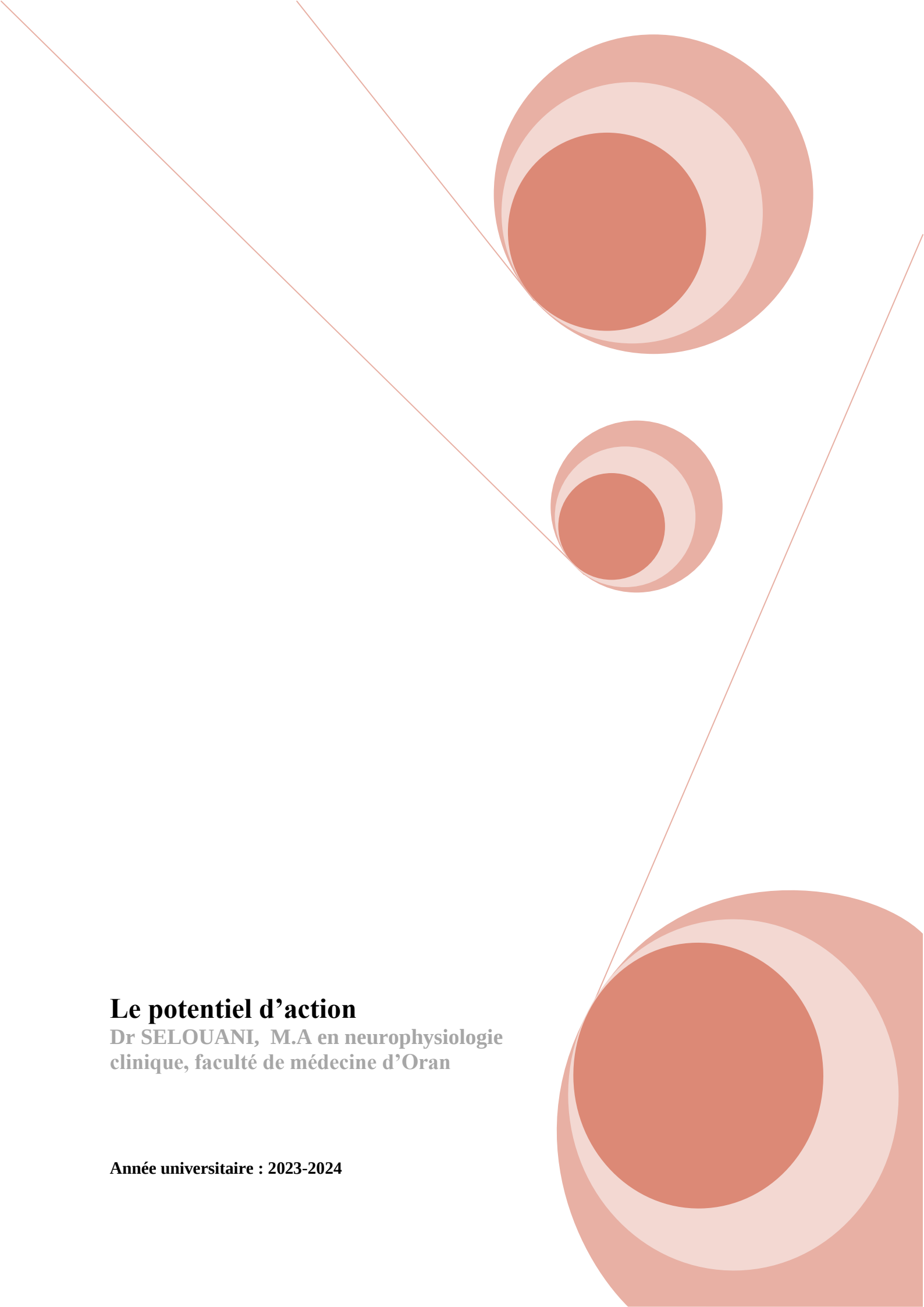




Le potentiel d'action

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

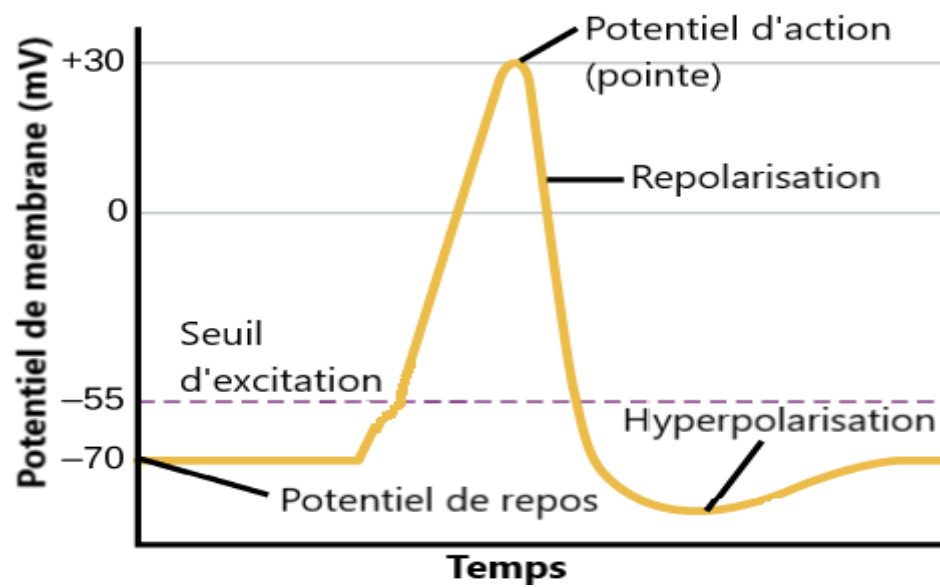
Année universitaire : 2023-2024

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

Le potentiel d'action

Plan :

- I-Introduction.
- II-Définition.
- III-Mise en évidence.
- IV/-Décours temporel du PA.
- V/-Propriétés du PA.
- VI/-Phénomènes ioniques du PA.
- VII/-Propagation du PA.
- VIII/-Conclusion.



I/-Introduction :

Comme toutes les cellules de l'organisme, le neurone possède une composition chimique intracellulaire différente de celle du milieu extracellulaire. En particulier, les charges électriques portées par les électrolytes en solution ne sont pas réparties de la même manière de part et d'autre de la membrane ce qui provoque une différence de potentiel (ddp) transmembranaire que l'on appelle potentiel de membrane (PM).

La particularité du neurone est que ce potentiel de membrane peut varier au cours du temps et passer d'un état de repos caractérisé par un potentiel de repos (PR) à un état d'activité caractérisé par un potentiel d'action (PA) en un temps extrêmement bref, avant de retrouver son potentiel d'équilibre.

Les neurones ont deux propriétés physiologiques : l'**excitabilité**, c'est-à-dire la capacité de répondre aux stimulations et de convertir celles-ci en impulsions nerveuses, et la **conductivité**, c'est-à-dire la capacité de transmettre les impulsions.

II/-Définition:

Le PA est une variation brève (01ms) du potentiel membranaire suite à une stimulation qui répond aux critères d'efficacité, capable de se propager.

Le potentiel d'action est la caractéristique essentielle des cellules excitables en activité.

C'est sa propagation qui permet la transmission des messages nerveux véhiculant une information spécifique plus communément appelé **influx nerveux**.

III/-La mise en évidence du potentiel d'action :

Sur une préparation contenant :

- Un axone *géant de Calmar* dans une solution physiologique.
- Deux *microélectrodes de mesure* : l'une insérée à travers la membrane et l'autre de référence situé dans le milieu extracellulaire.
- Deux *électrodes de stimulation* (cathode et anode) : qui délivre des impulsions électriques rectangulaire (intensité et durée réglable).
- Un *oscilloscope cathodique* pour visualiser les résultats.

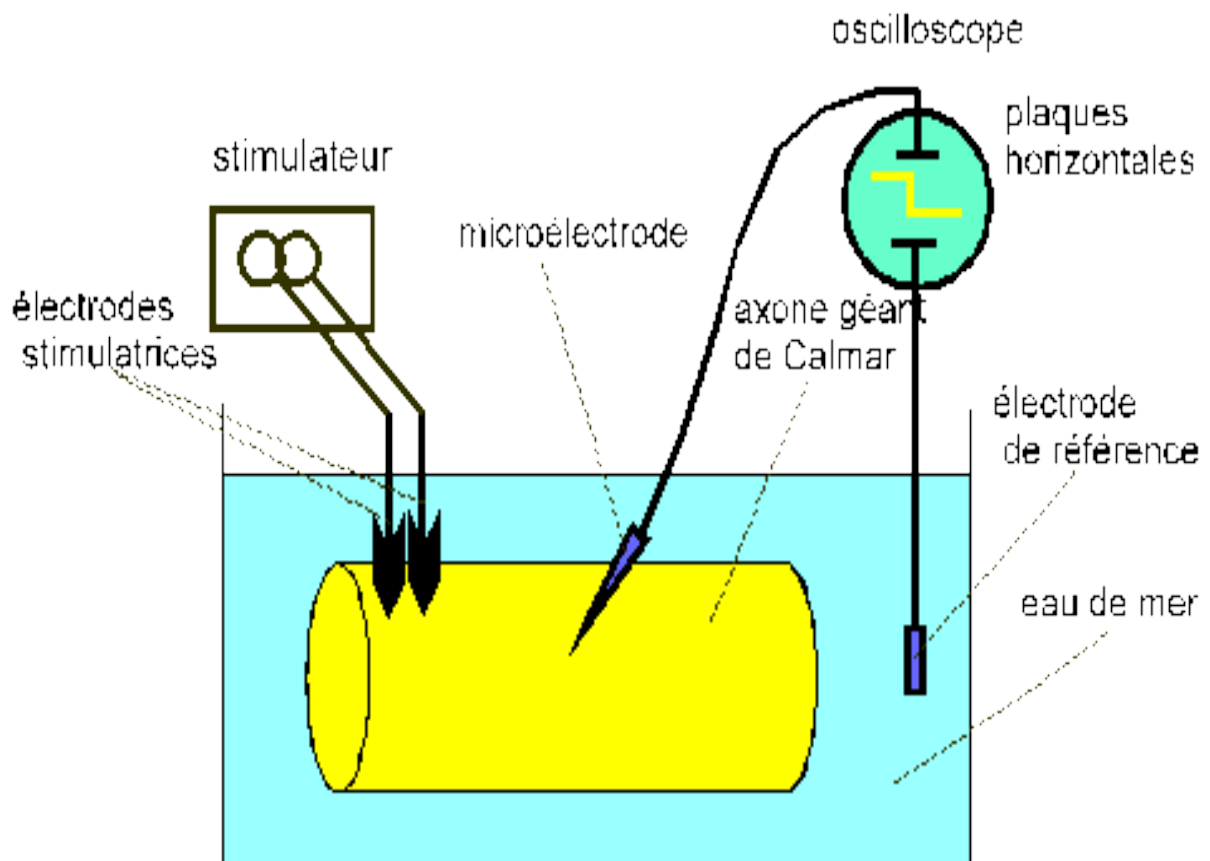


Schéma 1 : Outil expérimental de la mise en évidence du potentiel d'action.

Après stimulation électrique suffisamment forte pour déclencher un PA on observe :

*****Un artefact de stimulation** : Dû à la conduction électrique du courant de stimulation jusqu'aux électrodes enregistrement.

*****Suivi après un temps de latence** :

Le temps qui sépare l'artefact de stimulation du début du potentiel d'action .il est directement proportionnel à la distance qui sépare les électrodes de stimulation et d'enregistrement.

*****D'une variation rapide du potentiel membranaire** : correspondant à une dépolarisation d'amplitude 120 mV (c'est-à-dire atteint approximativement +50mv) puis retrouve rapidement sa valeur de repos -70mv. Ce phénomène physiologique (n'est pas électrique, puisqu'il apparaît après un temps de latence de plusieurs millisecondes) est appelé « **potentiel d'action** ».

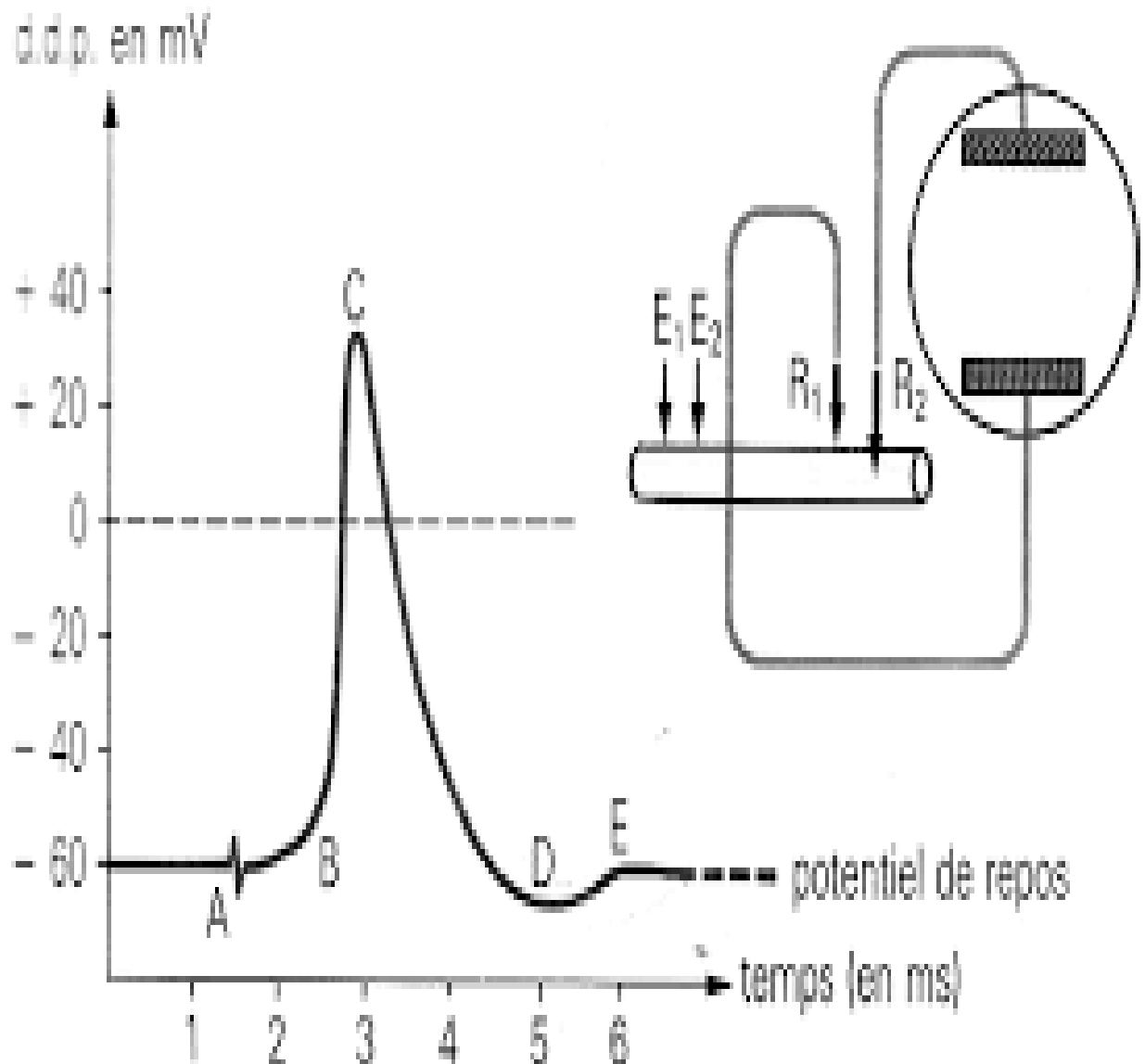


Schéma 2: La mise en évidence du potentiel d'action.

Le tracé de l'oscilloscope montre une variation du potentiel de repos qui passe de -70 mV à $+30$ mV : C'est le potentiel d'action. Le PA correspond à une inversion de polarité de la membrane, le compartiment intracellulaire devient positif par rapport à l'extérieur pendant un très court instant et sur une petite portion de membrane.

IV/-Le Décours temporel d'un potentiel d'action:

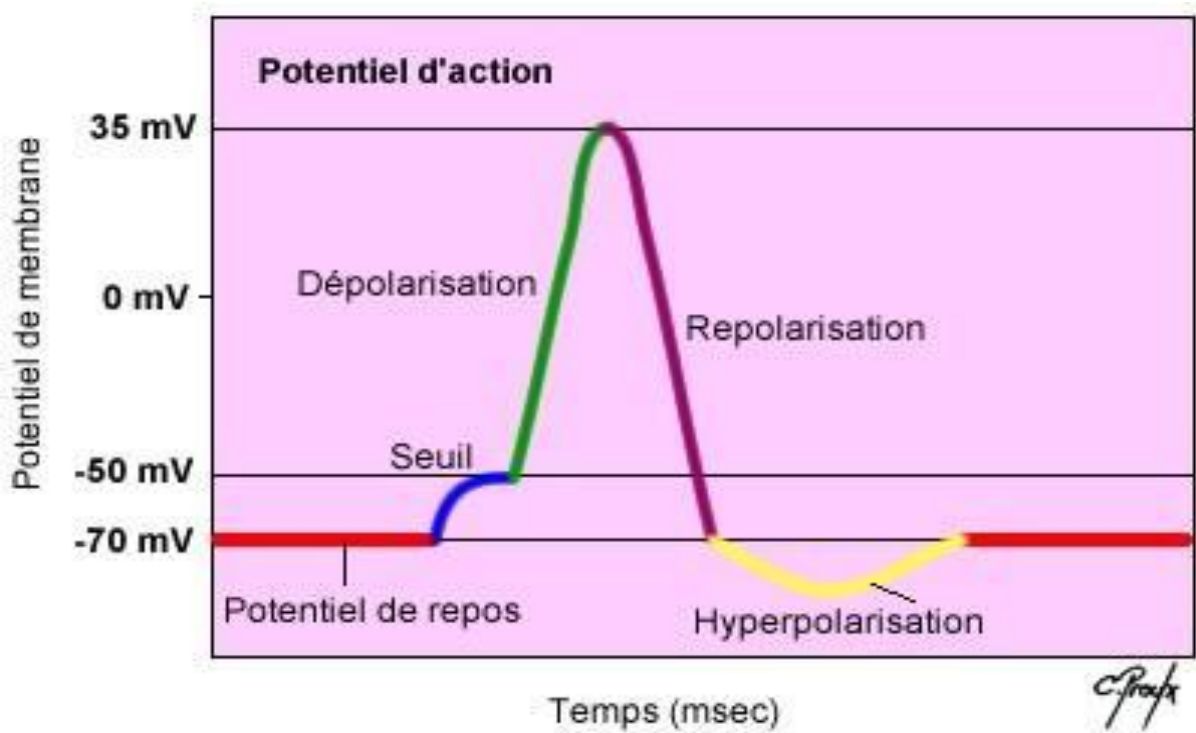


Schéma 3: Les phases d'un potentiel d'action.

Le PA présente un déroulement temporel en quatre phases après le potentiel de repos de -70 mV environ :

Le prépotentiel : dépolarisation locale qui va déclencher le PA.

La dépolarisation rapide : amplitude d'environ 100 mV ; elle est rapide inférieure à 1 ms et atteint une amplitude plus de + 30 mV au sommet.

La repolarisation rapide : le potentiel de la membrane revient rapidement sa valeur normale et même à une valeur plus basse -90 mV ; le neurone est insensible pour un deuxième stimulus.

Hyperpolarisation : la cellule est moins facilement excitable car le potentiel est bas.

V/- Les propriétés d'un potentiel d'action:

Le PA est un phénomène électrique qui présente 4 propriétés:

*** Le seuil de déclenchement

*** La loi du tout ou rien

*** La période réfractaire

*** La conduction ou propagation sans atténuation.

A/-Le seuil de déclenchement :

L'application d'un choc électrique de faible intensité déclenche une dépolarisation locale (ou potentiel électrotonique), qui s'établit et disparaît lentement, localisé au voisinage de la cathode.

Lorsque on augmente progressivement l'intensité de la stimulation la dépolarisation locale augmente également jusqu'à atteindre un certain *seuil*, qui déclenche un potentiel d'action (on parle alors d'intensité de stimulation liminaire).

Pour être efficace, l'intensité du courant électrique doit varier rapidement.

La rhéobase : Intensité au-dessous de laquelle aucune stimulation n'est efficace, quelque soit la durée du passage du courant.

Chronaxie : Temps d'application d'une intensité double de la rhéobase.

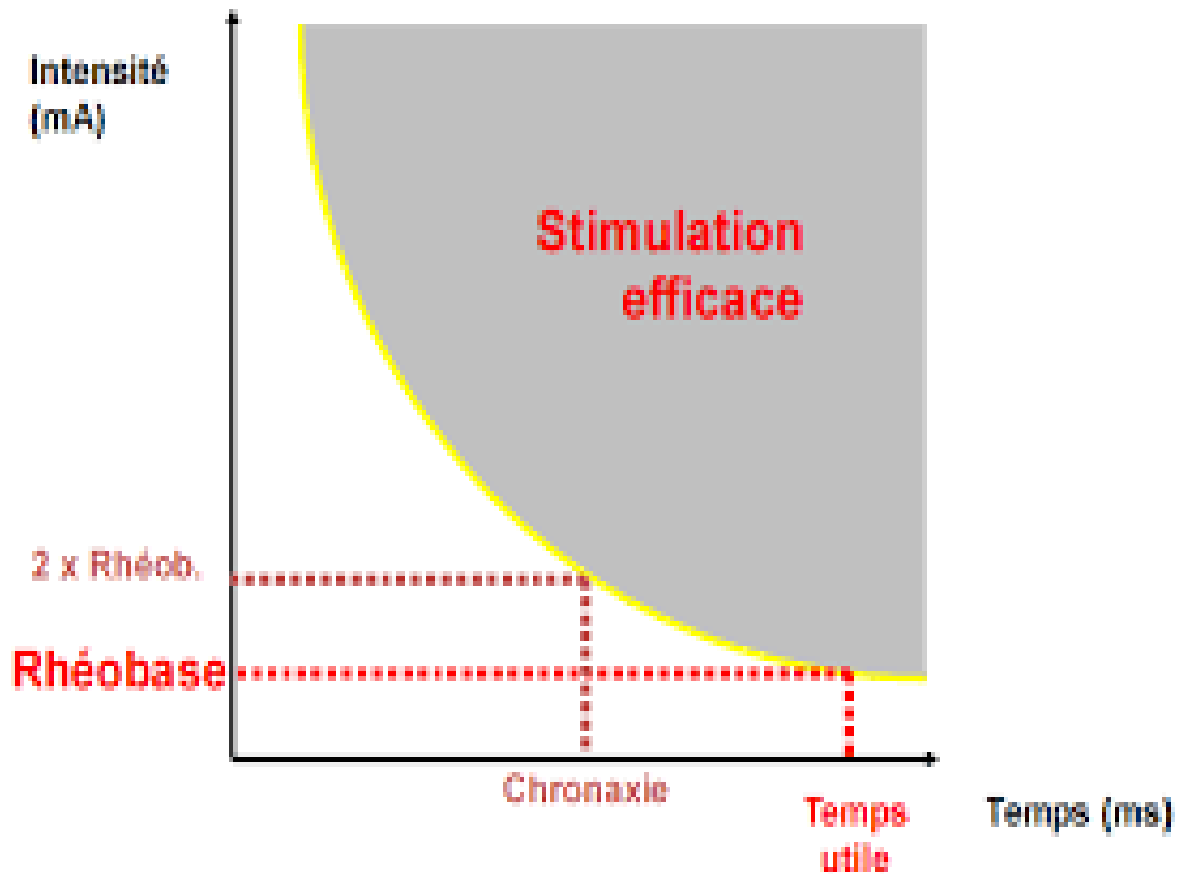


Schéma 4: le seuil de potentiel d'action.

B/-La loi de tout ou rien :

Si on continue d'augmenter l'intensité de la stimulation au dessus de la valeur seuil et on mesure à chaque fois l'amplitude du potentiel d'action, on remarque que le potentiel d'action a toujours la même amplitude.

Donc le PA ne se déclenche pas pour des intensités inférieures au seuil mais au dessus de la valeur seuil il ne change pas d'amplitude.

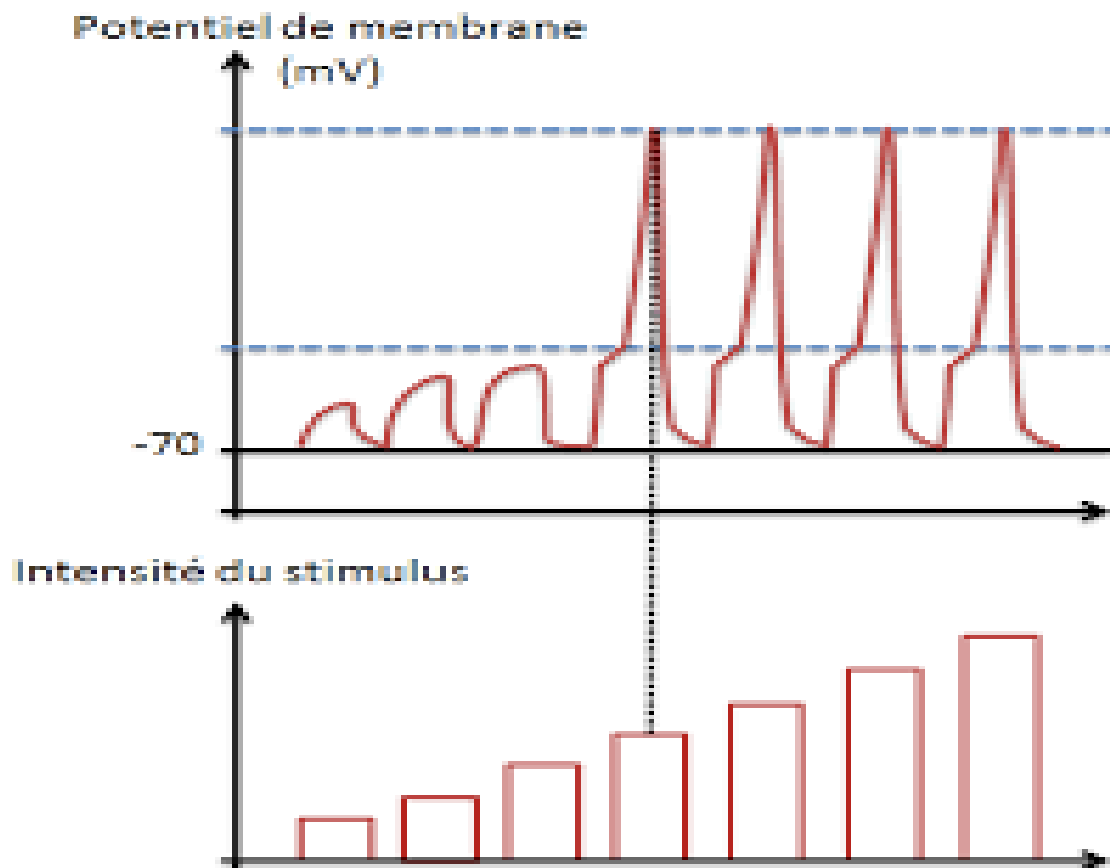


Schéma 5: La loi de tout ou rien.

C/-La période réfractaire :

La réponse de l'axone à l'application de deux stimuli supraliminaire successive dépend de l'intervalle du temps qui les sépare et de l'état de l'excitabilité de la membrane au moment de l'application du 2^{ème} stimulus.

C/-1-La période réfractaire absolue :

Si les deux stimuli sont très rapprochés, le deuxième choc ne provoque plus de réponse de l'axone.

Ainsi quand la membrane est complètement dépolarisée ; elle devient inexcitable.

C/-1-La période réfractaire relative :

Si l'intervalle qui sépare les deux chocs est long, de quelques dizaines de secondes par exemple, chacun des deux stimuli déclenche un potentiel d'action.

Lorsque la polarisation de la membrane est en cours de restauration le 2^{ème} stimulus déclenche un potentiel d'action.

D/-La propagation du potentiel d'action :

Si des microélectrodes d'enregistrement sont insérées le long d'un axone, après stimulation supraliminaire, on remarque que toutes les microélectrodes enregistrent à chaque point le même PA, mais avec un temps de latence de plus en plus grand en fonction de la distance qui sépare les électrodes de stimulation et d'enregistrement.

On a deux types de propagation du PA : saltatoire et de proche en proche.

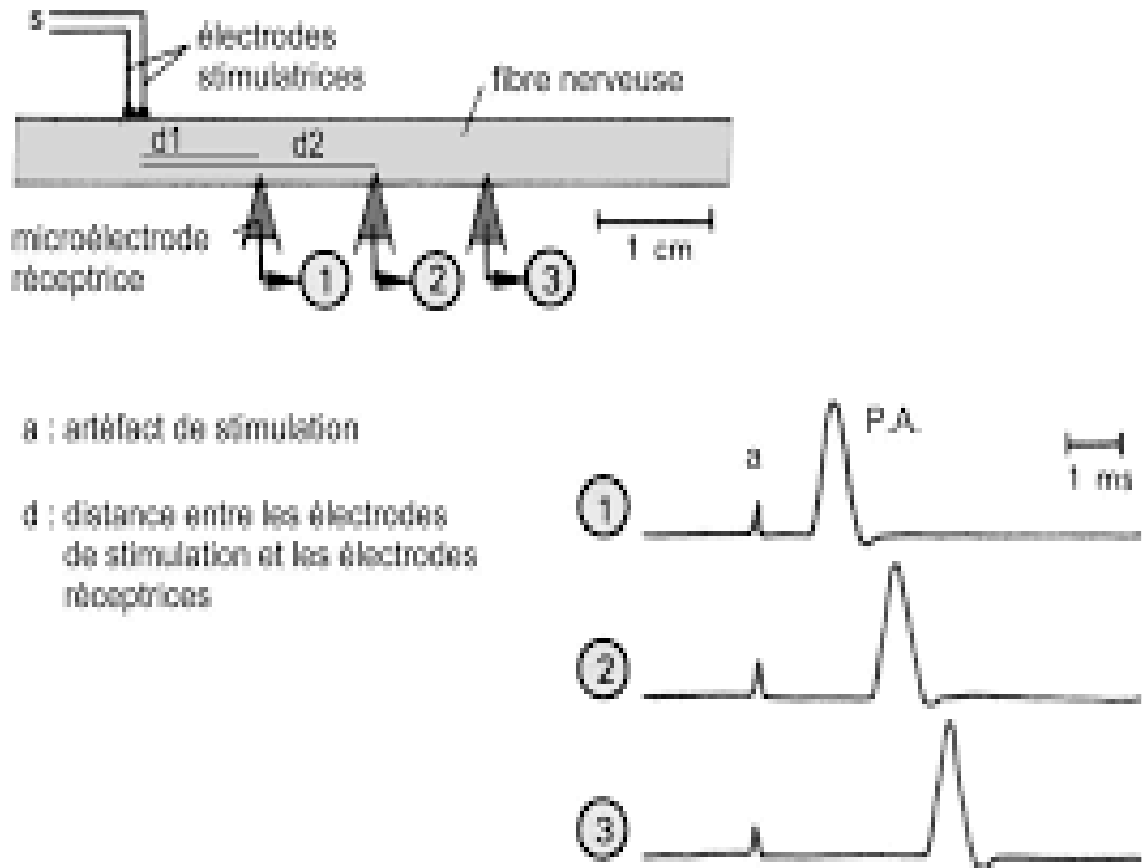


Schéma 6: La propagation du potentiel d'action.

VI/-Les mécanismes ioniques du potentiel d'action :

Partant du niveau du potentiel de repos, la membrane est dépolarisée jusqu'au niveau du seuil. Il se produit, alors, une ouverture brutale de canaux ioniques voltage dépendants.

- 1- L'ouverture des canaux Na^+ permet à cet ion de rentrer dans la fibre, elle est, alors, à l'origine de la phase de dépolarisation.
- 2- L'ouverture des canaux K^+ permet à cet ion de sortir, elle est, alors, à l'origine de la phase de repolarisation.

3- L'ouverture prolongée des canaux K^+ permet de rendre compte de la phase d'hyperpolarisation consécutive.

La perméabilité au Na^+ et au K^+ varient toutes les 2 au décours du PA:

La dépolarisation est due au changement rapide et important de la perméabilité Na^+ tandis que les changements de perméabilité au K^+ sont lents et prennent du temps pour s'augmenter.

La repolarisation est due à une diminution de la perméabilité aussi rapide du Na^+ et à l'augmentation de la perméabilité au K^+ .

L'hyperpolarisation est due au fait que la perméabilité au K^+ prend plus d'importance et le potentiel de membrane plus négatif.

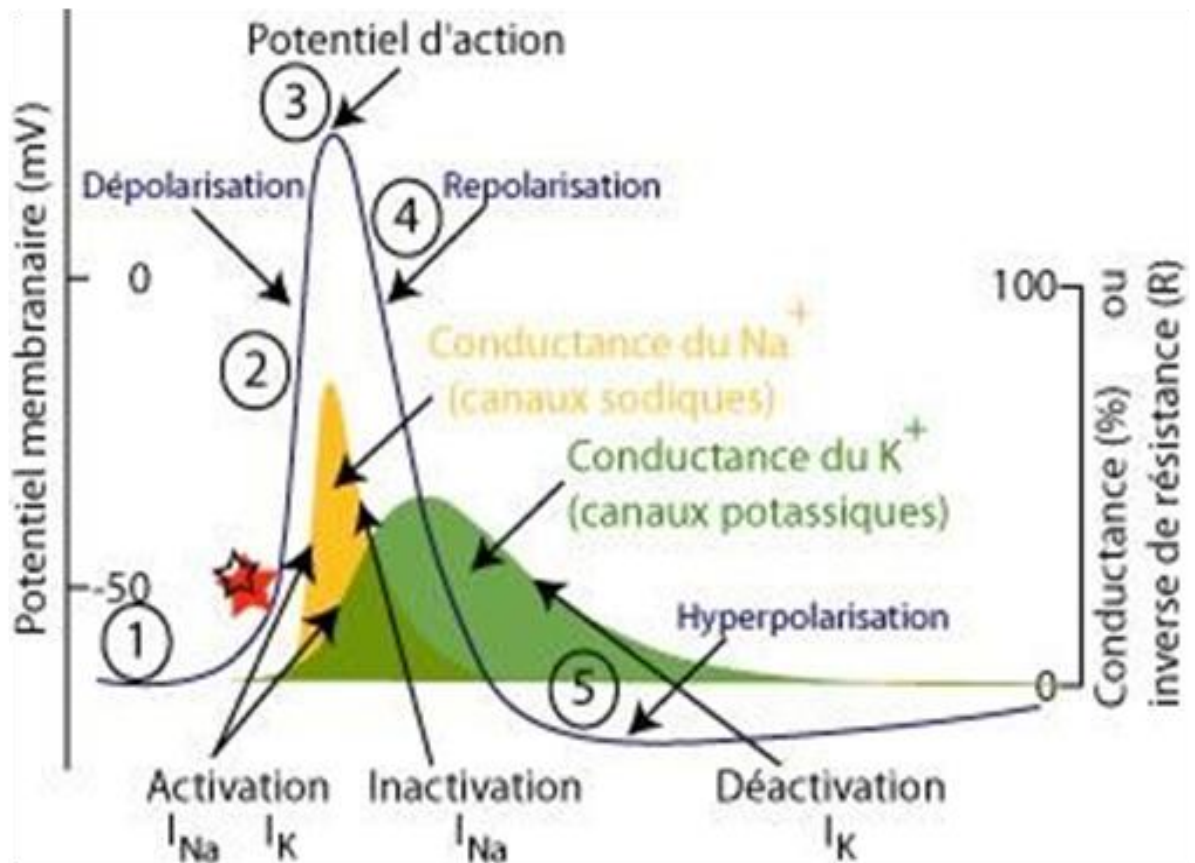


Schéma 7: Perméabilité membranaire au cours du potentiel d'action.

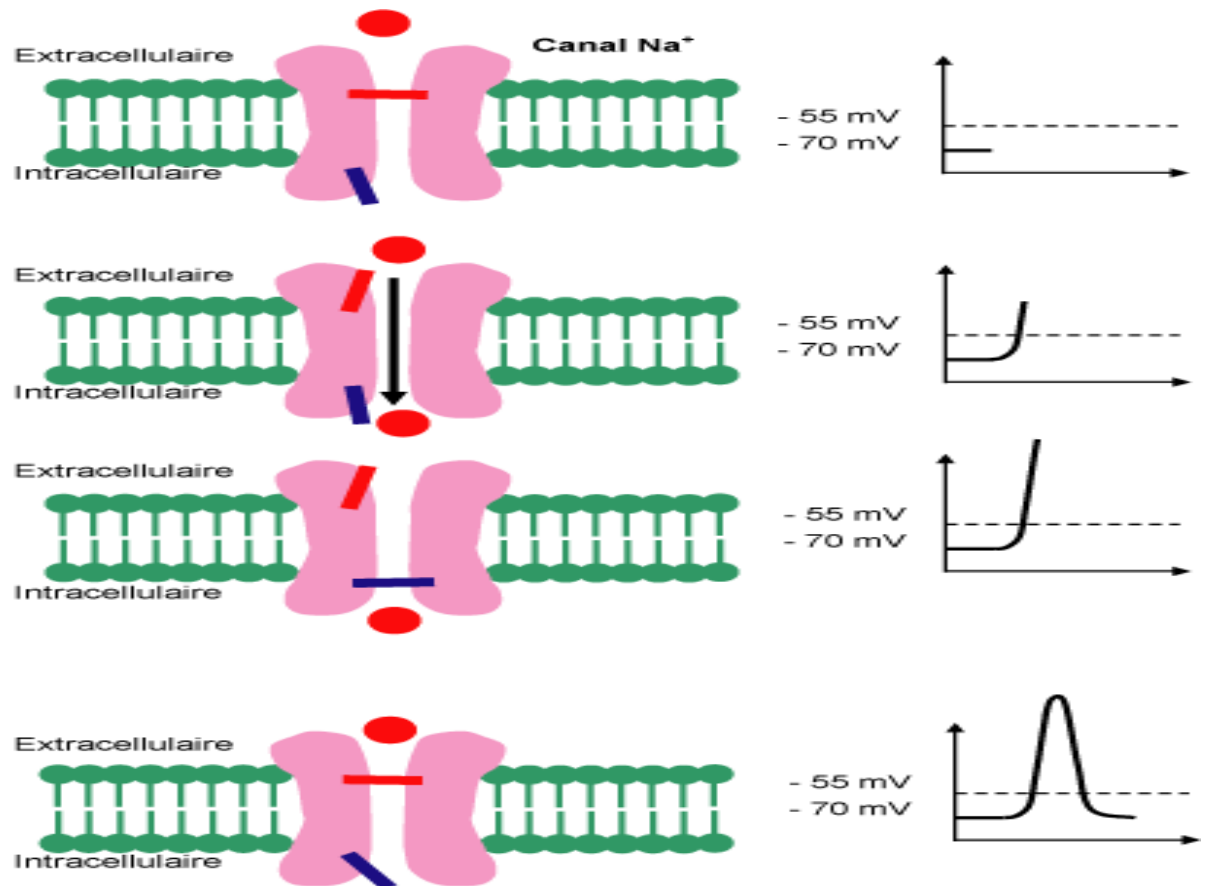


Schéma 8: L'état du canal sodique au cours du potentiel d'action.

Quand la cellule est excitée avec une intensité liminaire, **la porte externe s'ouvre** et les ions Na^+ entrent massivement dans la cellule.

Pendant ce bref moment (1 ms environ) la cellule est inexcitable quelque soit l'intensité et c'est ce qui correspond à **la période réfractaire absolue**.

Puis **la porte interne se ferme** empêchant tout passage d'ion Na^+ et c'est ce qu'on appelle l'état actif du canal permettant l'amorçage de la repolarisation de la membrane pour revenir à son état de repos, **la période réfractaire relative** s'installe jusqu'à la normalisation des concentrations extérieure du potassium.

Enfin à la fin du passage du PA la cellule est repolarisée et le canal repasse à sa configuration initiale.

La repolarisation complète fait intervenir la Na/K ATPase et aussi les canaux K^+ voltage-dépendants.

La propagation continue ou proche en proche: Lorsqu'une dépolarisation suffisante atteint le cône d'émergence de l'axone, les canaux ioniques s'ouvrent et laissent entrer les ions Na^+

dans le neurone. Cette entrée d'ions dépolarise la membrane provoquant d'une part la formation d'un potentiel d'action et d'autre part la genèse d'un courant local. Ce courant local provoque, à son tour, l'ouverture de canaux Na^+ voltage-dépendants à proximité dans la membrane. Ceci permet alors la production du potentiel d'action.

La propagation saltatoire:

La gaine de myéline agit comme un isolant électrique bloquant la perte de courant à travers la membrane, **les nœuds de Ranvier** sont les zones d'interruption de cette gaine et concentrent beaucoup de canaux ioniques Na^+ et K^+ .

Dans un axone myélinisé, le potentiel d'action produit par le cône d'émergence de l'axone génère des courants locaux qui vont se propager d'un nœud de Ranvier à un autre. Ils vont introduire ainsi l'ouverture des canaux ioniques au niveau de chaque nœud de Ranvier.

Ce type de propagation est trente fois plus rapide que la propagation continue si l'on considère un axone ayant le même diamètre et la même longueur.

La vitesse de propagation s'appuie essentiellement sur deux paramètres : la gaine de myéline et le diamètre de l'axone.

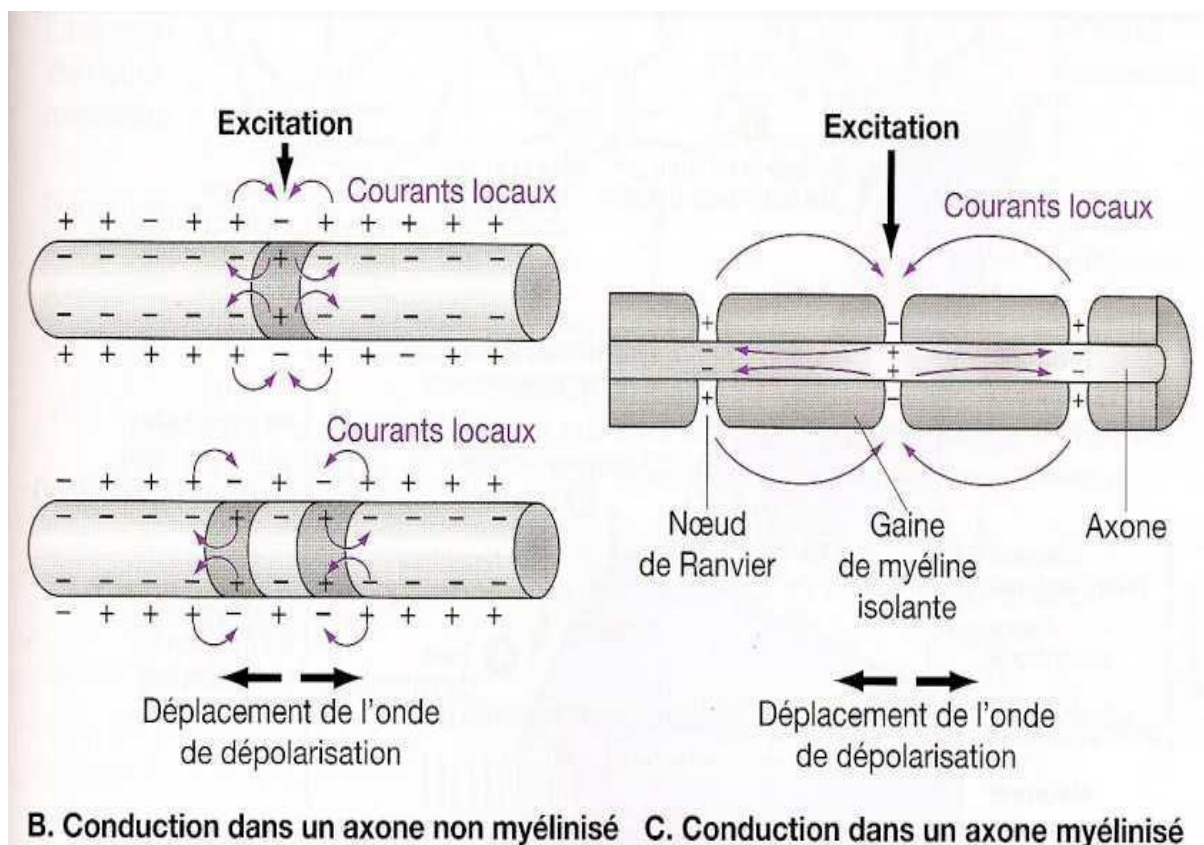


Schéma 9: La conduction du potentiel d'action.

VII/-Conclusion :

Le potentiel d'action est un phénomène complexe caractérisant le neurone.

Le rôle fondamental du neurone est de recevoir, propager et transmettre le signal nerveux sous forme d'un train de potentiel d'action.

Sa membrane plasmique possède des propriétés électrochimiques particulière qui font qu'il peut réagir à un stimulus et propager son action jusqu'à la terminaison nerveuse, selon une loi du tout ou rien.