

# Résumé – Potentiels électriques transmembranaires

Rédigé à partir du cours du Pr ROSSETTI

## I. Introduction

### Potentiel de repos :

- Différence de potentiel stable entre les deux faces de la membrane d'une cellule au repos (-50 ; -90 mV) ;
- Varie selon la cellule mais est généralement aux alentours de -70 mV.

### Potentiel d'action :

- Modification importante, brutale et brève du potentiel transmembranaire répondant à un stimulus ;
- Se produit selon la loi du tout ou rien.

## II. Potentiel de repos

- À l'intérieur de la cellule, sous la membrane, où l'on a un excès de charges négatives ;
- À l'extérieur de la cellule, sur la membrane, où l'on a un excès de charges positives ;
- L'ajout d'un courant négatif dans la cellule induit une hyperpolarisation ;
- L'ajout d'un courant positif induit une dépolarisation ;
- Si un courant est très fort, on aura formation de potentiels d'action successifs (amplitude inchangée) ;
- Si le seuil n'est pas atteint, on parle de potentiel local qui va s'atténuer avec le temps.

Un potentiel post-synaptique peut être excitateur (**dépolarisation**) ou inhibiteur (**hyperpolarisation**).

Si PA présynaptique forme des PPSE suffisamment importants, on aura un PA dans le 2<sup>nd</sup> neurone.

La présence de la valeur seuil permet un filtrage des stimulations trop faibles (bruits de fond).

On observe alors une **sommation** des PPS au niveau du soma.

Les potentiels électriques résultent de mouvements d'ions découlant :

- De différences de concentration d'ions spécifiques de part et d'autre de la membrane ;
- De la perméabilité sélective de la membrane à certains de ces ions, réalisée par des canaux ioniques.

Canaux ioniques :

- Permettent la diffusion passive rapide mais sélective d'ions ;
- Possèdent différents modes d'activation (voltage-dépendants, ligands...).

Pompes à ions :

- Permettent le transport actif d'ions utilisant de l'énergie (ATP) ;
- La pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  consomme 100 ATP par seconde (25% de la consommation énergétique cellulaire et 70% dans les cellules sécrétrices et neurones) ;
- Permet l'entrée de 2  $\text{K}^+$  et la sortie de 3  $\text{Na}^+$  de la cellule.

De part et d'autre d'une membrane, à l'équilibre, on aura un flux net (mouvements constants) nul (équilibre).

Dans le cas biologique, les membranes présentent une **perméabilité sélective** (au repos notamment au  $K^+$ ) engendrant un **équilibre électrochimique** (compromis entre l'équilibre électrique et chimique).

Concentrations ioniques :

À connaître ♥♥♥	Extérieur de la cellule (LEC) (Excès positif)	Intérieur de la cellule (LIC) (Excès négatif)
Ions positifs	$Na^+$ (142 mM) $K^+$ (4 mM) $Ca^{2+}$ (1-2 mM)	$K^+$ (140 mM) $Na^+$ (10 mM)
Ions négatifs	$Cl^-$ (108 mM)	Protéines, $PO_4^{2-}$ (concentrations importantes)

**Équation de Nernst** (notion fondamentale) :

$$ddp [mV] = V_i - V_e = \frac{60}{z} \times \log \left( \frac{[X]_e}{[X]_i} \right)$$

### III. Potentiel d'action

Le seuil de déclenchement du potentiel d'action est aux alentours de  $-50$  mV.

Quand il est atteint, la dépolarisation se poursuit jusqu'à  $\approx +40$  mV, puis s'annule (repolarisation).

Activation des canaux  $Na^+$  :

	Ddp	Porte d'activation	Porte d'inactivation	Canal
<b>Au repos</b>	$-70$ mV	Fermée	Ouverte	Fermé
<b>Atteinte du seuil</b>	$-50$ mV ( $\rightarrow +40$ mV)	Ouverte	Ouverte	Ouvert
<b>Début de repolarisation</b>	$+30$ mV ( $\rightarrow -70$ mV)	Ouverte	Fermée	Fermé

Au potentiel de repos, il y a une perméabilité dominante au  $K^+$  avec un équilibre du flux potassique.

À l'atteinte du potentiel seuil, on a une ouverture massive des canaux  $Na^+$ , ainsi qu'une ouverture un peu plus importante des canaux à  $K^+$  :

- La phase de repolarisation est due à l'ouverture totale de canaux potassiques ;
- Les canaux  $Na^+$  ayant fait augmenter la perméabilité des canaux potassiques, les ions  $K^+$  sortent beaucoup plus rapidement de la cellule, entraînant la repolarisation.

Faisant par là-même fermer les canaux  $Na^+$  ce qui accélère le processus de repolarisation.

On aura même une hyperpolarisation avant le retour au potentiel de repos, due notamment à la fermeture tardive de la plupart des canaux potassiques.

La cellule se situe alors dans un état inverse de celui initial ( $Na^+$  à l'intérieur et  $K^+$  à l'extérieur).

Le retour à la normale est ensuite permis par l'activité des pompes  $Na^+/K^+$  ATPases.

En réalité, l'ouverture des canaux potassiques et sodiques voltage-dépendants est simultanée : elle se fait au potentiel seuil.

L'activation des canaux  $\text{Na}^+$  est ultra-rapide et brutale, tandis que l'activation des canaux  $\text{K}^+$  est lente et progressive.

- Plus de chances d'atteindre le potentiel seuil ;
- Dans un neurone plus grand, ce PPSE aurait eu moins d'impact et n'aurait pas pu générer un PA ;
- C'est la notion d'**impédance d'entrée**.

#### IV. Relations entre les potentiels post-synaptiques et l'activité neuronale

##### Sommation temporelle :

- Un seul neurone peut recevoir jusqu'à 15 000 synapses ;
- Dans la partie présynaptique on a un PA constant, alors que dans la partie post-synaptique on a des potentiels locaux qui s'atténuent (PPSE / PPSI) ;
- La **période** est la capacité de retour à la normale après la dépolarisation ;
- Si fréquence des PPSE > période : addition des PPSE au niveau du soma (possible PA).

##### Sommation spatiale :

- Le cône axonal est la région où le potentiel seuil est le plus bas ;
- C'est donc où vont être générés les potentiels d'action ;
- L'intensité d'un potentiel local diminue au fur et à mesure de sa progression ;
- Pour les potentiels post-synaptiques, on parle d'atténuation ;
- L'influence d'un PPS dépend de la distance entre la synapse et le soma ;
- Une synapse proche du corps cellulaire aura un impact plus important (**poids synaptique**) ;
- Pour une même intensité, la réponse ne sera pas la même selon la taille du neurone ;
- Si ce dernier est plutôt petit, la résistance est plus élevée ce qui permet au PPSE d'être plus ample ;

#### V. Déplacement d'un potentiel d'action

Potentiel	Local = PPS = post-synaptique	Action = PA = pré-synaptique
Réponse	Proportionnelle	Tout ou rien
Polarité	+ (PPSE) ou - (PPSI)	+
Période réfractaire	Non	Oui
Amplitude	Décrémentielle (qui décroît passivement)	Constante
Sommation	Possible	Impossible
Codage de l'intensité	Amplitude	Fréquence
Conduction	Bidirectionnelle	Unidirectionnelle
Canaux	Récepteur-dépendants (synapse)	Voltage-dépendants

L'**influx nerveux** est le déplacement d'un PA le long d'un axone (entrée massive de  $\text{Na}^+$ ).

La **période réfractaire** des canaux  $\text{Na}^+$  contraint cet influx à l'**unidirectionnalité**.

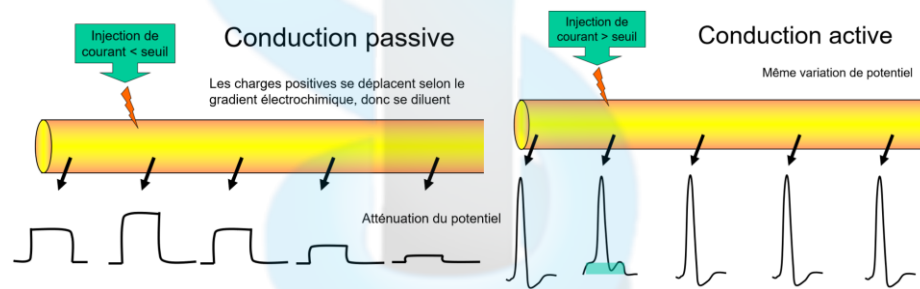
La vitesse de l'influx nerveux varie de 3 km/h (1 m/s) à 300 km/h (100 m/s).

Ces vitesses dépendent :

- Du diamètre du nerf : si le diamètre de la fibre augmente, la vitesse augmente d'un facteur 3 ;
- De la présence de **myéline**, qui augmente la vitesse d'un facteur 100.

La conduction passive correspond au déplacement d'un potentiel local (courant inférieur au seuil).

La conduction active correspond, elle, à l'influx nerveux (courant supérieur au seuil, non atténué).



*Différences entre conductions passive et active de l'influx nerveux.*

On distingue deux grands types d'influx nerveux :

- Le cas de la conduction avec axone non myélinisé, avec une vitesse de 1 m/s ;
- Le cas de la conduction avec axone myélinisé, avec une vitesse de 100 m/s (saltatoire jusqu'aux **nœuds de Ranvier**).