

Physiologie des grandes fonctions

COURS PHYSIQUE MEDICALE

2023-2024

Dr: BENAZI Nabil

Physiologie de l'influx nerveux

Le système nerveux est composé de neurones et de cellules gliales

1/ Le neurone

= unité fondamentale du système nerveux

Son but est d'assurer la réception, la propagation et la transmission d'un signal bioélectrique appelé l'influx nerveux

86 à 100 milliards de neurones dans le cerveau humain

Cellule complexe, fragile et à haut métabolisme

Cellule amitotique = qui ne se divise plus. Chaque jour on perd des dizaines de milliers de neurones et même s'ils ne se régénèrent pas, cette perte ne se traduit pas par un trouble notable, car les neurones forment de nouvelles connexions palliant ainsi à leur perte

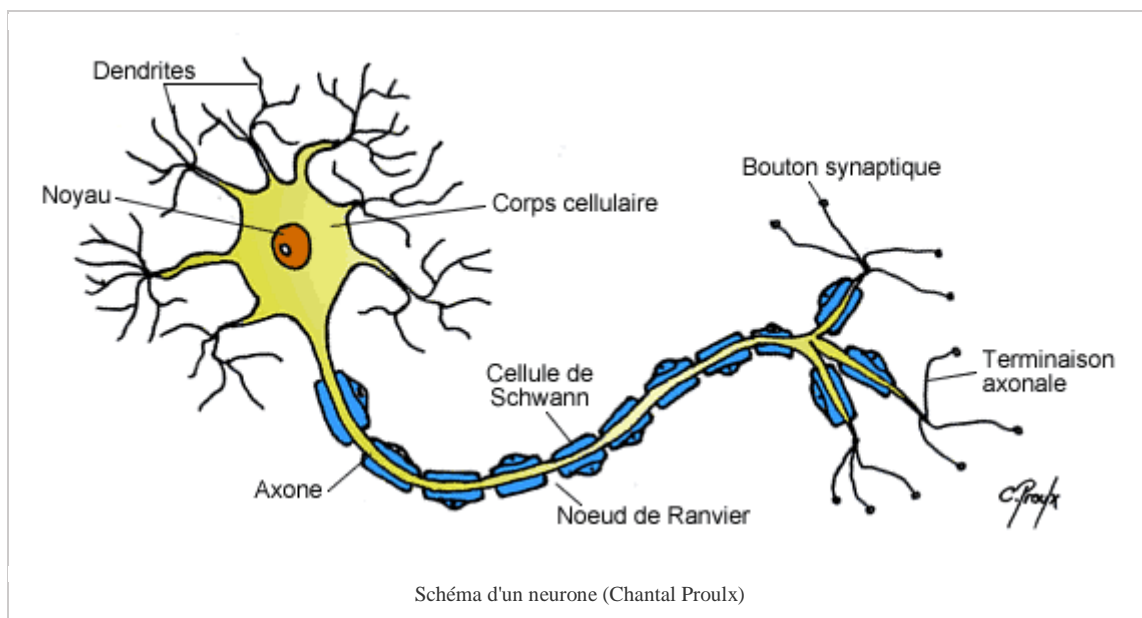
Polymorphisme inégal = plus de 150 types de neurones différents selon leur taille, forme, polarité, structure, fonction, localisation...

Cellules les plus longues de l'organisme !

Structure

Un neurone est composé :

- d'un corps cellulaire et deux types de prolongements nommés les neurites :
- des dendrites
- un axone



Le corps cellulaire

également appelé péricaryon ou soma

Partie renflée contenant le noyau et un cytoplasme avec les organites

Zone vitale du neurone

Les dendrites

Elles forment habituellement de courts prolongements ramifiées autour du corps cellulaire

Elles permettent au neurone d'établir des connexions avec d'autres neurones ou d'autres cellules de l'organisme.

L'arbre somato-dendritique représente le pôle récepteur de signaux du neurone

L'axone

Prolongement unique et épais du corps cellulaire, dont la longueur varie de 1mm à 1m

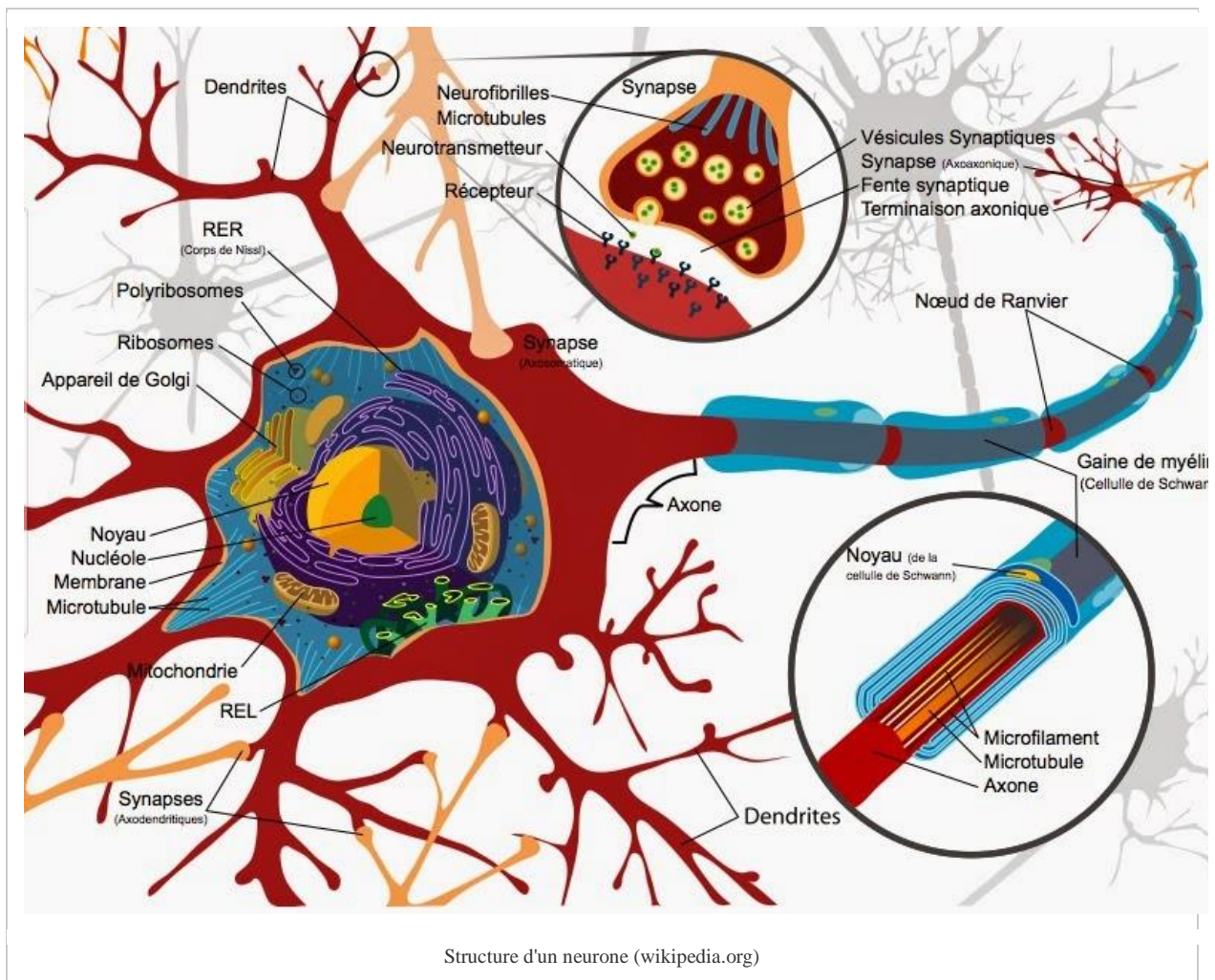
Les axones sont regroupés en faisceaux = fibre nerveuse. Le nerf contient plusieurs fibres nerveuses (jusqu'à 500 000 !)

L'axone peut posséder des ramifications, appelées collatérales, le long de son trajet.

Au niveau de leur terminaison, l'axone et ses collatérales subissent d'importantes ramifications constituant une arborisation terminale et un bouton synaptique.

1/3 des axones sont recouverts d'une gaine de myéline = substance lipidique isolante, elle-même recouverte par une enveloppe protectrice = la gaine de Schwann. Des espaces existent entre les cellules formant la gaine de myéline, ce sont les nœuds de Ranvier

L'ensemble de l'axone et des ses collatérales constituent le pôle émetteur du neurone



Selon leurs fonctions, on distingue :

- Les neurones sensoriels = directement reliés aux organes des sens et sont responsables de faire transiter l'information sensorielle (information ascendante) vers le cerveau.

- Les motoneurones = neurones moteurs = se chargent de faire transiter les ordres provenant du cerveau (information descendante) en direction des muscles.

- Les interneurones = tous les neurones qui ne sont ni sensoriels ni moteurs mais qui font la jonction entre ces deux types de neurones

Propriétés du neurone

Le neurone est une cellule excitable = il reçoit et transmet des signaux électrochimiques
Le neurone est également une cellule sécrétrice = il sécrète des neurotransmetteurs, parfois même des hormones, au niveau de sa terminaison axonale

La membrane plasmique des neurones comporte des canaux et des pompes capables de réguler la répartition des ions de part et d'autre de la membrane selon leur charge électrique et leur concentration.

A la différence d'un fil électrique, ce n'est pas un flux d'électrons qui conduit le signal mais c'est une onde d'échanges ioniques qui s'effectuent à travers la membrane. Cette propagation est donc de nature électrochimique.

Notion de potentiel de repos

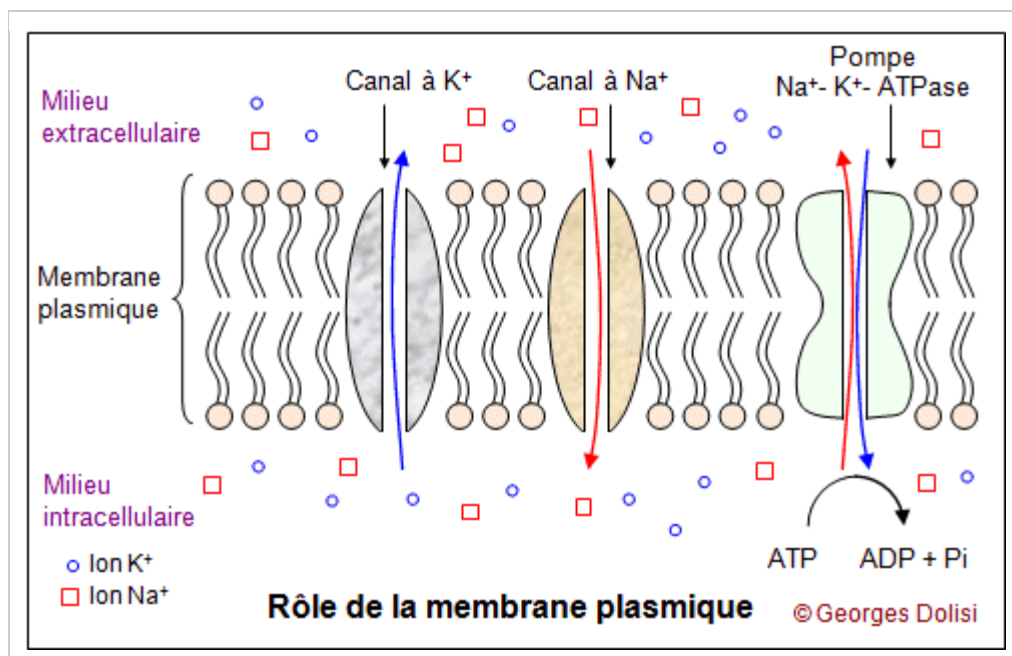
Au repos et en dehors de toute transmission, il existe une différence de potentiel électrique négative de l'ordre de -70 mV entre la face intracellulaire de la membrane du neurone et sa face extracellulaire.

C'est ce qu'on appelle le potentiel de repos

Il résulte d'une différence de concentration en ions entre l'intérieur et l'extérieur du neurone

Dans son environnement naturel, la cellule nerveuse (comme les autres cellules) baigne dans un milieu qui contient un nombre très important d'ions Na^+ (sodium), alors que dans son cytoplasme, ce sont les ions K^+ (potassium) et des protéinates (grosses molécules chargées négativement) qui dominent.

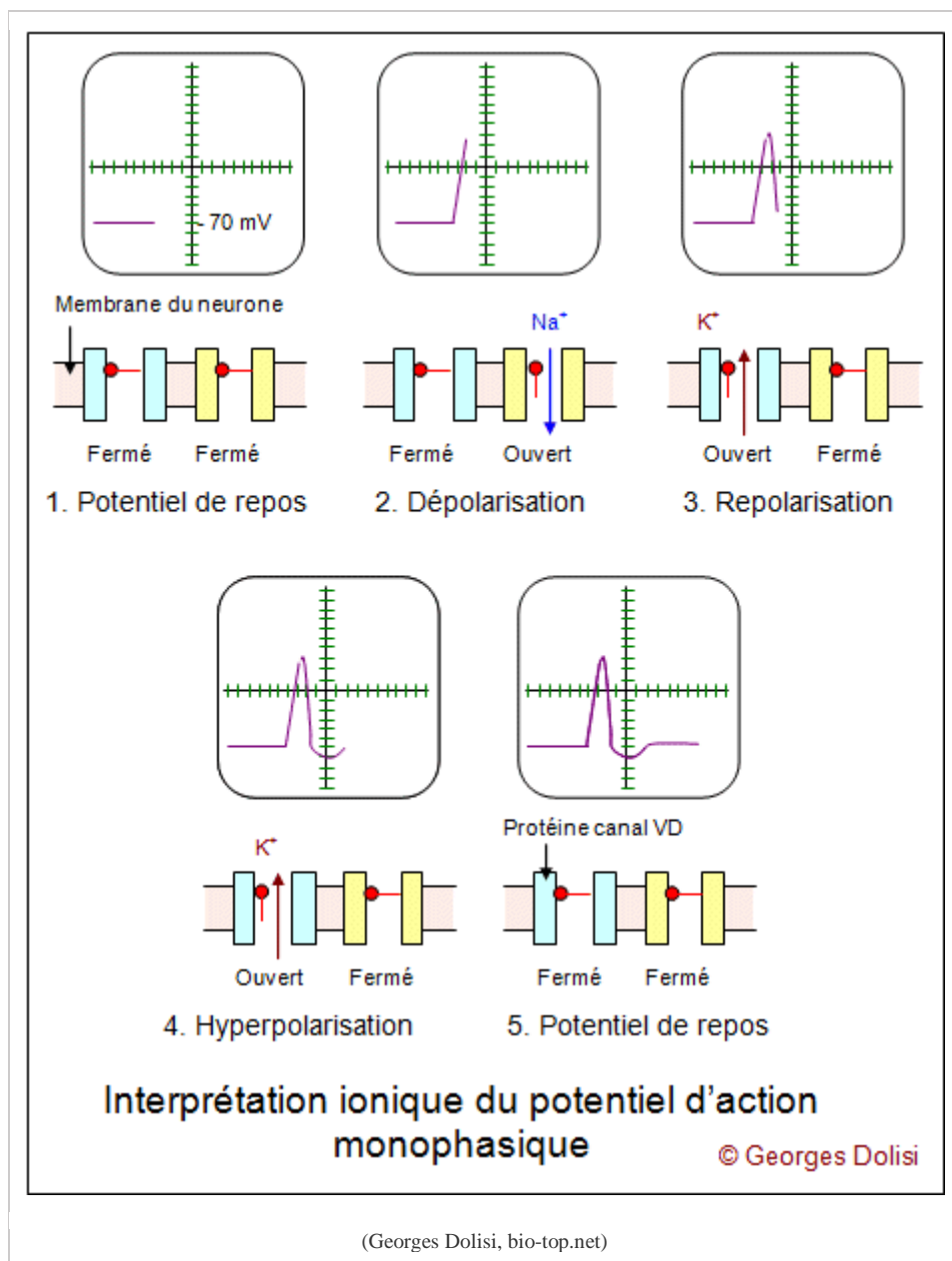
Ces différences génèrent un effet de gradient de concentration responsable d'une circulation passive par diffusion des ions K^+ et Na^+ . Associé à ces mouvements passifs, des transports actifs vont s'effectuer à contre gradient par l'intermédiaire des pompes appelées $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ pour préserver l'équilibre et donc le potentiel de repos.



Transmission de l'influx nerveux

Pour qu'une dépolarisation s'effectue, il faut que la stimulation soit suffisante, on parle de seuil d'excitation. Lorsque celui-ci est atteint, la réponse de l'axone présente toujours la même amplitude car le neurone obéit à la loi du « tout ou rien » et il se produit alors un potentiel d'action avec :

- une dépolarisation = ouverture des canaux à Na^+ et entrée massive de sodium = l'intérieur de la fibre devient positif
- une repolarisation = ouverture des canaux à K^+ et fermeture des canaux à sodium = sortie de potassium
- une hyperpolarisation = la perméabilité aux ions K^+ reste importante et prend un peu de retard
- retour au potentiel de repos

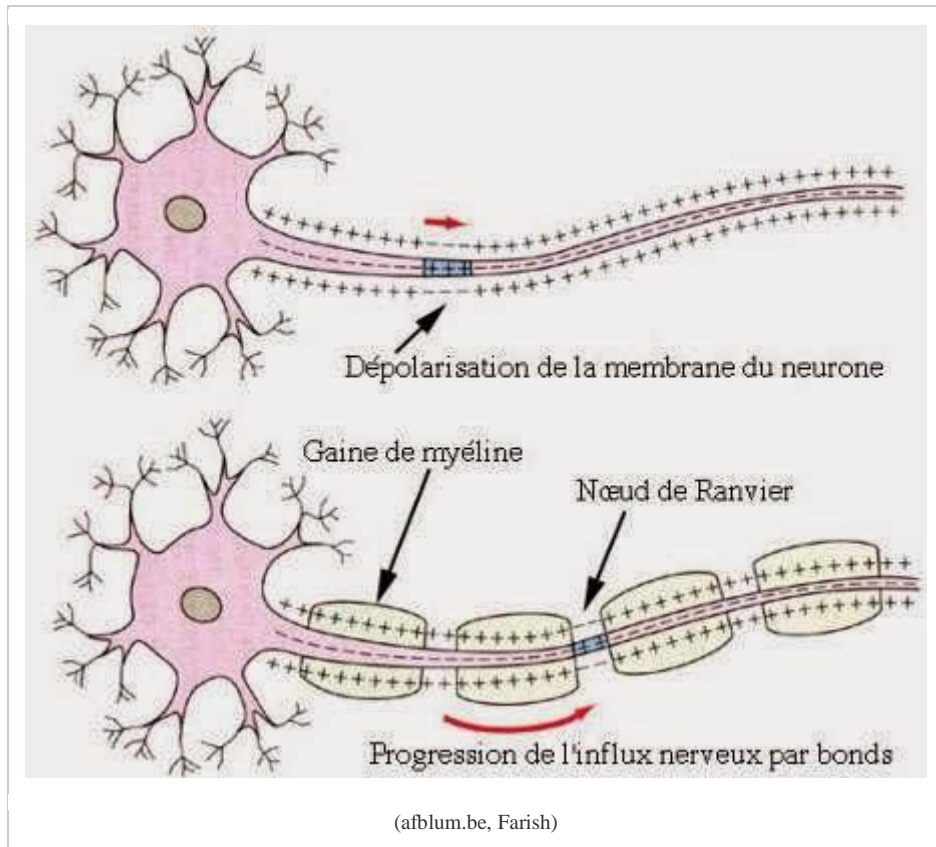


Ce phénomène de vague de dépolarisation continue jusqu'à ce que le signal de dépolarisation membranaire traverse toute la longueur de l'axone et se termine au niveau du bouton terminal

On appelle cette succession de potentiels d'action = l'influx nerveux

La vitesse de conduction varie selon le diamètre de la fibre et de la présence de myéline. Si l'axone est amyélinique, tous les points sont dépolarisés les uns après les autres. La vitesse est de 1m/s.

Si l'axone est myélinisé, la conduction se fait de façon saltatoire, c'est-à-dire que l'influx nerveux va sauter de nœuds de Ranvier en nœuds de Ranvier. La vitesse est de 120m/s, donc beaucoup plus rapide !



Les synapses

= zone de communication entre un neurone et une autre cellule excitable (nerveuse, musculaire ou glandulaire).

En moyenne, 10 000 synapses par neurone !

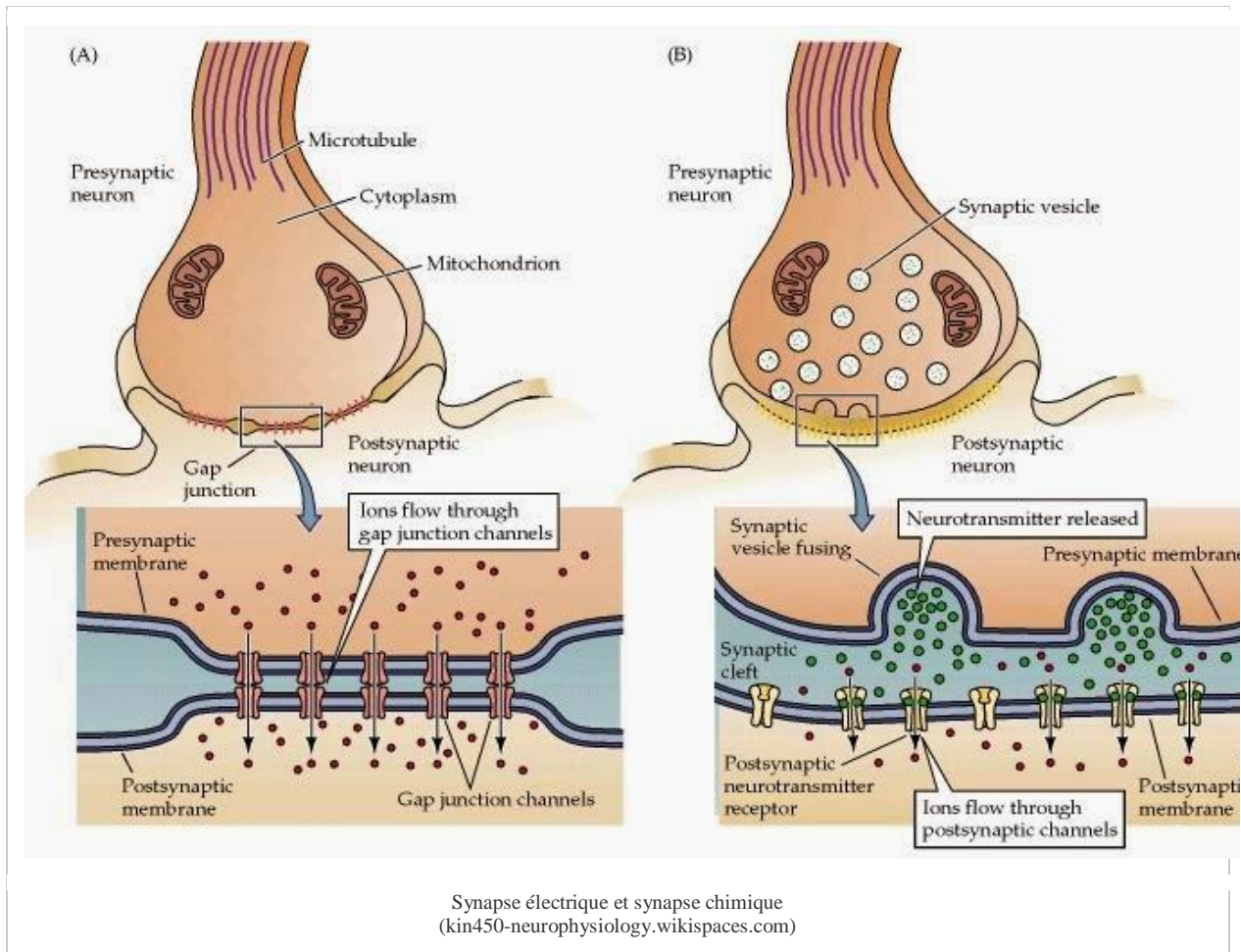
En fonction de son fonctionnement, on distingue :

- Les synapses électriques

Dans la synapse électrique, les membranes des deux neurones sont collées et reliées par des jonctions communicantes, parfois appelées GAP junctions. Les ions se transmettent donc d'une cellule à une autre, ainsi que la dépolarisation membranaire associée. L'influx nerveux se transmet sans intervention de neurotransmetteur.

La transmission synaptique par les synapses électriques est rapide (<1 ms) car le flux de courant passe directement d'une cellule à l'autre.

Rôle important dans le système nerveux immature, et ensuite relativement rare au stade adulte



- Les synapses chimiques = majoritaires

L'information nerveuse est transmise par l'intermédiaire d'un composé chimique libéré dans la fente synaptique

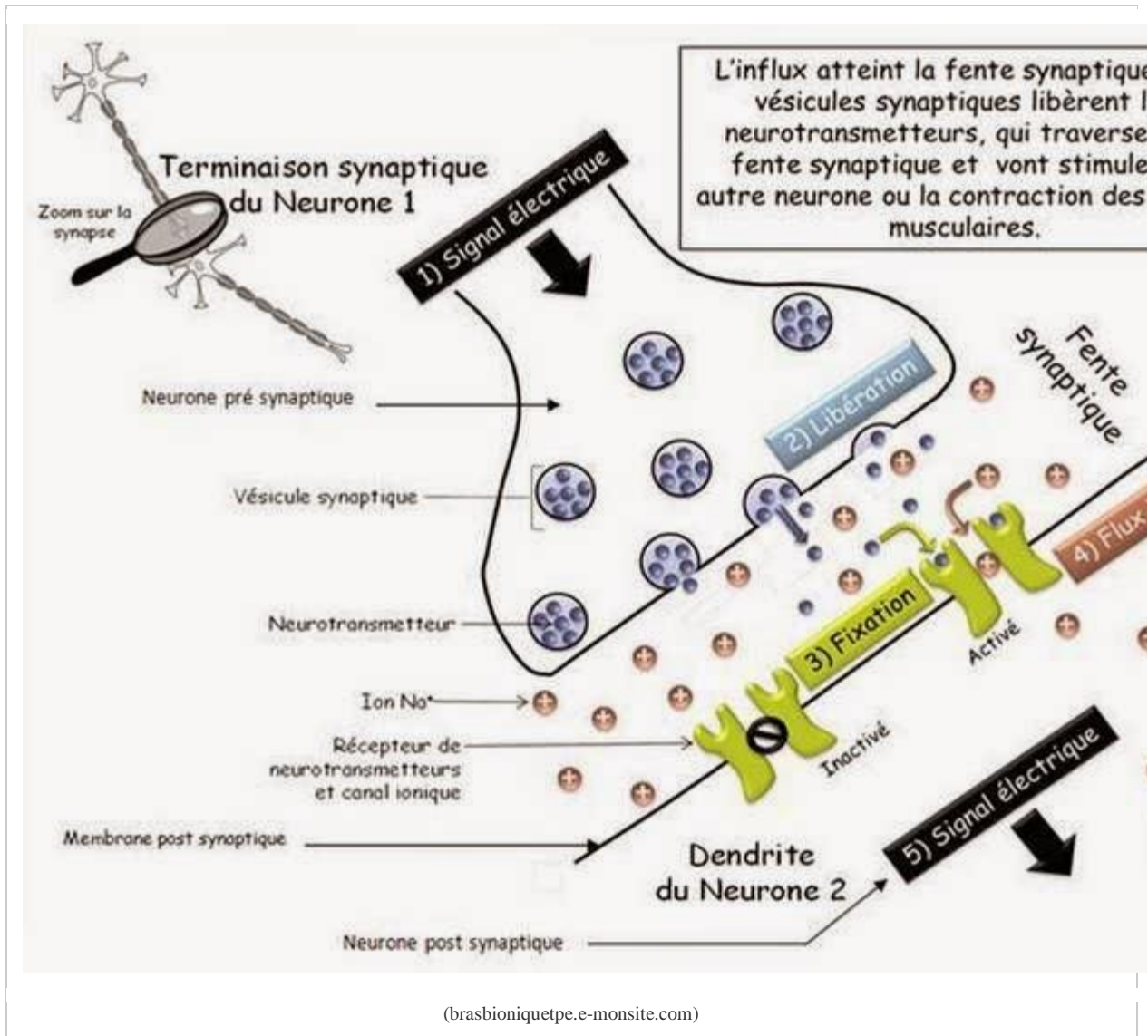
Ce sont des structures composées de 3 parties : le bouton pré-synaptique, la fente synaptique et le domaine post-synaptique.

Le bouton pré-synaptique contient des vésicules remplies de neurotransmetteurs = molécules qui agissent comme des traversiers chimiques permettant à l'influx nerveux de passer d'un neurone à l'autre.

Lors de l'arrivée d'un potentiel d'action, le neurotransmetteur est libéré dans la fente synaptique par fusion des vésicules avec la membrane plasmique au niveau de la zone active (exocytose)

Le domaine post-synaptique contient des récepteurs aux neurotransmetteurs et des protéines associées.

Le fonctionnement des synapses chimiques repose sur la transduction du signal électrique en signal chimique par libération du neurotransmetteur, puis du signal chimique en signal électrique par activation de récepteurs à neurotransmetteur post-synaptiques (qui va entraîner un flux ionique à l'origine d'un nouveau signal électrique)
Les synapses peuvent être excitatrices, inhibitrices et/ou modulatrices.



Selon leur topographie, plusieurs types de synapses :

Axodendritique = les plus fréquentes, où l'influx passe d'un axone à une dendrite

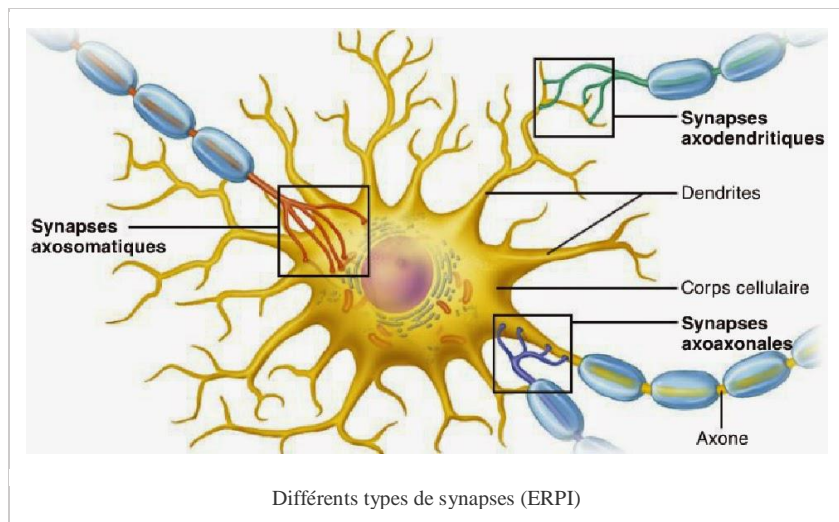
Axosomatique = l'influx passe d'un axone à un corps cellulaire

Axoaxonique = l'influx remonte d'un axone à un autre axone situé en amont pour la régulation du neurone pré-synaptique (généralement c'est une inhibition, une sorte de régulation en boucle)

Dendrodendritique = l'influx passe d'un dendrite à une autre dendrite

Dendrosomatique = l'influx passe d'un dendrite à un corps cellulaire

Somatosomatique = la synapse se fait entre deux corps cellulaires



Cas particulier de la synapse neuromusculaire

La plaque motrice = zone de jonction synaptique de l'axone du nerf moteur avec une fibre musculaire permettant la transmission neuro-musculaire et la contraction musculaire.

Le neurotransmetteur utilisé est l'acétylcholine

Les étapes de la transmission neuro-musculaire :

Arrivée d'un potentiel d'action dans la terminaison axonale

Déplacement des vésicules contenant l'acétylcholine vers la fente synaptique

Fusion des vésicules avec la membrane présynaptique et libération de l'acétylcholine par exocytose dans la fente synaptique

Fixation de l'acétylcholine sur les récepteurs nicotiques, entraînant l'ouverture des canaux sodiques

Entrée des ions Na^+ dans l'élément post-synaptique entraînant la dépolarisation de la membrane

L'acétylcholine est ensuite dégradée en choline par une enzyme l'acétylcholinestérase

La choline est recyclée dans l'élément présynaptique pour la synthèse d'acétylcholine

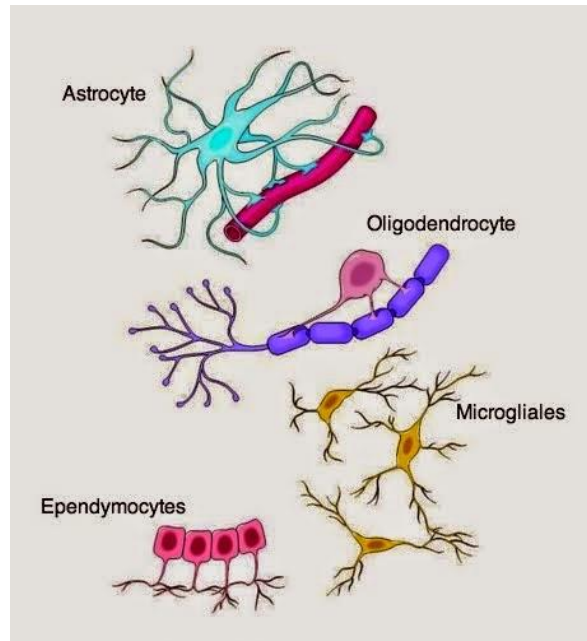
2/ Les cellules gliales

Les cellules gliales (ou névroglie, ou glie) sont les cellules qui entourent les neurones

Elles représentent 50 % à 90 % des cellules du système nerveux (selon les sources)

Ce sont des cellules de soutien, électriquement silencieuses, capables de se diviser, et indispensables à la survie des neurones

On distingue 4 types de cellules gliales dans la névroglie :

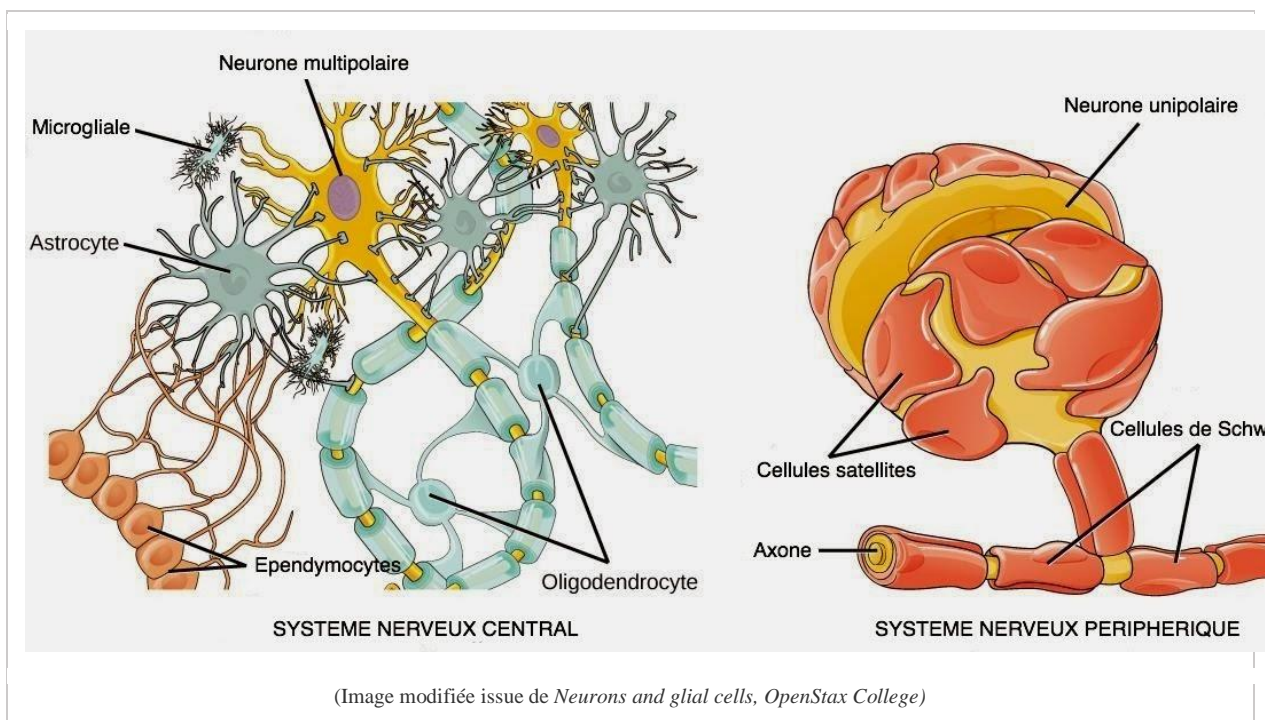


- les astrocytes = grosses cellules étoilées aux fonctions divers. Elles synthétisent les neurotransmetteurs, approvisionnent les neurones en énergie, éliminent les débris, participent à la cicatrisation, maintiennent la balance ionique du milieu extracellulaire, participent au maintien de la barrière hémato-encéphalique...

- les oligodendrocytes = forment la gaine de myéline qui entoure les axones du SNC (isolant électrique facilitant la conduction de l'influx nerveux)
 (les cellules de Schwann = forment la gaine de myéline qui entoure les axones du SNP)

- les microgliales = participent à la défense du tissu cérébral grâce à leur fonctions immunitaires

- les épendymocytes = assurent la circulation et la synthèse du LCR



(Image modifiée issue de *Neurons and glial cells*, OpenStax College)

