

Le potentiel de repos

**Dr SELOUANI, M.A en neurophysiologie
clinique, faculté de médecine d'Oran**

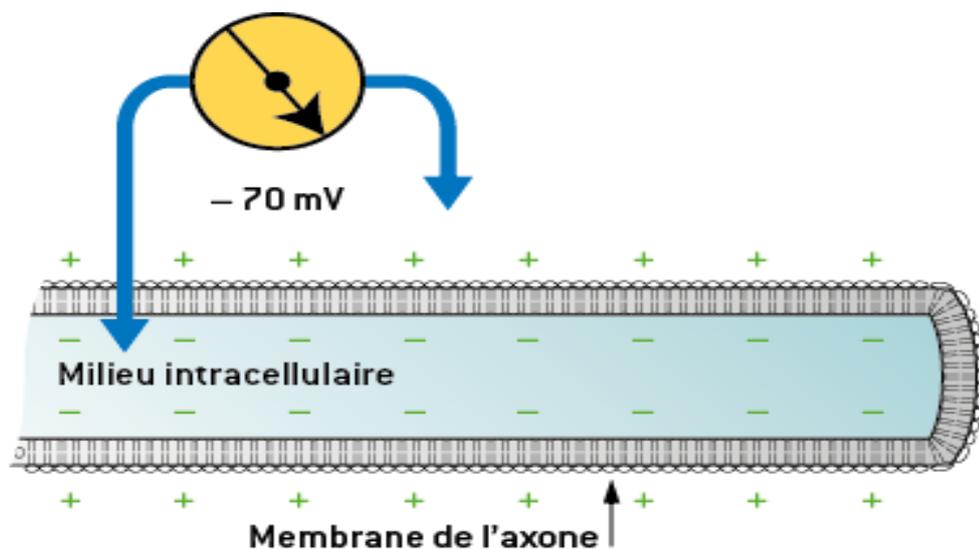
Année universitaire : 2023-2024

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Ibn Khaldoun Tiaret
Annexe de médecine

Le potentiel de repos

Plan :

- I-Introduction et définition.
- II-Mise en évidence.
- III/-Origine du potentiel de repos.
- IV/-Modèle électrique de la membrane neuronale.
- V/-Rôles physiologiques.
- VI/-Conclusion.



I/-Introduction et définition :

Le neurone comme chaque cellule vivante d'un organisme développe et maintient une différence de potentiel électrique entre les deux versants, interne et externe, de sa membrane plasmique.

On parle alors de potentiel de membrane ou de potentiel transmembranaire.

Pour la plupart des cellules, cette différence de potentiel transmembranaire reste sensiblement stable.

Sa valeur est une caractéristique de la cellule aux alentours de - 75 à - 100 mV.

Par définition, **le potentiel de repos (PR)** représente la polarisation électrique en situation physiologique de repos d'une membrane plasmique.

Les mécanismes responsables du potentiel de repos ont été mis en évidence par Hodgkin et Huxley grâce aux axones géants d'un mollusque marin ; le calamar.

II/-Mise en évidence du potentiel de repos :

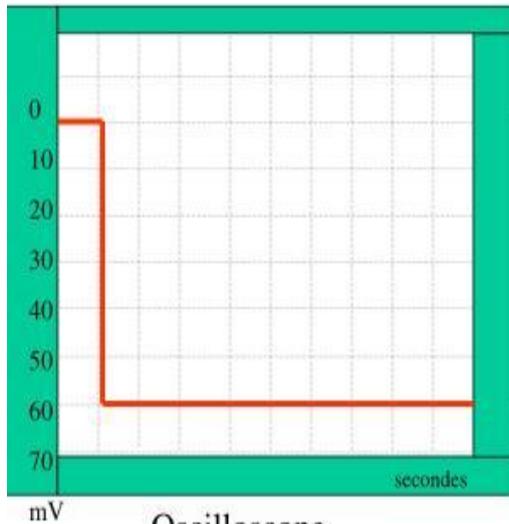
Le potentiel de repos (PR) peut être mesuré à l'aide d'un voltmètre comme on mesure la différence de potentiel aux bornes d'une pile électrique.

Pour cela ; un neurone baigne dans une solution physiologique (de même composition que le milieu extracellulaire). Grâce à un micromanipulateur on place une microélectrode à proximité de la membrane neuronale, une autre électrode de référence plongée dans le milieu extracellulaire. Les deux microélectrodes sont reliées à un voltmètre.

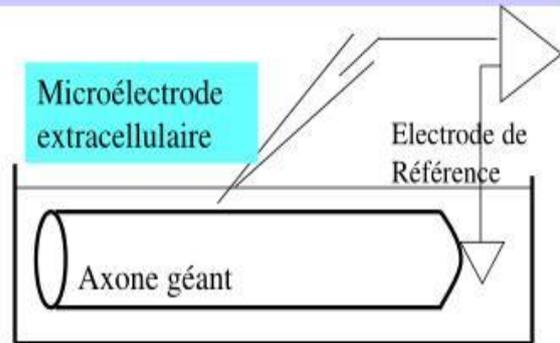
Étape 1 : lorsque la pointe de la microélectrode est dans le milieu extracellulaire ; elle ne mesure aucune différence de potentiel avec l'électrode de référence immergée elle aussi dans le milieu extracellulaire.

Étape 2 : Si on introduit la pointe de la microélectrode dans le corps cellulaire on constate une brusque déflexion de "l'aiguille" du voltmètre qui se stabilise à une valeur correspondant ici à -60 mV. Cette valeur représente le potentiel du repos.

Mise en évidence du potentiel de repos



Le potentiel s'établit à -60mV et reste stable dans le temps tant que la microélectrode est dans l'axone: c'est le potentiel de repos



Le potentiel est à 0 mV, puis on pénètre dans l'axone avec la microélectrode

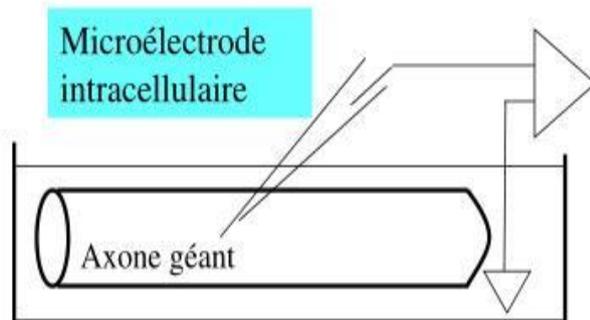


Schéma 1 : La mise en évidence du potentiel de repos.

III/-Origine du potentiel de repos :

La différence de potentiel électrique à travers la membrane s'explique par des flux ioniques transmembranaires eux-mêmes liés à deux mécanismes:

*****La différence de concentration de certains ions de part et d'autre de la membrane.**

*****La perméabilité sélective des membranes cellulaires à certains ions.**

Les ions portés des charges électriques donc le potentiel de repos est lié à la différence de concentration ionique (et par conséquent de charges) de part et d'autre de la membrane.

Le maintien de cette différence de concentration ionique est dû à l'imperméabilité de la membrane pour certains ions, à la présence de macromolécules peu diffusibles chargées négativement dans le milieu intracellulaire (protéines) et enfin en partie à l'existence de systèmes de transport actif des ions contre leurs gradients de concentration (pompe Na^+-K^+ ATPase).

***** Différence de concentration des ions entre les milieux intra et extra cellulaire :**

Supposant une membrane semi-perméable (c'est-à-dire perméable à certains ions et imperméable à d'autres) sépare deux compartiments aqueux de concentrations ioniques différentes.

La différence des gradients de concentrations entre les deux compartiments (vue l'imperméabilité membranaire à certain espèces ioniques) entraînent des phénomènes de transports passifs par *diffusion*. Mais les ions étant des particules chargées ; leur déplacement sera également influencé par la présence d'un champ électrique transmembranaire.

Donc les mouvements de chaque espèce ionique atteignent l'état d'équilibre lorsque son gradient de concentration sera contrebalancé par l'équilibre de charges électriques de part et d'autre de la membrane. Le potentiel qui existe dans ces conditions est appelé **potentiel d'équilibre de l'ion (E_{ion})**. Ce potentiel peut être calculé par **l'équation de Nernst**.

L'équation de Nernst :

$$E_{\text{ion}} = \frac{RT}{zF} \log \frac{C_i}{C_e} \quad \text{Ou} \quad E_{\text{ion}} = - \frac{RT}{zF} \log \frac{C_e}{C_i}$$

E : le potentiel d'équilibre en Volt.

R : constante des gaz parfaits - $R = 8,3145 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

T : la température en Kelvin (K).

F : la constante de Faraday = $96\,485 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Z : le nombre d'électron échangés.

Ce : concentration de l'ion au milieu extérieur.

Ci : concentration de l'ion au milieu intérieur.

Ainsi en connaissant les concentrations intra et extra cellulaires des différents espèces ioniques on peut calculer le potentiel d'équilibre de chaque ion.

Ions	Potentiel d'équilibre
Potassium K ⁺	-87 mV
Sodium Na ⁺	+ 60 mV
Chlore Cl ⁻	-61 mV
Calcium Ca ⁺²	+120 mV

Lorsque les canaux ioniques sont ouverts, le potentiel transmembranaire tend vers le potentiel d'équilibre de l'ion correspondant.

Ainsi, les canaux potassiques ramènent le potentiel transmembranaire vers des valeurs négatives polarisantes et les canaux calciques et sodiques vers des valeurs positives dépolarisantes.

Par conséquent en régulant l'ouverture et la fermeture des canaux présents sur sa membrane, c'est-à-dire par des modifications biochimiques des protéines canal, une cellule peut faire varier son potentiel de membrane sur une gamme d'environ 150 mV.

Si la membrane du neurone n'était perméable qu'au potassium, son potentiel de repos serait donc de -87 mV et si elle n'était perméable qu'au sodium, il serait de +60 mV.

Or, les valeurs mesurées du potentiel de membrane au repos sont de l'ordre de -70/-60 mV.

Cette valeur résulte donc d'une combinaison des potentiels (de signe opposé) engendrés principalement par ces deux ions, potassium et sodium.

***** La différence de perméabilité membranaire aux ions : la sélectivité membranaire :**

La membrane plasmique, constituée :

- D'une bicouche de phospholipides imperméable aux ions.
- Dans bicouche de phospholipides sont insérées des protéines qui sont spécifiquement perméable à certains ions. Ces protéines constituent canaux spécifiques des principales espèces ioniques Cl^- , Na^+ et K^+ . Plus la membrane est riche en canaux ioniques d'une espèce ionique, plus elle sera perméable à cet ion.

Si on introduit pour chaque ion la constante de perméabilité l'équation de Nernst prend la forme suivante :

Equation de Goldman hodgkin et Keynes

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{p_K K_e^+ + p_{Na} Na_e^+ + p_{Cl} Cl_i^-}{p_K K_i^+ + p_{Na} Na_i^+ + p_{Cl} Cl_e^-}$$

K^+ (p=1), Cl^- (p=0.1), Na^+ (p=0.03)

$\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+$, La membrane est par contre totalement imperméable au Ca^{2+} , aucune protéine membranaire ne laissant passer librement cet ion.

***** L'équilibre de Gibbs Donnan :**

La membrane est perméable aux ions Cl^- en plus, il existe des anions non diffusibles (les protéines) dans le milieu intracellulaire.

Le principe de l'électroneutralité doit être respecté ce qui influence sur la distribution des ions diffusibles de part et d'autre de la membrane (Cl^- et le K^+).

Si on considère dans un premier temps ; deux espaces contenant respectivement K^+ et Cl^- à l'extérieur et K^+ et les protéines à l'intérieur donc le seul jeu de perméabilité via des canaux appropriés amène un nouvel équilibre initié par le gradient chimique de concentration du Cl^- . Cela se traduit par un flux entrant, mais modeste de Cl^- , modeste en rapport avec la

concentration de protéines et la charge électrique négative qu'ils produisent à la face interne membranaire. Le mouvement du Cl^- s'arrête lorsque l'équilibre s'instaure entre gradient chimique et électrique (E_{Cl^-}). Cette nouvelle répartition anionique (Cl^- et protéines $-$) nécessite un rattrapage de charges positives à l'intérieur de la cellule (électroneutralité), cela est apporté par un flux compensateur entrant de K^+ .

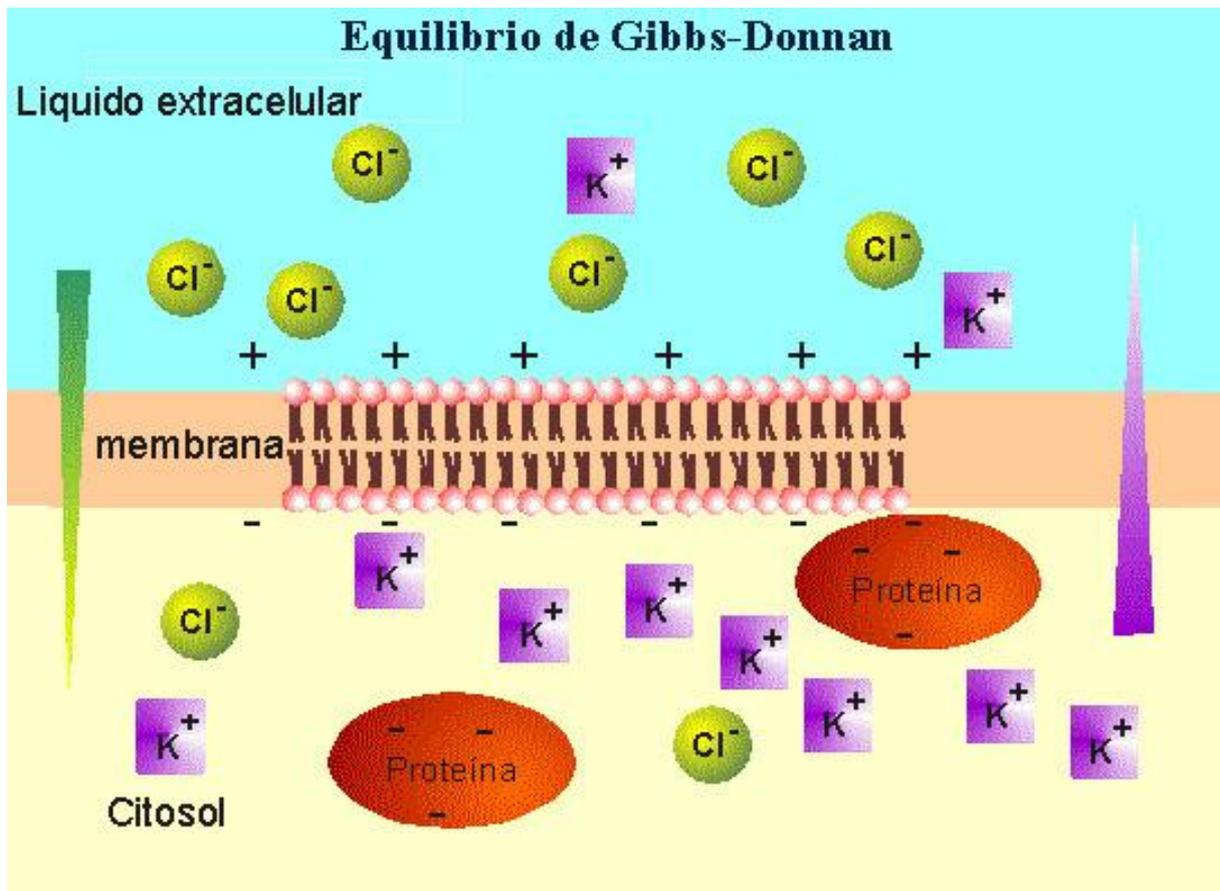


Schéma2 : Principe de l'électroneutralité.

***** La-Pompe Na^+/K^+ ATPase :**

Compte tenu des gradients électriques et chimiques et donc de la force de diffusion du Na, l'entrée de cet ion peut s'expliquer par des mouvements passifs, tandis que la sortie ne peut être liée qu'à des phénomènes actifs.

La pompe $\text{Na}^{2+}/\text{K}^+$ ATPase dépendante contribue à une « autre » asymétrie de répartition, qui porte sur les cations.

Au repos, la membrane exprime une très faible perméabilité au Na (sélectivité membranaire).

La pompe accroît, encore, cette disparité de concentration sodique par une extrusion active du

Na. En contrepartie, elle augmente la concentration intracellulaire de K. La faible perméabilité de la membrane au Na ajoutée à l'action de la pompe crée un état où le sodium semble « piégé » à l'extérieur. La règle de l'électro neutralité, ici, se traduit par une forte concentration potassique interne.

L'ATPase impliquée dans le transport du Na⁺ est une ATPase particulière, localisée au niveau de la membrane cellulaire.

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

Lors de chaque cycle, deux ions chargés positivement (K⁺) entrent dans la cellule, tandis que trois ions positifs (Na⁺) en sortent. La conséquence électrique est un mouvement de charges positives vers le compartiment extracellulaire.

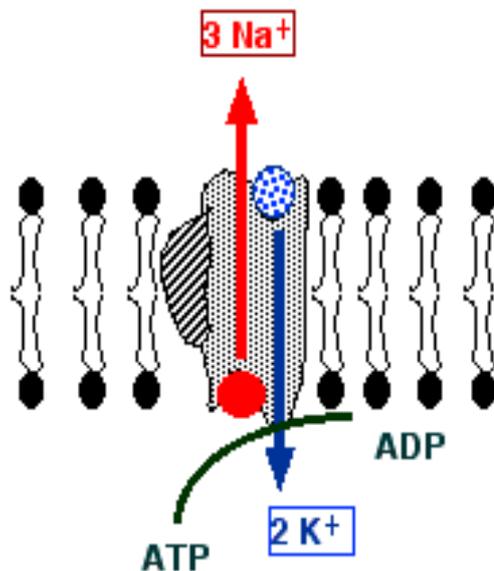


SCHÉMA DE LA POMPE Na⁺ - K⁺ / ATPase

La pompe Na⁺ - K⁺ / ATPase se compose de 2 protéines globulaires. La protéine de PM = 100 000 Daltons a 3 sites de fixation pour le Na⁺ et 1 site de fixation pour l'ATPase sur sa face interne - 2 sites de fixation pour le K⁺ sur sa face externe. La fixation de 3 Na⁺ et de 2 K⁺ permet l'activation de l'ATPase et le changement de conformation de la protéine, qui permet l'entrée de 2 K⁺ et la sortie de 3 Na⁺.

Schéma 3 : La pompe Na⁺/K⁺ ATPase.

IV/- Modèle électrique de la membrane neuronale:

Les **protéines membranaires** sont des molécules chargées électriquement et sont donc susceptibles de conduire un courant électrique. Cette propriété peut alors être schématisée par **une conductance**, ou par l'opposition **une résistance membranaire transversale R_m** .

La **bicouche de phospholipides** membranaires constitue des éléments électriquement non conducteurs. Ceci confère à la membrane des propriétés de condensateur représentées sous forme **d'une capacité C_m** , cette capacité joue un rôle de réservoir de charges, absorbant les variations instantanées sur les deux faces de la membrane.

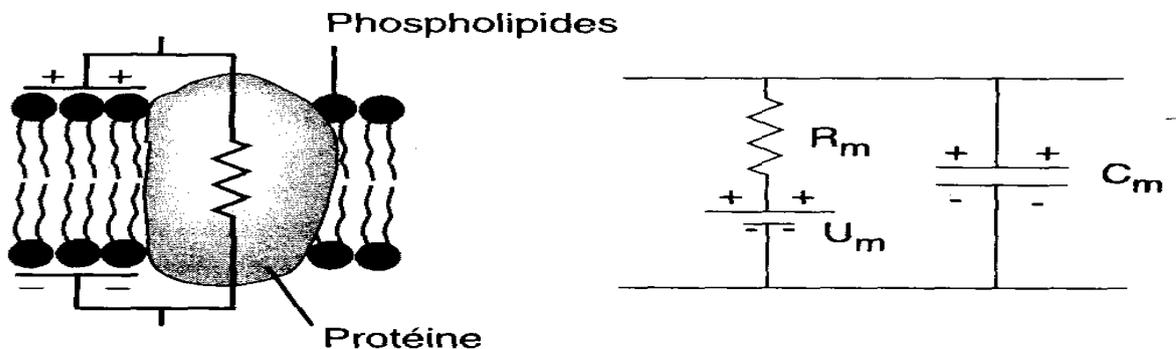


Schéma 4 : Représentation d'un segment élémentaire de membrane neuronale en circuit électrique élémentaire équivalent.

Donc un segment élémentaire de membrane peut être représenté par un circuit électrique élémentaire équivalent dans son ensemble, peut être comparée à la juxtaposition de circuits élémentaires. Chaque unité est reliée à la suivante par des éléments de **résistance longitudinale R_L** correspondant aux propriétés électriques du milieu intracellulaire.

Pour l'ensemble de la membrane neuronale, ces résistances peuvent être schématisées sous la forme de résistances longitudinales (R_L), ce qui conduit à un schéma cette fois quasi-complet du circuit électrique équivalent de la membrane d'un neurone.

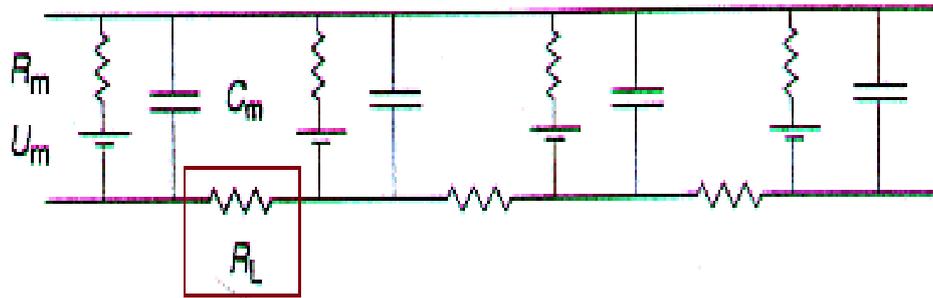


Schéma 5 : Circuit électrique équivalent de la membrane d'un neurone.

V/-Les rôles physiologiques du potentiel de repos :

Le potentiel de repos constitue une énergie potentielle qui est utilisée pour transporter plusieurs petites molécules contre leur gradient de concentration. Les nutriments (composés nécessaires au métabolisme cellulaire) sont importés, tandis que les déchets du métabolisme sont exportés.

Le potentiel électrochimique de membrane constitue aussi la force motrice nécessaire au courant potassique de fuite qui définit le potentiel de repos d'une cellule excitable, ainsi qu'aux courants sodiques, calciques et potassiques activés pendant un potentiel d'action ou un potentiel postsynaptique.

VI/-Conclusion :

La membrane neuronale au repos peut donc être considérée comme une pile électrique, génératrice de courant, dont le pôle négatif serait situé à l'intérieur de la cellule et le pôle positif à l'extérieur.