

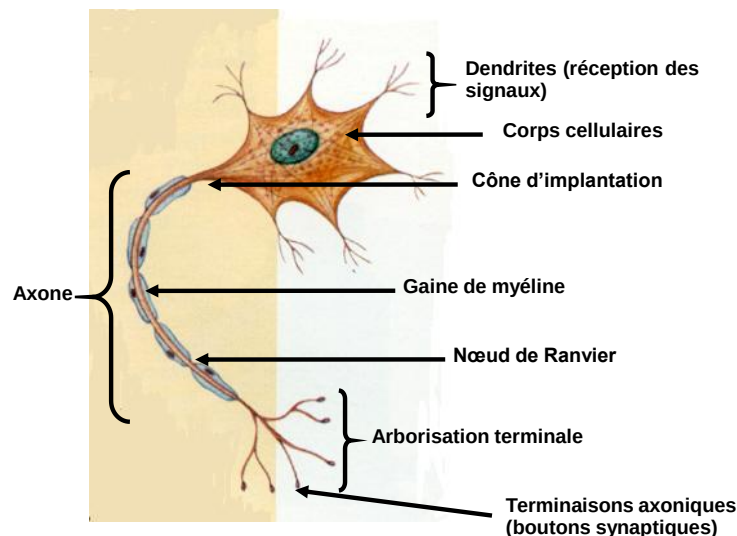
Physiologie du neurone

La CONSTITUTION d'un NEURONE

Le neurone est constitué:

- d'un **soma** (ou corps cellulaire),
- d'un **nucléole** proéminent car c'est une cellule post-mitotique, qui ne se divise pas, qui travaille tout le temps,
- de **corps de Nissl**, petits bouts de *reticulum endoplasmique*, sont spécifiques des neurones. C'est ce qui permet entre autre de différencier les neurones des cellules gliales qui ont la même taille. Les cellules gliales sont dépourvues de ces corps. On peut également retrouver ces corps au niveau des troncs dendritiques car la synthèse de neurotransmetteur existe aussi à cet endroit,
- de **dendrites** qui sont capables de libérer les neurotransmetteurs qu'elles fabriquent,
- d'un ou plusieurs **axones** (qu'on appelle collatérales). L'axone peut faire jusqu'à un mètre de long. Les neurones de projection qui partent du cortex vers la moelle ont un long axone et font des petites connexions avec les structures avoisinantes,
- d'une **arborisation terminale** avec des boutons synaptiques. Un bouton est un lieu où l'on peut avoir une synapse (c'est-à-dire connexion avec une autre cellule nerveuse, ou musculaire ou glandulaire). Dans ces boutons, on a une terminaison synaptique qui *contient des vésicules synaptiques chargées en neurotransmetteurs*.

• Constitution d'un neurone : véhicule l'information



Les CONTACTS AXONAUX

Il existe différents types de contacts axonaux :

- contact **axo-dendritique** entre un axone et une dendrite (90%) ;
- contact **axo-somatique** entre un axone et un soma (corps cellulaire) (environ 5%) ;
- contact **axo-axonal** entre l'axone d'un neurone sur lequel vient se brancher l'axone d'un autre neurone. On les retrouve au moment de la douleur, ce sont des contacts de régulation comme avec la substance P et l'interneurone enképhalinergique.

Les CELLULES GLIALES

Ce sont les cellules du système nerveux qui en dehors du nerf. On retrouve 5 grandes familles :

La **cellule de Schwann** est responsable de la myélinisation dans le SNP.

Ce sont les **oligodendrocytes** qui se chargent de cette fonction dans le SNC. Un seul oligodendrocyte est capable de myéliniser 20 à 70 tronçons axoniques, alors qu'une cellule de Schwann ne myélinise qu'un seul axone à la fois. La sclérose en plaque est une maladie de dégénérescence de la gaine de myéline dans le SNC.

Les **astrocytes** font barrière hémato-encéphalique, de recapter certaines substances...

La **microglie** est le macrophage du système nerveux.

Les **cellules épendymaires** qui tapissent les ventricules.

Les FORMES CELLULAIRES des NEURONES

On compte le nombre de branches qui sortent du soma. On a alors différents types d'axones :

- **Multipolaire**, c'est le plus commun. On a l'exemple du motoneurone,
- **Bipolaire** avec un prolongement dendritique et un axone,
- **Pseudo-unipolaire** avec un prolongement dendritique et un prolongement axonale très voisins l'un de l'autre d'où cette impression de n'avoir qu'un seul prolongement. On appelle ces cellules *Neurones en T de Dogiel*.

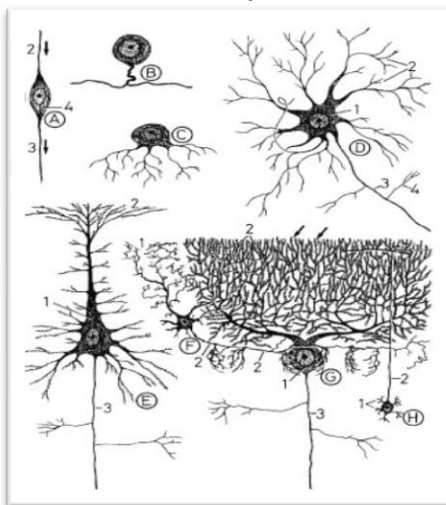
Les FORMES des CORPS CELLULAIRES

On regarde ici la forme du cytoplasme. Le cytoplasme peut être :

- **Etoilé**, comme le motoneurone alpha,
- **Fusiforme**,
- **Arrondi**, sphérique,
- **Pyramidal**, dans le cortex moteur. C'est la *cellule dite de Betz*, c'est le 1^{er} neurone de la chaîne motrice. On l'appelle *protoneurone*.

Les FORMES DENDRITIQUES

- **Isodendritique** : les dendrites se prolongent dans toutes les directions de l'espace,
- **Idiodendritique** : l'arborescence ne se fait que dans un seul plan. C'est le cas des *cellules du Purkinje du cervelet*.



A : neurone bipolaire,
B : neurone pseudo unipolaire en T de Dogiel,
C : neurone sphérique,
D : neurone étoilé,
E : neurone pyramidal
G : cellule de Purkinje

Les POTENTIELS de MEMBRANE

On peut enregistrer sur une membrane neuronale 4 signaux différents : le PM (potentiel de membrane), le PA (potentiel d'action), les PPS (potentiel post-synaptique) et les PR (potentiels récepteurs).

Potentiel de membrane = potentiel de repos.

Le potentiel de repos est de -70mV . La *membrane est polarisée* (charge + dehors et – dedans). La membrane est sélective. Les *protéines transmembranaires* sont à l'origine de la polarité de la membrane et du PA. On y retrouve des canaux dits de fuite (car sont tt le tps ouverts), les canaux potassiques sont plus nombreux que les sodiques.

On a également des canaux voltage dépendants dont l'ouverture est régie par l'arrivée d'un PA, c'est-à-dire d'une inversion de polarité membranaire.

On retrouve aussi des canaux récepteurs qui ne s'ouvrent que lorsqu'un ligand (neurotransmetteur) s'y est fixé.

Les pompes Na/K ATPase sont aussi présentes au niveau de cette membrane pour faire sortir le Na^+ et entrer le K^+ dans le sens opposé de leur gradient de concentration. Ce transport nécessite de l'énergie, d'où la fonction ATPase de cette pompe.

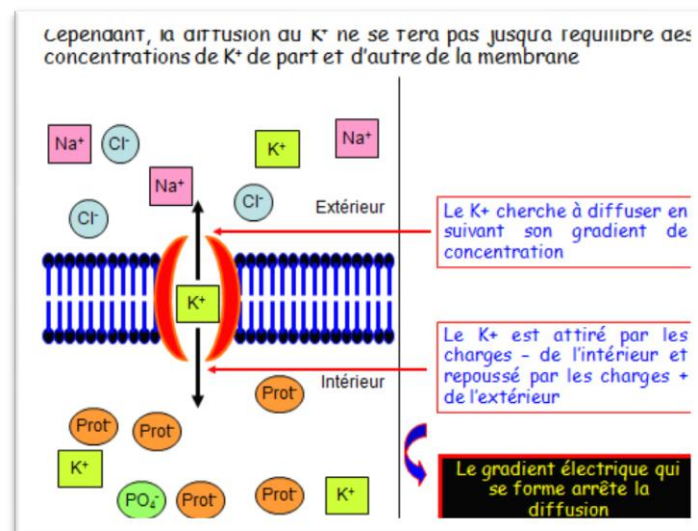
Les transporteurs font le flux inverse. Ils sont capables de recapturer les neurotransmetteurs et de faire passer des ions Na^+ et K^+ .

Le **PA** se mesure lorsque le neurone est inactif. Lorsqu'il s'active, on parle de potentiel d'action. Le potentiel d'action *n'est observé qu'au niveau de l'axone*.

Les **PPS** sont mesurés au niveau *des soma et des dendrites*.

Le **PR** est mesuré au niveau des *récepteurs* (sensoriels, comment se traduit le potentiel reçu en influx nerveux). C'est le potentiel qui traduit le rayon lumineux en influx nerveux au niveau de l'œil.

Au repos, il y a diffusion (sortie de la cellule) importante du potassium car les canaux de fuite sont ouverts (on ne parle pas des canaux voltage dépendants). Le potentiel de membrane a un potentiel d'équilibre équivalent à celui du potassium. En effet, plus le potassium sort de la cellule pour équilibrer sa concentration intra et extra-cellulaire, plus il augmente la charge positive de la membrane externe de la cellule, ce qui équivaut à augmenter la charge négative de la membrane interne. Au potentiel de membrane, l'ion K^+ est donc en équilibre. Si la cellule continue à faire sortir des ions positifs, alors les ions K^+ vont être attirés par la grande charge négative de la membrane interne, et donc rentrer dans la cellule.



La pompe Na/K fait sortir 3 Na^+ pour faire entrer 2 K^+ , ce qui permet de maintenir les concentrations cellulaires. Cette pompe permet de maintenir à l'équilibre respectif les concentrations de K^+ et Na^+ de chaque côté de la membrane.

Ce sont les grosses protéines chargées négativement qui confèrent la charge – à la face interne de la membrane, et le fait que le canal soit ouvert.

Le potentiel d'action de chaque ion peut être calculé par l'équation de Nernst, mais il semblerait que l'on s'en moque cette année.

Le Potentiel d'Action

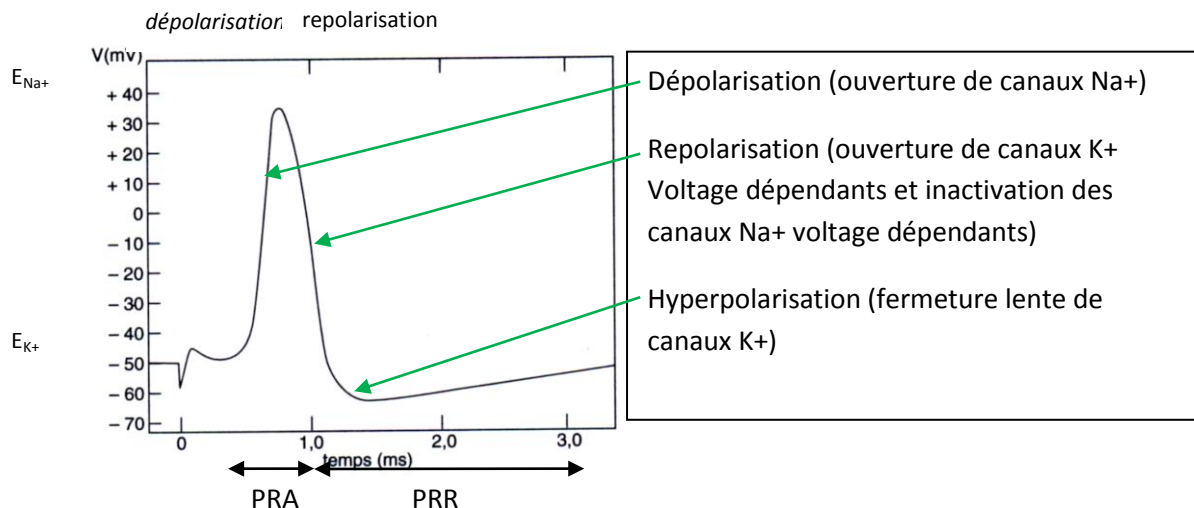
Les neurones ont 2 propriétés importantes :

- **excitabilité** (comme les fibres musculaires), c'est la capacité de *réagir à un stimulus* et de le convertir en influx nerveux.
- **conductivité** (cellule musculaire ne peut pas le faire), c'est la *capacité de propager cet influx nerveux et de le transmettre* à d'autres neurones, à des muscles ou à des glandes.

Pour induire un PA, la *stimulation doit dépasser un certain seuil* d'environ -50mV, c'est la **loi du tout ou rien**. Autrement dit, toutes les stimulations ne sont pas capables d'induire un PA, ces stimulations sont dites infraliminales.

Une fois le seuil atteint, le potentiel de membrane qui était de -70mV monte jusqu'à +40mV, ce qui correspond au potentiel de repos des canaux sodiques. La membrane est plus perméable au Na^+ qu'au K^+ pendant la dépolarisation, jusqu'au pic du PA. Stimulation = inversion de polarité = dépolarisation. On parle de stimulus supraliminaire. *Pendant cette phase ascendante, ce sont les ions Na^+ qui entrent dans la cellule.*

À +40mV il y a *inactivation des canaux Na^+ et ouverture des canaux K^+ voltage dépendants*. Cette ouverture permet la *repolarisation de la membrane* (diminution du potentiel de membrane). On obtient aussi une *hyperpolarisation* car les canaux K^+ sont plus longs à se refermer : une fois le potentiel de repos de la membrane atteint, les canaux K^+ devraient tous être fermés. Cependant, les canaux K^+ voltage dépendant sont longs à se fermer, ce qui permet alors à quelques ions K^+ de passer encore la membrane, abaissant ainsi le potentiel de repos en dessous de sa valeur réelle. *Pendant cette phase descendante, ce sont les ions K^+ qui sortent de la cellule.*

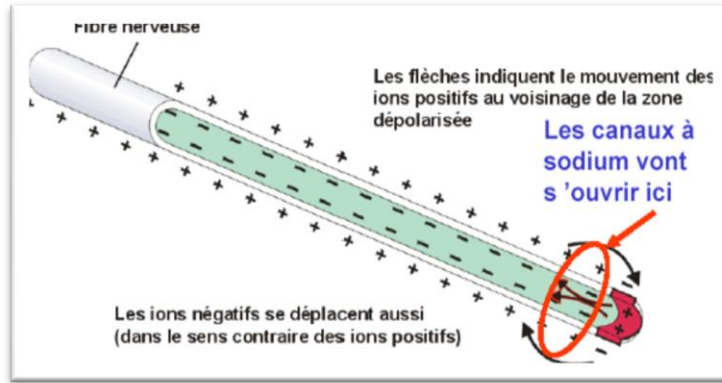


Période réfractaire absolue (PRA) = période pendant laquelle il est impossible d'avoir un nouveau PA car tous les canaux Na^+ sont ouverts.

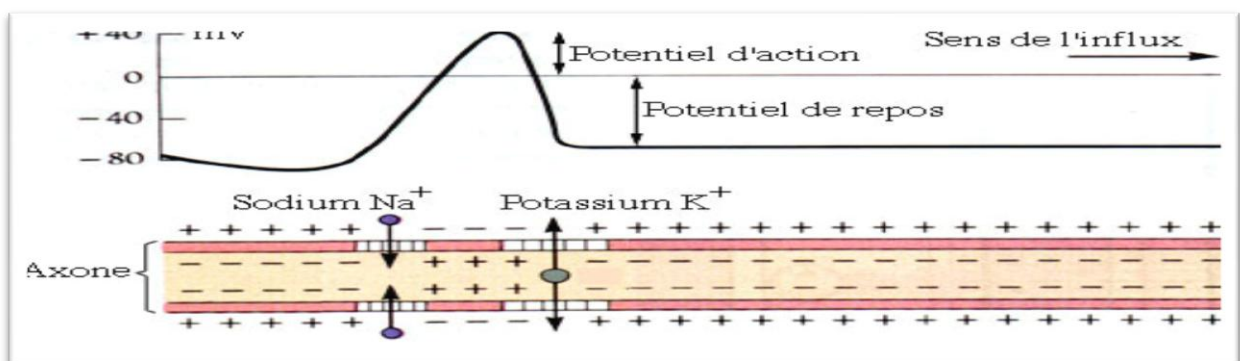
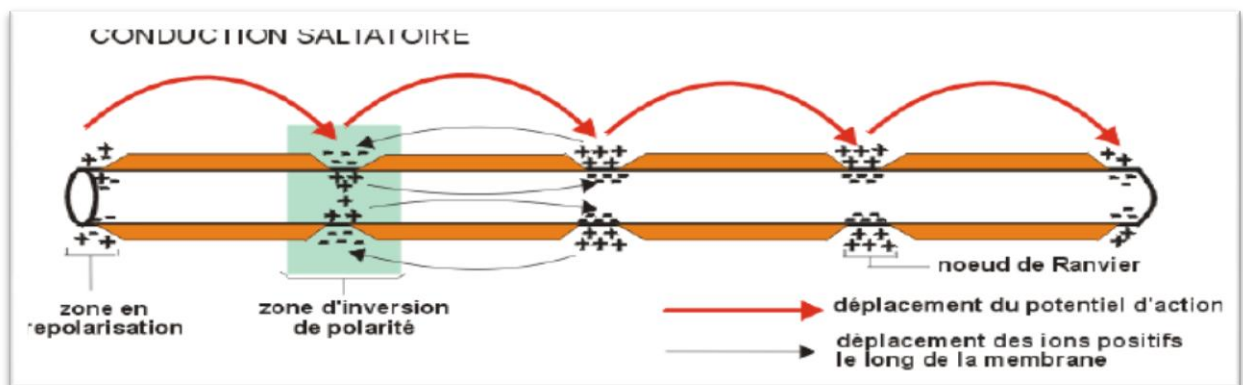
Dans la **période réfractaire relative (PRR)**, pour avoir un nouveau PA, il faut une stimulation beaucoup plus forte.

Les anesthésiques locaux bloquent les canaux sodiques, empêchant alors tout PA et donc la transformation de l'information « douleur » en message électrique dirigé vers le cerveau.

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



Les **petites flèches noires** représentent les courants locaux, c'est-à-dire l'attraction des charges + de l'extérieur attirées par les - de l'extérieur, et les + de l'intérieur par les - de l'intérieur, ce qui crée des courants locaux. Il y a inversion de la polarité de proche en proche. Une fois la propagation initiée, on ne peut plus l'arrêter.



Un stimulus infraliminaire = pas de PA. Si on *augmente l'intensité du courant*, c'est la *fréquence des PA* qui augmente et non l'amplitude et aboutit à la libération des neurotransmetteurs. Ce **codage en fréquence** veut dire qu'il faut libérer plus ou moins de neurotransmetteurs.

Les Potentiels Post-Synaptiques

Un **potentiel postsynaptique** (PPS) est le signal unitaire produit en aval d'une synapse. Il s'agit d'un changement transitoire de la différence de potentiel électrochimique établie de part et d'autre de la membrane. **Les PPS sont des potentiels locaux** et donc graduables, ils n'auront pas la même amplitude.

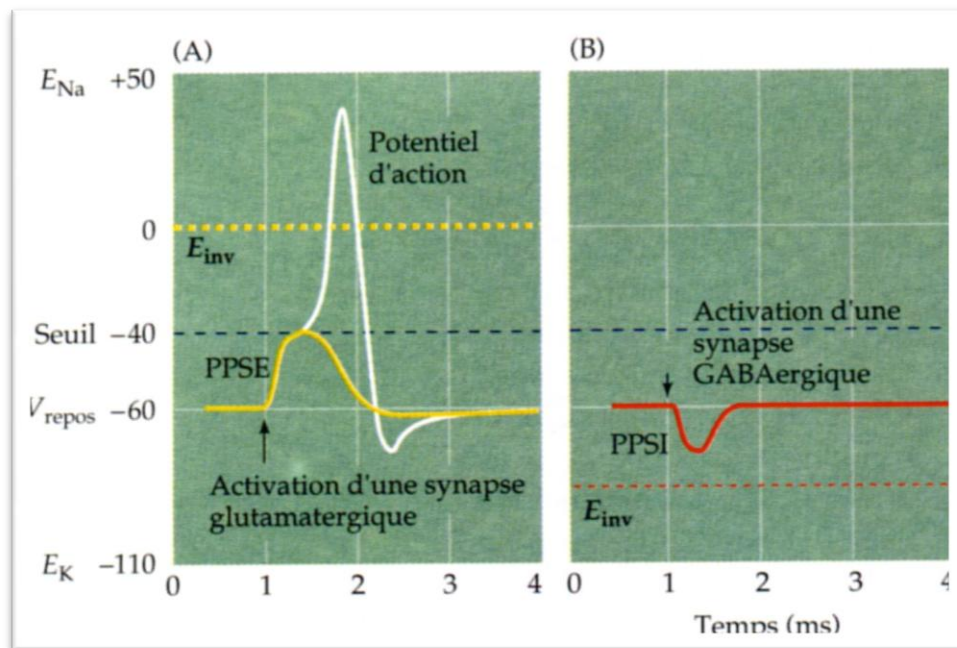
- les **potentiels postsynaptiques excitateurs** (PPSE) correspondent à une dépolarisation de la membrane, ce qui augmente la probabilité que le neurone décharge un potentiel d'action ;
- les **potentiels postsynaptiques inhibiteurs** (PPSI) correspondent à une hyperpolarisation de la membrane, ce qui diminue la probabilité de la décharge.

Les neurones reçoivent des afférences excitatrices et inhibitrices. Dans les 2 cas, les NT se lient à des récepteurs et provoquent l'ouverture ou la fermeture de canaux ioniques: PPSE ou PPSI dépend de la nature du canal couplé avec le récepteurs.

L'hyperpolarisation (ici entendue sous le sens d'inhibition) correspond à l'ouverture des canaux pour laisser entrer les ions négatifs, le neurone est donc éloigné de la probabilité de faire un PA.

Les PPS sont des potentiels locaux qui s'étalent passivement entre les dendrites et le corps cellulaire. L'influx nerveux naît au niveau du cône d'émergence. *L'activation d'une seule fibre ne peut pas activer la production d'un PA.* Il faut une **sommation spatiale et temporelle** des PPSE pour activer un PA.

La **sommation spatiale** correspond à la sommation des signaux des fibres à proximité du neurone. Si on a 5 fibres inhibitrices et 20 excitatrices, alors on a toutes les chances d'activer un PA. Si on active la même fibre à une fréquence élevée, on peut stimuler un PA. C'est la **sommation temporelle**.



Le Potentiel Récepteur

Il se situe au niveau d'un *récepteur sensoriel*. C'est un récepteur local et graduable. Un signal va arriver au niveau du récepteur, et on enregistre un PR. En fonction de l'importance de la stimulation, on va enregistrer différents PR.

Si la stimulation est plus importante, alors l'amplitude du PR augmente dans une zone appelée zone de transduction. Il y a une transformation énergétique du PR en PA au niveau de la terminaison axonale (c'est la zone sensorielle). Ces récepteurs sont soit toniques soit phasiques (pas dans le détail).

La SYNAPSE CHIMIQUE

Elle est *prédominante* chez nous par rapport à la synapse électrique.

L'influx nerveux court le long de l'axone et arrive au bouton synaptique. Là, il déclenche l'ouverture de canaux Ca^{2+} voltage dépendant par dépolarisation de la membrane. Ainsi, l'entrée de Ca^{2+} va provoquer l'exocytose des neurotransmetteurs contenus dans les vésicules synaptiques. Les neurotransmetteurs se retrouvent alors dans l'espace synaptique et vont se fixer sur les récepteurs situés sur la membrane post-synaptique et provoquer leur ouverture ou leur fermeture.

