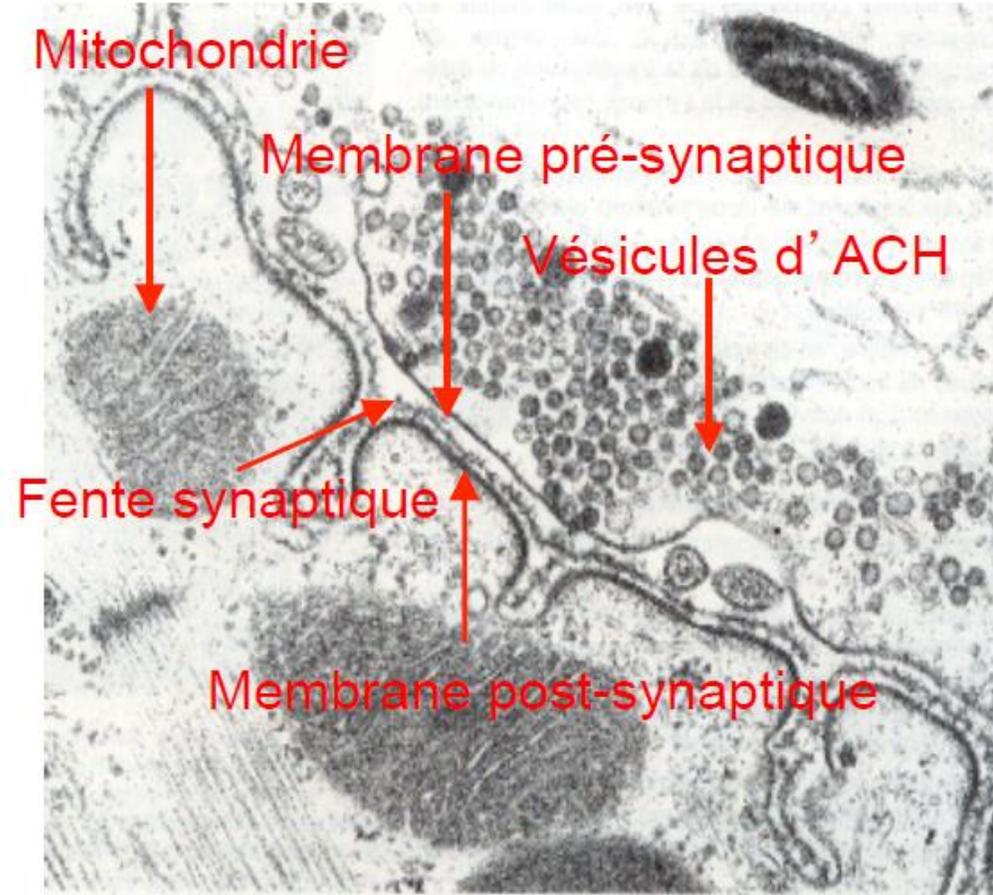


# Exemple de synapse chimique: la synapse neuromusculaire



Plaque motrice  
observée au MEB

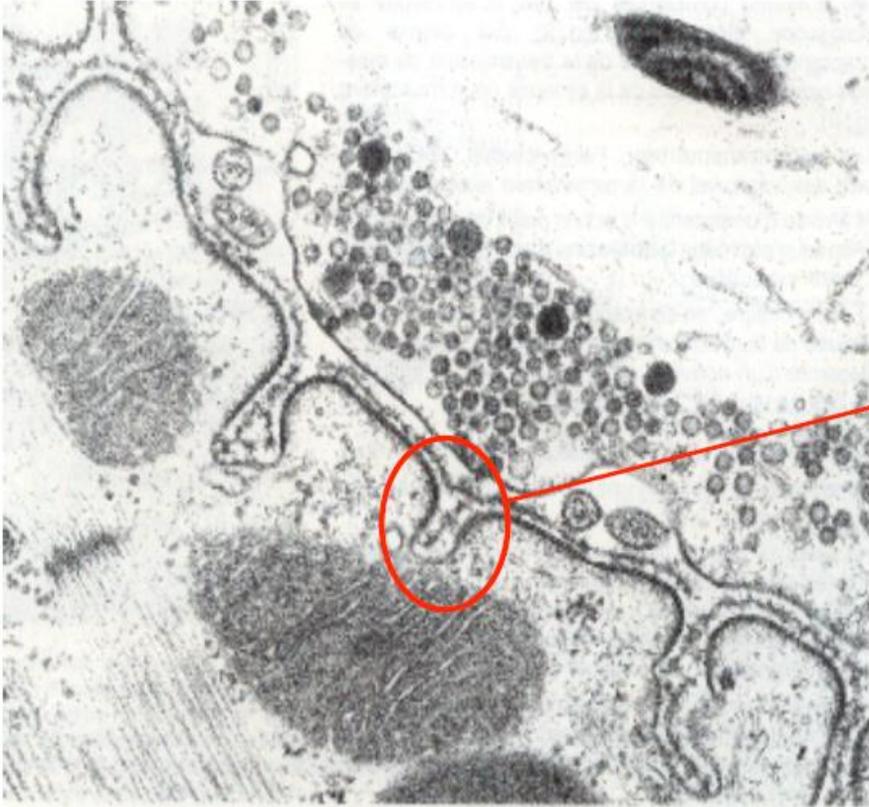
Résolution: 0,4 nm et 20 nm.



Coupe transversale d' une synapse  
neuro-musculaire observée au MET

Résolution: 0,2

# Exemple de la synapse neuromusculaire



Coupe transversale d' une synapse neuro-musculaire observée au MET

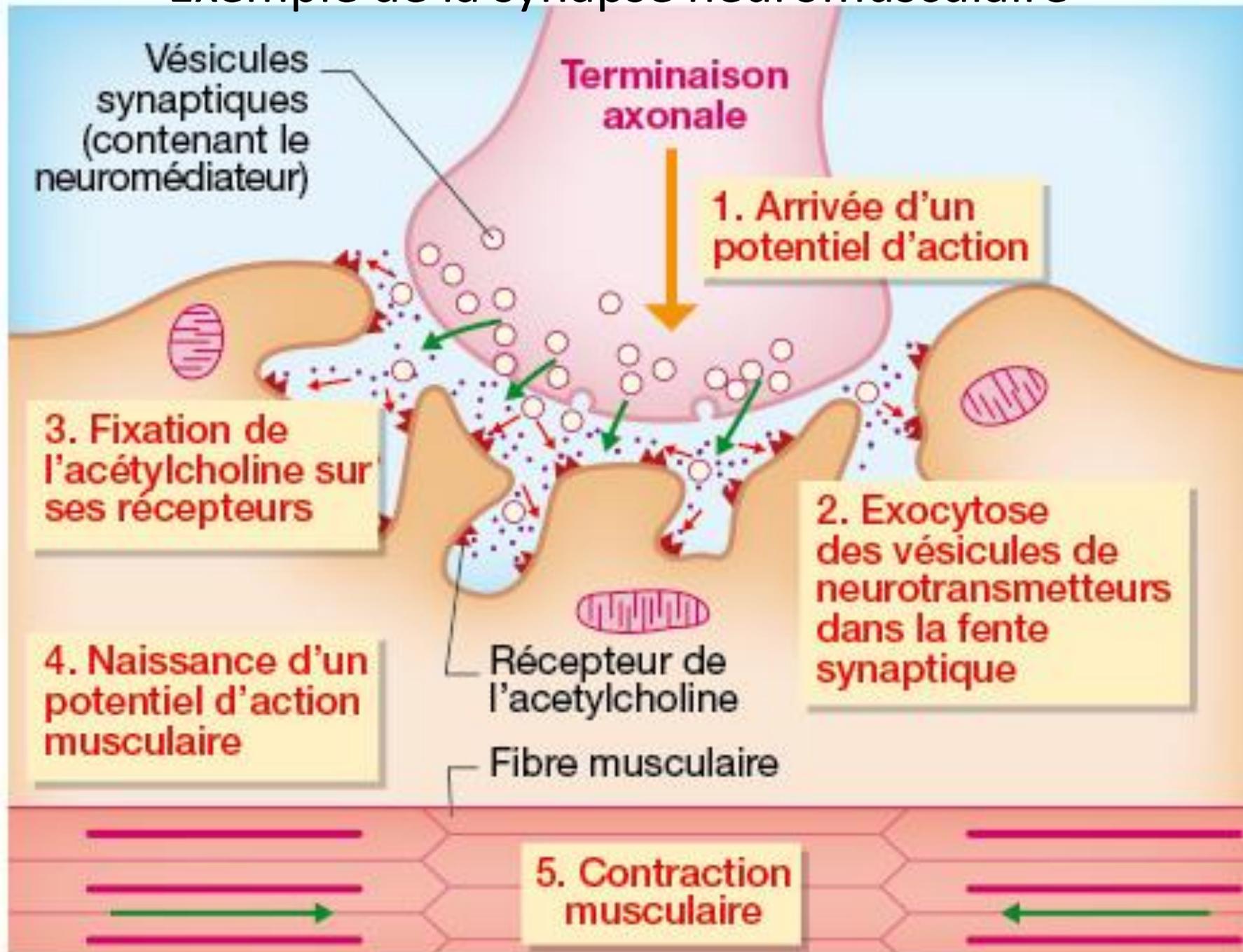


Exocytose des vésicules d' ACH  
(congélation brutale après stimulation)

⇒ 300 000 vésicules / synapse

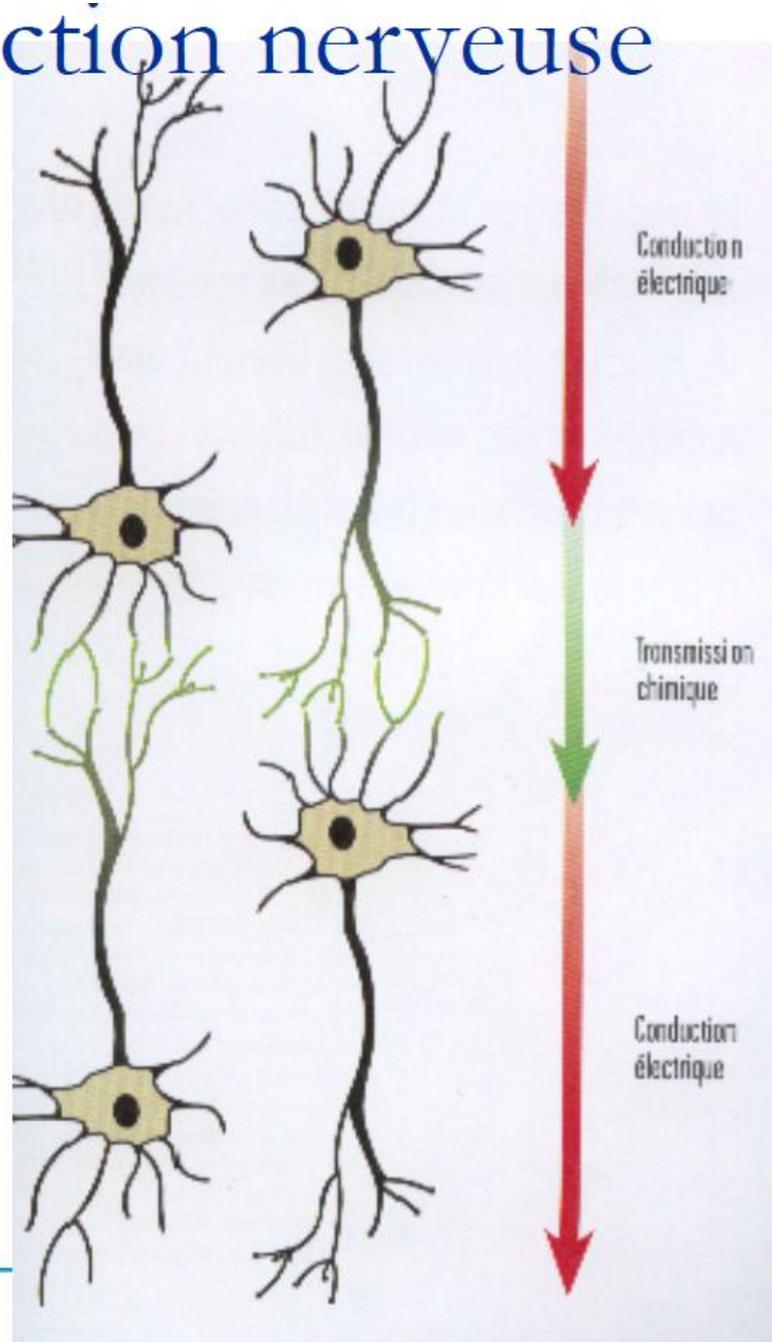
⇒ 1000-50 000 ACH / vésicule

# Exemple de la synapse neuromusculaire



# Conclusion sur conduction nerveuse

- Neurone: **Cellule excitable**, capable de convertir des signaux chimiques en activité électrique et réciproquement
- Conduction nerveuse est de nature « électrochimique »
- **cellule excitable** : cell. capable de décharger un PA en réponse à une dépolarisation suffisante (supérieure à un certain **seuil de dépolarisation**) de son potentiel de membrane



# La névroglie

- Découverte en 1891 par Ramon Y Cajal
  - Cerveau contient env. 90 % de cellules gliales
- => Déformation journalistique: « nous n'utilisons que 10% de notre cerveau pour penser »



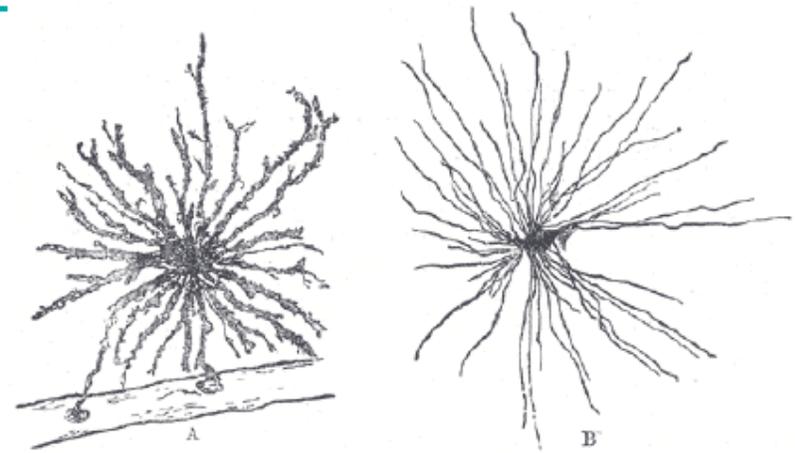
# La névroglie

Cellules gliales (« gloios » = gluant)  
présentes dans SN :

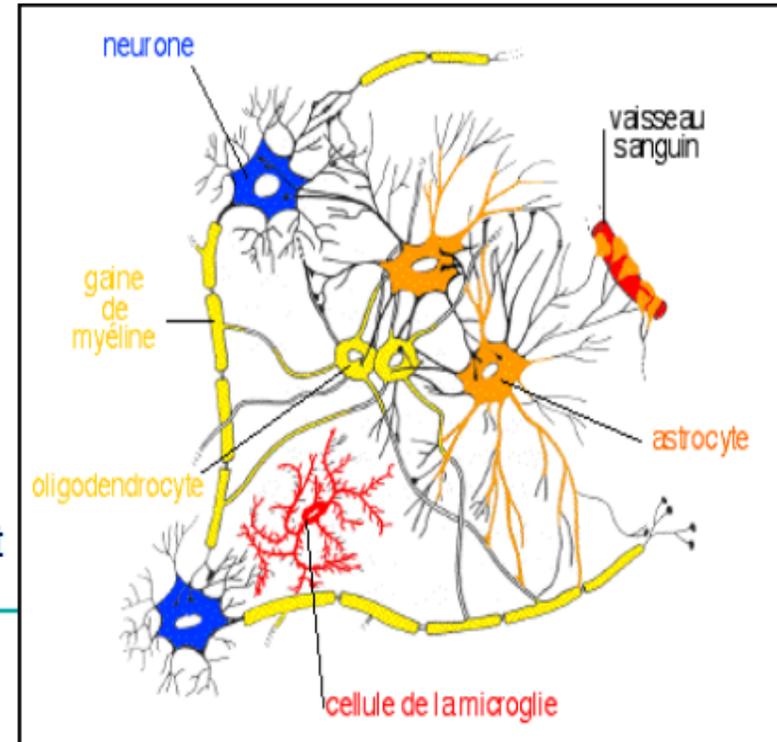
- Cellules de Schwann (SNP)
- Oligodendrocytes (SNC)
- Microglie (SNC et SNP)
- Astrocytes (SNC)

Rôles :

- Nutrition
  - Défense immunitaire
  - Homéostasie extracellulaire
  - Myélinisation des axones
  - Recapture des neurotransmetteurs
  - Réparation/cicatrisation tissu nerveux après lésion
  - Transmission synaptique
  - Guidage des neurones lors du développement
  - Neurogénèse adulte
- etc.



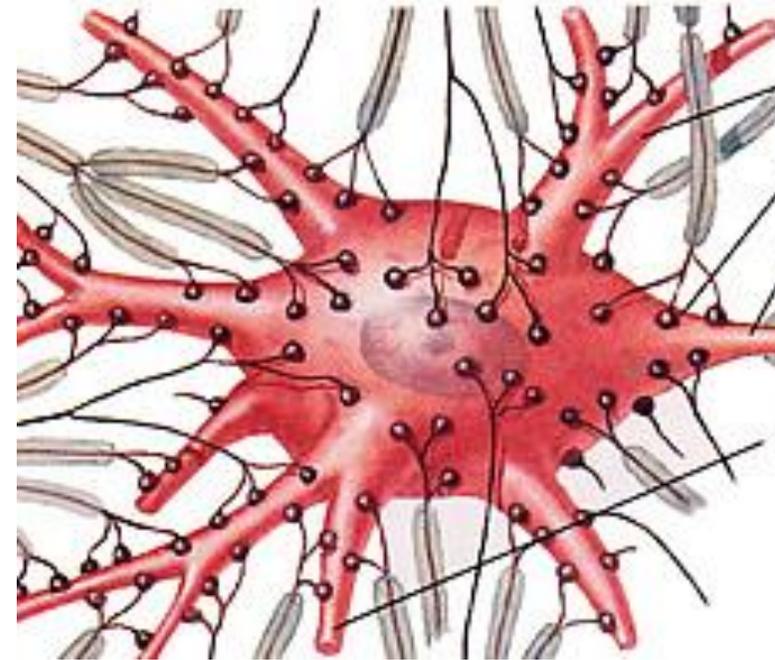
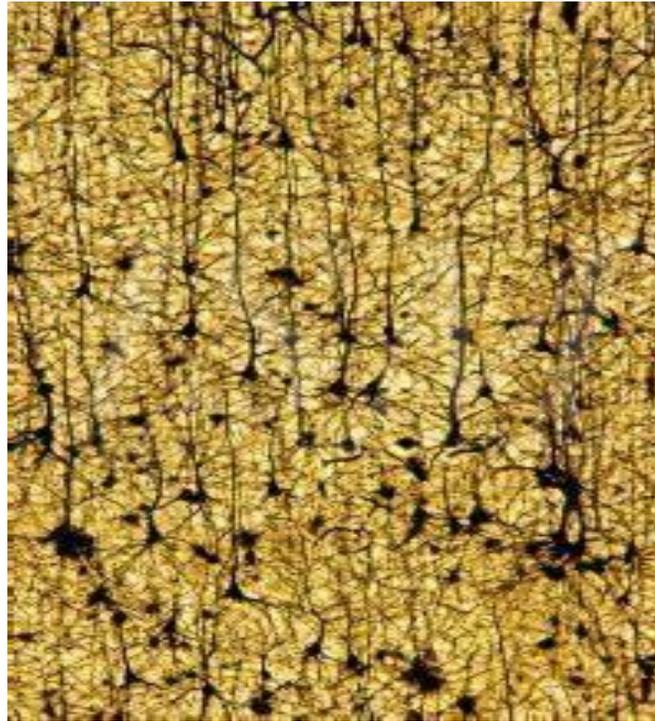
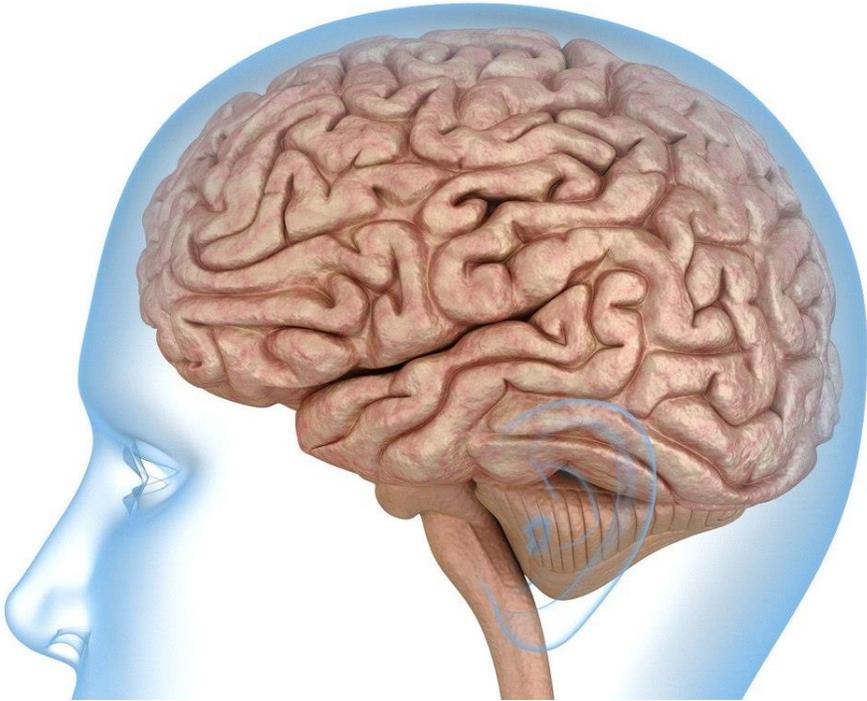
Astrocytes visualisés par  
coloration de Golgi



# Plan général du CM

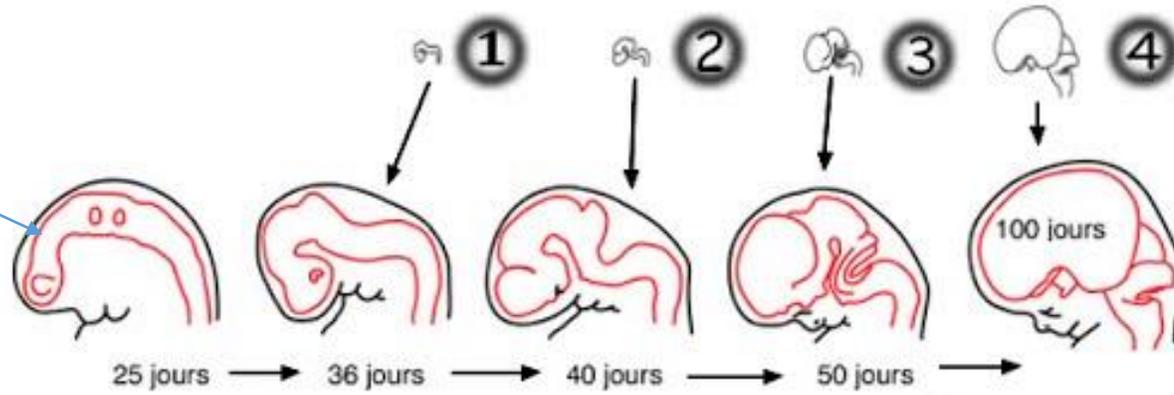
- 1) Subdivisions anatomiques de base du système nerveux (SN)
- 2) Les cellules spécialisées du SN
- 3) Evolution du cerveau tout au long de la vie**

- Cerveau: 86 milliards de neurones + nombre équivalent de cellules gliales
- Connection à d'autres neurones / 1000 à 10 000 synapses

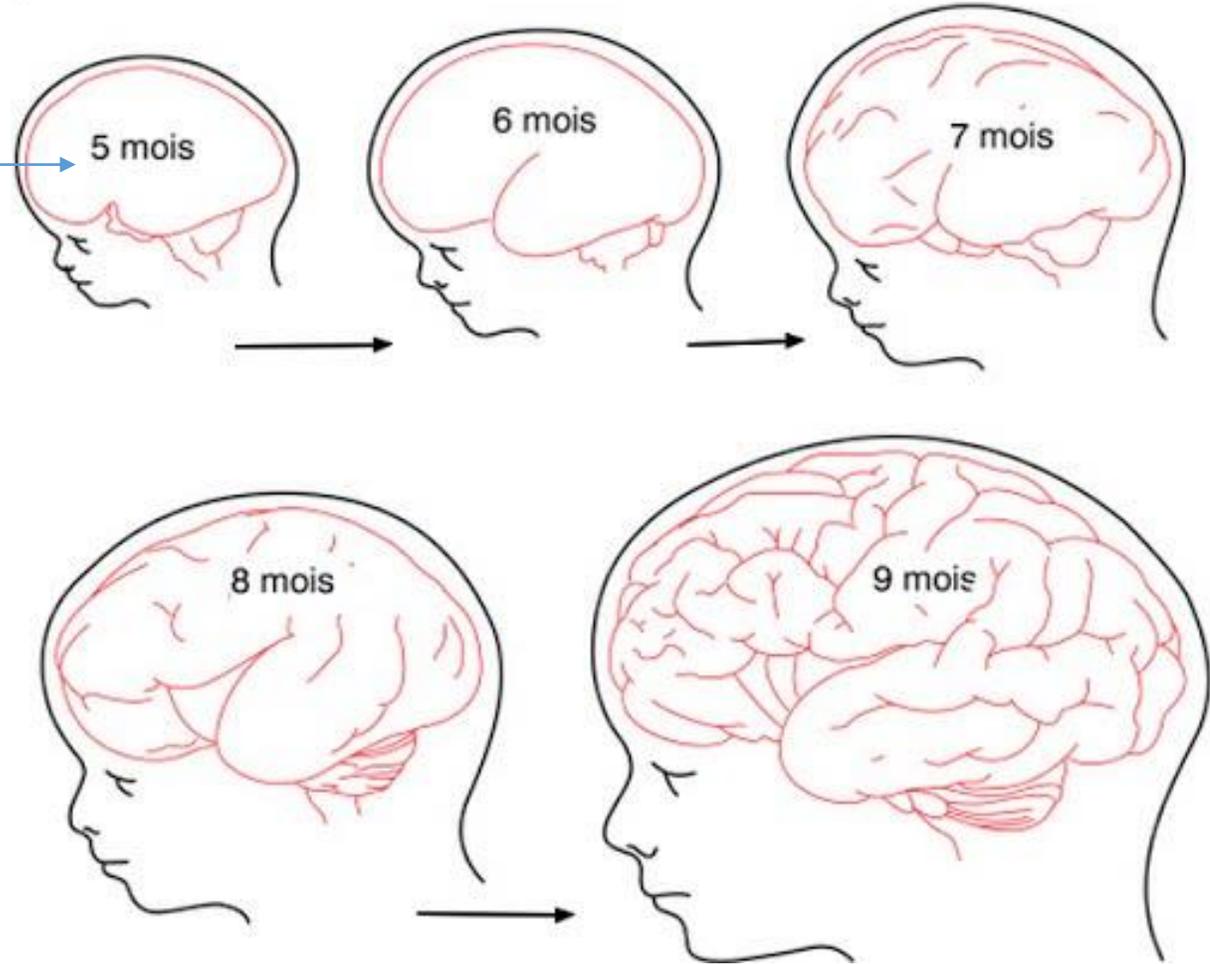


**Cerveau=> inextricable réseau de communication!**

Tube neural



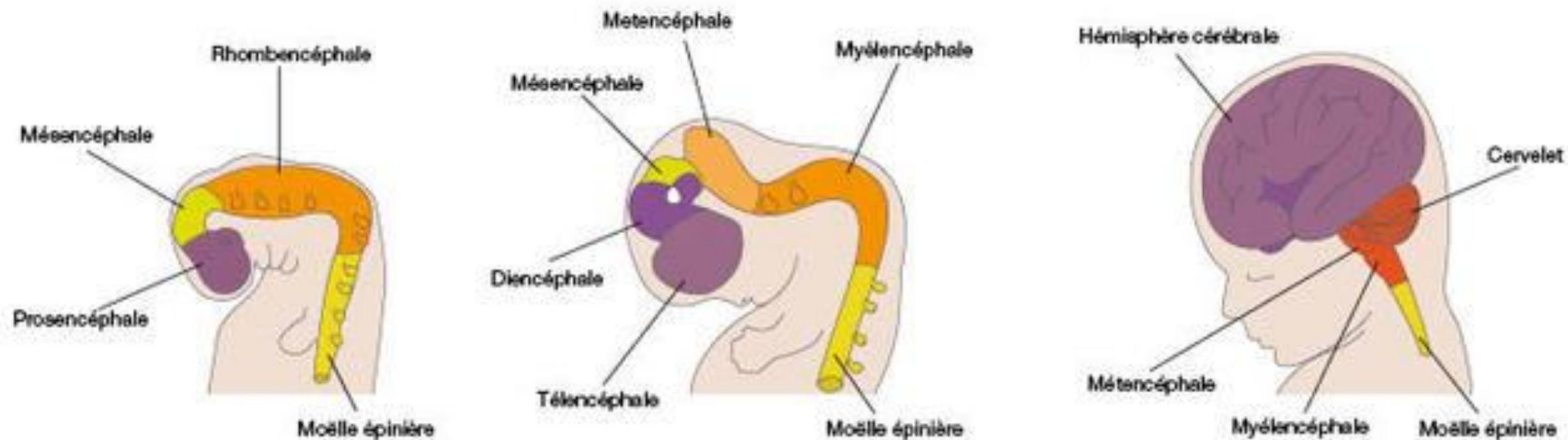
Télocéphale



# Formation du cerveau pendant la grossesse

=> Prolifération, migration neuronales et apparition des connexions synaptiques

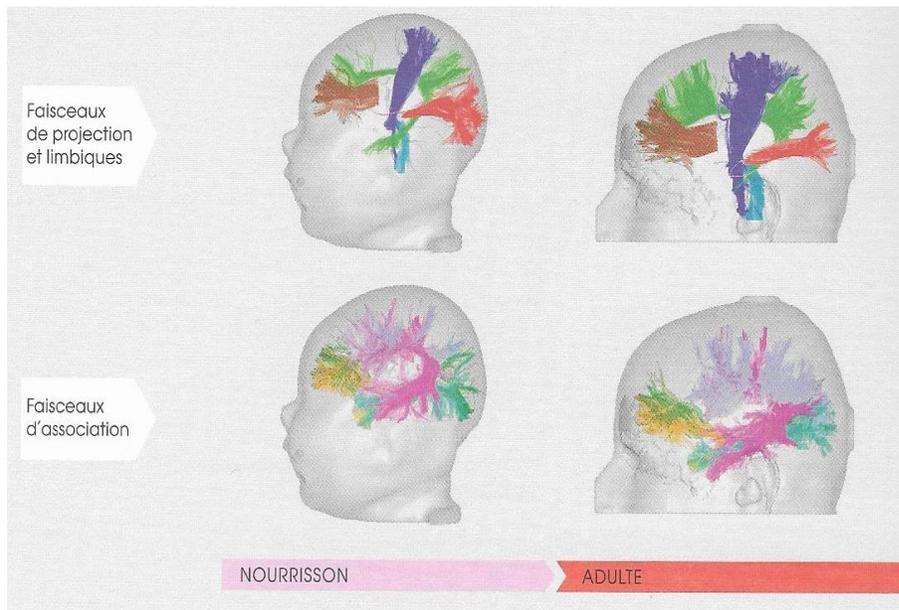
# DU TUBE NEURAL AU CERVEAU



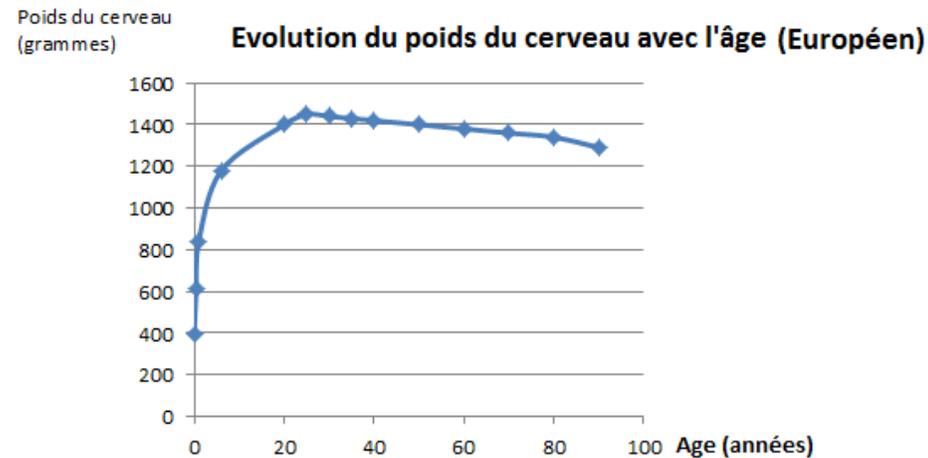
# Naissance à terme: neurones et faisceaux de SB en place

=> cerveau en évolution tout au long de la vie en fonction des apprentissages et de l'environnement (= plasticité cérébrale)

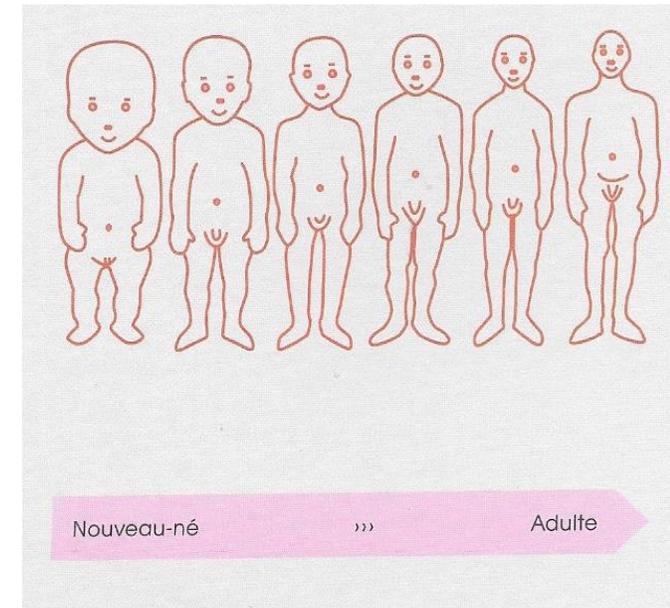
## Principaux faisceaux de SB



## Poids du cerveau durant la vie



## Ratio tête/corps à différents âges de la vie



# Remodelage neuronal continu du cerveau tout au long de la vie (construction et démolition):

- 1) Elimina° sélective des neurones non intégrés ds réseaux (apoptose): lutte « fratricide » entre neurones qui se projettent sur les mêmes territoires
- 2) Elimina° des contacts synaptiques formés en surnombre pdt premières années post-natales : forma° des réseaux de neurones de plus en plus efficaces

=> A l'âge de 1 an, un enfant a environ 2 fois plus de synapses qu'un adulte!



Nouveau-né

L'arborisation des dendrites des neurones du cortex (ici du cortex visuel) se complexifie de façon intense pendant les premiers mois après



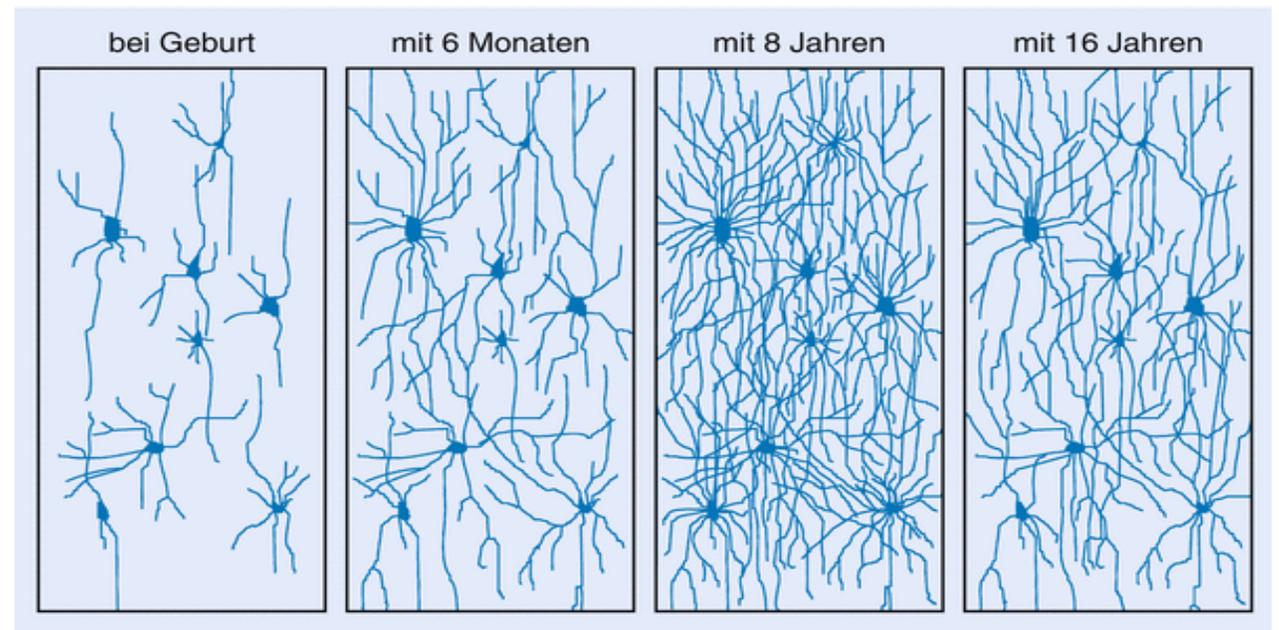
Nourrison âgé de 3 mois

la naissance, en fonction de l'environnement du bébé et de ses nouvelles acquisitions. Aucun nouveau neurone n'est créé mais les nouvelles ramifications



À l'âge de 2 ans

permettent de nouvelles connections entre neurones. Elles sont produites en surnombre, puis celles qui ne sont pas pertinentes seront éliminées.



Développement de l'arborisation dendritique dans le cortex

3) Création de nouvelles synapses par bourgeonnement de l'axone (synaptogénèse): seules les synapses actives survivent.

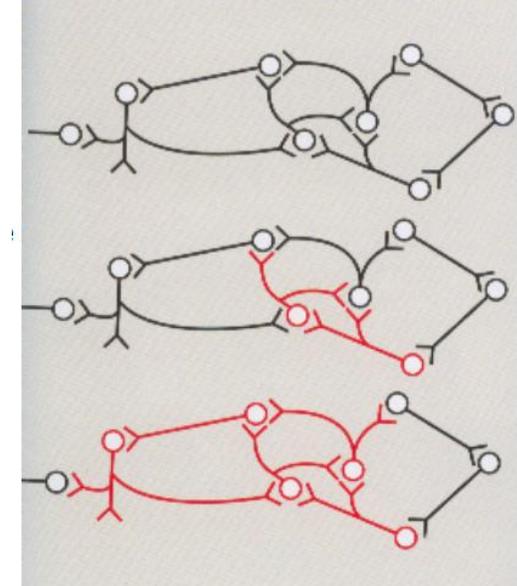
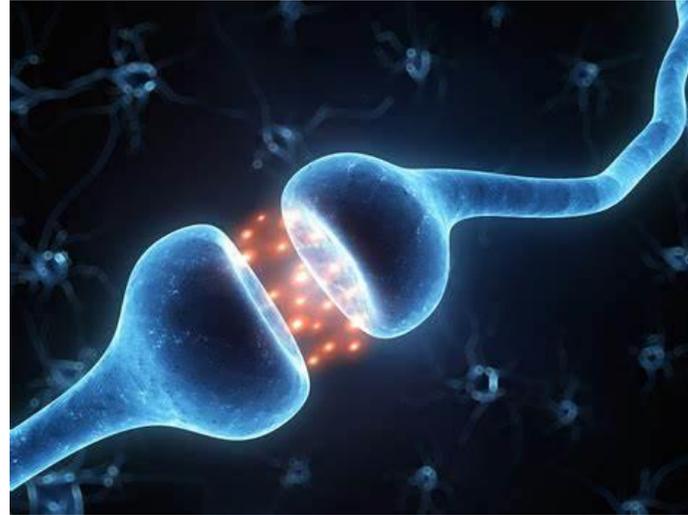
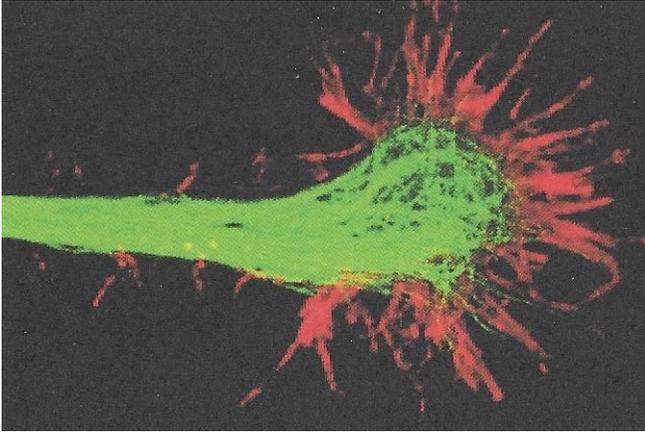
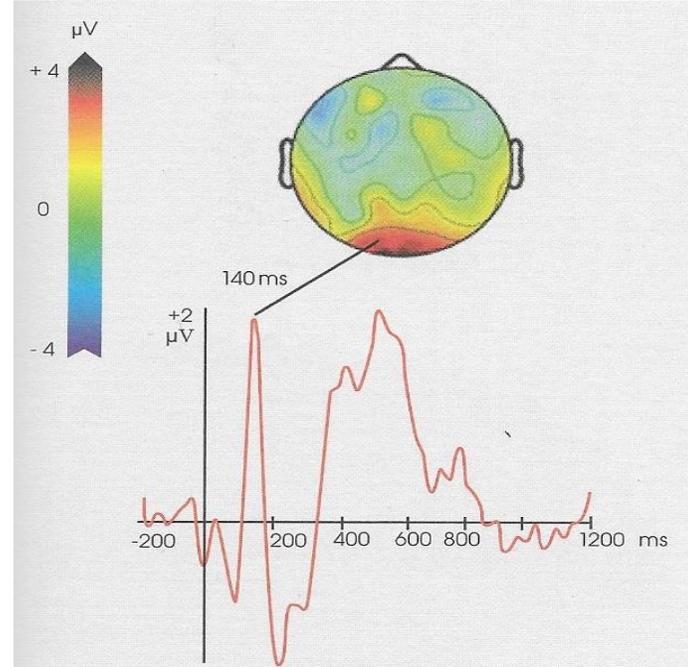
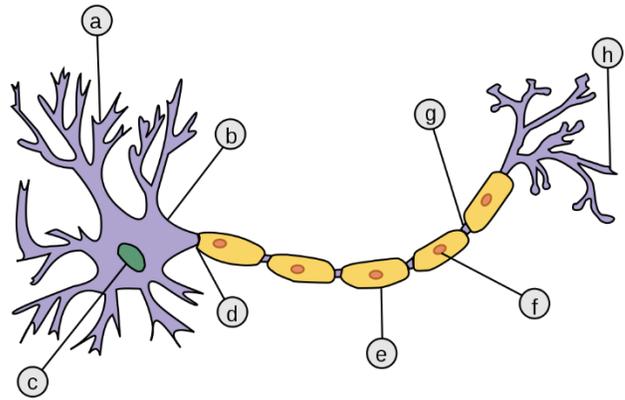
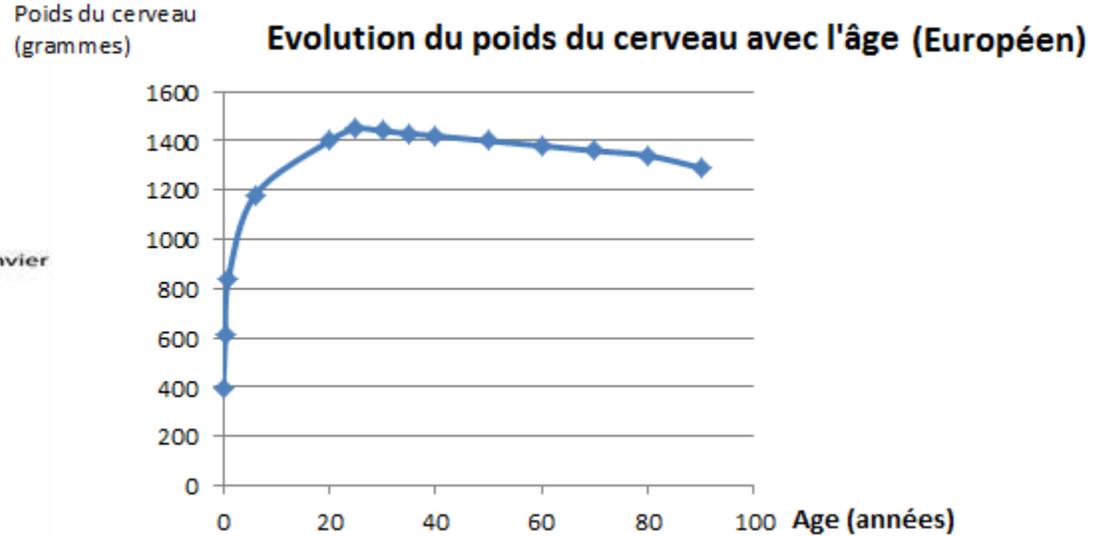
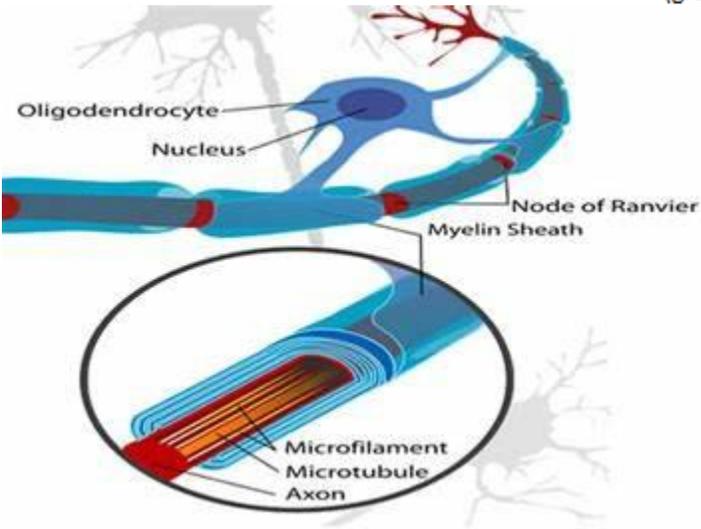


Schéma d'un réseau de neurones

4) Renforcement des synapses actives:  $\uparrow$  efficacité de la transmission des informations au niveau de la synapse

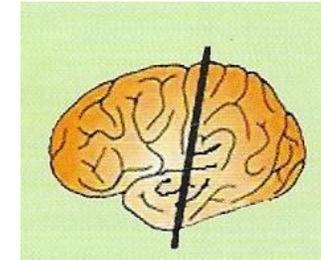
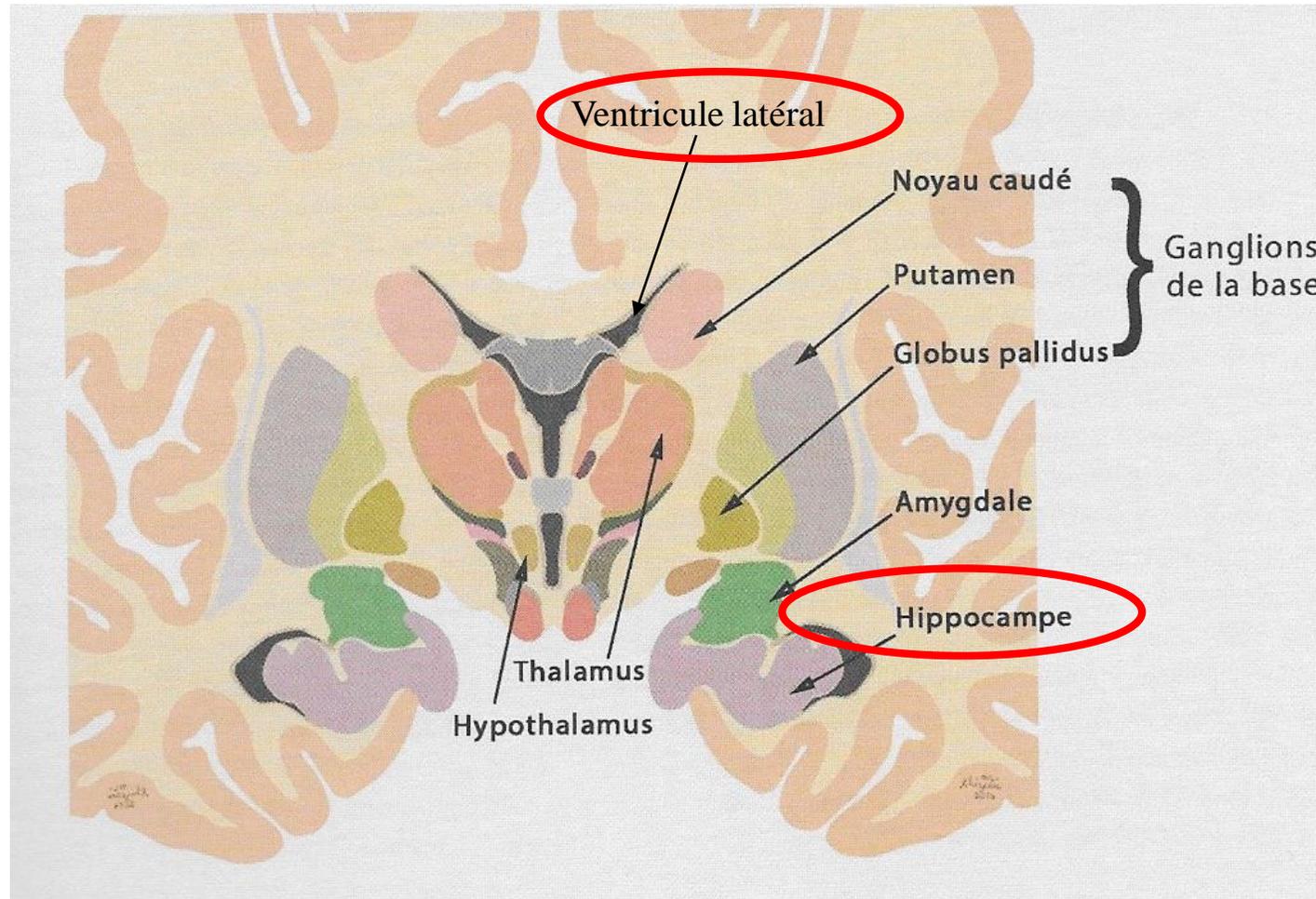
=> processus de raffinement des connexions est un des moyens essentiels d'apprentissage du cerveau. Se poursuit toute la vie, mais est particulièrement intense pendant enfance et adolescence (école).

5) Myélinisa° des axones (SB) avec multiplica° des cell gliales: ↑ taille du cerveau et ↑ vitesse de propaga° des influx nerveux.



Réponse cérébrale d'un bébé à un stimulus visuel

6) Formation de nouveaux neurones chez l'adulte (neurogénèse) dans hippocampe et zone qui borde les ventricules cérébraux . Les autres zones du cerveau ne font que perdre des neurones.



Effet négatif du stress

Effet positif de l'activité cognitive et physique combinée

## 7) Avec vieillissement normal (> 70 ans):

=> ↓ nb de synapses

=> ↓ synthèse de NT

=> Démyélinisa°

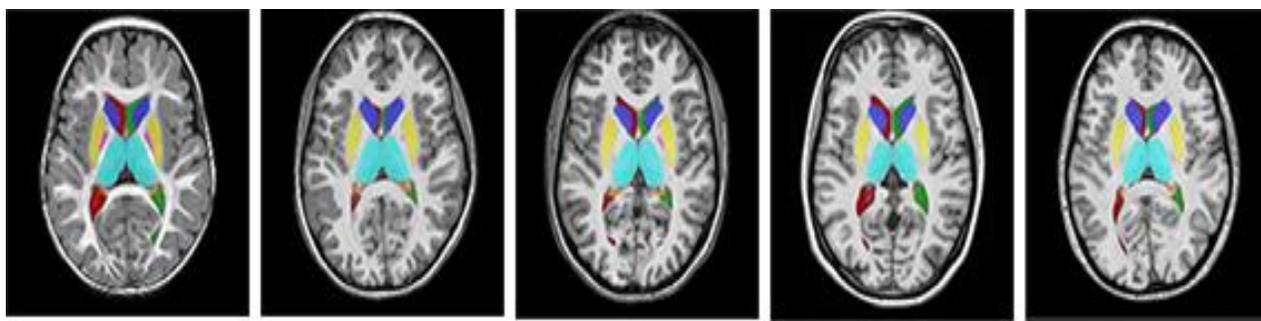
=> Perte de neurones (faible) et diminu° de volume



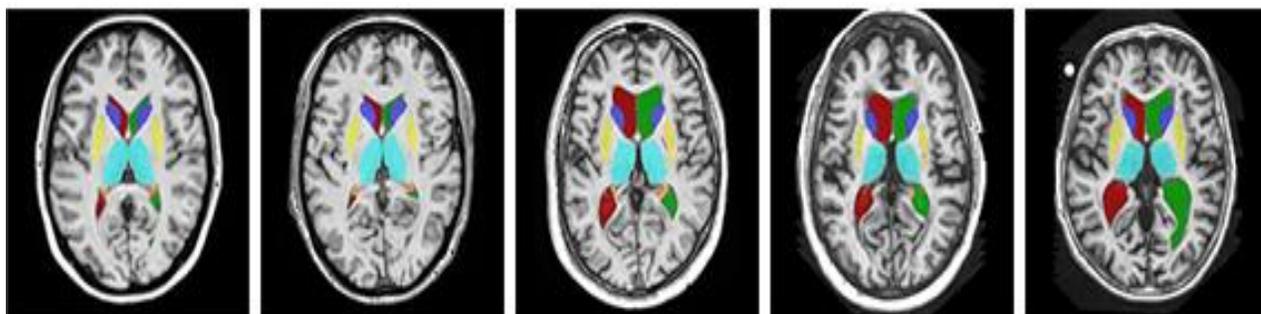
- Mémoire à court terme et capacité d'apprendre de nouvelles notions
- Capacités orales
- Attention et concentration
- Performance motrice et sensorielles

«Nos recherches sur des personnes entre 85 et 100 ans, nous ont permis de constater que la plasticité cognitive, bien qu'un peu réduite, reste intacte jusqu'à la fin de la vie. Même à cet âge, les performances cognitives peuvent être améliorées assez rapidement grâce à un entraînement. On peut donc encore apprendre une nouvelle langue, par exemple, même si cet apprentissage est certainement plus fatigant que s'il avait été réalisé plus jeune.»

Matthias Kliegel, responsable du laboratoire du vieillissement cognitif de l'Université de Genève



< 1 an      10 ans      20 ans      30 ans      40 ans

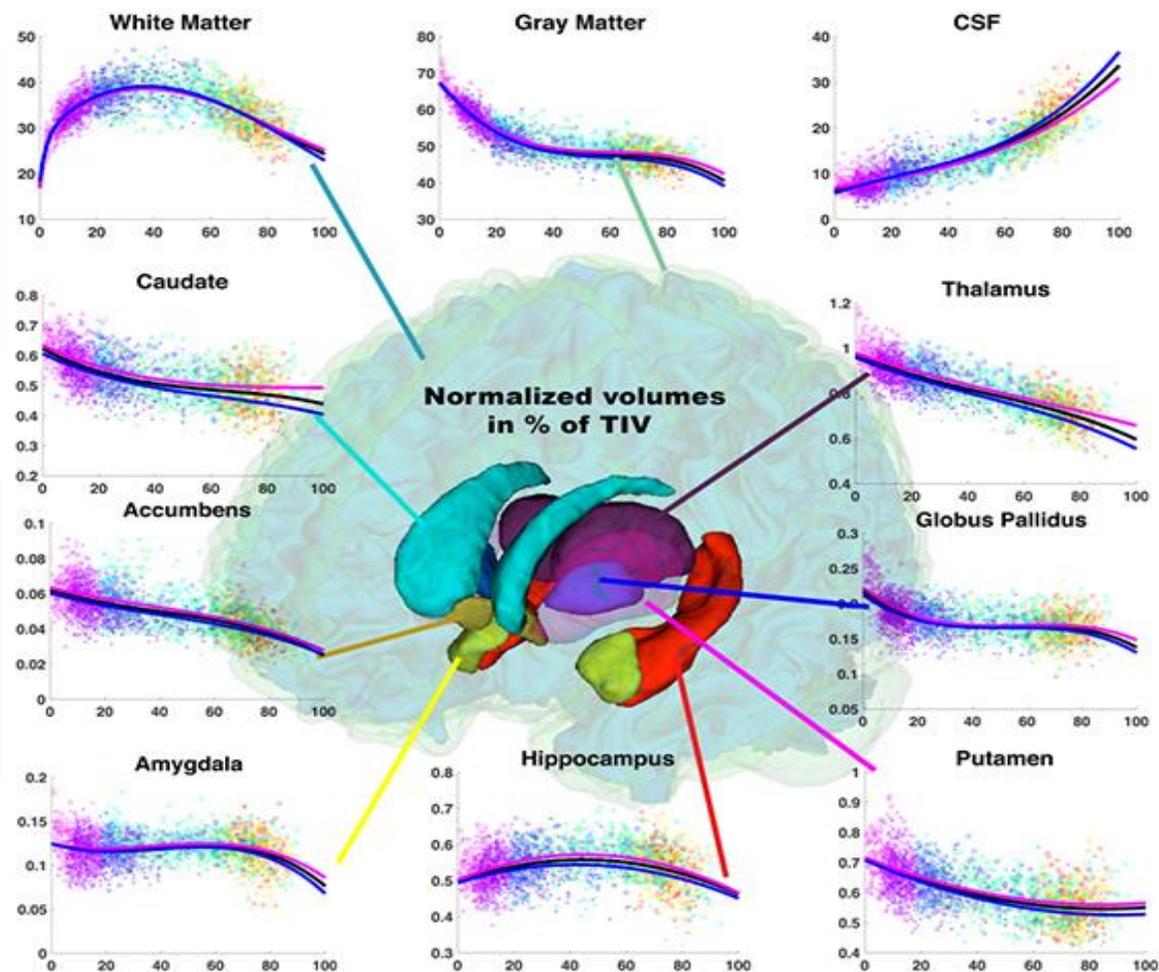


50 ans      60 ans      70 ans      80 ans      90 ans

### Évolution du cerveau au cours de la vie

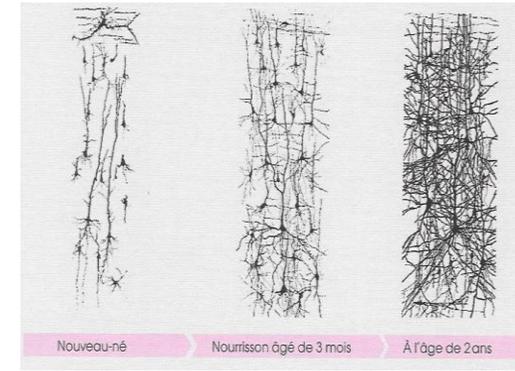
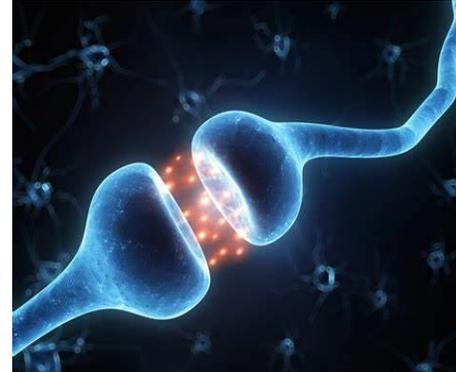
Les IRM du cerveau sont présentées dans un repère identique afin de compenser les différences de taille de la tête. Les structures cérébrales étudiées sont superposées en couleur. On peut remarquer la diminution rapide de matière grise corticale (tissu périphérique apparaissant en gris dans l'image) entre 1 et 10 ans ainsi que l'élargissement des ventricules (en rouge et vert) contenant du liquide cérébro-spinal entre 60 et 90 ans.

©volBrain



### Évolution des volumes relatifs (en % du volume intracrânien total) tout au long de la vie pour les tissus cérébraux et les structures cérébrales étudiés

Ces trajectoires sont estimées en fonction de l'âge sur 2944 sujets de 9 mois à 94 ans. Le modèle général est en noir, le modèle féminin est en magenta et le modèle masculin est en bleu. La couleur des points représente les différents jeux de données utilisés. ©volBrain



FIN

université  
PARIS-SACLAY

FACULTÉ  
DES SCIENCES  
DU SPORT

