

La communication nerveuse

C'est le type de communication entre les différents organes du corps et les différents centres nerveux cérébraux, bulbaires ou médullaires, pour permettre la sensibilité consciente, la motricité volontaire et les différents réflexes.

Cette communication est assurée par un réseau de nerfs qui parcourent tout le corps pour transporter les influx nerveux sensitifs issus des organes sensitifs, et les influx nerveux moteurs vers les organes effecteurs.

Quels sont les caractéristiques du nerf ?

Comment se forment les influx nerveux ?

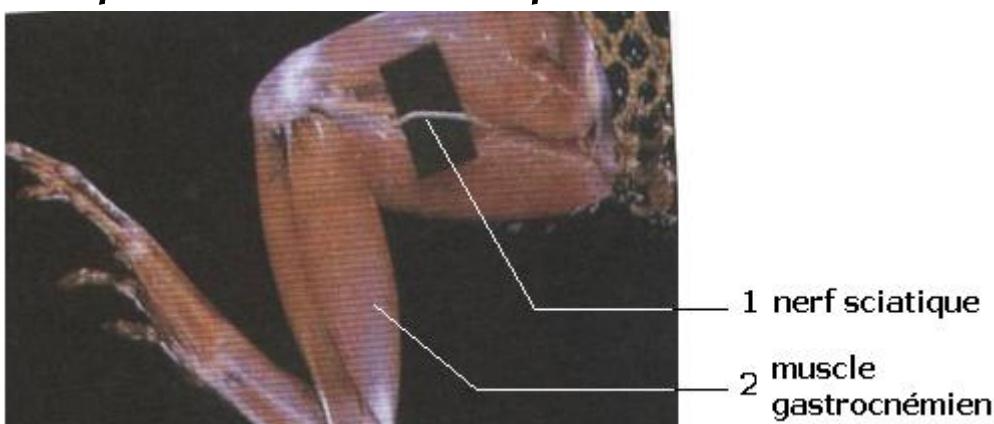
Comment les influx nerveux sont transférés à travers les nerfs aux organes ?

1- Les caractéristiques du nerf :

a- Mise en évidence :

- Expérience :

Par dissection on isole le nerf sciatique de la patte postérieure d'une grenouille décérébrée et on porte une excitation sur le nerf



- Résultat :

Contraction du muscle gastrocnémien

- Interprétation :

L'excitation du nerf a produit un influx nerveux qui était conduit au muscle

- Conclusion :

Le nerf a deux caractéristiques, il est excitable et conducteur

b- Etude de l'excitabilité du nerf :

- EXERCICE :

Sur un nerf isolé on place des électrodes excitatrices liées à un générateur par l'intermédiaire d'un amplificateur qui permet de régler l'intensité et la durée de l'excitation ,

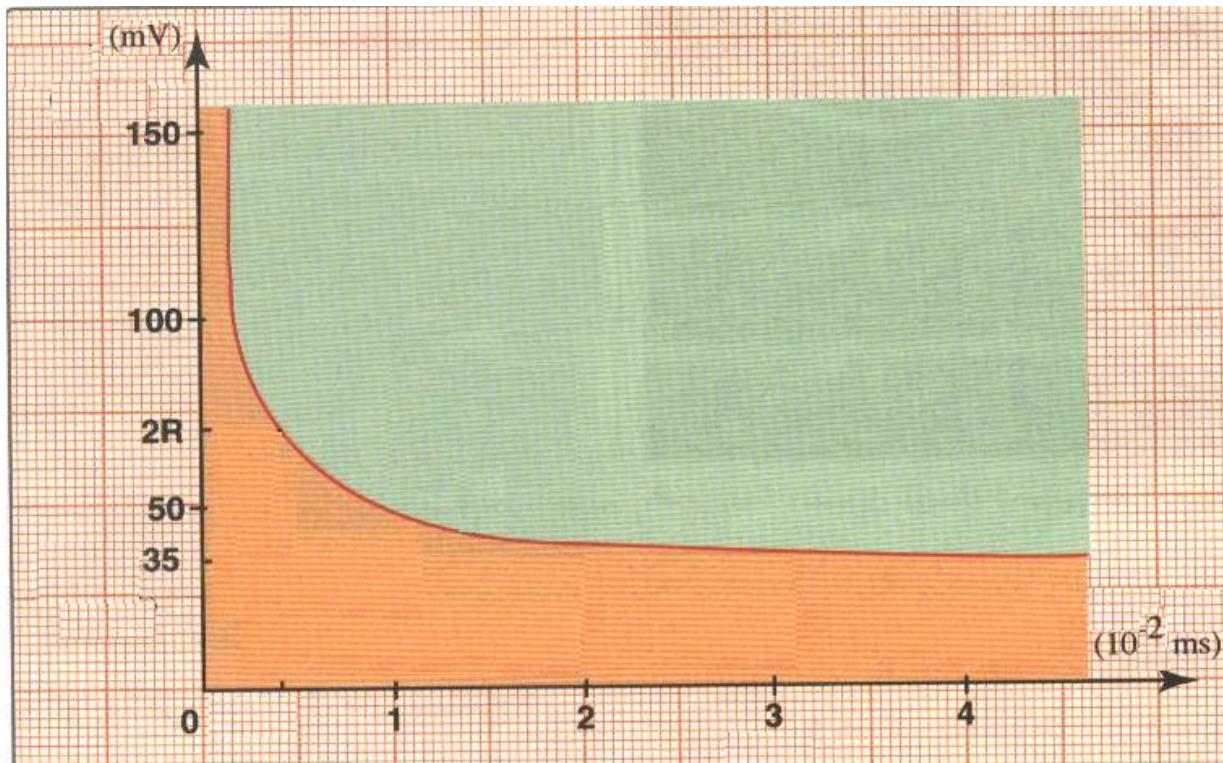
on applique au nerf des excitations d'intensité croissante ,et on détermine pour chaque excitation le temps nécessaire à la réponse du nerf , les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

<i>Intensité de l'excitation I en mV</i>	<35	35	37	40	47	55	65	94	112	120
<i>Temps de l'excitation t en ms</i>	<i>Ne répond pas</i>	4	2	1.5	1	0.6	0.4	0.2	0.15	0.1

- Sur un repère orthonormé, établir la courbe d'excitabilité du nerf $I = f(t)$?
- Déterminer graphiquement les caractéristiques de l'excitabilité de ce nerf ?

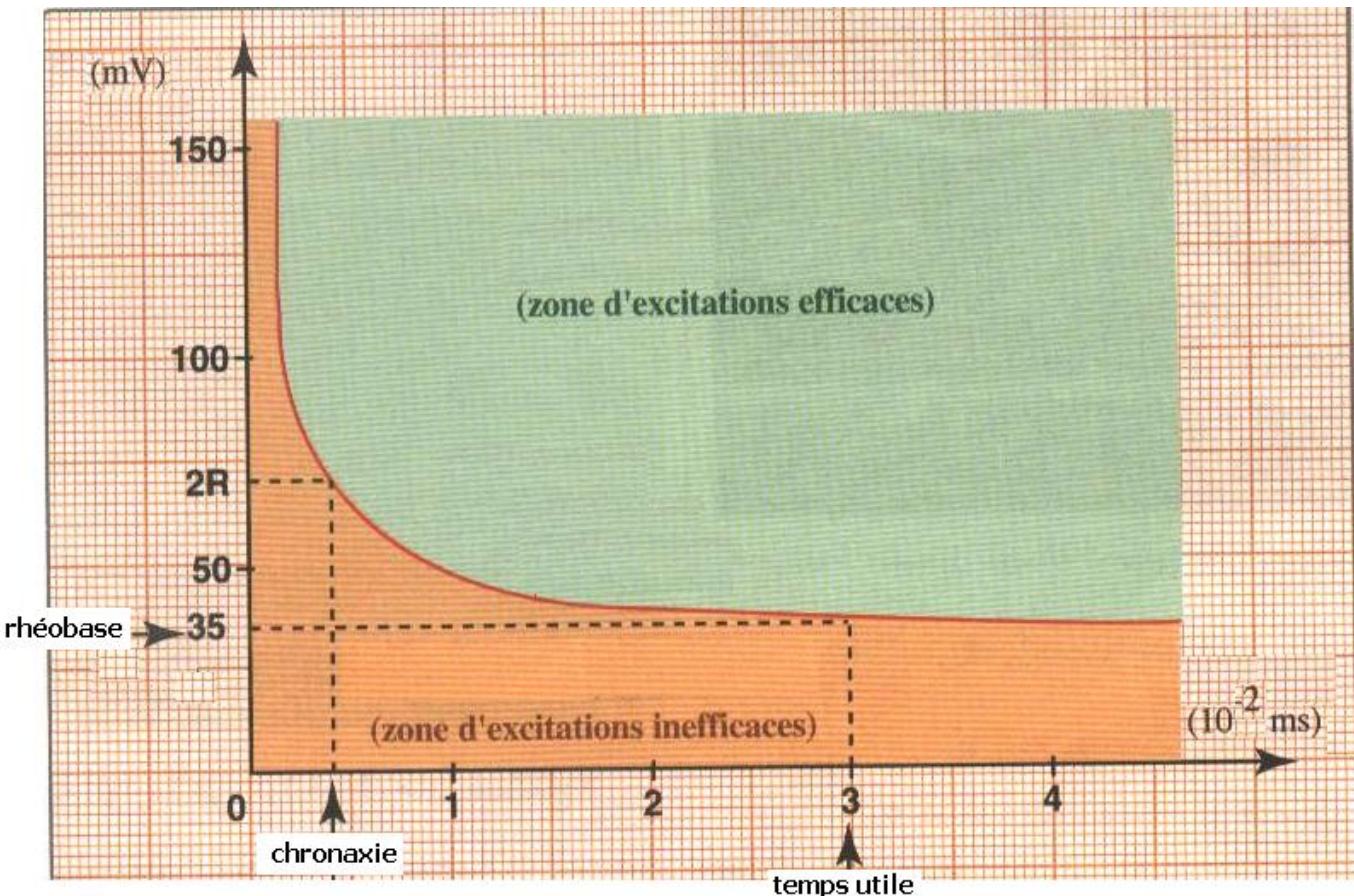
- *Solution :*

- Réalisation de la courbe d'excitabilité du nerf :



- Détermination des caractéristiques d'excitabilité du nerf :

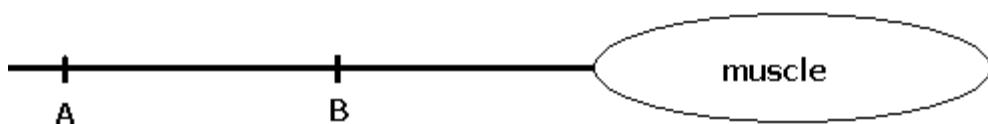
- Le seuil d'excitation :** c'est la plus faible intensité capable d'exciter le nerf , dans Du courant électrique il est appelé rhéobase.
- Le temps utile :** c'est le temps nécessaire pour obtenir la réponse à une excitation d'intensité égale au seuil d'excitation
- La chronaxie :** c'est le temps nécessaire pour obtenir la réponse du nerf à une excitation d'intensité double de la rhéobase.



c- *Etude de la conductibilité d'un nerf :*

La conduction d'un nerf c'est la propagation de l'influx nerveux à travers le nerf à une vitesse donnée .

*Pour mesurer la vitesse de conduction d'un nerf , on l'isole avec son muscle , et à deux points séparés par une distance déterminée on applique une excitation efficace de même intensité , et on mesure le temps nécessaire pour que l'influx nerveux atteint le muscle (contraction) , soit t_1 le temps pour atteindre le muscle du point A
 t_2 le temps pour atteindre le muscle du point B*

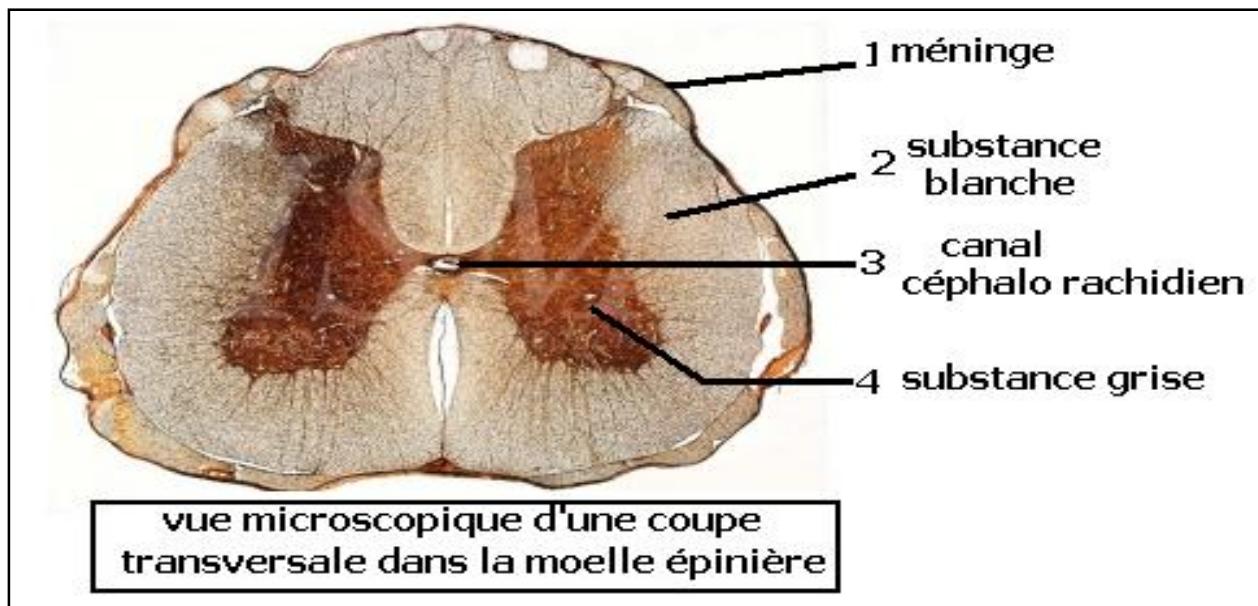


Ainsi :

$$\text{vitesse de conduction} = \frac{\text{distance AB}}{t_1 - t_2}$$

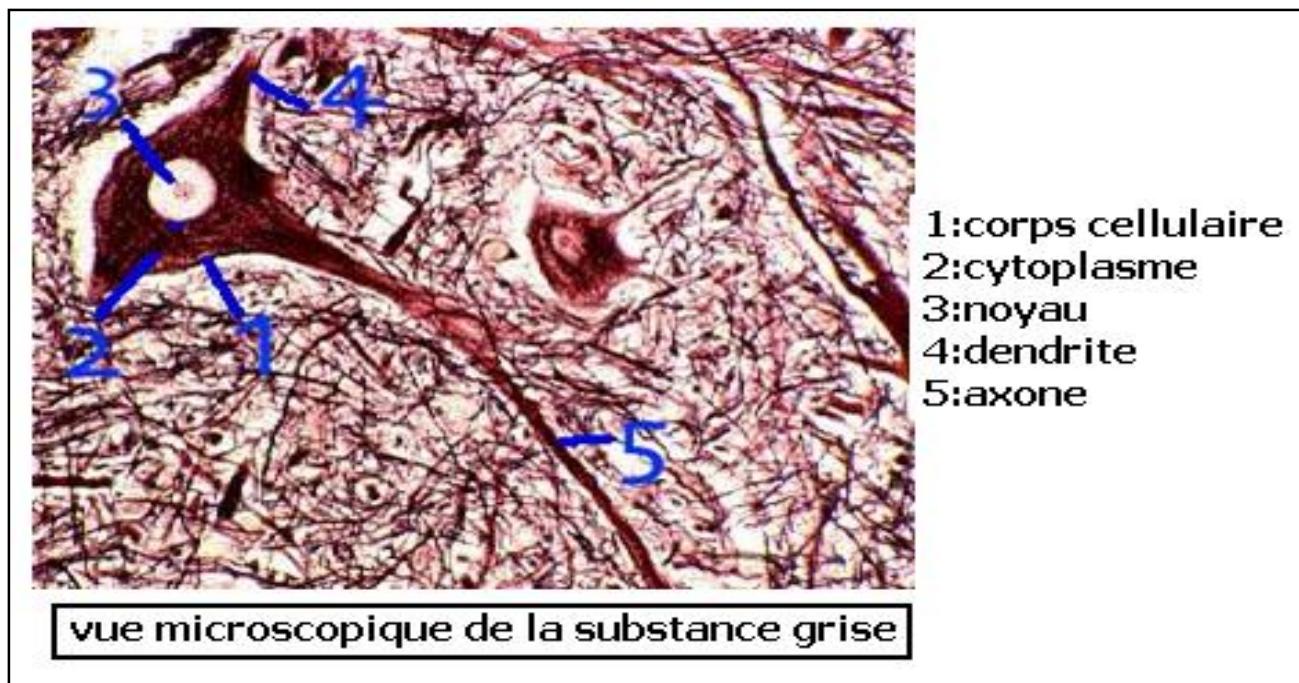
3- histologie nerveuse :

a- Structure de la moelle épinière :



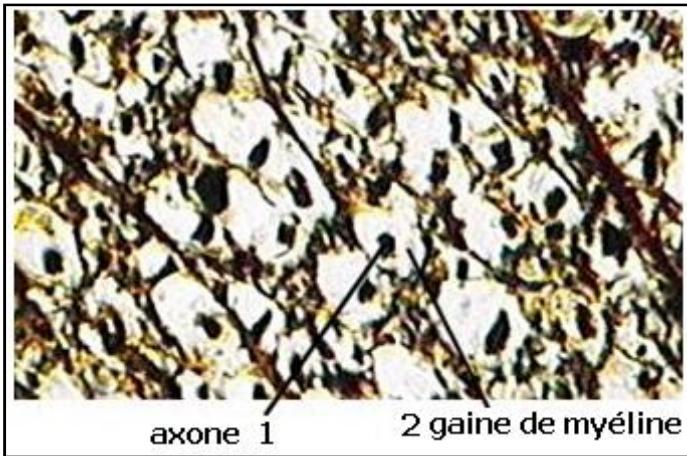
Dans la moelle épinière la substance grise est interne entourée par la substance blanche

b- Structure de la substance grise :



La substance grise est constituée de corps cellulaires contenant un noyau , et se prolonge par des dendrites et un axone .

c- Structure de la substance blanche :



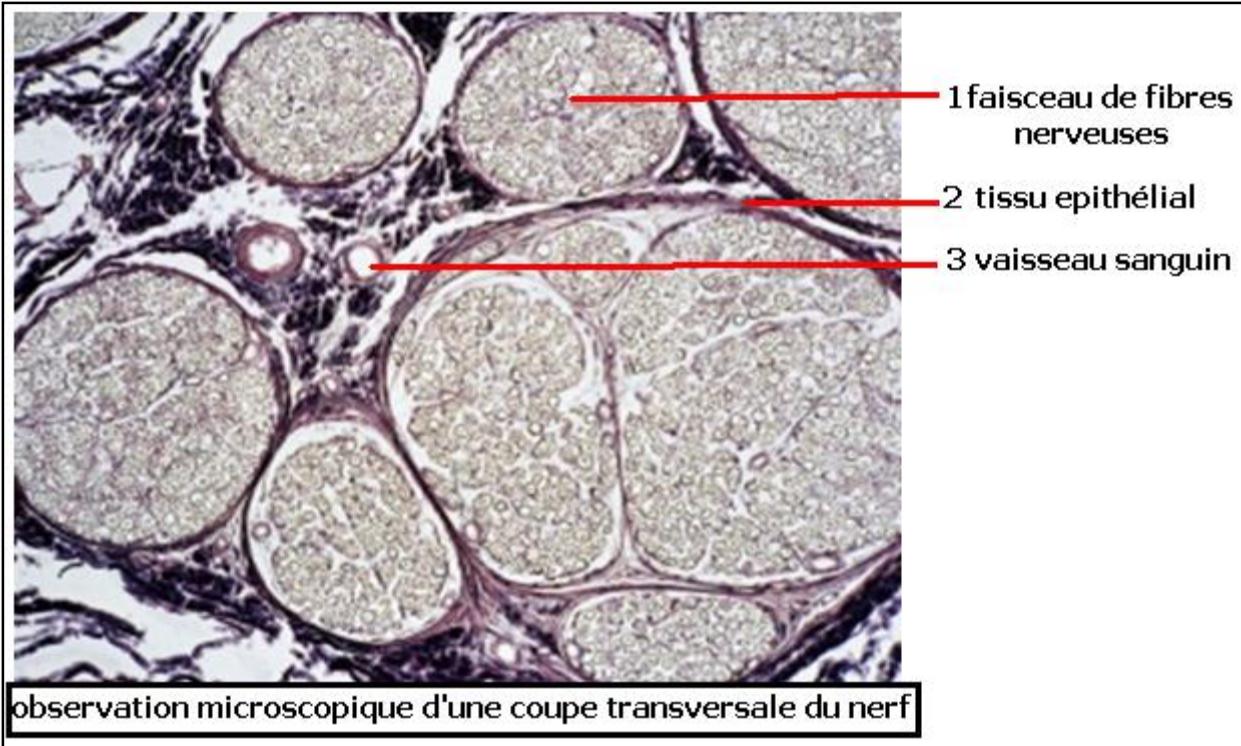
La substance blanche est constituée d'axones entourées d'une substance appelée myéline sous forme d'une gaine

Il y a une continuité entre la substance grise et la substance blanche , l'axone qui part du corps cellulaire dans la substance grise se prolonge dans la substance blanche et s'entoure d'une gaine de myéline .

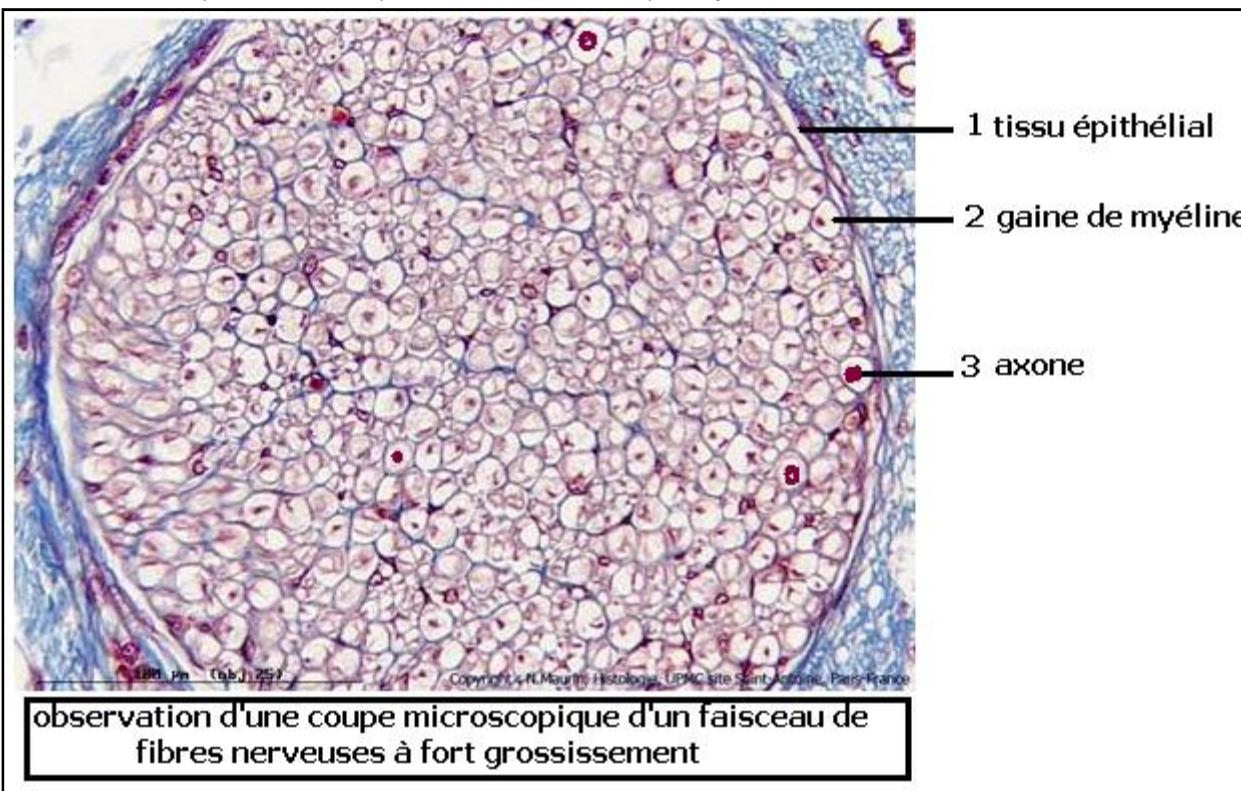


d- Structure du nerf :

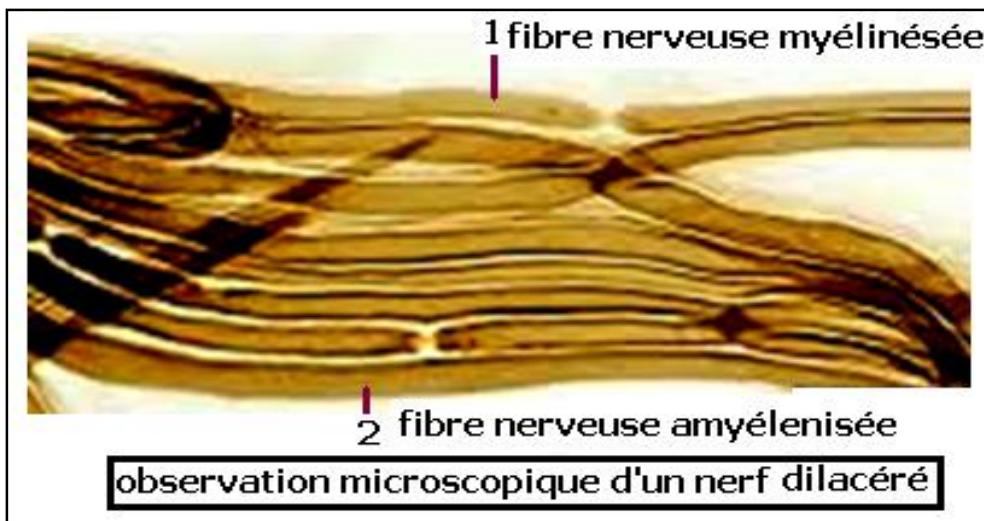
Le nerf est un ensemble de faisceaux de fibres nerveuses



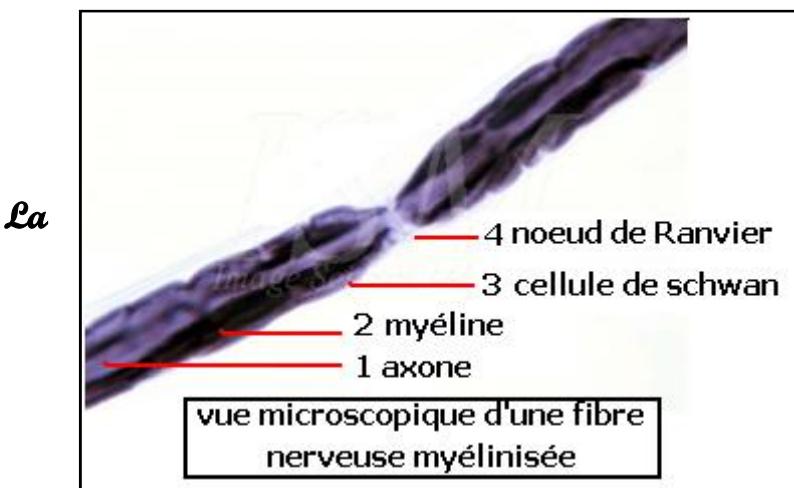
Observons un faisceau de fibres nerveuses à fort grossissement :



Chaque fibre nerveuse est composée d'un axone entouré d'une gaine de myéline , le nerf est donc une prolongation de la substance blanche
L'observation microscopique d'un nerf dilacéré montre principalement deux types de fibres nerveuses, les fibres myélinisées et les fibres amyélinisées



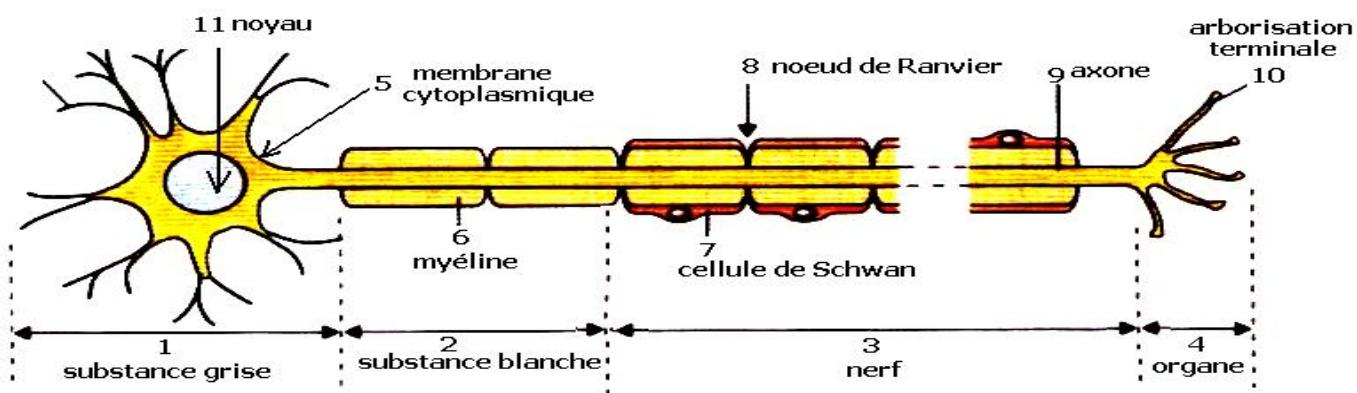
La myéline sur les fibres nerveuses myélinisées est discontinue, elle est absente au niveau des nœuds de Ranvier



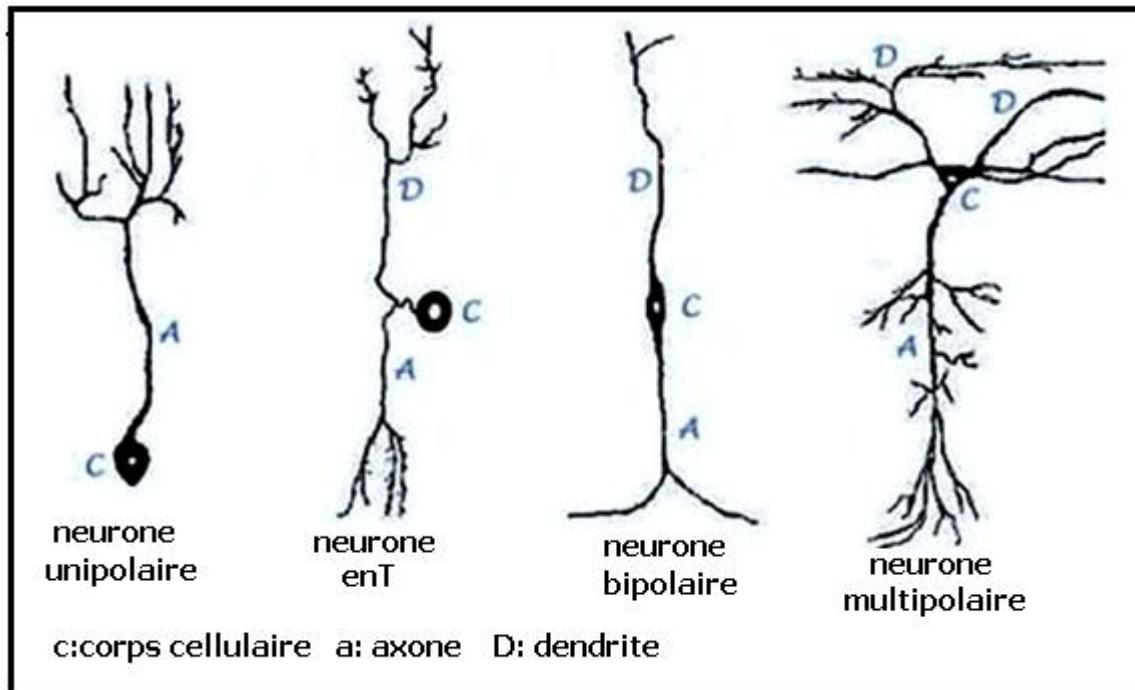
myéline qui entoure les axones est synthétisée par la cellule de Schwann

e- Conclusion :

On constate une continuité structurale entre la substance grise , la substance blanche et le nerf , le corps cellulaire qui renferme le noyau se prolonge par l'axone qui s'entoure de myéline dans la substance blanche et dans le nerf pour donner la fibre nerveuse ,formant ainsi l'unité structurale du tissu nerveux la cellule nerveuse ou neurone qui se ramifie au niveau des organes en arborisation terminale



Dans le corps il existe différents types de neurones :



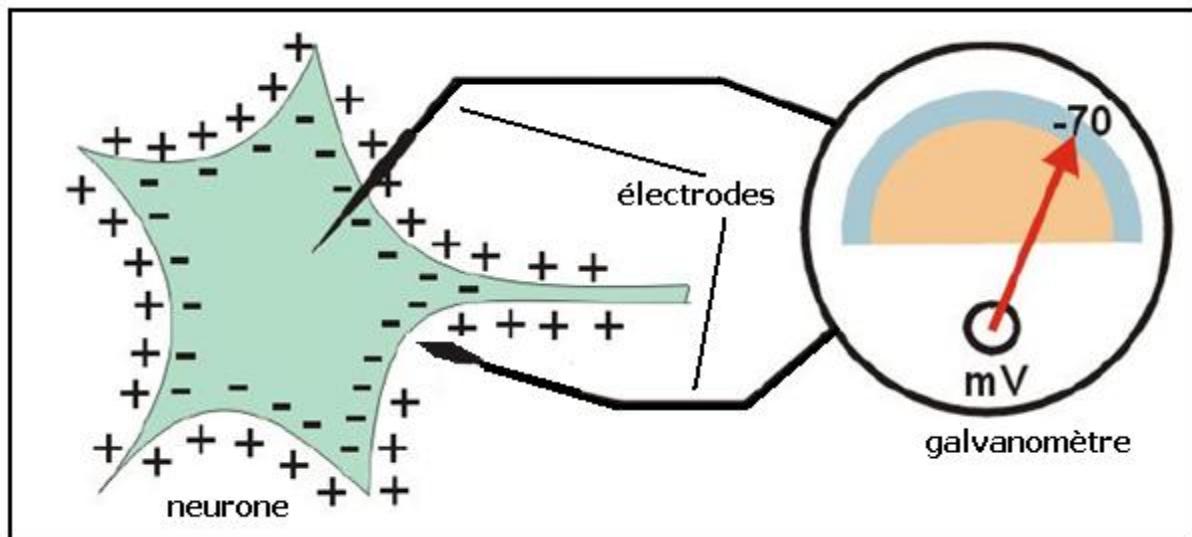
4- Caractéristiques du neurone :

4.1- l'excitabilité :

L'excitabilité des neurones et des cellules musculaires est liée à une polarité électrique entre l'intérieur et l'extérieur de ces cellules , appelée potentiel de repos .

a- Mise en évidence du potentiel de repos du neurone :

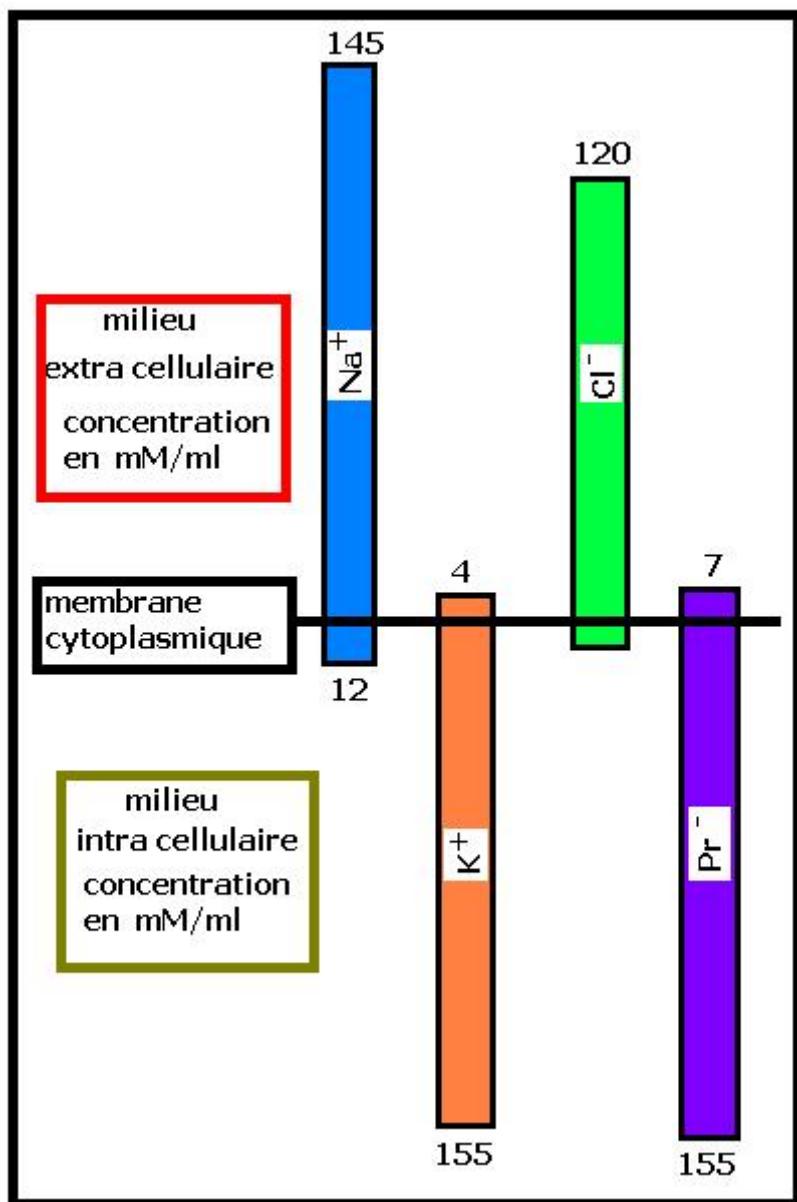
On place les électrodes d'un galvanomètre entre l'extérieur et l'intérieur d'un neurone



Le galvanomètre enregistre une différence de potentiel de -70 mV due à une polarisation du neurone , sa surface porte des charges positives , son intérieur des charges négatives .

b- Origine du potentiel de repos :

Les charges électriques sont dues aux ions des milieux intra et extra cellulaires , comparons la concentration de ces ions dans les deux milieux :



La perméabilité de la membrane cytoplasmique du neurone est sélective , elle possède des canaux ioniques à ouvertures contrôlée .

Au repos :

- la membrane cytoplasmique est imperméable aux protéinate à cause de leurs grande taille
- a une très faible perméabilité à Na^+ et Cl^- .
- elle est perméable à K^+ .

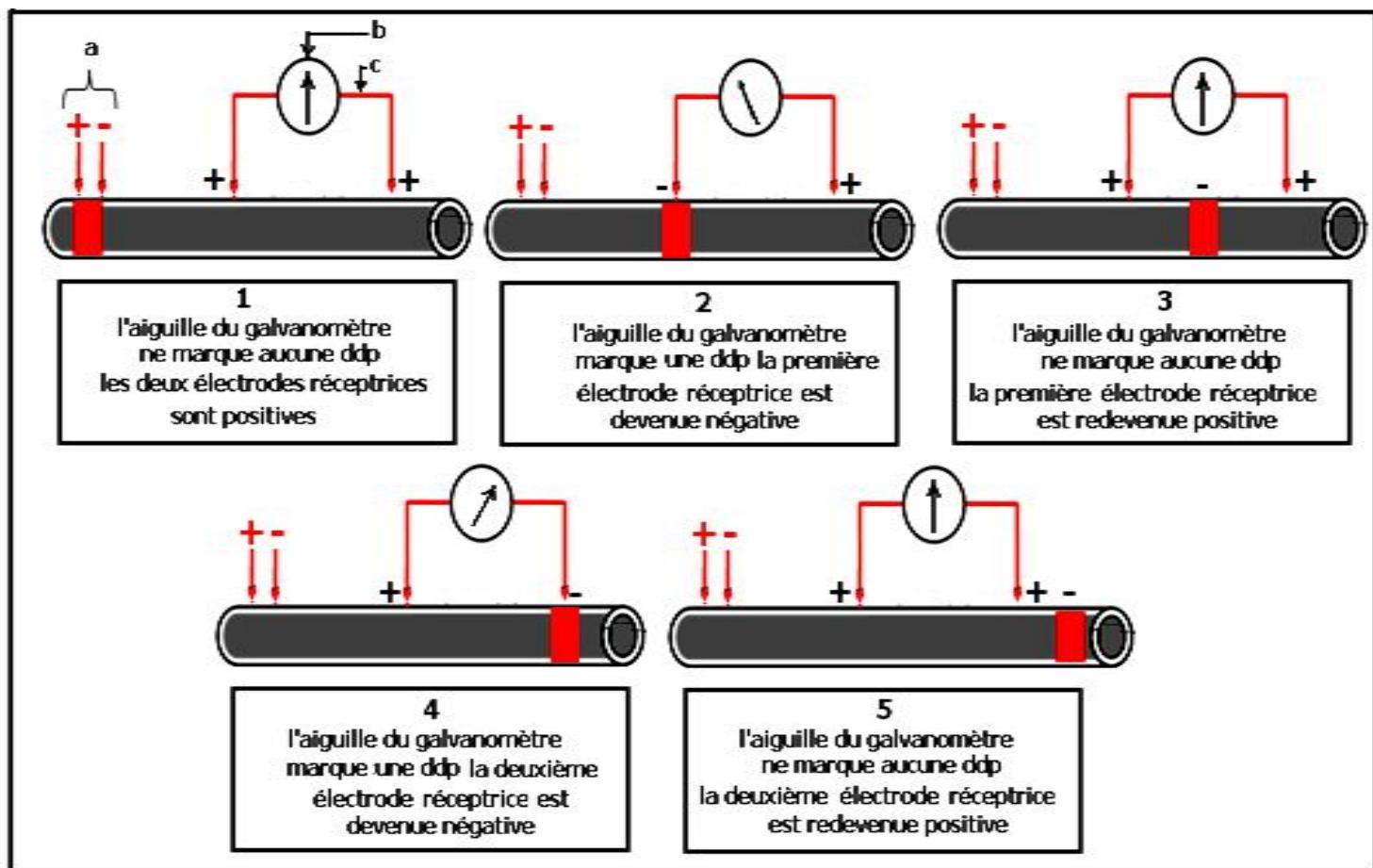
Ainsi , les ions K^+ diffuse vers le milieu extra cellulaire ce qui entraîne la dominance des charges + à l'extérieur , et la dominance des charges - à l'intérieur du neurone .d'où apparition d'une polarité électrique et formation du potentiel de repos .

c- Effet de l'excitation :

- Expérience :

Sur une fibre nerveuse isolée on place deux électrodes excitatrices et deux électrodes réceptrices liées à un galvanomètre , on applique une excitation efficace et on poursuit l'évolution de l'aiguille du galvanomètre .

- Résultats :

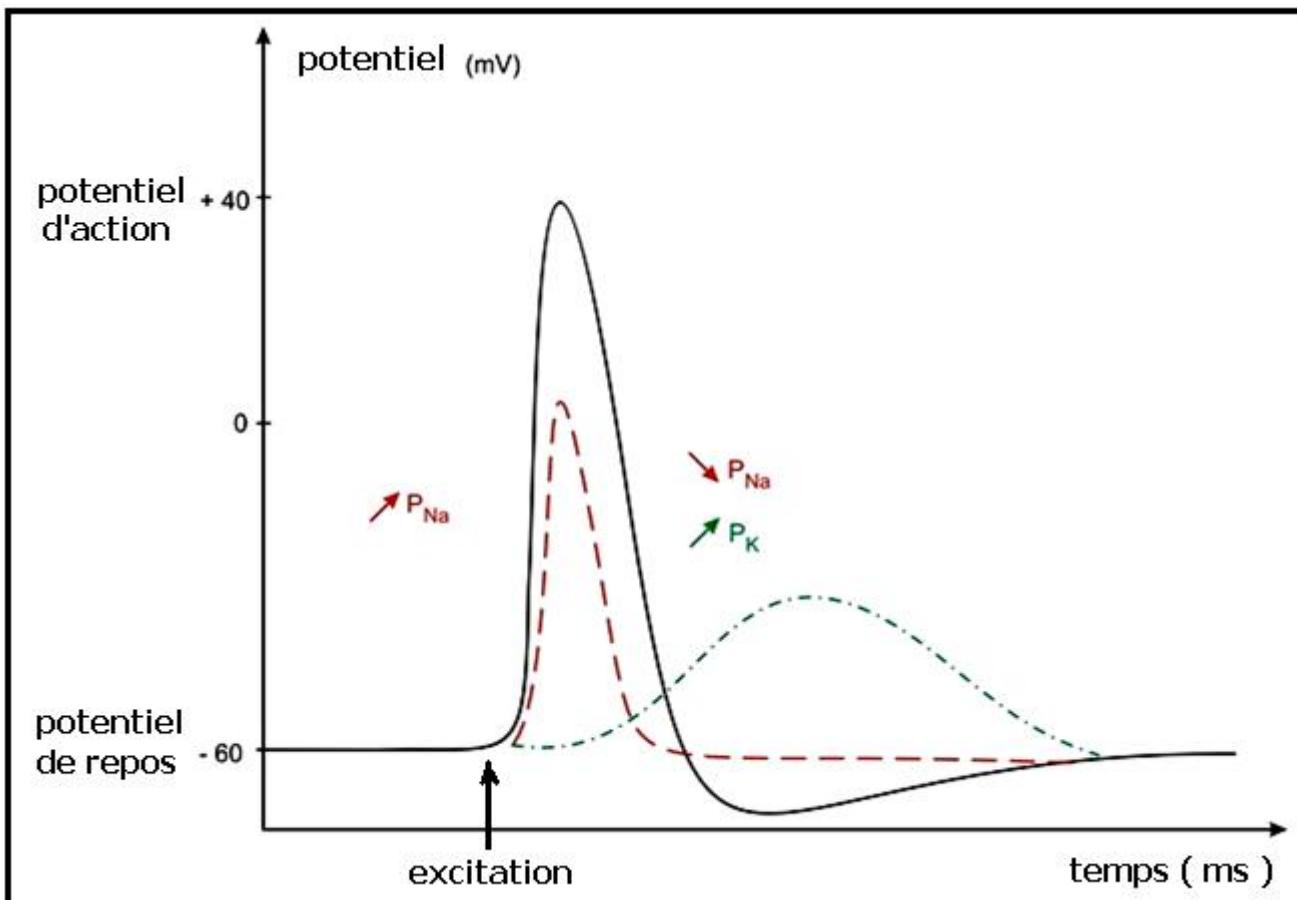


- Conclusion :

L'excitation de la fibre nerveuse produit une onde de dépolarisation négative qui se déplace le long de la fibre nerveuse provoquant l'enregistrement d'une ddp entre les électrodes réceptrices du galvanomètre à la surface de la fibre nerveuse , cette ddp est appelée potentiel d'action Ainsi l'influx nerveux est un train de potentiels d'actions .

- Origine du potentiel d'action :

Pour déterminer l'origine du potentiel d'action , analysons l'effet de l'excitation sur la perméabilité de la membrane cytoplasmique du neurone :

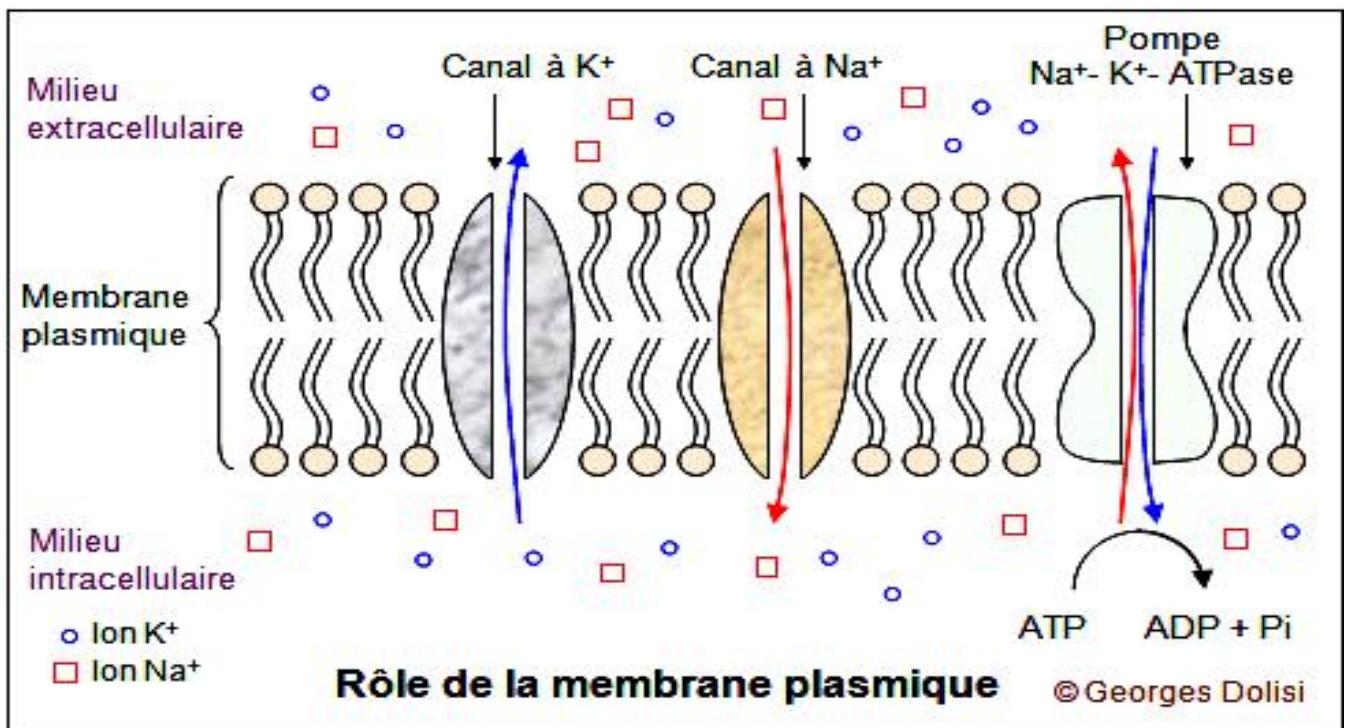


L'excitation de la membrane cytoplasmique provoque instantanément et localement une augmentation de la perméabilité de la membrane cytoplasmique aux ions Na^+ par ouverture locale des canaux de Na^+ , ces canaux ioniques qui s'ouvrent sous l'effet d'une excitation électrique sont qualifiés de canaux voltage dépendants.

La diffusion de Na^+ du milieu extra cellulaire vers le milieu intra cellulaire est le responsable de l'inversion de la polarité de la membrane cytoplasmique et de l'apparition de la charge négative à sa surface.

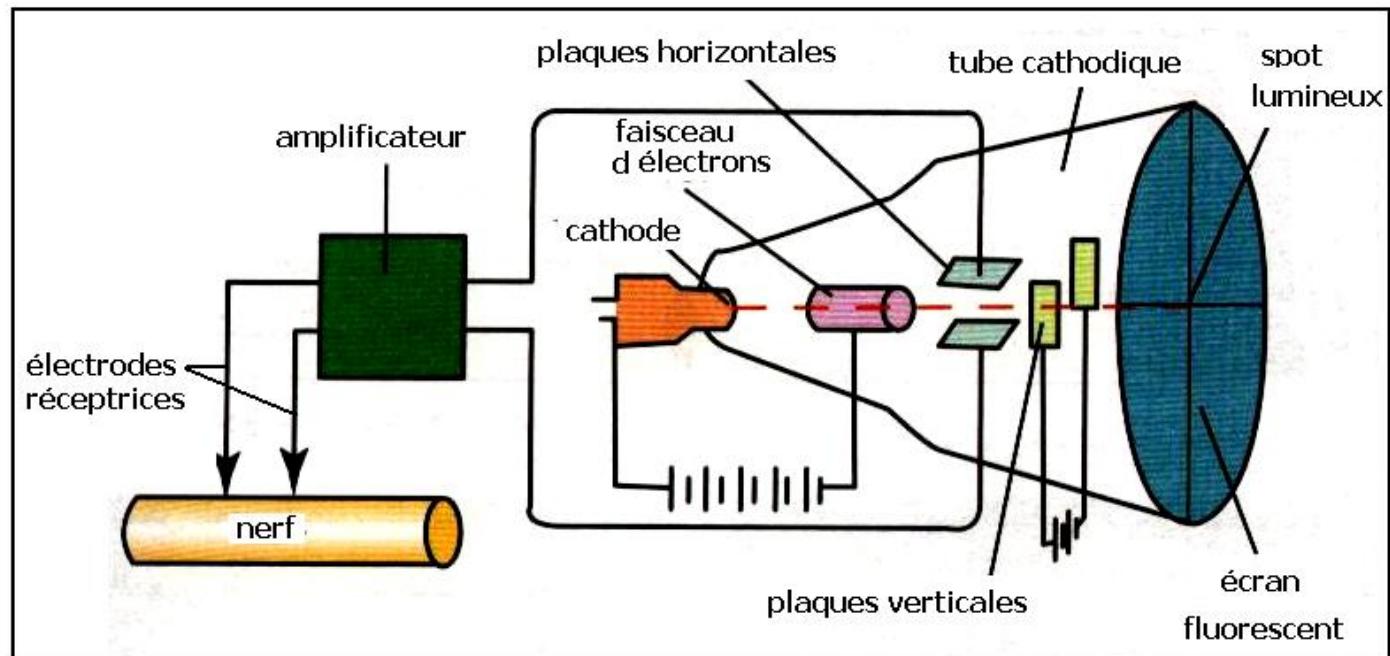
Après, la perméabilité à Na^+ s'annule rapidement, par une augmentation de la perméabilité à K^+ , due à l'ouverture des canaux K^+ , qui diffuse du milieu intra cellulaire vers le milieu extra cellulaire, ramenant la polarité initiale de la membrane cytoplasmique et provoquant la disparition locale de la charge négative.

Pour revenir à la répartition initiales des ions Na^+ et K^+ à travers la membrane cytoplasmique, la cellule utilise la pompe sodium potassium ATPase qui consomme de l'énergie pour faire sortir Na^+ , et faire entrer K^+ contre leurs gradient de concentration, il s'agit d'un transport actif :

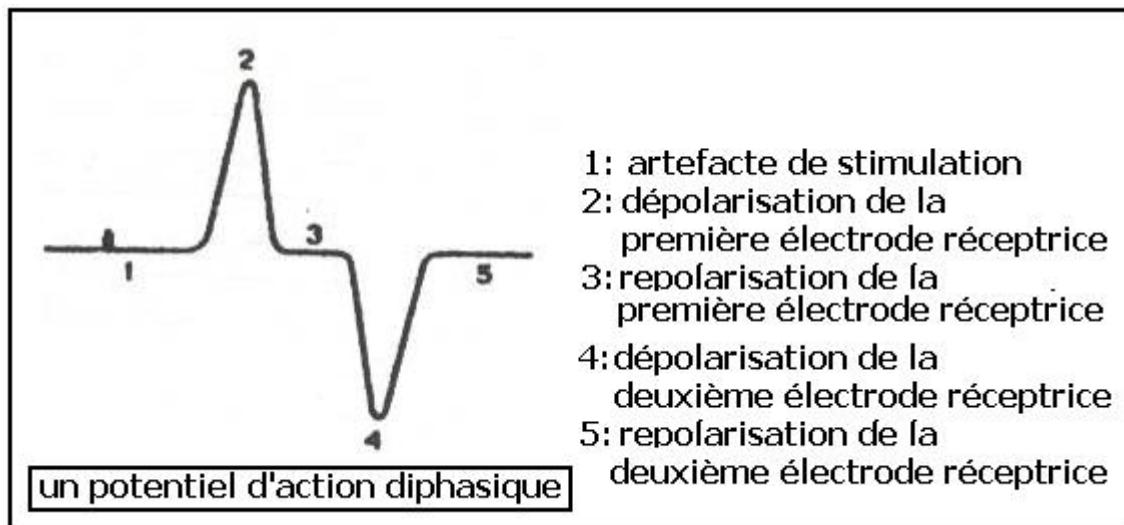


d- Enregistrement du potentiel d'action :

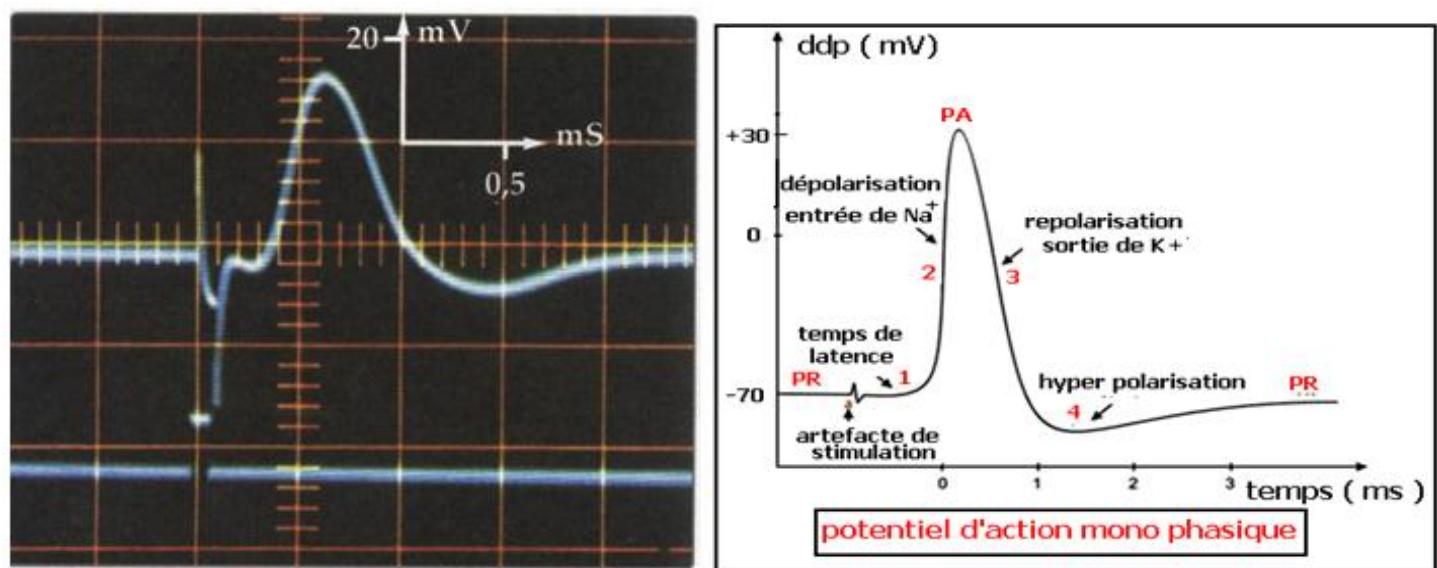
Le potentiel d'action peut être enregistré par un oscilloscope lié à deux électrodes réceptrices placées sur une fibre nerveuse ou un nerf :



On obtient l'enregistrement suivant appelé potentiel d'action diphasique :

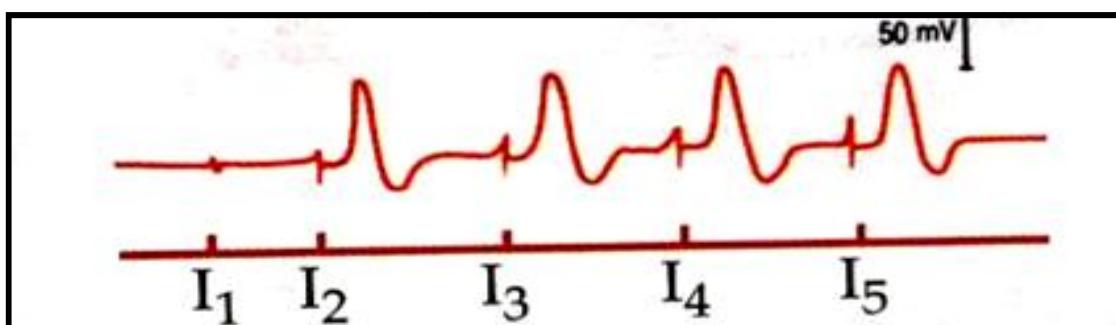


Si l'enregistrement est effectué par une seule électrode réceptrice on obtient un potentiel d'action monophasique :



e- Les conditions de l'excitabilité :

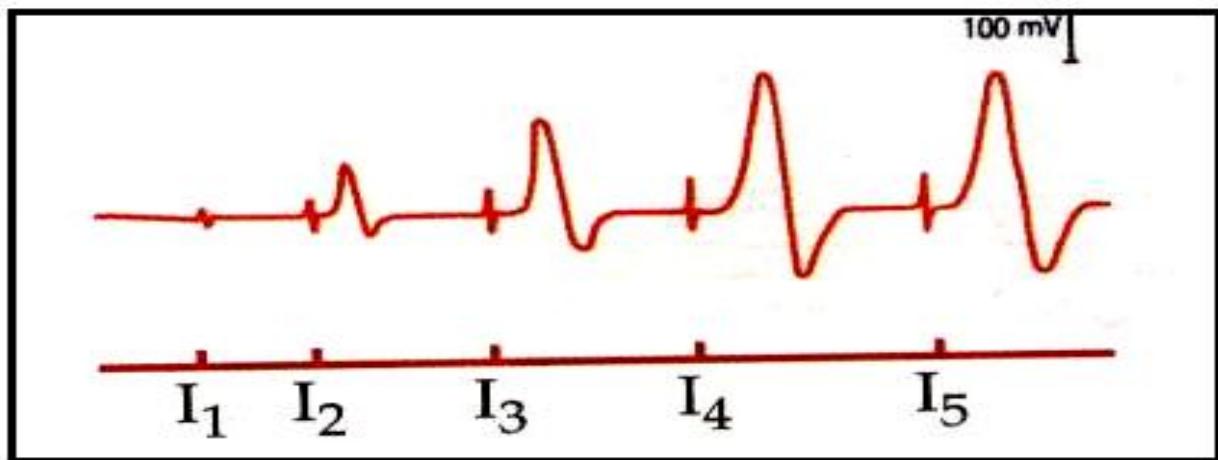
- On applique à une fibre nerveuse isolée des excitations à intensité croissante de I_1 à I_5 , les résultats obtenus sont représentés par l'enregistrement suivant :



I_1 ne produit que l'artefact de stimulation, c'est une excitation inefficace son intensité est inférieure à la rhéobase

De I_2 à I_5 bien que l'intensité de l'excitation augmente on enregistre un potentiel d'action d'amplitude constante , la fibre nerveuse est donc soit excitabile si l'intensité de l'excitation est supérieure ou égale au seuil de l'excitation , soit inexcitable si l'intensité de l'excitation est inférieure ou égale au seuil de l'excitation , cette caractéristique de la fibre nerveuse est appelée **la loi de tout ou rien** .

- On applique à un nerf des excitations à intensité croissante de I_1 à I_5 , les résultats obtenus sont représentés par l'enregistrement suivant :

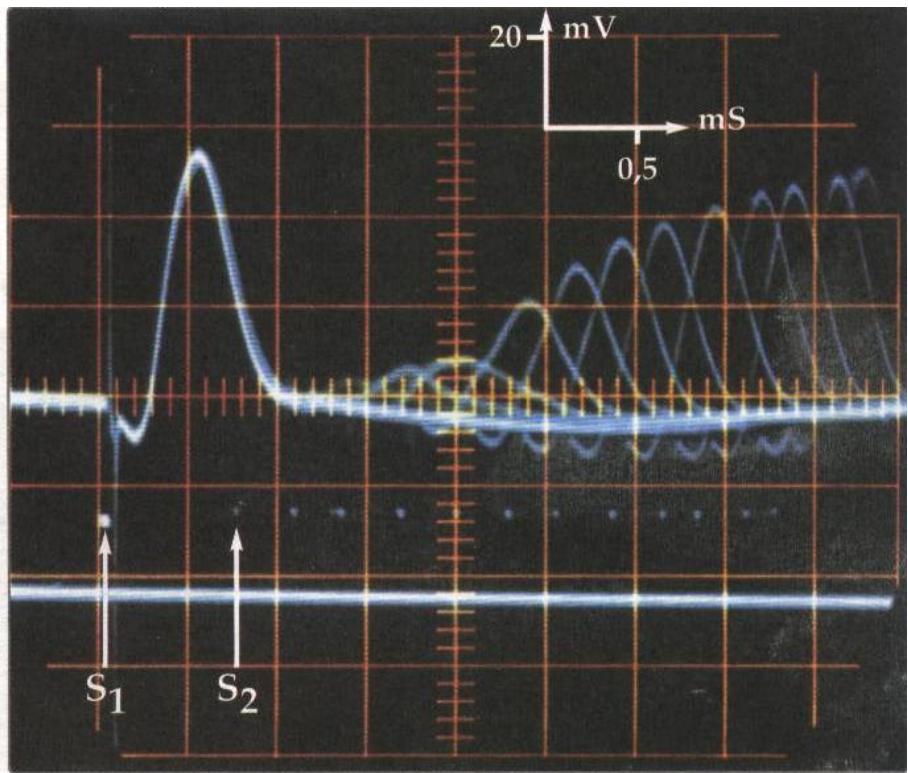
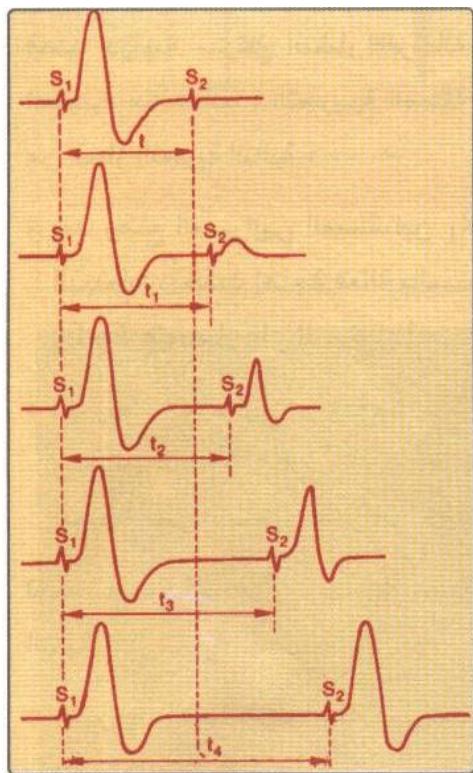


I_1 ne produit que l'artefact de stimulation, c'est une excitation inefficace son intensité est inférieure à la rhéobase

De I_2 à I_4 l'augmentation de l'intensité de l'excitation provoque une augmentation de l'amplitude du potentiel d'action , ce phénomène caractéristique du nerf est appelé **la loi de recrutement** , elle est due à la structure du nerf formé de plusieurs fibres nerveuses , ainsi , plus l'intensité de l'excitation augmente plus le nombre de fibres nerveuses excitées est important et plus l'amplitude du potentiel d'action augmente .

après I_4 bien que l'intensité de l'excitation augmente on enregistre un potentiel d'action d'amplitude constante maximale, car toutes les fibres nerveuses constitutives du nerf sont excitées.

- on soumet une fibre nerveuse à deux excitations successives de même intensité efficace et séparées par un temps croissant de $t = 1$ ms à $t_4 = 10$ ms , on enregistre le résultat suivant :



- 1- Interpréter le résultat obtenu ?
- 2- Que peut-on conclure ?
- 3- Comment expliquer ces phénomènes ?

Réponses

1- Quand le temps qui sépare deux excitations successives est inférieur ou égale à 1 ms la deuxième excitation ne produit aucun potentiel d'action

Quand le temps qui sépare deux excitations successives est supérieur à 1 ms, la deuxième excitation produit un potentiel d'action d'amplitude croissante à t_1 , t_2 et t_3 , à partir de $t_4 = 10$ ms le potentiel d'action enregistré à la même amplitude que le potentiel provoqué par la première excitation

2- après une excitation la fibre nerveuse devient inexcitable pendant 1 ms , ce temps est appelé période réfractaire absolue .

Après la période réfractaire absolue, la fibre nerveuse répond avec un potentiel d'action d'amplitude anormale pendant 9 ms , ce temps est appelé période réfractaire relative

3- la période réfractaire absolue est due l'isotonie de Na^+ de part et d'autre de la membrane cytoplasmique de la fibre nerveuse, provoquée par l'ouverture des canaux de Na^+ à la première excitation .

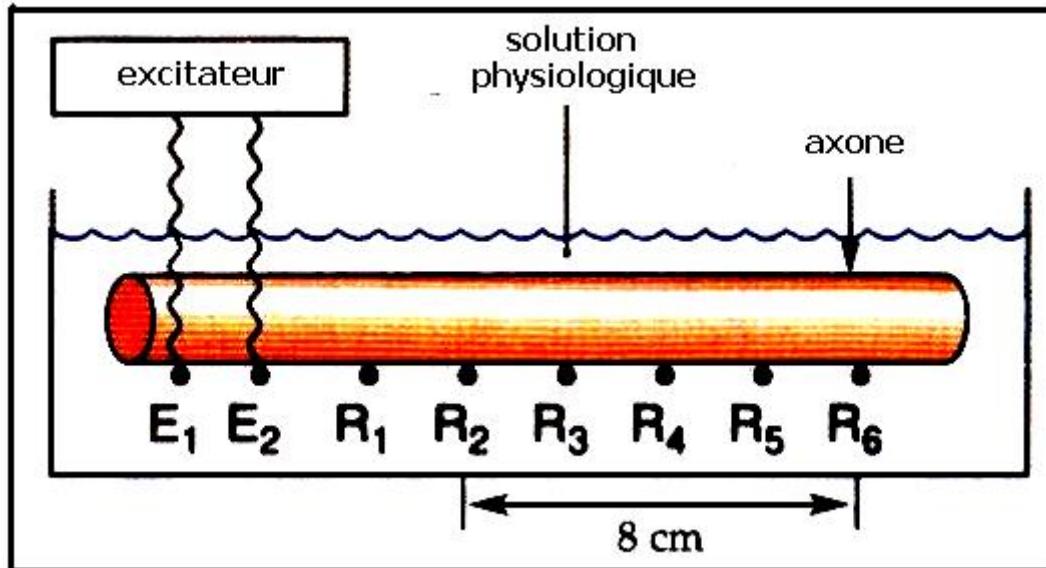
Après l'hyper polarisation due à la sortie de K^+ , les sodium potassium ATPase commencent à fonctionner , ce qui crée une différence de concentration de Na^+ et de K^+ de part et d'autre de la membrane , ainsi , la deuxième excitation après 1 ms permet la diffusion de Na^+ évacué par la pompe , et l'amplitude du potentiel d'action va dépendre de la quantité de Na^+ évacuée .

Après la période réfractaire, tout le sodium est évacué dans le milieu extra cellulaire et l'excitabilité normale reprend.

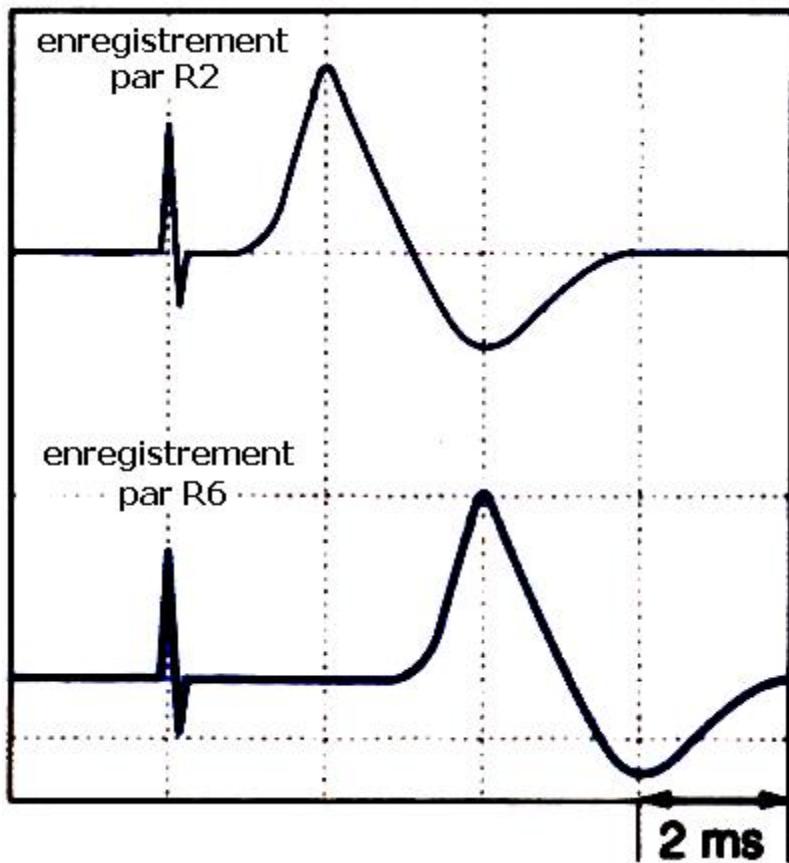
4-2- la conductibilité :

a- Mesure de la vitesse de conduction :

Pour mesurer la vitesse de conduction on utilise le montage expérimental suivant :



On applique une excitation efficace et on enregistre par l'oscilloscope le potentiel d'action qui passe par l'électrode réceptrice R_2 puis par l'électrode réceptrice R_6 distant de 8 cm , on obtient le résultat suivant :



En comparant les deux enregistrements , on constate un décalage de 2 ms , ainsi le potentiel d'action a traversé les 8 cm qui sépare les deux électrodes réceptrices en 2 ms donc la vitesse de conduction de l'axone utilisé est : $8 \cdot 10^{-2} \text{ m} / 2 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 40 \text{ m/s}$

b- Variation de la vitesse de conduction :

Le document suivant représente la valeur de la vitesse de conduction en fonction de certains facteurs :

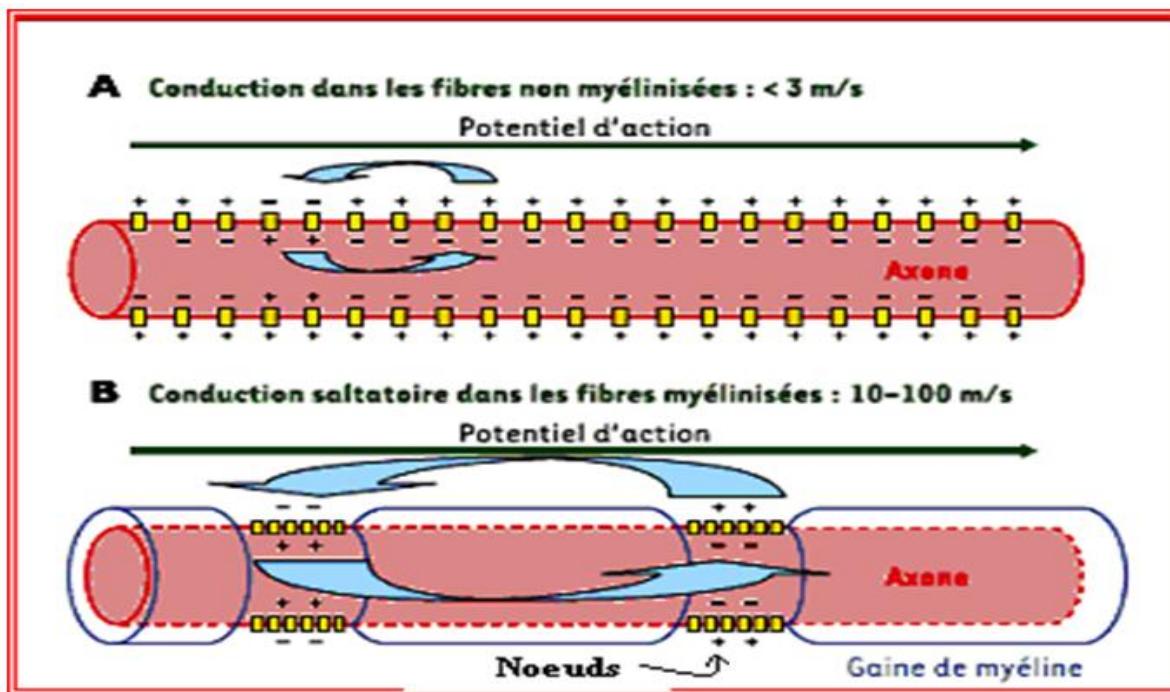
<i>Types de fibres nerveuses</i>	<i>Le diamètre</i>	<i>Vitesse de conduction en m.s⁻¹</i>
<i>Fibres nerveuses myélinisées de Mammifères</i>	<i>10 μm</i>	<i>60</i>
	<i>20 μm</i>	<i>120</i>
<i>Fibres nerveuses myélinisées du nerf sciatic de grenouille</i>	<i>10 μm</i>	<i>17</i>
	<i>20 μm</i>	<i>30</i>
<i>Axone géant amyélinisé du calmar</i>	<i>1 mm</i>	<i>33</i>

Que peut-on déduire de l'analyse de ces mesures ?

La vitesse de conduction des fibres nerveuses varie selon :

- l'espèce animale : élevée chez les Mammifères à sang chaud , faible chez les amphibiens à température interne variable .*
- Le diamètre des fibres : dans le même type , plus le diamètre de la fibre est grand plus la conduction est rapide .*
- le type de fibre : les fibres myélinisées sont plus rapides que les fibres amyélinisées.*

La myéline est une substance isolante , son absence sur les fibres amyélinisées provoque une conduction continue d'un point à l'autre avoisinant , sa présence sur les fibres myélinisées provoque une conduction saltatoire d'un nœud de Ranvier à l'autre

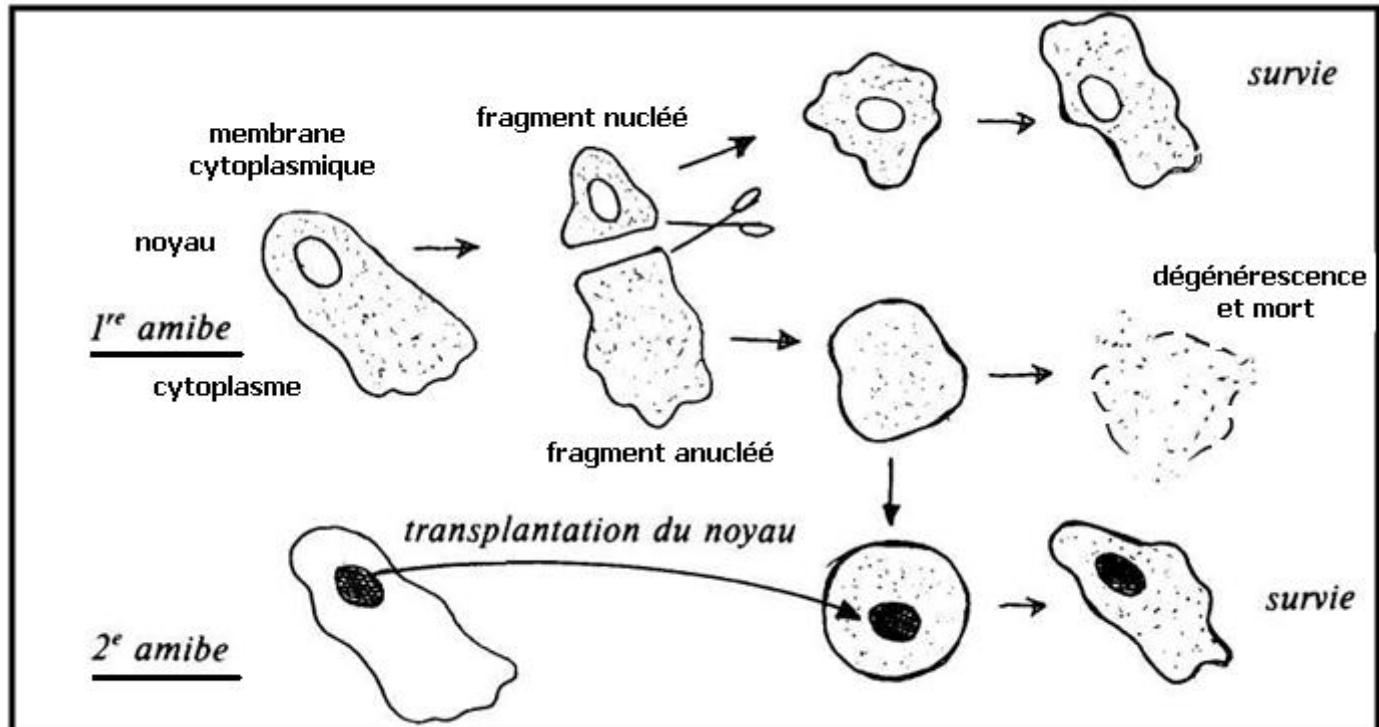


5- la communication entre les neurones :

a- expérience témoin :

l'amibe est un animal uni cellulaire qui vit dans le sol , c'est une cellule géante qui peut atteindre 5 mm de diamètre

on coupe une amibe en 2 fragments : nucléé contenant le noyau et anucléé sans noyau , les 2 fragments sont cultivés dans un milieu favorable



En absence du noyau , le fragment anucléé ne reste en vie il dégénère , alors que le fragment nucléé ou la transplantation du noyau maintient la vie de la cellule .

Donc le noyau est indispensable à la survie d'une cellule .

b- travaux de Magendie et Waller :

ils ont observé les résultats de sections réalisées à différents niveaux des racines des nerfs rachidiens :

expériences de sections					résultats observés par Waller	résultats observés par Magendie
matière blanche	matière grise	racine postérieure	ganglion spinal	nerf rachidien	dégénérescence de la partie périphérique du nerf rachidien sectionné	perte de la sensibilité et de la motricité de la partie du corps innervée par le nerf sectionné
				1 →	dégénérescence de part et d'autre du ganglion spinal sectionné	perte de la sensibilité de la partie du corps innervée par le nerf sectionné
				2 →	dégénérescence de la partie périphérique de la racine antérieure sectionnée	perte de la motricité de la partie du corps innervée par le nerf sectionné
				3 →		
— section					■ dégénérescence	■ fibres nerveuses saines

A partir des résultats observés par Waller on conclue :

- le corps cellulaire des fibres nerveuses de la racine postérieure se trouve dans le ganglion spinal , ce sont des neurones de type Γ
- le corps cellulaire des fibres nerveuses de la racine antérieure se trouve dans la partie centrale au niveau de la substance grise de la moelle épinière , ce sont des neurones multipolaires .

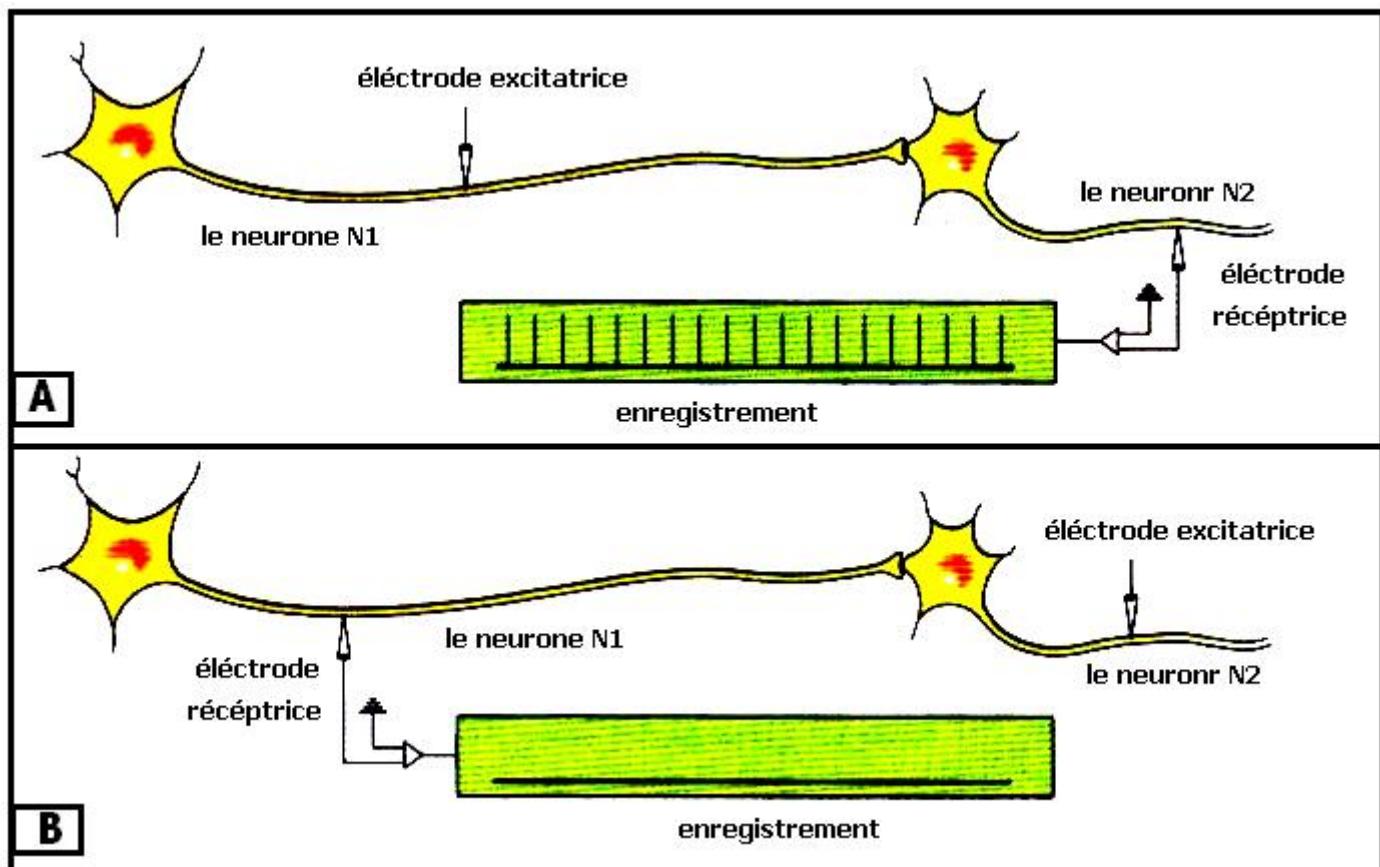
A partir des résultats observés par Magendie on conclue :

- le nerf rachidien est un nerf mixte formé de fibres nerveuses sensitives et de fibres nerveuses motrices .
- la racine postérieure porte les fibres nerveuses sensitives .
- la racine antérieure porte les fibres nerveuses motrices .

c- comment se transmettent les influx nerveux des fibres sensitives aux fibres motrices ?

+ expériences et résultats :

Sur un circuit de deux neurones $N1$ et $N2$; on porte une excitation efficace sur un neurone et on enregistre les potentiels d'actions sur l'autre :

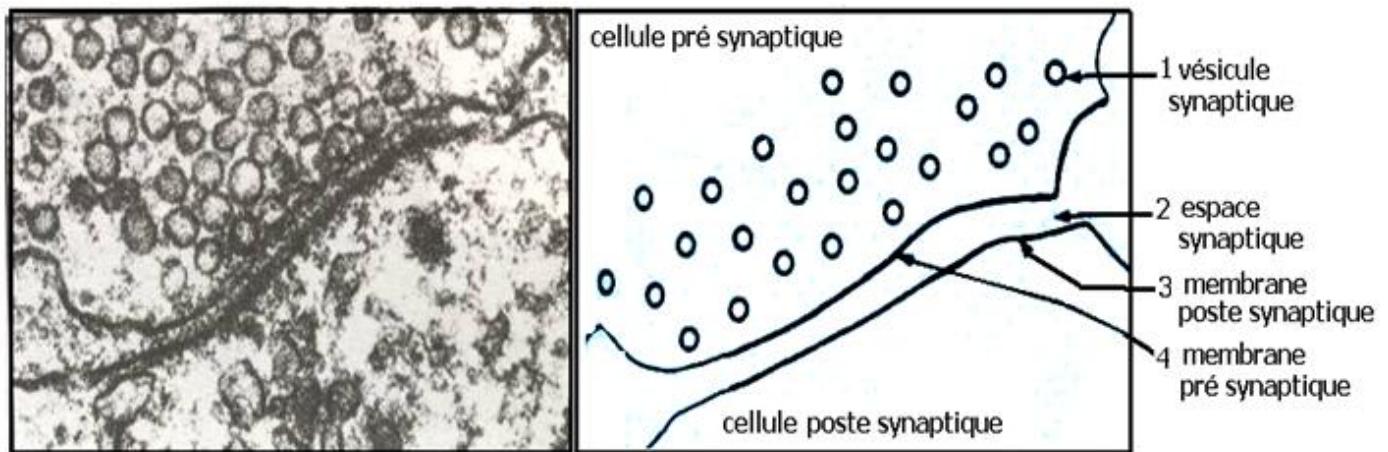


L'excitation de $N1$ a permis d'enregistrer des potentiels d'actions sur le neurone $N2$, ils étaient transmis de l'arborisation terminale de $N1$ au corps cellulaire de $N2$

L'excitation de N2 n'a donné aucun potentiel d'action sur N1, les potentiels d'actions ne peuvent être transmis du corps cellulaire à l'arborisation terminale
La zone de contact entre deux neurones est appelée synapse, les synapses sont donc unidirectionnelles

+ Pourquoi la transmission synaptique est unidirectionnelle ?

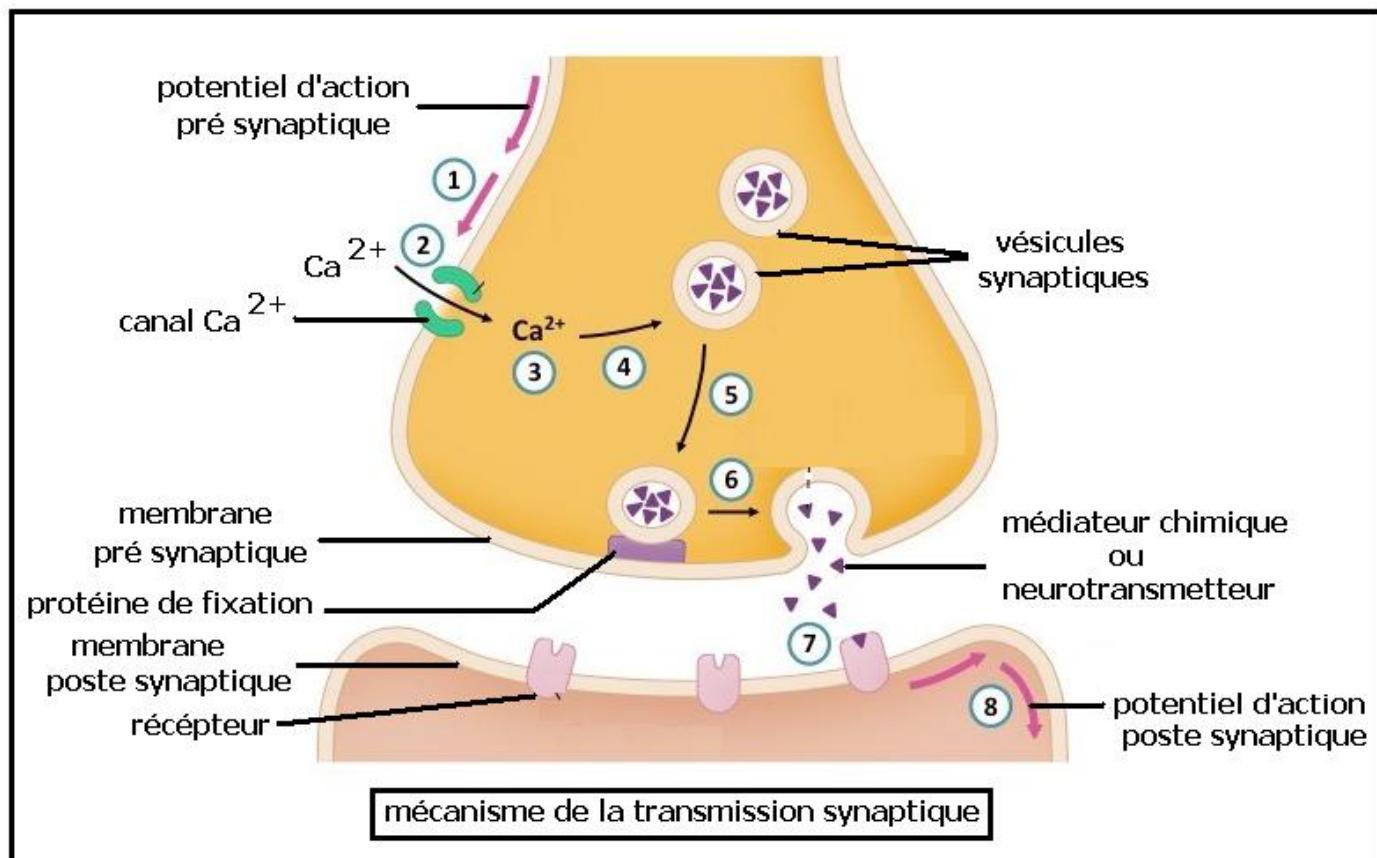
Pour répondre à cette question on étudie la structure microscopique d'une synapse :



Entre les deux neurones pré synaptique et poste synaptique on trouve un espace synaptique qui sépare la membrane pré synaptique de la membrane poste synaptique ; le cytoplasme pré synaptique porte des vésicules synaptique contenant des substances appelées médiateurs chimiques , le cytoplasme poste synaptique ne porte aucune vésicules synaptiques .

Quand le potentiel d'action pré synaptique atteint la membrane pré synaptique , il provoque :

- l'ouverture des canaux de Ca^{2+} de la membrane pré synaptique
- diffusion des ions Ca^{2+} dans le cytoplasme pré synaptique
- les ions Ca^{2+} permettent aux vésicules synaptiques de se fixer à des protéines de la membrane pré synaptique
- exocytose du médiateur chimique ou neuro transmetteur dans l'espace synaptique
- fixation du neuro transmetteur à des récepteurs spécifiques sur la membrane poste synaptique
- ouverture des canaux Na^+ de la membrane poste synaptique
- diffusion de Na^+ dans le neurone poste synaptique
- naissance du potentiel d'action poste synaptique qui se propage le long du neurone poste synaptique

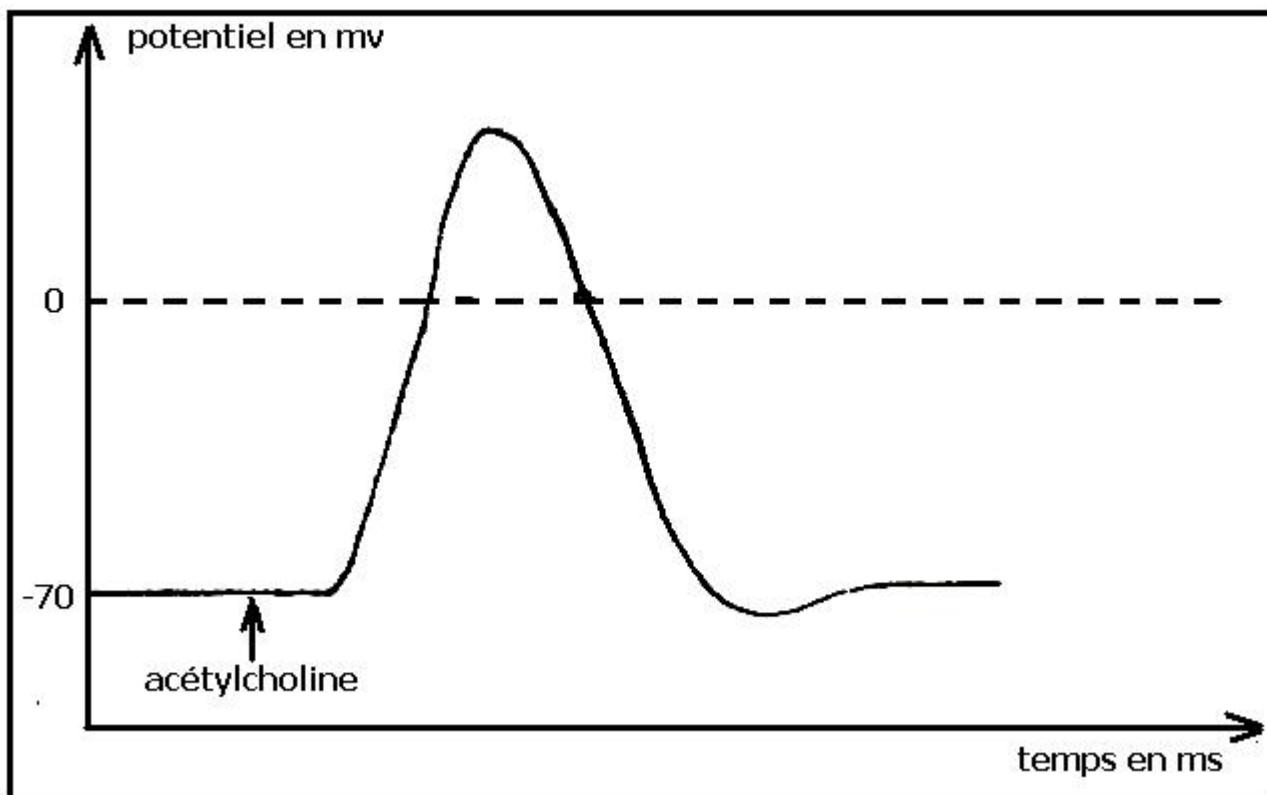


Ainsi, la transmission synaptique est unidirectionnelle, les vésicules synaptiques ne se trouvent que dans le cytoplasme pré synaptique, et les récepteurs du neurotransmetteur ne se trouvent que sur la membrane poste synaptique.

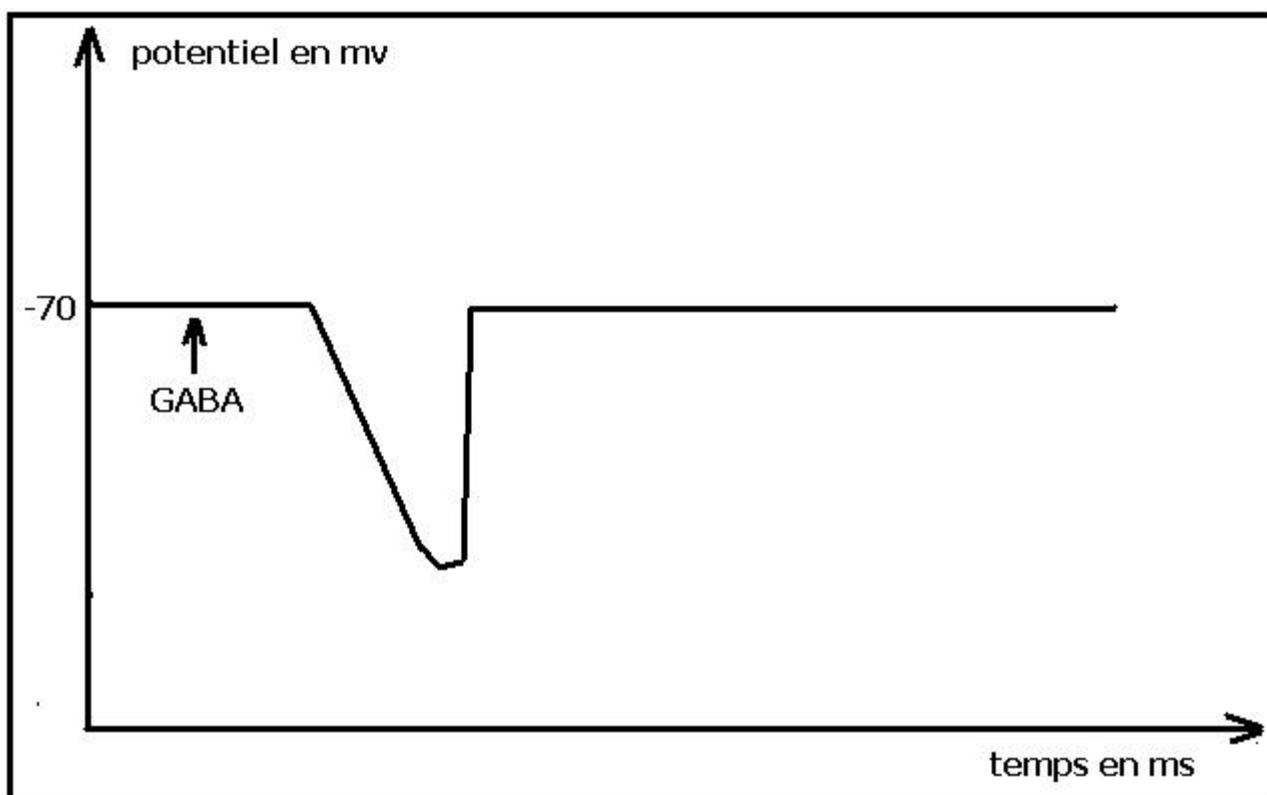
Pour arrêter la transmission synaptique, le neurone poste synaptique, libère des enzymes spécifiques qui dégradent le neurotransmetteur, le résultat de la dégradation est réabsorbé par le neurone pré synaptique et réutilisé dans la synthèse d'un nouveau neurotransmetteur.

d- Les types de synapses :

Dans le corps les synapses diffèrent par le type de neurotransmetteur qu'elles utilisent, ainsi, l'injection directe d'un neurotransmetteur dans l'espace synaptique permet de déterminer son effet sur le neurone poste synaptique :



L'injection de l'acétylcholine provoque l'enregistrement d'un potentiel d'action poste synaptique les synapses utilisatrices de ce type de neurotransmetteur sont appelées synapses excitatrices .



L'injection de l'acide gamma amino butyrique (GABA) provoque l'hyper polarisation du neurone poste synaptique par ouverture des canaux Cl- qui diffuse dans le cytoplasme poste

synaptique , l'hyper polarisation inhibe l'excitabilité du neurone poste synaptique , les synapses utilisatrice de ce type de neuro transmetteur sont appelées synapses inhibitrices .

e- Remarque :

Entre le muscle et son nerf moteur , s'installent des synapses excitatrices à acétylcholine appelées plaques motrices .