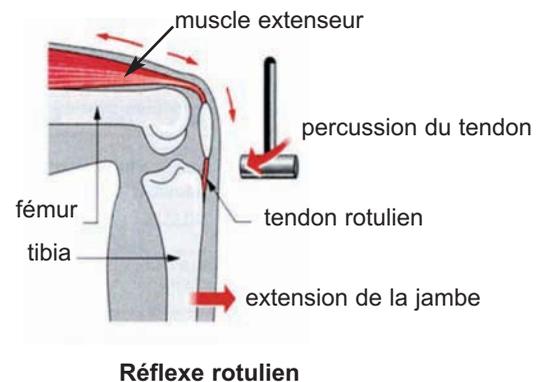
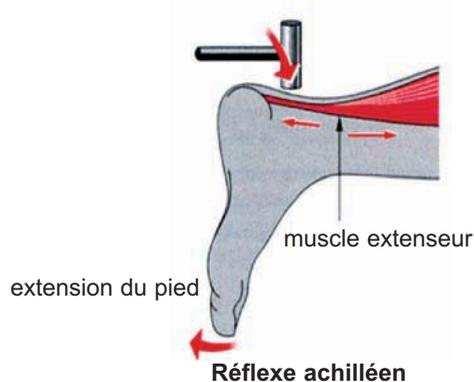


## Chapitre 2 : LE RÉFLEXE MYOTATIQUE



Etude du réflexe myotatique en utilisant l'EXAO  
(expérimentation assistée par ordinateur)



Les deux réactions observées sont des réflexes c'est-à-dire des réactions involontaires et adaptées, déclenchées par un stimulus, elles sont innées (obtenues chez tous les individus dès la naissance).

En percutant le tendon du muscle extenseur, celui-ci est étiré et il réagit à cet étirement par une contraction. Cette réaction tend à ramener le muscle à sa longueur initiale.

Dans les conditions physiologiques, les réflexes myotatiques interviennent dans le maintien de la posture et l'équilibration.

En effet dans les différentes positions du corps, les muscles des membres inférieurs, du tronc et du cou sont étirés sous l'effet de la gravité. En réponse à cet étirement, ces muscles se contractent pour maintenir la position du corps en équilibre.

## OBJECTIFS

- Identifier les supports anatomiques du réflexe myotatique.
- Expliquer la naissance, la propagation et la transmission du message nerveux.
- Expliquer le rôle intégrateur des centres nerveux.

## S'INTERROGER

Les réflexes rotulien ou achilléen sont des tests cliniques classiques utilisés par le médecin pour détecter des troubles du système nerveux. Le réflexe myotatique, comme toute réaction motrice réflexe, fait intervenir :

- des récepteurs sensibles au stimulus
- un conducteur nerveux afférent (nerf sensitif ou fibres sensitives)
- un centre nerveux qui traite les informations qui lui parviennent des récepteurs et élabore une réponse
- Un conducteur efférent (nerf moteur ou fibres motrices)
- Un effecteur moteur (muscle)

Quels sont les éléments anatomiques qui interviennent dans un réflexe myotatique ?  
Comment se fait la communication entre ces différents éléments au cours du réflexe myotatique ?

## SE RAPPELER

- **Réflexe** : acte involontaire et prévisible qui se produit en réponse à un stimulus.
- **Arc réflexe** : circuit nerveux reliant le récepteur à l'effecteur du réflexe en passant par le centre nerveux.
- **Protéine** : macromolécule formée d'un enchaînement de nombreux acides aminés unis par des liaisons peptidiques.
- **ATP** : Adénosine triphosphate = molécule riche en énergie, représentant la principale forme de l'énergie cellulaire directement utilisable par la cellule.
- **Neurone** : cellule nerveuse formée d'un corps cellulaire et de prolongements cytoplasmiques, les dendrites et l'axone.
- **Synapse** : zone de jonction entre un neurone et un autre neurone ou une autre cellule excitable.

## I Les supports anatomiques du réflexe myotatique

### Activité 1 : déterminer les éléments anatomiques du réflexe myotatique

Des observations et des expériences ont permis d'identifier les éléments intervenant dans le réflexe myotatique :

- La dissection des muscles qui interviennent dans le réflexe myotatique montrent, à côté des fibres musculaires normales, des structures particulières appelées **fuseaux neuro-musculaires** qui sont en relation avec des fibres nerveuses sensibles (fibres Ia).
- La dégénérescence de ces structures entraîne la disparition du réflexe myotatique.



Document 1 : fuseau neuro-musculaire (au microscope optique: X 800)

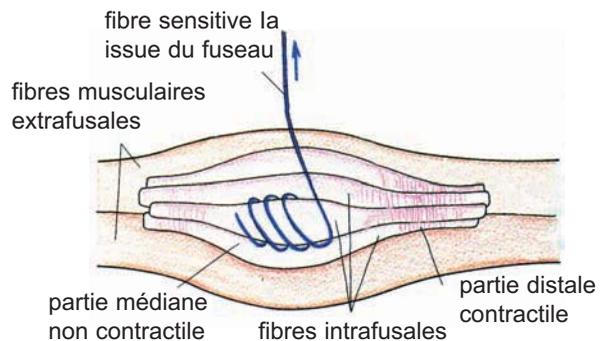


Schéma d'interprétation

- Une lésion de la partie inférieure de la moelle épinière fait disparaître les réflexes rotulien et achilléen
- La section accidentelle du nerf sciatique abolit le réflexe rotulien.
- Les expériences de Magendie, complétées par des expériences de dégénérescence, ont permis de préciser d'autres éléments de ce réflexe.

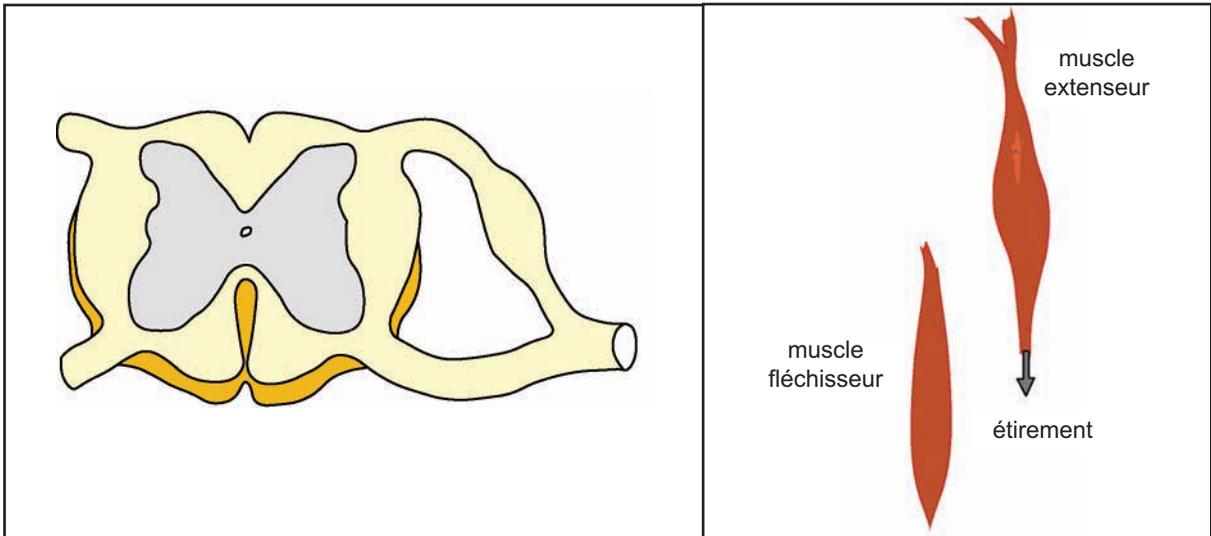
Résultats :		Résultats :		Résultats :	
* La région du corps innervée par le nerf rachidien sectionné perd toute sensibilité et toute motricité	* Toutes les fibres nerveuses de la portion de nerf séparée de la moelle épinière dégèrent.	* La région du corps innervée par le nerf perd toute sensibilité: la motricité est maintenue.	* Les fibres nerveuses dégèrent de part et d'autre du ganglion spinal isolé, ainsi que dans la partie dorsale du nerf rachidien	* Toute la région du corps innervée par le nerf perd sa motricité.	* Les fibres nerveuses dégèrent dans la partie de la racine antérieure séparée de la moelle épinière, ainsi que dans la partie ventrale du nerf rachidien.

Document 2 : les expériences de Magendie + expériences de dégénérescence

- Analyser les observations et les expériences précédentes
- Quelle(s) conclusion(s) peut-on tirer de chacune d'elles ?

L'observation du réflexe rotulien montre que la contraction du muscle extenseur est accompagnée du relâchement du muscle antagoniste : le muscle fléchisseur.

- En exploitant toutes les données précédentes, dégager les supports anatomiques impliqués dans le réflexe rotulien en précisant le rôle de chacun d'eux.
- Recopier et compléter le schéma suivant en représentant le circuit mettant en relation les différents organes impliqués dans le réflexe rotulien. Annoter ce schéma.



- Quelles données vous manquent-elles pour compléter le circuit ?

## II

### La nature du message nerveux

Depuis longtemps, on sait que le neurone est excitable et conducteur et qu'il est le siège de phénomènes électriques.

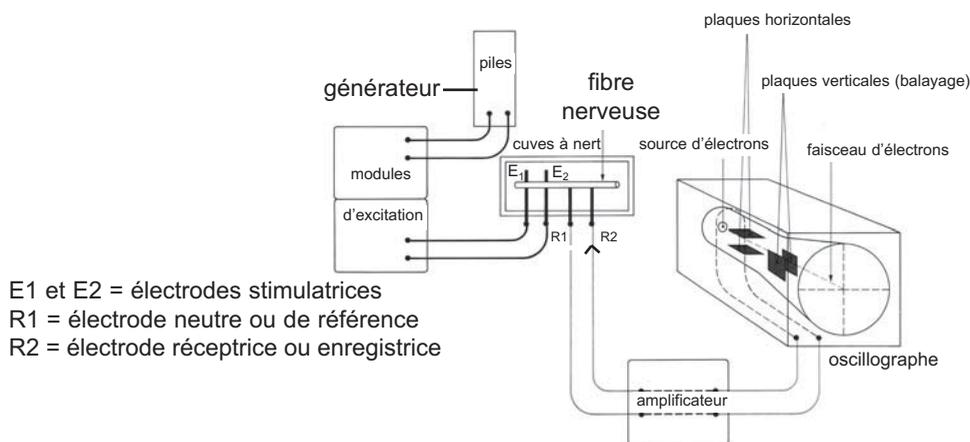
Aujourd'hui, des moyens techniques perfectionnés sont utilisés pour explorer l'activité électrique des neurones et comprendre la naissance, la propagation et la transmission du message nerveux

## Activité 2 : expliquer la naissance du message nerveux

### 1- Le potentiel de repos (PR) :

#### a- Enregistrement :

Dispositif expérimental : On utilise le matériel décrit ci-après :

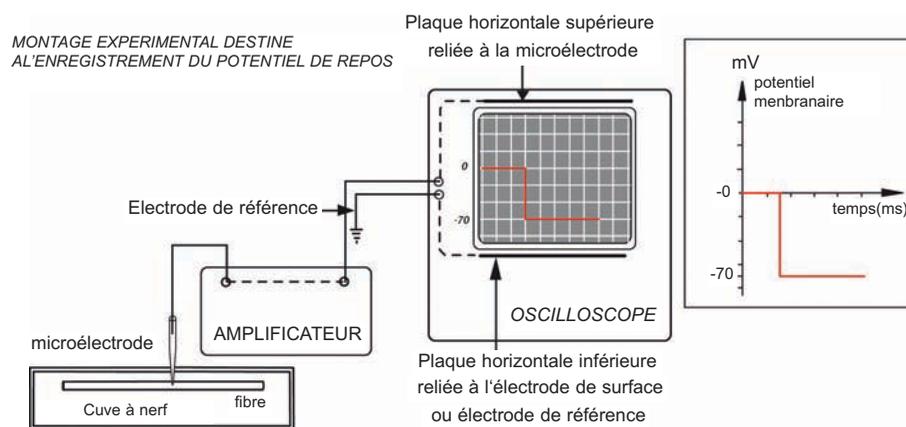


Document 3 : dispositif d'enregistrement des phénomènes électriques de la fibre nerveuse

#### Principe de fonctionnement de l'oscilloscope :

les 2 plaques verticales assurent le balayage horizontal, alors que les 2 plaques horizontales reliées aux électrodes neutre et réceptrice provoquent la déviation verticale du spot, s'il y a une différence de potentiel (ddp) entre les électrodes R1 et R2.

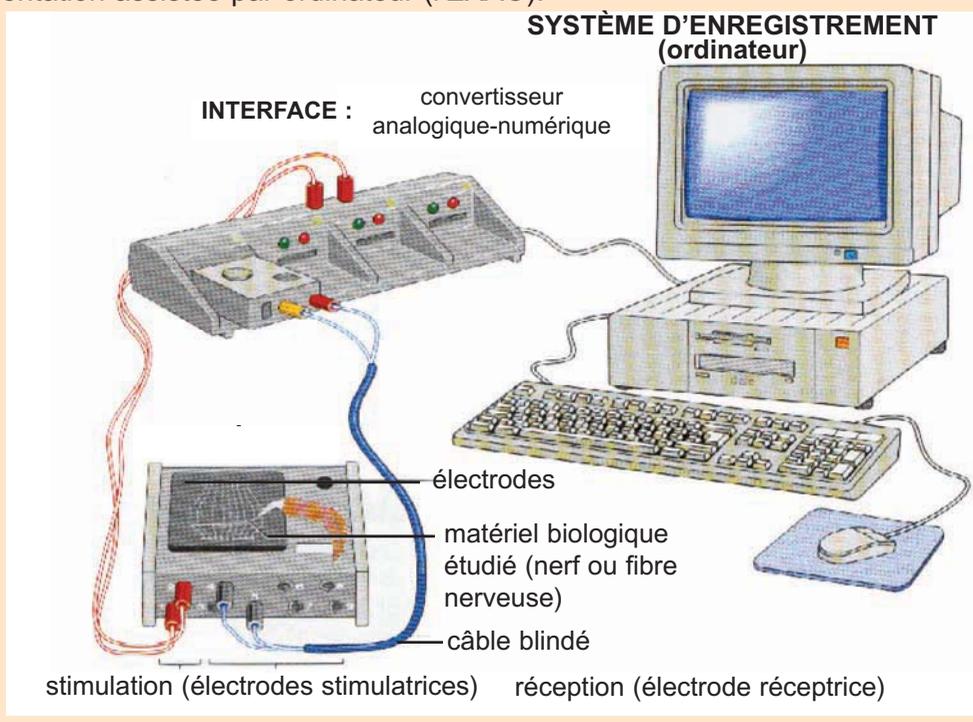
En enfouissant l'électrode réceptrice dans la fibre nerveuse (un axone géant de calmar de 0,5 à 1mm de diamètre) , la valeur du potentiel passe immédiatement de 0 à -70 mv.



Document 4 : mise en évidence du potentiel de repos

- A quoi correspond le potentiel de repos ?
- Préciser sa valeur.
- Indiquer sur un schéma l'état de polarisation de la fibre au repos.

Actuellement, on peut enregistrer le potentiel membranaire de la fibre nerveuse en utilisant l'expérimentation assistée par ordinateur (l'EXAO).



### b- Origine ionique du potentiel de repos

Le potentiel de repos : la d.d.p transmembranaire ou potentiel de membrane est dû aux propriétés de la membrane de la fibre nerveuse séparant les deux compartiments liquidiens : le liquide intracellulaire (LIC) et le liquide extracellulaire (LEC). Ces deux liquides n'ont pas la même composition ionique comme le montre le tableau ci-contre.

ions	Concentration en ions (millimoles par litre)	
	LEC	LIC
[Na <sup>+</sup> ]	150	15
[K <sup>+</sup> ]	5	150
[Cl <sup>-</sup> ]	120	10
[A <sup>-</sup> ]	02	100

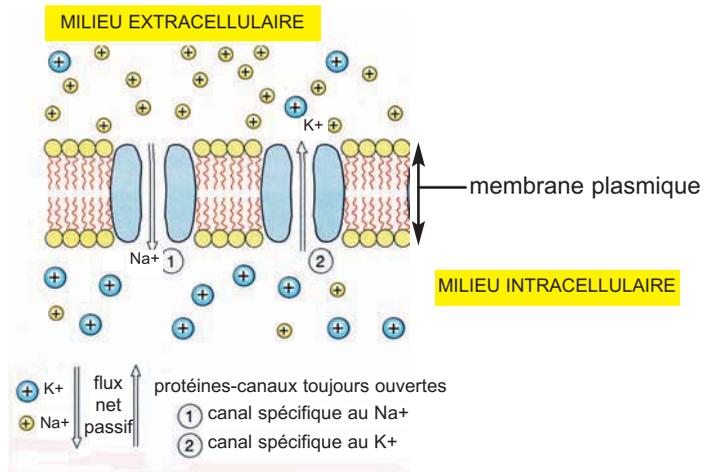
(A<sup>-</sup> : gros anions)

Document 5 : concentration des ions de part et d'autre de la membrane nerveuse

Si le cytoplasme de l'axone est remplacé par une solution ionique correspondant au liquide intracellulaire normal, le potentiel de repos reste inchangé. En revanche le potentiel de repos s'annule, si la solution intracellulaire est identique à la solution extracellulaire.

- En exploitant les données précédentes, formuler une hypothèse sur l'origine du potentiel de repos.

On a démontré que la perméabilité de la membrane aux ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> est due à la présence de canaux (protéines membranaires), toujours ouverts, appelés canaux de fuite. Ces canaux sont traversés passivement par les ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> selon leur gradient de concentration (gradient : variation progressive, entre deux points dans un milieu biologique, de la concentration d'une substance).



Document 6 : fonctionnement des canaux de fuite

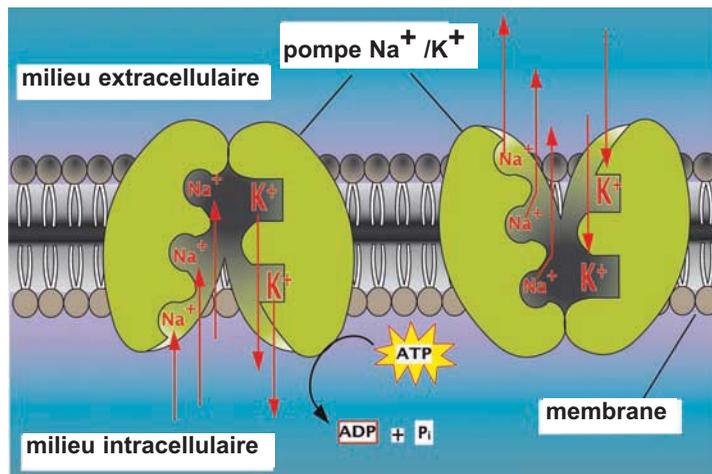
Les échanges d'ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  par diffusion, à travers les canaux de fuite, conduisent normalement à une égalité de concentration de ces ions de part et d'autre de la membrane nerveuse. Ce qui n'est pas le cas dans les conditions physiologiques normales.

En plus du phénomène de diffusion, un autre mécanisme intervient donc pour engendrer et maintenir l'inégalité de concentration de part et d'autre de la membrane.

- Formuler une hypothèse pour expliquer le maintien de l'inégalité de concentration de part et d'autre de la membrane.

On a montré qu'au niveau de la membrane, il existe d'autres types de protéines, il s'agit d'une enzyme-pompe qui assure le transport des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  contre leur gradient de concentration. Ce transport nécessite de l'énergie fournie par l'hydrolyse de l'ATP réalisée par cette enzyme-pompe.

Le schéma suivant explique le fonctionnement de la pompe  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ .



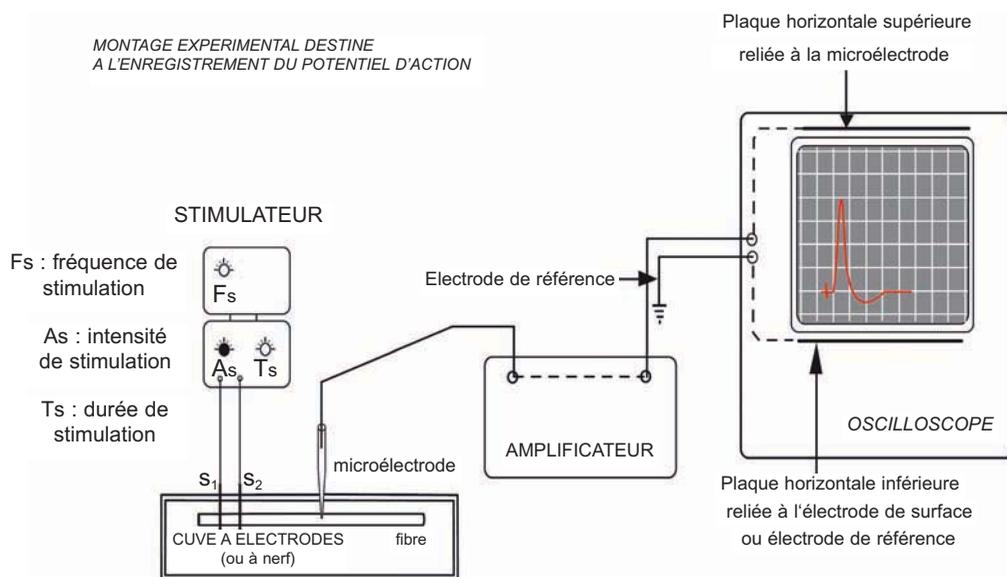
Document 7 : fonctionnement de la pompe  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$

D'après le document 7, expliquer le fonctionnement de la pompe  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$  et indiquer le résultat de ce fonctionnement.

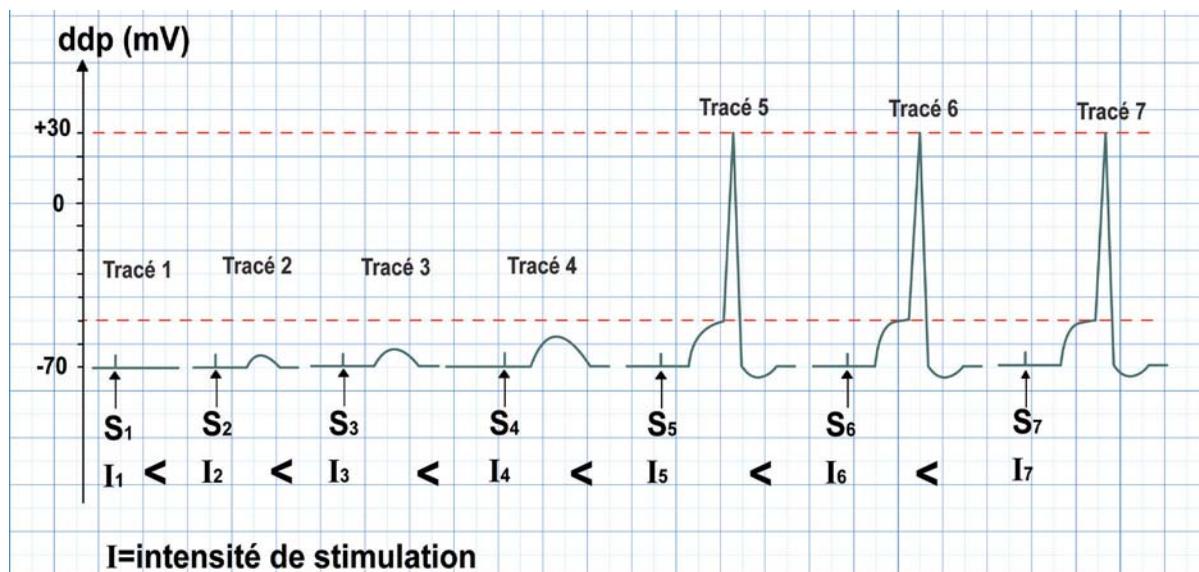
## 2. Le potentiel d'action (PA)

### a- Enregistrement

sur le même dispositif expérimental et à l'aide d'électrodes stimulatrices, on porte sur une fibre nerveuse des stimulations d'intensités croissantes ( $S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5 < S_6 < S_7$ ).



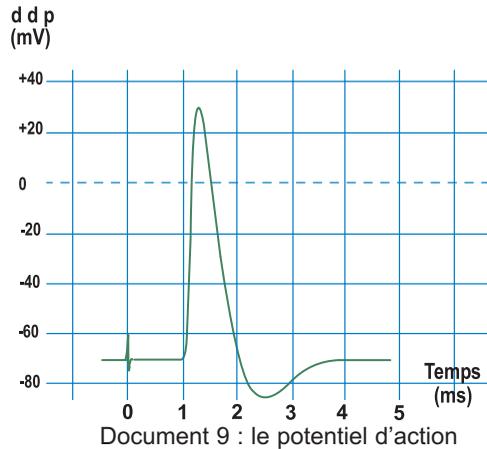
On a obtenu les tracés représentés ci-dessous :



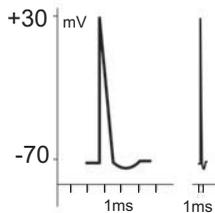
Document 8 : enregistrement du potentiel d'action

- Les tracés 2, 3 et 4 sont des enregistrements de potentiels locaux
- Les tracés 5, 6 et 7 sont des enregistrements de potentiels d'action.

- Indiquer l'intensité minimale de la stimulation qui déclenche un potentiel d'action : c'est l'**intensité seuil** ou intensité liminaire qui fait que cette stimulation soit efficace.
- Les physiologistes disent que le potentiel d'action de la fibre nerveuse obéit à «la loi de tout ou rien». En quoi les enregistrements précédents illustrent-ils cette loi ?



- Analyser la courbe d'un potentiel d'action en indiquant les phases qui la constituent et déterminer son amplitude et sa durée.
- Expliquer la signification de chaque phase du potentiel d'action en représentant par des schémas les changements de la polarité de la membrane de l'axone.

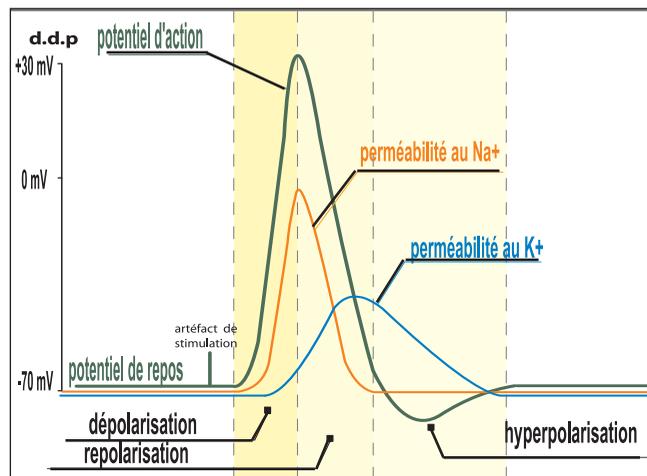


L'allure d'un potentiel d'action dépend de l'échelle du temps utilisée. Si cette échelle est grande, il apparaît étiré et on distingue ses différentes phases (PA de gauche), si l'échelle est petite, il apparaît sous forme d'un trait vertical (PA de droite)

### b- Origine Ionique du potentiel d'action :

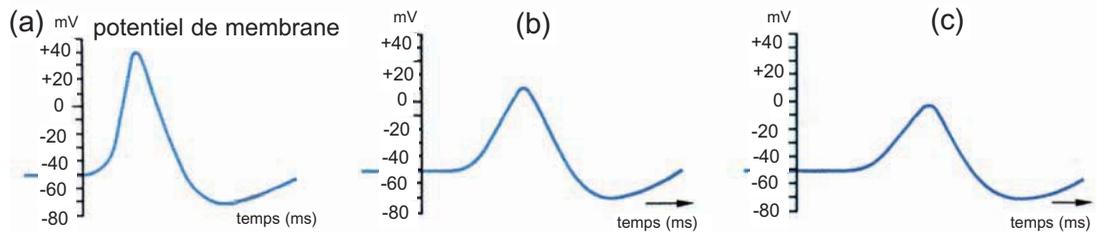
## Activité 3 : expliquer l'origine du potentiel d'action

Au cours du potentiel d'action on constate une variation de la perméabilité de la membrane aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  comme le montre le document suivant :



Document 10 : variation de la perméabilité aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de la membrane plasmique d'un neurone, durant un potentiel d'action

- Analyser ces courbes en mettant en relation la variation de la perméabilité membranaire aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  et les phases du potentiel d'action.
- On enregistre le potentiel d'action d'un axone géant de calmar immergé dans un milieu où la concentration en ions  $\text{Na}^+$  est diminuée.



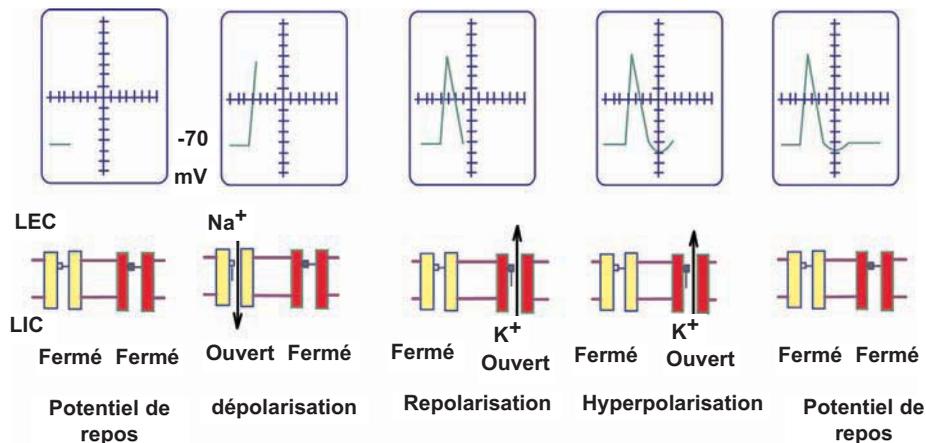
L'axone est immergé dans :

- eau de mer,  $[Na^+] = 453 \text{ mmole.l}^{-1}$  ;
- 50% d'eau de mer et 50% de solution isotonique de glucose ;
- 33% d'eau de mer et 67% de solution isotonique de glucose.

Document 11 : enregistrements des potentiels d'action de l'axone géant d'un calmar immergé dans des solutions à concentration de  $Na^+$  décroissante

- Mettre en relation la phase de dépolarisation du potentiel d'action et la concentration de  $Na^+$ . Que peut-on déduire ?
- Au cours du potentiel d'action, l'entrée et la sortie des ions  $Na^+$  et  $K^+$  s'effectuent à travers des canaux dont l'ouverture dépend d'un niveau précis du potentiel de la membrane, ce sont des **canaux ioniques voltage-dépendants**; ces canaux sont fermés au repos.
- À la dépolarisation: les canaux  $Na^+$  s'ouvrent lorsque le potentiel de la membrane atteint une valeur seuil de  $-50 \text{ mV}$  et il y a entrée massive et brusque de  $Na^+$ .
- À la repolarisation : les canaux  $K^+$  s'ouvrent lorsque le potentiel de la membrane atteint une valeur seuil de  $+30 \text{ mV}$  : il y a sortie de  $K^+$ . Les canaux  $Na^+$  se ferment.
- À l'hyperpolarisation: les canaux  $Na^+$  fermés, les canaux  $K^+$  ouverts, la sortie de  $K^+$  continue même après la repolarisation, d'où une légère hyperpolarisation puis fermeture des canaux  $K^+$ .

La pompe  $Na^+/K^+$  ramène la membrane au potentiel de repos.



Document 12 : interprétation ionique du potentiel d'action

La fibre nerveuse, après avoir été le siège d'un potentiel d'action, suite à une stimulation efficace, ne peut réagir immédiatement à une nouvelle stimulation pendant quelques millisecondes : c'est la **période réfractaire**. Elle est due à la fermeture momentanée des canaux voltage-dépendants à  $Na^+$  après la repolarisation

### Activité 4 : expliquer la naissance du message nerveux au niveau du fuseau neuromusculaire

Un récepteur sensoriel est une structure spécialisée sensible à un stimulus précis provenant soit du milieu extérieur soit du milieu intérieur de l'organisme.

Le fuseau neuromusculaire est un récepteur musculaire sensible à un stimulus mécanique : l'étirement. Cet étirement entraîne la contraction du muscle et cette contraction est proportionnelle à l'étirement.

Comment naît le message nerveux au niveau de ce récepteur ?

Comment le centre nerveux est informé sur l'intensité de l'étirement ?

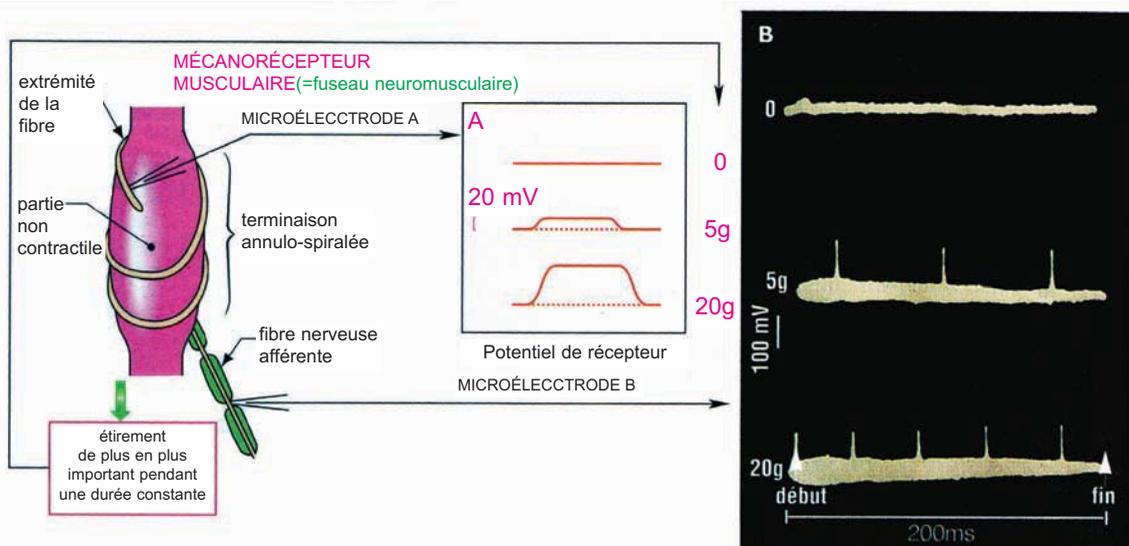
Sur un chat anesthésié, on isole le tendon du muscle extenseur et on y suspend des masses croissantes.

On utilise deux électrodes réceptrices A et B reliées chacune à un oscilloscope :

- l'électrode A est introduite au niveau de l'extrémité de la fibre nerveuse la.

- l'électrode B est insérée dans la fibre afférente au niveau du 2<sup>e</sup> nœud de Ranvier.

On obtient sur l'écran de l'oscilloscope les résultats suivants :



Document 13 : naissance du message nerveux dans le fuseau neuromusculaire

En exploitant les enregistrements obtenus :

- donner les caractéristiques du potentiel de récepteur.
- A quelle valeur minimale (seuil), de ce potentiel, il y a naissance de potentiel d'action dans la fibre afférente ?
- Comment est codée l'augmentation de l'intensité du stimulus par le message nerveux ?

C'est dans le récepteur que se transforme l'énergie du stimulus en potentiel de récepteur puis en potentiel d'action. Cette opération est appelée **transduction**.

Le message nerveux, constitué d'une série de potentiels d'action, est **codé en modulation de fréquence**.

## IV Propagation du message nerveux

### 1. Vitesse de propagation du message nerveux

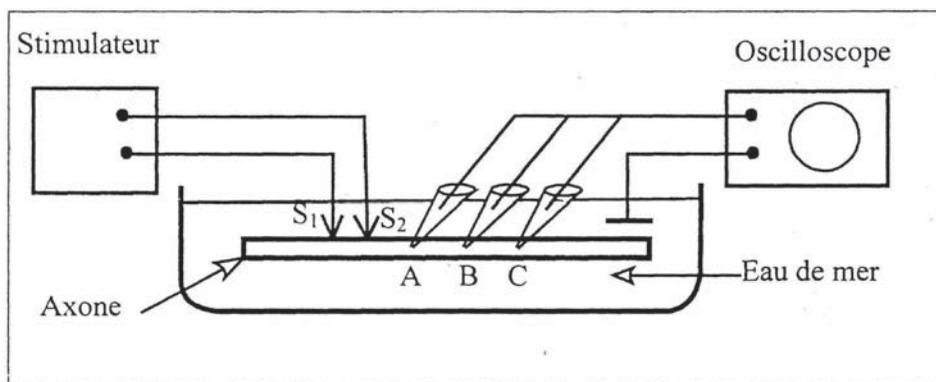
Le message nerveux généré au niveau des récepteurs se propage vers les centres nerveux.

#### Activité 5 : déterminer la vitesse de propagation du message nerveux

Afin de déterminer la vitesse de propagation du message nerveux, on utilise le montage schématisé dans le document suivant (document 14)

On applique une excitation efficace sur l'axone et on enregistre les phénomènes électriques grâce à 3 électrodes réceptrices  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ , placées aux points A, B et C situés à des distances différentes des électrodes excitatrices  $S_1$  et  $S_2$ .

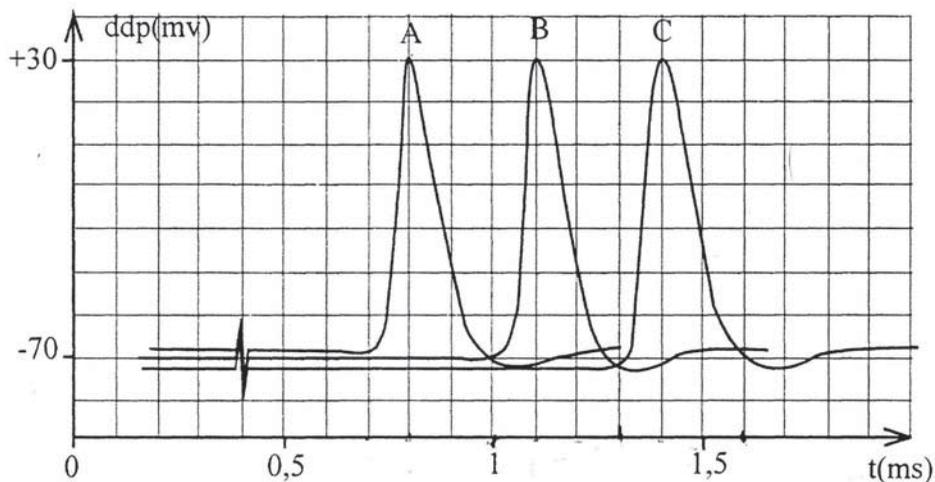
Les courbes A, B et C représentent les enregistrements obtenus :



$$S_2A = 18 \text{ mm}$$

$$S_2B = 36 \text{ mm}$$

$$S_2C = 54 \text{ mm}$$

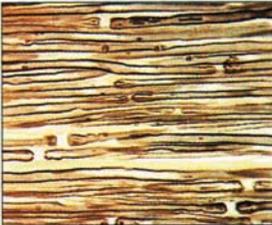


Document 14 : détermination de la vitesse du message nerveux

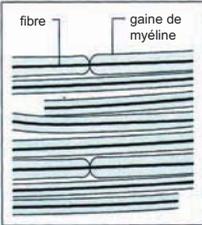
- Calculer la vitesse de propagation du message nerveux.
- Comparer cette vitesse à celle du courant électrique (300 000 Km/S). Conclure.

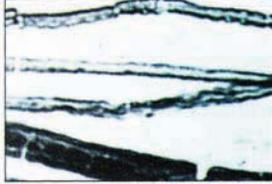
Des mesures de la vitesse de conduction du message nerveux ont été effectuées sur différentes fibres nerveuses. Les résultats sont présentés sur le tableau suivant :

nature des fibres	exemples	diamètre (en microns)	vitesse (en m/s)
fibres nerveuses myélinisées (diamètre = axone ou dendrite+gaine)	-fibres des fuseaux neuromusculaires	13	75
	-fibres des mécanorécepteurs cutanés	9	55
	-fibres de récepteurs profonds à la pression dans les muscles.	3	11
fibres nerveuses amyélinisées (diamètre = axone ou dendrite)	-fibres de récepteurs de la douleur	0,5	1
	-fibre géante de calmar	700	25

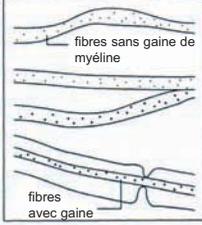


a. Fibres nerveuses myélinisées dissociées(MO,x160)





b. Fibres nerveuses amyélinisées dissociées(MO,x600)

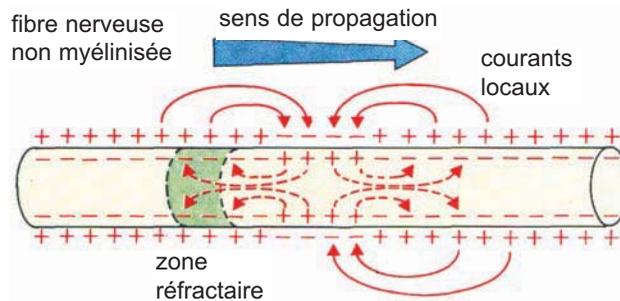


Document 15 : relation entre vitesse de propagation du message nerveux et diamètre de la fibre nerveuse

- Analyser ce tableau et dégager la relation entre la vitesse de propagation du message nerveux et les caractéristiques de la fibre nerveuse.

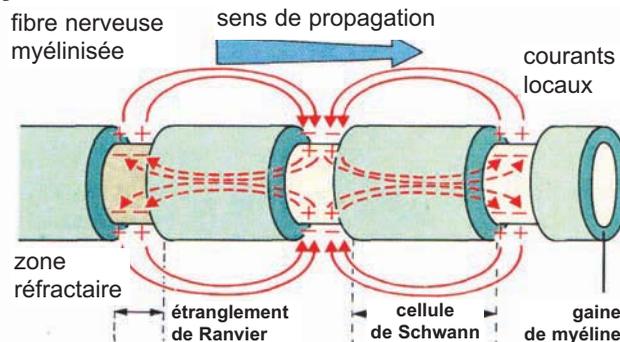
## 2. Mode de propagation du message nerveux

- dans les fibres sans myéline (amyélinisées)



Document 16 : propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse sans myéline

- dans les fibres myélinisées



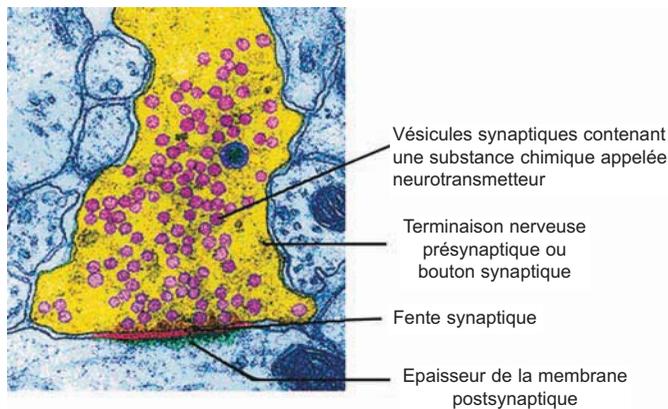
Document 17 : propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse myélinisée

- À partir des documents 16 et 17 expliquer le mécanisme de propagation du message nerveux dans les 2 types de fibres nerveuses ?
- Justifier le fait que la vitesse de propagation du message nerveux soit plus élevée dans les fibres myélinisées que dans les fibres amyélinisées ?

## Activité 6 : expliquer le mécanisme de la transmission synaptique

Dans le tissu nerveux, il existe des sites de jonction entre les neurones, ce sont les synapses. Comment se transmet le message nerveux d'un neurone à un autre au niveau d'une synapse ?

### 1. Les documents ci-dessous représentent l'ultrastructure d'une synapse neuroneuronique



Document 18 : ultrastructure d'une synapse neuroneuronique

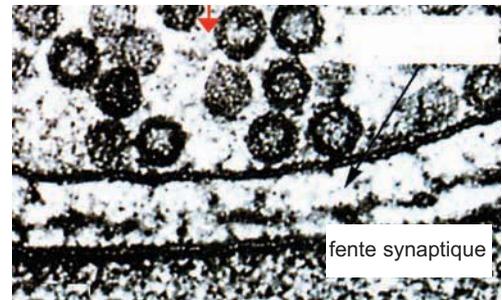


Figure A

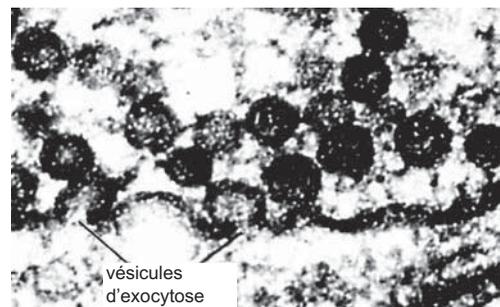
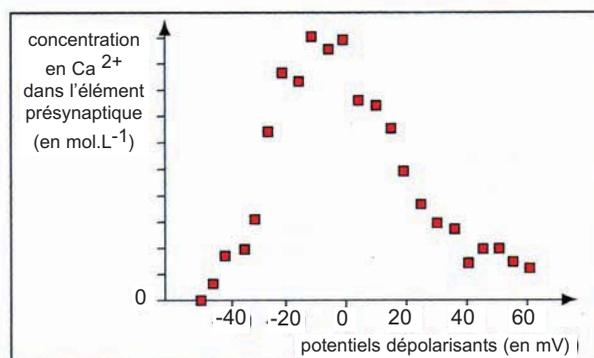


Figure B

Document 19 : état structural d'une synapse  
Figure A : au repos  
Figure B : suite à l'arrivée d'un PA présynaptique"

### 2. Expériences :

- On applique sur un neurone présynaptique des excitations efficaces et on mesure la concentration intracellulaire en calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), on obtient les résultats suivants :



Document 20 : évolution de la concentration intracellulaire en  $\text{Ca}^{2+}$  dans l'élément présynaptique

- En l'absence de potentiel d'action présynaptique l'injection d'ions calcium dans le bouton synaptique provoque l'exocytose des vésicules synaptiques et la libération du neurotransmetteur dans la fente synaptique

La zone épaissie de la membrane postsynaptique contient des récepteurs spécifiques au neurotransmetteur du bouton synaptique du neurone présynaptique.

La fixation du neurotransmetteur sur ces récepteurs déclenche l'ouverture de canaux ioniques de la membrane postsynaptique. Ce sont des **canaux ioniques chimio-dépendants**.

Des mouvements ioniques se produisent et modifient le potentiel de la membrane postsynaptique. Ainsi la synapse fonctionne comme une valve de manière unidirectionnelle.

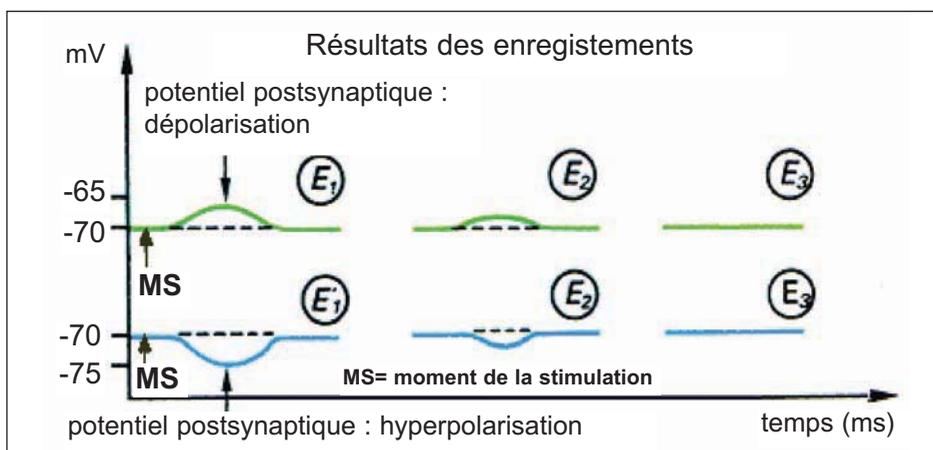
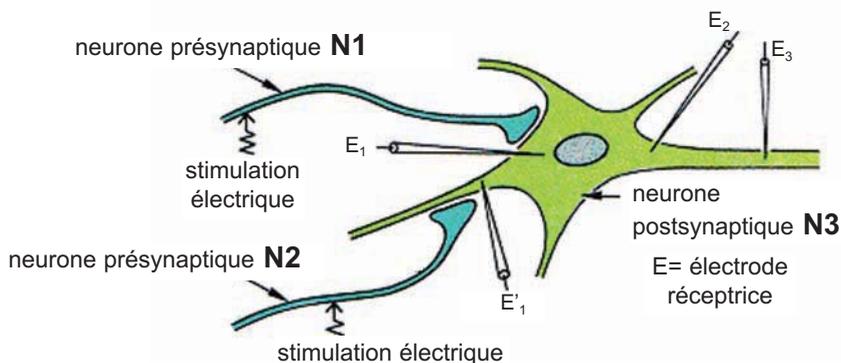
A partir des données précédentes, représenter schématiquement les étapes successives de la transmission synaptique

### 3. Enregistrement des potentiels postsynaptiques

La variation du potentiel postsynaptique, suite à une transmission synaptique, peut être mise en évidence par l'enregistrement dans le neurone postsynaptique, comme le montre le document suivant :

On porte une stimulation électrique efficace sur les neurones présynaptiques  $N_1$  et  $N_2$ . Les potentiels de membrane postsynaptiques sont enregistrés au niveau du neurone  $N_3$  :

- à proximité de la terminaison synaptique ( $E_1, E'_1$ )
- à des points éloignés ( $E_2$  et  $E_3$ ).



Document 21 : enregistrement de potentiels postsynaptiques

- Comparer les variations de potentiel de la membrane postsynaptique dans les deux types de synapses.
- Les physiologistes appellent l'enregistrement  $E_1$  un **potentiel postsynaptique excitateur (PPSE)** et l'enregistrement  $E'_1$  un **potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI)**, Justifier ces appellations.
- Quelles sont les caractéristiques de ces potentiels postsynaptiques (PPS) ?
- Formuler une hypothèse pour expliquer la diminution d'amplitude des PPS en allant de  $E_1$  et  $E'_1$  vers  $E_2$  et  $E_3$ .
- Sachant que le PPSE et le PPSI sont dus à des mouvements d'ions et que les ions impliqués dans ces potentiels sont  $Na^+$  et  $Cl^-$ , proposer une interprétation ionique du PPSE et du PPSI.
- Ces enregistrements montrent l'existence de 2 types fonctionnels de synapses : des **synapses excitatrices** et des **synapses inhibitrices**. Identifier ces deux types de synapses.

Les enregistrements mettent en évidence, en plus du temps de latence dû à la distance entre les électrodes excitatrices et l'électrode réceptrice, un délai entre l'excitation d'un neurone présynaptique et l'enregistrement du potentiel postsynaptique. C'est le **délai synaptique** dont la valeur est de 0,5 milliseconde environ.

- Expliquer l'origine de ce délai synaptique.

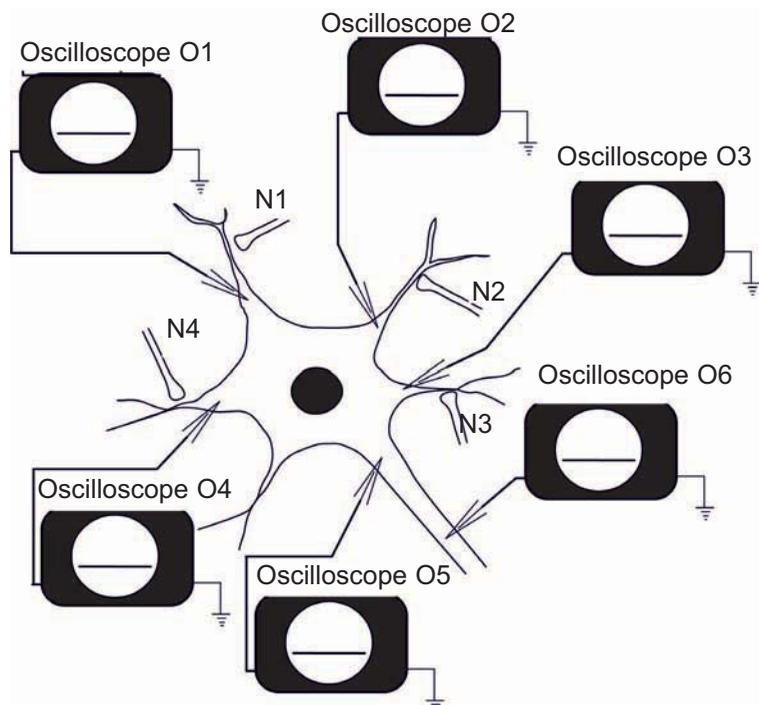
## VI Rôle intégrateur du neurone postsynaptique

### Activité 7 : mettre en évidence le rôle intégrateur du neurone postsynaptique

Au niveau des centres nerveux, un neurone établit plusieurs milliers de synapses avec d'autres neurones. Il peut recevoir simultanément ou successivement un grand nombre de messages nerveux : les uns excitateurs engendrant des PPSE, les autres inhibiteurs engendrant des PPSI.

Comment le neurone postsynaptique intègre-t-il tous ces messages et quel en est le résultat ?

Pour répondre à cette question on réalise des expériences de stimulation et d'enregistrement.



Document 22 : dispositif expérimental de mise en évidence du rôle intégrateur du neurone postsynaptique

Le tableau suivant présente les conditions expérimentales et les enregistrements obtenus:

Conditions expérimentales	Enregistrements sur les oscilloscopes					
	O1	O2	O3	O4	O5	O6
On applique des excitations efficaces isolées non simultanées sur les neurones : N1						
On applique plusieurs excitations efficaces sur le neurone N1 :  -2 excitations peu rapprochées  -2 excitations plus rapprochées  -3 excitations plus rapprochées						



Conditions expérimentales	Enregistrements sur les oscilloscopes					
	O1	O2	O3	O4	O5	O6
On applique plusieurs excitations efficaces sur le neurone N3 :						
-2 excitations peu rapprochées						
-2 excitations plus rapprochées						
- On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones : N1, N2 et N4						
- On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones : N1, N2 et N3						
- On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones : N1, N2, N3 et N4						

... présynaptiques par le neurone postsynaptique

- A partir de l'analyse des données du document 23, distinguer les synapses excitatrices et les synapses inhibitrices.
- Dans quelles conditions obtient-on un potentiel d'action postsynaptique ?
- Quelles propriétés des PPS peut-on dégager en comparant les enregistrements en O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>4</sub> d'une part et en O<sub>5</sub> et O<sub>6</sub> d'autre part ?
- A partir de toutes ces données, expliquer comment le neurone postsynaptique intègre les messages nerveux provenant des neurones présynaptiques.

## VII *La coordination de l'activité des muscles antagonistes au cours du réflexe myotatique*

Au cours du réflexe myotatique, la contraction du muscle étiré est accompagnée du relâchement du muscle antagoniste. Cette coordination entre les deux muscles est nécessaire à la réalisation du mouvement.

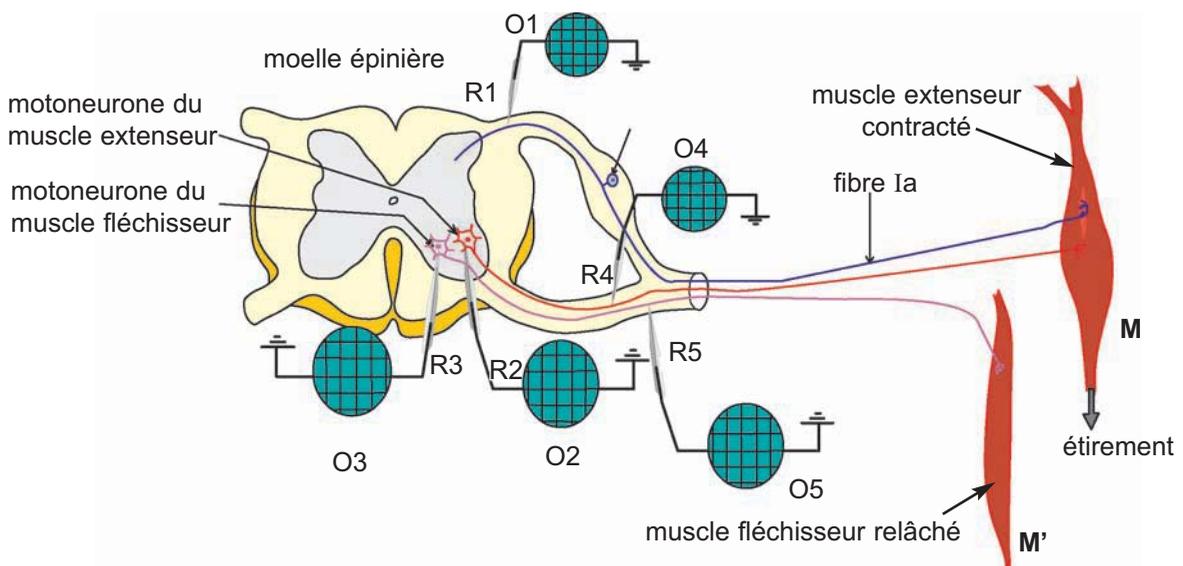
### Activité 8 : expliquer le mécanisme de la coordination des muscles antagonistes

Comment expliquer la contraction du muscle étiré et le relâchement simultané du muscle antagoniste ?

Pour répondre à cette question on réalise les expériences suivantes (voir document 24)

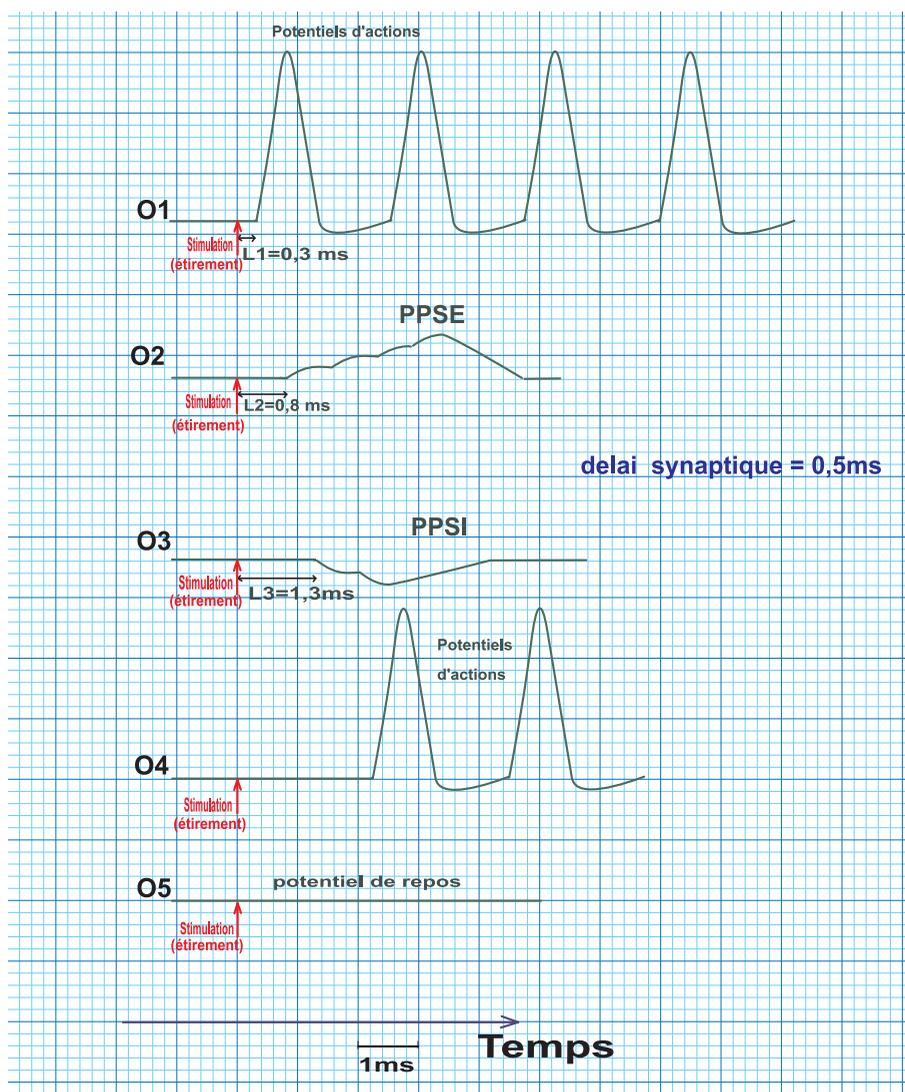
On étire le muscle M.

On enregistre l'activité électrique au niveau des fibres sensibles Ia, des corps cellulaires et des fibres nerveuses motrices qui se dirigent vers le muscle étiré M et vers le muscle antagoniste M'.



Document 24 : dispositif d'enregistrement de l'activité électrique du neurone sensitif et de neurones moteurs au cours du réflexe myotatique

Les enregistrements obtenus au niveau des oscilloscopes sont présentés dans le document 25 suivant :



Document 25 : résultats des enregistrements

- Analyser les enregistrements du document 25 et expliquer leur origine.
- Exploiter ces résultats pour expliquer la coordination entre les muscles M et M'.
- Utiliser les données sur les temps de latences ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  ...) pour déterminer le nombre de synapses entre le neurone sensitif et les neurones moteurs du muscle extenseur et du muscle fléchisseur.

## Activité 9 : reconstituer le circuit anatomique intervenant dans le réflexe myotatique

- Utiliser les données des activités précédentes pour construire un schéma de synthèse regroupant tous les éléments anatomiques mis en jeu dans le réflexe myotatique et leurs relations

# Bilan des activités et synthèse

## I Le réflexe myotatique

c'est une contraction involontaire d'un muscle en réponse à son propre étirement.

Le réflexe rotulien et achilléen sont des exemples de réflexe myotatique.

Ces réflexes jouent un rôle prépondérant dans le maintien de la posture (position du corps)

Le réflexe myotatique met en jeu les éléments anatomiques suivants :

### a- les fuseaux neuromusculaires :

- c'est un récepteur sensoriel où naît le message nerveux suite à l'étirement du muscle (mécanorécepteur). Chaque fuseau neuromusculaire est constitué d'un groupe de fibres musculaires entourées d'une capsule conjonctive. Chaque fibre est formée d'une zone médiane non contractile autour de laquelle s'enroule une ramification d'une fibre nerveuse sensitive de type Ia.

### b- des fibres sensibles afférentes :

- Ce sont les dendrites de neurones sensitifs ayant le corps cellulaire dans le ganglion spinal de la racine rachidienne dorsale. Ces fibres conduisent le message nerveux né dans les fuseaux neuromusculaires vers le centre nerveux : la moelle épinière.

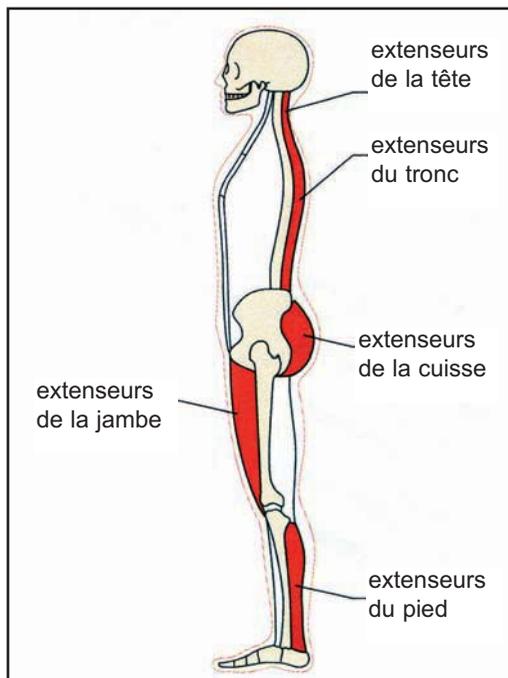
### c- La moelle épinière :

- c'est le centre nerveux des réflexes myotatiques qui sont donc des réflexes médullaires. Le message nerveux sensitif est transformé en message nerveux moteur envoyé vers le muscle.

### d- Des fibres nerveuses motrices efférentes :

- Ces fibres sont les axones des neurones moteurs ou motoneurones, dont le corps cellulaire est situé dans la corne antérieure de la substance grise de la moelle épinière. Elles empruntent la racine rachidienne ventrale ou antérieure, puis le nerf rachidien et transmettent le message moteur aux muscles concernés

e- Les organes effecteurs : ce sont le muscle étiré et son antagoniste.



Muscles extenseurs intervenant dans le maintien de la station debout (posture dressée)

## II Le message nerveux

### 1- Nature et origine du message nerveux

#### a- Le potentiel de repos (PR)

En l'absence d'excitation, le neurone est caractérisé par l'existence d'une différence de potentiel (d.d.p) électrique entre la face interne et la face externe de membrane : c'est le **potentiel de repos ou potentiel de membrane**, il est de l'ordre de **-70 millivolts**. Il est exprimé négativement parce que l'intérieur du neurone est négatif par rapport à l'extérieur qui est positif. Ainsi la membrane cellulaire au repos est **polarisée**.

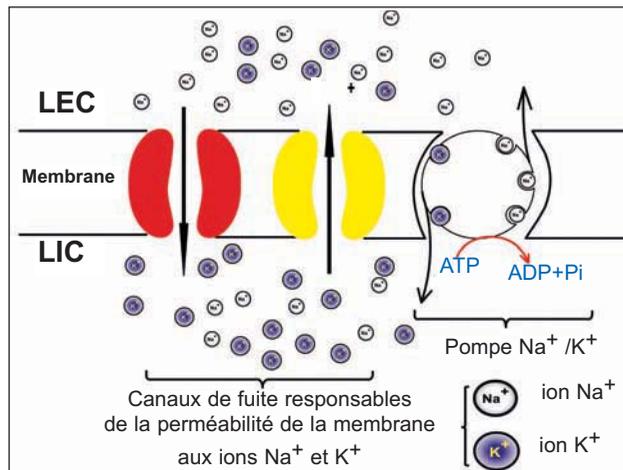
#### b- Origine du potentiel de repos

Le potentiel de repos s'explique par la répartition inégale des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de part et d'autre de la membrane du neurone.

(activité 1)

La perméabilité passive de la membrane aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  ne suffit pas pour expliquer la différence de concentration de ces ions de part et d'autre de la membrane. Le maintien de cette inégalité de concentration aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  est dû à l'action de la pompe  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ .

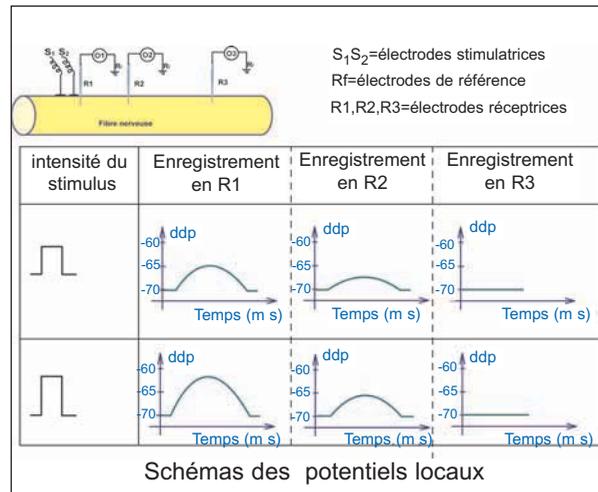
C'est une enzyme qui traverse la membrane, capture les ions  $\text{Na}^+$  situés à l'intérieur et les expulse vers l'extérieur, de même, elle prend les ions  $\text{K}^+$  de l'extérieur et les ramène à l'intérieur. Ce transport se fait contre le gradient de concentration de ces ions, il nécessite de l'énergie sous forme d'ATP. L'enzyme est une ATPase qui décompose l'ATP en ADP+ Pi et libère de l'énergie qui sert à transporter les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  à travers la membrane.



Document : Schéma des canaux de fuite et de la pompe  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$

### c- Le potentiel local

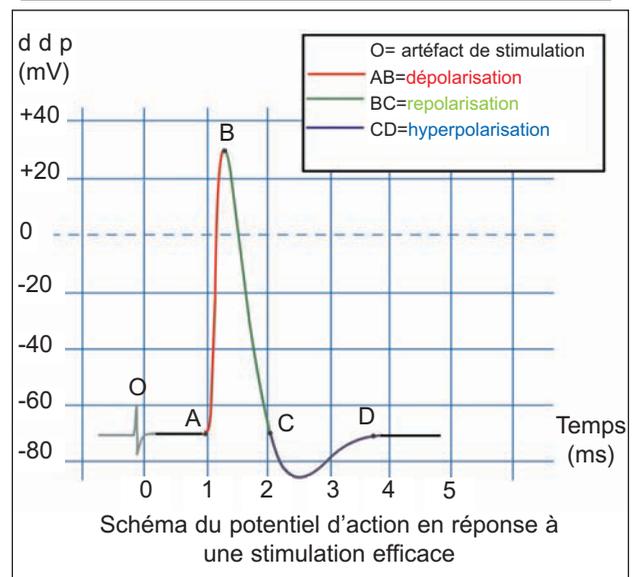
Lorsqu'on stimule, par des électrodes reliées à un générateur de courant électrique, une fibre nerveuse avec des intensités croissantes, on enregistre à l'aide d'une microélectrode reliée à l'oscilloscope, des dépolarisations dont l'amplitude croît avec l'intensité et qui se propagent sur une courte distance en diminuant d'amplitude en fonction de la diminution de l'intensité du champ électrique créé par la stimulation : ce sont des **potentiels locaux**.



### d- Le potentiel d'action (PA)

Si l'intensité de stimulation atteint ou dépasse une valeur-seuil (intensité liminaire), on enregistre une variation de potentiel appelée : **potentiel d'action** qui a les caractéristiques suivantes :

- une amplitude constante de l'ordre de 100 millivolts.
- une durée constante d'environ 1 milliseconde.
- une vitesse qui varie de  $30 \text{ ms}^{-1}$  à  $100 \text{ ms}^{-1}$  (alors que le courant électrique a une vitesse de  $300000000 \text{ ms}^{-1}$ ).



**Remarques :**

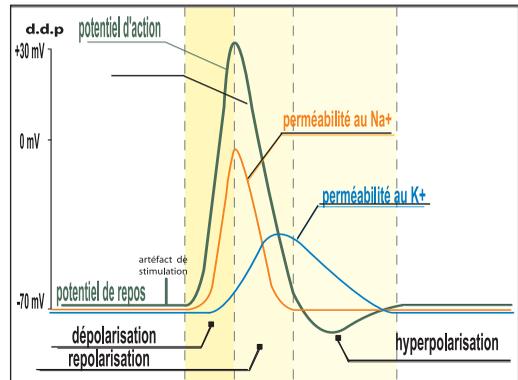
- le potentiel d'action se produit chaque fois que la dépolarisation provoquée par la stimulation fait atteindre au potentiel de membrane une valeur-**seuil** dite le seuil de potentiel. Sa valeur est de -50 mV
- avec une intensité  $\geq$  au seuil on obtient d'emblée une réponse maximale : **C'est la loi de tout ou rien.**
- la fibre nerveuse, après avoir été le siège d'un potentiel d'action suite à une stimulation efficace, ne peut réagir immédiatement à une nouvelle stimulation pendant quelques millisecondes : c'est la **période réfractaire.**

(activité 2)

**e- Origine ionique du potentiel d'action**

La membrane de la fibre nerveuse joue un rôle fondamental dans la production du potentiel d'action.

On a démontré que les phases du potentiel d'action correspondent à des modifications passagères de la perméabilité membranaire aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ . Lorsque, suite à une stimulation  $\geq$  seuil, le potentiel de la membrane atteint le seuil (-50mV), des canaux à  $\text{Na}^+$  s'ouvrent permettant l'entrée d'un flux d'ions  $\text{Na}^+$  à l'intérieur de la fibre, ce qui provoque sa dépolarisation de -70 à +30 mV, l'amplitude est d'emblée maximale.



Lorsque le potentiel de la membrane atteint +30 mV, les canaux à  $\text{K}^+$  s'ouvrent laissant sortir un flux d'ions  $\text{K}^+$  ; les ions  $\text{K}^+$  continuent à sortir après la fin de la phase de repolarisation, ce qui explique l'hyperpolarisation.

Relation entre les phases du potentiel d'action et la perméabilité membranaire aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$

Les canaux à  $\text{Na}^+$  et à  $\text{K}^+$  sont **des protéines membranaires** qui, sous l'effet de la variation du potentiel de membrane, changent de structure moléculaire et laissent entrer ou sortir les ions. C'est pour cette raison qu'ils sont appelés **canaux voltage-dépendants.**

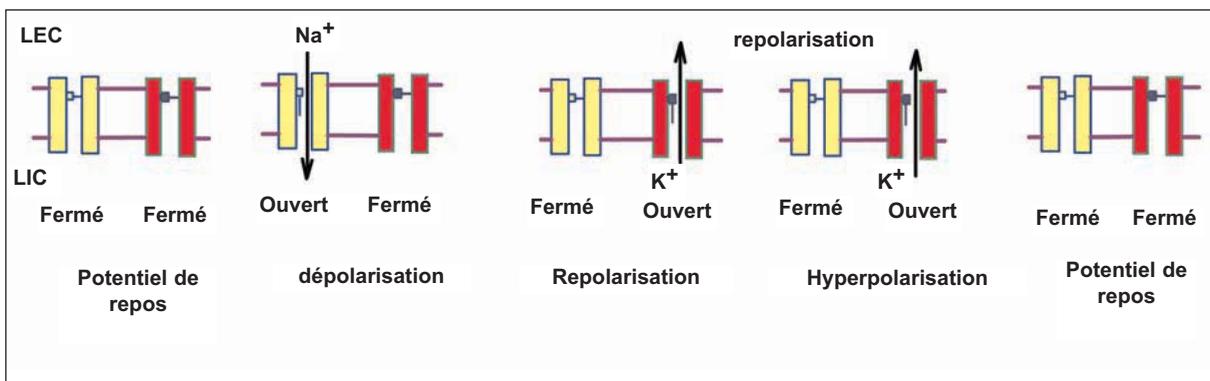


Schéma du fonctionnement des canaux ioniques voltage-dépendants au  $\text{Na}^+$  et au  $\text{K}^+$  au cours du potentiel d'action

**f- Explication de la période réfractaire :** Les canaux voltage dépendants au  $\text{Na}^+$  se referment rapidement après la phase de dépolarisation et demeurent fermés pendant quelques millisecondes, ce qui explique l'existence de la période réfractaire.

Le retour à la polarisation normale de la membrane (potentiel de repos) se fait grâce à l'activité de la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  après l'hyperpolarisation.

(activité 3)

## 2- Naissance d'un message nerveux au niveau des récepteurs sensoriels :

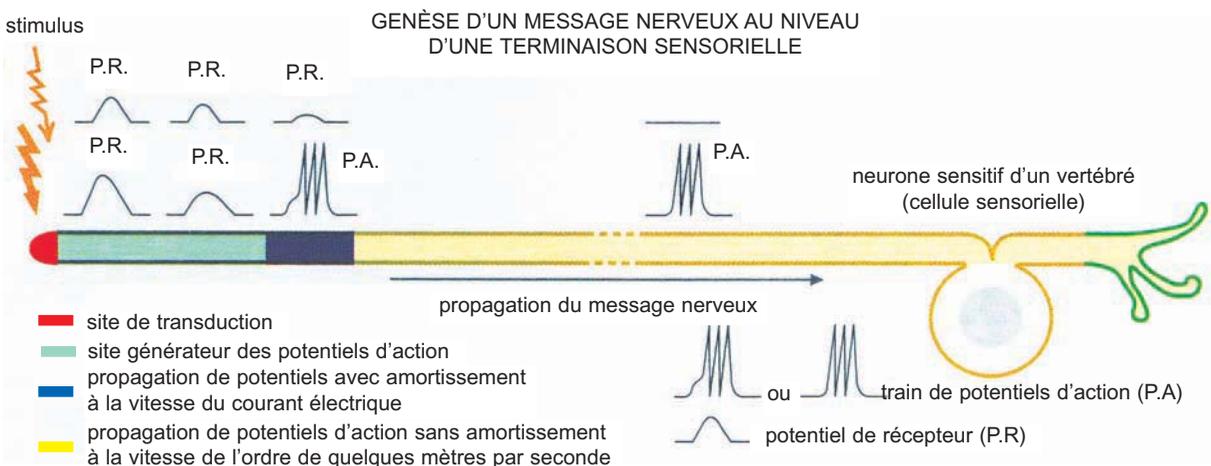
Dans l'organisme, le message nerveux prend naissance au niveau de certaines structures nerveuses qui sont les **récepteurs sensoriels**. Ces récepteurs sont des cellules nerveuses spécialisées, capables de détecter des stimulations provenant soit du milieu extérieur soit du milieu intérieur.

Chaque récepteur réagit préférentiellement à une stimulation de nature spécifique. Le fuseau neuromusculaire par exemple réagit à l'étirement (stimulus mécanique). Le corpuscule de Pacini est un 2ème exemple de récepteur sensoriel. Il est localisé dans la peau et réagit à la pression exercée sur cet organe (stimulus mécanique). Il intervient dans la sensibilité tactile.

Quelque soit le récepteur sensoriel, il comprend un site transducteur sur lequel agit le stimulus spécifique et déclenche un potentiel de récepteur dont l'amplitude est proportionnelle à l'intensité du stimulus et qui se propage localement en s'amortissant. Quand il arrive au site générateur (lorsque l'amplitude du potentiel récepteur est  $\geq$  au seuil), un potentiel d'action naît au niveau du site générateur (zone de la fibre nerveuse contenant les premiers canaux ioniques voltage-dépendants). Ainsi le récepteur sensoriel convertit l'énergie du stimulus en signaux électriques (= potentiels de récepteur).

Cette conversion s'appelle **transduction sensorielle**.

A partir du seuil, les stimulations du récepteur déclenchent, au niveau du site générateur, la naissance d'un train de PA identiques et dont la fréquence augmente avec l'intensité du stimulus. Cette fréquence correspond donc à une information = intensité du stimulus. On dit que le message nerveux sensoriel est **codé en modulation de fréquence** de potentiel d'action.



(activité 4)

### 3- Propagation du message nerveux le long des fibres nerveuses :

#### a- Vitesse de propagation

La stimulation efficace ( $\geq$  seuil) d'une fibre nerveuse en un point donne naissance à un potentiel d'action qui se propage le long de la fibre, avec une vitesse qui varie de  $30 \text{ ms}^{-1}$  jusqu'à  $100 \text{ ms}^{-1}$  chez les mammifères.

La vitesse dépend du diamètre des fibres nerveuses. Les fibres de plus gros diamètre conduisent le message nerveux plus rapidement. La vitesse dans les fibres myélinisées est donc plus grande que dans les fibres amyélinisées.

#### b- Mécanisme de la propagation du PA

En fait, le potentiel d'action ne se déplace pas le long de la fibre nerveuse, mais chaque potentiel déclenche un autre et ceci de proche en proche, par l'effet des courants locaux. L'existence du potentiel d'action en une zone de la fibre nerveuse crée entre cette zone et la zone voisine des courants électriques locaux qui entraînent une dépolarisation de la membrane de cette zone voisine par un déplacement électrique (les charges positives sont attirées par les charges négatives).

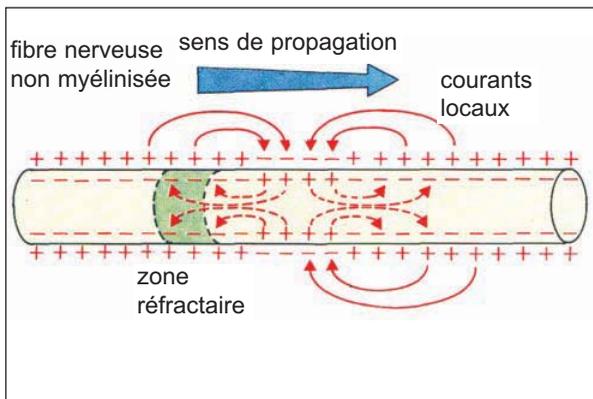
Ainsi le PA est continuellement régénéré tout au long de la fibre nerveuse.

Pendant un bref instant, la zone qui vient d'être le siège du PA reste inexcitable. L'existence de cette **période réfractaire** explique que le PA ne puisse pas revenir en arrière, on parle d'une propagation unidirectionnelle du potentiel d'action.

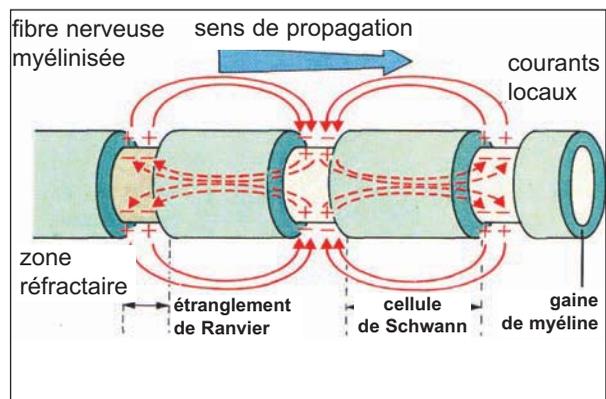
- Dans les fibres amyélinisées, la propagation se fait de proche en proche, elle est continue.
- Dans les fibres myélinisées, la propagation est discontinue car les charges électriques sautent d'un nœud de Ranvier au nœud voisin.

Ceci est dû au fait que la myéline est un isolant électrique et que les canaux ioniques voltage-dépendants sont localisés au niveau des nœuds de Ranvier. On parle dans ce cas d'une propagation saltatoire qui est plus rapide que la propagation continue.

- Dans les conditions physiologiques, le sens de propagation du message nerveux suit toujours la même direction qui va des dendrites au corps cellulaire et du corps cellulaire aux terminaisons de l'axone.



Propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse amyélinisée



Propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse myélinisée

(activité 5)

## 4- La transmission synaptique

### a- Structure de la synapse neuro-neuronique

La synapse neuro-neuronique comporte :

- un élément présynaptique : formé d'une terminaison nerveuse de l'axone du neurone présynaptique. Cette terminaison contient des **vésicules synaptiques** contenant une substance chimique impliquée dans la transmission du message nerveux et appelée pour cette raison un **neurotransmetteur**.
- Une fente synaptique : espace séparant la membrane présynaptique et la membrane postsynaptique.
- Un élément postsynaptique : formé par la région membranaire épaissie et spécialisée du neurone postsynaptique. Elle contient des récepteurs spécifiques au neurotransmetteur libéré par l'élément présynaptique.

### b- Le mécanisme de la transmission synaptique

Le mécanisme de la transmission synaptique comporte la succession des évènements suivants :

- arrivée du message nerveux dans l'élément présynaptique, ce qui entraîne la dépolarisation de la membrane présynaptique et l'ouverture des canaux calciques voltage-dépendants.
- entrée des ions  $Ca^{2+}$  qui active la libération du neurotransmetteur par exocytose.
- migration du neurotransmetteur vers le membrane postsynaptique puis sa fixation sur les récepteurs spécifiques de cette membrane, ce qui provoque l'ouverture de canaux ioniques chimiodépendants
- mouvements ioniques à travers ces canaux ce qui entraîne une modification du potentiel de la membrane postsynaptique appelée potentiel postsynaptique (PPS).
- l'inactivation rapide du neurotransmetteur dans la fente synaptique interrompt la transmission synaptique.

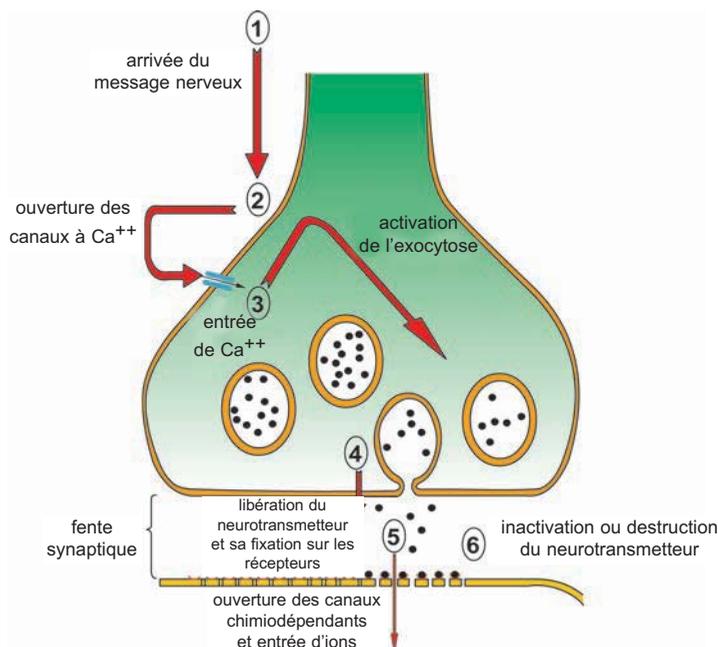


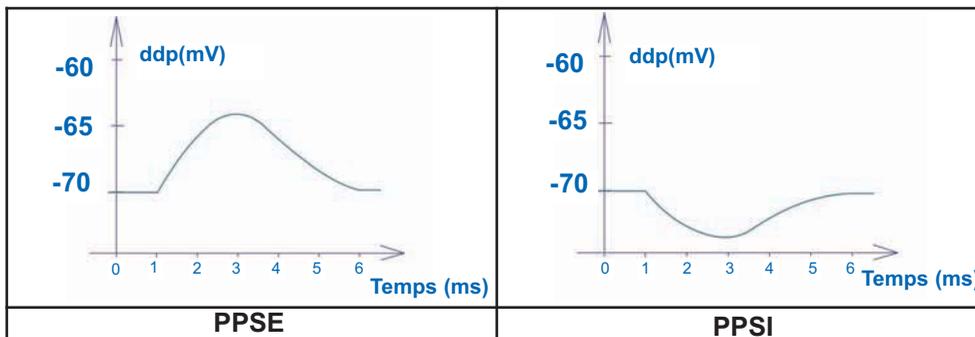
Schéma général du fonctionnement d'une synapse neuro-neuronique

### c- Synapse excitatrice et synapse inhibitrice

On distingue deux types de synapse neuroneuronique selon l'effet du neurotransmetteur sur le neurone postsynaptique :

- **La synapse excitatrice** : lors de l'ouverture des canaux chimiodépendants, après la fixation du neurotransmetteur sur les récepteurs de la membrane postsynaptique, il y a entrée massive d'ions  $\text{Na}^+$  dans le neurone postsynaptique ce qui provoque une légère dépolarisation du neurone postsynaptique appelée **potentiel postsynaptique excitateur ou PPSE**.

- **La synapse inhibitrice** : lors de l'ouverture des canaux chimiodépendants, il y a entrée des ions  $\text{Cl}^-$  dans le neurone postsynaptique et sortie des ions  $\text{K}^+$ , ce qui provoque une hyperpolarisation du neurone postsynaptique appelée **potentiel postsynaptique inhibiteur ou PPSI**. Le neurotransmetteur inhibiteur le plus fréquent est l'acide gamma-aminobutyrique (GABA)



(activité 6)

### 5- L'intégration des PPS par le neurone postsynaptique

Dans les centres nerveux, chaque neurone postsynaptique peut recevoir des messages nerveux transmis, au niveau des synapses, par plusieurs autres neurones présynaptiques. Cette transmission se traduit par l'apparition au niveau du neurone postsynaptique de potentiels postsynaptiques ou PPS (PPSE et PPSI). Les PPSE et PPSI se propagent à la surface des dendrites et du corps cellulaire du neurone postsynaptique, de façon passive et en diminuant d'amplitude jusqu'au niveau du segment initial ou cône axonique. La diminution d'amplitude des PPS s'explique par la diminution de l'intensité du champ électrique en s'éloignant de la synapse.

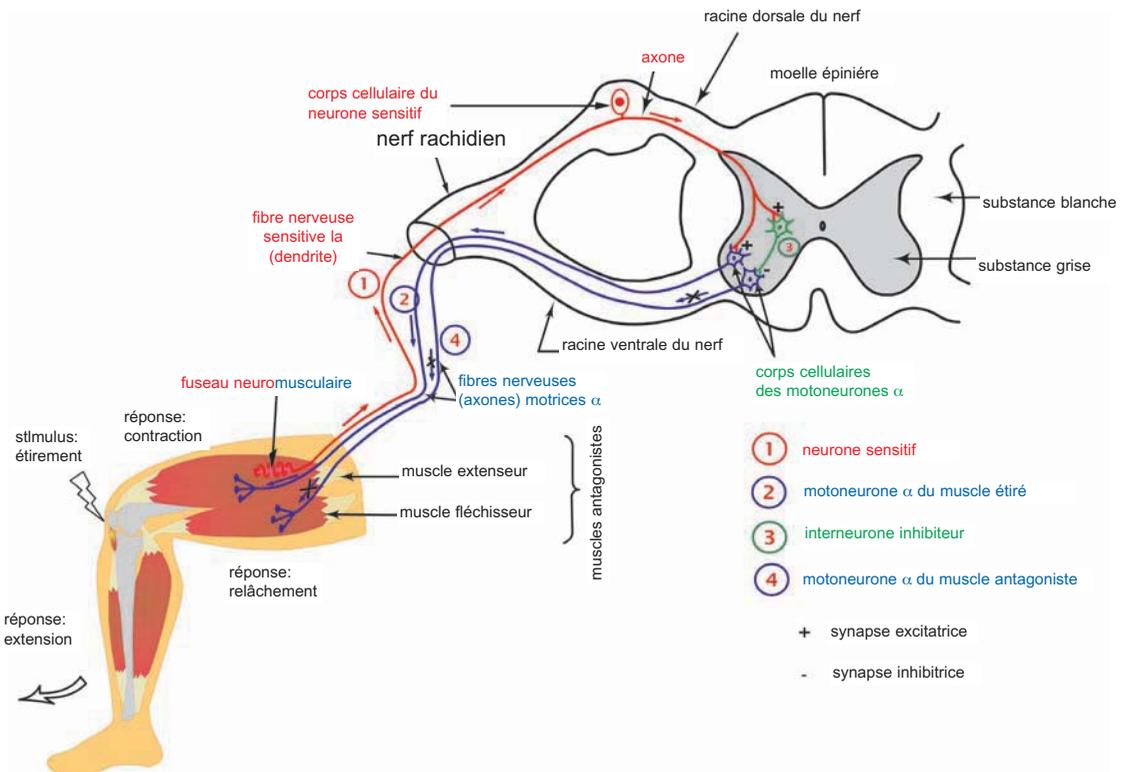
Les potentiels d'action ne peuvent être déclenchés qu'au niveau de ce segment initial de l'axone ou cône axonique du neurone postsynaptique.

Lorsque plusieurs neurones présynaptiques transmettent leur message simultanément au même neurone postsynaptique par des synapses excitatrices et inhibitrices, le potentiel postsynaptique résultant a une amplitude égale à la somme algébrique des PPS unitaires. On parle dans ce cas de **sommation spatiale**. Si cette somme atteint, au niveau du cône axonique ou segment initial, le seuil de potentiel, un potentiel d'action est déclenché et se propage le long du neurone postsynaptique.

Lorsqu'un même neurone présynaptique transmet des potentiels d'action très rapprochés à un neurone postsynaptique par une synapse excitatrice ou inhibitrice, le PPS résultant a une amplitude égale à la somme des PPS successifs provenant de la même synapse : on parle d'une **sommation temporelle** des PPS. Si le PPS résultant atteint au niveau du cône axonique ou segment initial, le seuil de potentiel il déclenche un potentiel d'action qui se propage le long du neurone postsynaptique.

On appelle **intégration postsynaptique** la capacité du neurone postsynaptique d'intégrer à tout instant les informations qui lui parviennent des neurones présynaptiques par sommation temporelle et spatiale. Si la somme obtenue est égale ou supérieure au seuil, il y a émission d'un message nerveux (potentiels d'actions), si elle y est inférieure, aucun message n'est transmis.

(activité 7)



Structures anatomiques intervenant dans le réflexe myotatique

(activité 8)

## 6- Fonctionnement du circuit nerveux du réflexe myotatique

Au repos les fuseaux neuromusculaires ne sont pas totalement inactifs. Ils présentent une légère activité due à un léger étirement des muscles extenseurs au niveau des articulations et qui a pour conséquence l'arrivée permanente de messages nerveux moteurs vers le muscle lui imposant une légère contraction appelée le **tonus musculaire**.

Au cours du réflexe **myotatique**, la contraction du muscle étiré est accompagnée d'une chute du tonus du muscle antagoniste. Cette **coordination** de l'activité des muscles antagonistes, au cours du réflexe myotatique, rend plus efficace la réponse réflexe et s'explique par l'**innervation réciproque**. En effet les messages nerveux sensitifs provenant des fuseaux neuromusculaires du muscle étiré ont une double action :

- Ils activent directement les motoneurones du même muscle et entraînent sa contraction. Ce circuit excitateur est donc constitué de chaînes de 2 neurones (un neurone sensitif et un motoneurone) s'articulant au niveau de la moelle épinière par une seule synapse : le **réflexe myotatique est un réflexe monosynaptique**.
- Ils inhibent les motoneurones du muscle antagoniste par l'intermédiaire d'un interneurone inhibiteur situé dans la moelle épinière, ce qui entraîne la chute du tonus de ce muscle. Ce circuit inhibiteur formé de chaînes de trois neurones s'articulant par 2 synapses, est un circuit polysynaptique.

(activité 9)

## EXERCICE 1 Q.C.M :

Relever, pour les items suivants, la ou les réponse(s) correcte(s)

### 1- Le réflexe myotatique :

- a- est un réflexe médullaire
- b- ne met en jeu que le muscle extenseur
- c- met en jeu des récepteurs situés dans la peau
- d- joue un rôle important dans le maintien de la posture.

### 2- Les fuseaux neuromusculaires :

- a- sont des effecteurs du réflexe myotatique
- b- n'existent que dans les muscles extenseurs
- c- sont des mécanorécepteurs
- d- sont en relation directe avec les motoneurones.

### 3- Le potentiel de repos (PR) d'un neurone :

- a- est une ddp entre l'intérieur et l'extérieur de la membrane du neurone
- b- est dû à la répartition inégale des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de part et d'autre de la membrane
- c- est maintenu constant grâce au fonctionnement de la pompe à  $\text{Na}^+$  et à  $\text{K}^+$
- d- a une valeur de  $-50$  mV.

### 4- Le potentiel d'action (PA) d'un neurone :

- a- est déclenché par une stimulation d'intensité supérieure au seuil
- b- résulte d'une entrée massive de  $\text{K}^+$  suivie d'une sortie massive de  $\text{Na}^+$
- c- a une amplitude qui augmente avec l'intensité de la stimulation
- d- prend naissance lorsque la dépolarisation de la membrane atteint un seuil de  $-50$  mV.

### 5- Le potentiel d'action du neurone :

- a- est le message nerveux véhiculé sur la fibre nerveuse
- b- est le signal élémentaire invariable du message nerveux
- c- est une dépolarisation suivie d'une repolarisation de la membrane
- d- a une amplitude de  $100$  mV et une durée de  $1$  ms.

### 6- Au niveau du site de transduction d'un récepteur sensoriel :

- a- un stimulus physique ou chimique est traduit en un potentiel de récepteur
- b- un message sensoriel est traduit en un potentiel de récepteur
- c- un stimulus physique ou chimique est traduit en un potentiel d'action
- d- la dépolarisation est proportionnelle à l'intensité du stimulus qui l'a provoquée.

### 7- La propagation d'un PA le long d'une fibre nerveuse :

- a- est unidirectionnelle
- b- met en jeu des canaux voltage-dépendants
- c- met en jeu des courants locaux
- d- se fait de manière saltatoire dans la fibre amyélinisée.

**8- Toute augmentation de l'intensité du stimulus entraîne une augmentation de :**

- a- l'amplitude des potentiels d'action du message nerveux
- b- la durée des potentiels d'action du message nerveux
- c- la fréquence des potentiels d'action du message nerveux
- d- la vitesse de conduction des potentiels d'action du message nerveux.

**9- La synapse neuro-neuronique :**

- a- est excitatrice s'il y a entrée de  $\text{Na}^+$  dans le neurone postsynaptique
- b- est inhibitrice s'il y a entrée de  $\text{Cl}^-$  dans le neurone postsynaptique
- c- est excitatrice s'il y a une dépolarisation dans le neurone postsynaptique
- d- est inhibitrice s'il y a une hyperpolarisation dans le neurone postsynaptique.

**10- Dans une synapse neuro-neuronique, le neurotransmetteur :**

- a- est libéré suite à l'entrée des ions  $\text{Ca}^{++}$  dans la terminaison présynaptique
- b- se fixe sur des récepteurs de la membrane présynaptique
- c- provoque l'ouverture des canaux chimiodépendants de la membrane postsynaptique
- d- provoque toujours une hyperpolarisation dans le neurone postsynaptique.

**11- Une synapse excitatrice activée :**

- a- met en jeu des canaux ioniques voltage-dépendants et des canaux ioniques chimiodépendants
- b- donne naissance à un PPSE au niveau du neurone présynaptique
- c- rapproche le neurone postsynaptique du seuil de naissance d'un PA
- d- provoque une dépolarisation au niveau du neurone postsynaptique.

**12- La sommation spatiale des potentiels postsynaptiques (PPS) a lieu :**

- a- si plusieurs PA très rapprochés arrivent par la même fibre présynaptique
- b- si des PA atteignent simultanément les terminaisons des neurones présynaptiques
- c- uniquement en absence de sommation temporelle
- d- au niveau du cône axonique du neurone postsynaptique.

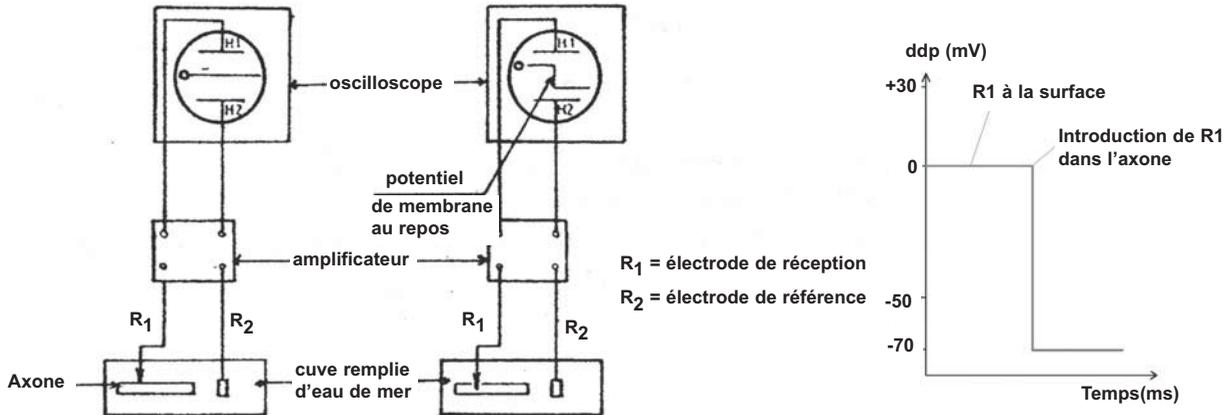
**13- La fonction intégratrice du neurone postsynaptique :**

- a- consiste à faire la somme algébrique des PPSE et des PPSI
- b- consiste à faire la somme des PPSE seulement
- c- consiste à élaborer des messages nerveux à l'origine d'une réponse appropriée
- d- se réalise au niveau du cône axonique.

# Tester les acquis

## EXERCICE 2

Le document suivant présente le dispositif expérimental permettant d'enregistrer le potentiel de repos (PR) d'un axone géant de calmar.

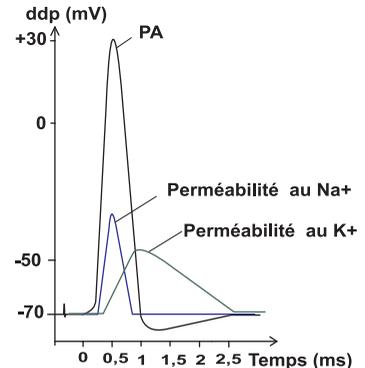


1- Précisez l'origine du potentiel de repos et expliquez, à l'aide de schémas, le mécanisme qui permet de le maintenir à sa valeur constante.

Le document ci-contre montre la relation existant entre le potentiel d'action (PA) et les modifications de la perméabilité de la membrane nerveuse suite à une stimulation électrique efficace.

2- Expliquez le mécanisme de la naissance du message nerveux dans l'axone suite à la stimulation.

3- Analysez la courbe du potentiel d'action en précisant la relation entre ses différentes phases et les modifications de la perméabilité membranaire vis-à-vis des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .



## Corrigé de l'exercice 2

### 1- Origine du PR :

Le PR (ddp transmembranaire de -70mV) est dû à la différence de concentration des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  entre le milieu intracellulaire (MI) et le milieu extracellulaire (ME).

$$\frac{\text{ME } [\text{Na}^+] > [\text{K}^+]}{\text{MI } [\text{K}^+] > [\text{Na}^+]}$$

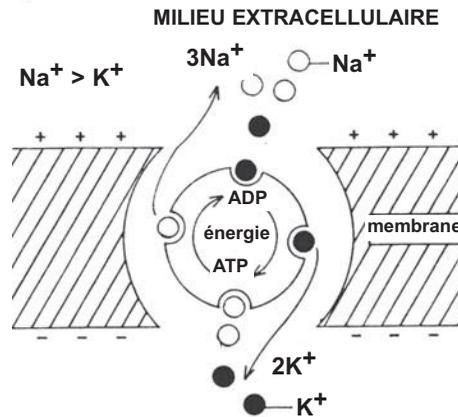
membrane de la fibre

La face externe est chargée positivement, la face interne est chargée négativement.

Le mécanisme qui maintient de PR à sa valeur constante :

C'est surtout la pompe à  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  : c'est un mécanisme qui assure le transport des ions  $\text{Na}^+$  du milieu intracellulaire vers l'extérieur et des ions  $\text{K}^+$  du milieu extracellulaire vers l'intérieur. Il s'agit d'une enzyme : l'ATPase  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  dépendante, capable d'hydrolyser l'ATP et d'utiliser l'énergie ainsi libérée pour transférer les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  contre leur gradient de concentration.

# Tester les acquis

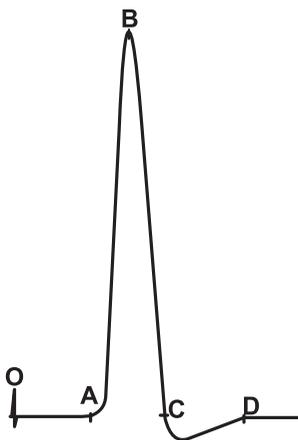


Modèle de la pompe à  $\text{Na}^+/\text{K}^+$

## 2- Mécanisme de la naissance de l'influx nerveux :

Si l'excitation est  $\geq$  au seuil, les canaux membranaires voltage-dépendants à  $\text{Na}^+$  s'ouvrent et un courant de  $\text{Na}^+$  entre à l'intérieur de la fibre ce qui fait augmenter le potentiel électrique et dépolairise la membrane. Puis après un léger retard les canaux voltage dépendants  $\text{K}^+$  s'ouvrent et font sortir les ions  $\text{K}^+$ , ce qui diminue le potentiel et repolarise la membrane. Les ions  $\text{K}^+$  continuent à sortir entraînant une hyperpolarisation. Enfin la pompe à  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  rétablit l'état initial.

## 3- Analyse de la courbe du PA



OA = phase de latence due à la distance entre les électrodes stimulatrices et l'électrode réceptrice.

AB= phase de dépolarisation, durée : 0,5ms.

Cette phase correspond à l'augmentation de la perméabilité membranaire au  $\text{Na}^+$  qui entre dans la fibre, d'où accumulation des charges + à l'intérieur de la fibre.

BC= phase de repolarisation, durée : 0,5ms :

Cette phase correspond à une chute de la perméabilité au  $\text{Na}^+$  et une augmentation de la perméabilité au  $\text{K}^+$  qui sort alors de la fibre, d'où diminution du potentiel à l'intérieur de la fibre et repolarisation.

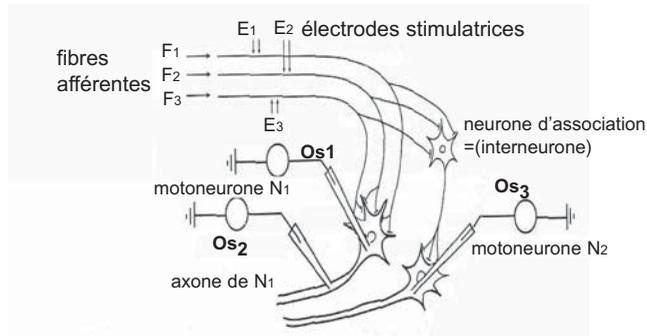
CD= phase d'hyperpolarisation, durée  $\approx$  2ms.

Au cours de cette phase, la perméabilité au  $\text{K}^+$  n'est pas complètement abolie, des ions continuent à sortir après la repolarisation d'où augmentation de la négativité à l'intérieur de la fibre = hyperpolarisation.

## EXERCICE 3

On étudie la transmission des messages nerveux provenant de fibres sensibles afférentes dans la moelle épinière. On réalise un montage expérimental en introduisant une microélectrode dans un motoneurone N1 et une autre dans un motoneurone N2 localisés dans la moelle épinière, de façon à enregistrer l'activité de ces neurones. Une troisième électrode permet d'enregistrer l'activité de l'axone issu du motoneurone N1. On porte des stimulations efficaces de même intensité sur les fibres F1, F2, F3. Les résultats sont enregistrés au niveau des oscilloscopes Os<sub>1</sub>, Os<sub>2</sub> et Os<sub>3</sub> (voir tableau).

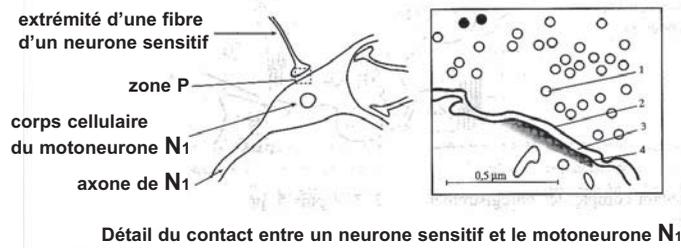
### Montage expérimental



### Enregistrements obtenus

	Enregistrements obtenus en Os <sub>1</sub>	Enregistrements obtenus en Os <sub>2</sub>	Enregistrements obtenus en Os <sub>3</sub>
Premier cas stimulation de F <sub>1</sub>	-70 mV	-70 mV	-70 mV
Deuxième cas stimulation de F <sub>1</sub> +F <sub>2</sub>	-70 mV	-70 mV	-70 mV
troisième cas stimulation de F <sub>1</sub> +F <sub>2</sub> +F <sub>3</sub>	-70 mV	-70 mV	-70 mV

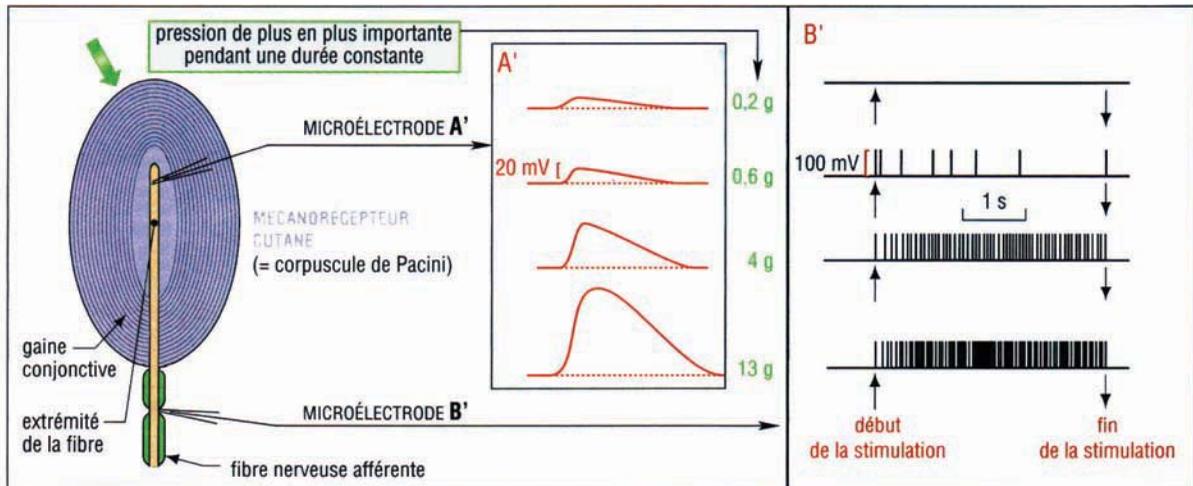
### Résultats des stimulations



- 1- Comment appelle-t-on la zone P du schéma ? Indiquez la légende de chacun des éléments numérotés sur l'électronographie.
- 2- Montrez que le motoneurone a des propriétés intégratrices.
- 3- Identifiez le rôle de l'interneurone
- 4- En utilisant les résultats indiqués dans le tableau, montrez comment prend naissance le message nerveux moteur.

## EXERCICE 4

Le corpuscule de Pacini est un récepteur de la peau sensible aux variations de pression. Le document suivant présente ce récepteur soumis à des pressions croissantes et les enregistrements obtenus sur l'écran de deux oscilloscopes A' et B'.



- 1- En exploitant les données du document, expliquez la naissance d'un message nerveux au niveau de ce récepteur sensoriel.
- 2- Dégagez les points communs sur le plan fonctionnel entre le corpuscule de Pacini et le fuseau neuromusculaire.