



chapitre 2

Le réflexe myotatique

Rester debout, ne pas perdre l'équilibre, maintenir notre posture malgré la pesanteur, nécessitent un fonctionnement permanent et adapté de nos muscles extenseurs et fléchisseurs



Problème scientifique:
Comment s'établit un réflexe myotatique bien adapté?

Ce problème mène à se demander sur :

- les structures impliquées dans le réflexe myotatique.
- la naissance, la propagation et la transmission du message nerveux.
- le rôle intégrateur des centres nerveux.

Objectifs visés :

- **Déterminer** les éléments histologiques qui interviennent dans le réflexe myotatique
- **Déterminer** la nature et les propriétés du message nerveux
- **Reconnaître** la transduction et le codage du message nerveux sensitif.
- **Expliquer** la propagation du message nerveux
- **Expliquer** les mécanismes de la transmission synaptique et de l'intégration postsynaptique



- **Notions de** : réflexe ; arc réflexe ; protéine ; ATP ; neurone ; synapse.
- **Expériences de** : section ; dissection ; excitation,
- **Ultrastructure de** la membrane cellulaire (ou membrane cytoplasmique)

Vérification – consolidation des pré-requis

I- Pour chacun des items suivants (de 1 à 6), mettre une (X) devant la (ou les) réponse(s) correcte(s).

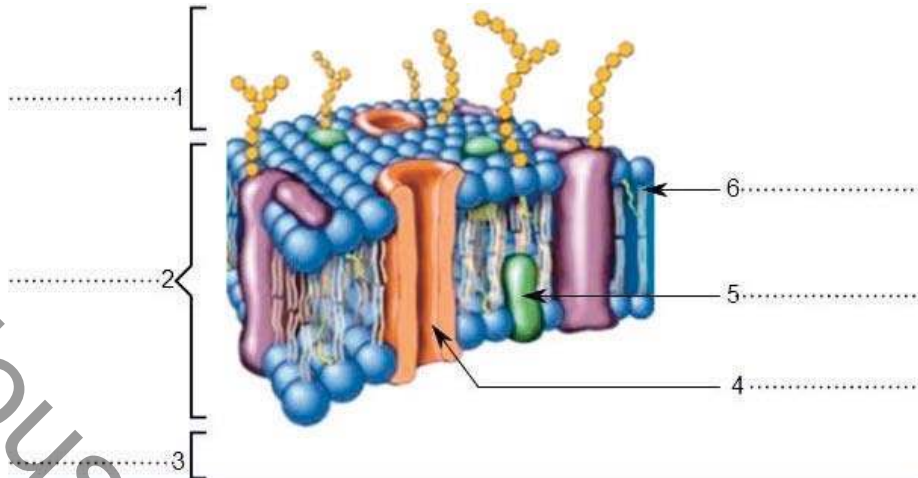
1- le réflexe:		
a-	est un acte volontaire et prévisible qui se produit en réponse à un stimulus.	
b-	est un acte involontaire et prévisible qui se produit en réponse à un stimulus.	
c-	nécessite l'intervention des glandes endocrines.	
d-	nécessite l'intervention du système nerveux.	
2- l'hydrolyse de l'ATP :		
a-	se fait selon la réaction suivante $ADP + P + E \text{ (énergie)} \rightarrow ATP + H_2O$.	
b-	se fait selon la réaction suivante $ATP + H_2O \rightarrow ADP + P + E \text{ (énergie)}$.	
c-	consomme de l'énergie.	
d-	libère de l'énergie.	
3- l'exocytose est le mécanisme par lequel la cellule:		
a-	transporte des molécules vers le milieu intracellulaire	
b-	libère des molécules dans le milieu extracellulaire	
c-	fait intervenir des vésicules de transport.	
d-	se divise.	
4- la membrane cytoplasmique :		
a-	sépare le cytoplasme (milieu intracellulaire) du milieu externe (extracellulaire)	
b-	possède une perméabilité sélective	
c-	renferme des protéines	
d-	est imperméable	
5- le corps cellulaire d'un neurone :		
a-	se trouve dans la substance blanche de la moelle épinière.	
b-	se trouve dans la substance grise de la moelle épinière	
c-	présente des prolongements ramifiés, les dendrites	
d-	renferme le noyau	
6- l'axone :		
a-	est entouré d'une gaine de myéline dans la substance grise	
b-	peut se prolonger dans la substance blanche	
c-	est un prolongement long du corps cellulaire	
d-	est entouré d'une gaine de Schwann	

II- Associer chaque définition de la liste A à l'expression correspondante de la liste B :

Liste A
Molécule ayant des liaisons riches en énergie.
Biocatalyseur de l'hydrolyse de l'ATP
Zone de jonction entre un neurone et une autre cellule excitable.
Un mouvement involontaire provoqué par un stimulus, et qui ne fait pas intervenir l'encéphale.
Tout ce qui est de nature à déterminer une excitation chez un organisme vivant : un son, une image ou lumière, une source de chaleur, la sensation de gravité, un événement, un choc mécanique ou électrique, une odeur, etc.

Liste B
synapse
réflexe
ATP ase
Stimulus
ATP

III- Identifiez la structure représentée par le schéma ci-dessous

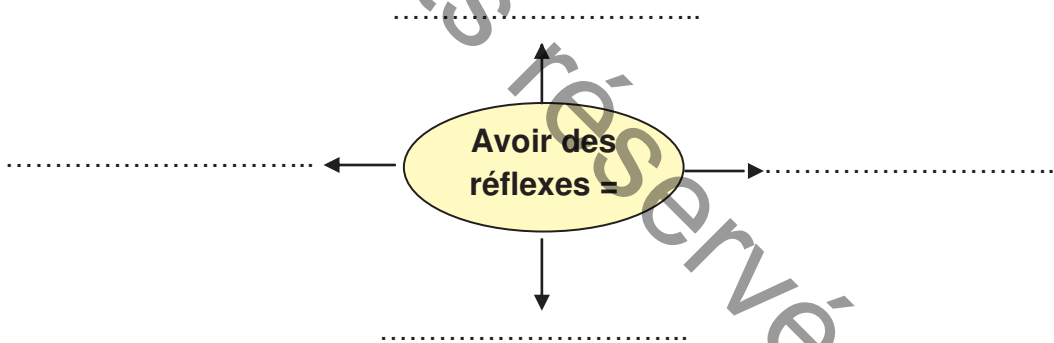


Annotez le schéma en utilisant la liste des expressions suivantes :

Phospholipide – protéine intrinsèque – protéine transmembranaire - double couches lipidique – milieu extracellulaire – milieu intracellulaire.

IV- Compléter la carte cognitive suivante

Elève 1 : Etre rapide dans l'exécution d'un mouvement volontaire !!!



HISTORIQUE DES NEUROSCIENCES :

Luigi Galvani (1786), sur sa terrasse, teste les effets des courants électriques, créés par des dipôles métalliques, sur les réflexes de grenouilles décérébrées. À cette époque, **Galvani** testait les effets de « l'électricité atmosphérique ».



D'après un dessin réalisé par un artiste à partir d'un croquis d'Emil du bois-Reymond. D'après Reden von Emil du Bois-Reymond, 1887, vol.2.

• **Marie Brasier (1984)** considère ces expériences comme les tous débuts de l'électrophysiologie.

Encyclopédie historique des neurosciences page 52

• Le réflexe qui facilite l'activité des motoneurons d'un muscle à la suite de son propre étirement a été étudié par **Liddell et Sherrington (1926)** et son trajet confirmé par **Lloyd (1943)**.

Encyclopédie historique des neurosciences page 751

1. SUPPORTS ANATOMIQUES DU REFLEXE MYOTATIQUE :

Activité 1 : Construire la notion de réflexe myotatique



Un coup sec porté sur le tendon rotulien entraîne toujours une extension de la jambe qui se projette vers l'avant (jambe, initialement pliée, va se lever)



Suite à un coup sec porté sur le tendon d'Achille le pied fléchit par extension de la cheville (flèche noir)

Document 1 : Etude du réflexe myotatique

Taches



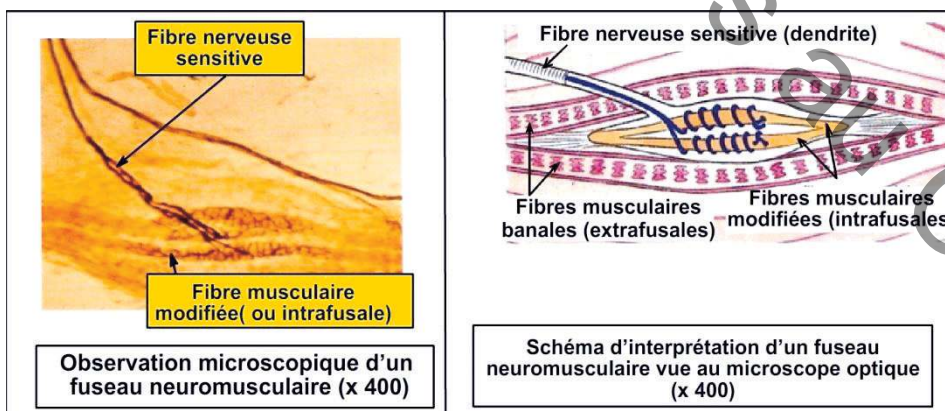
Exploiter les données du document 1 en vue d'identifier le stimulus et la réaction visible du comportement étudié

Activité 2 : Déterminer les structures anatomiques impliquées dans le réflexe myotatique

a- Nécessité de récepteur sensoriel :

Observations médicales:

Certains malades présentent une dégénérescence des structures incluses dans le tissu musculaire du jambier : les fuseaux neuromusculaires (FNM). On constate alors une absence de réflexe lorsque l'on frappe le tendon d'Achille, mais le sujet peut activer son pied si on le lui demande.



Document 2 : observation microscopique et schéma d'interprétation d'un fuseau neuromusculaire (FNM)

Taches

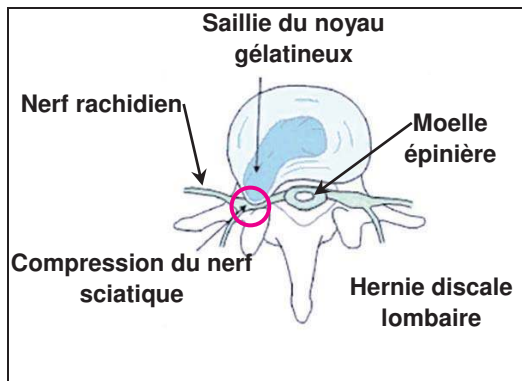


1. Exploiter les données du document 2 en vue de (d') :

- a- Identifier le récepteur impliqué dans le réflexe myotatique
- b- Décrire sa structure histologique.

b-Nécessité de voies nerveuses:

Observation médicale : une compression de la branche interne du nerf sciatique, qui innerve les muscles du mollet peut entraîner la disparition du réflexe achilléen.

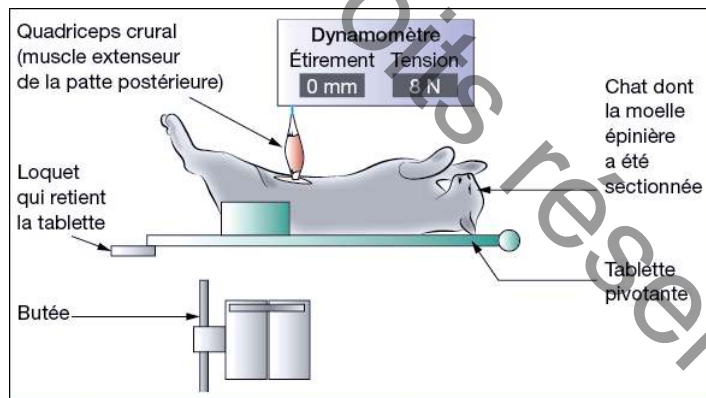


Taches

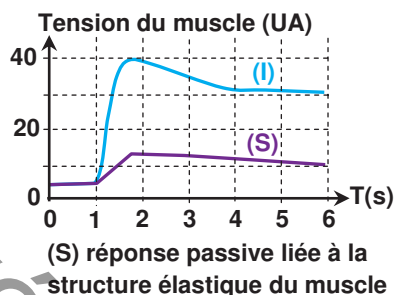


2. Indiquer le rôle du nerf sciatique dans le réflexe myotatique

Expérience historique de Sherrington (1924): cherchant à comprendre les mécanismes de la réaction réflexe de la patte chez le chat, Sherrington anesthésie un animal, sectionne sa moelle épinière juste sous l'encéphale puis il l'allonge sur une tablette pivotante. Il isole le muscle extenseur de la jambe et le relie à un dynamomètre mesurant la longueur et la tension développée par le muscle. En faisant pivoter la tablette, il obtient une extension du quadriceps crural. Les mesures sont effectuées sur des chats dont le muscle est encore innervé (I) ou dont les nerfs ont été sectionnés (S).



Document 3a



Document 3b

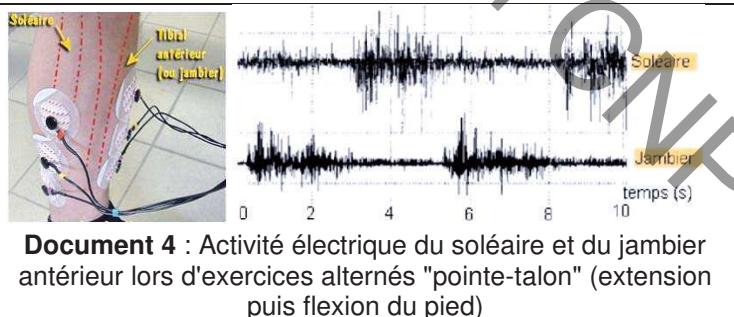
Taches



3. Exploiter les données du document 3 en vue de :
 - a- Déterminer la réponse du quadriceps crural à l'étirement.
 - b- Montrer que ce réflexe est sous contrôle nerveux.
4. Définir alors le réflexe myotatique.

c- Nécessité d'organes effecteurs:

Constat : Un muscle actif, est le siège d'une activité électrique dont la fréquence et l'amplitude sont proportionnelles à son degré de contraction. A l'aide d'électrodes réceptrices et d'un amplificateur, il est possible d'explorer cette activité: c'est l'électromyographie. (Document 4).



Document 4 : Activité électrique du soléaire et du jambier antérieur lors d'exercices alternés "pointe-talon" (extension puis flexion du pied)

Taches



5. De l'analyse comparée des données du document 4 :
 - a- Indiquer à quoi correspondent les brèves déviations verticales constituant les tracés électromyographiques.
 - b- Expliquer ce que l'on entend par coordination des muscles antagonistes.

Les expériences de Magendie et Waller :

Le texte 1 est un extrait du journal de physiologie expérimentale de Magendie écrit en 1822. Ces expériences sont restées célèbres car il a été le premier à établir le sens de circulation des messages nerveux dans les racines des nerfs rachidiens.

Texte 1 :

« Depuis longtemps, je désirais faire une expérience dans laquelle je couperais sur un animal les racines postérieures des nerfs qui naissent de la moelle épinière...

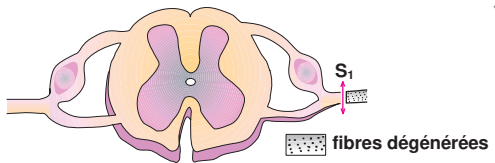
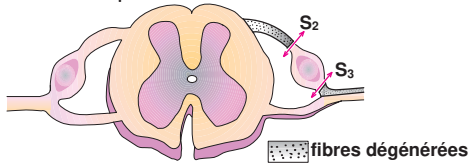
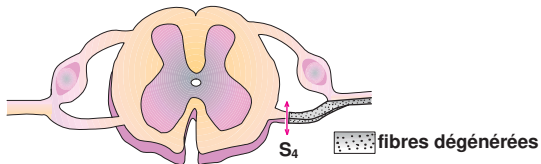
...J'eus alors sous les yeux les racines postérieures des paires lombaires et sacrées, en les soulevant successivement avec les lames de petits ciseaux, je pus les couper d'un côté, la moelle restant intacte.

Le membre correspondant au nerf coupé était insensible aux piqûres et aux pressions les plus fortes, il me paraissait aussi immobile, mais bientôt, je le vis se mouvoir d'une manière très apparente, bien que la sensibilité y fût toujours tout à fait éteinte.

Ensuite, je coupais les racines antérieures en laissant intactes les postérieures. Comme dans les expériences précédentes, je ne fis la section que d'un côté, afin d'avoir un terme de comparaison. Le membre était complètement immobile et flasque tandis qu'il conservait une sensibilité. Enfin, j'ai coupé à la fois les racines postérieures et antérieures : il y eut perte de sentiment et de mouvement. »

Les expériences de **Magendie**, complétées par des expériences de section et de dégénérescence des neurones de **Waller**, ont permis de préciser :

- le rôle des nerfs rachidiens dans le réflexe rotulien.
- la localisation des corps cellulaires des neurones moteurs et sensitifs.

Expériences	Résultats
<p>Expérience 1 : section du nerf sciatique</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégénérescence du bout périphérique du nerf sciatique - Perte de la motricité et de la sensibilité du territoire innervé par ce nerf
<p>Expérience 2 : section de part et d'autre du ganglion spinal du nerf sciatique</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégénérescence des bouts central et périphérique de la racine postérieure ainsi que la partie dorsale du nerf sciatique - Perte de sensibilité du territoire innervé par ce nerf mais qui conserve sa motricité.
<p>Expérience 3 : section de racine postérieure du nerf sciatique</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégénérescence de bout périphérique de la racine antérieure ainsi que la partie ventrale d'un nerf rachidien - Perte de motricité mais la sensibilité persiste.

S₁, S₂, S₃ et S₄ : Différentes sections

Document 5 : Les expériences de **Magendie**, complétées par des expériences de section et de dégénérescence

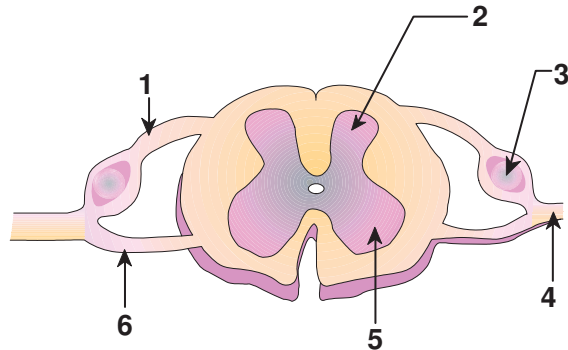
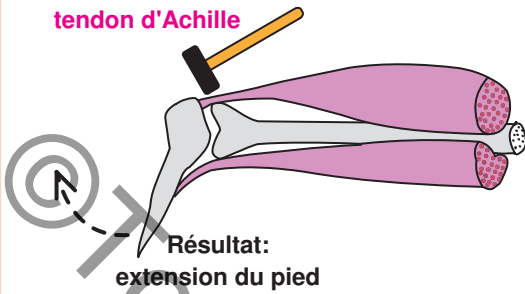


6. Analyser les résultats obtenus en vue de :

- Déterminer** le rôle de chaque racine du nerf
- Tracer** le trajet des messages nerveux sensitif et moteur au niveau de la moelle épinière
- Compléter** le schéma du circuit (**document 6**) pour mettre en relation les différentes structures impliquées dans le réflexe achilléen.

L'étude du réflexe achilléen montre que la contraction du muscle extenseur de pied et accompagnée par le relâchement du muscle fléchisseur de pied (le muscle antagoniste).

Percussion du tendon d'Achille



Document 6 : Les différentes structures impliquées dans le réflexe rotulien

Activités



1- Indiquer quelles données manquent pour compléter le circuit

2. LE MESSAGE NERVEUX (MN)

2.1. NATURE ET ORIGINE DU MESSAGE NERVEUX :

Activité 3 : Expliquer la naissance du message nerveux

2.1.1 LE POTENTIEL DE REPOS (PR) :

2.1.1. a- DISPOSITIF EXPERIMENTAL :

Le but étant d'enregistrer la différence de potentiel ou tension qui existe de part et d'autre de la membrane d'une cellule, il est donc nécessaire d'enregistrer et de comparer les valeurs des potentiels intracellulaire et extracellulaire.

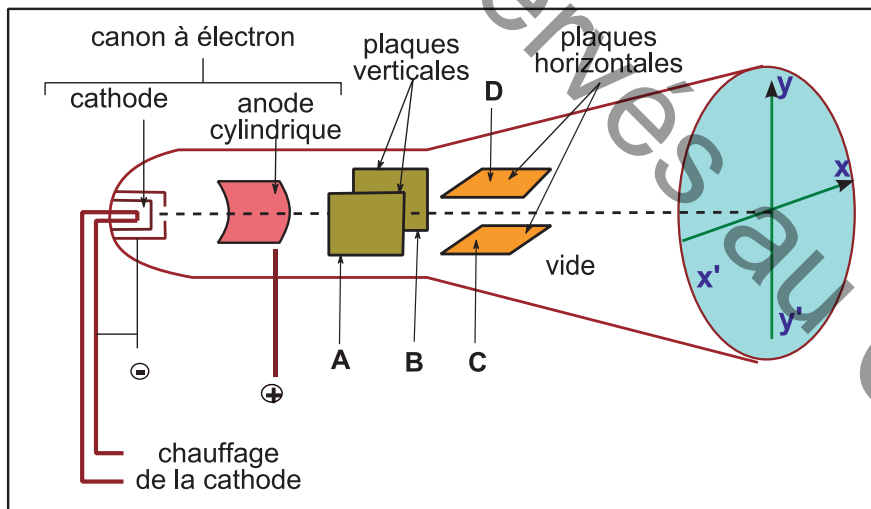


Figure a : Schéma de l'oscilloscope

Les deux plaques verticales A et B (figure a) sont reliées à un courant alternatif qui produit le balayage des électrons selon l'axe horizontal $x'x$.

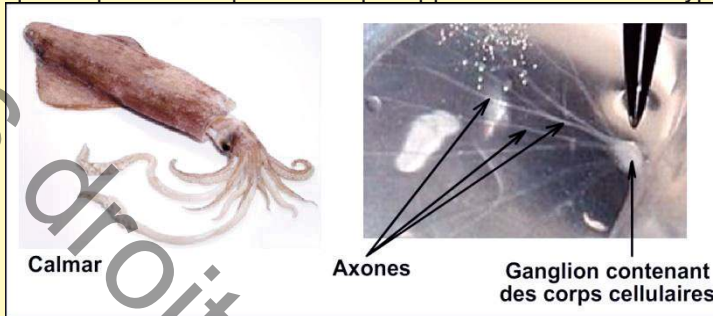
Les plaques horizontales (C et D) sont reliées au nerf. Les variations de la tension entre C et D provoquent un déplacement du spot dans le sens vertical $y'y$.

Particularités techniques

La mesure à l'intérieur de la cellule pose de nombreux problèmes techniques qui ne furent réellement résolus qu'en 1949 avec l'invention de la **microélectrode**.

La microélectrode permet de se placer à l'intérieur de la cellule sans déchirer sa membrane et évite ainsi tout court-circuit entre le milieu extracellulaire et le milieu intracellulaire, ce qui aurait pour effet d'annuler la différence de potentiel entre les deux compartiments.

Constituée d'un petit tube de verre extrêmement effilé dont le diamètre d'ouverture à la pointe est inférieur à $0,1 \mu\text{m}$ (les premières faisaient $0,5 \mu\text{m}$), elle est remplie d'une solution conductrice de chlorure de potassium trois fois molaire (KCl 3M) dans laquelle est plongé un fil métallique assurant la liaison avec la chaîne d'enregistrement. Le signal n'excédant pas quelques dizaines de millivolts, il est ensuite amplifié par un préamplificateur puis envoyé vers un oscilloscope, dispositif qui présente l'avantage de le visualiser et de le quantifier tout en suivant son évolution dans le temps, ce que ne permettrait pas un simple appareil de mesure de type voltmètre.

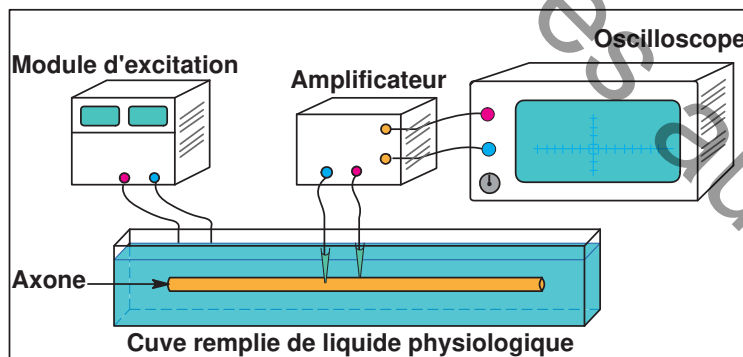


Document 7 : L'axone géant du Calmar

Depuis les années 1930, les Calmars sont utilisés pour étudier les propriétés des cellules nerveuses et ont facilité la compréhension du système nerveux. L'axone géant du Calmar (document 7) est la cellule nerveuse la plus grande connue à ce jour dans le règne animal. Cet axone peut avoir un diamètre de plus de 1 mm et mesurer presque un mètre de longueur.

Le document 8 schématise le dispositif expérimental permettant d'enregistrer l'activité bioélectrique d'une fibre nerveuse (on utilise l'axone géant de calmar).

Pour être maintenu en vie durant cette mesure, la fibre baigne dans une solution physiologique dont la composition reflète celle du liquide extracellulaire.

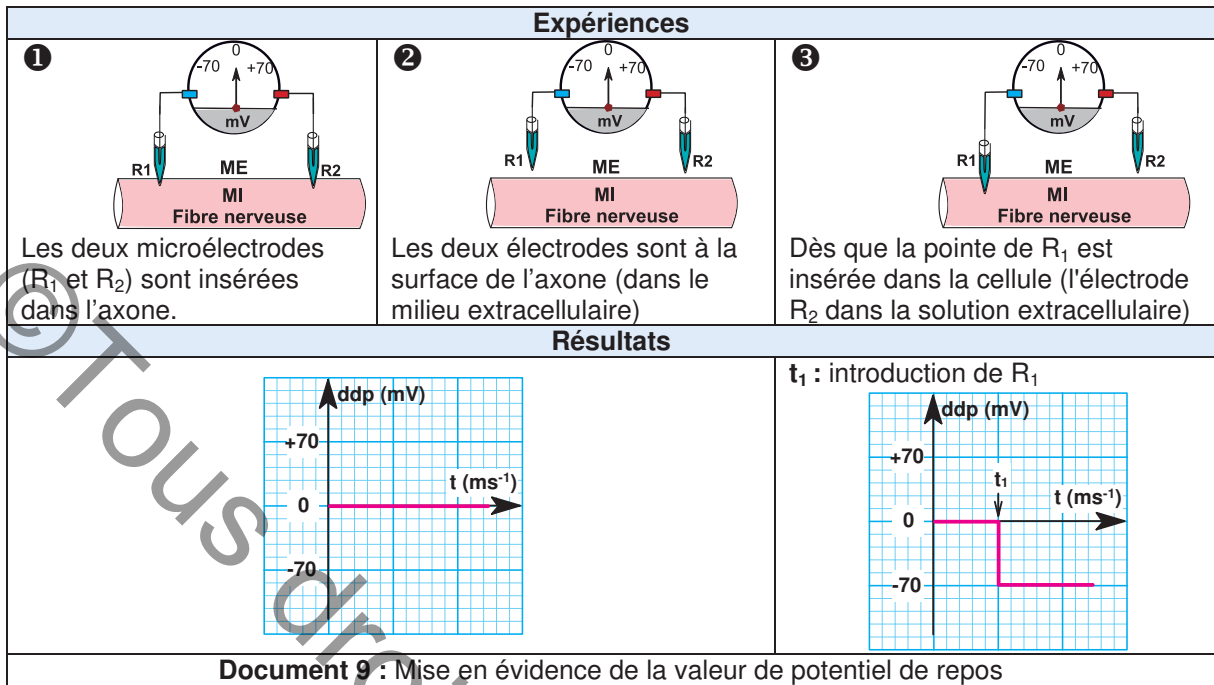


Document 8 : dispositif expérimental

L'une des bornes de l'amplificateur (R2) est reliée à une électrode de référence plongée dans le milieu extracellulaire. L'autre borne (R1) est reliée à une micro électrode suffisamment fine pour pouvoir être insérée dans la cellule sans la léser.

2.1.1. b- LE POTENTIEL DE REPOS :

Pour mesurer le potentiel de membrane d'une cellule au repos, les deux bornes d'un voltmètre sont reliées à deux microélectrodes (R_1 et R_2) (voir document 4). La position des électrodes par rapport à la membrane de la fibre est modifiée comme le montre le tableau ci-dessous.



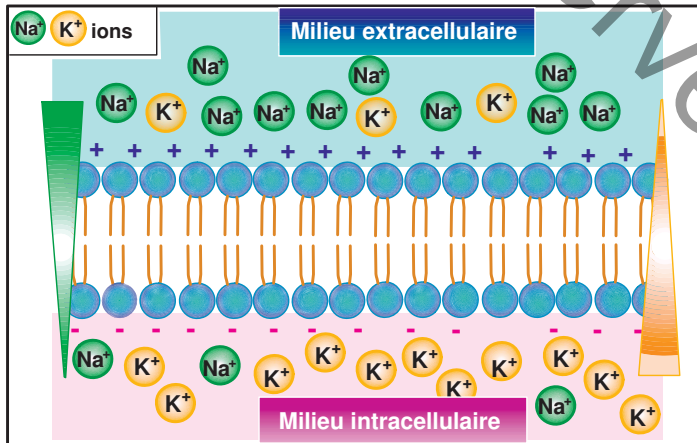
Taches 1- Analyser les résultats obtenus en vue de :

- déterminer la valeur de potentiel de membrane de repos (PR)
- déduire la polarité de la cellule au repos.

2.1.1. c- ORIGINE IONIQUE DU POTENTIEL DE REPOS :

Observation 1 :

Dans les cellules d'eucaryotes, la distribution des ions de part et d'autre de la membrane plasmique est inégale. Il y a plus d'ions K⁺ et de gros anions (A⁻) à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur. La situation pour les ions Na⁺ et Cl⁻ est inverse.



Concentration mMol.L⁻¹

Ions	MIC	MEC
Na ⁺	50	440
K ⁺	400	20
Cl ⁻	40	560
A ⁻	400	0
A⁻ : gros anions		

Document 10 : Concentration des ions de part et d'autre de la membrane nerveuse.

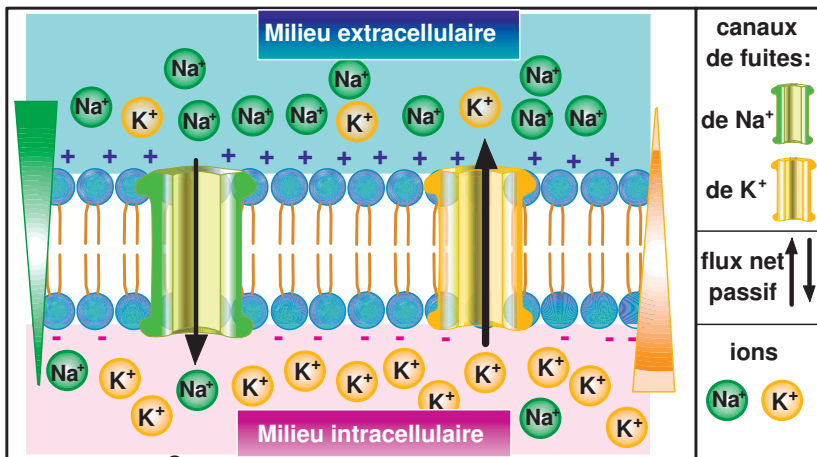
Observation 2 :

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

Taches 2. En exploitant les observations 1 et 2 et le document 10, formuler une hypothèse sur l'origine possible du potentiel de repos.

Observation 3 :

On a démontré que la perméabilité de la membrane aux ions Na^+ et K^+ est due à la présence de canaux (protéines membranaires), toujours ouverts, appelés canaux de fuite. Ces canaux sont traversés passivement par les ions Na^+ et K^+ selon leur gradient de concentration



Document 11 : Le rôle des canaux de fuite

Observation 4 :

Les échanges d'ions Na^+ et K^+ par diffusion, à travers les canaux de fuite, conduisent normalement à une égalité de concentration de ces ions de part et d'autre de la membrane nerveuse. Ce qui n'est pas le cas dans les conditions physiologiques normales. En plus du phénomène de diffusion, un autre mécanisme intervient donc pour engendrer et maintenir l'inégalité de concentration de part et d'autre de la membrane.

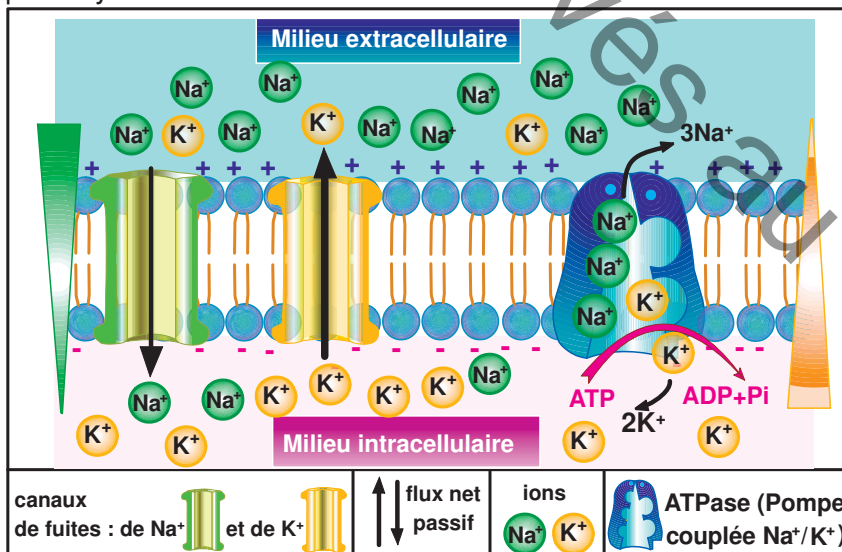
Taches



3. En **exploitant** les observations 3 et 4 et des documents 11, **formuler** une hypothèse pour **expliquer** le maintien de l'inégalité de concentration des ions Na^+ et K^+ de part et d'autre de la membrane cytoplasmique.

Observation 5 :

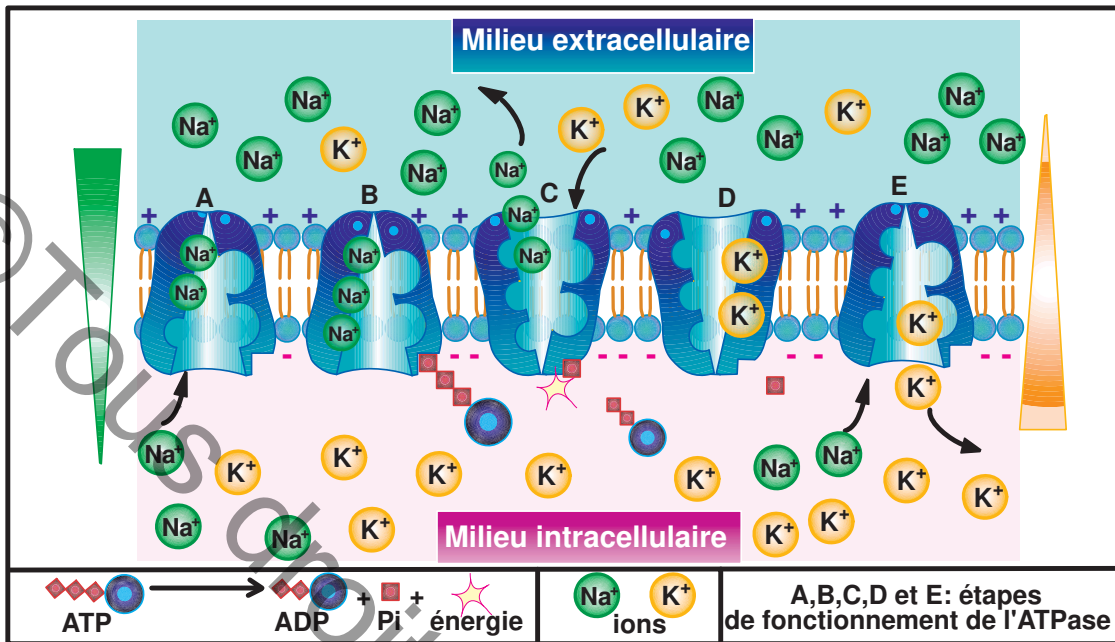
On a montré qu'au niveau de la membrane, il existe d'autres types de protéines, il s'agit d'une enzyme-pompe qui assure le transport des ions Na^+ et K^+ contre le gradient de concentration. Ce transport nécessite de l'énergie fournie par l'hydrolyse de l'ATP réalisée par cette pompe-enzyme.



Document 12 : Le transport des ions Na^+ et K^+ à travers la membrane d'un axone au repos.

Observation 6 :

Le document 13 explique le fonctionnement de la pompe Na^+/K^+ .



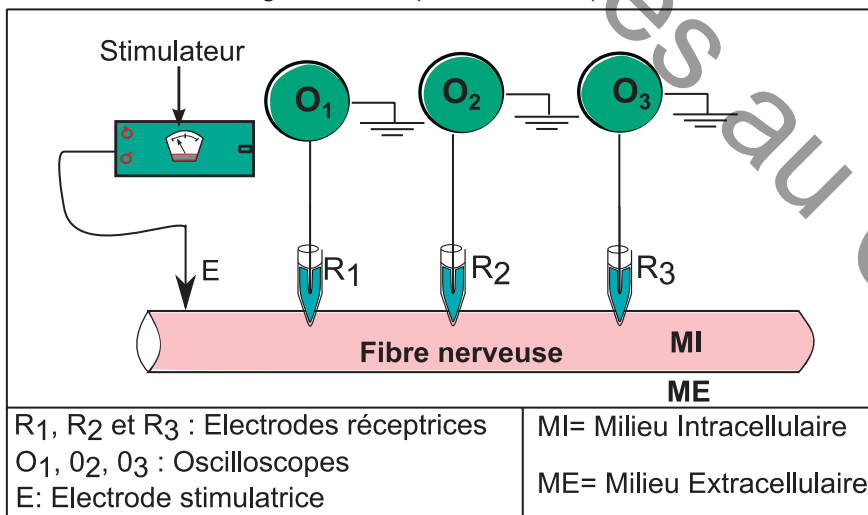
Document 13 : Le transport actif à travers les pompes Na^+/K^+



4. D'après les observations 5, 6 et les documents 12 et 13, **expliquer** le fonctionnement de la pompe Na^+/K^+ et **indiquer** ses conséquences.

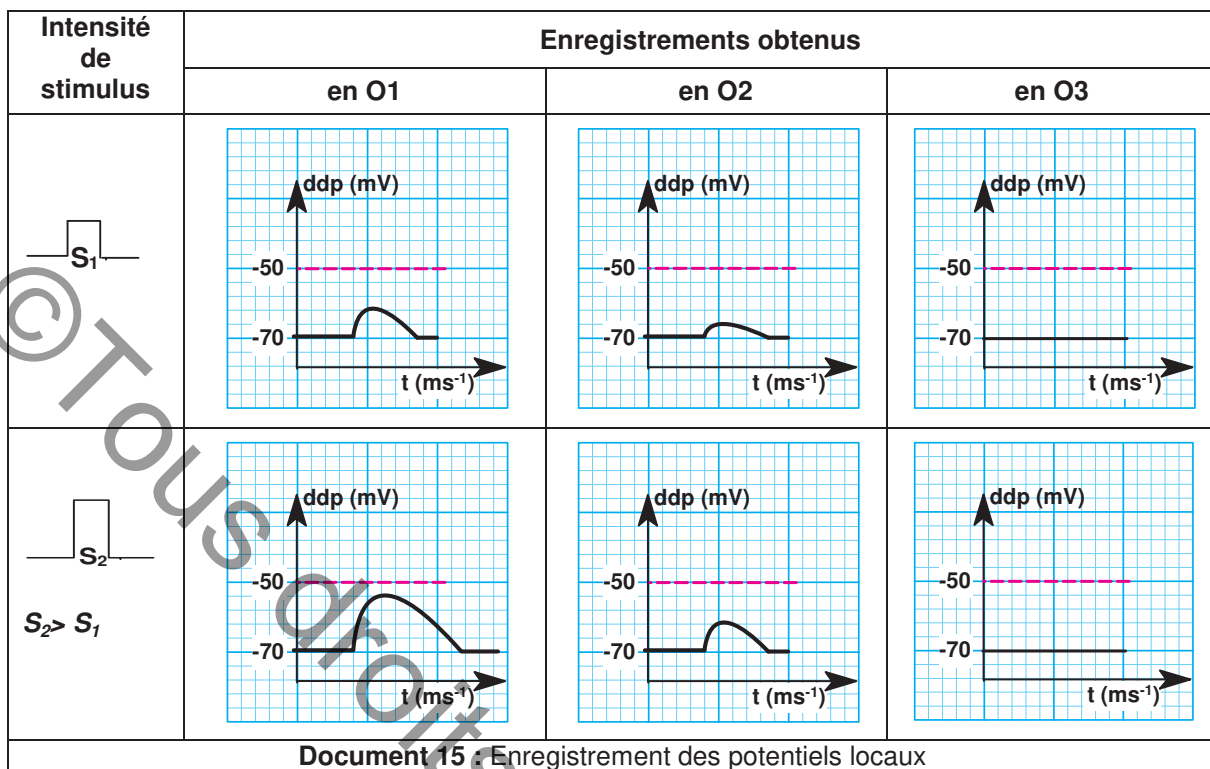
2.1.2. LE POTENTIEL LOCAL :

a- expérience : Pour étudier les propriétés électrochimiques des neurones, on a beaucoup travaillé sur l'axone géant de Calmar (voir l'activité 3 document 7). Ces axones peuvent être disséqués sur plusieurs centimètres et vivre plusieurs heures dans l'eau de mer, hors de l'organisme. On réalise le montage suivant (document 14):



Document 14 : Dispositif expérimental pour étudier la réponse d'une fibre nerveuse à des stimulations d'intensités croissantes

On porte sur une fibre nerveuse deux stimulations d'intensités croissantes S_1 et S_2 , avec ($S_1 < S_2$). Le tableau du document 15 présente les enregistrements obtenus au niveau des oscilloscopes O_1 , O_2 et O_3 (voir le document 14)



Document 15 : Enregistrement des potentiels locaux



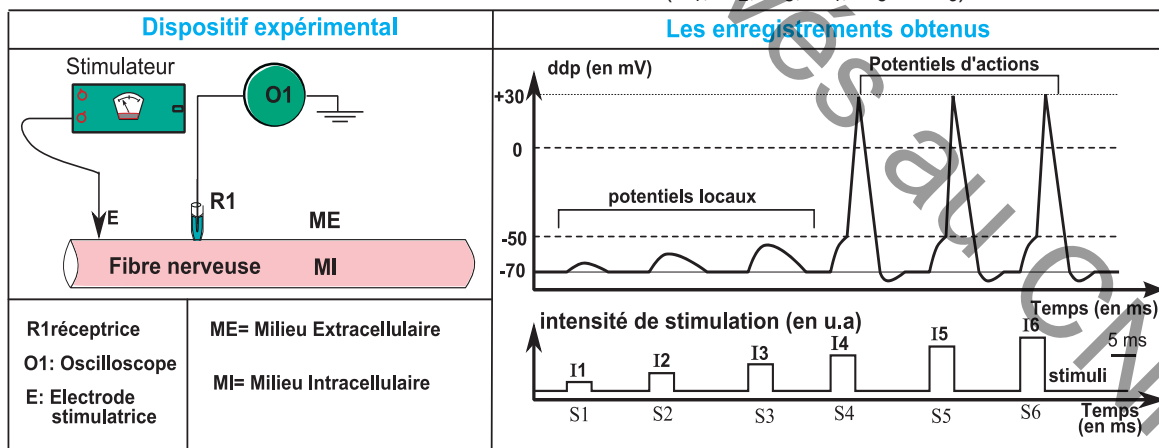
5. Analyser les enregistrements du document 15 afin de :

- Définir le potentiel local.
- Dégager une propriété de la fibre nerveuse
- Déduire les propriétés des potentiels locaux.

2.1.3. LE POTENTIEL D'ACTION :

2.1.3. a- ENREGISTREMENT D'UN POTENTIEL D'ACTION (PA)

Sur le même dispositif expérimental et à l'aide d'électrode stimulatrice, on porte sur une fibre nerveuse des stimulations d'intensités croissantes (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 et S_6)



Document 16 : Enregistrement d'un potentiel d'action



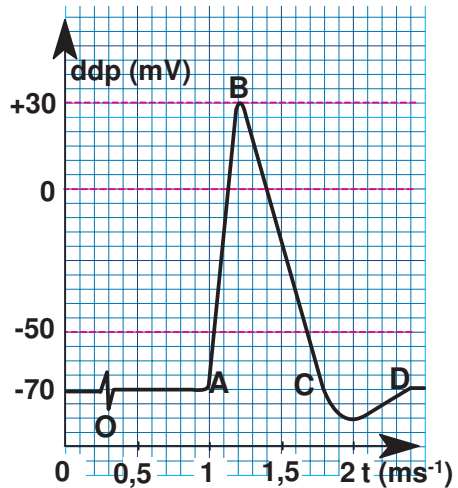
6. À partir de l'analyse des tracés obtenus dans le document 16, indiquer :

- L'intensité minimale de la stimulation qui déclenche un potentiel d'action.
- La valeur seuil de dépolarisation de la membrane.
- Définir le PA.

7. Les physiologistes considèrent que le potentiel d'action de la fibre nerveuse obéit à « la loi de tout ou rien ». En quoi les enregistrements précédents illustrent-ils cette loi ?

Une stimulation efficace en un point de la membrane d'une fibre nerveuse, entraîne une dépolarisation membranaire suffisante qui atteint le seuil (-50 mV), et provoque l'apparition d'un **potentiel d'action** (PA) comme le montre le document 17.

Rq : Le tracé obtenu est un électroneurogramme monophasique.



Document 17 : Le potentiel d'action.



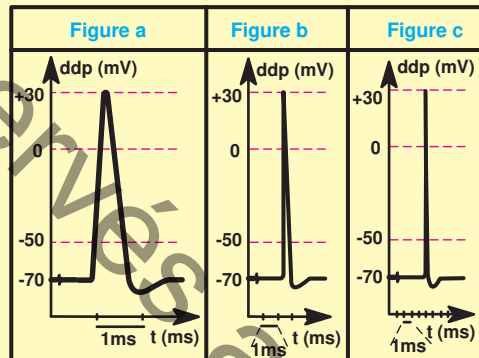
8. A partir de l'analyse de l'enregistrement du document 17 :

- a) **Déduire** les phases d'un PA.
- b) **Déterminer** son amplitude et sa durée.

9. **Expliquer** la signification de chaque phase du potentiel d'action en représentant sur le document 17 les changements de la polarité de la membrane de l'axone.

N.B :

L'allure de la courbe d'un potentiel d'action dépend de l'échelle du temps utilisée. Si cette échelle est grande (figure a document 18), il apparaît étiré et on distingue ses différentes phases, si l'échelle est petite (figure c document 18), il apparaît sous forme d'un trait vertical (PA droit)



Document 18

2.1.3. b. ORIGINE IONIQUE DU PA

Au cours du potentiel d'action, on constate une variation de la perméabilité de la membrane aux ions Na^+ et K^+ comme le montre le document 19 :



10. Analyser les courbes du document 19 en mettant en relation la variation de perméabilité membranaire aux ions Na^+ et K^+ et les phases du potentiel d'action.

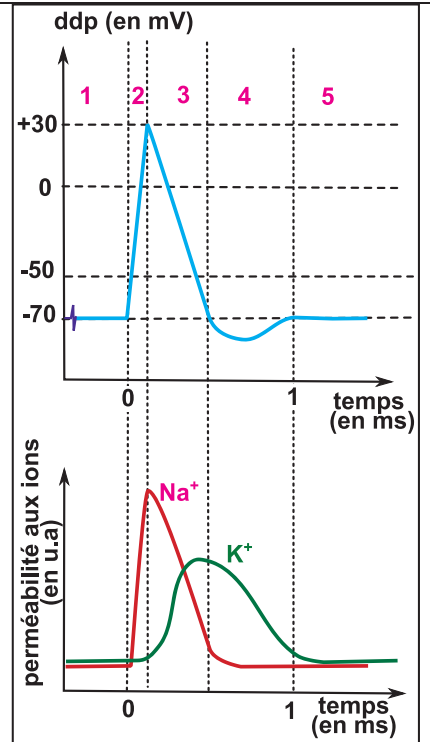
Constatations :

Au cours du potentiel d'action, l'entrée des ions Na^+ et la sortie des ions K^+ s'effectuent d'une manière passive à travers des canaux dont l'ouverture dépend d'un niveau précis du potentiel de la membrane, ce sont des **canaux ioniques voltage-dépendants (CIVD)** ; ces canaux sont fermés au repos.

- La phase ascendante du potentiel d'action (**phase 2 du document 19**) est due à l'**ouverture des CIVD aux ions Na^+** . Pour une valeur du potentiel de membrane ($\text{ddp} = -50 \text{ mV}$; valeur seuil), la dépolarisation membranaire provoque une ouverture rapide des canaux Na^+ voltages dépendants.

- la phase descendante de PA (**phase 3 du document 19**) est due à l'**ouverture des CIVD aux ions K^+** (à une $\text{ddp} = +30 \text{ mV}$: d'ouverture maximale) et la fermeture des CIVD aux ions Na^+ .

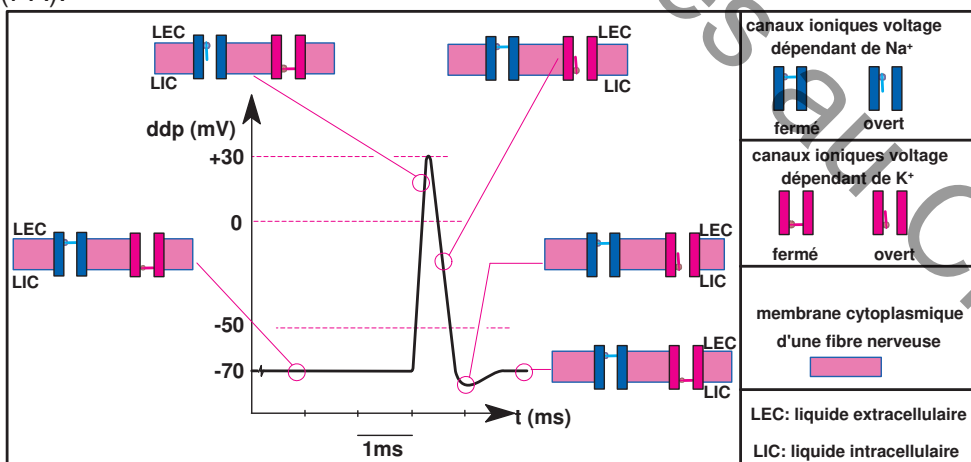
- Dans la plupart des cellules nerveuses, le PA est suivi d'une phase d'hyperpolarisation transitoire (**phase 4 du document 19**). Cette hyperpolarisation apparaît car, contrairement aux CIVD aux ions Na^+ , **les CIVD aux ions K^+ ne s'inactivent pas brutalement** (du moins dans cette échelle de temps). **Le nombre de ces CIVD ouverts diminue progressivement** et le potentiel de membrane revient à son niveau initial sous l'action des pompes Na^+/K^+ .



Document 19:

Variation de la perméabilité de la membrane plasmique aux ions Na^+ et K^+ au cours d'un PA.

Le document 20 représente un schéma simplifié montrant l'état des canaux ioniques voltage dépendants (CIVD) au niveau de la membrane de l'axone au cours d'un potentiel d'action (PA).



Document 20 : l'état des CIVD au cours d'un potentiel d'action



11. Exploiter les données du document 20 et les constatations pour :

a- Indiquer la polarité de la membrane à chaque phase du PA.

b- Représenter par des flèches le sens des mouvements des ions Na^+ et K^+ à travers les CIVD.

3. NAISSANCE ET CODAGE DE L'INFORMATION NERVEUSE AU NIVEAU D'UN RECEPTEUR SENSORIEL :

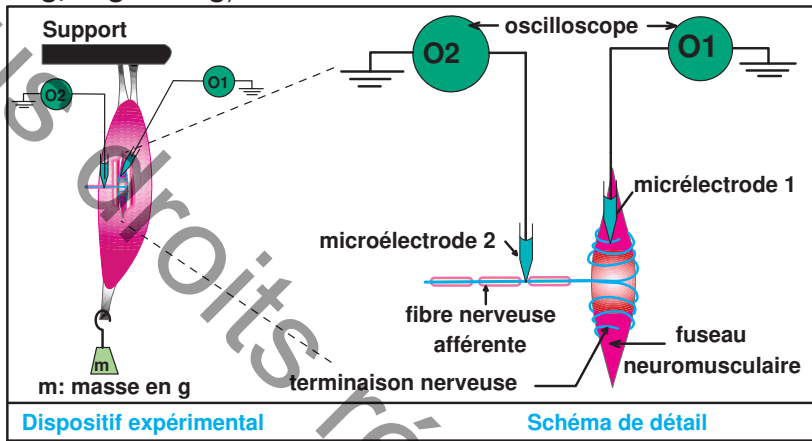
Exemple: Le fuseau neuromusculaire (FNM)

Activité 4 : Déterminer le rôle d'un récepteur sensoriel ; le FNM

Les fuseaux neuromusculaires (FNM) sont des récepteurs localisés dans les muscles.

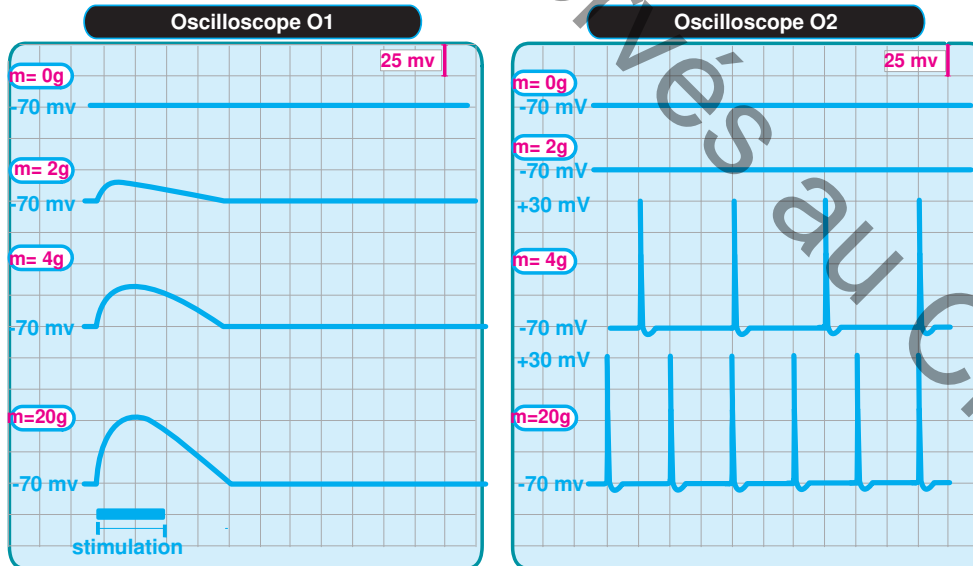
Il est possible, par microdissection, d'isoler l'un de ces récepteurs et d'enregistrer son activité lors de stimulations définies.

Le document 21 représente le montage utilisé pour enregistrer l'activité de la fibre nerveuse issue du FNM soumis à une série d'étirements d'intensités croissantes (avec des masses croissantes de 4g, 20g et 30 g).



Document 21 : le montage utilisé pour enregistrer l'activité de la fibre nerveuse issue du FNM

Les tracés obtenus aux niveaux des oscilloscopes O₁ et O₂ sont représentés par le document 22.



Document 22 : Réponse d'un récepteur sensoriel à des stimulations mécaniques



Analyser les enregistrements obtenus (**document 22**) en vue :

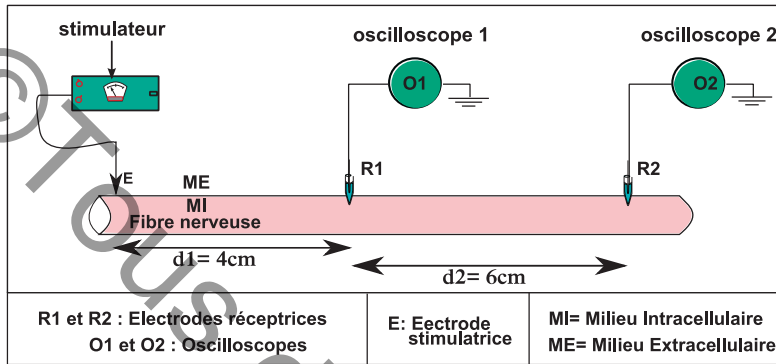
- a- de définir le potentiel de récepteur.
- b- de **dégager** les caractéristiques du potentiel de récepteur
- c- d'**expliquer** comment le message nerveux est-il codé?
- d- de **définir** la transduction

3.1. PROPAGATION DU MESSAGE NERVEUX :

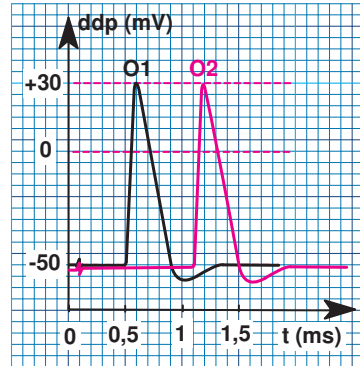
3.1.1. VITESSE DE PROPAGATION DU MESSAGE NERVEUX (MN) :

Activité 5 : Déterminer la vitesse de propagation du message nerveux

On peut calculer la vitesse de propagation de l'influx nerveux au niveau des fibres nerveuses de deux manières différentes.



22a : Le montage expérimental



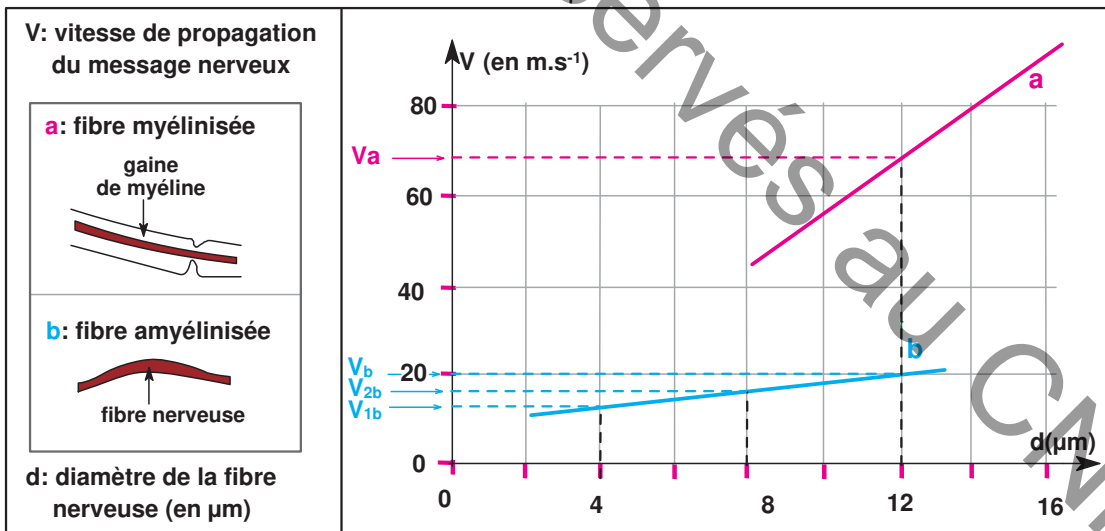
22b : Les résultats

Document 22 : La vitesse de propagation d'un message nerveux



- Calculer la vitesse de propagation du message nerveux en utilisant:
 - la distance $d1$
 - la distance $d2$.

Des mesures de la vitesse de conduction du message nerveux ont été effectuées sur différentes fibres nerveuses. Les résultats sont présentés sur le document 23 :



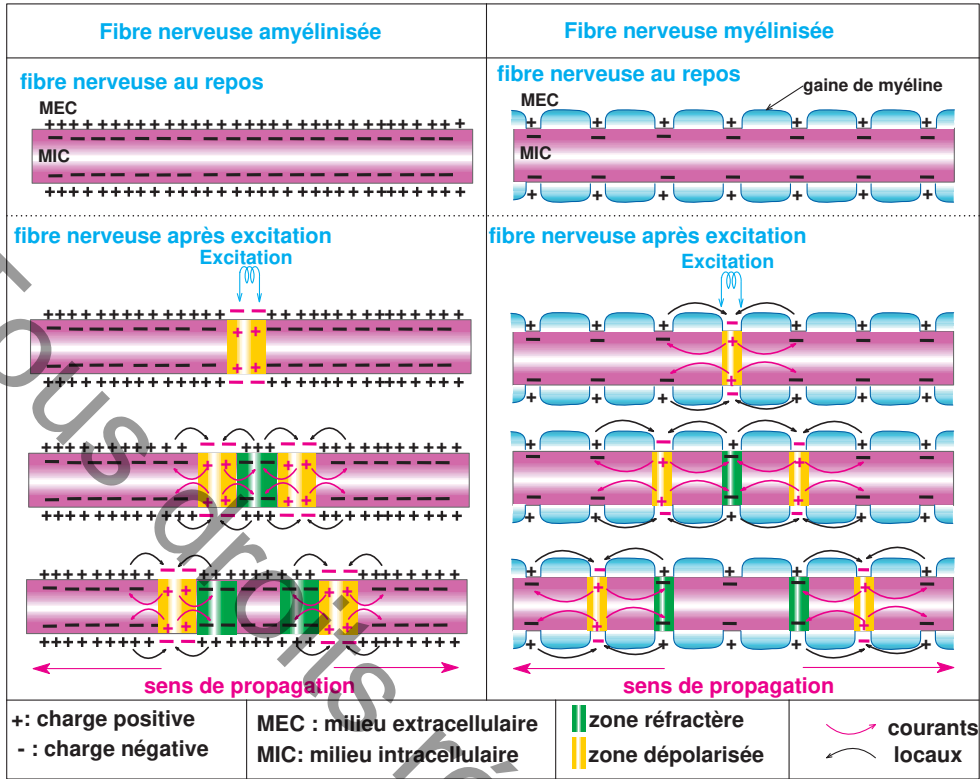
Document 23 : Relation entre la vitesse de propagation du message nerveux et les caractéristiques de la fibre nerveuse



- Comparer les vitesses V_a et V_b afin de préciser l'impact de la gaine de myéline sur la vitesse de propagation du message.
- Comparer les vitesses V_{1b} et V_{2b} afin de préciser l'impact du diamètre de la fibre nerveuse sur la vitesse de propagation du message.

3.1.2. MECANISME DE PROPAGATION DU MESSAGE NERVEUX :

Activité 6 : Expliquer le mécanisme de la propagation du message nerveux



Document 24 : mécanisme de propagation du message nerveux dans les conditions expérimentales



1. De l'exploitation du document 24, expliquer le mécanisme du propagation du message nerveux dans les deux types de fibres nerveuses.
2. Justifier le fait que la vitesse de propagation du message nerveux soit plus élevée dans les fibres myélinisées que dans les fibres amyélinisées.

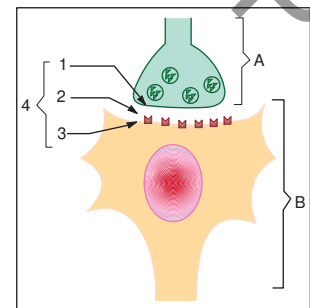
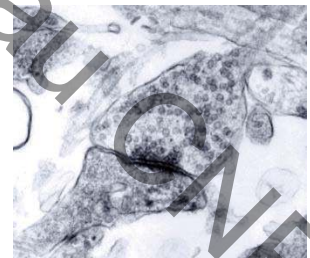
4. TRANSMISSION SYNAPTIQUE :

4. 1. LE MECANISME DE TRANSMISSION SYNAPTIQUE :

Activité 7 : Expliquer le mécanisme de la transmission synaptique

Observation 1 :

Les milliards de neurones qui constituent notre système nerveux sont capables de communiquer les uns avec les autres au niveau de régions spécialisées que l'on nomme des synapses. La synapse neuro-neuronique est une jonction ou une zone de contact entre deux neurones: un neurone présynaptique et un neurone postsynaptique. Le neurone présynaptique transmet le message nerveux vers le neurone postsynaptique.



Observation 2 :

Chaque synapse est constituée de trois éléments :

- L'élément présynaptique. Il s'agit de la terminaison axonique. Cet élément possède de nombreuses vésicules synaptiques
- la fente synaptique ou l'espace intersynaptique de quelques nanomètres
- L'élément postsynaptique

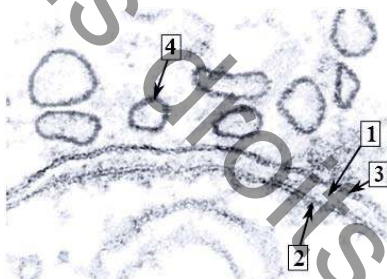


1. De l'exploitation des données précédentes:

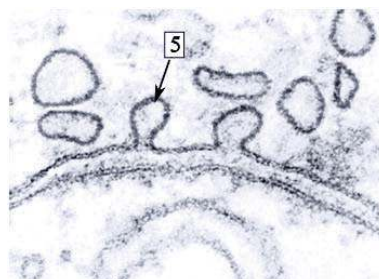
- Légender** le schéma de l'observation 1
- Représenter** par des flèches le sens de transmission du message nerveux d'un neurone à un autre, sur le même schéma.

Observation 3 :

Le document 25 représente deux photographies en microscopie électronique d'une synapse pendant deux états physiologiques différents: au repos –**Figure a-** et en activité –**Figure b-**.



-Figure a- Synapse au repos



-Figure b- Synapse en activité

Document 25 : Observation au microscope électronique d'une synapse activée et d'une synapse au repos



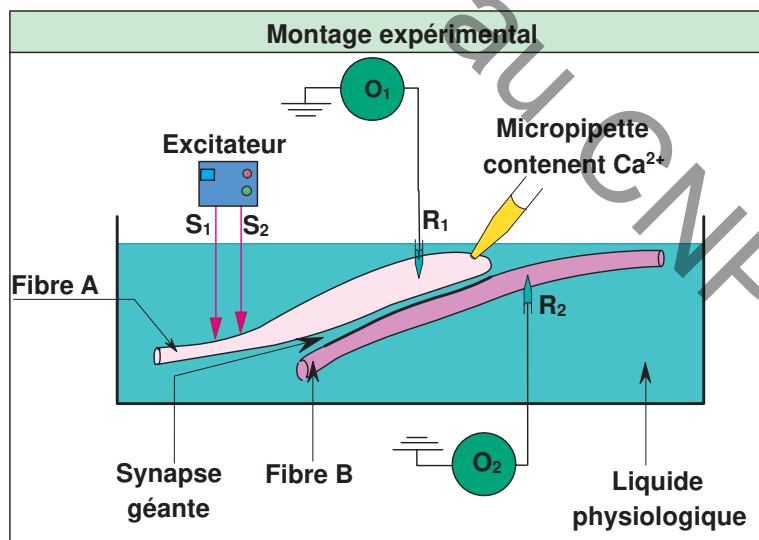
2. **Légender** les deux photographies du document 25.

3. L'élément présynaptique est séparé de l'élément postsynaptique par une fente synaptique. **Proposer** une hypothèse expliquant la transmission du message nerveux de l'élément présynaptique à l'élément postsynaptique.

Dans le cadre d'études portant sur les mécanismes de la transmission du message nerveux, on réalise des expériences sur une synapse géante de Calmar (**document 26**). La fibre A est placée sur deux électrodes stimulatrices S_1 et S_2 .

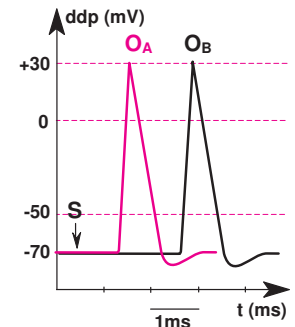
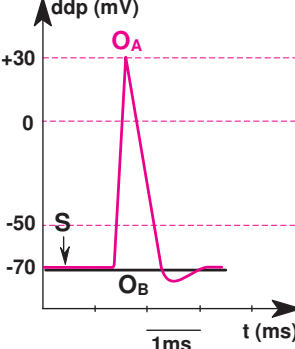
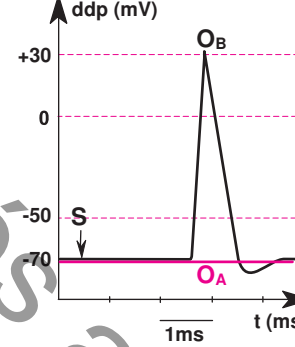
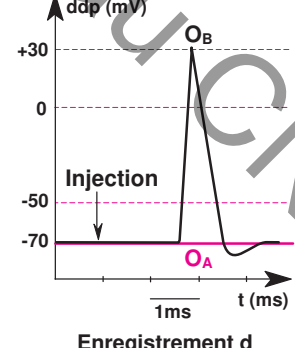
Sur chacune des deux fibres est appliquée une électrode réceptrice reliée à un oscillographe.

- R1 : sur la fibre A.
- R2 : sur la fibre B.



Document 26 : Montage expérimental

Le tableau suivant résume les conditions expérimentales et les enregistrements obtenus.

Expériences	Résultats
<p>Expérience 1 La synapse étant plongée dans de l'eau de mer normale, on stimule efficacement la fibre A par une stimulation S, on obtient alors l'enregistrement a.</p>	 <p>Enregistrement a</p>
<p>Expérience 2 La synapse est maintenant plongée dans de l'eau de mer dépourvue de calcium, la stimulation efficace S de la fibre A donne l'enregistrement b.</p>	 <p>Enregistrement b</p>
<p>Expérience 3 La synapse étant toujours maintenue dans de l'eau de mer sans calcium, on injecte à l'aide d'une micro pipette des ions Ca^{2+} dans la terminaison présynaptique (comme il est indiqué dans la figure 1). L'injection de Ca^{2+} donne l'enregistrement c.</p>	 <p>Enregistrement c</p>
<p>Expérience 4 La synapse étant maintenue dans de l'eau de mer sans calcium, on injecte, à l'aide d'une micro pipette, dans la fente synaptique des molécules d'acétylcholine (substance normalement présente dans des vésicules se trouvant dans la terminaison présynaptique). L'injection d'acétylcholine donne l'enregistrement d.</p>	 <p>Enregistrement d</p>

Document 27 : Expériences et résultats

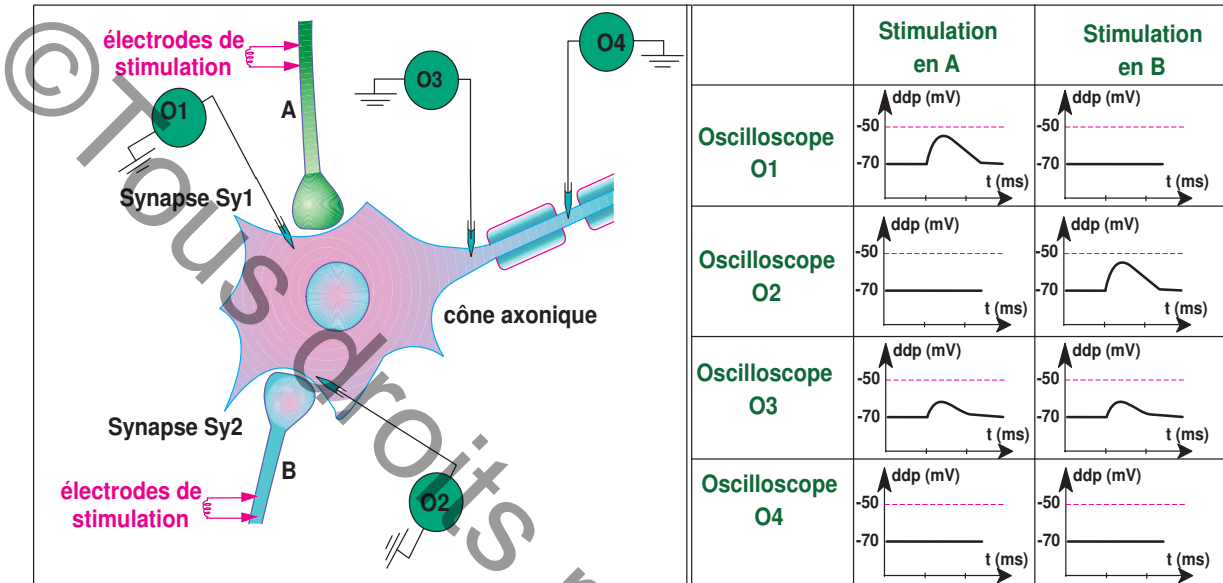


- Analyser** les enregistrements obtenus (document 27) afin de **dégager** les conditions nécessaires à la transmission synaptique du message nerveux.
- À l'aide de vos connaissances et de ce qui précède, **présenter** la chronologie des événements conduisant à la transmission synaptique du message nerveux.

4. 2. ENREGISTREMENT DES POTENTIELS POSTSYNAPTQUES:

Deux boutons synaptiques A et B appartenant à deux axones différents sont en contact avec un motoneurone M. Les deux axones A et B sont reliés chacun à un stimulateur qui permet de les exciter séparément.

Les réponses de M (neurone post-synaptique) sont enregistrées par les oscilloscopes O1, O2, O3 et O4.



Document 28 : Montage expérimental et résultats

Les physiologistes montrent qu'il y a deux types de synapse neuroneuroniques selon l'effet du neurotransmetteur sur le neurone postsynaptique :

* **La synapse excitatrice** : après la fixation du neurotransmetteur sur les récepteurs de la membrane postsynaptique les canaux chimio-dépendants (**CICD**) à Na^+ s'ouvrent, et les ions Na^+ entrent dans le neurone postsynaptique ce qui lui provoque une légère dépolarisation appelée **potentiel postsynaptique excitateur** ou **PPSE**.
L'acétylcholine est un exemple de neurotransmetteur excitateur

* **La synapse inhibitrice** : lors de l'ouverture des canaux chimio-dépendants, il y a entrée des ions Cl^- dans le neurone postsynaptique ou sortie des ions K^+ , ce qui provoque une hyperpolarisation du neurone postsynaptique appelée **potentiel postsynaptique inhibiteur** ou **PPSI**.

L'acide gamma-aminobutyrique (GABA) est un exemple de neurotransmetteur inhibiteur

Document 29 : une synapse excitatrice et une synapse inhibitrice



6. A partir de l'analyse des enregistrements du document 28 et à l'aide des données fournies par le document 29 :

a- Déterminer la nature des synapses A-M et B-M.

b- Identifier les caractéristiques des potentiels postsynaptiques enregistrés (PPS).

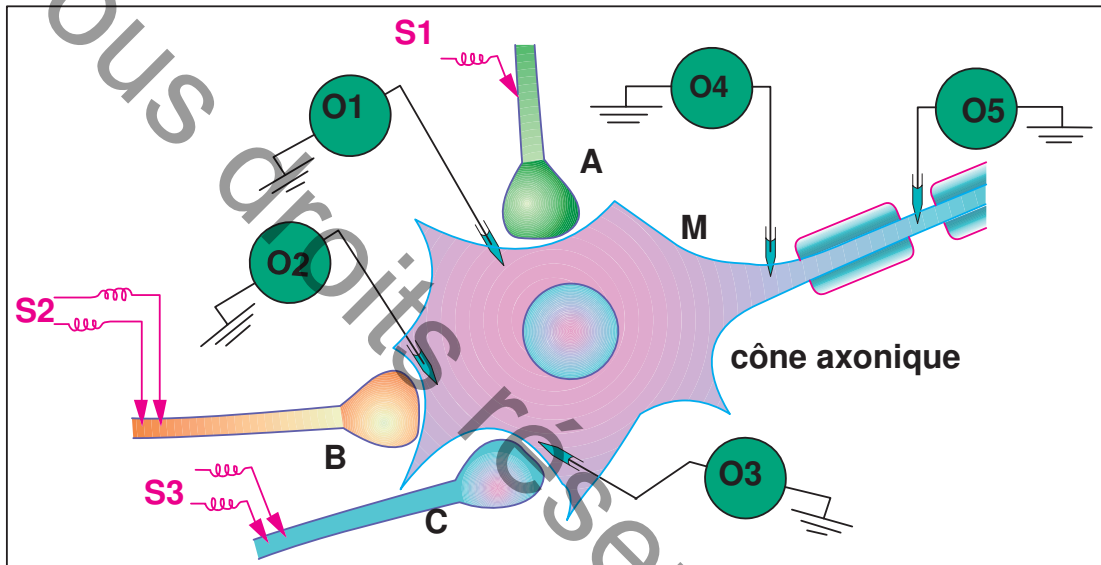
5. RÔLE INTÉGRATEUR DU NEURONE POSTSYNAPTIQUE

Activité 8 : Expliquer le rôle intégrateur du neurone postsynaptique

Le document 30 représente le montage expérimental réalisé sur un soma de neurone multipolaire M recevant des terminaisons pré-synaptiques de neurones A, B et C.

On peut stimuler séparément ou simultanément les axones de A, B et C. les réponses de M (neurone post-synaptique) sont enregistrées par les oscilloscopes O1, O2, O3, O4 et O5.

L'intensité des stimuli portés sur les axones A, B et C, est efficace (pour créer un potentiel d'action au niveau de ces axones) et constante pendant toute la durée de l'expérience.



Document 30 : Le montage expérimental

S1, S2, S3 : des électrodes stimulatrices.

Les résultats obtenus sont résumés dans les documents 31 et 32.

Conditions expérimentales		Enregistrement sur les oscilloscopes				
		O1	O2	O3	O4	O5
1 ^{ère} série On applique des excitations efficaces et isolées non simultanées sur les neurones	A					
	B					
	C					
2 ^{ème} série On applique plusieurs excitations efficaces sur le neurone A :	2 excitations peu rapprochées					
	2 excitations plus rapprochées					
	3 excitations plus rapprochées					

Document 31 : Enregistrement des potentiels postsynaptiques pour les deux séries d'expériences 1 et 2

Taches



1. À partir de l'analyse des enregistrements de la première série d'expériences, identifier les synapses excitatrices et les synapses inhibitrices.

Conditions expérimentales		Enregistrement sur les oscilloscopes				
		O1	O2	O3	O4	O5
3 ^{ème} série On applique plusieurs excitations efficaces sur le neurone C :	2 excitations peu rapprochées					
	2 excitations plus rapprochées					
4 ^{ème} série On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones :	A et B					
	A, B et C					

Document 32 : Enregistrement des potentiels postsynaptiques pour les deux séries d'expériences 3 et 4

Taches



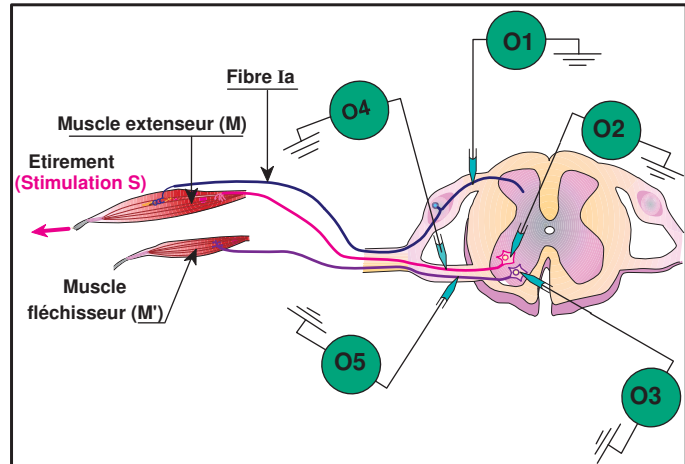
- A partir de l'analyse des enregistrements de la 2^{ème}, de la 3^{ème} et de la 4^{ème} série d'expériences
 - Dédire les propriétés des PPS
 - Dégager les conditions nécessaires à l'obtention d'un PA postsynaptique.
- A partir des données précédentes, expliquer comment le neurone postsynaptique intègre les messages nerveux provenant des neurones présynaptiques.

6. LA COORDINATION DE L'ACTIVITE DES MUSCLES ANTAGONISTES AU COURS DU REFLEXE MYOTATIQUE :

Activité 9 : Expliquer le mécanisme de la coordination des muscles antagonistes

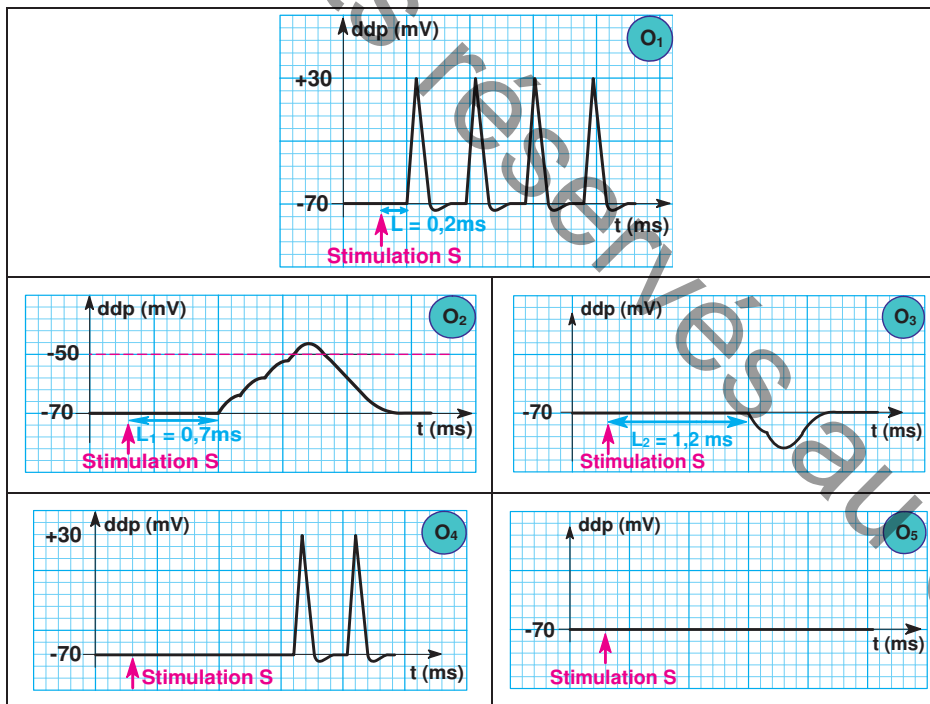
Au cours du reflexe myotatique, la contraction du muscle étiré est accompagnée du relâchement du muscle antagoniste. Cette coordination entre les deux muscles est nécessaire à la réalisation du mouvement.

L'activité des motoneurones des muscles M et M' sont enregistrée grâce à des microélectrodes après étirement (S) du muscle extenseur M .



Document 33 : Dispositif expérimental

Les enregistrements observés au niveau des oscilloscopes O_1 et O_2 sont représentés dans le document 34



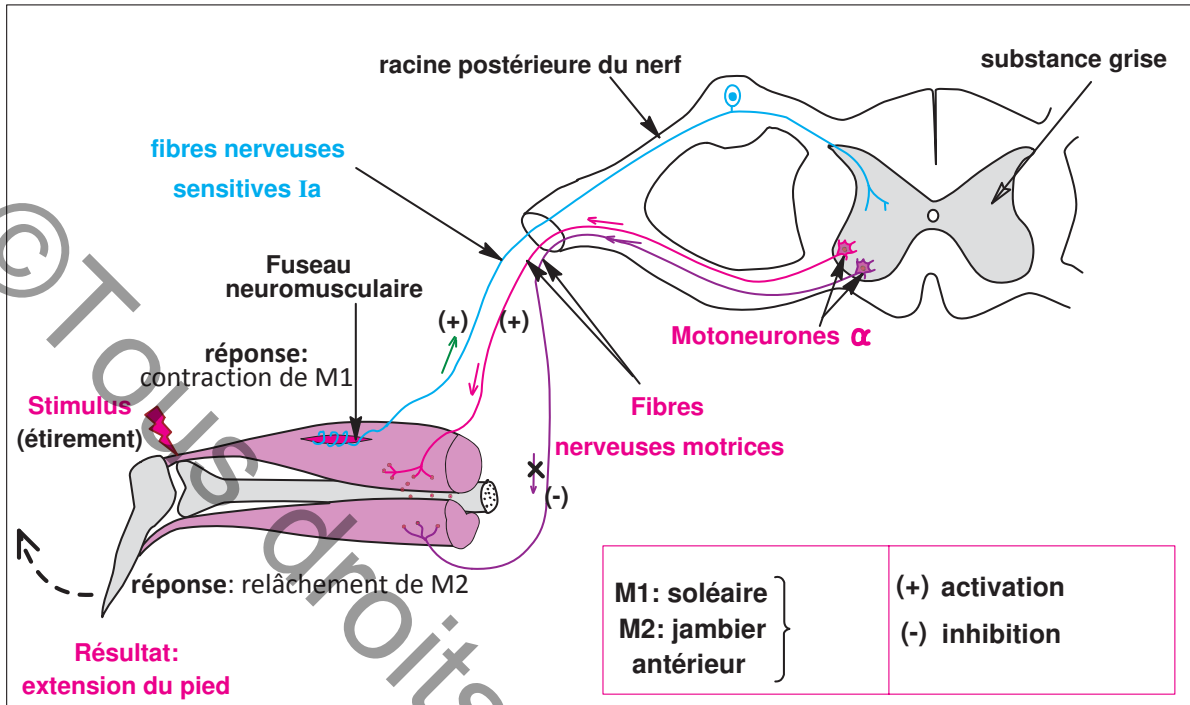
Document 34 : enregistrement de l'activité électrique des motoneurones intervenant M et M'

Taches



1. Analyser les enregistrements et expliquer leur origine.
2. Utiliser les données sur les temps de latence (L , L_1 et L_2) pour déterminer le nombre de synapses entre le neurone sensitif et les neurones moteurs du muscle extenseur (M) et du muscle fléchisseur (M').
3. Exploiter ces résultats pour expliquer la coordination entre les muscles M et M' .

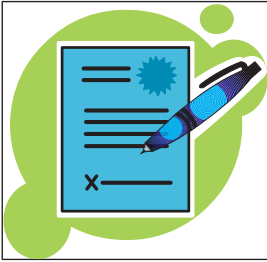
On peut représenter les circuits neuroniques du réflexe achilléen dans le schéma suivant.



Document 35 : schéma de synthèse regroupant les éléments anatomiques mis en jeu dans le réflexe myotatique et leurs relations.



4. Utiliser les données des activités précédentes pour compléter le schéma de document 35 représentant l'innervation des deux muscles antagonistes M et M'.



Bilan des connaissances

1. GENERALITES

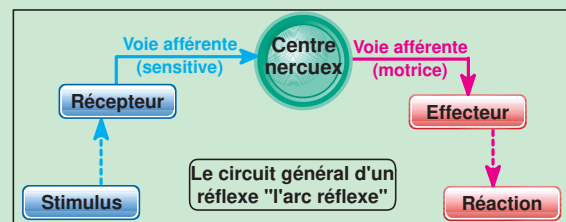
Le **réflexe myotatique** correspond à la **contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement**. Il permet le **maintien des postures dans l'espace** en assurant une contraction légère des muscles, il s'agit du **tonus musculaire**. Il intervient également dans le **rétablissement de notre position suite à un déséquilibre**, afin d'éviter une chute par exemple.

(Activité 1)

2. LES STRUCTURES CELLULAIRES IMPLIQUEES DANS L'ARC REFLEXE MYOTATIQUE :

La réalisation d'un réflexe myotatique suppose qu'un message nerveux soit transmis à la moelle épinière et revienne ensuite au muscle : c'est un exemple **d'arc réflexe**.

Un tel fonctionnement nécessite une chaîne de neurones mais aussi un récepteur sensoriel ainsi qu'une connexion avec l'organe effecteur.



De nombreuses études expérimentales réalisées chez des animaux et des observations cliniques permettent de trouver les organes intervenant au cours d'un réflexe c'est à dire constituant l'arc réflexe.

2.1. LES FUSEAUX NEUROMUSCULAIRES (FNM) :

Les fuseaux neuromusculaires situés dans les muscles sont les organes récepteurs du réflexe myotatique. Ces fuseaux sont des récepteurs sensoriels.

Le fuseau neuromusculaire est un mécanorécepteur constitué de fibres musculaires modifiées disposé parallèlement aux fibres du muscle, il est sensible à l'allongement de celui-ci, et traduit un stimulus mécanique en un message nerveux électrique.

Chaque fibre est formée d'une zone médiane non contractile autour de laquelle s'enroule une ramification d'une fibre nerveuse sensitive de type **Ia**.

2.2. DES FIBRES SENSITIVES AFFERENTES :

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

2.3. LA MOELLE EPINIÈRE :

C'est le centre nerveux des réflexes myotatiques qui sont donc des réflexes médullaires.

Dans la moelle épinière le message nerveux sensitif est transformé en message nerveux moteur qui sera envoyé vers le muscle.

2.4. DES FIBRES NERVEUSES MOTRICES EFFERENTES :

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

2.5. LES ORGANES EFFECTEURS : ce sont le muscle étiré et son antagoniste.

(Activité 2)

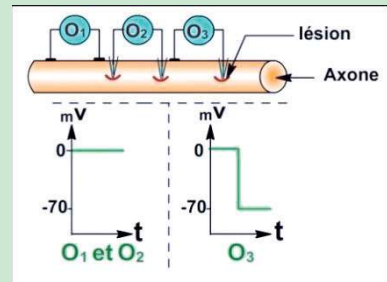
3. Le message nerveux

3.1. Nature et origine de message nerveux :

3. 1. a. LE POTENTIEL DE REPOS :

Les cellules nerveuses, comme toutes les cellules de l'organisme, possèdent un potentiel de membrane. La différence de potentiel observée entre le cytoplasme de la cellule et le milieu extérieur (ici -70mV), en l'absence de tout stimulus, est le potentiel de repos.

Le potentiel de repos (ou potentiel membranaire) est la différence de potentiel mesurée entre la face externe et la face interne de la membrane d'un neurone (ou de toute cellule vivante).



Cette différence de potentiel est égale à environ -70 mV (millivolts). La membrane est polarisée ; sa face interne est électronégative et sa face externe est électropositive.

Le PR est dû à la répartition dissymétrique des ions de part et d'autre de la membrane essentiellement Na^+ et K^+ . Le liquide extracellulaire contient d'importantes quantités de sodium (Na^+) et de faibles quantités de potassium (K^+) ; le liquide intracellulaire est caractérisé par une composition inverse.

MEC	concentration mMol.L-1	
	MIC	MEC
Na^+	50	440
K^+	400	20
Cl^-	40	560
A^-	400	0
A ⁻ : gros anions		

Cette répartition est maintenue constante par un **mécanisme actif** (par les pompes Na^+/K^+) qui corrige les effets d'un mécanisme passif (par les canaux de fuites).

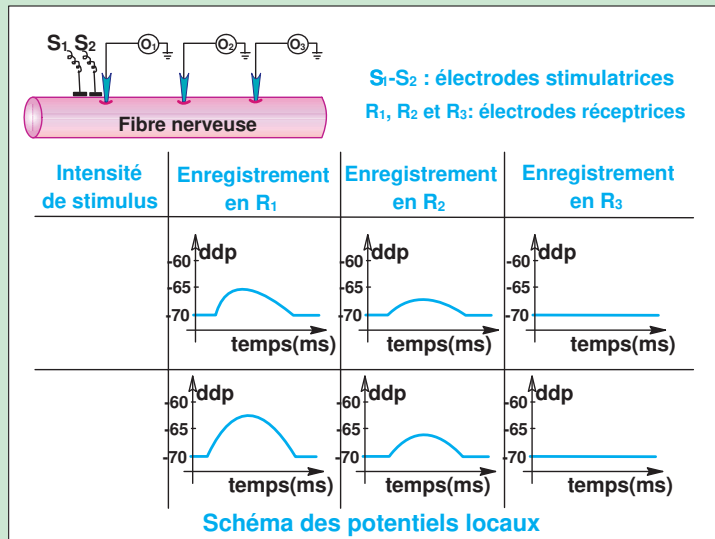
• **un mécanisme passif : un transport passif (sans dépense d'énergie)** qui tend à équilibrer les concentrations (par entrée des ions Na^+ et sortie de K^+ à travers des canaux de fuite ouverts en permanence (2).

• **un mécanisme actif** : Les gradients de concentration ionique sont créés et maintenus par des protéines transmembranaires appelées pompes ; enzymes qui accumulent activement le potassium (2K^+) à l'intérieur de la cellule et rejettent du sodium (3Na^+) à l'extérieur de la cellule, créant ainsi des différences de concentration ionique. Ce transport se fait contre le gradient de concentration (1), il nécessite de l'énergie sous forme d'ATP. L'enzyme est une ATPase qui décompose l'ATP en ADP + Pi et libère de l'énergie qui sert à transporter les ions Na^+ et K^+ à travers la membrane.



3. 1. b. LE POTENTIEL LOCAL :

Si la membrane plasmique est légèrement stimulée, l'oscilloscope montre une légère dépolarisation suivie d'un retour rapide au potentiel de repos. Une dépolarisation rend le potentiel de la membrane moins négatif (plus positif). Si on augmente l'intensité de stimulation, l'oscilloscope montre des dépolarisations dont l'amplitude croît avec l'intensité et qui se propagent sur une courte distance en diminuant d'amplitude en fonction de la diminution de l'intensité du champ électrique créée par la stimulation : **ce sont des potentiels locaux.**



Les dépolarisations rapprochent la cellule d'une valeur critique, le seuil d'excitation. C'est-à-dire le niveau de dépolarisation nécessaire pour produire un potentiel d'action.

3. 1. c. LE POTENTIEL D'ACTION :

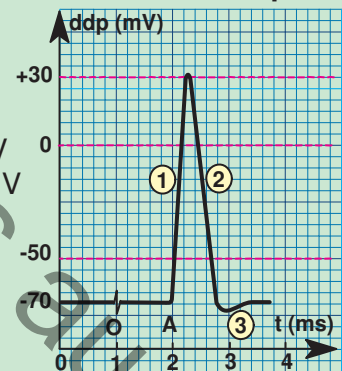
Suite à un stimulus dont l'intensité atteint le seuil (liminaire) ou dépasse le seuil (supraliminaire), on enregistre une modification brusque du potentiel de repos (ddp passe de -70 mV à + 30 mV) propageable (enregistrable à distance), identique quelle que soit l'intensité du stimulus : **c'est le potentiel d'action (PA).**

Les portions 1, 2 et 3 de la courbe constitue le potentiel d'action. Celui-ci comporte trois phases :

1. Une phase ascendante : de courte durée (environ 0,5 ms) et ample inversion de la polarisation membranaire.

L'électrode intracellulaire passe d'une valeur négative de -70 mV à une valeur positive de + 30 mV, soit une variation de 100 mV ; **c'est la phase de dépolarisation**

2. La phase de descente du potentiel d'action (PA) : au cours de laquelle la négativité interne augmente progressivement et le potentiel de membrane retrouve sa valeur initiale (-70 mV) ; c'est la phase de repolarisation.



3. la phase d'hyperpolarisation : à la fin de la phase de descente, le potentiel de membrane atteint une valeur plus négative que le niveau de son potentiel de repos (-74 mV).

4. Le retour à la valeur de potentiel initial est relativement plus lent.

Le potentiel d'action (PA) a les caractéristiques suivantes :

- une durée constante (= 1ms)
- une vitesse variable (de 30 m.s⁻¹ à 100 m.s⁻¹)
- une amplitude constante (=100mV) quelle que soit l'intensité de stimulation, à condition que la stimulation soit efficace ; Le potentiel d'action **obéit à la loi du tout ou rien** :
 - lorsque le seuil de dépolarisation n'est pas atteint, le potentiel d'action n'apparaît pas (**rien**),
 - lorsque le seuil est atteint, l'amplitude de la réponse est d'emblée maximale (**tout**)
- Le PA se propage sans atténuation, de manière autonome, tout au long de la membrane de l'élément excité.

- Le potentiel d'action se produit chaque fois que la dépolarisation provoquée par la stimulation fait atteindre au potentiel de membrane, une valeur-seuil dite le seuil de potentiel. Sa valeur est de -50 mV.

3. 1. d. ORIGINE IONIQUE DU POTENTIEL D'ACTION :

Le potentiel d'action est une brutale modification de la perméabilité de la membrane aux ions à travers les canaux voltages dépendants (CIVD).

En effet lorsque la membrane est au repos, les canaux ioniques voltage-dépendants (**CIVD**) sont fermés.

* En réponse à une stimulation efficace et dès que le seuil de dépolarisation (-50 mV) est atteint, les **CIVD aux ions Na^+** s'ouvrent en premier lieu, le sodium affluant brusquement dans la cellule sous l'effet du gradient de concentration, les charges positives réduisent la négativité à l'intérieur de la cellule et dépolarisent ainsi la membrane de la fibre nerveuse (la ddp passe de -70 mV à $+30$ mV). Cette pénétration massive des ions Na^+ est à l'origine de la phase de **dépolarisation**.

* Après un bref délai et lorsque le potentiel de la membrane atteint $+30$ mV, les **CIVD aux ions Na^+** se ferment et les **CIVD aux ions K^+** s'ouvrent, les ions K^+ sortent de la fibre, par diffusion en suivant leur gradient de concentration, entraînant la répolarisation de la membrane.

* L'ouverture des **CIVD aux ions K^+** persiste encore ce qui entraîne une perte de charges positives, c'est la phase **d'hyperpolarisation**. Le nombre de **CIVD aux ions K^+** ouverts diminue progressivement et le potentiel de membrane revient à son niveau initial sous l'action des pompes Na^+/K^+ .

(Activité 3)

3. 1. e. LA PERIODE REFRACTAIRE :

Dans la zone de création du PA et durant toute la durée du PA, l'état physiologique de la membrane est modifiée, il est donc impossible d'y créer un nouveau PA même si la stimulation est efficace, cette zone de la fibre est dite en période réfractaire. La zone réfractaire de la fibre ne sera excitable de nouveau que lorsqu'elle aura retrouvée son état physiologique initial. C'est-à-dire à la fin du PA.

Au cours de la période réfractaire et après la phase de dépolarisation, les **CIVD aux ions Na^+** demeurent fermés pendant quelques millisecondes, d'où la membrane ne retrouve pas ses possibilités de changer sa perméabilité aux ions Na^+ .

3.2. TRANSDUCTION ET CODAGE DE L'INFORMATION NERVEUSE AU NIVEAU D'UN RECEPTEUR SENSORIEL :

3. 2.a. FUSEAU NEUROMUSCULAIRE

Les muscles striés comportent des récepteurs spécialisés, les fuseaux neuromusculaires **FNM** ; mécanorécepteurs sensibles à l'étirement. Ils sont constitués de fibres musculaires particulières autour desquelles s'enroule l'extrémité dendritique d'une fibre nerveuse sensitive, (prolongement d'un neurone en T) dont le corps cellulaire est situé dans un ganglion spinal.

3. 2. b. LA NAISSANCE DU MESSAGE CORRESPOND À LA TRANSDUCTION :

Le potentiel transmembranaire de la fibre nerveuse fusoriale, au niveau du site de transduction, est modifié par la stimulation mécanique du fuseau, la différence de potentiel entre l'extérieur et l'intérieur de la membrane étant d'autant plus élevée que son étirement est plus important. Le potentiel produit par la transduction sensorielle est **un potentiel de récepteur**. Les potentiels de récepteur sont des potentiels locaux ayant pour caractéristiques d'être graduables en amplitude et se propagent sur une courte distance en diminuant d'amplitude. Cependant, si la valeur du potentiel de récepteur atteint un seuil de

dépolarisation (-50mV), au niveau du site générateur de PA, le potentiel de récepteur déclenche la naissance d'un message nerveux codé en modulation de fréquence de potentiel d'action.

Contrairement au potentiel de récepteur, le potentiel d'action est propageable. En outre, le message nerveux circule dans les fibres nerveuses sous forme de trains de PA dont la fréquence est proportionnelle à l'intensité de la stimulation.

3. 2. c. CONCLUSION :

C'est dans le récepteur que se transforme l'énergie du stimulus en potentiel de récepteur. Cette opération est appelée **transduction**. Lorsque le potentiel de récepteur atteint une valeur seuil il déclenche un message nerveux **codé en modulation de PA**.

Au repos les fuseaux neuromusculaires ne sont pas totalement inactifs. Ils présentent une légère activité due à un léger étirement des muscles extenseurs au niveau des articulations sous l'effet de la pesanteur. Les messages nerveux permanents émanant du récepteur ont pour conséquence l'arrivée permanente de messages nerveux moteurs vers le muscle lui imposant une légère contraction appelée "**tonus musculaire**".

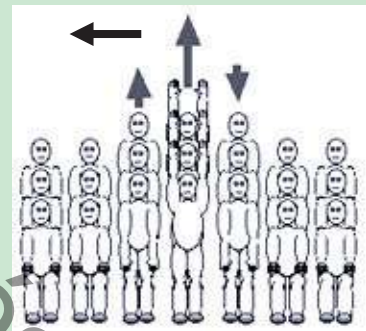
(Activité 4)

3. 3. PROPAGATION DU POTENTIEL D'ACTION :

La propagation d'un potentiel d'action est un phénomène **autorégénératif**. Le mécanisme de propagation d'un potentiel d'action varie selon la nature de la fibre (myélinisée ou amyélinisée)

3. 3. 1. LA PROPAGATION DE PROCHE EN PROCHE :

Dans la fibre amyélinisée, chaque potentiel d'action né correspond à une brusque inversion du potentiel de la membrane (dépolarisation). À son voisinage, dans les zones non dépolarisées, la membrane présente donc des charges de signe opposé ce qui conduit à la formation de courants locaux. Ces courants ont pour effet de dépolariser à leur tour la membrane à proximité et qui ne se trouve pas en période réfractaire, ce qui provoque l'inversion du potentiel de la membrane. Pour cette raison, on dit que **le potentiel d'action ne se déplace pas le long de la fibre nerveuse, mais chaque potentiel déclenche un autre.**



Même principe que la vague dans un stade

3. 3. 2. PROPAGATION SALTATOIRE :

Dans les fibres myélinisées, la fibre nerveuse est isolée du milieu extracellulaire par la gaine de myéline et les courants locaux ne peuvent pas s'établir à proximité de la zone dépolarisée.

Cependant, au niveau des nœuds de Ranvier, la membrane du neurone est en contact avec le milieu aqueux qui l'entoure car la gaine de myéline est interrompue à ce niveau. Il se forme alors également des courants locaux mais ceux-ci ne peuvent s'établir qu'entre deux étranglements successifs. On parle alors de propagation **saltatoire**.

3. 3. 3. VITESSE DU MESSAGE NERVEUX :

La vitesse de conduction ou de propagation de l'influx nerveux dépend :

- du diamètre des fibres nerveuses : plus le diamètre est grand, plus la vitesse est rapide.
- de la présence ou non de la gaine de myéline : Par suite de la présence de la gaine de myéline, la vitesse de propagation saltatoire va être beaucoup plus grande que la vitesse de propagation de proche en proche.
- la température : le froid diminue la vitesse de conduction et inversement.

3. 3. 4. CONCLUSION :

La naissance et la propagation des messages nerveux mettent en jeu deux catégories de potentiels membranaires : potentiels de récepteur qui naissent au niveau des terminaisons nerveuses dendritiques situées dans le fuseau neuromusculaire et potentiels d'action qui se propagent le long de la fibre nerveuse. Les premiers sont des potentiels locaux non propageables, graduables et sommables qui peuvent être ou pas générateurs de potentiel d'action ; les seconds sont des potentiels propageables, dont la conduction est saltatoire dans les fibres myéliniques, mais ils ne sont ni graduables ni sommables. Leur arrivée au niveau synaptique déclenchera l'activation des motoneurones correspondants.

(Activité 5 et 6)

4. TRANSMISSION SYNAPTIQUE

Sur le plan fonctionnel on retiendra que la terminaison présynaptique est douée d'un pouvoir de neurosécrétion déclenché par l'arrivée d'un influx nerveux au niveau de cette terminaison. La substance sécrétée constitue le médiateur chimique. Une fois libéré, le neurotransmetteur va se fixer sur les sites récepteurs de la membrane post-synaptique. Cette fixation va provoquer une modification locale et temporaire de la membrane post-synaptique.

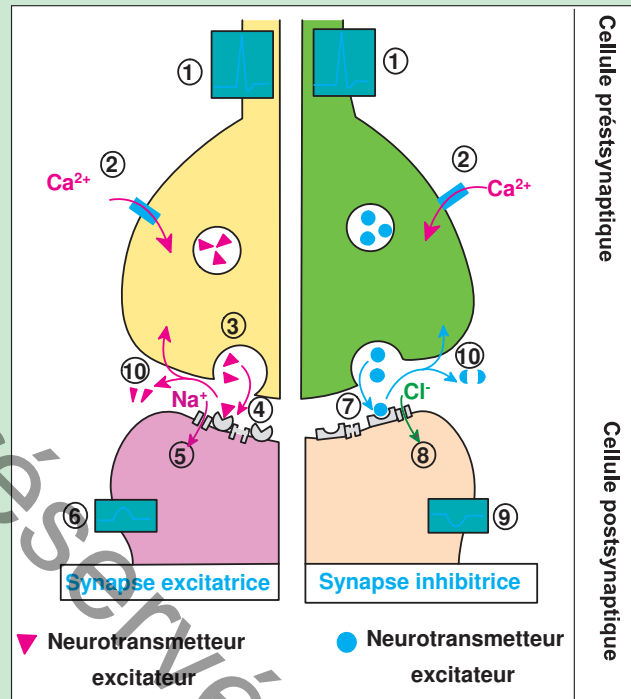
Il est à noter que toutes les terminaisons d'un même neurone libèrent le même neurotransmetteur.

Dans une synapse excitatrice (notée+), le neurotransmetteur provoque une **dépolarisation** du neurone postsynaptique.

Dans une synapse inhibitrice (notée -), le neurotransmetteur provoque une **hyperpolarisation de la membrane post- synaptique.**

Les étapes de transmission synaptiques :

- L'arrivée du potentiel d'action au niveau de la terminaison synaptique provoque l'ouverture de CIVD aux ions Ca^{2+} situés dans la membrane présynaptique et la pénétration de ces ions dans le cytoplasme du neurone présynaptique.
- L'entrée des ions Ca^{2+} entraîne la libération par exocytose dans la fente synaptique, d'un certain nombre de molécules de neurotransmetteur, stockées jusque-là dans des vésicules synaptiques se trouvant dans le cytoplasme de la terminaison pré synaptique.
- Le neurotransmetteur se fixe sur des sites récepteurs spécifiques situés sur la membrane postsynaptique.
- La fixation du neurotransmetteur sur les sites récepteurs provoque l'ouverture de canaux ioniques.
- L'ouverture de ces canaux chimiodépendants donne lieu à des flux ioniques et à la naissance d'un potentiel post synaptique (PPS).



Dans le cas d'une synapse excitatrice	Dans le cas d'une synapse inhibitrice
Lors de l'ouverture des canaux chimio-dépendants (CICD), il y a entrée massive d'ions Na^+ dans le neurone postsynaptique ce qui provoque une légère dépolarisation du neurone postsynaptique appelée potentiel postsynaptique exciteur ou PPSE.	Lors de l'ouverture des canaux chimio-dépendants, il y a entrée des ions Cl^- dans le neurone postsynaptique et/ou sortie des ions K^+ , ce qui provoque une hyperpolarisation du neurone postsynaptique appelée potentiel postsynaptique inhibiteur ou PPSI. Le neurotransmetteur inhibiteur le plus fréquent est l'acide gamma-aminobutyrique (GABA)

- Inactivation de la transmission synaptique par dégradation des molécules de neurotransmetteur par une enzyme spécifique puis récupération des produits dégradés (cas d'acétylcholine) ou par recapture de neurotransmetteur (cas de GABA). Cette inactivation provoque la fermeture des CICD à Na^+ .

(Activité 7)

5. INTEGRATION POSTSYNAPTIQUE :

Dans les centres nerveux intégrateurs, moelle épinière et cerveau, un neurone peut recevoir des informations provenant de plusieurs autres neurones par des milliers de terminaisons axoniques qui sont en contact synaptiques avec ses dendrites ou son corps cellulaire. Ces différentes synapses sont soit excitatrices, soit inhibitrices.

À tout instant, le neurone post synaptique est soumis à l'influence de synapses excitatrices (PPSE) et à celle de synapses inhibitrices (PPSI).

Le corps cellulaire de ce neurone doit donc intégrer ces informations contradictoires, c'est à dire en faire la « **somme algébrique** ».

- Cette sommation prend en compte les informations arrivant successivement d'un neurone pré synaptique donné si les messages sont suffisamment rapprochés ; c'est la **sommation temporelle**.
- Cette sommation prend en compte l'ensemble des informations arrivant au neurone postsynaptique stimulé par un très grand nombre de neurone pré-synaptique à un instant t donnée ; c'est la **sommation spatiale**.

Dans tout les cas ;

- Si le PPS global au niveau du cône axonique (ou segment initial de l'axone), atteint le seuil de potentiel il déclenche un potentiel d'action qui se propage le long du neurone postsynaptique.

- Si le PPS global n'atteint pas le seuil, il se dégenère dans l'axone.

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

Cette fonction intégratrice des neurones joue un rôle essentiel dans le traitement des messages qui transitent dans un centre nerveux.

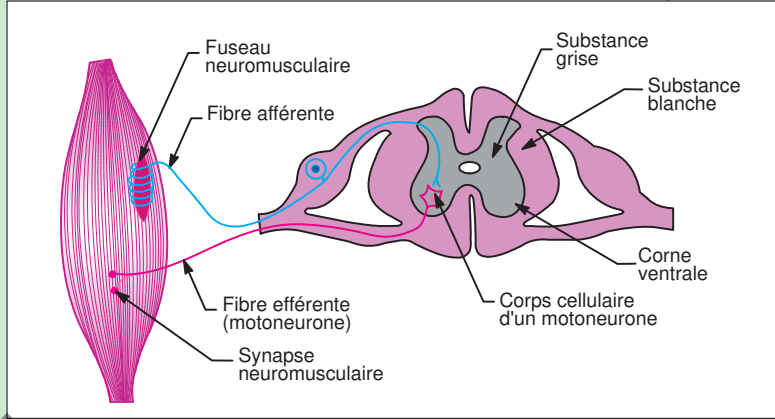
(Activité 8)

6. FONCTIONNEMENT NERVEUX DU REFLEXE MYOTATIQUE :

Le réflexe myotatique ou réflexe d'étirement est la contraction réflexe d'un muscle qui résulte de l'allongement (ou étirement) de ce même muscle.

Cette réponse réflexe a pour point de départ l'étirement du fuseau neuromusculaire (Le stimulus peut également être la pesanteur). L'information remonte via un neurone

sensoriel (Ia) vers des centres nerveux (la moelle épinière dans ce cas) qui, à leur tour, contrôlent l'activité de neurones moteurs innervant les muscles, organes effecteurs.



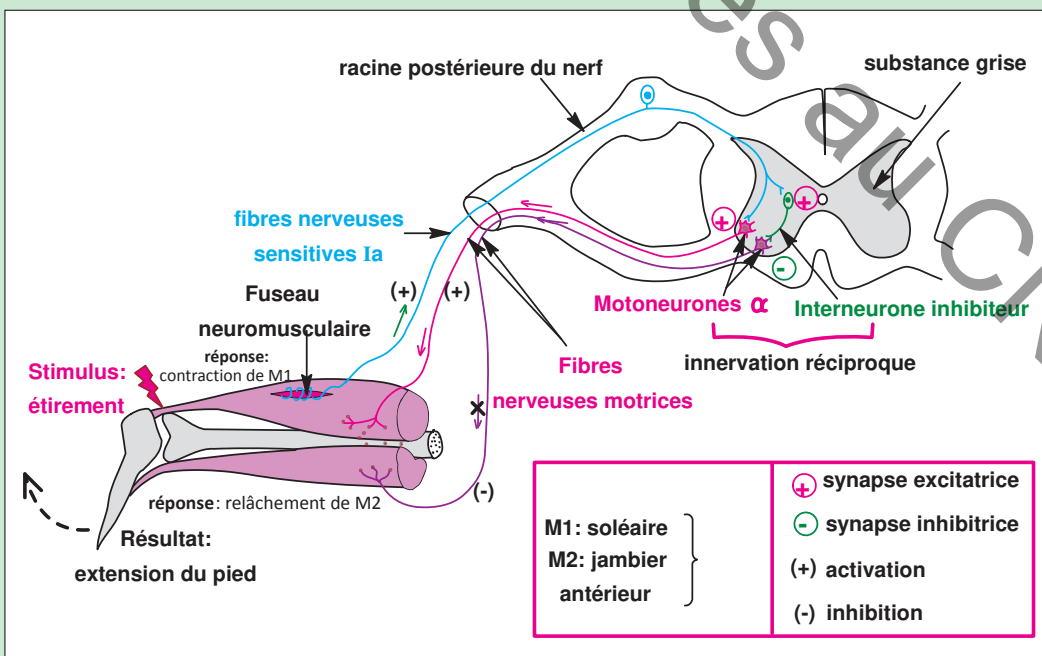
Au cours du réflexe **myotatique**, la contraction du muscle étiré est accompagnée d'une chute du tonus du muscle antagoniste. Cette **coordination** de l'activité des muscles antagonistes, au cours du réflexe myotatique, rend plus efficace la réponse réflexe et s'explique par l'**innervation réciproque**.

En effet les messages nerveux sensitifs provenant des fuseaux neuromusculaires du muscle étiré ont une double action :

- **Ils activent directement** les motoneurones du même muscle et entraînent sa contraction. Ce circuit excitateur est donc constitué d'une chaîne de 2 neurones (un neurone sensitif et un motoneurone) s'articulant au niveau de la moelle épinière par une seule synapse : le **réflexe myotatique est un réflexe monosynaptique**.

- **Ils inhibent indirectement** les motoneurones du muscle antagoniste par l'intermédiaire d'un inter-neurone inhibiteur situé dans la moelle épinière, ce qui entraîne la chute du tonus de ce muscle. Ce circuit inhibiteur est formé d'une chaîne de **trois neurones** s'articulant par 2 synapses ; c'est un circuit poly-synaptique.

Un étirement brutal du muscle (ici seulement du tendon) va induire une contraction réflexe des fibres musculaires. Ces réponses sont toutefois variables par leur intensité d'une personne à une autre.



(Activité 9)



POUR EN SAVOIR PLUS :

Neurotransmetteurs à petite molécule

Glutamate (Glu)

Il s'agit d'un acide aminé excitateur présent dans plus de la moitié des synapses cérébrales. Presque tous neurones excitateurs du SNC sont glutamatergiques. La synthèse du glutamate est réalisée dans les terminaisons présynaptiques à partir de son précurseur, la glutamine. Celle-ci provient de la recapture du glutamate libéré dans la fente synaptique par les cellules gliales. Le glutamate y est converti en glutamine, elle-même transportée hors des cellules gliales jusque dans les terminaisons présynaptiques.

Aspartate

Acide aminé

Acide gamma-aminobutyrique (GABA)

Presque tous les neurones inhibiteurs du SNC utilisent le GABA ou la glycine comme neurotransmetteur. Le GABA est un acide aminé synthétisé à partir du glutamate par l'enzyme décarboxylase de l'acide glutamique (GAD). Le mécanisme d'élimination du GABA repose sur sa recapture par les neurones présynaptiques et les cellules gliales par le biais de transporteurs à haute affinité pour le GABA. Le GABA ainsi recapturé est métabolisé par des enzymes mitochondriales.

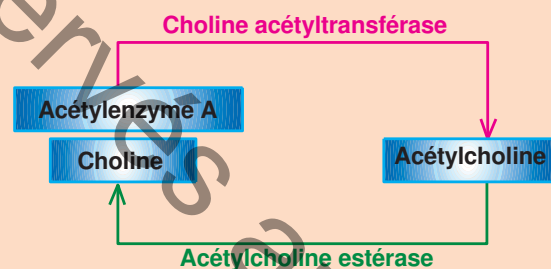
Glycine (Gly)

La glycine est un acide aminé inhibiteur, essentiellement actif dans la moelle et le tronc cérébral où elle inhibe la décharge des motoneurones. Environ la moitié des synapses inhibitrices de la moelle utilisent la glycine, les autres utilisent le GABA pour la plupart. Après sécrétion, la glycine est éliminée par recapture par le biais de transporteurs membranaires spécifiques.

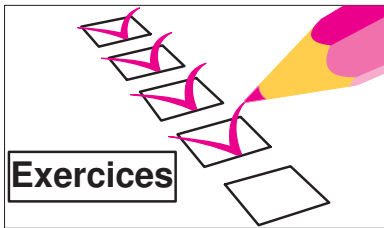
Acétylcholine (ACh)

Ce neurotransmetteur est une amine utilisée dans les jonctions neuromusculaires périphériques, les synapses des ganglions végétatifs sympathiques et parasympathiques du SNP et certaines synapses centrales. Il participe à la régulation de la fréquence cardiaque (bradycardie) du fait de sa sécrétion par le nerf vague (X).

Elle a le plus souvent une action excitatrice sur la cellule postsynaptique.



L'ACh est synthétisé dans les terminaisons nerveuses des fibres cholinergiques, en grande partie dans l'axoplasme, à l'extérieur des vésicules synaptiques. Puis, l'ACh est transférée et stockée à l'intérieur des vésicules. L'ACh est synthétisée à partir de l'acétyl-coenzyme A (acétyl-CoA) et de la choline au cours d'une réaction catalysée par la choline acétyltransférase (CAT). A la différence des autres neurotransmetteurs à petite molécule, son action postsynaptique n'est pas interrompue par recapture mais par hydrolyse, celle-ci étant réalisée par l'acétylcholinestérase (AChE). L'activité catalytique de l'AChE est très puissante (une molécule d'AChE dégrade 5000 molécules d'ACh par seconde). La choline ainsi libérée est réintégrée (recaptée) dans la terminaison présynaptique. L'ACh persiste quelques secondes dans les tissus avant d'être hydrolysée.



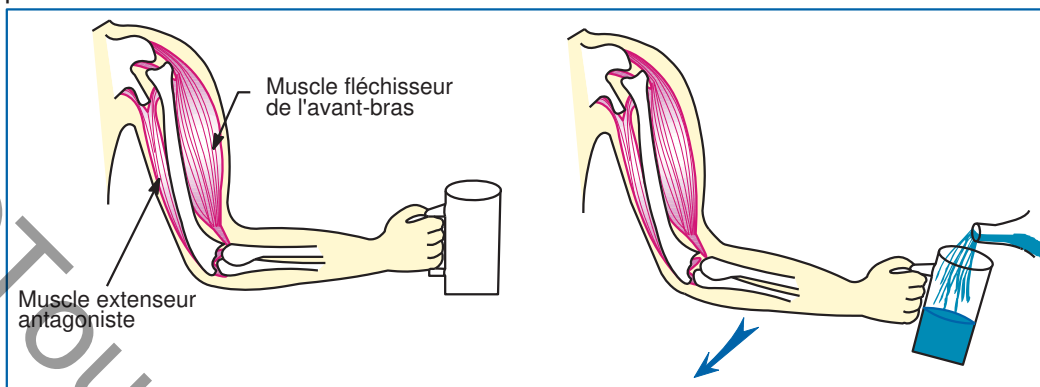
A- RESTITUTION DES CONNAISSANCES

Exercice n° 1 : QCM Pour chacune des questions suivantes, relever une ou deux réponse(s) correcte(s).

- 1) **La quantité de neurotransmetteur libérée au niveau d'une synapse :**
 - a- dépend de la fréquence du message nerveux présynaptique.
 - b- dépend de la nature de la synapse, excitatrice ou inhibitrice.
 - c- constitue un message chimique codé.
 - d- dépend de l'amplitude du PPS.
- 2) **Dans le réflexe myotatique, l'innervation réciproque :**
 - a- assure la coordination des mouvements des muscles antagonistes.
 - b- met en jeu 2 synapses excitatrices et 1 synapse inhibitrice.
 - c- met en jeu 1 synapse inhibitrice et 1 synapse excitatrice.
 - d- met en jeu 2 synapses inhibitrices.
- 3) **L'arrivée d'un message nerveux au bouton synaptique provoque immédiatement:**
 - a- la fixation du neurotransmetteur sur des récepteurs spécifiques.
 - b- l'ouverture des canaux voltage dépendants aux ions Ca^{++} .
 - c- l'ouverture des canaux chimio-dépendants aux ions Na^+ .
 - d- l'exocytose d'un neurotransmetteur.
- 4) **Lors d'un potentiel d'action :**
 - a- le gradient de concentration de K^+ ne change pas.
 - b- le gradient de concentration de Na^+ s'inverse.
 - c- la ddp change par des transports passifs.
 - d- la ddp change par des transports actifs.
- 5) **Le potentiel transmembranaire de repos :**
 - a- correspond à une différence de potentiel électrique
 - b- n'existe que dans les cellules nerveuses
 - c- n'existe que dans les cellules excitables
 - d- existe dans toutes les cellules
- 6) **Le potentiel transmembranaire d'un neurone :**
 - a- peut être modifié par des signaux reçus par son corps cellulaire
 - b- peut être modifié par des signaux reçus par ses dendrites
 - c- s'hyperpolarise lorsqu'il est stimulé
 - d- se dépolarise lorsqu'il est inhibé
- 7) **Le potentiel d'action :**
 - a- traverse les synapses
 - b- est propageable
 - c- est sommable
 - d- est graduable
- 8) **Un axone :**
 - a- est toujours afférent par rapport au système nerveux central.
 - b- est toujours efférent par rapport au système nerveux central.
 - c- est afférent ou efférent selon les neurones
 - d- peut être myélinisé ou non.

Exercice n°2 :

le document 1 montre la perturbation de l'équilibre résultant de l'ajout de liquide dans un verre porté à bout de bras.

**Document 1**

- 1- **Retracer** les différentes étapes qui permettent le retour à l'équilibre, en précisant les structures impliquées
- 2- **Expliquer**, schéma à l'appui, le rôle de la moelle épinière dans la coordination de l'activité des muscles fléchisseur et extenseur lors du réflexe myotatique.

Corrigé de l'exercice 2 :

1-

Quand on verse de l'eau dans un verre porté à bout de bras on exerce un **étirement** du muscle fléchisseur de l'avant-bras. On constate alors une **réaction involontaire, inéluctable, innée, stéréotypée et rapide** qui consiste à lever le bras via la **contraction du fléchisseur** du bras : c'est un **réflexe myotatique**.

Les étapes du réflexe myotatique :

le stimulus est l'étirement du fléchisseur du bras dû au poids du verre d'eau,

- **l'organe récepteur du stimulus** est donc le fuseau neuromusculaire du muscle fléchisseur.
- **le centre intégrateur est la moelle épinière** (en effet, les réflexes myotatique sont tous médullaires).
- **l'organe effecteur** est le muscle fléchisseur.
- **la réponse comportementale** est la contraction du fléchisseur et le relâchement de l'antagoniste.

Conclusion :

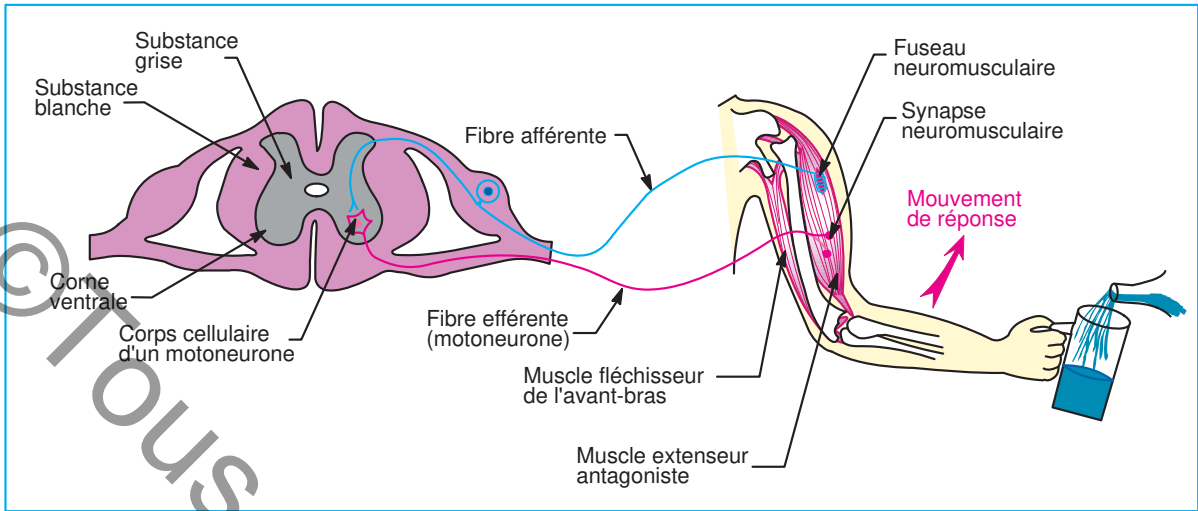
On a bien une contraction du muscle en réponse à son propre étirement => définition du **réflexe myotatique**.

Ainsi au niveau du **fuseau neuromusculaire** naît un message nerveux. Ce **message nerveux afférent** est conduit via la **fibre nerveuse sensitive** vers la moelle épinière.

Au niveau de ce centre nerveux, le message est transmis via une **synapse** excitatrice à un **motoneurone** efférent qui conduit le message nerveux (centrifuge) vers le muscle fléchisseur.

Au niveau de la **plaque motrice** le message nerveux électrique est transformé en réaction mécanique : le muscle se contracte. On parle de **circuit monosynaptique**.

On peut alors proposer le schéma explicatif suivant :

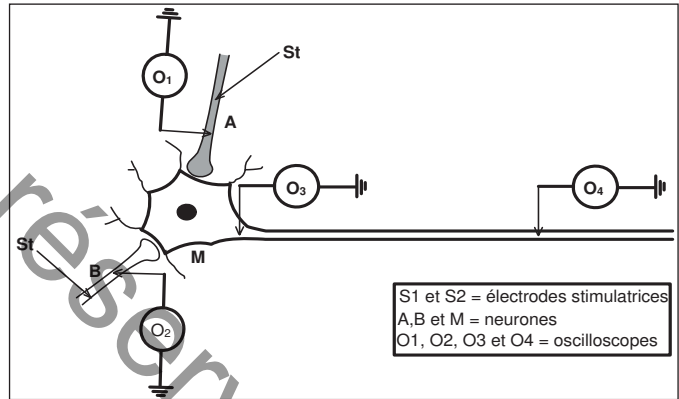


Évaluation

B- MOBILISATION DES CONNAISSANCES

Exercice n° 3 :

On se propose maintenant d'étudier quelques particularités du fonctionnement d'un circuit neuroneuronique, à l'aide du dispositif expérimental indiqué dans le document 1, sachant que toutes les stimulations sont efficaces et de même intensité.



Document 1

	Enregistrements obtenus en O ₁	Enregistrement obtenu en O ₂	Enregistrement obtenu en O ₃	Enregistrements obtenus en O ₄
1 ^{er} cas stimulation de A (S1)			Tracé a 	
2 ^{ème} cas stimulation de B (S2)			Tracé b 	

Document 2

- 1/ **Identifier** en justifiant la réponse les tracés **a** et **b** obtenus en O₃
- 2/ **Déduire** la nature des synapses (**A-M**) et (**B-M**).

3/ En utilisant le dispositif expérimental du document 3 et en appliquant un nombre minimal de stimulations efficaces, proposez deux expériences en schématisant dans chaque cas les enregistrements attendus en O₁, O₂, O₃ et O₄, telles que :

- a- une 1^{ère} expérience permettant d'obtenir un potentiel d'action en O₄ en stimulant l'un des deux neurones A **ou** B.
- b- une 2^{ème} expérience permettant d'obtenir le même résultat en activant les deux neurones A **et** B.

Corrigé :

1/

	Identification	Justification
Tracé a	PPSE	Une dépolarisation qui rapproche le potentiel de la membrane du seuil de dépolarisation (-50 mV)
Tracé b	PPSI	Une hyperpolarisation qui éloigne le potentiel de la membrane du seuil de dépolarisation (-50 mV)

2/

La Synapse A-M = une synapse excitatrice.

La Synapse B-M = une synapse inhibitrice.

3/

Expérience	O1	O2	O3	O4
Deux stimulations efficaces successives et rapprochées du neurone A				
Trois stimulations, efficaces, successives et rapprochées du neurone A et en simultané avec une stimulation efficace de B				

4/

Rôle de M = l'intégration postsynaptique ; c'est la capacité du neurone postsynaptique d'intégrer à tout instant les informations qui lui parviennent des neurones présynaptiques par sommation temporelle et/ou spatiale des PPS (PPSE et/ou PPSI). Si la somme obtenue est égale ou supérieure au seuil, il y a émission d'un message nerveux (PA), si elle y est inférieure, aucun message n'est transmis.

Exercice n° 4 :

Le **document 2 ci-dessous**, montre un circuit nerveux sur lequel sont implantées des microélectrodes réceptrices (**R₁, R₂, R₃, R₄ et R₅**) reliées à des oscilloscopes qui enregistrent les variations de la différence de potentiel, obtenues suite à des stimulations mécaniques (pressions) d'intensités croissantes (**S₁, S₂ et S₃**) appliquées sur le corpuscule de Pacini.

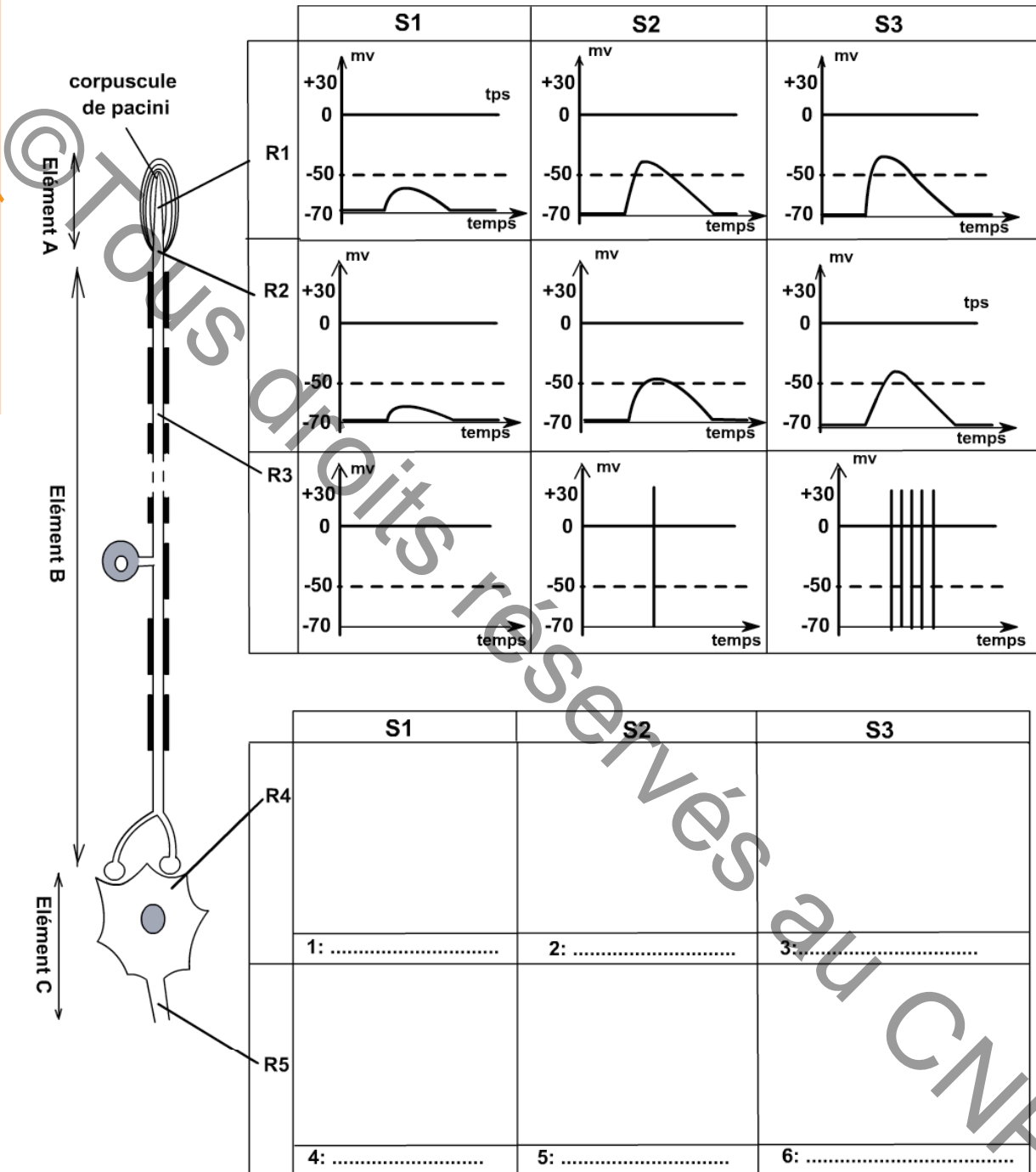
1/ **Identifier** les tracés obtenus en **R₁** (document 2)

2/ **Définir** le rôle du corpuscule de Pacini.

3/ À partir d'une analyse rigoureuse des enregistrements obtenus en R₁, R₂ et R₃, **tirer** les propriétés des potentiels enregistrés.

4/ **Compléter** puis nommez les enregistrements qu'on pourrait obtenir en R₄ et R₅.

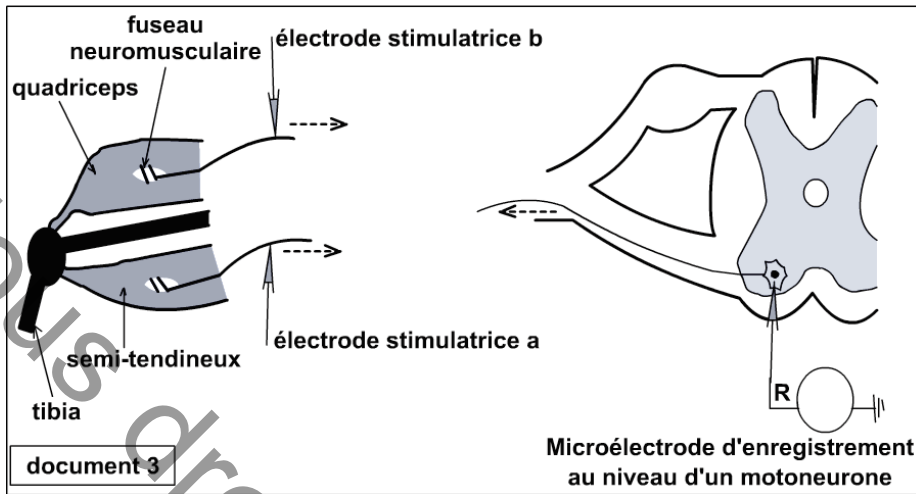
5/ **Indiquer** les rôles des éléments A, B et C du document 2.



Document 2

Exercice n° 5 :

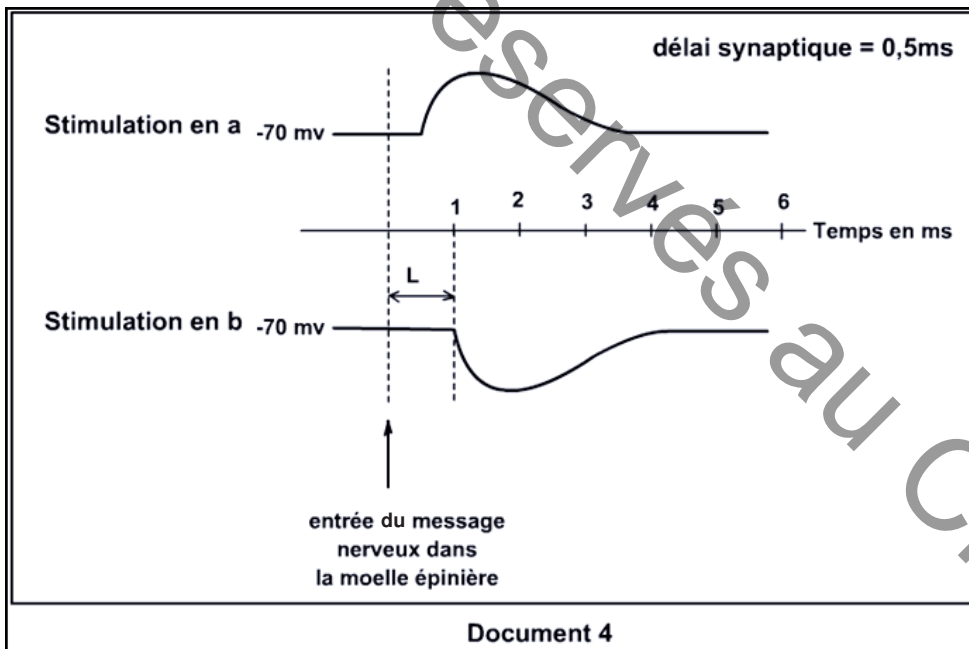
Le dispositif expérimental suivant montre l'emplacement de deux muscles antagonistes ; le quadriceps et le semi-tendineux. Deux électrodes stimulatrices a et b sont placées au niveau des fibres afférentes provenant des fuseaux neuromusculaires des deux muscles ;



Document 3

Une microélectrode réceptrice est placée au niveau d'un motoneurone M relié à un des deux muscles :

On stimule séparément en a puis en b, les réponses obtenues au niveau de microélectrode, reliée au motoneurone M, sont montrés par les tracés ci-contre :



Document 4

- 1/ **Identifier** en justifiant la réponse les deux tracés obtenus.
- 2/ **Identifier** en justifiant la réponse, le muscle qui est relié au motoneurone M.
- 3/ **Expliquer** la différence de temps de latence (L) entre les deux tracés.
- 4/ **Compléter** sur le schéma du document 3, les circuits nerveux reliant les deux fibres afférentes et le motoneurone M.
- 5/ **Expliquer** le fonctionnement du circuit nerveux activé si on étire le muscle semi-tendineux.



chapitre 3

Les réflexes conditionnels



Freiner en arrivant près d'un feu rouge au volant de sa voiture, maintenir son équilibre sur une bicyclette et même tendre la main pour saluer un ami sont des réactions le plus souvent **involontaires, provoquées par un stimulus extérieur**: il s'agit encore d'activité réflexe.



Problème scientifique : Comment acquérir ces automatismes ?

Ce problème mène à s'interroger :

- Quelles sont les conditions d'établissement des activités réflexes ?
- Quelles sont les caractéristiques des réflexes ?
- Quel est le circuit nerveux mis en jeu au cours et à la fin du conditionnement ?
- Quelle est l'importance du conditionnement pour l'apprentissage des activités sportives ?
- Quelles sont les aires corticales impliquées dans l'association nerveuse formée lors du conditionnement ?

Objectifs visés :

- **Décrire** les conditions nécessaires pour l'obtention d'un réflexe conditionnel.
- **Schématiser** le trajet de l'influx au niveau des structures nerveuses impliquées.