

COMPORTEMENTS, MOUVEMENTS ET SYSTÈME NERVEUX



*Terminale
spécialité*

1- Réflexes et communication nerveuse

Lycée Camille Claudel

Introduction :

Il est vital pour un organisme comme l'être humain de s'adapter à l'environnement pour survivre. C'est en partie grâce à nos réflexes que nous avons différents comportements adaptés aux situations d'urgence. Si le mouvement est involontaire, suite à une stimulation, il s'agit donc d'un réflexe (lâcher un objet trop chaud, sursauter...).

Bouger et réagir rapidement mobilisent alors nos muscles, qui sont des effecteurs. Mais entre la perception du stimulus initial et la mise en action des effecteurs, il existe un système de communication d'urgence qui est la **communication nerveuse**.

Photo de couverture : d'après <https://www.thinglink.com>

Problème : Qu'est-ce que le réflexe myotatique et quelles sont les structures impliquées ? Comment fonctionne la communication nerveuse ?

I- Les réflexes**A- Définitions et différents réflexes**

- ☑ **Réflexes** : Réponse motrice inconsciente ou involontaire provoquée par une stimulation sensitive ou sensorielle - *Larousse*
- ☑ **Réflexe myotatique** : c'est la contraction d'un muscle squelettique induit par son propre étirement (rotulien, achilléen...). Il constitue un test clinique pour voir le bon fonctionnement nerveux d'un individu.

Les **réflexes myotatiques** permettent une réponse plus rapide que si le mouvement est conscientisé. Une **percussion brusque** du **tendon musculaire** à l'aide du **marteau** médical provoque une **contraction** unique du **muscle** correspondant.

Doc. 1 : Différents réflexes myotatiques et leur technique de recherche.

Réflexes	Technique de recherche	Réponse
Bicipital	Avant-bras demi-fléchi. Pouce de l'examineur sur le tendon du biceps. Percussion du pouce	Flexion par contraction du biceps.
Stylo-radial	Avant-bras demi-fléchi, bord radial vers le haut. Percussion de la styloïde radiale.	Flexion de l'avant bras sur le bras, par contraction du long supinateur.
Tricipital	Bras en abduction, avant-bras pendant. Percussion du tendon du triceps au dessus de l'olécrâne.	Extension de l'avant-bras sur le bras par contraction du triceps.

Cubito-pronateur	Avant-bras demi-fléchi, légère supination. Percussion de la styloïde cubitale.	Pronation de la main
Flexion des doigts	Percussion de l'index de l'examineur posée sur l'articulation inter-phalangienne distale.	Flexion distale des dernières phalanges
Rotulien	Au lit : genou demi-fléchi. Assis : jambes pendantes ou croisées. Percussion du tendon rotulien.	Extension de la jambe sur la cuisse par contraction du quadriceps.
Achilléen	Position à genoux : percussion du tendon d'achille.	Extension du pied par contraction du triceps sural.

Les **réflexes** jouent un rôle dans l'équilibre de la réponse musculaire, puisqu'ils évitent des étirements trop prononcés. Ils permettent entre autres le **maintien de posture** de l'individu en mouvement dans son environnement et assurent l'**équilibre du corps**. Comme il s'agit d'un aller-retour rapide vers un centre nerveux, le trajet constitué par un neurone sensitif et un neurone moteur constitue un **arc réflexe**.

B- L'arc réflexe achilléen



TP-TD

Réflexe achilléen + Neurones

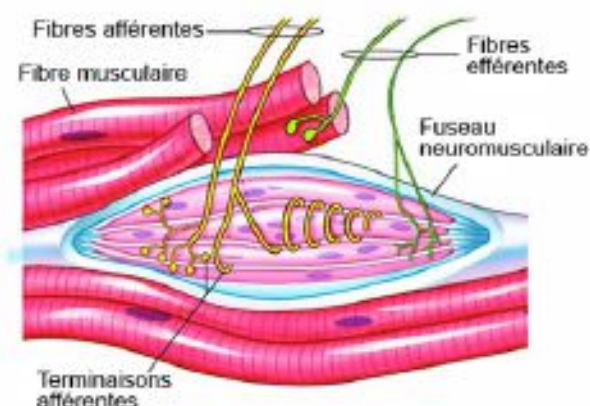
Quand on percute le **tendon d'Achille**, le **triceps sural** est étiré, et avec lui, les **fuseaux neuromusculaires**. Ce sont les **récepteurs d'étirement** des muscles qui correspondent en fait à des terminaisons dendritiques des **fibres nerveuses sensibles enroulées en spirale** autour de cellules musculaires.

i

Remarque :

Les fuseaux neuromusculaires possèdent une double innervation : une innervation sensitive et une innervation motrice. Les fibres afférentes sont sensibles et les fibres efférentes sont motrices.

Doc. 2 : Le triceps surale et fuseau neuromusculaire



D'après : <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com>

Réflexes et communication nerveuse

Un **message nerveux afférent sensitif** est alors véhiculé grâce à un **neurone sensitif** jusqu'au centre nerveux, la **moelle épinière**. C'est dans la **corne dorsale** de cette moelle épinière que le **relais synaptique** s'effectue avec un **motoneurone (ou neurone moteur)**.

Puis un **message nerveux efférent moteur** est propagé par le motoneurone via son axone jusqu'à une **plaque motrice** faisant la jonction avec le muscle squelettique.

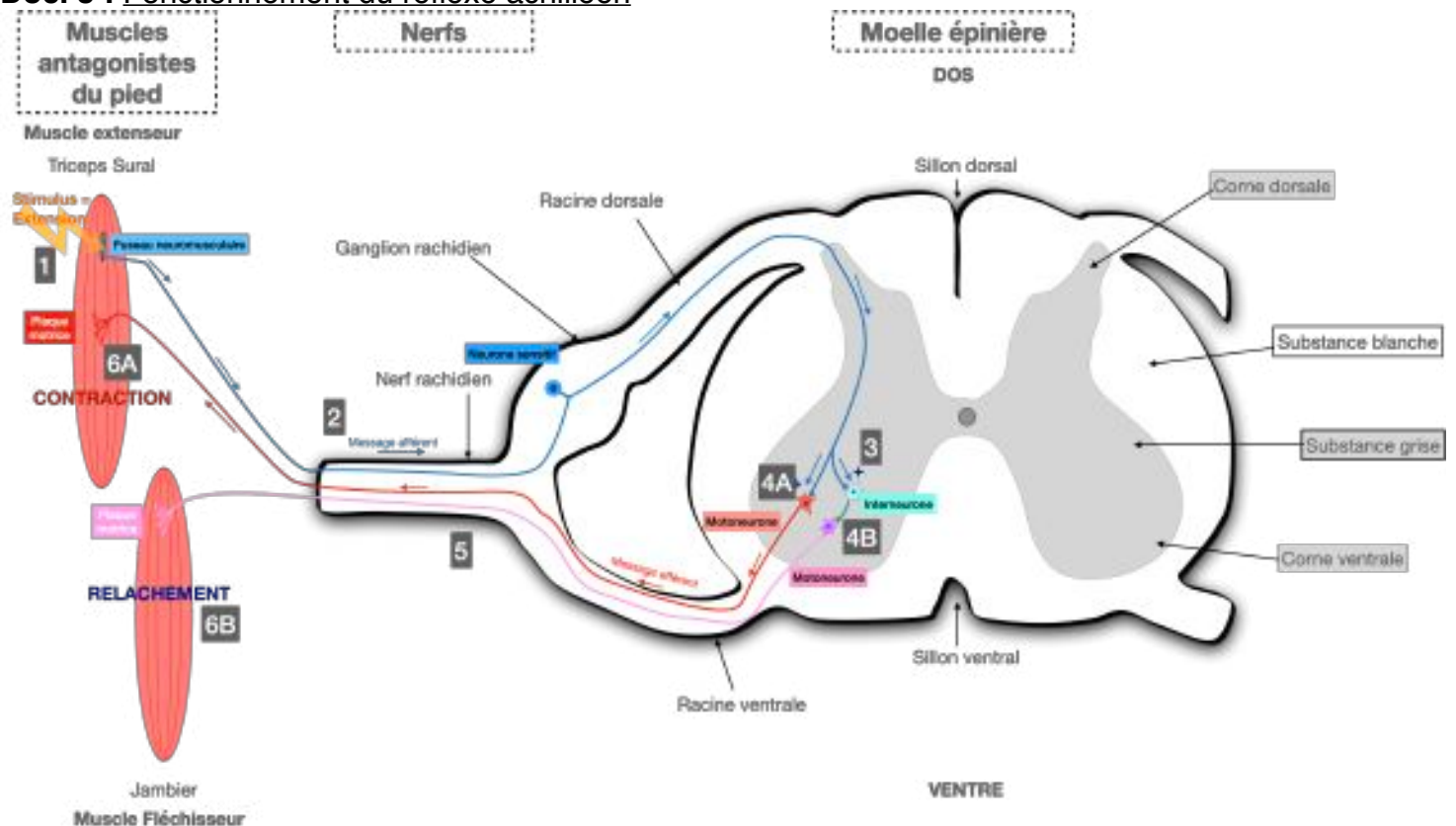
Le triceps sural se contracte en réponse à cette stimulation.



Activité

Moelle épinière

Doc. 3 : Fonctionnement du réflexe achilléen



Légendes :

- 1 : Le choc du marteau étire le tendon. Les récepteurs sensoriels sont étirés à leur tour.
 2 : Le message afférent est véhiculé par un neurone sensitif
 3 : Dans la corne ventrale de la moelle épinière, le neurone sensitif fait synapse avec un motoneurone et un interneurone inhibiteur.
 4A : le motoneurone du triceps sural est stimulé. 4B : le motoneurone du jambier est inhibé
 5 : le message efférent est acheminé vers le triceps sural.
 6A : le triceps sural se contracte sous l'effet de la stimulation de son motoneurone ; 6B : le jambier se relâche sous l'effet de l'inhibition de son motoneurone.
 => Le pied s'étire

Le **nerf rachidien** est donc constitué de deux types de neurones :

- ★ Les neurones sensitifs afférents
- ★ Les neurones moteurs efférents encore appelés motoneurones

Réflexes et communication nerveuse

Le **corps cellulaire** du neurone sensitif (reliant le fuseau neuromusculaire à la moelle épinière) est situé dans un ganglion rachidien. Ce neurone est **dit en T** à cause de sa forme. La fibre nerveuse reliant le fuseau au corps cellulaire est appelée **dendrite**. Cette partie reçoit l'information. La partie transmettant l'information du corps cellulaire à la moelle épinière est appelée **axone**. L'axone arrive ainsi dans la moelle épinière par sa **racine dorsale** pour faire **synapse** à un dendrite d'un **motoneurone**, dans la **substance grise**.

Le corps cellulaire du motoneurone est dans la partie antérieure de la substance grise de la moelle épinière. Alors que ses dendrites sont courts, son axone est particulièrement long et, en passant par la **racine ventrale** du nerf rachidien, va faire synapse avec la fibre musculaire.

C'est parce que ce que ce réseau nerveux ne fait intervenir que 2 neurones et **une synapse** entre les 2, qu'il est qualifié de réflexe monosynaptique.



Vidéo sur la posture et réflexe myotatique (sans les muscles antagonistes) - Canopé

II- Du neurone au message nerveux

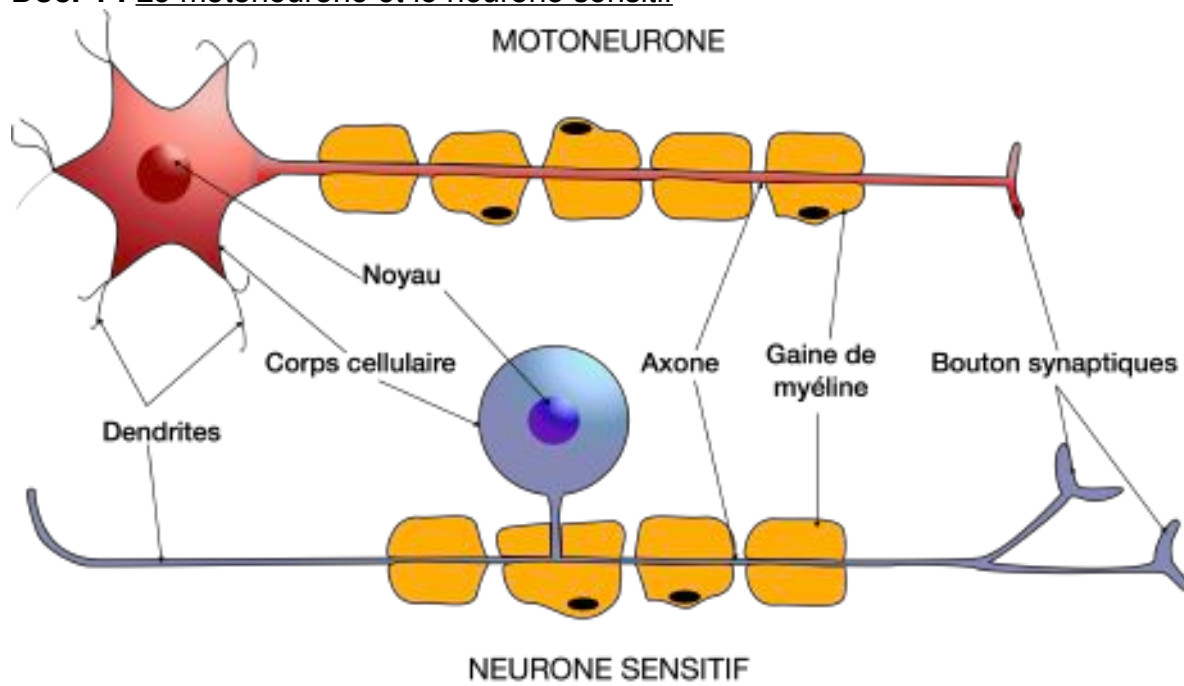
A- Neurones TP-TD **Réflexe achilléen + Neurones**

Les neurones sont les cellules spécialisées dans l'acheminement du message nerveux. Ces cellules possèdent un ou plusieurs dendrites, un corps cellulaire et un axone plus ou moins long, et parfois ramifié. Le message nerveux se propage en sens unique des dendrites vers l'extrémité de l'axone.

Il existe différents types de neurones :

- Des **neurones sensitifs**, appelés **neurones en T**, avec un dendrite long. Le corps cellulaire se situe dans le ganglion rachidien, et l'axone vient faire synapse dans la substance grise de la moelle épinière.

Doc. 4 : Le motoneurone et le neurone sensitif

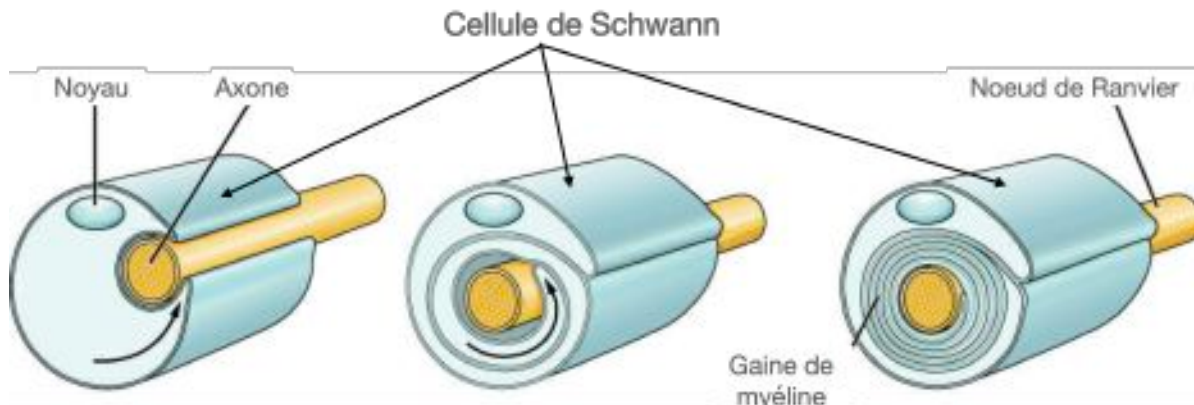


Réflexes et communication nerveuse

- Des **neurones moteurs**, encore appelés motoneurones, qui partent de la substance grise de la moelle épinière (au niveau de la corne ventrale), dont l'axone est très long et va se ramifier au niveau du muscle par plein de petits boutons synaptiques que l'on appelle encore la plaque motrice.
- Des **interneurones**, dont les dendrites et l'axone sont courts et établissent un relais entre un neurone sensitif et un motoneurone, et dont la fonction est d'inhiber.

Chez les vertébrés, certains dendrites ou certains axones peuvent être myélinisés, c'est-à-dire qu'ils possèdent une gaine de myéline interrompue à certains endroits réguliers, appelés noeuds de Ranvier. Cette gaine de myéline accélère considérablement la vitesse du message nerveux. Elle est élaborée par les cellules de Schwann qui entourent l'axone.

Doc. 5 : Gaine de myéline et cellule de Schwann

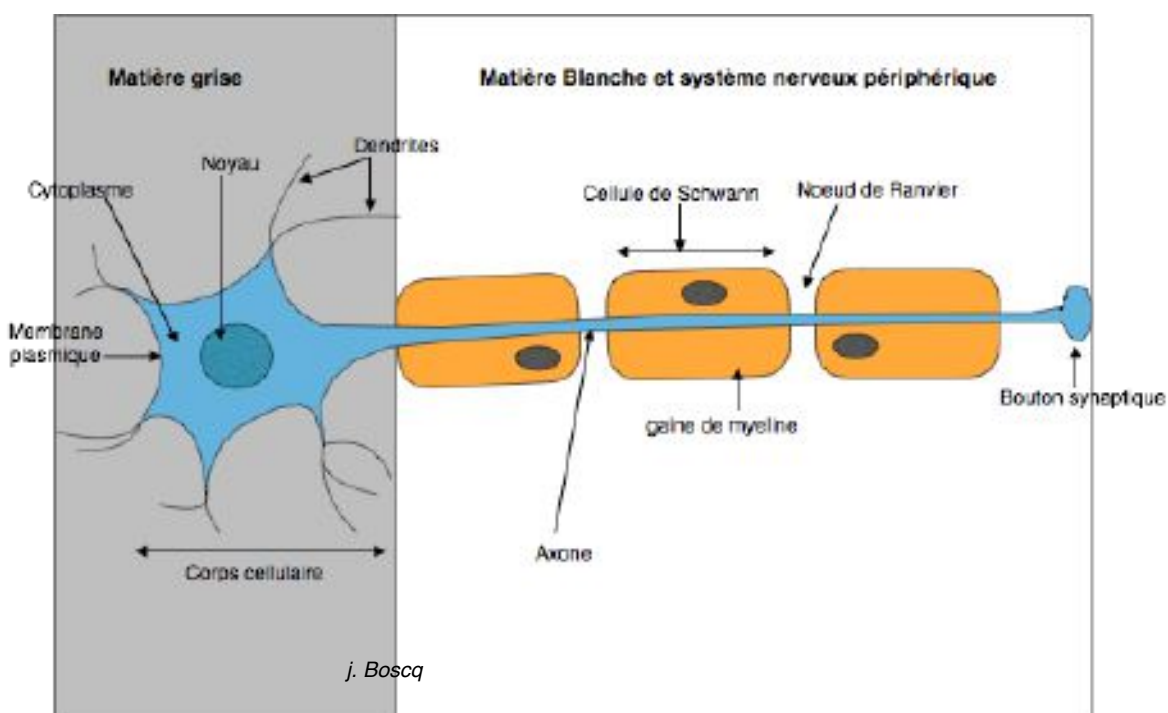


D'après <https://biologydictionary.net/myelin-sheath/>



Remarque : La différence de couleur dans la moelle épinière est liée à la présence de corps cellulaire et de myéline dans la substance grise (partie interne) ou uniquement de dendrites et d'axones myélinisés dans la substance blanche (partie externe). A noter que c'est la même chose dans le cerveau, mais les zones sont inversées : la substance grise (cortex) est externe alors que la substance blanche est interne.

Doc. 6 : Matière grise et matière blanche



B- Le message nerveux



Activité

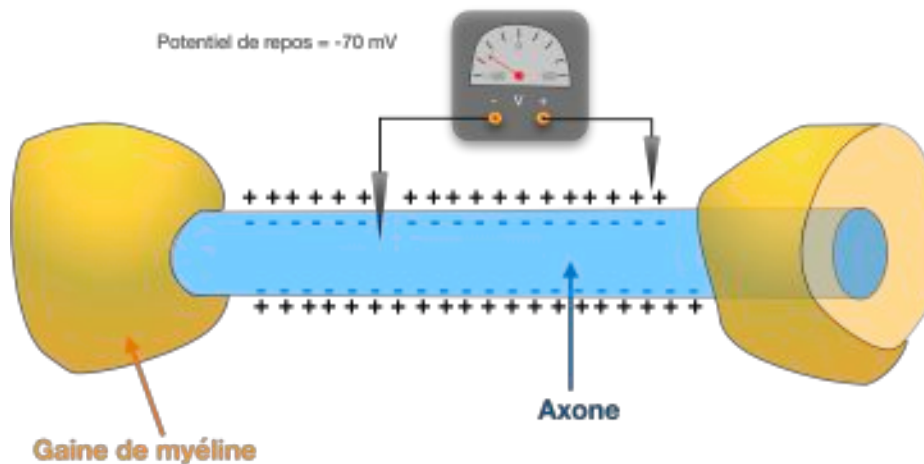
Nature, seuil, et propriétés du PA

1- Potentiel de repos

Des micro-électrodes placées au contact d'une fibre nerveuse permettent d'enregistrer les variations électriques de cette dernière.

Sans stimulation, On s'aperçoit que la membrane du neurone est **polarisée**, car il existe une **différence de potentiel** entre l'intérieur et l'extérieur de l'ordre de 70 mV. L'intérieur est globalement **électronégatif**, alors que l'extérieur est globalement **électropositif**. Cette activité électrique de base ou différence de potentiel **transmembranaire** est qualifiée de **potentiel de repos**.

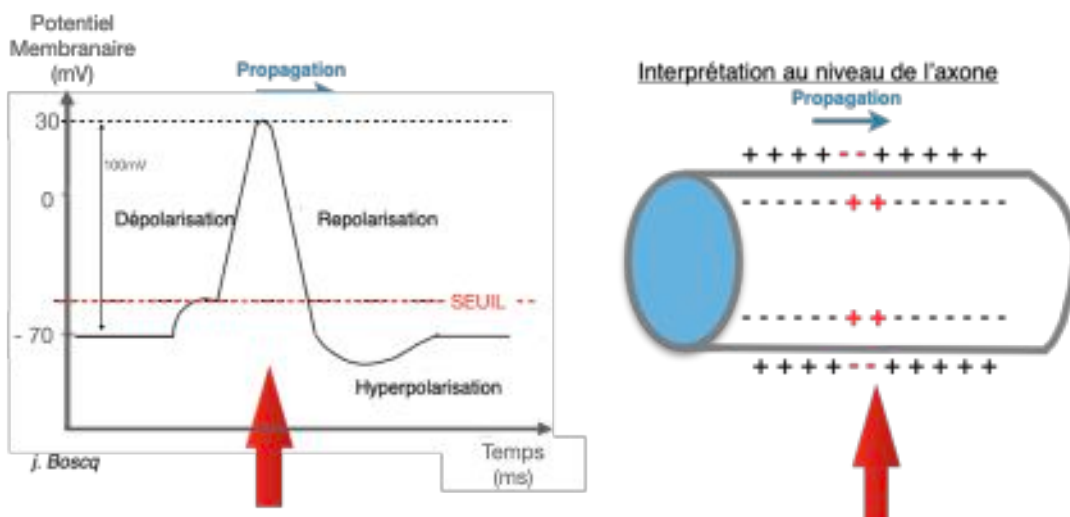
Doc. 7 : Sans stimulation, activité électrique de base de l'axone = potentiel de repos



2- Modifications au cours d'une stimulation : le potentiel d'action

Lors d'une stimulation, au niveau d'un neurone on enregistre une **différence de potentiel par rapport à l'état de repos**. Ces modifications sont très brèves et constituent le **potentiel d'action**, par opposition au potentiel de repos. Il s'agit d'une **inversion de polarisation transmembranaire** : **la face externe devient électronégative alors que la face interne devient électropositive**. A un endroit donné de l'axone cet événement est de l'ordre de la milli-seconde, et son amplitude d'environ 100 mV.

Doc. 8 : avec stimulation, différence de potentiel observée : Potentiel d'action



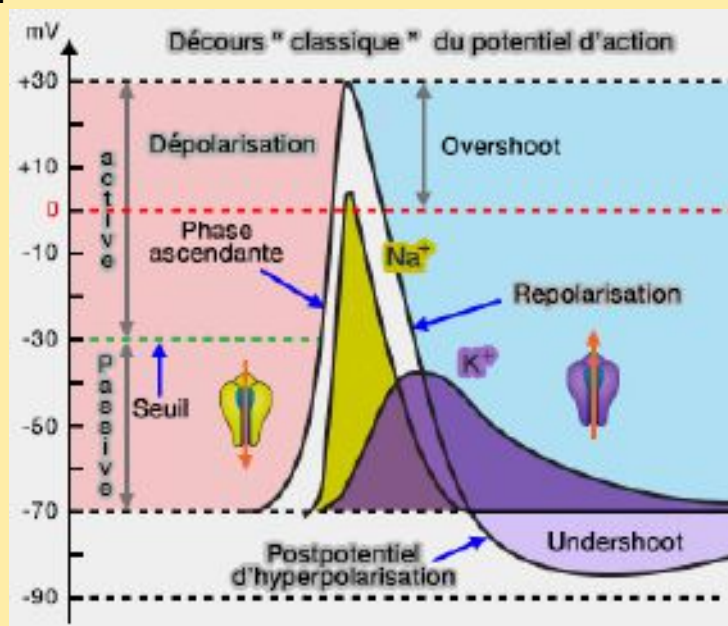
**ANIMATION :**

Comprendre le potentiel d'action : www.youtube.com/watch?v=iBDXOt_uHTQ

Compléments :**1) Les différences ioniques à l'origine des potentiels :**

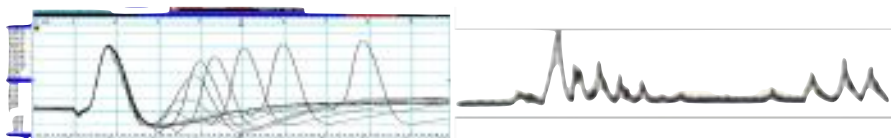
Le potentiel de repos est maintenu activement par des différences ioniques qui sont maintenues par des pompes consommant de l'énergie.

Ce sont des canaux sensibles aux différences de potentiel qui sont responsables du potentiel d'action : L'ouverture de canaux sodiques (Na^+) entraîne une dépolarisation, tandis que l'ouverture des canaux potassiques (K^+) crée la repolarisation et l'hyperpolarisation.



D'après vetopsy.fr

2) Si **plusieurs neurones** sont associés en fibre nerveuse ou en nerf, on peut enregistrer **des amplitudes différentes** par addition mais chaque neurone possède une amplitude donnée constante.

Doc. 9 : Message nerveux au niveau d'un nerf**3- Codage de l'information**

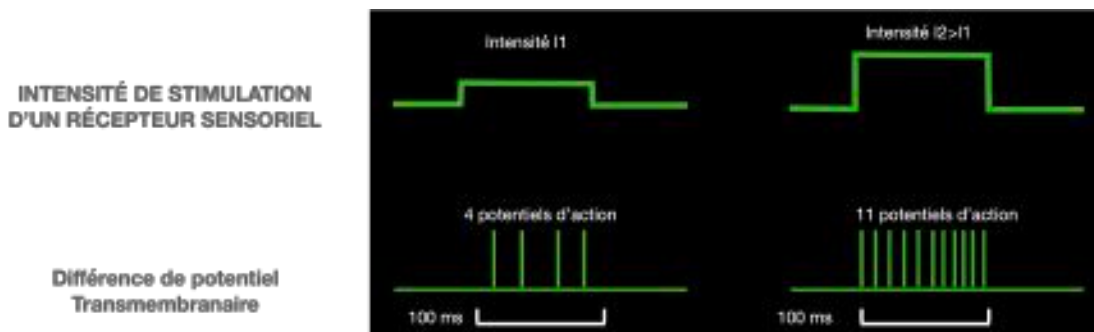
Le potentiel d'action se propage de **proche en proche** en sens unique (dendrites - corps cellulaire - axone) jusqu'à atteindre l'extrémité de l'axone. Cette propagation est très **rapide** (100 M.s⁻¹ soit 360 km.h⁻¹) et constitue ainsi un moyen de communication d'urgence entre nos organes.

Chez les vertébrés, la conduction est améliorée grâce à la **gaine de myéline**. La propagation reste de proche en proche, **par saut**, de noeud de Ranvier en noeud de Ranvier. Elle est considérablement accélérée. On parle de la **théorie saltatoire de la propagation de l'influx nerveux**.

Réflexes et communication nerveuse

Si la stimulation varie au niveau d'un axone, on s'aperçoit que l'amplitude reste constante, en revanche le nombre de potentiel d'action en fonction du temps va varier. L'information est donc codée en **fréquence de potentiels d'action**.

Doc.10 : codage en fréquence de potentiel d'action



Au sein d'un **nerf**, le message nerveux est codé par le **nombre de fibres stimulées**. Le message se présente sous forme d'un potentiel global dont l'amplitude sera alors plus ou moins importante. Au niveau d'une **synapse**, le message est codé en **concentration de neurotransmetteurs**.

III- Relais synaptique

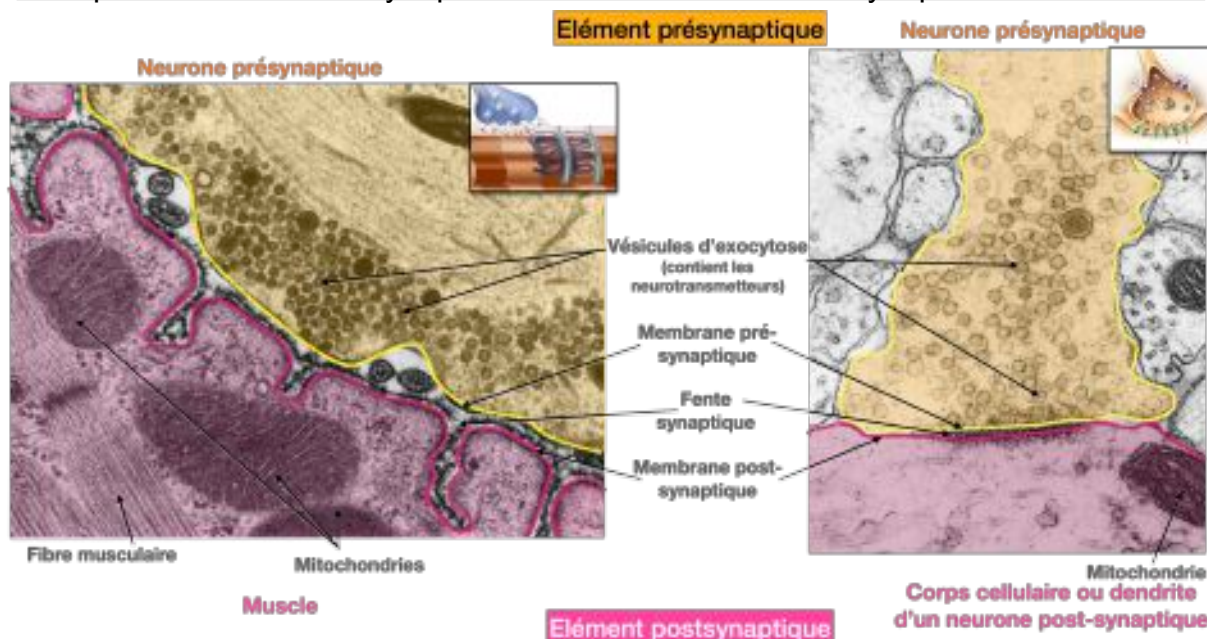


Synapses

A- Structure d'une synapse

Une synapse est une petite interruption entre un axone d'un neurone et un dendrite d'un autre neurone ou une cellule d'un organe (exemple du muscle). Entre les deux éléments, on distingue donc un **neurone présynaptique** et un **élément postsynaptique (neurone ou muscle)**. L'**espace synaptique ou fente synaptique** est très réduit et varie entre 2 nM et 40nM selon la jonction.

Doc.11 : Comparaison entre une synapse neuro-musculaire et une synapse neur-neuronale.



La membrane présynaptique est différente de celle post synaptique et constitue ainsi une asymétrie. Du côté présynaptique on observe des **vésicules d'exocytose** de molécules chimiques appelées les **neurotransmetteurs**. Du côté postsynaptique, il existe à la surface de la membrane **des récepteurs spécifiques des neurotransmetteurs**. Les neurones ont cela de particuliers, qu'ils constituent à la fois des cellules conductrices et sécrétrices.

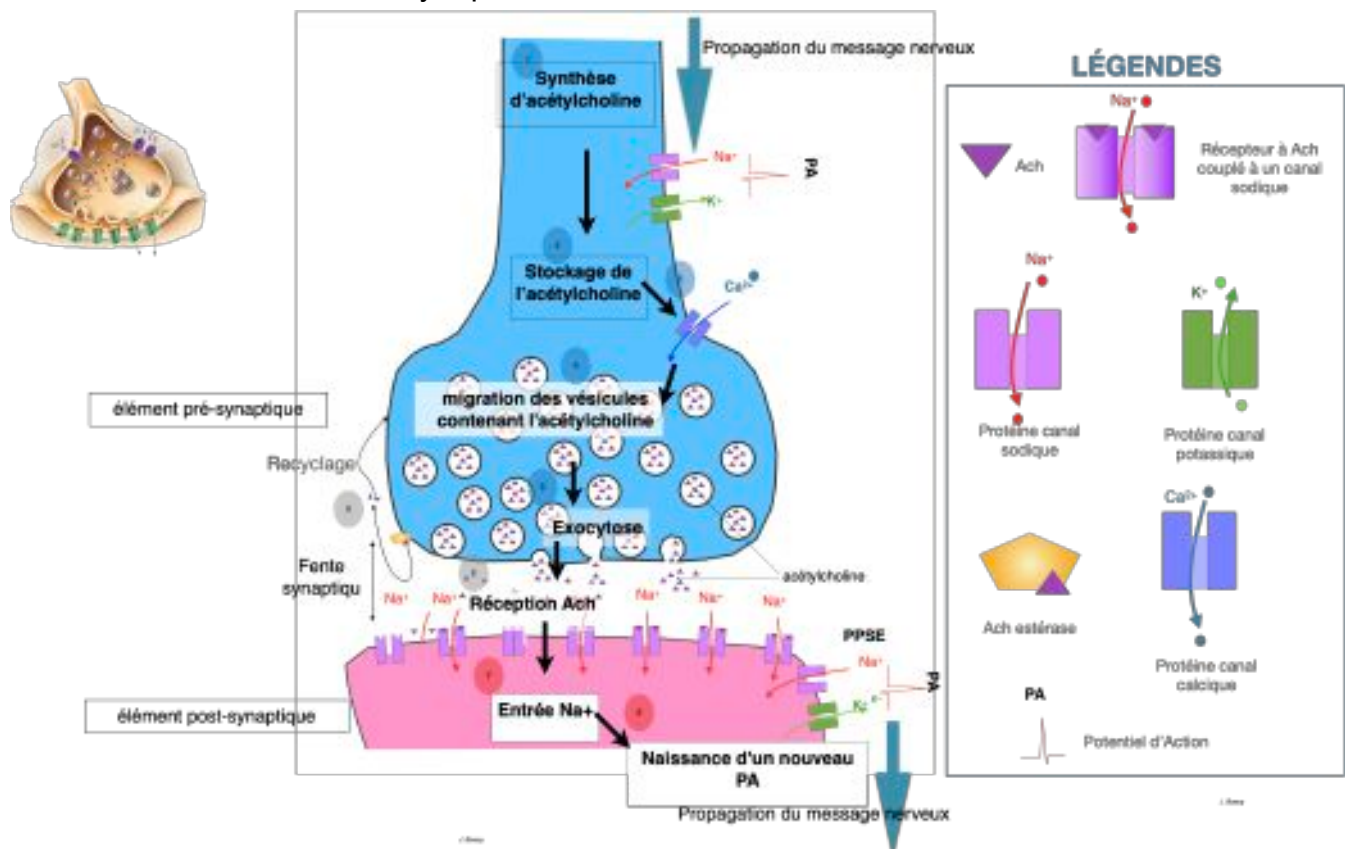
Quand on observe la jonction entre un neurone et une fibre musculaire, on s'aperçoit que l'influx nerveux est bien transmis au muscle, et que ce dernier se contracte. La synapse concernée s'appelle alors **plaque motrice** et **montre une organisation différente de la membrane postsynaptique**.

B- Fonctionnement d'une synapse neuro-neuronale

Les étapes sont les suivantes :

- ➔ le potentiel d'action arrive à l'extrémité de l'axone qui est renflée en une formation que l'on appelle bouton synaptique et qui contient des vésicules en grand nombre contenant un produit chimique, le neuromédiateur.
- ➔ **La variation de potentiel (PA) ouvre des canaux Ca^{++} voltage dépendants** situés dans la membrane de l'élément présynaptique, laissant entrer par diffusion des ions Ca^{++} .
- ➔ **Le Ca^{++} crée des réactions biochimiques** au terme desquelles **les vésicules synaptiques**, qui étaient immobilisées au repos par un réseau de filaments protéiques, **se libèrent et viennent fusionner avec la membrane présynaptique**, libérant ainsi dans la fente synaptique le neuromédiateur qu'elles contiennent. On parle d'**exocytose**.
- ➔ Le neuromédiateur (dans le cas du réflexe myotatique, il s'agit de l'**acétylcholine -ACh-**) diffuse dans la **fente synaptique** et atteint ses **récepteurs spécifiques** situés dans la membrane du neurone postsynaptique.

Doc.12 : fonctionnement d'une synapse neuro-neuronale



Réflexes et communication nerveuse

- ➔ L'ACh **modifie la perméabilité de la membrane postsynaptique** à certains ions, ce qui crée localement de petites variations de potentiel appelées **potentiels postsynaptiques ou PPS**.
- ➔ les **PPS** se somment si l'élément pré-synaptique continue à alimenter la synapse en PA. Cette sommation temporelle peut être complétée par une sommation spatiale due à plusieurs entrées simultanées sur l'arbre dendritique.
- ➔ Le **neuromédiateur excédentaire** dans la fente synaptique est dégradé par une enzyme (ici la cholinestérase). Les produits de dégradation sont métabolisés et éliminés par voie urinaire. Ces produits ou le médiateur lui-même, non dégradé peuvent être recapturés par la fibre présynaptique et recyclé pour une utilisation ultérieure.
- ➔ **La concentration en ACh constitue le codage de l'information au niveau de la synapse.**

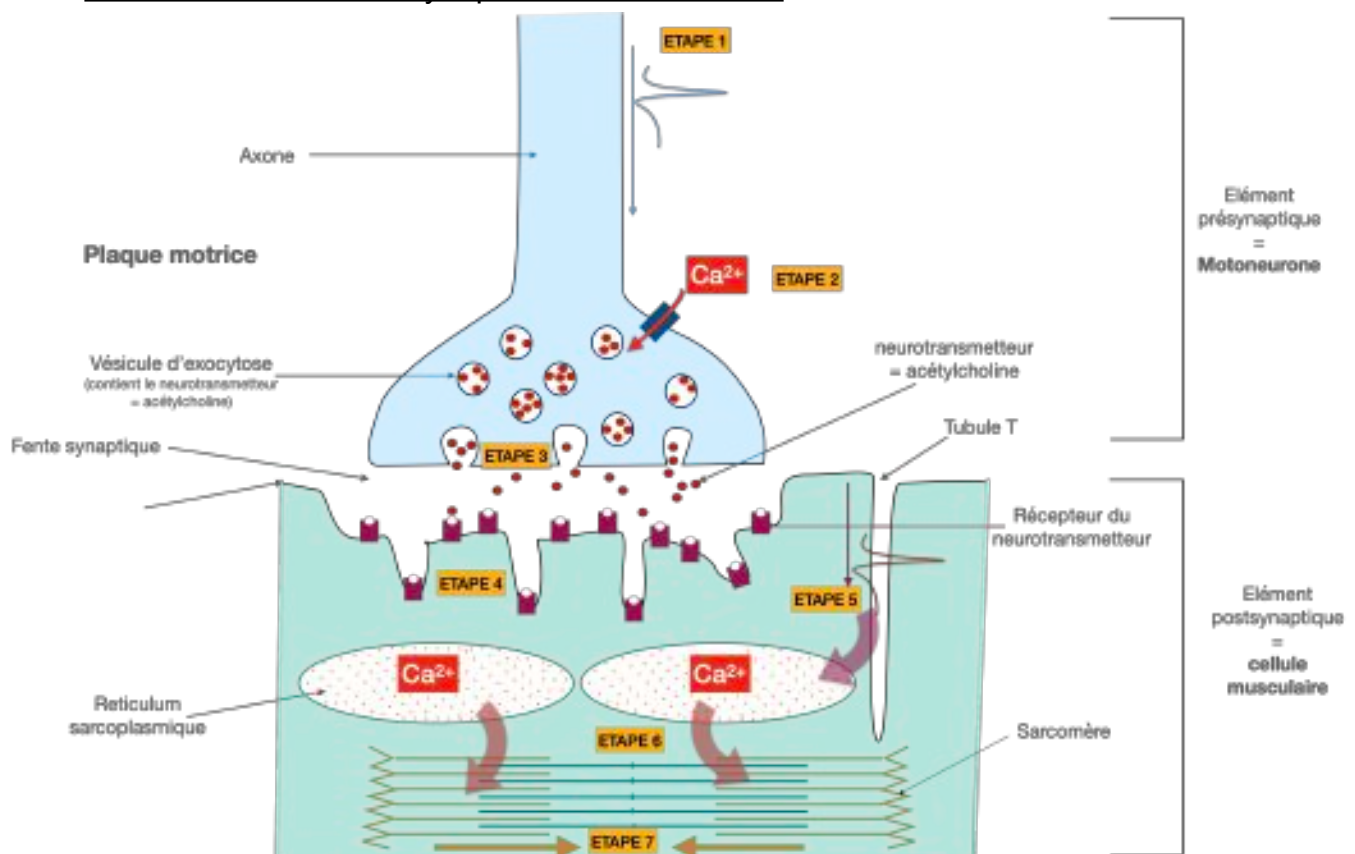
C- Fonctionnement d'une synapse neuro-musculaire

L'axone d'un **motoneurone** innervant un **muscle squelettique** part du corps cellulaire du neurone, dans la corne antérieure de la moelle épinière, pour atteindre l'enveloppe du muscle. A ce niveau, il se ramifie et établit des synapses avec plusieurs fibres musculaires. On appelle ces synapses des **jonctions neuromusculaires** ou **plaques motrices**. Chez l'homme, chaque fibre musculaire ne possède qu'une seule synapse avec une branche d'un axone.

Lorsqu'un neurone transmet ses potentiels d'action, il stimule la contraction des fibres musculaires qu'il innerve comme suit :

- ▶ A la jonction neuromusculaire, le neurone moteur libère l'**ACh**. Le neuromédiateur se lie aux récepteurs de la membrane de la fibre musculaire, ce qui ouvre les **canaux sodiques**. L'entrée d'ions Na^+ dépolarise la membrane de la cellule musculaire,
- ▶ Les dépolarisations se répandent le long de la membrane de la fibre musculaire et pénètrent au sein des fibres musculaires par des tubules appelés **tubules T**.
- ▶ Les tubules T transmettent les impulsions vers le **réticulum sarcoplasmique**, qui libère le Ca^{2+} qui à son tour se lie à la **fibre musculaire** et permet ainsi la **contraction**.

Doc.13 : fonctionnement d'une synapse neuro-musculaire



Etape 1 : Propagation du potentiel d'action et entrée de calcium

Etape 2 : Mise en mouvement des vésicules et

Etape 3 : exocytose des neurotransmetteurs

Etape 4 : Réception des neurotransmetteurs et transduction en dépolarisation

Etape 5 : Potentiel d'action se propageant le long du tubule T et activation des récepteurs voltage-dépendants

Etape 6 : Libération du calcium contenu par le reticulum sarcoplasmique

Etape 7 : Contraction musculaire (raccourcissement du sarcomère)



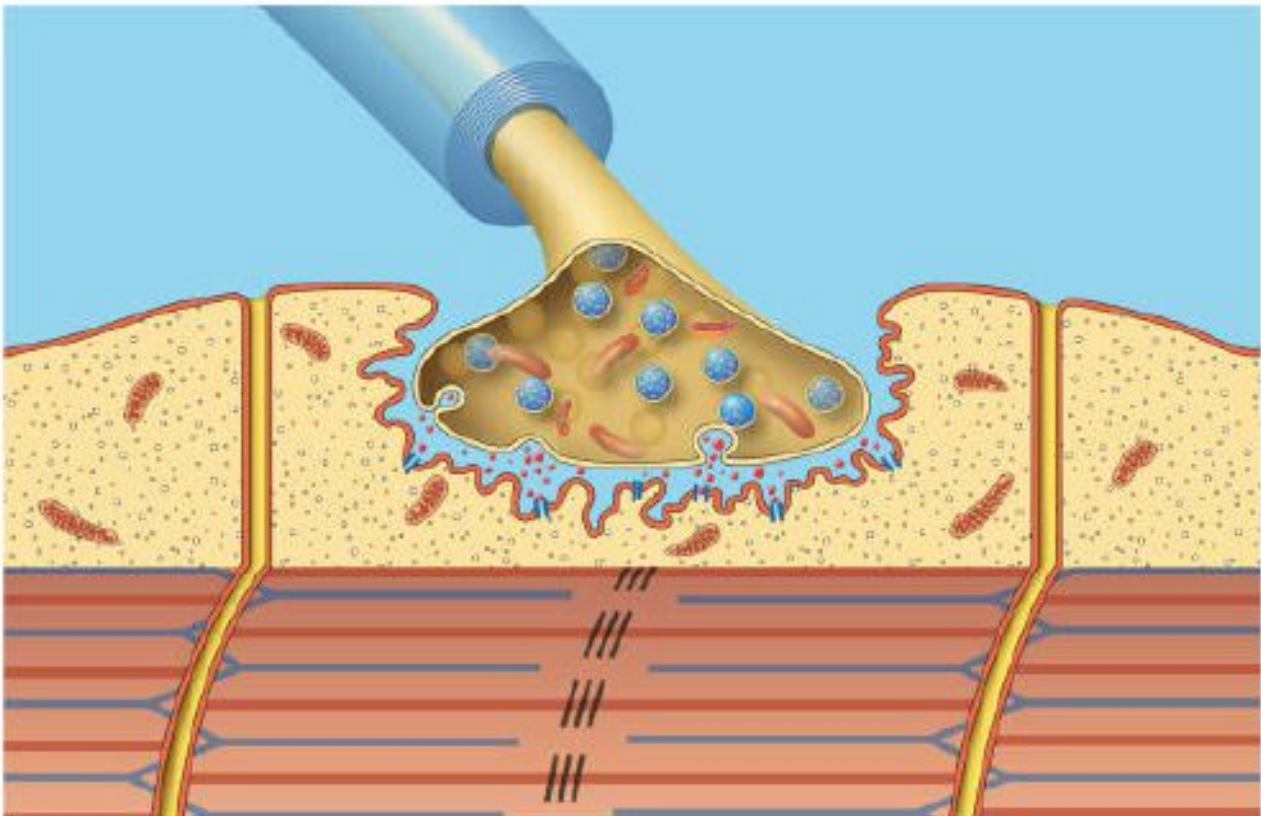
Vidéo [Synapses neuroneuronale et neuromusculaire](#)

Conclusion :

Le réflexe myotatique est un **réflexe monosynaptique**. C'est un test clinique qui permet de jauger le fonctionnement du centre nerveux, la moelle épinière. Au regard du muscle concerné, il met en jeu différents éléments (un **récepteur**, un **neurone afférent sensitif** et un **motoneurone efférent**). Il mobilise aussi un **interneurone** qui inhibe le **muscle antagoniste**, ce qui constitue l'**arc-réflexe**. Le neurone moteur conduit un **message nerveux** que l'on appelle **potentiel d'action** et qui peut être **codé en fréquence de potentiels d'action**. Grâce à la **gaine de myéline**, le message est considérablement accéléré. La commande de la contraction met en jeu le fonctionnement d'une **synapse neuro-neuronale** et d'une **synapse neuromusculaire dont les neurotransmetteurs** sont codés en **concentration** en fonction de la stimulation.



Récapitulatif : Vidéo [neurone](#)



Fiche de révision pour mieux réussir :

Problème du chapitre : Qu'est ce que le réflexe myotatique et quelles sont les structures impliquées ?
Comment fonctionne la communication nerveuse ?

Les définitions à connaître :

- ★ Réflexe et réflexe myotatique
- ★ Neurone
- ★ Potentiel de repos
- ★ Potentiel d'action
- ★ Synapse
- ★ Neurotransmetteur / Récepteur
- ★ Agoniste
- ★ Antagoniste

Les notions clés à maîtriser (à savoir expliquer) :

- ★ Arc réflexe ;
- ★ Caractéristiques structurales et fonctionnelles du neurone ;
- ★ Codage de l'information nerveuse au niveau de l'axone, au niveau de la synapse ;
- ★ Synapse neuro-neuronale
- ★ Synapse neuro-musculaire ;

Les méthodes et compétences travaillées

- ★ ExAO Réflexe myotatique
- ★ Frottis de moelle épinière coloré et observé au microscope
- ★ CT moelle épinière avec ganglion rachidien (MO)
- ★ Rastop : récepteurs, neurotransmetteurs, agonistes et antagonistes

Pour mieux mémoriser ou s'entraîner:

- ★ L'essentiel dans votre livre + Exercices se tester
- ★ Carte de mémorisation Anki
- ★ S'entraîner à refaire les schémas ou à les légender
- ★ S'entraîner à argumenter à l'aide des expériences
- ★ ECE : ExAO réflexe myotatique + CT Moelle épinière
- ★ QCM
- ★ DM

Exemples de sujet de synthèse :

Lors d'une visite médicale permettant d'établir un certificat d'aptitude à la pratique d'activités sportives, le médecin vérifie l'intégrité du système neuromusculaire en testant notamment la mise en œuvre d'un réflexe myotatique au niveau rotulien ou au niveau achilléen.

Décrire les différents éléments mis en jeu dans le réflexe myotatique, préciser les caractéristiques des messages nerveux propagés par ces éléments puis indiquer en quoi ce test médical permet de vérifier le bon fonctionnement de la commande neuromusculaire.

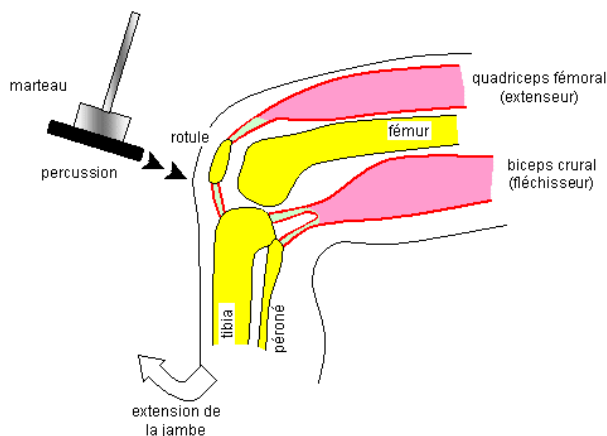
L'exposé devra présenter une introduction, un développement et une conclusion. Il devra être accompagné du schéma de l'arc réflexe mis en œuvre dans le cas du réflexe myotatique.

La contraction musculaire est liée à un mouvement volontaire ou à un mouvement involontaire lié à un réflexe.

Expliquer, lors d'un réflexe, les mécanismes qui permettent à la fois la contraction du muscle et son retour à l'équilibre après son brusque étirement.

Vous rédigerez un texte argumenté. Vous appuierez votre exposé éventuellement à partir des documents (1 et 2) proposés et/ou d'observations et/ou d'exemples judicieusement choisis.

Document : Électromyogrammes obtenus à la suite de stimuli d'intensité croissante



Avec un marteau médical, on frappe avec des intensités croissantes le tendon situé sous la rotule. On enregistre la contraction du quadriceps fémoral en réponse à ces différents stimuli.

Les trois EMG correspondent à l'enregistrement de trois réponses réflexes chez le même sujet.

