

Partie 4 :
système nerveux

Chapitre 2 : La propagation du message nerveux

L'arc réflexe est constitué par un **réseau de neurones** connectés au niveau de synapses. Le message nerveux prend naissance au niveau du **récepteur sensoriel** suite à une **stimulation efficace**. Ensuite il est **propagé** le long de l'**axone** jusqu'à la synapse où il est **transmis** au neurone suivant..

Propagation du message nerveux : conduction du message nerveux le long de l'axone d'un neurone depuis son point de genèse jusqu'au bouton synaptique à l'autre extrémité du neurone.

Transmission du message nerveux : passage de l'information d'un neurone au suivant au niveau d'une synapse.

I – Les propriétés de la membrane du neurone au repos

II – Le message nerveux enregistré au niveau d'une fibre

A - Les caractères du message nerveux

B - Le potentiel d'action, signal élémentaire du message nerveux

C - Les conditions de genèse du potentiel d'action

III – La propagation du message nerveux sur une fibre isolée

A - La vitesse de conduction du message nerveux

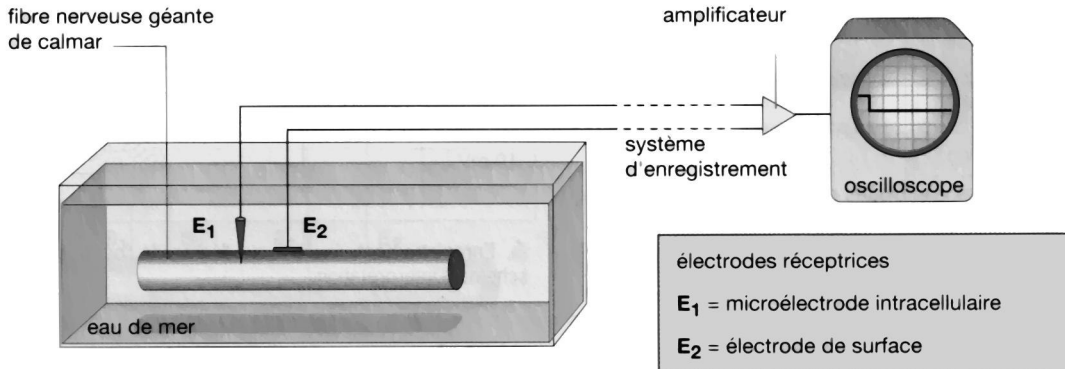
B - Les mécanismes de la propagation du potentiel d'action

C - Caractéristiques de la fibre et vitesse de conduction

I - Les propriétés de la membrane du neurone au repos

La membrane d'un neurone présente un état électrique particulier appelé **potentiel de repos**.

Dispositif expérimental de mesure du potentiel de repos

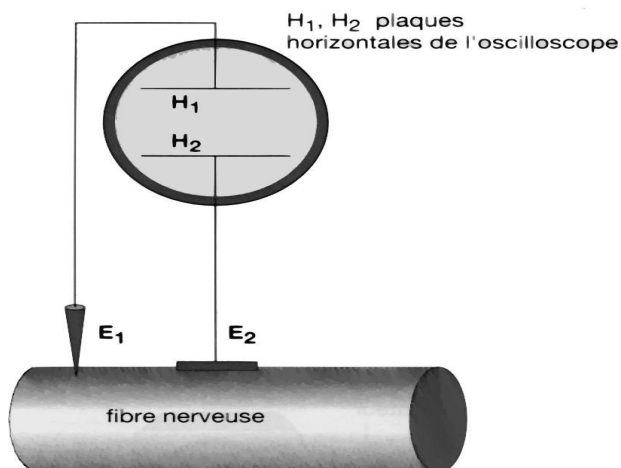


On utilise pour ce dispositif **une fibre nerveuse de calmar** (axone) car son diamètre (0.5 à 1 mm) permet de placer les électrodes réceptrices de part et d'autre de la membrane plasmique de la fibre nerveuse et sa robustesse la rend apte à l'étude in vitro.

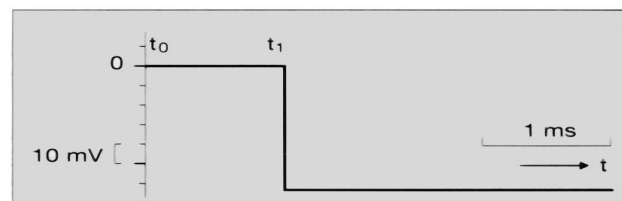
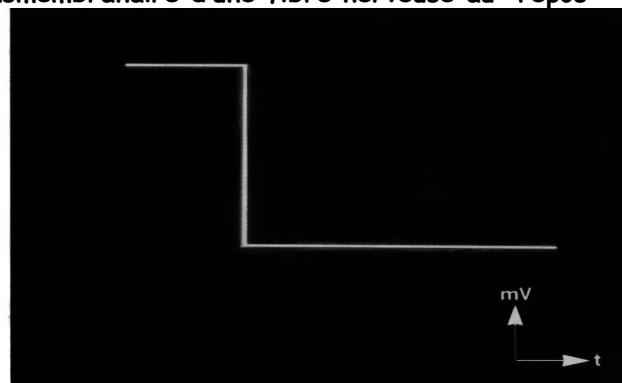
En l'absence de stimulation, il existe une **différence de potentiel ou ddp** entre les 2 faces de la membrane plasmique. La face interne est négative par rapport à la face externe.

Cette tension électrique entre les 2 faces est appelée **potentiel de membrane** ou **potentiel de repos**. Elle est exprimée négativement pour rappeler que l'intérieur est négatif par rapport à l'extérieur.

Enregistrement de la différence de potentiel transmembranaire d'une fibre nerveuse au "repos"



Au temps t_0 , les électrodes réceptrices E_1 et E_2 sont placées en surface de la membrane plasmique de la fibre.
Au temps t_1 , la microélectrode E_1 est introduite dans le milieu intracellulaire.

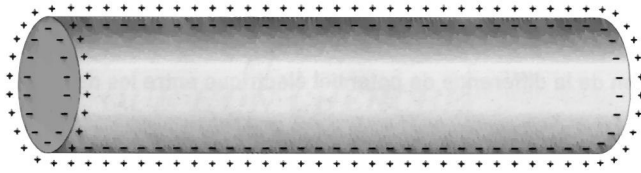


enregistrement visualisé sur l'écran de l'oscilloscope et schéma d'interprétation

- **Au temps t_0** : les 2 électrodes réceptrices E_1 et E_2 sont placées en surface de la fibre nerveuse sur la membrane plasmique.
- **Au temps t_1** : l'électrode E_2 reste externe et l'électrode E_1 est introduite dans le milieu intracellulaire (électrode intracellulaire)

Le **potentiel de repos** est donc -60 mV pour la fibre de calmar à -70 mV pour une fibre humaine

Représentation schématique de la ddp transmembranaire d'une fibre nerveuse



Cette inégale répartition des charges est due à une inégale répartition des ions chargés. Le milieu extracellulaire est riches en Na^+ et le milieu intracellulaire est riche en K^+ .

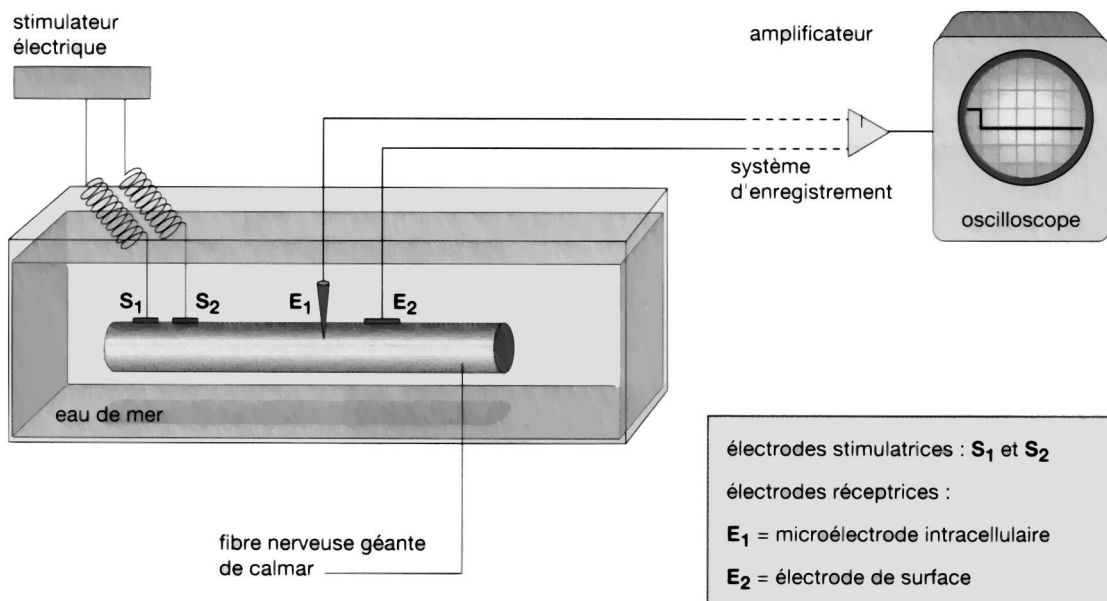
Ce potentiel de repos est caractéristique de toutes les ϕ vivantes. Sa valeur varie selon les types ϕ aires, mais il est toujours polarisé dans le même sens.

ϕ musculaire	- 90 mV
Axone géant de calmar	- 60 mV
ϕ sensorielle de la rétine	- 20 mV

II - Le message nerveux enregistré au niveau d'une fibre

A - Les caractères du message nerveux

Dispositif d'enregistrement du message nerveux



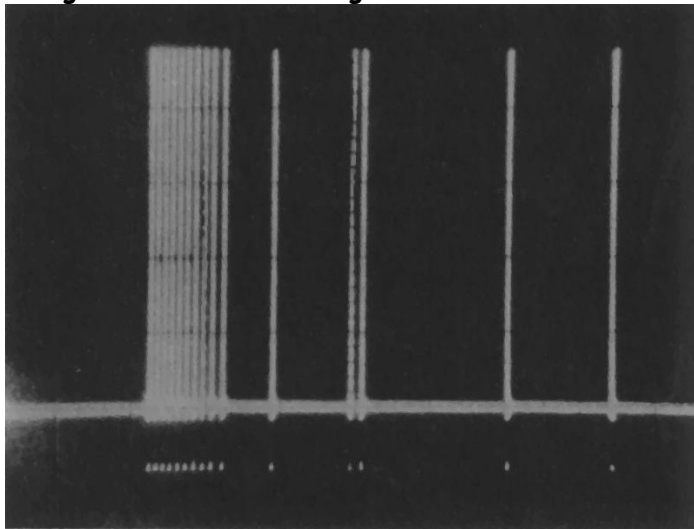
Pour enregistrer un message nerveux, on peut soit :

- Stimuler le récepteur sensoriel et enregistrer sur la fibre nerveuse correspondante le message nerveux généré à la suite du stimulus → cela implique d'être sur le vivant (in vivo)
- Stimuler électriquement une fibre et enregistrer le message nerveux quelques cm plus loin et cela peut être expérimental avec une fibre isolée, par exemple de calmar.

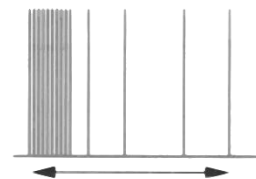
Dans ce cas il y a 2 séries d'électrodes

- Les électrodes S ou **électrodes de stimulation** qui envoient un courant électrique dont on connaît l'intensité et la durée.
- Les électrodes E ou **électrodes d'enregistrement ou réceptrices** (une électrode extracellulaire ou électrode de surface et une électrode intracellulaire) qui enregistrent le message nerveux quand il passe dessous.

Enregistrement d'un message nerveux sur une fibre nerveuse



1 Potentiel d'action



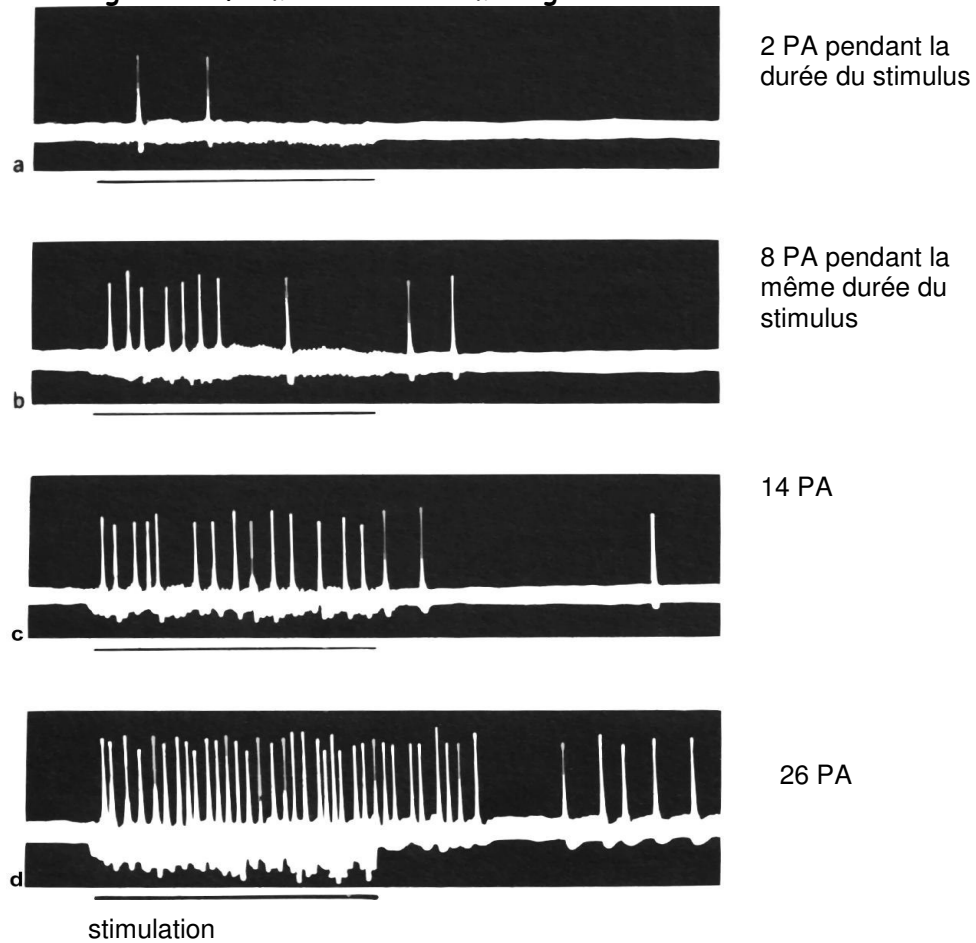
Potentiel de repos de la membrane du neurone

Un message nerveux est généré suite à une stimulation d'un récepteur sensoriel ou directement de la fibre nerveuse. Il est constitué par un **ensemble de potentiel d'action** ou **train de P.A.**

Le codage de l'information dans un message nerveux

- Sa **durée** : elle est fonction de la durée de la stimulation
- Le nombre de P.A par unité de temps c'est à dire la **fréquence des PA.**

Le codage de l'information dans un message nerveux



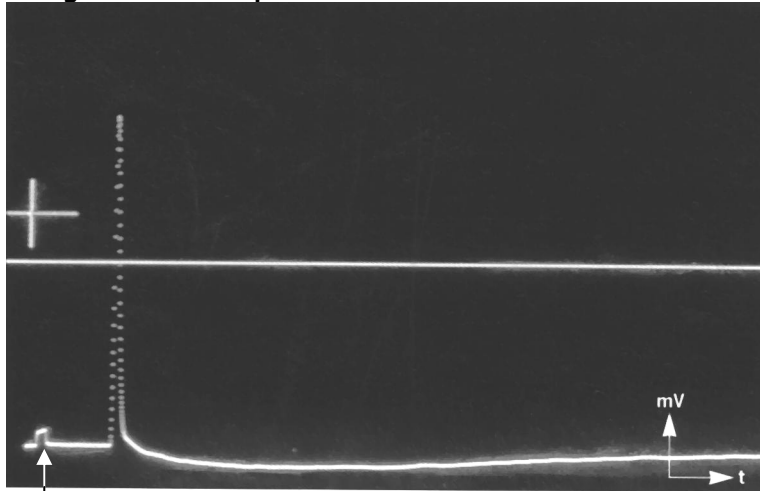
Les enregistrements a, b, c et d correspondent au message nerveux cheminant le long d'une fibre pour des stimulus d'intensité croissante de a à d.

On dit que le codage est en “**modulation de fréquence**”

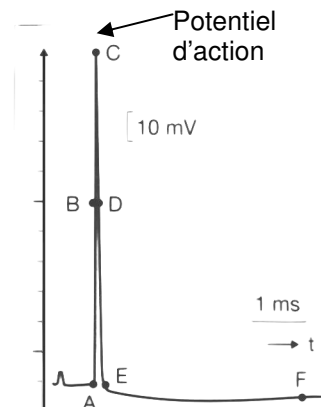
Par contre qu'il s'agisse d'un récepteur sensoriel sensible à un stimulus externe comme la lumière, la pression ou la chaleur ou sensible à un stimulus interne, le codage de l'information est le même : des PA de même amplitude mais modulés en fréquence.

B - Le potentiel d'action, signal élémentaire du message nerveux

Enregistrement du potentiel d'action

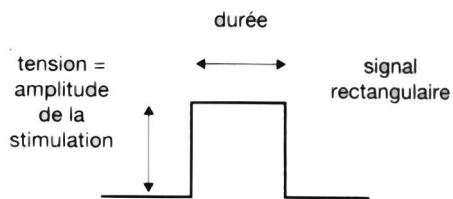


Artéfact de stimulation : manifestation sous les électrodes E de la stimulation.



Artéfact de stimulation

Manifestation à l'écran du stimulus



Cela correspond à la propagation du courant électrique de stimulation qui passe sous les électrodes E.

Compte tenu de la vitesse de propagation d'un courant électrique (300 000 km/s) on peut considérer que cette manifestation est synchrone de la stimulation.

Ce signal a une amplitude et une durée proportionnelles à la valeur de la tension électrique de la stimulation.

Le potentiel d'action est une **modification provoquée et passagère de la valeur du potentiel de repos** en un point de la fibre nerveuse. Il est caractérisé par une **séquence stéréotypée** :

AB : passage d'une tension transmembranaire de -70 mV à 0 mV → **dépolarisation de la membrane** ;

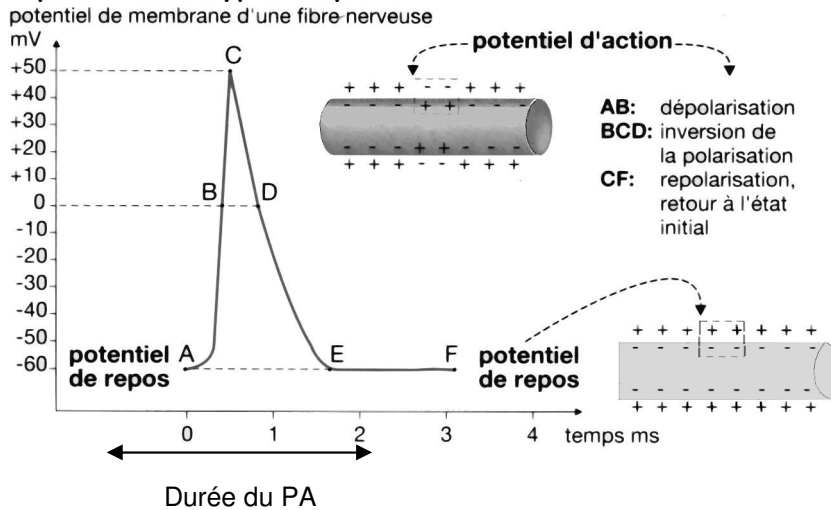
BCD : passage d'une tension de 0 mV à $+30$ mV puis retour à 0 mV → **inversion de polarité**

DE : la membrane retrouve progressivement sa polarité de -70 mV → **repolarisation**

DF : la repolarisation de la membrane est supérieure au potentiel de repos → **hyperpolarisation**.

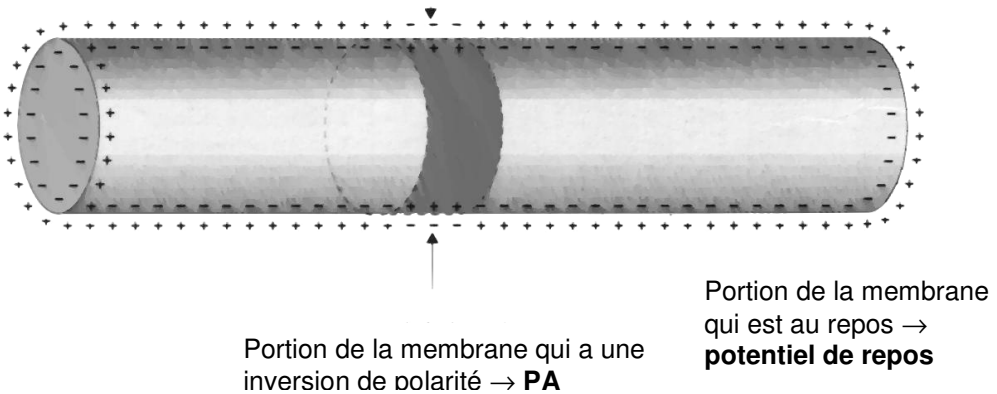
La durée d'un potentiel d'action est d'environ 3 ms. L'amplitude d'un PA est donc de 100 mV (de -70 à $+30$ mV).

Séquence stéréotypée du potentiel d'action



Le P.A. 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 la membrane.

Schématisation du potentiel d'action au niveau cellulaire

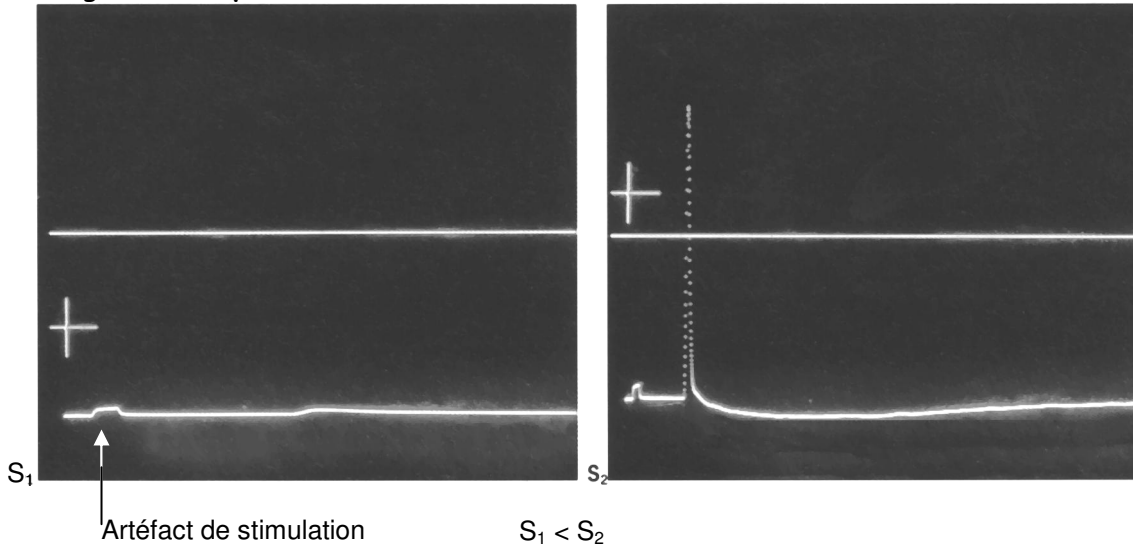


La forme de l'enregistrement est dépendante de la vitesse de balayage du spot de l'oscilloscope.

- Vitesse lente : l'enregistrement du PA est un trait vertical.
- Vitesse rapide : l'enregistrement du PA est plus étalé.

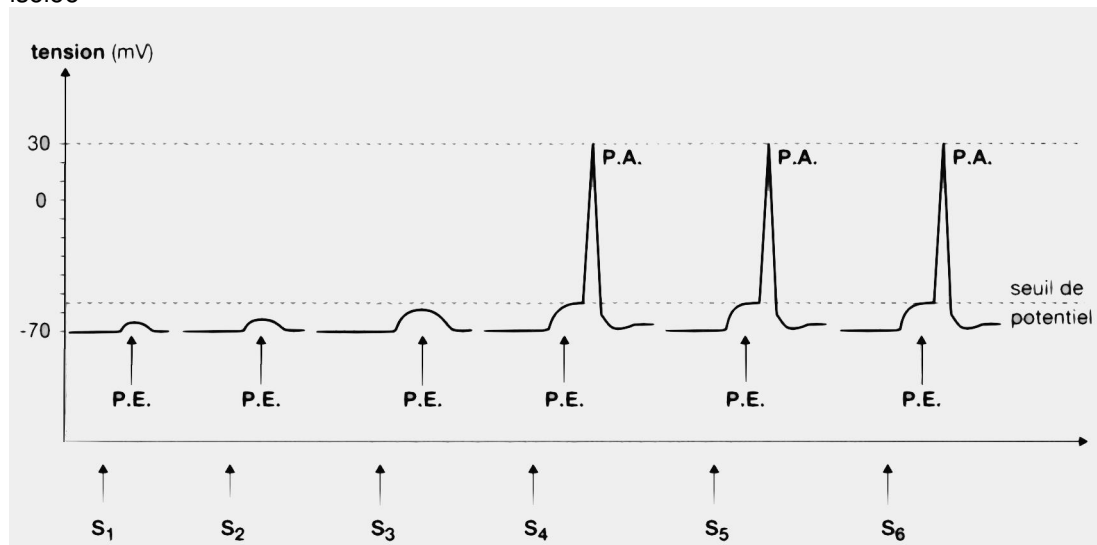
C - Les conditions de genèse du potentiel d'action

Enregistrement pour 2 stimulations d'intensité différentes



La stimulation S₁ n'a pas généré de PA. Elle était trop faible.

Déclenchement des potentiels d'action en réponse à des stimulations isolées sur une fibre isolée



Les stimulations sont d'amplitude croissante : $S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5 < S_6$

P.A. : potentiel d'action
P.E. : potentiel électrique

Cas des stimulations S₁ à S₃ :

Leur amplitude est trop faible pour générer un PA. On dit qu'elles sont **inefficaces**.

Le potentiel électrique est une légère dépolarisation de la fibre en réponse à la stimulation électrique. Ce potentiel électrique est proportionnel à l'amplitude de la stimulation.

Cas des stimulations S_4 à S_6 :

Elles sont efficaces → genèse d'un PA.

Le P.E. a dépassé une amplitude seuil appelé **seuil de dépolarisation**.

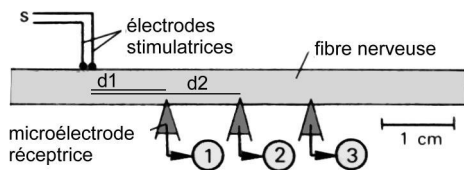
Le P.A. garde les mêmes caractéristiques quelle que soit l'amplitude de la stimulation : il répond **à la loi du tout ou rien**.

⇒ Un PA se déclenche chaque fois qu'en un point de la fibre le potentiel de membrane décroît (dépolarisation) jusqu'à une certaine tension appelée **seuil de potentiel ou seuil de dépolarisation**.

III - La propagation du message nerveux sur une fibre isolée

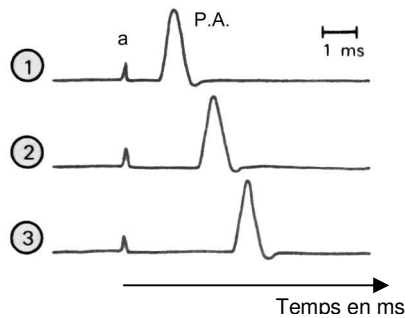
A - La vitesse de conduction du message nerveux

Dispositif pour la mesure de la vitesse de propagation du PA



a : artéfact de stimulation

d : distance entre les électrodes de stimulation et les électrodes réceptrices



Application : calculer la vitesse de propagation du message nerveux dans ces 2 fibres

• Fibre type 1

$$d_1 = 10 \text{ mm}$$

$$t_1 = 0.2 \text{ ms}$$

$$d_2 = 20 \text{ mm}$$

$$t_2 = 0.3 \text{ ms}$$

• fibre de type 2

$$d_1 = 10 \text{ mm}$$

$$t_1 = 10 \text{ ms}$$

$$d_2 = 20 \text{ mm}$$

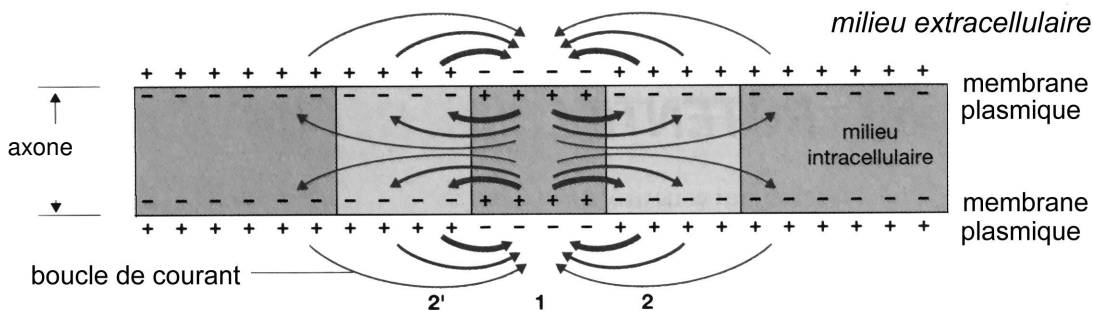
$$t_2 = 20 \text{ ms}$$

La vitesse de propagation varie selon le diamètre des fibres et selon qu'elles sont ou non recouvertes de myéline.

	Diamètre moyen des fibres (μm)	Vitesse de propagation (m/s)
Fibres nerveuses myélinisées	13	75
	9	55
	3	11
Fibres nerveuses amyéliniques	0.5	1
	700 (fibre de calmar)	25

B - Les mécanismes de la propagation du potentiel d'action

Un mécanisme de propagation régénératif



Zone 1 de la fibre nerveuse : présence d'un potentiel d'action au temps t_1

→ il y a donc inversion de polarité de la membrane dans cette zone.

→ cette zone a donc une **polarisation différente des zones qui l'entourent 2 et 2'** : des charges positives se trouvent à proximité de charges négatives dans le milieu intracellulaire et dans le milieu extracellulaire.

→ création de courants électriques appelés "**courants locaux**" entre 1 et 2 d'une part et entre 1 et 2' d'autre part.

Zone 2 : zone en aval de la zone connaissant une inversion de polarité

Les courants locaux sont suffisamment importants pour entraîner la dépolarisation de la membrane (potentiel électrique) qui atteint le seuil de dépolarisation. → déclenchement d'un PA au temps t_2

⇒ le PA a donc été propagé de la zone 1 à la zone 2 de la fibre.

Zone 2' : zone en amont de la zone où il y a un PA

Cette zone a propagé un PA au temps t_0 (avant t_1) → elle est dans un état qui l'empêche pendant un certain temps de générer un nouveau PA. On dit qu'elle est en **période réfractaire**.

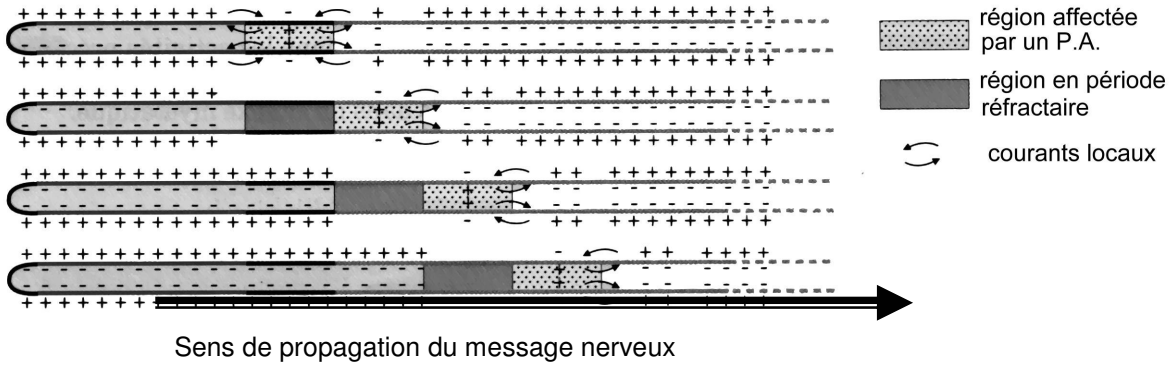
→ Les courants locaux ne peuvent générer un PA même s'ils atteignent le seuil de dépolarisation.

Un potentiel d'action ne peut être déclenché dans la région qu'il vient de parcourir.

→ Ainsi la **propagation ne se fait que dans un seul sens** : du récepteur sensoriel jusqu'à l'extrémité de l'axone c'est à dire au niveau synaptique.

Le potentiel d'action ne subit **pas d'amortissement** car ce n'est pas lui qui se déplace le long de la fibre nerveuse. En effet, chaque PA en déclenche un autre et ceci de proche en proche en réponse à des courants locaux. Les PA ont toujours la même amplitude car ils sont continuellement régénérés tout au long de la fibre nerveuse.

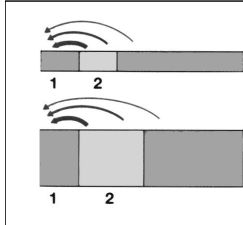
Schéma bilan : la propagation du PA le long de l'axone du neurone sensitif



C - Caractéristiques de la fibre et vitesse de conduction

Cas des fibres amyélinique

Relation entre le diamètre de la fibre et la vitesse de conduction

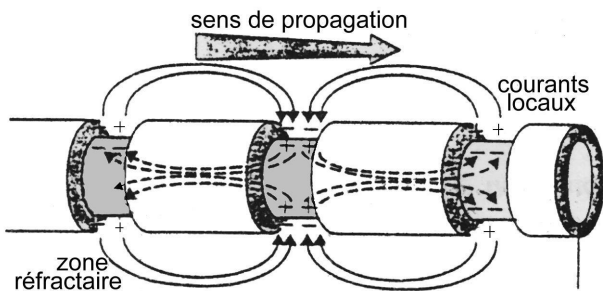


La résistance électrique de la fibre est d'autant plus grande que le diamètre est faible.
 → les boucles de courants locaux sont plus étalées dans une fibre de gros diamètre → la zone 2 est plus loin de la zone 1 que si la diamètre était petit.

La vitesse augmente avec le diamètre des fibres.

Cas des fibres myélinisées

La propagation des PA dans une fibre myélinisée



Les PA ne se déclenchent qu'au niveau des **nœuds de Ranvier**. Les courants locaux s'établissent entre les étranglements de myéline successifs. Cette **conduction saltatoire** accélère la propagation du message.

Conduction saltatoire des PA dans une fibre myélinisée

