

## Chapitre 2: Communication nerveuse

### INTRODUCTION:

La communication nerveuse est une communication entre les différents organes du corps et les centres nerveux, pour permettre la sensibilité consciente, la motricité volontaire et les différents reflexes. Cette communication est assurée par le système nerveux, qui a pour fonction de produire, conduire et traiter des signaux nerveux provenant du milieu extérieur et intérieur.

- **Quelles sont les caractéristiques du nerf ?**
- **Quelle est la nature du message nerveux et comment se transmet-il à l'intérieur de notre corps ?**
- **Comment se forment les influx nerveux et comment sont transférés à travers les nerfs ?**

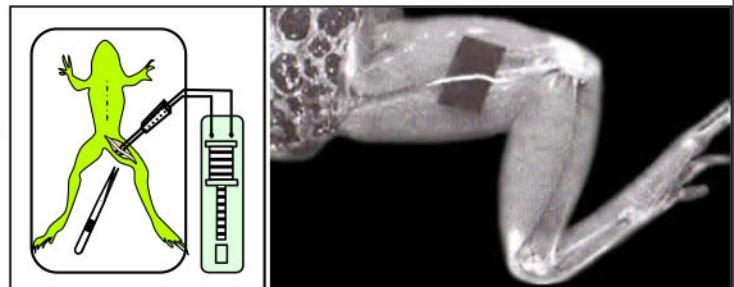
### I – Les propriétés du nerf.

#### ① Mise en évidence de l'excitabilité et de la conductibilité:

a) **Expérience :** (Voir document 1)

##### Document 1 : Mise en évidence des propriétés du nerf.

A fin de déterminer les caractéristiques du nerf, on isole par dissection le nerf sciatique de la patte postérieure d'une grenouille décérébrée et démédullée (Empêcher la sensibilité consciente, la motricité volontaire et involontaire). Puis on porte sur le nerf des excitations électriques efficaces:



★ Expérience 1 : lorsque le nerf de la grenouille est excité, celle ci plie la patte contenant le nerf.

★ Expérience 2 : lorsqu'on coupe le nerf sciatique et on porte une excitation de ce nerf, du côté du corps de la grenouille, on n'observe aucune réaction de la grenouille.

Analyser ces résultats puis déterminer les propriétés mises en évidence par ces expériences.

#### b) Analyse et déduction:

- ✓ On constate dans la première expérience que lorsque le nerf sciatique de la grenouille est excité, la patte se plie.
- ✓ Dans la deuxième expérience, on constate que lorsque le nerf sciatique est coupé, la patte ne répond plus à l'excitation.

L'application d'une stimulation efficace (Mécanique, électrique, chimique ou thermique) sur un nerf provoque un influx nerveux qui se propage le long de ce dernier. On en déduit que le nerf est excitable et conductible.

#### ② Etude des propriétés du nerf:

a) **Le dispositif expérimental:** (Voir document 2)

##### Document 2 : Le dispositif expérimental utilisé pour étudier les propriétés du nerf.

Pour étudier les propriétés du nerf on utilise :

- ★ Un dispositif utilisant l'oscilloscope cathodique (Voir figure 1) : L'oscilloscope est un appareil électronique qui permet de visualiser une tension ainsi que son évolution au cours du temps. Donc il permet d'enregistrer les phénomènes électriques du nerf.
- ★ Un dispositif d'expérimentation assisté par ordinateur (ExAO) (Voir figure 2) : permet la réalisation des expériences et facilite l'acquisition des données et le traitement des résultats.  
① = Nerf ; ② = Cuve à nerf ; ③ = Electrode excitatrices ; ④ = Electrodes réceptrices ;  
⑤ = interface et adaptateur ; ⑥ = Unité centrale d'un ordinateur.

## Document 2 : Suite.

Figure 1

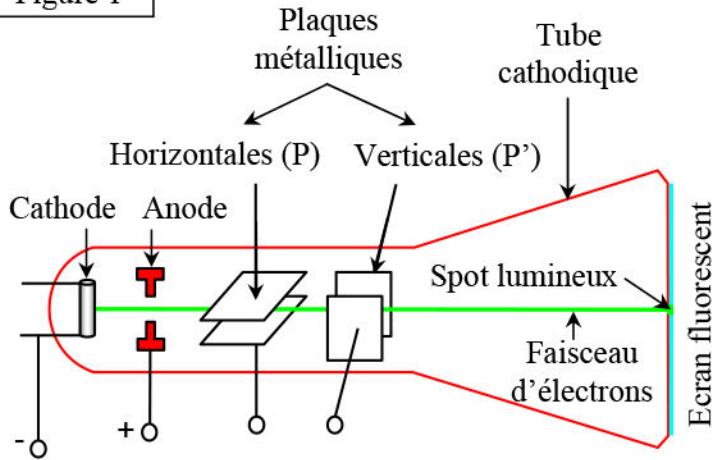
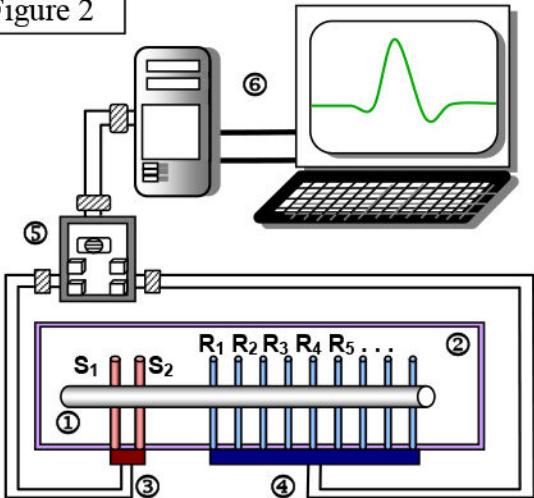


Figure 2



★ L'oscilloscope est formé essentiellement :

- ✓ D'un tube cathodique qui donne naissance à un faisceau d'électrons par chauffage d'un fil appelé cathode. Ces électrons tombent sur un écran fluorescent en marquant un spot lumineux.
- ✓ Deux plaques verticales avec une ddp entre elle, qui déplace le spot lumineux horizontalement de gauche à la droite.
- ✓ Deux plaques horizontales, chacune est reliée à une électrode réceptrice. Ces plaques permettent le balayage vertical du spot lumineux.

Les deux plaques fonctionnent en même temps, et donnent sur l'écran de l'oscilloscope, une courbe traduisant les variations des phénomènes électriques du nerf.

★ Le dispositif (ExAO) fonctionne avec un logiciel et assure l'excitation du nerf et l'enregistrement de son activité électrique. Les résultats apparaissent sur l'écran du dispositif, ou l'écran d'un ordinateur.

### b) Etude de l'excitabilité du nerf:

#### b<sub>1</sub>) Détermination des conditions d'excitabilité efficace : (Voir document 3)

##### Document 3 : Détermination des conditions d'excitabilité efficace.

Pour déterminer les conditions d'excitabilité efficace du nerf, on prépare le dispositif expérimental, puis sur le nerf sciatique de la grenouille, on réalise les expériences suivantes :

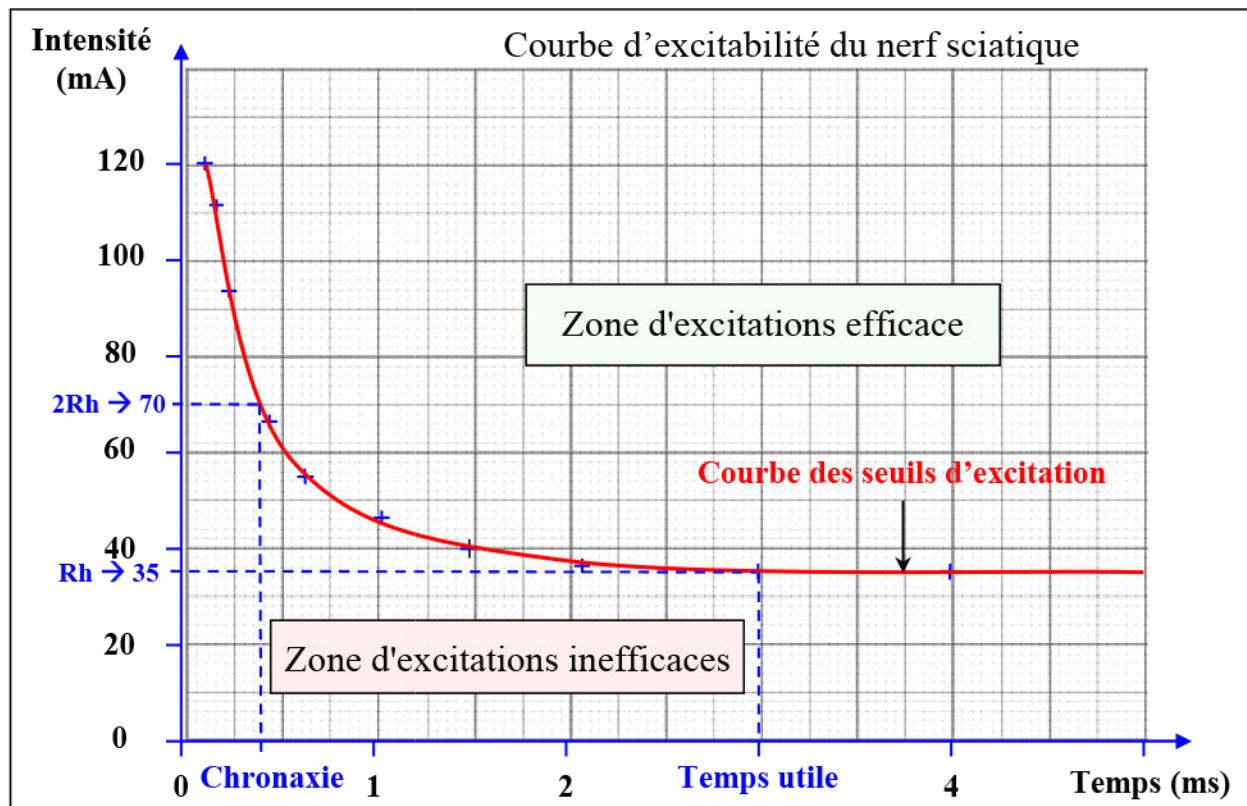
- ★ On fixe une intensité d'excitation donnée et on varie plusieurs fois sa durée, jusqu'à obtenir une réponse. Puis on répète les mêmes mesures pour d'autres valeurs d'intensité d'excitation.
- ★ On fixe la durée de l'excitation et on varie plusieurs fois son intensité, jusqu'à obtenir une réponse. On répète les mêmes mesures pour d'autres valeurs de la durée d'excitation.

Les résultats obtenus sont présenté par le tableau suivant. Celui ci montre les intensités d'excitation et les durées correspondantes (pour des excitations efficaces).

Intensités d'excitation (mV)	120	112	94	65.5	55	47	40	37	35	35
Durée (ms)	0.10	0.15	0.2	0.45	0.65	1.05	1.5	2.15	3	4

- 1) Sur un repère orthonormé, établir la courbe d'excitabilité du nerf :  $I = f(t)$  (Variation de l'intensité d'excitation I en fonction de la durée t : 1 cm  $\rightarrow$  20 mV et 1 cm  $\rightarrow$  0.5 ms)
- 2) Sachant qu'une excitation efficace a les caractéristiques suivantes (40 mV, 1.5 ms), quelle relation lie ces deux valeurs ?
- 3) Déterminer graphiquement les caractéristiques de l'excitabilité de ce nerf ?

1) Réalisation de la courbe d'excitabilité du nerf :



La courbe obtenue représente les seuils d'excitation du nerf, et délimite deux zones : la zone des excitations efficaces et la zone des excitations inefficaces.

- 2) Pour qu'une excitation d'intensité de 40 mV soit efficace, il faut que sa durée soit supérieure ou égale à 1.5ms, ce temps représente le seuil relatif de la durée.

Pour qu'une excitation de durée de 1.5 ms soit efficace, il faut que son intensité soit supérieure ou égale à 40mV, cette valeur représente le seuil relatif de l'intensité.

- 3) Détermination des caractéristiques d'excitabilité du nerf :

- ✓ La plus faible intensité qui peut engendrer une réponse est 35 mV. Cette valeur est appelée rhéobase (Rh) et elle est considérée comme un seuil absolu d'excitation.
- ✓ Le temps nécessaire pour obtenir la réponse à une excitation d'intensité égale à la rhéobase (Rh) est appelé temps utile.
- ✓ Le temps nécessaire pour obtenir la réponse du nerf à une excitation d'intensité double de la rhéobase (2Rh) est appelé la chronaxie.

**b<sub>2</sub>) Réponse du nerf à une excitation isolée et efficace :** (Voir document 4)

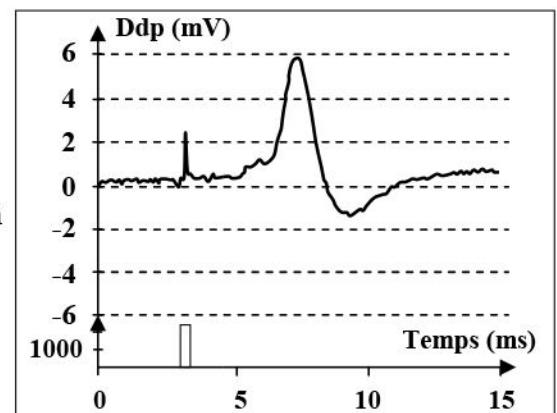
**Document 4 : Réponse du nerf à une excitation isolée et efficace.**

Lorsqu'un nerf est en activité, il est parcouru par des messages nerveux se traduisant par une activité électrique globale qu'il est possible d'enregistrer après l'avoir amplifiée.

Une fois le nerf sciatique d'une grenouille disséqué, isolé et placé sur les électrodes d'une cuve à nerf, les réponses à divers types de stimulations électriques peuvent être visualisées sur un écran d'oscilloscope ou avec un système d'ExAO.

Le document ci-contre représente l'enregistrement électro-nerveux général résultant d'une excitation isolée et efficace.

Décrire cet enregistrement qui correspond à la réponse du nerf à une excitation isolée efficace.



L'application d'une excitation efficace (électrique, chimique, mécanique ou thermique) sur un nerf isolé provoque la naissance et la propagation d'un évènement court durant lequel le potentiel électrique du nerf change rapidement.

L'enregistrement obtenu traduit donc les modifications de l'état électrique du nerf suite à l'excitation. C'est un potentiel d'action diphasique qui présente :

- ✓ Le potentiel de repos : c'est le potentiel de départ (avant l'excitation).
- ✓ L'artefact de stimulation : phénomène électrique enregistré par les électrodes réceptrices, indiquant le moment de stimulation ;
- ✓ La dépolarisation : le potentiel augmente très rapidement (phase ascendante) pour atteindre un pic.
- ✓ La repolarisation : Après le pic, le potentiel diminue pour se rapprocher du potentiel de repos.
- ✓ L'hyperpolarisation : Le potentiel devient inférieur au potentiel de repos.

### b<sub>3</sub>) Réponse du nerf à des excitations isolées d'intensité croissante et de durée fixe :

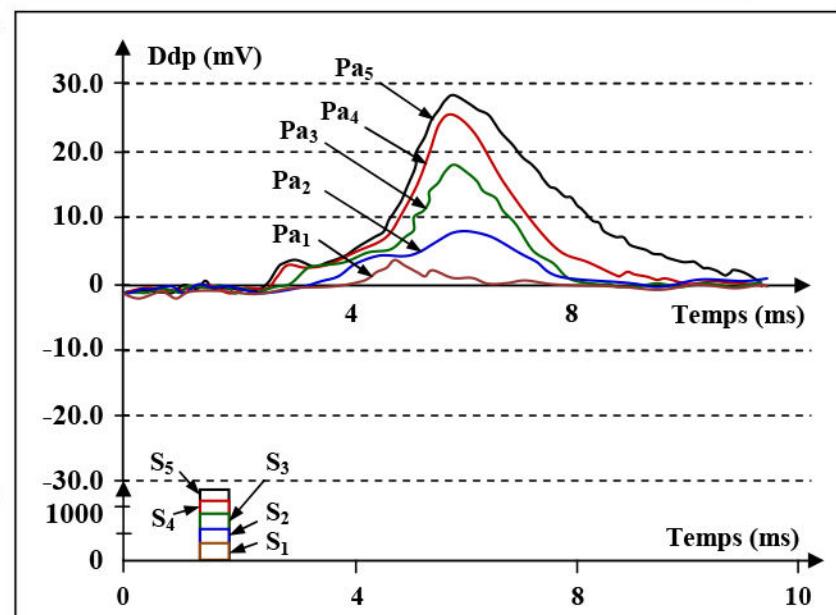
(Voir document 5)

#### Document 5 : Réponse du nerf à des excitations isolées d'intensité croissante et de durée fixe.

Avec le dispositif d'ExAO, on enregistre les réponses du nerf à des stimulations d'intensité croissante  $S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$ , et de durée fixe (0.5ms). Le logiciel utilisé permet de superposer sur l'écran les enregistrements des réponses nerveuses successives : Pa<sub>1</sub>, Pa<sub>2</sub>, Pa<sub>3</sub>, Pa<sub>4</sub>, Pa<sub>5</sub>.

Les résultats de cette manipulation sont présentés par la figure ci-contre.

- 1) Qu'est ce qu'on peut déduire de la comparaison des courbes obtenues ?
- 2) Proposer une explication qui relie les différences d'amplitude des réponses du nerf à ces excitations et à sa structure anatomique.



- 1) La stimulation du nerf avec des intensités croissantes  $S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$ , donne des potentiels globaux Pa<sub>1</sub>, Pa<sub>2</sub>, Pa<sub>3</sub>, Pa<sub>4</sub>, Pa<sub>5</sub>, dont l'amplitude augmente avec l'augmentation de l'intensité.

On en déduit que l'amplitude de la réponse du nerf à des excitations, dépend de sa structure en groupe de fibres nerveuses et à l'intensité de l'excitation.

- 2) Lors de la faible stimulation S<sub>1</sub>, le seuil de dépolarisation de quelques fibres est atteint. La somme des potentiels d'actions émis donne le potentiel global Pa<sub>1</sub>.

Pour des stimulations plus importantes S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> et S<sub>5</sub>, l'amplitude du potentiel global augmente avec l'augmentation de l'intensité, jusqu'au maximum. En effet de plus en plus de fibres sont recrutées (ou stimulées), la somme de leurs potentiels d'action est donc de plus en plus importante.

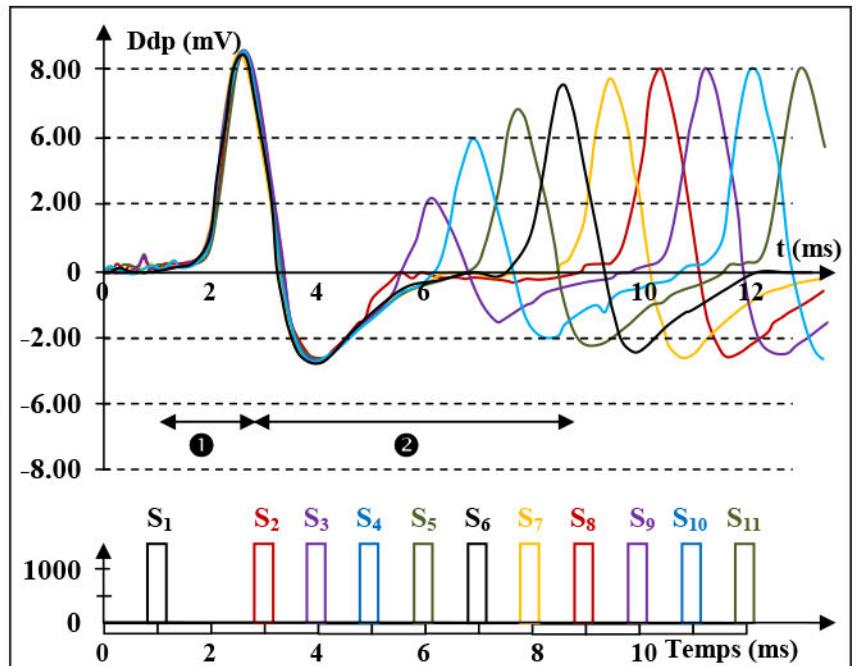
Cette caractéristique du nerf est à mettre en relation avec sa composition: un ensemble de fibres nerveuses ne répondant donc pas toutes en même temps. Quand on augmente l'intensité de la stimulation, l'augmentation de l'amplitude du potentiel global obtenue est due à un recrutement progressif des fibres nerveuses du nerf, ayant des seuils de dépolarisation différents. On dit que le nerf obéit à la loi de recrutement.

### b<sub>4</sub>) Réponse du nerf à deux excitations d'intensité et de durée constantes mais rapprochées de plus en plus : (Voir document 6)

## Document 6 : Réponse du nerf à deux excitations d'intensité et de durée constantes mais rapprochées de plus en plus :

On a enregistré sur un nerf isolé, les réponses à deux stimulations successives à 11ms d'intervalle (Le premier enregistrement vert en partant de la droite). Puis on a envoyé deux nouvelles stimulations en diminuant l'intervalle de temps d'une milliseconde et on a superposé les enregistrements (enregistrement bleu clair). Et ainsi de suite jusqu'à ce que l'intervalle de temps entre les deux stimulations ne soit plus que de deux millisecondes.

Montrer l'effet du rapprochement, de plus en plus, des deux excitations successives sur la réponse du nerf. Proposer une explication à cet effet.



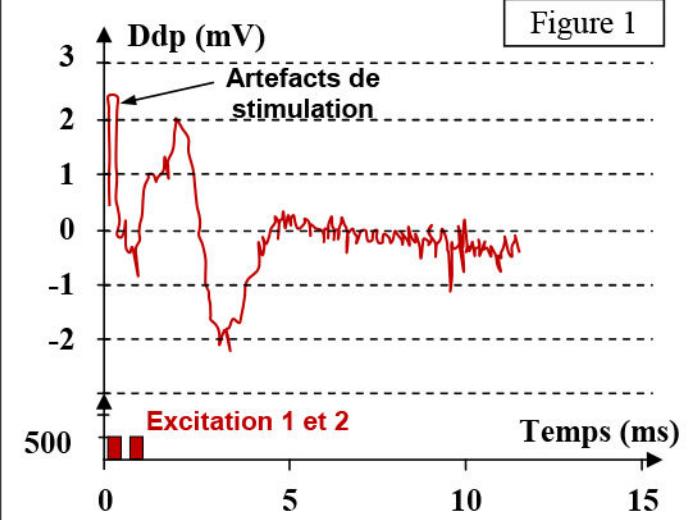
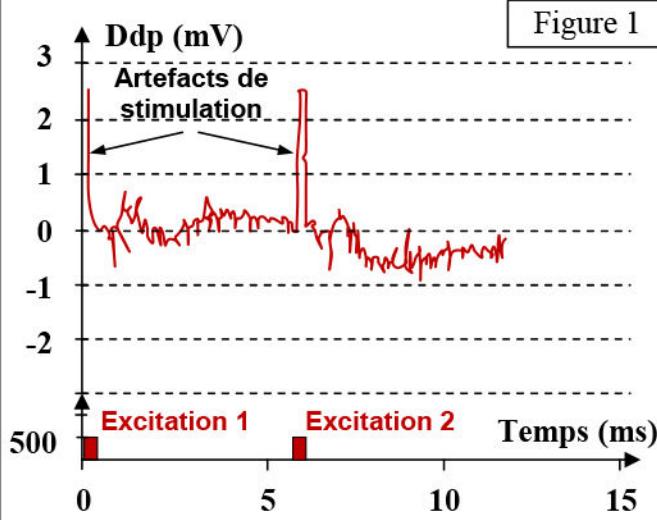
- Quand le temps qui sépare deux excitations successives est inférieur ou égale à 2 ms, la deuxième excitation ne produit aucun potentiel d'action.
  - Quand le temps qui sépare deux excitations successives est supérieur à 2 ms, la deuxième excitation produit un potentiel d'action d'amplitude croissante ( $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ ).
  - A partir de  $S_8$ , le potentiel d'action enregistré pour la première excitation a la même amplitude que le potentiel provoqué par la première excitation.
- ✓ Après une excitation, la fibre nerveuse devient inexcitable pendant 2 ms, ce temps est appelé période réfractaire absolue (❶).
- ✓ Après la période réfractaire absolue, la fibre nerveuse répond avec un potentiel d'action d'amplitude anormale pendant 6 ms, ce temps est appelé période réfractaire relative (❷).

La période réfractaire est donc une période durant laquelle l'état de polarisation de la cellule la rend incapable d'émettre un nouveau signal électrique.

### b4) Réponse du nerf à deux excitations inefficace mais très rapprochées dans le temps:

(Voir document 7)

## Document 7 : Réponse du nerf à deux excitations inefficace mais très rapprochées dans le temps.



La figure 1 : enregistrement électro-nerveux résultant de deux excitations inefficace et éloignées dans le temps.  
 La figure 2 : enregistrement électro-nerveux résultant de deux excitations inefficace, mais très rapprochées dans le temps.

Qu'est ce qu'on peut déduire de la comparaison de ces deux enregistrements ?

Les deux excitations inefficaces éloignées, n'engendrent aucun potentiel d'action.

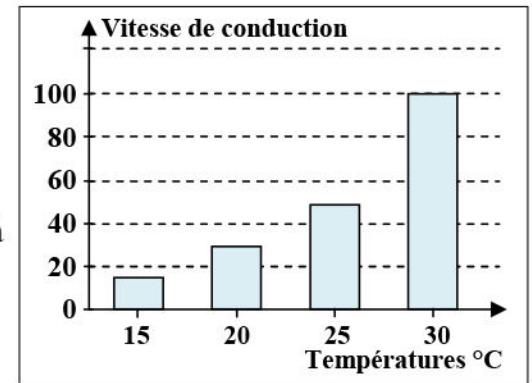
Les deux excitations inefficaces mais rapprochées, aboutissent à l'apparition d'une réponse du nerf. On parle du phénomène de sommation temporelle qui résulte de la sommation de l'effet des deux excitations infraliminaires.

### c) Etude de la conductibilité du nerf:

#### c<sub>1</sub>) Les conditions de la conductibilité : (Voir document 8)

##### Document 8 : Les conditions de la conductibilité.

- ★ La figure ci-contre montre l'effet de la température sur la vitesse de conduction de l'influx nerveux.
- ★ La section du nerf sciatique chez l'homme, suite à un accident, entraîne la paralysie du membre inférieur innervé par ce nerf.
- ★ Dans certains cas, les vertèbres compriment le nerf sciatique à la sortie de la colonne vertébrale. Ce qui provoque la raideur des muscles des membres inférieurs et la difficulté de la marche à cause de la perturbation de la conduction des influx nerveux provenant des centres nerveux.
- ★ Le recours à l'anesthésie pendant les opérations chirurgicales permet d'éviter la douleur en bloquant la conduction de l'influx nerveux vers les centres nerveux.



Certains facteurs agissent sur l'excitabilité et la conductibilité du nerf. Ils peuvent être soit physiques comme la température et la pression, soit chimique comme les substances anesthésiantes, par exemple l'éther.

#### c<sub>2</sub>) Calcule de la vitesse de conduction : (Voir document 9)

##### Document 9 : Calcule de la vitesse de conduction.

Pour calculer la vitesse de conduction du nerf aux messages nerveux, on le soumet à deux excitations successives de même intensité et de même durée.

Soit  $d_1$ , la distance entre les électrodes excitatrices  $S_1S_2$  et l'électrode réceptrice  $R_1$ .

Soit  $d_2$ , la distance entre les électrodes excitatrices  $S_1S_2$  et l'électrode réceptrice  $R_2$ .

Lorsqu'on juxtapose, dans le temps, les artefacts de stimulations, on observe un décalage entre les deux enregistrements électro nerveux obtenus ( $Pa_1$  et  $Pa_2$ ).

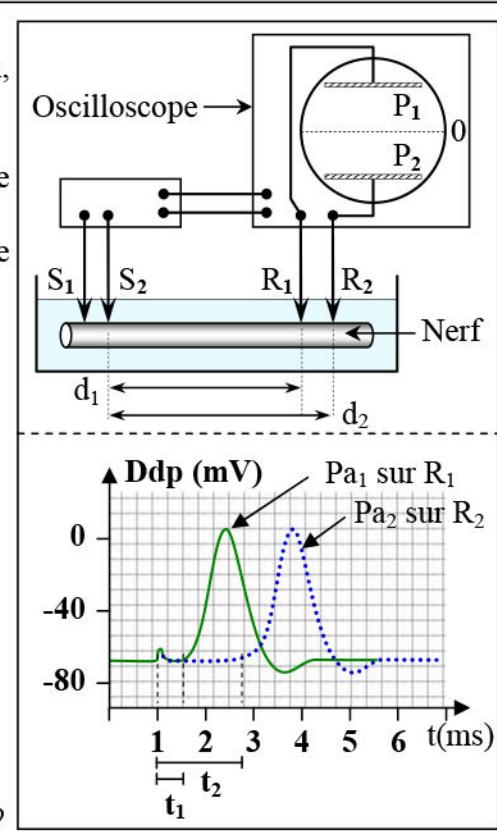
Si on suppose que :  $\Delta t$  ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ) est la durée que fait le message nerveux pour parcourir la distance  $\Delta d$  ( $\Delta d = d_2 - d_1$ ) :

La vitesse de conduction du nerf est  $V$  :  $V = \Delta d (\text{mm}) / \Delta t (\text{ms})$

Deux stimulations successives sont portées sur le nerf sciatique d'une grenouille en  $S_1S_2$ . Les résultats de cette expérience sont portés dans le tableau ci-dessous :

Température du milieu	18 °C	28 °C
$\Delta t$ (ms)	1	0.5

Sachant que  $\Delta d = 12 \text{ mm}$ , calculer la vitesse de conduction du nerf sciatique dans les deux cas de température. Que peut-on en déduire ?



Calcul de la vitesse de conduction de l'influx nerveux :

- ✓ Dans une température de 18 °C :  $V_1 = \Delta d / \Delta t = 6 / 1 = 6 \text{ mm/ms}$
- ✓ Dans une température de 28 °C :  $V_2 = \Delta d / \Delta t = 6 / 0.5 = 12 \text{ mm/ms}$

On constate que la vitesse de conduction de l'influx sur le nerf est très inférieure à la vitesse du courant électrique (300 000 km/s), le message nerveux n'est donc pas un courant électrique.

Certain facteurs, comme la température, agissent sur la conductibilité du nerf.

## II – Nature et naissance du message nerveux.

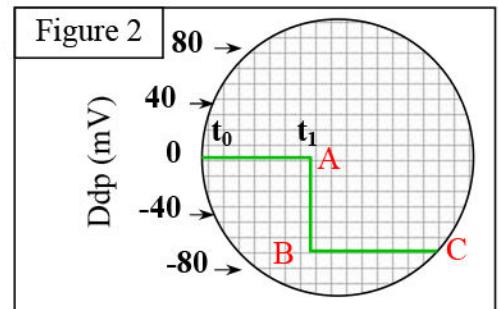
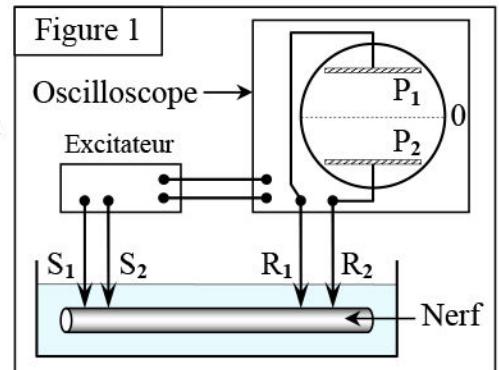
### ① Mise en évidence du potentiel de repos: (Voir document 10)

#### Document 10 : Mise en évidence du potentiel de repos.

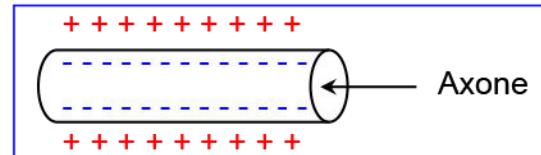
Pour mettre en évidence l'activité électrique du nerf au repos, on utilise des techniques d'expérimentations récentes, un support vivant favorable tel que des fibres nerveuses géantes de calmar, dont le diamètre de l'axone atteint 1mm (Figure 1) et une cuve contenant un liquide nutritif isotonique.

En absence de toute excitation, on réalise les deux expériences suivantes :

- Au début, on place les deux microélectrodes R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> à la surface de l'axone, on observe sur l'écran la ligne 0A représenté sur la figure 2.
- Au temps t<sub>2</sub>, on introduit, progressivement, la microélectrode R<sub>1</sub> à l'intérieur de l'axone (R<sub>2</sub> reste à la surface), on obtient la partie ABC, sur le même enregistrement de la figure 2.
  - 1) Que peut-on déduire de l'analyse de ces résultats ?
  - 2) Déterminer la valeur du potentiel de repos, puis déduire la polarité de la membrane plasmique du nerf au repos.
  - 3) Réaliser le schéma de l'axone montrant la répartition des charges de part et d'autres de sa membrane.



- 1) Le nerf (ou la fibre nerveuse) à l'état de repos, est caractérisé par une différence de potentiel permanente de part et d'autre de sa membrane. C'est le potentiel de repos ou potentiel membranaire.
- 2) En absence de toute stimulation, le potentiel de repos est de -70 mV. Il caractérise toutes les cellules vivantes et il est due à une polarité électrique entre l'intérieur et l'extérieur de ces cellules : la surface porte des charges positives et l'intérieur des charges négatives.
- 3) Schéma d'un axone :



### ② Mise en évidence du potentiel d'action: (Voir document 11)

#### Document 11 : Mise en évidence du potentiel d'action.

En utilisant le même montage que celui utilisé pour mesurer le potentiel de repos, on peut enregistrer l'activité électrique du nerf (ou la fibre nerveuse) à la suite d'une excitation efficace et isolée (Figure 1). La forme des enregistrements obtenus varie selon l'emplacement des électrodes réceptrices (R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>) :

- ✓ Expérience 1 : Au temps t<sub>0</sub> l'électrode R<sub>1</sub> est introduite à l'intérieur de l'axone et R<sub>2</sub> une électrode de référence. Au temps t<sub>1</sub> on applique une excitation efficace. On obtient le tracé de la figure 2.
- ✓ Expérience 2 : Au temps t<sub>0</sub> les électrodes R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> sont à la surface de l'axone. Au temps t<sub>1</sub> on applique une excitation efficace. On obtient l'enregistrement de la figure 3.

## Document 11 : Suite.

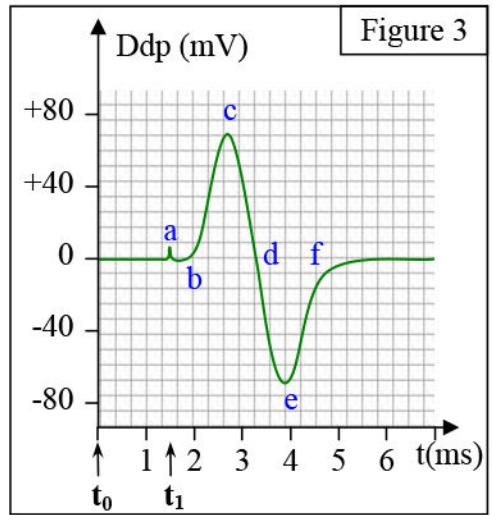
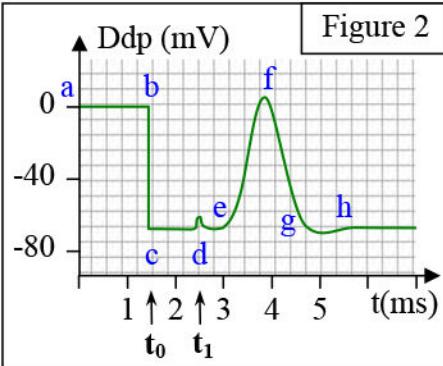
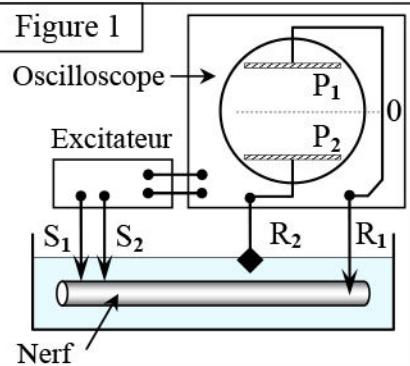
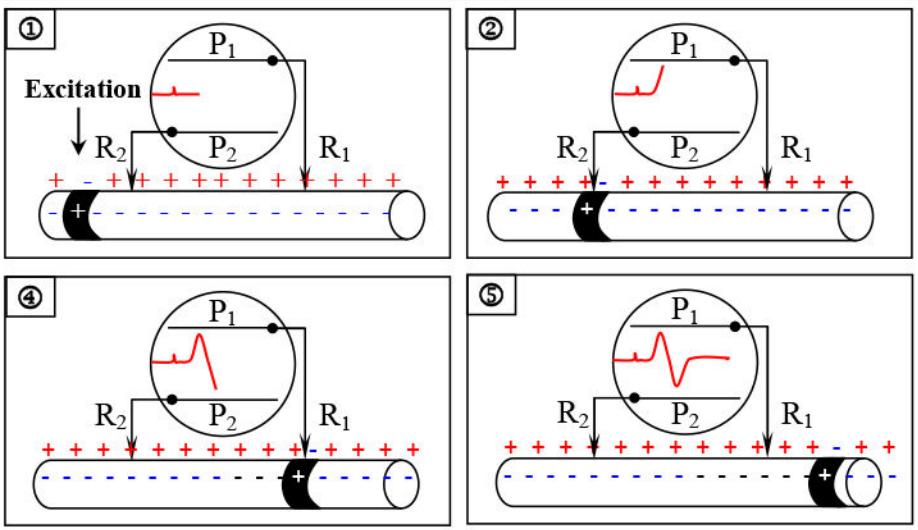


Figure 4

Schémas expliquant les variations de la polarisation membranaire au moment des phases du potentiel d'action.



- 1) Comparer les deux enregistrements de la figure 2 et la figure 3. Déduire une définition du potentiel d'action.
  - 2) En se basant sur les schémas de la figure 4, expliquer les différentes phases du potentiel d'action.
- 1) La stimulation supraliminaire du nerf ou la fibre nerveuse en un point précis, provoque une variation transitoire du potentiel, c'est le potentiel d'action. Selon l'emplacement des électrodes réceptrices ( $R_1$  et  $R_2$ ), le potentiel d'action peut être soit :
    - Un potentiel d'action monophasique (Figure 2).
    - Un potentiel d'action diphasique (Figure 3).
  - 2) L'excitation efficace du nerf ou la fibre nerveuse en un point précis, provoque une inversion temporaire de la différence de potentiel, de part et d'autre de la membrane cellulaire, appelée potentiel d'action, qui se propage sous forme d'une onde de négativité formant le message nerveux (Figure 4). Lorsque cette onde arrive à l'électrode réceptrice elle crée une dépolarisation de cette électrode. Lorsque cette onde quitte l'électrode réceptrice, il y aura rétablissement du potentiel membranaire de repos. Cette étape est appelée phase de repolarisation de l'électrode réceptrice.

- Le potentiel d'action monophasique (Figure 2) est constitué des phases suivantes :
  - L'artefact de stimulation (d).
  - La phase de latence ((d - e)).
  - La dépolarisation au niveau de  $R_1$  (e - f).
  - La repolarisation au niveau de  $R_1$  (f - g).
  - La phase d'hyperpolarisation (g - h).

- ✓ Le potentiel d'action diphasique (Figure 3) est constitué des phases suivantes :
- L'artefact de stimulation (a).
  - La phase de latence ((a – b)).
  - La dépolarisation au niveau de  $R_2$  (b – c).
  - La repolarisation au niveau de  $R_2$  (c – d).
  - La dépolarisation au niveau de  $R_1$  (d – e).
  - La repolarisation au niveau de  $R_1$  (e – f).

### ③ Les phénomènes ioniques à l'origine du potentiel de repos:

#### a) Origine du potentiel de repos: (Voir document 12)

##### Document 12 : Origine du potentiel de repos.

Pour connaître l'origine du potentiel de repos, on réalise les expériences suivantes :

Expérience 1 : On mesure la répartition des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de part et d'autre de la membrane cytoplasmique de l'axone. Les résultats de cette étude sont présentés par le tableau suivant :

Ions	Intérieur de l'axone en $\text{mg .L}^{-1}$	Extérieur de l'axone en $\text{mg .L}^{-1}$
$\text{Na}^+$	50	440
$\text{K}^+$	410	22

1) Comparer les données du tableau et proposer une explication de l'origine du potentiel de repos.

Expérience 2 : Un axone amyélinique géant de calmar est plongé dans le liquide de Ringer (Maintient en vie un organe animal isolé) contenant le sodium radioactif ( $^{24}\text{Na}^+$ ). Après quelques heures dans ce milieu, on replonge cet axone dans du liquide contenant des ions  $\text{Na}^+$  non radioactifs.

Les résultats de cette expérience sont présentés par la figure suivante :



2) Que peut-on déduire de l'analyse de ces résultats ?

1) La répartition des ions de part et d'autre de la membrane de la fibre nerveuse est inégale. Le milieu externe est riche en ion  $\text{Na}^+$  et pauvre en ions  $\text{K}^+$ , et le milieu intérieur est riche en ions  $\text{K}^+$  et pauvre en ions  $\text{Na}^+$ .

L'existence d'un gradient de concentration d'une espèce ionique de part et d'autre de la membrane entraîne l'existence d'un gradient électrique.

Le potentiel de repos peut-être expliqué par la répartition dissymétrique des ions de part et d'autre de la membrane, donc de la perméabilité sélective de la membrane aux ions.

2) Analyse des résultats de l'expérience 2 :

- ✓ Phase ① : La solution extérieure contient le  $\text{Na}^+$  radioactif. Passage du  $\text{Na}^+$  radioactif du milieu extérieur vers le milieu intérieur de l'axone.
- ✓ Phase ② : Le milieu extérieur contient le  $\text{Na}^+$  normal. L'axone contient le  $\text{Na}^+$  radioactif.
- ✓ Phase ③ : Passage de  $\text{Na}^+$  radioactif de l'intérieur de l'axone vers le milieu extérieur.

Les ions tendent à diffuser selon leur gradient de concentration.

Si les échanges des ions se font uniquement par transport passif suivant le gradient de concentration, le potentiel de repos tend à disparaître progressivement. Donc il existe un autre mécanisme qui agit pour conserver la différence de concentration des ions de part et d'autre de la membrane de la fibre nerveuse.

## b) Transport actif et maintien du potentiel de repos: (Voir document 13)

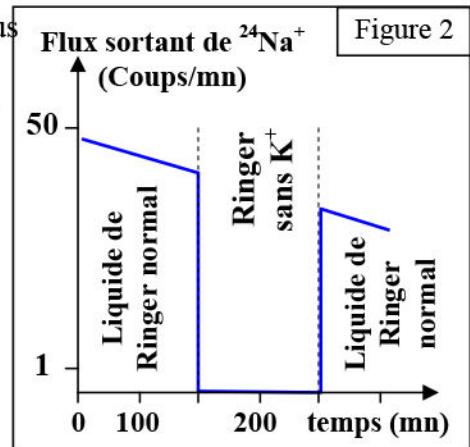
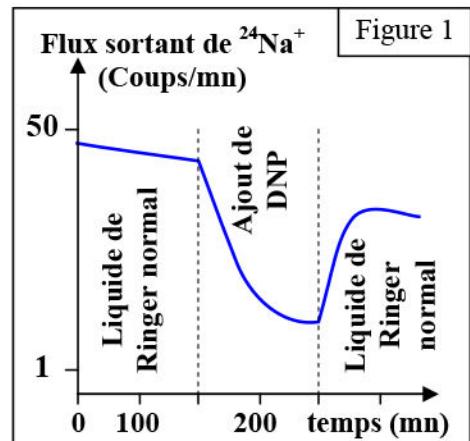
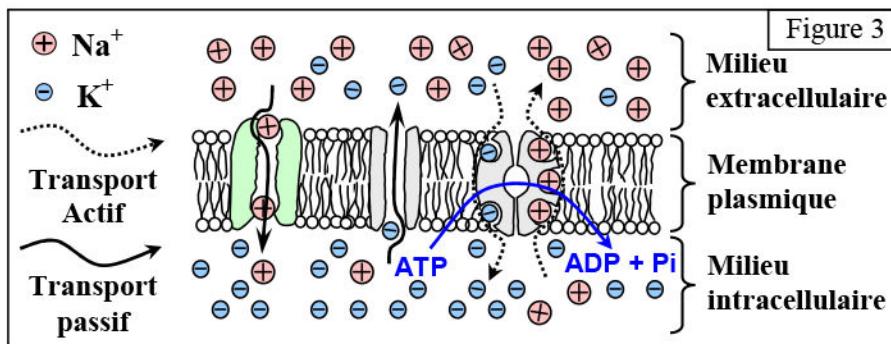
### Document 13 : Transport actif et maintien du potentiel de repos.

- ✓ On mesure la sortie de sodium radioactif d'un axone géant de calmar en fonction du temps, en conditions normales, puis en ajoutant un inhibiteur de la synthèse d'ATP : le dinitrophénol (DNP). La figure 1, présente les résultats de cette expérience.

- 1) Pourquoi utilise-t-on du sodium radioactif ?
- 2) Quel est l'effet du DNP et comment l'expliquez-vous ?

- ✓ On mesure la sortie de sodium radioactif d'un axone géant de calmar en fonction du temps, en conditions normales, puis en ajoutant les ions  $K^+$ . La figure 2, présente les résultats de cette expérience.

- 3) En exploitant les données de la figure 1, 2 et 3, que pouvez-vous conclure quant au mécanisme régulant la sortie de sodium ?



- 1) On utilise le sodium radioactif, pour pouvoir le détecter et donc savoir ce qu'il devient une fois introduit dans l'axone.
- 2) Au début de l'expérience, on s'aperçoit que le flux sortant de sodium radioactif diminue régulièrement avec le temps. Cela montre que le  $^{24}Na^+$  introduit dans l'axone est progressivement évacué de la cellule. Après l'ajout de DNP, on constate une nette diminution de ce flux qui n'est que temporaire puisqu'une fois le DNP retiré du milieu, le flux sortant de sodium retrouve sa pente initiale. C'est donc qu'en conditions normales le sodium sort de la cellule et que cette sortie nécessite de l'ATP.
- 3) On constate que le flux sortant de sodium radioactif s'arrête brusquement, une fois le  $K^+$  retiré du milieu. Cela montre que la sortie des ions  $Na^+$  nécessite la présence des ions  $K^+$ .

La sortie de sodium nécessitant de l'ATP et la présence des ions  $K^+$ , il s'agit donc d'un mécanisme de transport actif et on peut penser qu'il s'agit de la pompe  $Na^+/K^+$ .

### c) Conclusion:

Le potentiel de repos résulte d'une inégale répartition des ions  $Na^+$  et  $K^+$  entre le milieu extérieur, du nerf et le milieu intérieur. Cette différence de concentration s'explique par des échanges ioniques qui se font à travers la membrane cellulaire sous l'effet de deux types de transport :

- ✓ Un transport passif, qui se fait selon le gradient décroissant de la concentration.
- ✓ Un transport actif, qui se fait contre le gradient de concentration, par des protéines membranaires spécifiques connues sous le nom de pompe à  $Na^+/K^+$ , qui nécessite de l'énergie.

Au moment de chaque cycle fonctionnel de la membrane plasmique, la pompe à  $Na^+/K^+$  fait sortir 3 ions  $Na^+$  pour entrer 2 ions  $K^+$ , avec l'hydrolyse d'une molécule d'ATP selon la réaction :



## ④ Les phénomènes ioniques à l'origine du potentiel d'action:

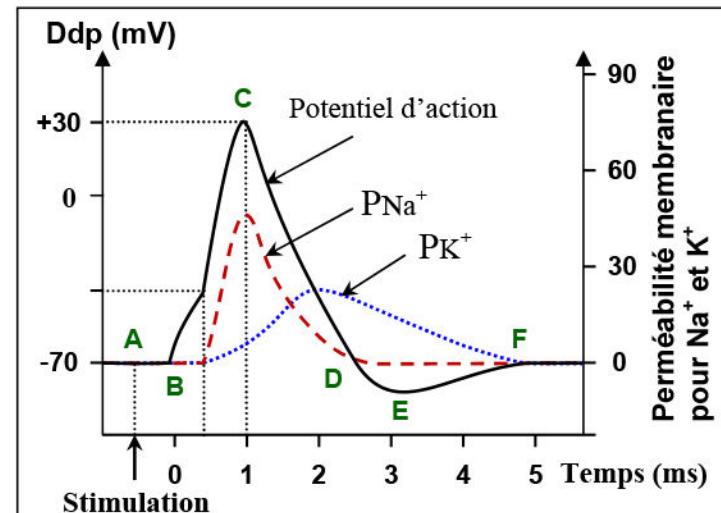
### a) Origine du potentiel d'action: (Voir document 14)

#### Document 14 : Origine du potentiel d'action.

Pour déterminer l'origine du potentiel d'action, on porte une stimulation efficace sur l'axone et on mesure en fonction du temps la variation de la perméabilité membranaire aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .

Les résultats de cette expérience sont présentés sur la figure ci-contre.

En se basant sur les données de ce document, établir la relation entre la variation de la perméabilité membranaire aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  et les différentes phases du potentiel d'action.



Analysons l'effet de l'excitation sur la perméabilité membranaire de la fibre nerveuse aux ions  $\text{Na}^+$  ( $P_{\text{Na}^+}$ ) et aux ions  $\text{K}^+$  ( $P_{\text{K}^+}$ ):

- (A – B) : Au repos la perméabilité membranaire aux ions sodium et potassium est très faible car la plupart des canaux ioniques sont fermés. Or, ces canaux étant sensibles au potentiel de membrane (on dit qu'ils sont électrodépendants ou voltage-dépendants), une légère dépolarisation suffit à provoquer leur ouverture.
- (B – C) : L'excitation de la membrane cytoplasmique provoque instantanément et localement une augmentation de la perméabilité de la membrane cytoplasmique aux ions  $\text{Na}^+$  par ouverture locale des canaux de  $\text{Na}^+$ . Les ions sodium rentrent alors massivement dans la cellule en raison de leur gradient de concentration et de leur gradient électrique ce qui augmente la dépolarisation et finit par inverser le potentiel de membrane qui atteint une valeur d'environ + 30 mV.
- (C – D) : Cette forte dépolarisation finit par inactiver les canaux au sodium mais induit l'ouverture de canaux au potassium, également électrodépendants, ce qui a pour effet d'augmenter la perméabilité aux ions potassium. Les ions potassium, beaucoup plus nombreux à l'intérieur qu'à l'extérieur, quittent alors la cellule en masse et permettent au potentiel de membrane de retrouver sa valeur initiale.
- (D – E – F) : Toutefois les canaux au potassium n'étant pas immédiatement inactivés au moment où la fibre retrouve son potentiel de repos, les ions potassium continuent à quitter la cellule et provoquent ainsi une légère hyperpolarisation, le temps que la perméabilité au potassium retrouve sa valeur de repos. Dans le même temps, la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  s'active, en consommant de l'énergie, fait sortir  $\text{Na}^+$ , et fait entrer  $\text{K}^+$  contre leurs gradient de concentration.

Ce sont en effet des mouvements de sodium et de potassium qui sont à l'origine des différentes phases du potentiel d'action.

### b) Les structures membranaires responsables des échanges ioniques :

(Voir figure 3, document 14)

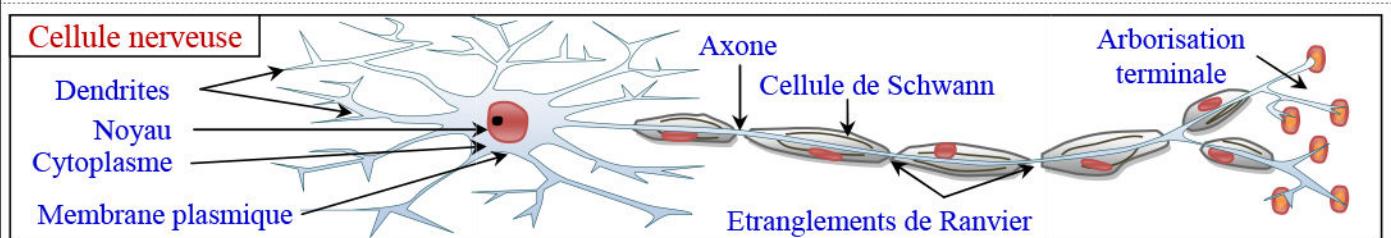
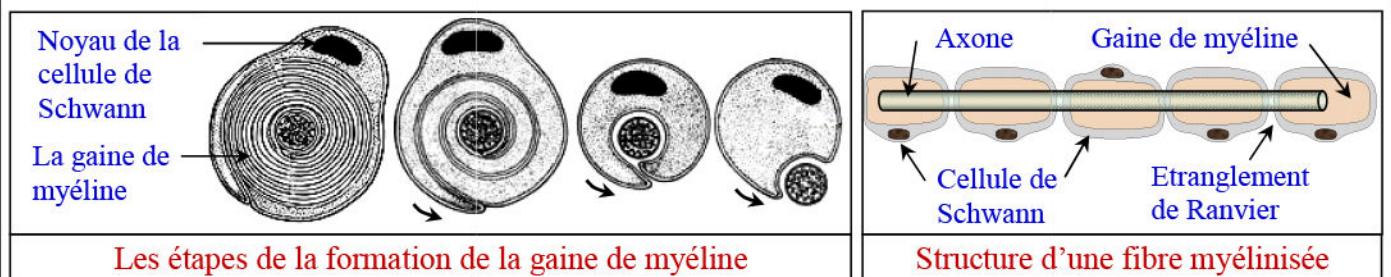
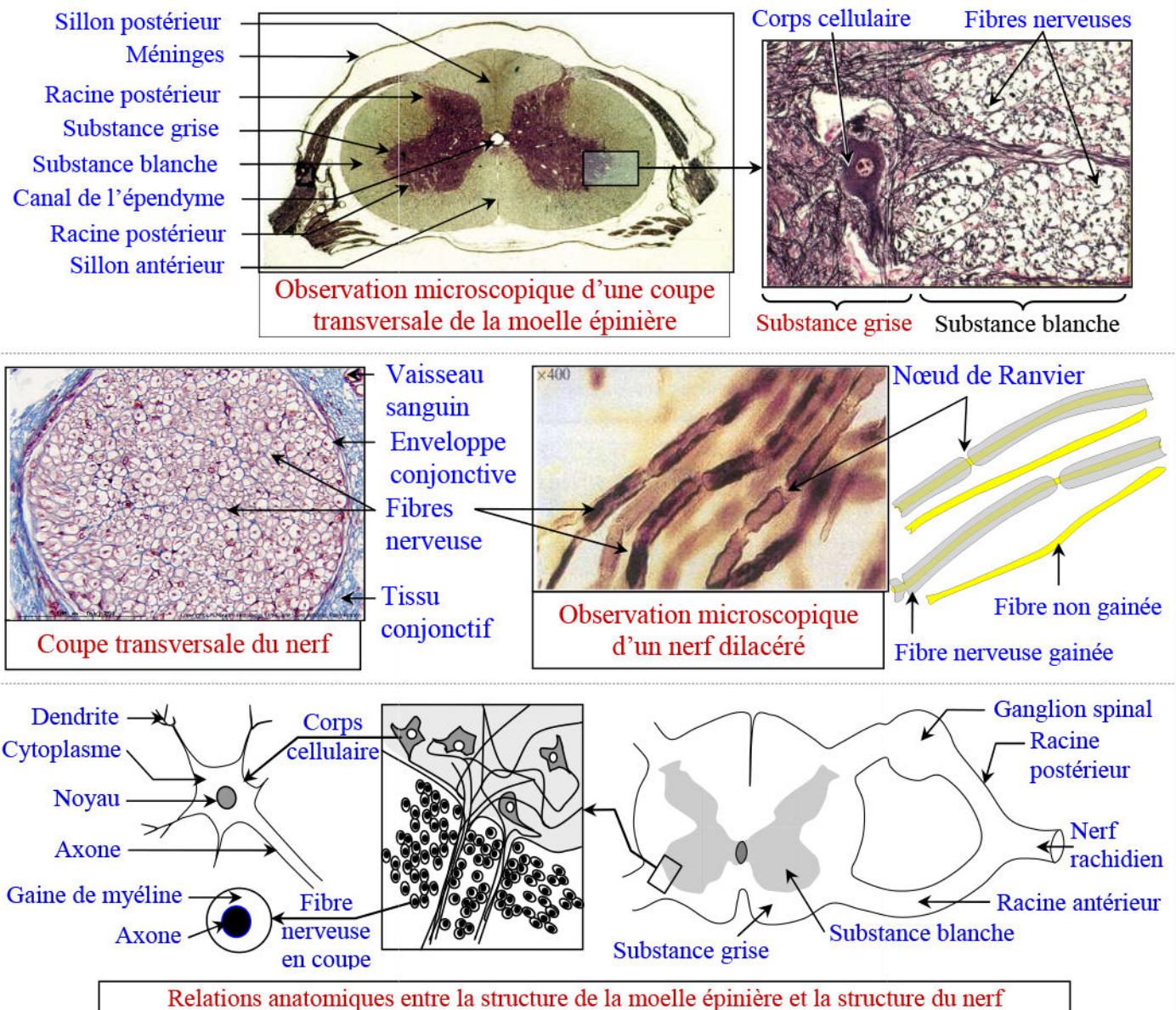
Les structures membranaires responsables de la variation de répartition des ions à travers la membrane cellulaire au moment du potentiel d'action sont des protéines membranaires spécifiques responsables de la variation de la perméabilité membranaire vis à vis des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  qui fonctionnent sous l'action de la différence de potentiel électrique membranaire locale provoquée par l'excitation. On les appelle canaux voltage-dépendants.

### III – Propriétés de la fibre nerveuse.

① L'histologie nerveuse: (Voir document 15)

#### Document 15 : Structures histologique de la moelle épinière et du nerf.

La moelle épinière est le centre nerveux auquel sont rattachés les nerfs rachidiens. Pour rappeler l'organisation au microscope de la moelle épinière et celle d'un nerf rachidien puis déterminer les relations anatomiques entre ces deux structures, on exploite les données suivantes :



## Document 15 : Suite.

A partir de l'analyse de ces documents, décrire la structure de la fibre nerveuse puis réaliser un schéma de la fibre nerveuse avec légende et titre.

Étude de la moelle épinière À faible grossissement (40X) permet de distinguer entièrement la coupe de la moelle épinière :

- ✓ On observe la méninge qui recouvre le système nerveux central.
- ✓ Sur la face antérieure (côté abdominal) on distingue le sillon médian antérieur, plus large et plus prononcé que son vis-à-vis, le sillon médian postérieur (côté dorsal).
- ✓ Antérieurement, on peut distinguer l'émergence des racines antérieures des nerfs rachidiens.
- ✓ Dorsalement, on peut distinguer l'émergence des racines postérieures des nerfs rachidiens.
- ✓ Au centre de la moelle épinière se trouve un canal, le canal épendymaire, où va circuler le liquide céphalo-rachidien.
- ✓ On distingue la substance blanche, qui va entourer la substance grise en forme de papillon :
  - Les ailes du papillon sont plus courtes et plus épaisses au niveau antérieur (côté abdominal), ce sont les cornes antérieures. Elles renferment les corps cellulaires de neurones contenant un noyau, et se prolonge par des dendrites et un axone.  
Au niveau postérieur (côté dorsal), les ailes du papillon sont plus étroites, ce sont les cornes postérieures. Elles renferment aussi des corps cellulaires de neurones.
  - 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.
- ✓ L'observation d'une coupe transversale du nerf montre qu'il est composé de faisceaux de fibres nerveuses. 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 (Fibres nerveuses gainées) et les fibres amyélinisées (Fibres nerveuses non gainées). La myéline sur les fibres nerveuses myélinisées est discontinue, elle est absente au niveau des nœuds de Ranvier ((Etranglements de Ranvier)).  
La myéline qui entoure les axones est synthétisée par la cellule de Schwann.

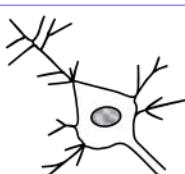
### Conclusion :

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.

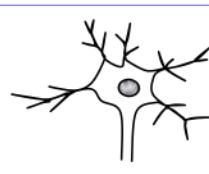
### Remarque :

Les neurones, ont une morphologie très variable. Ils se distinguent entre autres par la forme de leur corps cellulaire, l'organisation et la morphologie des prolongements (Dendrites et axone)

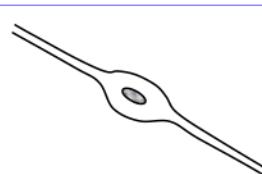
Voici schématiquement quelques types de neurones que l'on trouve dans le système nerveux :



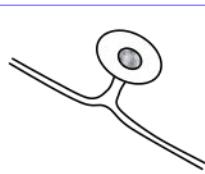
Neurone pyramidal



Neurone multipolaire



Neurone bipolaire



Neurone unipolaire

## ② Propriétés en relation avec l'excitabilité de la fibre nerveuse:

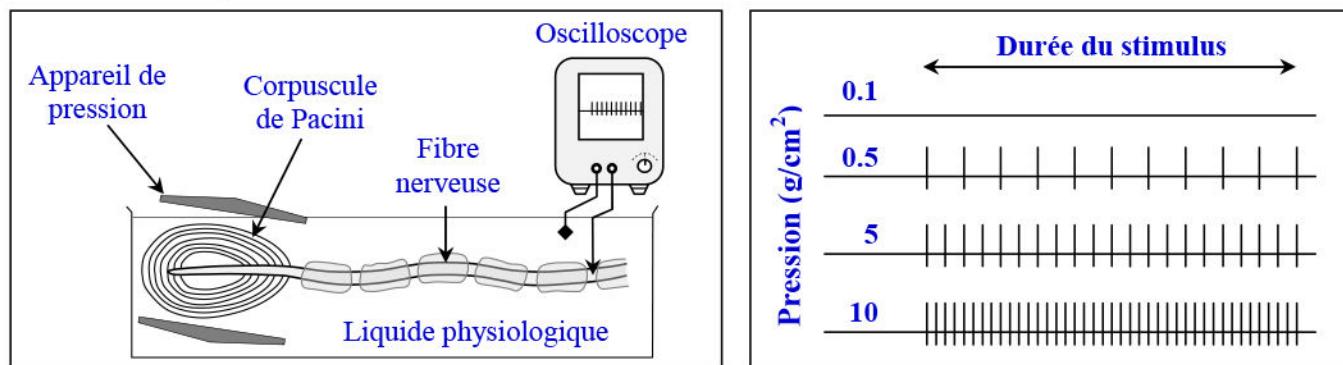
### a) Codage du message nerveux dans la fibre nerveuse : (Voir document 16)

#### Document 16 : Codage du message nerveux dans la fibre nerveuse.

On cherche à comprendre l'origine du message nerveux sensoriel, en s'appuyant sur l'étude du fonctionnement d'un type de récepteur: les corpuscules de Pacini qui sont des mécanorécepteurs (sensible à la pression) localisés dans le derme.

Un corpuscule de Pacini est isolé avec son afférence in vitro et soumis à des pressions croissantes. Une microélectrode implantée dans la fibre permet d'enregistrer les messages sensoriels qui en sont issus.

Les résultats de cette expérience sont présentés par les figures ci-dessous (un trait vertical représente un potentiel d'action) :



Comparer les enregistrements et en déduire le mode de codage de l'influx nerveux dans la fibre nerveuse.

#### Analyse :

Les enregistrements obtenus correspondent à des potentiels d'action enregistrés au niveau d'un nœud de Ranvier situé sur la fibre nerveuse myélinisée issue du corpuscule de Pacini. Dans les cas des stimulations de  $0.1 \text{ g/cm}^2$ , il n'y a pas de potentiels d'actions véhiculés le long de la fibre.

Pour les stimulations de  $0.5$  jusqu'à  $10 \text{ g/cm}^2$ , nous remarquons que la fréquence des potentiels d'action s'élève avec l'augmentation de l'intensité du stimulus (augmentation de la pression).

#### Interprétation :

L'amplitude du potentiel d'action ne pouvant varier au niveau de la fibre nerveuse, toute stimulation supraliminaire déclenche une série de potentiel d'action dont la fréquence est d'autant plus élevée que l'intensité de la stimulation est forte.

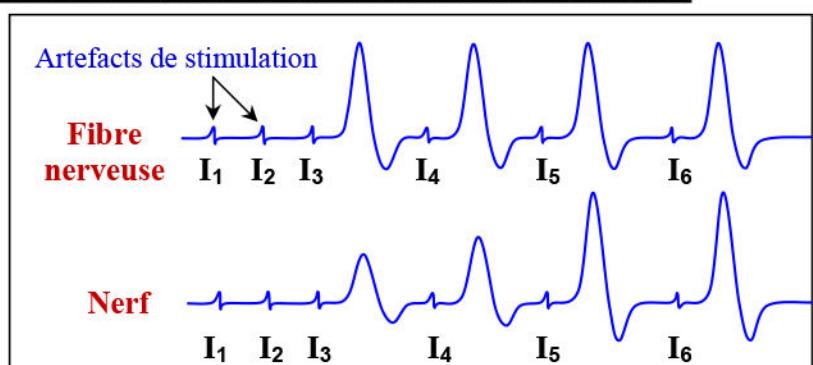
Donc au sein de la fibre nerveuse, le message nerveux est codé en fréquence de potentiel (= nombre de PA en fonction du temps; exprimée en Hertz ( $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ )) et varie ainsi en fonction de l'intensité et de la durée du stimulus.

### b) Réponse de la fibre nerveuse à des excitations isolées d'intensité croissante et de durée fixe: (Voir document 17)

#### Document 17 : Réponse de la fibre nerveuse à des excitations isolées d'intensité croissante.

On soumet un nerf et une fibre nerveuse à des excitations isolées d'intensité croissante ( $I_1$  à  $I_6$ ) et de durée fixe. Les résultats obtenus sont représentés par les enregistrements ci-contre:

Comparer les réponses de la fibre nerveuse et celle du nerf. Qu'est ce qu'on peut en déduire ?



## Chez la fibre nerveuse:

- ✓ I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub>, ne produisent que l'artefact de stimulation, ce sont des excitations inefficaces leurs intensités sont inférieures à la rhéobase.
- ✓ De I<sub>3</sub> à I<sub>6</sub>, bien que l'intensité de l'excitation augmente on enregistre un potentiel d'action d'amplitude constante.

La fibre nerveuse est donc soit excitable si l'intensité de l'excitation est supérieure ou égale au seuil d'excitation, soit inexcitable si l'intensité de l'excitation est inférieure au seuil de l'excitation. Cette caractéristique de la fibre nerveuse est appelée **la loi de tout ou rien**.

## Chez le nerf:

- ✓ I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub>, ne produisent que l'artefact de stimulation, ce sont des excitations inefficaces leurs intensités sont inférieures à la rhéobase.
- ✓ De I<sub>3</sub> à I<sub>5</sub> l'augmentation de l'intensité de l'excitation provoque une augmentation de l'amplitude du potentiel d'action.

Ce phénomène caractérisant le nerf est appelé **la loi de recrutement**, il 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<sub>5</sub>, 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.

### ③ Propriétés en relation avec la conductibilité de la fibre nerveuse:

#### a) Etude de données expérimentales : (Voir document 18)

##### Document 18 : Propriétés en relation avec la conductibilité de la fibre nerveuse.

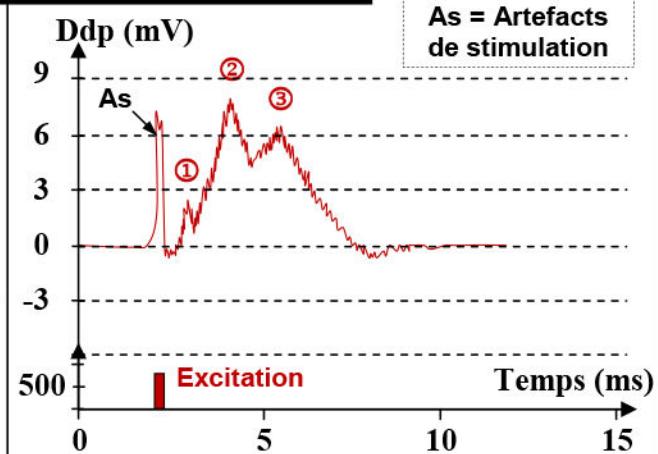
Pour dégager certaines caractéristiques de la conduction de l'influx nerveux, liées aux propriétés des groupes de fibres nerveuses qui le constituent, on propose d'exploiter le document ci-contre, qui représente un enregistrement électro-nerveux du nerf de crabe, obtenu lors d'une seule excitation isolée et efficace

En exploitant les données de ce document :

- 1) Décrire la courbe de potentiel d'action et expliquer sa forme en trois pics.
- 2) Calculer la vitesse de conduction du message nerveux au niveau de ce nerf, sachant que la distance entre les électrodes excitatrices et l'électrode réceptrice R<sub>1</sub> est 5mm. Qu'est ce qu'on peut en déduire ?

Pour établir la relation entre la vitesse de conduction nerveuse et le diamètre des fibres nerveuses, des études statistiques ont été faites pour classer ces fibres, dont les résultats sont présentés par le tableau Ci-contre.

- 3) Que peut-on déduire de ces résultats, concernant la relation entre structure de la fibre et conductibilité ?



Type de fibres	Diamètre	Vitesse
Fibre myélinisées de mammifères	10 µm	60 m/s
	20 µm	120 m/s
Fibre myélinisée du crabe	25 µm	4 m/s
	8 µm	1.6 m/s
Fibre non myélinisée du crabe	1.5 µm	0.9 m/s

- 1) On constate qu'une seule excitation isolée et efficace a permis d'enregistrer un potentiel d'action présentant 3 pics: ①, ② et ③.

La présence de 3 phases s'explique par le fait que ce nerf est composé de 3 types de fibres nerveuses, qui diffèrent selon la vitesse de conduction de l'influx nerveux.

- 2) Calcule de la vitesse (V) de conduction du message nerveux dans ce nerf :  $V = \Delta d (\text{mm}) / \Delta t (\text{ms})$ .

Puisque ce nerf est composé de trois types de fibres, la vitesse est donc :

- ✓  $V_1 = \Delta d (\text{mm}) / \Delta t_1 (\text{ms}) = 5 / (3 - 2.25) = 6.67 \text{ mm/s}$
- ✓  $V_2 = \Delta d (\text{mm}) / \Delta t_2 (\text{ms}) = 5 / (4 - 2.25) = 2.86 \text{ mm/s}$
- ✓  $V_3 = \Delta d (\text{mm}) / \Delta t_3 (\text{ms}) = 5 / (5.5 - 2.25) = 1.54 \text{ mm/s}$

Dans ce nerf la conduction du message nerveux se fait avec trois vitesses différentes, ce qui montre qu'il est composé de trois types de fibres nerveuses.

3) La vitesse de conduction des fibres nerveuses varie selon :

- ✓ L'espèce animale : élevée chez les Mammifères à sang chaud, faible chez les invertébrés.
- ✓ 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.

### b) Relation entre la structure de la fibre nerveuse et sa conductibilité : (Voir document 19)

#### Document 19 : Relation entre la structure de la fibre nerveuse et sa conductibilité.

Les figures suivantes présentent des schémas d'explication de la conduction du message nerveux chez les fibres nerveuses myélinisées (Figure 1) et les fibres nerveuses non myélinisées (Figure 2) :

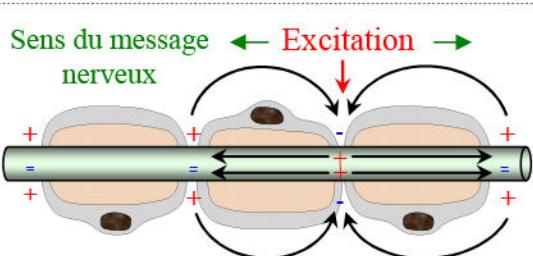


Figure 1 : Conduction du message nerveux chez une fibre myélinisée

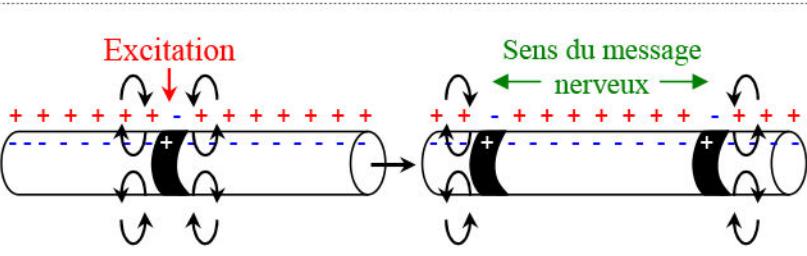


Figure 2 : Conduction du message nerveux chez une fibre nerveuse amyélinisé

En se basant sur les données de ce document, décrire les modes de conduction de l'influx nerveux en fonction des propriétés structurales de la fibre nerveuse.

La différence de vitesse de conduction aux niveaux des fibres nerveuses myélinisées et non myélinisées, est due au fait que la myéline joue le rôle d'un isolant électrique qui empêche les échanges ioniques de part et d'autre de la membrane de la fibre myélinisée.

- ✓ Pour les fibres nerveuses myélinisées, le potentiel membranaire n'apparaît qu'au niveau des étranglements de Ranvier, où il y'a absence de myéline et abondance de canaux ioniques à  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  voltage dépendants. L'onde de dépolarisation saute d'un étranglement de Ranvier à un autre, par l'intermédiaire de courants électriques naissant entre ces étranglements. C'est la **conduction saltatoire**, où la propagation du message nerveux est rapide.
- ✓ Pour les fibres nerveuses non myélinisées, la naissance d'un potentiel d'action à un point précis de la fibre nerveuse, permet d'apparaître des courants locaux qui entraînent la dépolarisation du point voisin et ouverture des canaux ioniques à  $\text{Na}^+$  et à  $\text{K}^+$  voltage dépendants, d'où la naissance d'un nouveau potentiel d'action. Dans ce cas la conduction du message nerveux est dite par **courants locaux de proche en proche**, où la propagation du message nerveux est lente.

#### Remarque :

- Pour la fibre nerveuse isolée, la propagation de l'influx nerveux se fait dans les deux sens à partir du point d'excitation.
- Les étranglements de Ranvier s'éloignent davantage entre eux avec l'augmentation du diamètre des fibres nerveuses myélinisées, ce qui explique l'augmentation de la vitesse de conduction tout au long de ces dernières.

## IV – Points de connexions entre neurones : notion de synapse.

### ① Mise en évidence de la synapse: (Voir document 20)

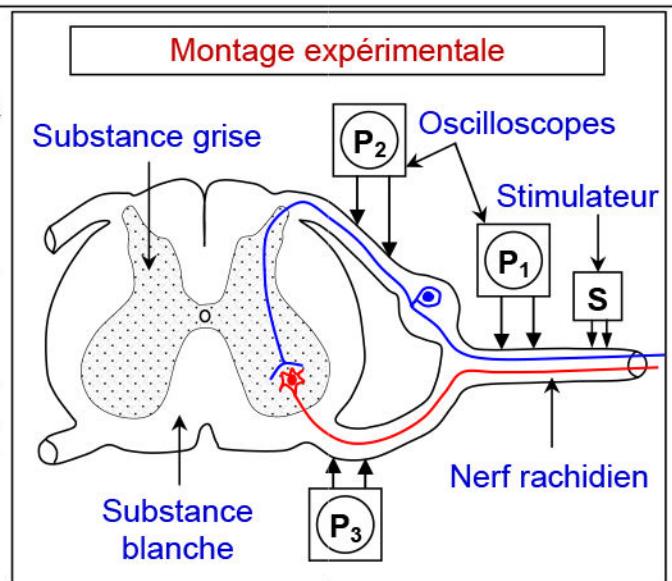
#### Document 20 : Mise en évidence de la synapse.

On applique une excitation sur un nerf rachidien d'une grenouille au point S et on enregistre simultanément la durée mise par l'influx nerveux lors de son passage de P<sub>1</sub> à P<sub>2</sub> et de P<sub>2</sub> à P<sub>3</sub>.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

	Distance en mm	Durée mise par l'influx nerveux en ms
Entre P <sub>1</sub> et P <sub>2</sub>	4	0.2
Entre P <sub>2</sub> et P <sub>3</sub>	2	0.25

Calculer la vitesse de propagation de l'influx nerveux entre P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> et entre P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub>. Proposer une explication de la différence observée.



Calculons la vitesse de propagation de l'influx nerveux :

- ✓ Entre P<sub>1</sub> à P<sub>2</sub> : V<sub>1</sub> = Δd (mm) / Δt (ms) = 4.10<sup>-3</sup> / 0.2. 10<sup>-3</sup> = 20 m/s
- ✓ Entre P<sub>2</sub> à P<sub>3</sub> : V<sub>2</sub> = Δd (mm) / Δt (ms) = 2.10<sup>-3</sup> / 0.25. 10<sup>-3</sup> = 8 m/s

On constate que la vitesse de propagation de l'influx nerveux entre P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>, est plus grande que la vitesse de propagation entre P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub>, ce qui signifie qu'il y a un retard dans la transmission de l'influx nerveux au niveau de la moelle épinière. Ce retard est appelé délai synaptique, et s'explique par l'existence dans la substance grise, de points de connexion entre les neurones ou synapse.

Le délai synaptique est le temps nécessaire pour la conduction d'un signal à travers une synapse. Calculons donc la valeur du délai synaptique dans le cas précédent:

En présence de la synapse, la durée mise par l'influx nerveux pour traverser la distance P<sub>2</sub> – P<sub>3</sub> est t<sub>1</sub> = 0.25ms.

Si on suppose qu'il n'y a pas de synapse entre P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub>, la durée mise par l'influx nerveux pour traverser la distance P<sub>2</sub> – P<sub>3</sub> est t<sub>2</sub>.

La vitesse de l'influx nerveux en absence de synapses est V<sub>2</sub> = Δd / t<sub>2</sub>. Donc t<sub>2</sub> = Δd / V<sub>2</sub> = 2 / 20 = 0.1 ms

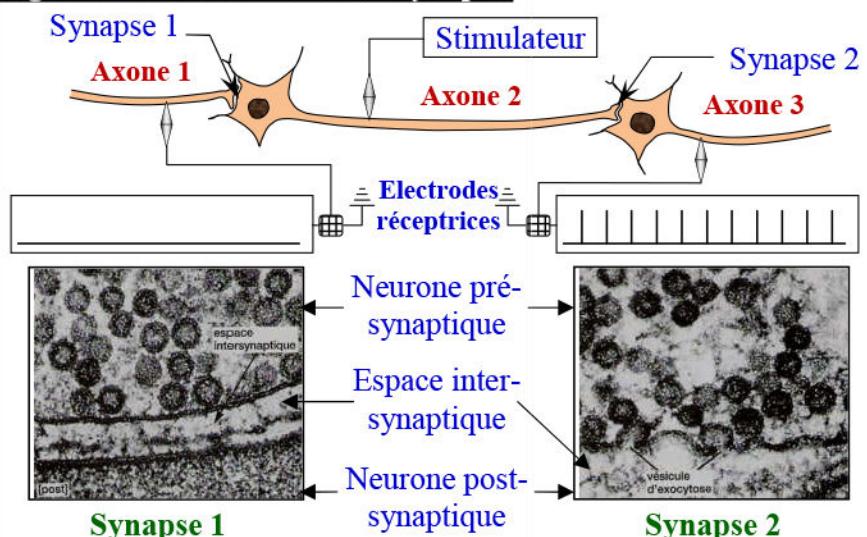
Le délai synaptique est T = t<sub>1</sub> – t<sub>2</sub> = 0.25 – 0.1 = 0.15 ms.

### ② Transmission du message nerveux au niveau de la synapse: (Voir document 21)

#### Document 21 : Transmission du message nerveux au niveau de la synapse.

Sur un circuit de 3 neurones; on porte des excitations efficaces et successives sur l'axone 2 du neurone 2, et on enregistre l'activité électroneuves au niveau des axones des neurones 1 et 3. On obtient les enregistrements représentés sur les figures ci-contre:

En exploitant ces données, déterminer le sens de propagation de l'influx nerveux des axones 1, 2 et 3. Puis déduire la relation entre les enregistrements obtenus et l'ultrastructure des synapses 1 et 2.



L'excitation de l'axone 2 a permis d'enregistrer des potentiels d'actions sur l'axone 3, et n'a donné aucun potentiel d'action sur l'axone 1.

Les potentiels d'action se propagent donc de l'arborisation terminale du neurone 2 au corps cellulaire du neurone 3, et ne peuvent être transmis du corps cellulaire du neurone 2 vers l'arborisation terminale du neurone 1. Donc le message nerveux se transmet d'un neurone à l'autre, à travers les synapses, et ceci dans un seul sens : de l'arborisation terminale d'un neurone vers le corps cellulaire du neurone suivant.

Les synapses sont donc unidirectionnelles.

### Pourquoi la transmission synaptique est unidirectionnelle ?

Pour répondre à cette question on étudie l'ultrastructure de la synapse :

Entre les deux neurones pré-synaptique et poste-synaptique on trouve un espace inter-synaptique qui sépare la membrane pré-synaptique de la membrane poste-synaptique;

Le cytoplasme prés-synaptique porte des vésicules synaptiques contenant des substances appelées médiateurs chimiques, alors que le cytoplasme poste-synaptique ne porte aucune vésicules synaptiques.

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

- L'exocytose du médiateur chimique ou neurotransmetteur dans l'espace synaptique
- La fixation du neurotransmetteur à des récepteurs spécifiques sur la membrane poste-synaptique.
- La 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.

### ③ Les types de synapses: (Voir document 22)

#### Document 22 : Les types de synapse.

En exploitant les données de ce document, décrire les différents types de synapses.

Figure 1 : Electronographie d'un point de connexion nerveuse.

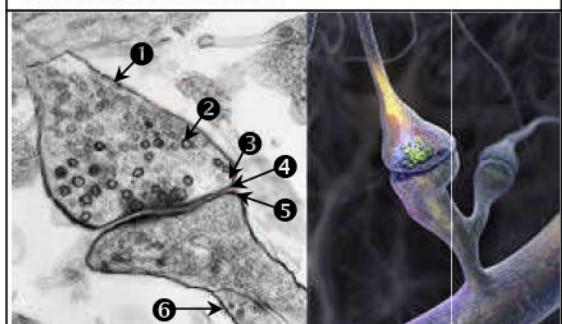


Figure 5 : Schéma d'une synapse neuro-glandulaire.

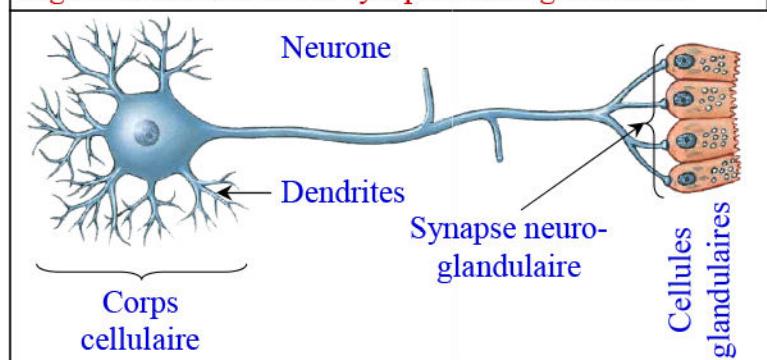


Figure 2 : Electronographie d'une synapse électrique (3).

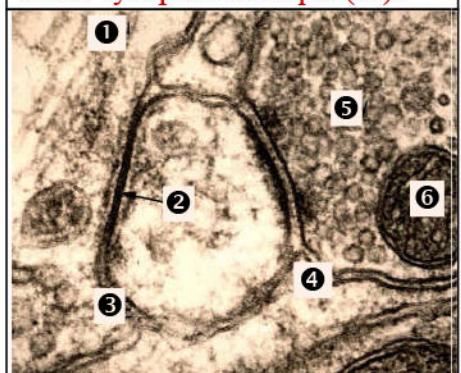


Figure 3 : Les synapses inter-neuroniques

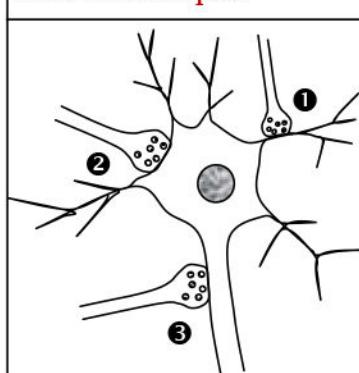
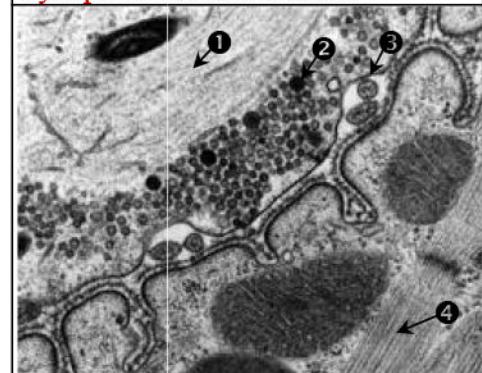


Figure 4 : Electronographie d'une synapse neuromusculaire.



On peut classer les synapses suivant deux critères principaux qui sont :

- ✓ La nature de la transmission, du message nerveux au niveau de la synapse :
  - Transmission par l'intermédiaire d'un médiateur chimique : la synapse est dite synapse à médiation chimique (Figure 1 : ① = Neurone pré-synaptique ; ② = Vésicule synaptique ; ③ = membrane pré-synaptique ; ④ = espace inter-synaptique ; ⑤ = membrane post-synaptique ; ⑥ = neurone post-synaptique).
  - Transmission par onde de dépolarisation : la synapse est dite synapse à médiation électrique. (Figure 2 : ① = Neurone ; ② = jonction ; ③ = synapse électrique ; ④ = synapse chimique ; ⑤ = Vésicules ; ⑥ = mitochondrie).
- ✓ Le type de cellule post-synaptique qui peut être:
  - Synapse inter-neuronique (Figure 3 : Axo-dendritique ①; Axo-somatique ② ; Axo-axonique ③).
  - Synapse neuromusculaire appelée aussi plaque motrice (Figure 4 : ① = Neurone pré-synaptique ; ② = Vésicules remplie de neuromédiateur ; ③ = espace synaptique ; ④ = cellule musculaire post-synaptique).
  - Synapse neuro-glandulaire, qui relie la fibre nerveuse à des cellules glandulaires.

## ④ Mécanisme de la transmission synaptique:

### a) Transmission du message nerveux au niveau de la synapse: (Voir document 23)

#### Document 23 : Transmission du message nerveux au niveau de la synapse.

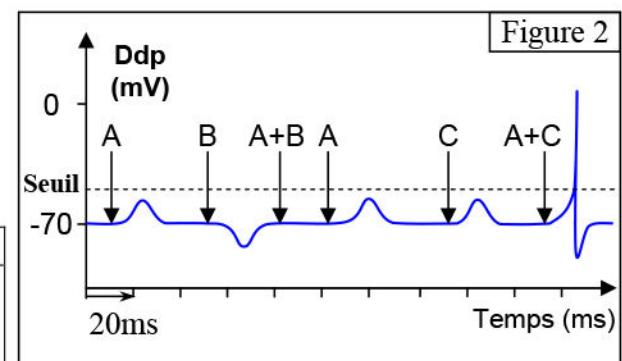
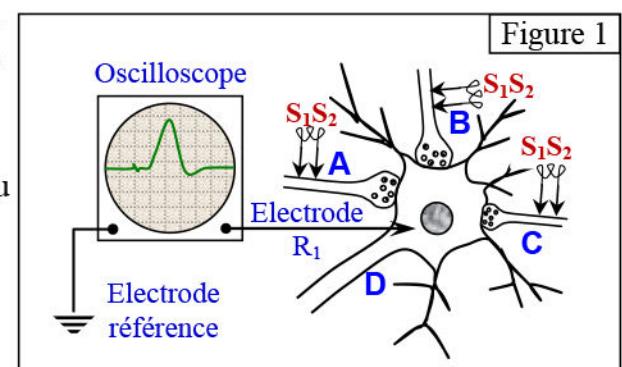
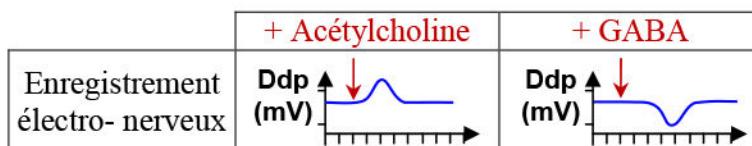
La figure 1, ci-contre, représente un montage expérimental qui permet d'enregistrer l'activité électrique du neurone D, lié par des synapses à trois axones (A), (B) et (C).

A l'aide d'électrodes excitatrices  $S_1S_2$ , on pratique des excitations efficaces, soit sur un seul axone : A, B ou C. Ou bien des excitations en même temps sur deux axones à la fois (A + B) ou (A + C).

Les résultats obtenus sont représentés par l'enregistrement électro-nerveux de la figure 2.

2) Que peut-on déduire de l'analyse de cet enregistrement ?

Par l'intermédiaire d'une micropipette on ajoute, de manière séparée, deux substances qui sont l'acétylcholine et l'acide gamma-amino butyrique (GABA) au niveau des synapses A et B. on obtient les résultats suivants :



1) Déduire l'action de l'acétylcholine et du GABA sur les deux types de synapses (A) et (B).

1) Au niveau d'une synapse axo-somatique, le corps cellulaire du neurone post-synaptique (D) peut recevoir les influx nerveux de plusieurs dizaines de neurones pré-synaptiques (A, B et C). Les influx provenant de ces neurones provoquent au niveau du corps cellulaire du neurone post-synaptique et selon le récepteur considéré, soit :

- ✓ Des dépolarisations locales (Synapse A), on parle de potentiel post-synaptique exciteur (PPSE).
- ✓ soit des hyperpolarisations (Synapse B), on parle de potentiel post-synaptique inhibiteur (PPSI).

La valeur du potentiel de membrane du neurone post-synaptique dépend de la résultante de ces influences.

Le corps cellulaire du neurone fait la somme de ces différents messages. Il en résulte soit une dépolarisation globale si les PPSE l'emportent sur les PPSI soit une hyperpolarisation dans le cas contraire.

- 2) On constate que l'acétylcholine produit une dépolarisation au niveau du neurone post-synaptique, alors que le GABA produit une hyperpolarisation à ce niveau.

Le message nerveux électrique pré-synaptique, est généralement transféré sous forme de molécules spécifiques variées appelées neuromédiateurs (Neurotransmetteurs) (Voir document 24).

#### Document 24 : Quelques principaux neurotransmetteurs.

Nom	Effets	Implications	Implication d'un désordre (-) : déficit ; (+) : excès
Acétylcholine	Contraction musculaire, ralentissement du rythme cardiaque. Excrétion de certaines hormones	Eveil, attention, colère, agression, sexualité, soif et mémoire	Maladie d'Alzheimer (-), troubles de la mémoire et de la concentration (-)
Dopamine	Mouvement musculaire Croissance des tissus	Comportement d'exploration, vigilance, contrôle du mouvement et de la posture, humeur.	Maladie de Parkinson (-), dépression (-), agressivité (+)
GABA	Contrôle moteur et vision	Fonctions corticales, anxiété	Insomnie et anxiété (-). Permet de traiter les crises d'épilepsie ou les tremblements dans la maladie de Huntington
Noradrénaline	Libération hormonale, contraction des vaisseaux sanguins et augmentation de la fréquence cardiaque	Fertilité, appétit, attention, apprentissage, sommeil	Dépression (-), acquisition des connaissances (-), comportement social (- et +)
Adrénaline	Active la réponse à un stimulus, contrôle du système nerveux sympathique	Contraction des muscles lisses, réflexion, flux sanguin, capacités respiratoires	Fatigue, insomnie et anxiété (+)
Sérotonine	Inhibition de certaines hormones, contrôle du mouvement	Régulation de la température, humeur, sommeil, douleur	Maladie de Parkinson (+), comportements impulsifs et agressifs (-), suicide (-).

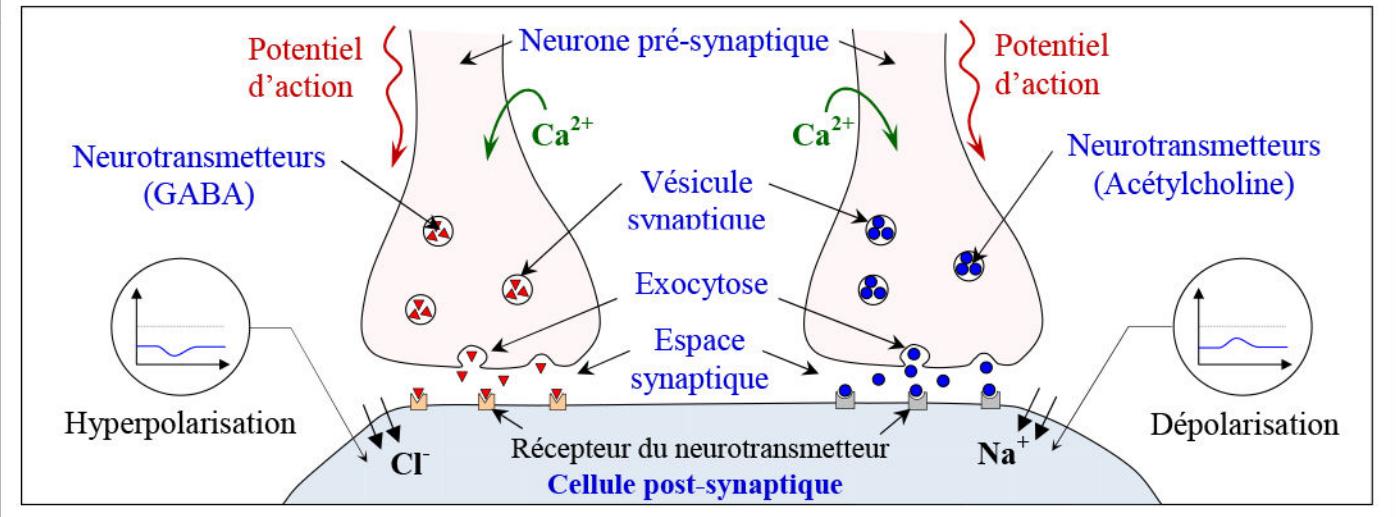
Un neurotransmetteur est une substance chimique, sécrétée par l'organisme et permettant aux cellules nerveuses de transmettre un message nerveux. Ce message peut être destiné à d'autres neurones ou à des cellules de l'organisme (cellules des muscles, des glandes ou des organes).

#### b) Mode d'action des neurotransmetteurs: (Voir document 25)

#### Document 25 : Mode d'action des neurotransmetteurs.

La figure ci-dessous est un schéma représentant le mécanisme de transmission du message nerveux par les neurotransmetteurs au niveau de la synapse.

En exploitant les données de ce document, Comparer le mode d'action de la synapse excitatrice et celui de la synapse inhibitrice.



Quelque soit le type de synapse, excitatrice ou inhibitrice, elle fonctionne selon les étapes suivantes :

- ✓ L'arrivée d'un message nerveux dans le neurone pré-synaptique entraîne la migration de vésicules synaptiques. Accompagnée d'un flux de  $\text{Ca}^{2+}$  à travers la membrane pré-synaptique. Les vésicules synaptiques fusionnent avec la membrane pré-synaptique et y libèrent leur contenu. Les neurotransmetteurs sont délivrés ainsi, par exocytose, dans la fente synaptique.
- ✓ Plus la stimulation pré-synaptique est importante, plus la quantité de neurotransmetteurs libérés augmente. Le message chimique est donc codé par la concentration de neurotransmetteurs.
- ✓ Fixation du neurotransmetteur sur des récepteurs spécifiques intégrés dans la membrane post-synaptique. Ce sont des canaux ioniques qui ne s'ouvrent qu'en présence du médiateur chimique. Ce sont des canaux chimio-dépendants.
- ✓ Séparation du neurotransmetteur des récepteurs membranaire et son hydrolyse par une enzyme spécifique.

Il existe des différences dans le mode d'action de la synapse selon sa nature :

**Cas de la synapse excitatrice :**

Une fois le neurotransmetteur (Exemple : acétylcholine) est fixé sur les récepteurs spécifiques de la membrane post-synaptique, les canaux à  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  s'ouvrent et déclenchent des échanges ioniques donnant naissance à une onde de dépolarisation au niveau du neurone post-synaptique.

**Cas de la synapse inhibitrice :**

Le neurotransmetteur (Exemple : GABA) se fixe sur les récepteurs spécifiques de la membrane post-synaptique, qui sont des canaux ioniques qui acceptent les ions  $\text{Cl}^-$ . Cela entraîne l'entrée massive des ions  $\text{Cl}^-$  et l'apparition d'une hyperpolarisation du neurone post-synaptique.