

Thème 3 : Corps humain et santé

1^{ère} partie : Comportements, mouvement et système nerveux

Rappels de collège:

1. Muscles et mouvements

Lorsqu'un **muscle** se contracte, il se raccourcit, ce qui tire sur le **tendon** qui relie le muscle à l'**os**. Cela provoque le mouvement de l'os et donc le mouvement de la partie du corps correspondante. Les muscles fonctionnent par paire : on parle de **muscles antagonistes** : quand l'un est contracté l'autre est relâché et vice versa.

2. Intervention du système nerveux

Le cerveau commande le mouvement : un message nerveux est transmis via des fibres nerveuses contenues dans la moelle épinière, puis via des nerfs jusqu'aux muscles

3. Composition du système nerveux

→ **Système nerveux central = centres nerveux = encéphale + moelle épinière**

- l'**encéphale**, contenu dans la boîte crânienne (2 hémisphères cérébraux qui forment le cerveau, cervelet, tronc cérébral)
- la **moelle épinière** logée dans le canal rachidien de la colonne vertébrale.

→ **Système nerveux périphérique = nerfs qui relient les centres nerveux aux organes**

- des nerfs crâniens (12 paires) reliés à l'encéphale
- des nerfs rachidiens (31 paires), rattachés à la moelle épinière

4 Le système nerveux : des réseaux de neurones

Le **neurone** est l'unité physiologique du tissu nerveux. C'est une cellule qui comprend :

- un **corps cellulaire** contenant le noyau et des organites
- des **prolongements cytoplasmiques** ou **fibres nerveuses** qui sont de 2 types :
 - un **axone** unique et généralement long, il se termine par une arborisation terminale. Il est souvent recouvert d'une gaine de myéline
 - des **dendrites** (une ou plusieurs), généralement courtes et ramifiées

Schéma d'un neurone :

Rq : Un **nerf** est formé de l'association de plusieurs fibres nerveuses parallèles.

Les neurones communiquent entre eux par des **synapses**. La plupart des synapses unissent les terminaisons de l'axone d'un neurone au corps cellulaire ou dendrite d'un autre neurone.

Chapitre 1 : Les réflexes : exemple du réflexe myotatique

Il existe deux types de mouvements :

- **volontaires** : décidés par le sujet
- **involontaires** : les réflexes

Un **réflexe** est la réaction motrice involontaire et stéréotypée, en réponse à la perception d'un stimulus. Parmi la diversité des réflexes, nous allons prendre l'exemple du **réflexe myotatique**, qui se définit comme la contraction (réflexe) automatique d'un muscle en réponse à son propre étirement.

Ex : Réflexe rotuléen : fréquemment testé par les médecins. Percussion du tendon rotuléen → Étirement du muscle extenseur de la jambe → Contraction immédiate de ce même muscle par intervention du réflexe myotatique.

Les réflexes myotatiques permettent **le maintien de la station debout** : sous l'effet de la gravité, les muscles extenseurs du tronc et des membres inférieurs ont tendance à être étirés, ils répondent à cet étirement par une contraction involontaire permanente qui permet le maintien de la posture.

Comment le système nerveux intervient-il dans la réalisation du réflexe myotatique?

I. Les caractéristiques du réflexe myotatique

A. Etude expérimentale du réflexe myotatique : le réflexe achilléen

Cf activité 1 : On dispose des électrodes sur le muscle extenseur du pied. Choc sur le tendon d'Achille. On enregistre la tension au niveau du muscle en fonction du temps.

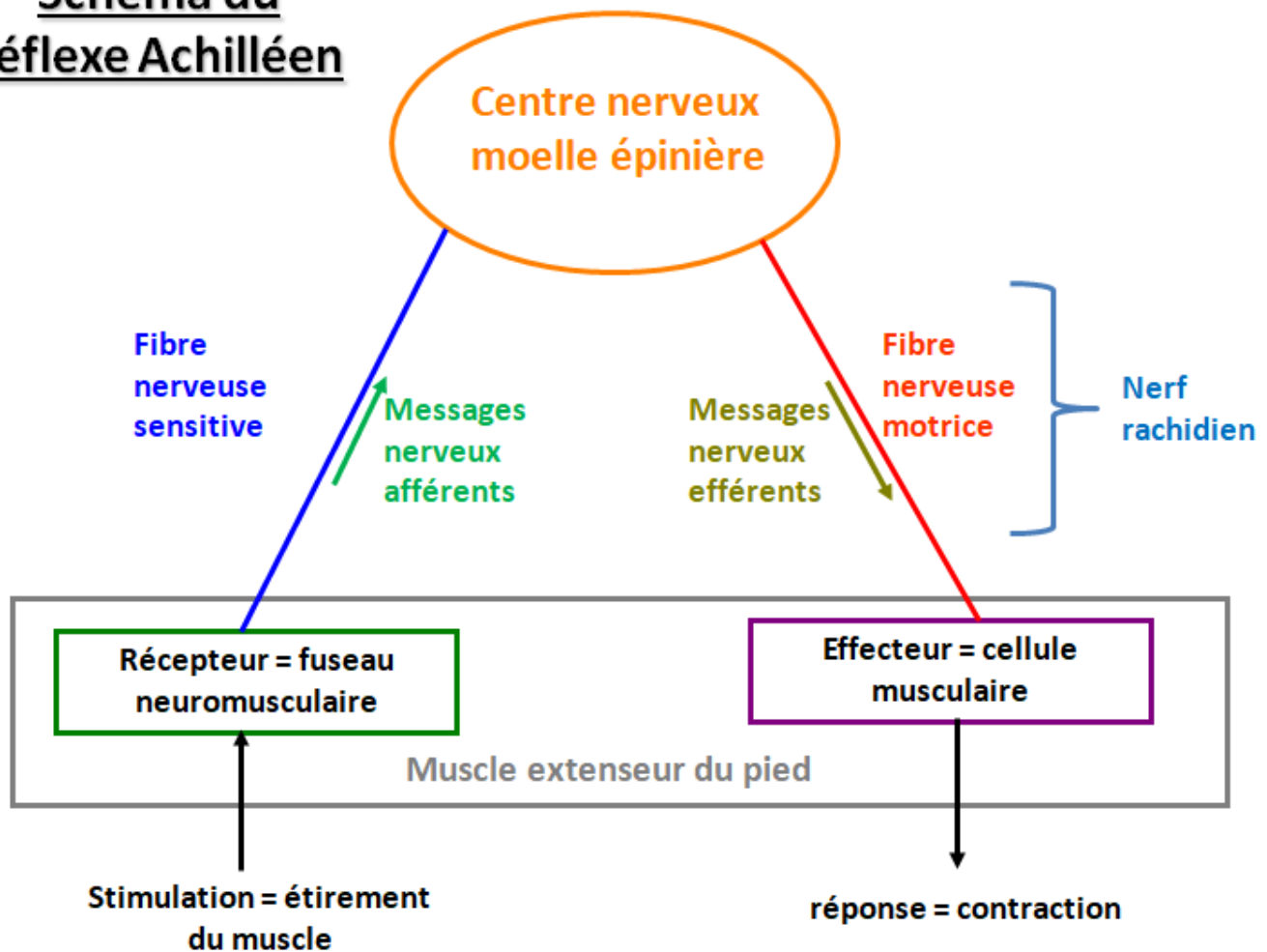
On montre que le réflexe est une réponse :

- **rapide** (intervenant en moyenne 20 ms après le stimulus) et **brève** (durée de 15 ms environ)
- **stéréotypée** : pour des stimuli d'intensités comparables, la contraction apparaît toujours avec le même délai et son amplitude est sensiblement la même
- **involontaire** : il est inéluctable et ne peut être empêché par la volonté
- **modulable**:
 - plus l'intensité de la stimulation est forte plus l'amplitude de la contraction est importante (la réponse du muscle est codée en amplitude)
 - le réflexe peut être atténué ou inhibé par la contraction du muscle opposé. On verra que lors de la contraction d'un muscle des messages inhibiteurs parviennent au muscle opposé (antagoniste).
- **médullaire**
 - Le mouvement réflexe est plus rapide que le mouvement volontaire
 - La mesure du temps écoulé entre le stimulus et la contraction musculaire montre que l'information transmise du capteur à l'effecteur transite uniquement par la moelle épinière, qui est un centre nerveux.

Ces réflexes sont testés médicalement car ils permettent au médecin d'apprécier le fonctionnement du système neuromusculaire. En cas d'anomalies, ces réflexes peuvent être exacerbés (contraction importante même si le stimulus est de faible intensité), amoindris ou anormalement absents.

B. Le circuit nerveux du réflexe myotatique

Schéma du réflexe Achilléen



Cf activité 2 : Les structures du réflexe myotatique

1. Observations réalisées en TP

- **La moelle épinière** possède une polarité dorso-ventrale. Elle est constituée de **substance grise** (**corps cellulaires de neurones et fibres**) et de **substance blanche** (composée uniquement de fibres). Chaque segment possède deux paires de racines : les **racines dorsales** ou postérieures comprenant le **ganglion spinal** (et conduisant un message afférent) et les **racines ventrales** (qui conduisent un message efférent).

Rq : *afférent* : qui se dirige vers un centre nerveux
efférent : qui quitte un centre nerveux

- **Un nerf** est formé de plusieurs fibres nerveuses parallèles. Les nerfs rachidiens sont impliqués dans le réflexe achilléen

Rq : *Fibre nerveuse* = prolongement cytoplasmique de neurone = axone OU axone + gaine de myéline OU dendrite

2. Les acteurs du réflexe myotatique

Durant le réflexe myotatique interviennent successivement :

a) des **récepteurs sensoriels : les fuseaux neuro-musculaires**

Un fuseau neuromusculaire est composé de fibres musculaires modifiées sur lesquelles s'enroulent des fibres nerveuses. L'ensemble forme un **mécanorécepteur** sensible à l'étirement. Un stimulus (étirement) génère l'émission d'un message nerveux sensitif dans les fibres nerveuses.

b) des **neurones sensitifs ou afférents** qui conduisent les messages nerveux des récepteurs sensoriels vers la moelle épinière

Chaque neurone est constitué :

- d'un **corps cellulaire** localisé dans un **ganglion** au niveau de la racine dorsale de la moelle épinière.

- d'un **axone** entouré d'une gaine de myéline et comportant un prolongement périphérique et un prolongement central. Le prolongement périphérique est localisé dans le nerf rachidien et conduit les informations du récepteur sensoriel vers le corps cellulaire du neurone sensitif. Le prolongement central conduit l'information vers la moelle épinière. Il est localisé dans la substance blanche puis la substance grise de la moelle épinière.

Un neurone sensitif est en contact avec un neurone moteur par une synapse **neuro-neuronique**.

c) des **neurones moteurs ou motoneurones ou neurones efférents** qui conduisent les messages nerveux de la moelle épinière vers les muscles. Leurs corps cellulaire et leurs dendrites se trouvent dans la substance grise ventrale de la moelle épinière. Leurs axones, très longs et entourés d'une gaine de myéline empruntent la racine ventrale du nerf rachidien, ils peuvent se ramifier.

d) Des effecteurs : les **muscles**. L'arrivée d'un message nerveux provoque la contraction du muscle.

Rq : on appelle **plaque motrice** une zone de synapses entre des fibres nerveuses et des fibres musculaires. Ces synapses particulières sont appelées jonctions ou **synapses neuromusculaires**.

Au cours de son trajet, le message ne franchit alors qu'une seule zone de **synapse neuro-neuronique** : dans la moelle épinière entre le neurone sensitif et le neurone moteur. Pour cette raison, le circuit réflexe est qualifié de **monosynaptique**

II. Nature et propagation des messages nerveux véhiculés par les fibres nerveuses

A. Nature du message nerveux le long des fibres nerveuses

Les messages nerveux qui circulent des récepteurs sensoriels aux centres nerveux et des centres nerveux aux organes effecteurs sont constitués de signaux de nature **électrique**.

1. Le potentiel de repos

Si l'on place l'extrémité d'une micro-électrode dans une fibre nerveuse au repos (en l'absence de toute stimulation), on enregistre une différence de potentiel (ddp) par rapport au milieu extérieur d'environ 70 mV. L'intérieur de la cellule étant électronégative par rapport à l'extérieur. Cette ddp est appelée **potentiel de repos**, sa valeur est de **- 70 mV**.
ddp = $V_{int} - V_{ext}$

2. Le message nerveux, une succession de potentiels d'action

Si on stimule électriquement la fibre nerveuse on observe une modification du potentiel de repos : une série d'inversions brèves et brutales du potentiel de membrane qui constituent le message nerveux. Chaque signal élémentaire est un **potentiel d'action**.

Un potentiel d'action est une inversion brutale et transitoire du potentiel de membrane, l'intérieur de la fibre nerveuse devenant **positive** par rapport à l'extérieur. Le potentiel d'action est très bref (1ms) et a une amplitude importante (100mV).

B. Propagation et codage du message nerveux le long des fibres nerveuses

• Propagation du message nerveux

- Les potentiels d'action se propagent de **façon unidirectionnelle** et de **proche en proche**, très rapidement le long de la fibre nerveuse. La vitesse de propagation est variable (de l'ordre de 100m.s^{-1} , elle est **plus importante** lorsque la fibre nerveuse est entourée d'une gaine de myéline.
- Tout au long de la fibre nerveuse, les potentiels d'action se propagent **sans atténuation**: ils conservent la même amplitude (100 mV) et la même durée (1 à 3 ms).

• Codage du message nerveux

- Quelque soit l'intensité de la stimulation, les potentiels d'action ont toujours la même **amplitude** (100 mV) et la même durée. En revanche, lorsqu'on augmente l'intensité de la stimulation, **la fréquence** (nombre de PA par unité de temps) des potentiels d'action qui constituent le message augmente → le long des fibres nerveuses, le **message nerveux est codé en fréquence de PA**.

III. La transmission du message nerveux entre deux cellules

A. Deux types de synapses

La zone de contact entre un neurone et une autre cellule s'appelle une **synapse**

Dans le circuit neuronique du réflexe myotatique, le message nerveux doit franchir deux zones synaptiques :

- dans la moelle épinière, entre le neurone sensitif et le neurone moteur : il s'agit d'une **synapse neuro-neuronique**
- entre le neurone moteur et la cellule musculaire : il s'agit d'une **synapse neuromusculaire**

B. Transmission et codage du message nerveux dans une synapse

Dans les deux cas, la synapse est caractérisée par :

- un **élément présynaptique** qui contient des vésicules remplies de substances chimiques : les **neurotransmetteurs**
- un espace entre les 2 cellules (20 à 50 nm) : la **fente synaptique**
- un **élément post synaptique** qui peut être un neurone (dendrite ou corps cellulaire) ou une cellule musculaire.

Le message nerveux de nature électrique ne peut pas franchir la fente synaptique. Ce franchissement s'effectue grâce aux **neurotransmetteurs**, des **médiateurs chimiques** (glutamate au niveau de la synapse neuro-neuronique de la moelle épinière ; acétylcholine au niveau de la plaque motrice dans le cas de l'arc réflexe myotatique par exemple).

La transmission synaptique s'effectue en plusieurs étapes :

1. le message nerveux, constitué de trains de **potentiels d'action** arrive au niveau de la terminaison présynaptique.
2. les vésicules contenant les **neurotransmetteurs** migrent vers la membrane présynaptique
3. les vésicules fusionnent avec la membrane plasmique et libèrent les neurotransmetteurs dans la fente synaptique : on dit qu'il y a **exocytose** des neurotransmetteurs.
4. les neurotransmetteurs se fixent sur des **récepteurs spécifiques** situés sur la membrane de l'élément postsynaptique
5. si la quantité de neurotransmetteurs libérée est suffisante, la fixation du neurotransmetteur sur le récepteur déclenche l'apparition de potentiels d'action sur l'élément postsynaptique .
Rq : au niveau de la fibre musculaire on observe des potentiels d'action musculaires qui entraînent la contraction de la fibre musculaire.
6. Les neurotransmetteurs sont dégradés par une enzyme présente dans la fente synaptique et/ou recapturés par le bouton présynaptique (endocytose).

Au niveau de la synapse, la nature du **message nerveux devient temporairement chimique**. L'information est **codée par la concentration de neurotransmetteurs libérés** dans la fente synaptique (plus la concentration en neurotransmetteurs est importante, plus la fréquence de potentiels d'action sur l'élément post synaptique sera importante)

La transmission des messages nerveux au niveau des synapses est :

- **unidirectionnelle** : elle se fait toujours de l'élément pré-synaptique qui contient les vésicules de neurotransmetteurs vers l'élément post-synaptique qui porte à sa surface des récepteurs spécifiques aux neurotransmetteurs
- **relativement lente** ($0,1 \text{ mm.s}^{-1}$)

Schéma bilan du réflexe myotatique