

## PHYSIOLOGIE DU NEURONE

Présenté par Dr A.CHIKHI

### I/INTRODUCTION :

Les neurones possèdent des propriétés fondamentalement liées : l'excitabilité et la conduction qui leur permettent de **recevoir**, de **propager** et de **transmettre** des informations sous forme d'influx nerveux.

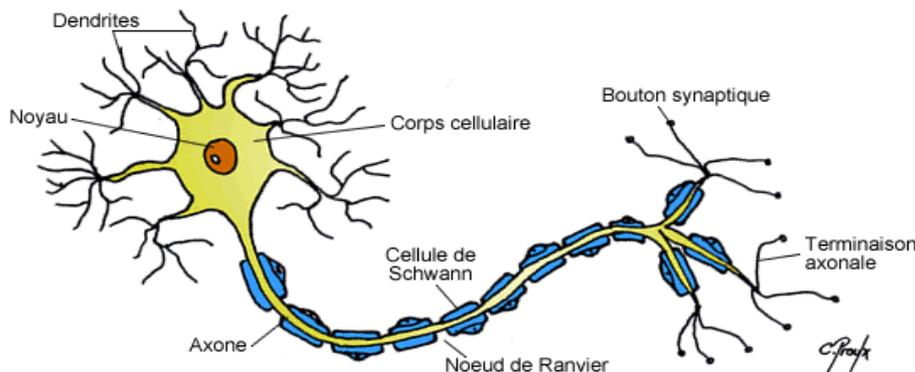
Les neurones se différencient donc par leur capacité de communiquer entre eux très rapidement, parfois sur de longues distances et de façon très précise.

Sur le plan structurel, le neurone est constitué par:

1- **un soma (perikarion)** : contient noyau et cytoplasme et de morphologie variable Pyramidal , ovoïde ,granulaire , étoilé , fusiforme.

2- **les dendrites: extensions** du soma ,généralement épineux (ou bien lisses)

3- **l'axone** : unique, non épineux (lisse), prend origine au niveau du cône d'implantation, Il peut présenter des collatérales et peut être myélinisé ou non.



### II/LES TRANSPORTS AXONAUX :

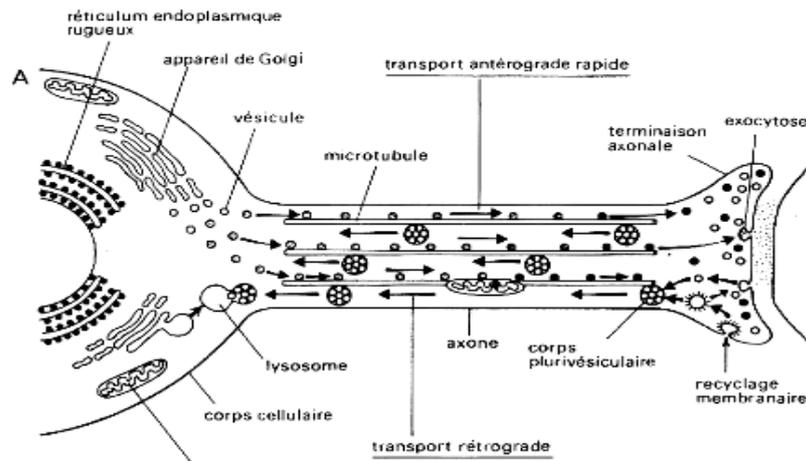
Sont assurés par les éléments du cytosquelette, on reconnaît plusieurs types :

1- **Transport antérograde rapide** (100-400mm/j): renouvellement des protéines membranaires de l'axone, enzymes de synthèse et précurseurs des neuromédiateurs.

2- **Transport antérograde lent** (0.1-2mm/j): Renouvellement du cytosquelette, apporte l'axoplasme des axones en croissance.

3- **Transport des mitochondries:**  
Renouvellement des mitochondries de l'axone et des terminaisons. 10-40mm/j

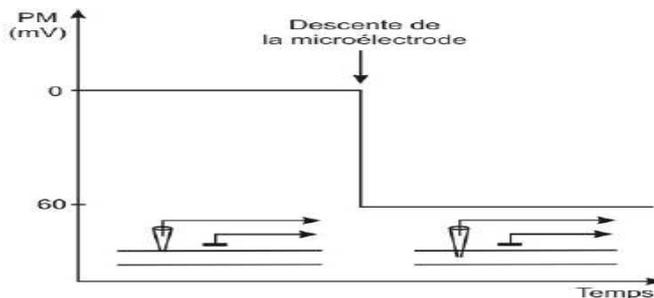
4- **Transport axonal rétrograde:** rôle d'élimination des déchets. 150-200mm/j



### III/LE POTENTIEL DE REPOS (PR)

#### A/Mise en évidence : schéma

Caractéristique de toutes les cellules vivantes, sa valeur est variable d'une cellule à l'autre. Les propriétés électriques qui découlent de cette ddp sont à l'origine du fonctionnement des neurones.



#### B/Origine du potentiel de repos

#### 1-Phénomènes passifs

a-Différences des concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane : (exemple de l'axone géant de calmar)

ION	INTRACELLULAIRE mM	EXTRACELLULAIRE mM	POTENTIEL D'EQUILIBRE
K+	400	20	-75
Na+	50	404	+55
Cl-	52	560	-60
A-	385	-	-

Au repos, il existe une inégalité de répartition des ions de part et d'autre de la membrane (tableau). La séparation de charge qui en résulte est à l'origine d'un mouvement passif d'ions à travers des « canaux de fuite » sélectifs à chaque espèce ionique. Ces mouvements passifs s'effectuent selon deux gradients :

-Un gradient de concentration (osmotique) qui tend à uniformiser les concentrations entre les deux compartiments.

-Un gradient électrique dû à la ddp (Vm) de repos et qui tend à répartir les ions en fonction de leur charge électrique.

### b-Potentiel d'équilibre : équation de NERNST

Cette équation permet de calculer le potentiel d'équilibre d'un ion (E<sub>ion</sub>) c'est-à-dire le potentiel de membrane pour lequel cet ion est en équilibre vis-à-vis des forces électrochimiques.

$$E_{ion} = \frac{R T}{Z F} \ln \frac{[ion]_e}{[ion]_i}$$

où: R = constante des gaz parfaits, T = température absolue Z = la valence de l'ion (+ 1 pour le K<sup>+</sup> et le Na<sup>+</sup>, - 1 pour le Cl<sup>-</sup>, et +2 pour le Ca<sup>2+</sup>), F = Faraday, [ion]<sub>e</sub> = concentration de l'ion à l'extérieur de la cellule, [ion]<sub>i</sub> = concentration de l'ion à l'intérieur de la cellule, à 20°C, RT/F = 25 mV.

### c-Perméabilité membranaire : équation de GOLDMAN

La membrane étant perméable à plusieurs ions et les flux ioniques sont fonction non seulement des forces électrochimiques (E<sub>m</sub>-E<sub>ion</sub>) mais aussi des perméabilités respectives(P), d'où l'équation de Goldman :

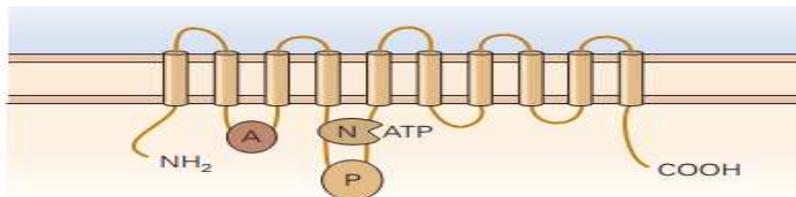
$$V_m = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln \frac{P_K \cdot (K^+)_e + P_{Na} \cdot (Na^+)_e + P_{Cl} \cdot (Cl^-)_i}{P_K \cdot (K^+)_i + P_{Na} \cdot (Na^+)_i + P_{Cl} \cdot (Cl^-)_e}$$

## 2-Phénomènes actifs :

Pour assurer la stabilité des concentrations ioniques il faut l'intervention d'un mécanisme actif de transport contre les gradients électrochimiques : C'est la pompe à Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATP ase.

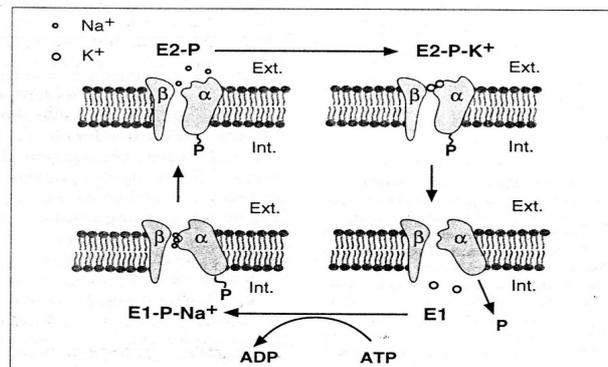
-Mise en évidence : expérience des ions radioactifs marqués

-Structure :



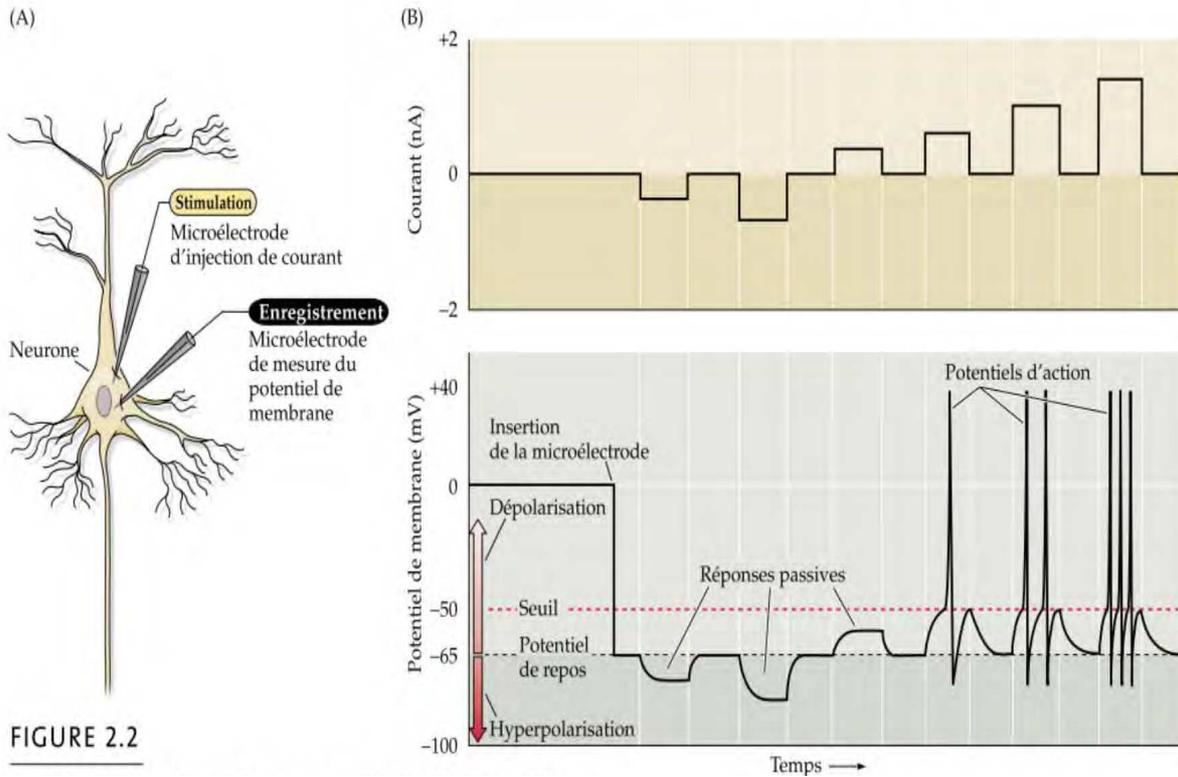
-Modèle de fonctionnement :

**Figure 20.** Le cycle de la pompe Na/K. Sous sa forme E1, l'ATPase a une forte affinité pour le Na<sup>+</sup>. Son site de fixation étant ouvert vers l'intérieur de la cellule, elle fixe trois ions Na<sup>+</sup> intracellulaires et hydrolyse une molécule d'ATP dont elle fixe le phosphate inorganique (P). Cette fixation modifie la conformation du site, qui s'ouvre vers l'extérieur ; simultanément, l'enzyme perd son affinité pour le Na<sup>+</sup> qui est libéré dans le milieu extracellulaire. Elle acquiert alors une forte affinité pour le K<sup>+</sup> et en fixe deux ions. Étant instable, elle reprend ensuite sa forme E1, en même temps qu'elle libère le K<sup>+</sup> et son phosphate inorganique dans le compartiment intracellulaire.



Cette pompe assure le transport de 2 ions  $K^+$  contre 3 ions  $Na^+$  donc électrogène (participe à la différence de potentiel membranaire).

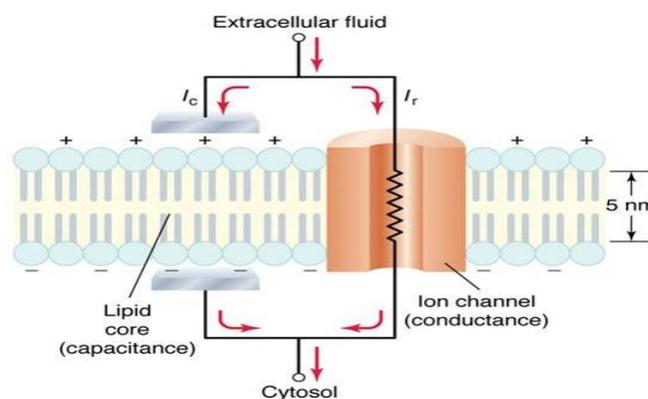
A la suite d'une stimulation nerveuse, on observe deux types de variations du  $V_m$  : les potentiels locaux ou électrotoniques et le potentiel d'action propagé.



#### IV/EFFET D'UNE STIMULATION INFRALIMINAIRE : LES POTENTIELS LOCAUX (ELECTROTONIQUES)

Ce sont des variations locales du  $V_m$  qui permettent la transmission de l'information sur de courtes distances (exemples : les potentiels postsynaptiques et les potentiels de récepteurs).

#### Modèle électrique équivalent de la membrane :



**Caractéristiques des potentiels locaux :**

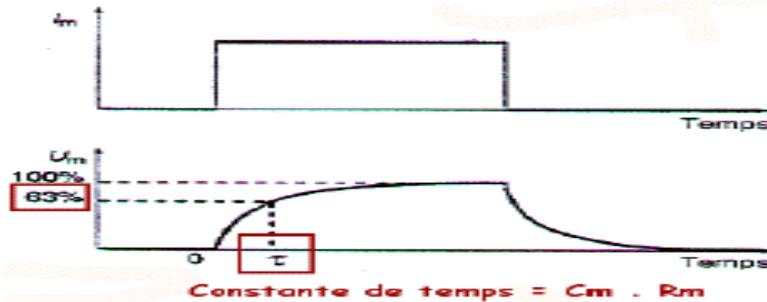
Ils sont graduables ,sommables, dépolarisants ou hyperpolarisant, à propagation décrementielle et ne répondent pas à la loi du tout ou rien.

Ces phénomènes locaux sont dus aux propriétés physiques passives de la membrane, on défini deux constantes :

**a-Réponse locale : constante de temps.**

C'est une fonction des valeurs de Cm et de Rm.

Correspond au temps nécessaire pour que la ddp soit égale à 63% de sa valeur maximale.

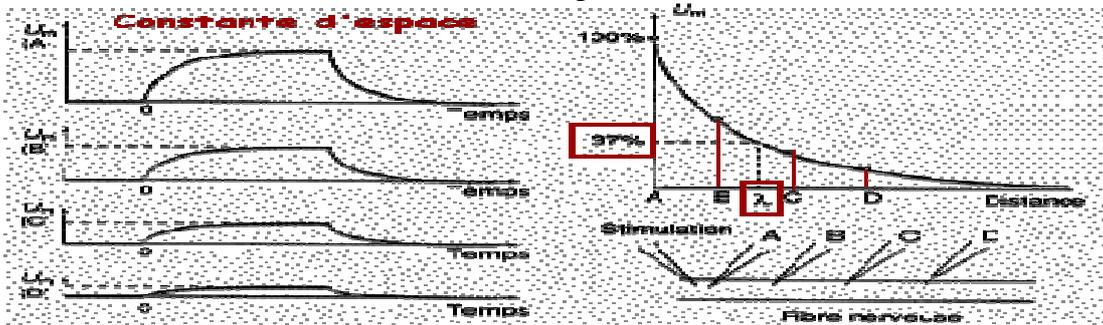


**b -Réponse propagée : constante d'espace.**

C'est la distance correspondant à une baisse de 63% de l'amplitude initiale ; elle est fonction des valeurs des résistances longitudinales (RL) :

- Fibre de gros diamètre → RL faible → constante de temps élevée

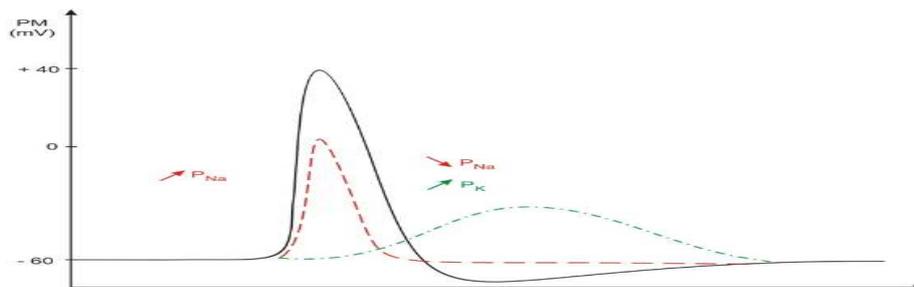
- Fibre fine → RL élevée → constante de temps faible



**V/EFFET D'UNE STIMULATION SUPRALIMINAIRE : LE POTENTIEL D'ACTION PROPAGE :**

C'est le mode de communication du système nerveux sur de longues distances.

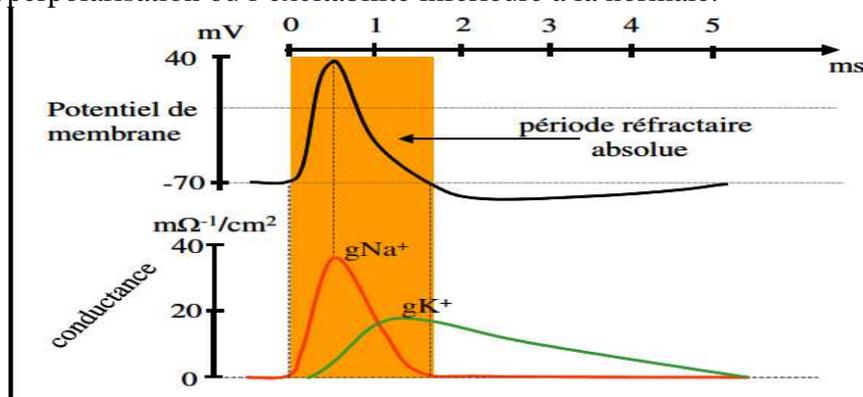
**1-Mise en évidence :**



## 2-Morphologie et caractéristiques du potentiel d'action (PA) :

La stimulation provoque après un temps de latence une variation stéréotypée du  $V_m$  ; on distingue plusieurs phases :

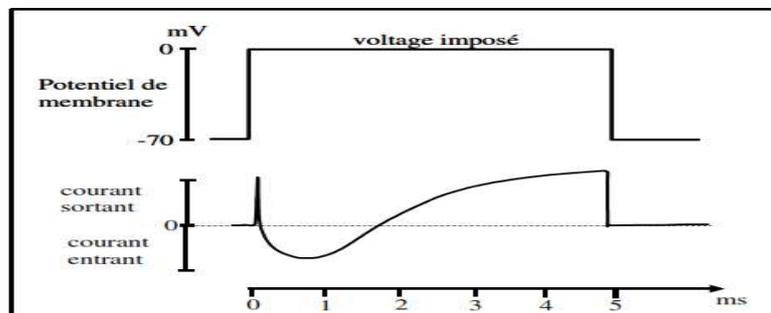
- Dépolarisation rapide et brusque avec inversion du  $V_m$  (de -70 à +30) et début d'une repolarisation rapide, sa durée est de 0,5 à 1 m sec. Cette phase correspond à la période réfractaire absolue (PRA).
- Repolarisation plus lente : Correspond à la période réfractaire relative (PRR)
- Une post hyperpolarisation ou l'excitabilité inférieure à la normale.



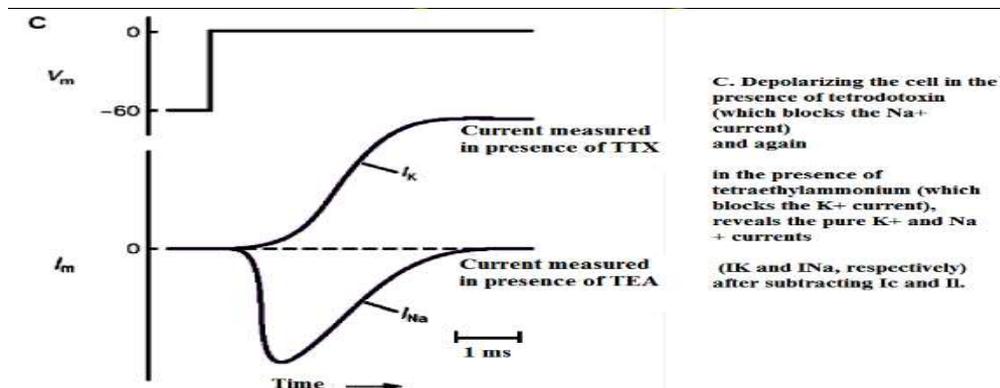
## 3-Bases ioniques du potentiel d'action :

Au moment de la pointe  $V_m$  tend vers le  $E_{Na^+}$ , en effet :

- Dans un milieu sans  $Na^+$  on n'obtient pas de potentiel d'action et toute variation du  $Na^+$  extracellulaire entraîne une variation dans le même sens de l'amplitude du PA.
- Si on bloque les canaux  $Na^+$  Voltage Dépendants par la tetrodotoxine (TTX) : la cellule est inexcitable malgré un PR normal.



Courant transmembranaires enregistrés en voltage clamp au cours d'un potentiel d'action



Effets du blocage sélectif des canaux sodiques et potassiques voltage dépendants

**Au total** : le potentiel d'action résulte d'une augmentation brutale et transitoire de  $g_{Na^+}$  avec entrée massive de  $Na^+$  et inversion du  $V_m$ .

-A la valeur du potentiel seuil, les canaux  $Na^+VD$  « **fermés activables** » passent à l'état « **ouvert** » d'où dépolarisation et ouverture d'autres canaux  $Na^+ VD$  (processus regeneratif).

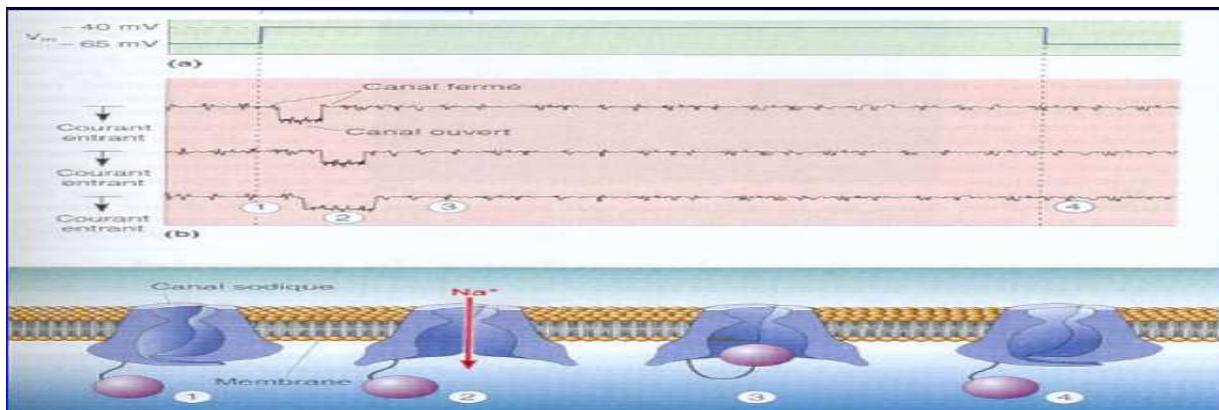
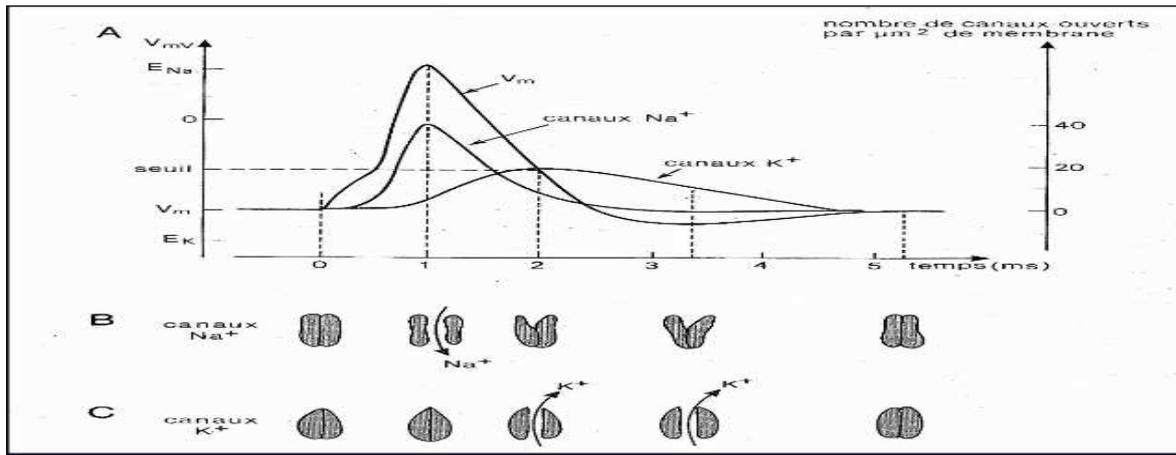
- La période réfractaire est due à l'**inactivation** des canaux  $Na^+ VD$  :

-en PRA ils sont tous inactivables

-en PRR ils se **désinactivent** progressivement

-La repolarisation est due à l'inactivation des canaux  $Na^+ VD$  et surtout à l'activation « retardée » des canaux  $K^+VD$ , d'où sortie de  $K^+$  et repolarisation.

-Le retour à l'équilibre de repos est assuré par la pompe à  $Na^+ K^+ ATP$  ase.



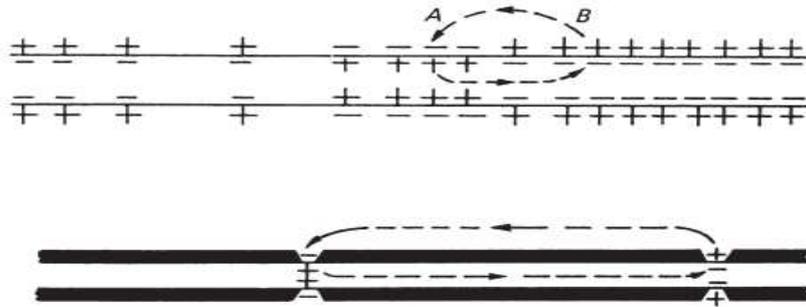
1 :canal  $Na^+ VD$  fermé activable ,2 :canal ouvert, 3 :canal inactivable, 4 :désinactivation du canal

#### 4-Conduction nerveuse :

Le potentiel d'action se propage sans atténuation tout le long de l'axone ; deux situations sont possibles :

##### a-Fibres non myélinisées :

La dépolarisation membranaire induit des « courants locaux » qui dépolarisent les régions voisines d'où ouverture des canaux  $\text{Na}^+$ VD et formation d'un potentiel d'action à distance.



Conduction de proche en proche dans les fibres amyéliniques

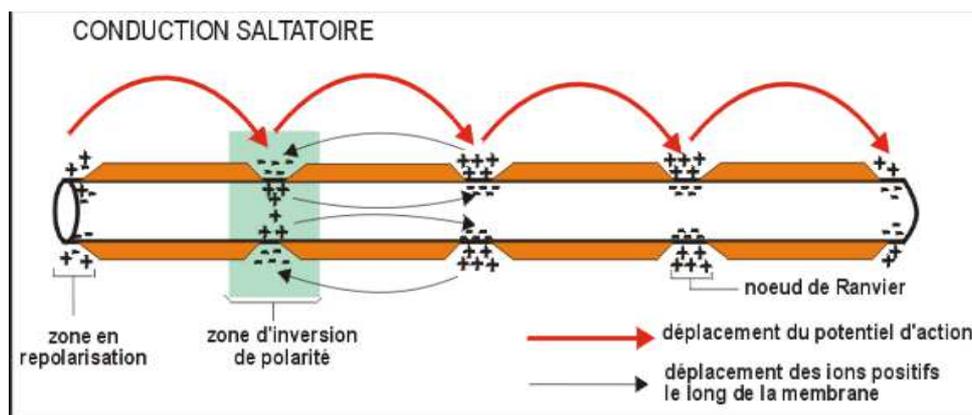
L'influx nerveux ne peut revenir en arrière du fait de l'inactivation des canaux  $\text{Na}^+$ VD. La vitesse de conduction est proportionnelle au diamètre de l'axone (RL faibles).

##### b-Fibres myélinisées :

Le potentiel d'action formé au premier nœud se déplace vers le second du fait de la présence de la gaine de myéline (isolante) et de la rareté des canaux  $\text{Na}^+$ VD dans les régions internodales : c'est la conduction saltatoire.

La présence de la gaine de myéline offre deux avantages :

- un gain de temps : vitesse de conduction élevée.
- un gain d'énergie : activité réduite de la pompe à  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATP ase.



#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- 1.Neurosciences . D. Purves
- 2.Neurophysiologie . D. Richard et D. Orsal
- 3.Principles of neural science . E. Kandel
- 4.Neurophysiologie . JF. Vibert