



**UE / ENSEIGNANT : UE 20 - M.A. GIROUX-METGES**

**DATE : 09/09/2024**

**GROUPE : Daniel-Simon Esther, Bannet Adèle, Derrien Léonie**

**REMARQUES** : Le début de la ronéo correspond à la fin du cours précédent.

**Réflexes +++** Lien vidéo à la fin de la ronéo pour voir des réflexes normaux et anormaux, pour bien les visualiser et les mémoriser.

---

## NEUROPHYSIOLOGIE DE LA MOTRICITÉ (PART 2)

---

### Table des matières

- I) Mise en jeu des UM
- II) EMG de surface
- III) Extéroception
  - A) Les récepteurs extéroceptifs
    - 1) Récepteurs annexés aux poils, mécanorécepteurs du derme
    - 2) Récepteurs au chaud et au froid
    - 3) Récepteurs à la douleur
  - B) Les réflexes extéroceptifs
  - C) Lois de Pflüger
  - D) Utilisation clinique
    - 1) Les principaux réflexes extéroceptifs chez l'homme
- IV) Réflexe proprioceptif
  - A) Introduction
  - B) Les fuseaux neuromusculaires
    - 1) Disposition
    - 2) Innervation du fuseau
    - 3) Sensibilité statique du fuseau neuromusculaire
    - 4) Sensibilité dynamique du fuseau neuromusculaire
    - 5) Modulation des sensibilité statiques et dynamiques
  - C) L'organe tendineux de Golgi
  - D) Comportement des mécanorécepteurs lors de la contraction
  - E) Autres récepteurs
  - F) Réflexes proprioceptifs
  - G) Réflexe myotatique monosynaptique
    - 1) Composante dynamique
    - 2) Composante statique
  - H) Réflexe myotatique inverse
    - 1) Description
    - 2) Rôle du réflexe myotatique inverse
  - I) Rôles du neurone de Renshaw dans le réflexe myotatique
    - 1) Le réflexe myotatique présente l'intérêt de permettre le maintien de la station debout
    - 2) Pour éviter l'emballement du système
    - 3) Coordination des mouvements de contraction des fléchisseurs et extenseurs

J) Innervation réciproque et inhibition réciproque

K) Rôle du motoneurone gamma

L) Application clinique du réflexe myotatique

1) Réflexes ostéo-tendoneux

2) Clonus (rotule, cheville)

3) En cas de lésion médullaire

V) QCM

### En résumé :

- L'UM est régie par la loi du tout ou rien : si un PA descend sur l'axone, toutes les fibres de l'UM se contractent simultanément → contraction maximale unique
- S'il n'y a pas de PA → pas de contraction (sauf cas pathologiques)
- Le système nerveux doit remplir 2 objectifs de précision et d'adaptation de la force
  - Obtenir de chaque muscle une force **précise** et **adaptée**, pas uniquement la force maximale
  - Maîtriser et **stabiliser** la force de la contraction musculaire **dans le temps** (sans secousse)

On a une contraction maximale d'emblée mais uniquement si on augmente la fréquence : plus l'UM se relâche rapidement, plus il faudra que la fréquence des PA soit élevée pour que le potentiel d'action suivant arrive avant que l'UM soit relaxée. Si elle est déjà relaxée, on va obtenir une 2<sup>ème</sup> contraction mais jamais de fusion tétanique. Donc plus l'UM est lente, plus on la fera tétaniser pour des fréquences basses (donc difficilement) puisqu'elle a une contraction lente mais elle a aussi une relaxation lente. Plus l'UM est rapide, plus elle va se contracter vite et se relâcher vite. Donc on sera obligé de rapprocher le potentiel d'action ou d'augmenter la fréquence d'activation.

Malgré ceci, on peut jouer sur les 2 tableaux : fréquence et quantité, le système nerveux est capable de s'adapter quand même.

A chaque mouvement ou pas, il va falloir que le système nerveux obtienne pour chaque muscle, une force précise, adaptée et stable. Cela demande toute une programmation et pas uniquement la force maximale. On ne contracte pas en permanence et en totalité le muscle. Il va falloir adapter en permanence et stabiliser cette force dans le temps. Cela est impératif sinon il y a des secousses et on ne contrôle pas ses gestes.

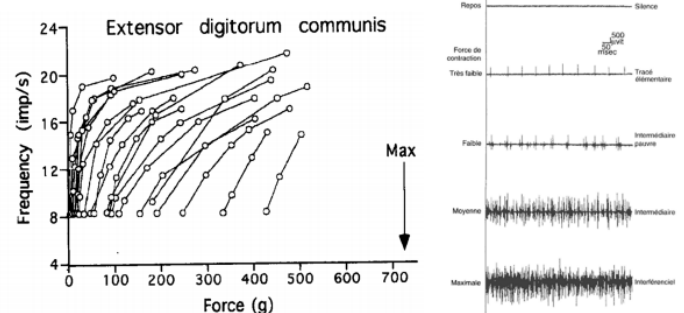
*Exemple pour l'extenseur commun des doigts : au fur et à mesure que l'on demande au sujet de forcer, pour braver cette force, le système nerveux répond en recrutant plusieurs UM les unes derrière les autres et en même temps en augmentant la fréquence d'activation de chaque UM.*

### I) Mise en jeu des unités motrices

Nous contrôlons la force que l'on souhaite et le temps que l'on veut que ce soit contracté. Le reste est géré par le SN. En effet, pour une contraction isométrique volontaire de force croissante, le SN contrôle :

- **Le recrutement spatial** (augmentation du nombre d'UM mises en jeu) Et/ou
- **Le recrutement temporel** (augmentation de la fréquence d'activation de chaque UM).

NB : Le SN **médullaire** contrôle le recrutement **spatial** (nombre d'UM) et **temporel** (fréquence d'activation). Tandis que le SN supérieur active ou inhibe la contraction. Il décide de l'intensité

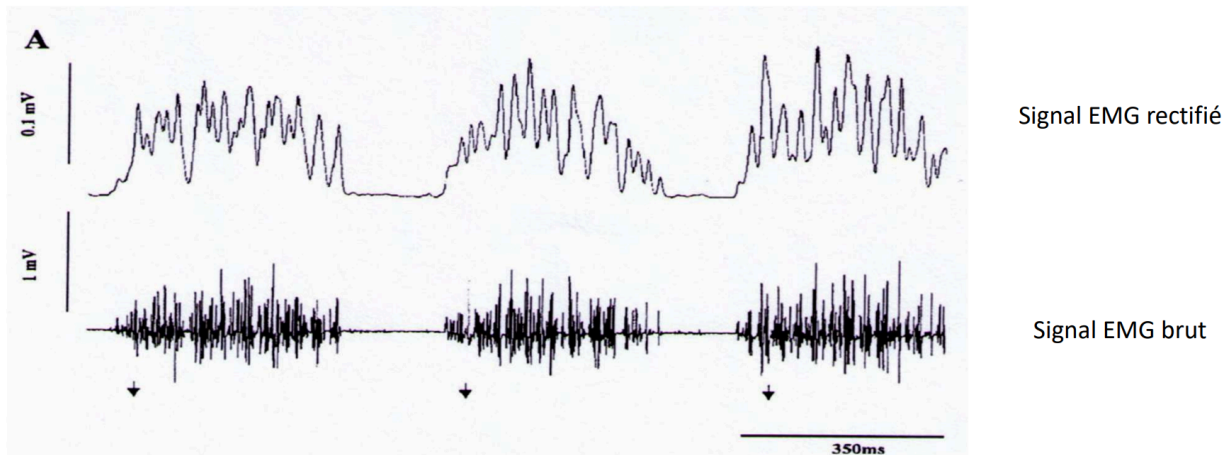


(quantité d'UM), la durée et la chronologie d'activation des UM (à quel moment).

Exemple : on utilise pas la même force pour lancer un poids et une plume.

C'est le SN qui décide du début et de la fin du mouvement.

## II) EMG de surface



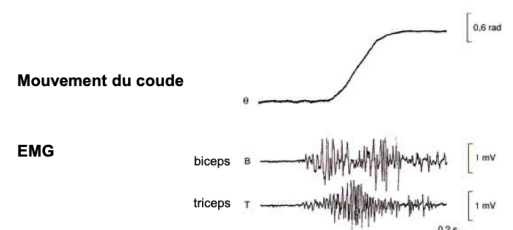
On peut faire de l'étude du mouvement, de l'activation des muscles sur l'**EMG de surface** : c'est l'enregistrement de l'activité électrique dégagée par la contraction des muscles et on obtient ce genre de tracé en gras qui est un signal brut vu par des électrodes qui sont positionnées à des endroits bien particuliers. Et on voit que l'on a des activations.

L'EMG de surface va être utilisé pour déterminer quels sont les programmes moteurs élaborés par le SNC : comment le système nerveux va coordonner les activations de certains muscles et pas d'autres. Donc comment on va activer nos muscles agonistes, antagonistes lors de la marche par exemple. Ça permet de voir la coordination entre les groupes musculaires ou les co-activations entre les groupes musculaires. Cela permet une analyse globale de travail musculaire.

C'est la programmation centrale. Ce n'est pas la moelle qui fait cela. Cela veut dire que sur l'**EMG global**, on va aller lire les programmes moteurs qui sont élaborés du plus simple au plus compliqué. Ex de programme élémentaire : flexion/arrêt de la flexion. **L'EMG global permet la lecture des programmes moteurs élaborés par le SNC**, ce n'est pas un examen de routine.

**Le programme moteur élémentaire ou minimal** = pattern (modèle) triphasique d'un mouvement : le plus simple possible.

Par exemple : la flexion du coude : activation du biceps, puis du triceps (pour « freiner la course »), puis du biceps (pour bloquer en position finale) nécessite une coordination entre les muscles. Circuits descendants qui inhibent/activent pour avoir ce genre de contraction synchronisée.

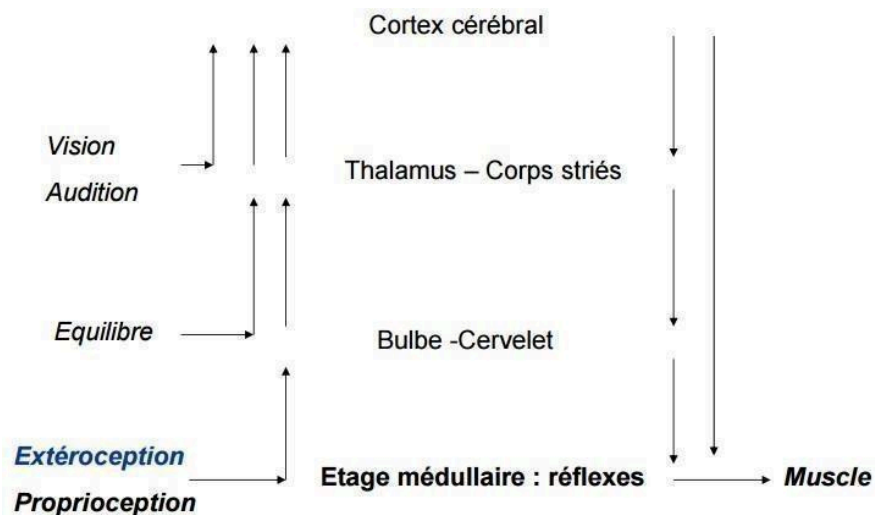


**Le programme moteur ne peut jouer que sur la force de contraction du muscle et sa distribution dans le temps % mouvement donné.** → Le SNC est capable de jouer sur l'intensité et sur la durée de contraction dans le temps.

La synchronisation entre les UM se déroule au niveau du SN médullaire.

### III) L'extéroception

**Le muscle (l'effecteur)** fait l'action en réaction à une information qui lui vient de **l'extérieur** (→ l'extéroception). **L'extéroception** met en jeu des stimuli **en contact avec l'individu** et non pas à distance. Donc relativement restreint. Fait appel aux récepteurs du revêtement cutané (présent dans le derme).



ORGANISATION GENERALE DE LA MOTRICITE

#### A. Les récepteurs extéroceptifs

Contact direct avec le milieu extérieur ( vision etc...)

**Récepteur = terminaison sensorielle qui assure la transduction, c'est-à-dire la transformation d'une énergie physique, chimique ou thermique en un message nerveux (= signal électrique +++)**

##### 1. Récepteurs annexés aux poils, mécanorécepteurs du derme

La seule façon de coder un signal c'est de le coder en PA (= potentiel d'action). Il faut une combinaison de plusieurs informations pour avoir une information complète sur d'où vient le stimulus, et qu'est-ce que c'est comme stimulus ?

C'est une transduction d'un signal physique en signal chimique ou en signal électrique.

Trois grandeurs distinctes sont décodées :

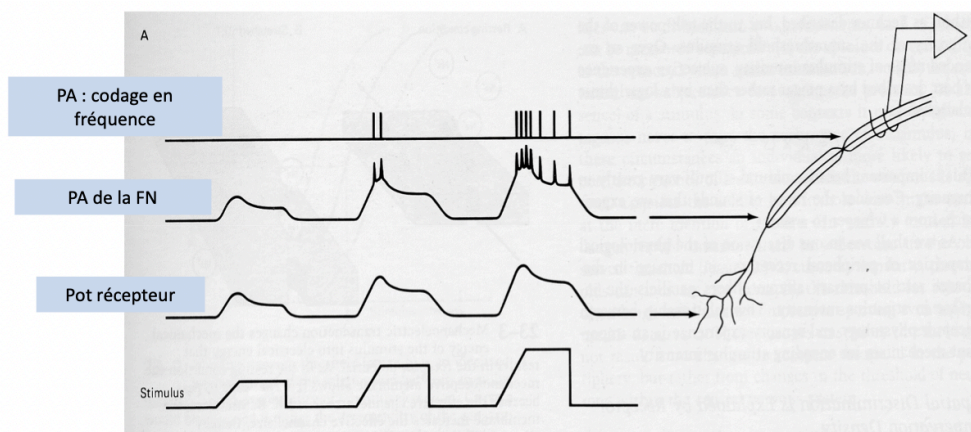
- **La qualité des informations** = codage par des voies spécifiques (la qualité n'est pas codée par le PA) et une reconnaissance des caractéristiques spatio-temporelles du message. En général, un récepteur ne répond qu'à un seul type de stimulus (*par exemple ce n'est pas par la peau qu'on va capter un message sonore, ou si un récepteur code la pression il ne donnera pas une information chaud/froid*).
- **L'intensité du stimulus** = l'analyse de la fréquence des PA proportionnelle à l'intensité de la stimulation. Plus le stimulus  $\nearrow$ , plus la fréquence des PA doit  $\nearrow$ .
- **La localisation du stimulus** (d'où vient la sensation, parce qu'il faudra que la réaction soit adaptée) = grâce à la localisation somatotopique des voies sensibles (représentation centrale de tous les points du corps).

La déformation membranaire de la cellule permet l'activation du PA par dépolarisation, après atteinte du seuil d'excitabilité (la sommation permet de passer le seuil de déclenchement du PA).

### Comment fonctionne un récepteur cutané ?

#### Étapes :

- 1) Déformation membranaire (= étirement dû au contact)
- 2) Ouverture des canaux ioniques « stretch activated » partout (activés par la déformation, l'étirement de la mb)
- 3) Entrée de Na<sup>+</sup>
- 4) Dépolarisation locale = **potentiel récepteur non propagé**. Codage **analogique** (seuil de déclenchement).
- 5) Potentiel d'action PA propagé. Codage digital : réponse en tout ou rien au niveau du PA donc **l'intensité du stimulus est codée par la fréquence des PA**.



Enregistrement à différents niveaux d'une fibre afférente lors de stimulations mécaniques d'intensité croissante

**= Proportionnalité  
entre fréquence PA  
et intensité  
stimulation +++**

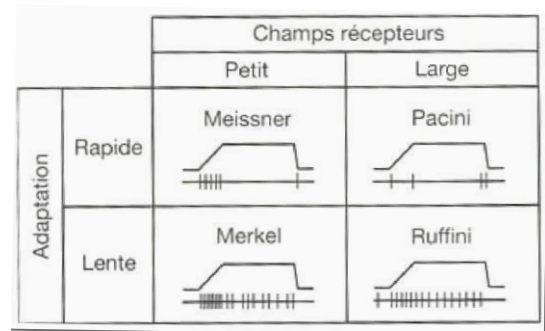
L'information est envoyée seulement si le récepteur est stimulé : une sommation (= addition) temporelle et spatiale permettent donc d'activer le récepteur et de déclencher le PA.

Il existe plusieurs types de récepteurs (en général ils sont combinés). Ils sont encapsulés et répondent à des stimulus mécaniques.

**4 types de récepteurs cutanés qui diffèrent par :**

- La **taille** de leur champ récepteur +++ (il faut que ça tape dans son champ de réception, càd sur la surface sur laquelle le récepteur est capable de capter l'information) -> conditionne leur capacité à capter l'information.
- Leur **mode d'adaptation**, il correspond à la manière de répondre à la stimulation.

<b>Précis</b> = Merkel et Meissner
<b>Peu précis</b> = Pacini et Ruffini
<b>Adaptation rapide</b> = Meissner et Pacini
<b>Adaptation lente</b> = Merkel et Ruffini.



		Champs récepteurs	
		PETITS → précis	GRANDS → peu précis
Adaptation	RAPIDE	<b>MEISSNER</b>	<b>PACINI</b>
	LENTE	<b>MERKEL</b>	<b>RUFFINI</b>

Nb : **Meissner** et **Pacini** fonctionnent en mode ON/OFF, càd qu'ils sont actifs au moment où on appuie et où on relâche mais pas entre les 2. Merkel et Ruffini ont eux une réponse pendant toute la stimulation.

**Plus le champ de réception est petit, plus il est précis +++.**

On a une classification des FN sensibles musculaires, les terminaisons libres sont des FN sensibles de type III (répondent à la pression) alors que les récepteurs encapsulés (répondent à la pression et aux variations) sont de type II.

Pour un capteur on doit différencier deux choses :

○ Adaptation :

- **Adaptation rapide** : R actif à l'instauration de la stimulation. (→Fréquences assez élevées)
- **Adaptation lente** : R fonctionne en mode continu (pendant toute la durée de la stimulation). Merkel et Ruffini fonctionnent en adaptation lente (PA généré tant que dure la stimulation)

- Le **champ récepteur** est le territoire cutané susceptible de déterminer l'excitation d'un récepteur.

Le champ récepteur large est stimulé pour de très grandes étendues mais il n'est pas très précis. Pour un champ récepteur petit, si on tape à côté, le R n'est pas stimulé. Plus le champ récepteur est faible (distance entre deux points faible), plus le récepteur est discriminant → Merkel et Meissner = précision

### a) Corpuscules de Pacini :

Situés dans hypoderme : doigts, plantes des pieds, organes génitaux externes, mamelons.

- Récepteur du toucher fin (le fait d'être dans l'hypoderme n'influe donc pas sur le fait que le récepteur soit de toucher fin ou non !)

Normalement il répond en mode ON/OFF (donc rapide), mais sans capsule il répond en mode lent.

Il y a donc une nécessité de structure entière pour avoir le mode de réponse correct. Notion d'intégrité du capteur qui est primordiale.

Les récepteurs diffèrent par la taille de leur champ récepteur. Ils sont complémentaires, par exemple les récepteurs de Pacini encadrent une zone large, alors que ceux de Meissner s'occupent d'une zone plus restreinte comme vu ci-dessus.

### b) Meissner :

- Dermique profond, essentiellement sur les parties glabres (sans poils) et sensibles (faces palmaires et plantaires+++). Ils se trouvent sur les organes génitaux externes, mamelons et bout des doigts aussi. Champs récepteur très petit = très précis.

- 40% de l'innervation de la main. L'index = doigt qui a la discrimination la plus importante.

### c) Ruffini :

- Couches profondes de la peau,
- Rôles quasi superposables à ceux des organes tendineux de Golgi.
- Répondent à l'étirement de la peau, pas de sensations tactiles
- 20% des récepteurs de la main

**d) Merkel :**

- Très superficiels,
- Répondent à des pressions très faibles, localisées
- Tact ++++
- Terminaisons myélinisées en forme de disques

**Compas de Weber :**

En fonction de la zone cutanée, la précision des récepteurs est très différente. Selon la situation du compas, la personne perçoit un ou deux points (le test se fait les yeux fermés)

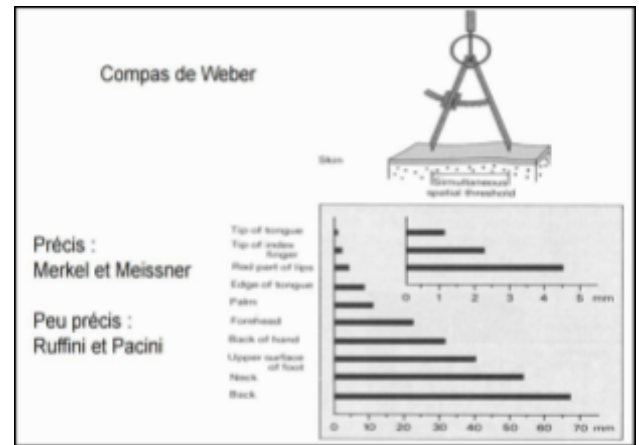
→ Cela s'appelle la **discrimination spatiale**.

**Exemple :**

→ Très précise au niveau de la pulpe des doigts +++ (index : les 2 points sont très rapprochés). La discrimination la plus fine se situe au niveau de la pointe de la langue et au niveau de la pulpe de l'index.

*Ex : utilisation des lettres en braille où les points sont rapprochés, donc la lecture se fait via l'index).*

→ Beaucoup moins dans le dos (espace nécessaire entre 2 points: 7cm).

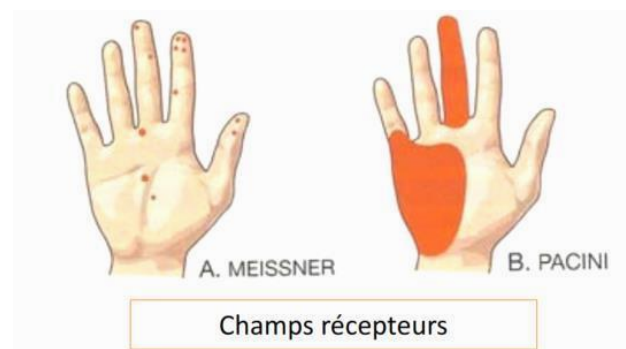
**2. Récepteurs au chaud et au froid**

**ATTENTION : rappel : ce ne sont pas des récepteurs qui captent la température mais des VARIATIONS de température !**

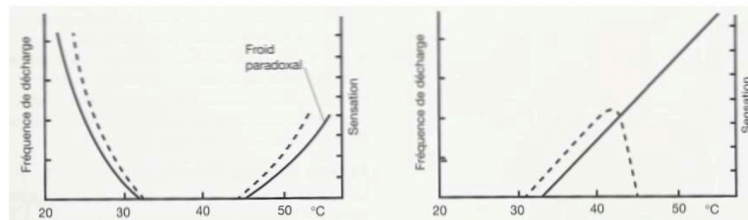
**Les récepteurs au froid** sont en périphérie et sont les plus nombreux. Il y a plus de récepteurs au froid au niveau cutané que de récepteurs au chaud. Ils vont être stimulés lorsque la température va descendre. Ils fonctionnent sans adaptation. Ils augmentent leur fréquence de PA (5 à 10 PA/sec) de 30 à 20° ; fibres de groupe III.

**Les récepteurs au chaud** sont plus nombreux en central ( le problème de l'homme est de lutter contre le froid). Les récepteurs au chaud vont être stimulés lorsque la température va monter mais ils ne sont pas sensibles à une valeur de température donnée. Ils augmentent leur fréquence des PA de 30° à 50°, possèdent des fibres myélinisées de type IIb.

La sensation de chaleur dépend aussi de la conductivité



**Les récepteurs thermiques** : terminaisons libres. Si  $T^{\circ} > 45^{\circ}\text{C}$ , mise en jeu des récepteurs nociceptifs thermiques.



**Récepteur au froid**

Fréquence des PA sur fibre A $\delta$   
chez le singe -----  
chez l'homme \_\_\_\_\_

**Récepteur au chaud**

Fréquence des PA sur fibre A $\delta$   
chez le singe -----  
chez l'homme \_\_\_\_\_

*Froid paradoxal*: une stim chaude appliquée sur un récp de froid peut déclencher une sensation de froid chez l'homme

Toute stimulation trop intense devient désagréable, donc on peut percevoir un message douloureux même par des récepteurs qui ne transmettent normalement pas la douleur.

NB : Peuvent être stimulés en dehors de leur champ d'action et provoquer des sensations de **froid ou de chaud paradoxal** : une stimulation chaude appliquée sur un R de froid déclenche une sensation de froid chez l'homme. Au départ quand on touche un glaçon ça va être froid et au bout d'un moment ça va être douloureux.

Ces récepteurs ont une faible décharge en dehors de leur zone de réponse ce qui induit des confusions possibles. On appelle cela une sensation de **froid ou de chaud paradoxal**.

Ils ne transmettent pas la température de l'objet en contact, mais celle de la peau après équilibre thermique peau-objet ; d'où sensations différentes en fonction de la conductibilité thermique du matériau en contact. C'est la conductivité (Le métal et le bois ont la même température de surface, et pourtant on a l'impression que le métal est plus froid quand on le touche).

### 3. Récepteurs à la douleur

**Une sensation douloureuse** peut se déclencher à partir d'une stimulation excessive de **TOUT** récepteur (pas que les R nociceptifs) suite à une pression trop importante. Mais il existe quand même des récepteurs spécifiques à la douleur :

Deux sortes de récepteurs identifiés :

- Les **terminaisons libres amyéliniques** conduisent les PA à vitesse faible. Fibres de groupe 4, seules présentes dans la cornée où il y a une sensibilité thermique.

- Les **nocicepteurs mécaniques**, fibres du groupe III, 2 types de douleurs dissociés par l'ischémie :
  - douleur initiale : aiguë, précise et relativement objective
  - douleur tardive, peu précise, lancinante, prolongée et désagréable.

→ Vitesse de conduction extrêmement plus faible que les motoneurones.

## B. Les réflexes extéroceptifs

Involontaires, (réflexe = circuit réflexe et pas forcément rapide attention ce n'est pas forcément une réponse rapide !!), présent même en état inconscient (état comateux...)

### Réflexe médullaire :

- **Régulation** neurophysiologique la plus simple
- Le plus souvent : **réponse motrice** à la suite d'une **stimulation**. (qui évoque plutôt un danger = réaction de protection)

Les réflexes ont 2 caractéristiques principales :

○ Leur réponse est **stéréotypée** (toujours identique, pas adaptée) → Un réflexe va toujours être le même

○ Ils ne **nécessitent le contrôle ni de la conscience, ni de la volonté** : un sujet inconscient va présenter des réflexes. En fait, on a en permanence des réflexes myotatiques.

On peut faire prendre conscience au sujet qu'il a des réflexes grâce à un réflexe ostéo-tendineux. Les centres nerveux réflexes sont en principe au niveau médullaire (schéma de l'arc réflexe), mais il existe aussi des **réflexes bulbaires** et **Trans-corticaux**. On les classe selon **l'origine de la stimulation**.

Les réflexes extéroceptifs sont en général très peu adaptés : la réaction est généralement disproportionnée par rapport à la stimulation. Ils ne sont pas forcément utiles.

- Le point de départ :
  - Stimulation cutanée
    - Le plus connu est le **réflexe extéroceptif de flexion**, ou cutané de défense, ou de flexion ipsi-latérale
- La finalité (but) :
  - Soustraire une zone agressée (défense), par flexion, après un stimulus perçu comme dangereux (douloureux).

- Met en jeu 5 éléments : un récepteur, un axone sensitif (afférent), un centre d'intégration +/- élevé, un motoneurone et son axone efférent + l'effecteur (ici les groupes musculaires).

Il s'agit d'une régulation **primitive** (donc pas adaptable) mais **prioritaire**

*Étude comportementale sur la grenouille décérébrée (moelle isolée, décérébrée : on supprime tous les influx venant des centres supérieurs. On majore les réflexes dus à la moelle, on les voit encore mieux, car pas d'influence du cerveau), suspendue à une potence, soumise à des stimulations de l'extrémité d'une patte postérieure par des concentrations croissantes en acide acétique.*

*Animal décérébrée =/= animal spinale -> Moelle épinière coupée.*

Observation de la diffusion et de la progression de la réponse motrice : **lois de Pflüger**.

### **C. Lois de Pflüger :**

La diffusion et la progression de la réponse motrice est réalisée par ces lois qui sont au nombre de 5 :

#### **1<sup>ère</sup> loi de PFLÜGER : localisation pour une faible stimulation**

Faible stimulation utilisant la concentration la plus faible qui déclenche la réponse motrice.

On observe un retrait/une dorsiflexion du pied stimulée pour protéger ses orteils. -

On a donc excité les motoneurones des fléchisseurs dorsaux -

On a donc inhibé les motoneurones des fléchisseurs plantaires.

#### **2<sup>ème</sup> loi de PFLÜGER : unilatéralisation**

En augmentant la concentration d'acide acétique, on obtient une stimulation plus importante. Celle-ci entraîne la flexion des 3 articulations (cheville, genou et hanche) du membre agressé (ex : triple retrait comateux chez l'homme).

#### **3<sup>ème</sup> loi de PFLÜGER : symétrie**

On applique un stimulus encore plus fort qui entraîne :

- **Chez la grenouille** : une triple flexion de la jambe agressée ainsi que de la jambe controlatérale → dû au couplage symétrique des deux membres, qui permet à la grenouille de faire des sauts. Cela est dû au fait que le mouvement automatique de la grenouille (car elle saute) est flexion d'un côté / flexion de l'autre extension/extension
- **Chez d'autres mammifères** : ce stimulus entraîne une triple flexion du membre agressé et une extension du membre controlatérale, c'est l'**extension croisée** chez le mammifère (marcheur). Cela est dû au fait que le mouvement automatique du mammifère est flexion d'un côté / extension de l'autre pour la marche.

*Exemple : dans l'examen clinique on a le réflexe ipsilatéral d'extension et marcheur automatique du NN : c'est un réflexe archaïque qui disparaît avec développement du SN mais qui peut réapparaître en pathologie.*

#### 4<sup>ème</sup> loi de PFLÜGER : irradiation au train antérieur

Propagation de la commande motrice vers les membres antérieurs (si on continue d'augmenter la concentration en acide) qui est :

- **Symétrique** chez la grenouille – flexion des deux membres
- **Croisée** chez les mammifères - balancement du membre supérieur à la marche (*Quand on marche on balance spontanément les bras.*). Cela est dû au fait que la marche constitue un mouvement automatique.

#### 5<sup>ème</sup> loi de PFLÜGER : implication des muscles du tronc

Les muscles du tronc se coordonnent au mouvement.

Ces connexions sont utilisées en rééducation (chaînes musculaires) et sont exploitées par les programmations motrices centrales.

#### Caractéristiques générales des réflexes extéroceptifs :

- Ne sont pas toujours en flexion
- Ne sont pas très précis et assez lents (interneurones)
- La réponse motrice dure plus longtemps que la stimulation
- Les réflexes nociceptifs sont des **réponses motrices primaires** (élémentaires et prioritaires qui vont disparaître au fur et à mesure)

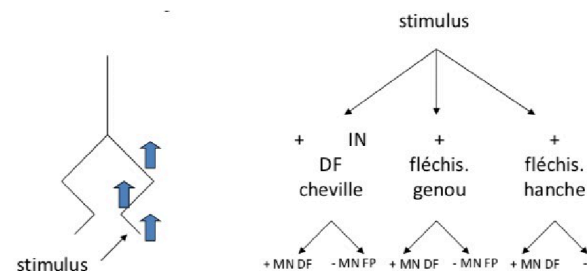
#### D. Utilisation clinique des réflexes extéroceptifs

Les réflexes extéroceptifs et proprioceptifs font partie de l'examen neurologique et permettent :

- d'apprécier la réflectivité médullaire
- d'évaluer l'état des voies efférentes et afférentes de la moelle et de déterminer l'étage des lésions.

Chez l'animal, les récepteurs extéroceptifs peuvent servir à évaluer les seuils de perceptions de la douleur lors d'anesthésies générales, ou autrement dit la profondeur de l'analgésie (analgésie + anesthésie).

Ils permettent d'évaluer l'état des voies afférentes et efférentes de la moelle, impliquées dans le métamère correspondant, soit le niveau lésionnel. La réaction motrice liée à ces réflexes va dépendre de ce circuit neuronal. C'est pour cela que l'on va avoir un retrait croisé avec flexion ou extension sur le membre opposé pour des mouvements de locomotion alternés



#### **Exemple clinique chez l'homme :**

le triple retrait du comateux

## 1) Les principaux réflexes extéroceptifs chez l'homme

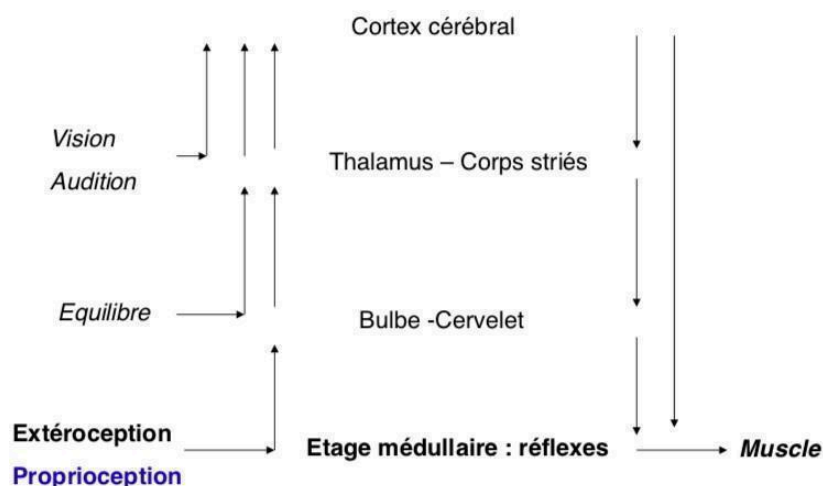
Chez l'Homme :

- **Réflexe cornéen** (aboli si lésion du trijumeau) : avec un compresse stérile on stimule la **cornée (pas la sclérotique !)** ; la paupière se ferme par réflexe
- **Déglutition** : dangereux pour le comateux en cas d'inhalation. Risque de réflexe nauséux chez le patient lors de l'examen buccal avec l'abaisse-langue.
- **Réflexe cutané abdominal** : effleurement avec une pointe, on remarque une contraction différente selon le niveau (**contraction des grands droits**). Il y a 3 niveaux : **T6-T8, T8-T10, T10-T12**
- **Réflexe crémastérien** : stimule la face interne de la cuisse, ce qui entraîne la contraction du crémaster.
- **Réflexe cutané plantaire** (R extéroceptif et pas ostéo-tendineux) : on stimule la plante du pied et on a une flexion de l'hallux (éventuellement les autres orteils). Si on a une extension de l'hallux, c'est anormal : **signe de Babinski +++**

Réflexes chez le nouveau-né :

- **Grasping des orteils** : stimulation de la plante du pied, on a alors une flexion des orteils et extension de l'hallux. Si l'extension persiste après le 8ème mois, on a un signe d'atteinte pyramidale.
- **Grasping palmaire** (réflexe d'agrippement) : on stimule la paume de la main et on a un réflexe de fermeture du poing. Si ce réflexe persiste après 4 mois, on aura le signe d'une atteinte du faisceau pyramidal → important car permet de détecter une atteinte neurologique précoce. En particulier s'il y a une flexion des doigts avec le pouce en dedans, signe d'une atteinte du SNC.
- La **marche automatique** est un réflexe archaïque. (on stimule le dos du pied)

4 niveaux de complexité croissante :



## IV) Réflexe proprioceptif

### A) Introduction

La proprioception est la sensibilité interne de l'appareil locomoteur, inconsciente.

La stimulation du muscle par le motoneurone alpha ne suffit pas à ajuster correctement l'activité musculaire. Pour assurer le contrôle musculaire et les ajustements posturaux (statique et dynamique) nécessaires à la station verticale, il est indispensable d'avoir un retour continu d'informations d'origine musculaire vers la moelle spinale. Ceci est permis par la sensibilité proprioceptive. Il faudra un retour d'informations sur la valeur de la **tension (force)** en instantané, de la **longueur** et sur la **vitesse de variations** de ces grandeurs.

Les principaux récepteurs (organes neurosensoriels) sont les fuseaux neuromusculaires (FN) et les organes tendineux de Golgi (OTG), ils sont complémentaires, ils renseignent sur l'état de force et de longueur des muscles :

- **Le fuseau neuromusculaire** est sensible à la **longueur** et à la **vitesse de variation de longueur** du muscle. Cependant, il ne perçoit pas les forces (tensions) développées. *Ces fuseaux branchés parallèlement aux fibres extrafusales, au sein du muscle.*
- **L'organe tendineux de Golgi**, perçoit des informations relatives à la **tension** (force) et à la **vitesse de variation** de cette tension musculaire. Ces mécanorécepteurs sont insensibles aux variations de longueur. Ils se situent aux jonctions myotendineuses et sont branchés en série avec les fibres musculaires. Ils régulent en permanence la posture et les gestes.

Cette proprioception **inconsciente** intervient en permanence dans le contrôle de la :

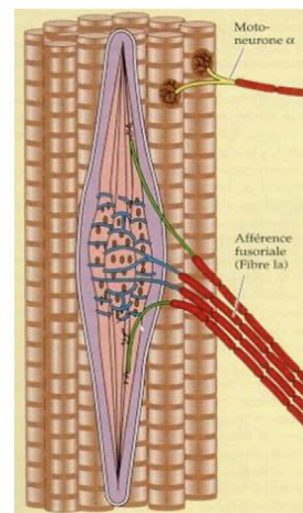
- **Contraction**
- **Station debout**
- **Ajustements posturaux**

### B) Les fuseaux neuromusculaires

#### 1) Disposition

**Caractéristiques :**

- On les retrouve à l'intérieur de **tous** les muscles
- Ils possèdent des capsules conjonctives disposées en **parallèles** des fibres musculaires extrafusales (fibres squelettiques classiques).
- Ils font 3-10mm de longueur
- Ils sont parallèles aux fibres musculaires.



- Ils renferment **3 à 12** fibres intrafusales (allongées).
- Ils subissent les mêmes déformations et tensions mécaniques que les muscles. Ils sont donc sensibles aux variations de longueur (mais pas à la force car celle-ci se transmet de proche en proche).

Plus le muscle est à fonction anti-gravitaire plus il contiendra de FN, donc on ne retrouve pas le même nombre dans tous les muscles  
(*pas besoin de savoir la taille des fibres "ça sert à rien"*) Il existe 2 types de fibres à l'intérieur de ce Fuseau : les **fibres à sac** et les **fibres à chaînes nucléaires** :

- Fibres à sac nucléaire : ces fibres possèdent un diamètre de 25µm (soit la moitié du diamètre des fibres extra-fusales) ainsi qu'une longueur de 6 à 10mm, et des noyaux regroupés au centre de la fibre. 1 à 3 fibres/FNM
- Fibres à chaînes nucléaires : plus petites avec des noyaux tout du long, sans renflements, et il y a également des structures contractiles aux 2 extrémités. Ces fibres possèdent un diamètre de 12µm et une longueur de 3-4mm. 3-9 fibres/FNM.  
(*Rq : les longueurs des fibres ne sont pas à connaître*)

Les fuseaux subissent les mêmes modifications que le muscle. Les parties périphériques possèdent des myofibrilles et sont contractiles.

La partie centrale fonctionne comme un **récepteur sensoriel**, regroupe les noyaux et porte 2 types d'afférences :

- Terminaison primaire afférente, annulo-spiralée, au centre de la fibre
- Fibres afférentes secondaire aux extrémités

/!\ On ne retrouve pas de myofibrilles contractiles dans la partie centrale.

Chacune de ces fibres possède une afférence motrice, provenant des motoneurones gamma et faisant synapse en périphérie des fibres. Il y a en fait une double innervation :

- Des fibres dites **dynamiques (gamma 1)** pour les fibres à sac
- Des fibres dites **statiques (gamma 2)** pour les deux types de fibres mais surtout ceux à chaînes.

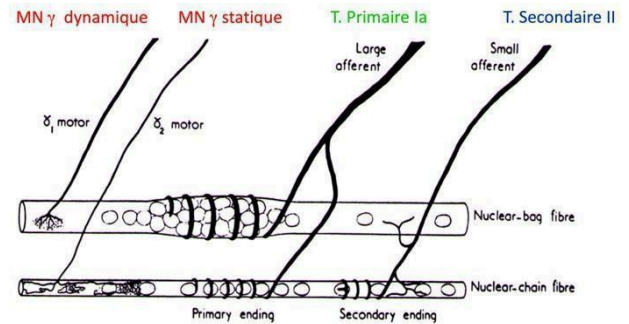
Cette afférence se fait en périphérie du FN (la périphérie possède des myofibrilles, donc est contractile alors que la partie centrale est sensorielle).

Le centre (non contractile) présente des afférences sensibles : les deux types de fibres envoient des informations par terminaisons **primaires** (de type très rapides), tandis que les terminaisons **secondaires** se situent sur les extrémités des fibres à chaînes. Les terminaisons sensibles expriment des sensibilités différentes entre les terminaisons primaires et les terminaisons secondaires.

## 2) Innervation du fuseau

### Innervation motrice :

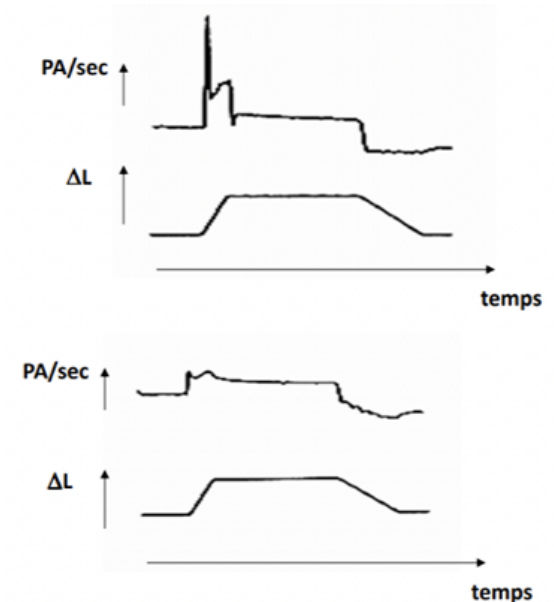
- 5 à 10 motoneurones gamma / FN
- 2 types de fibres afférentes motrices
- MN gamma statique sur les fibres à chaîne surtout
- MN gamma dynamique sur les fibres à sac



Le fuseau est donc innervé à la fois de façon motrice ( $\gamma$ ) et de façon sensitive (Ia et II).

**Mode de fonctionnement des terminaisons I et II** On a réalisé une expérience où l'on a mesuré la décharge statique (fréquence des PA émis par les fibres afférentes Ia et II lorsque le muscle est étiré = tension passive) :

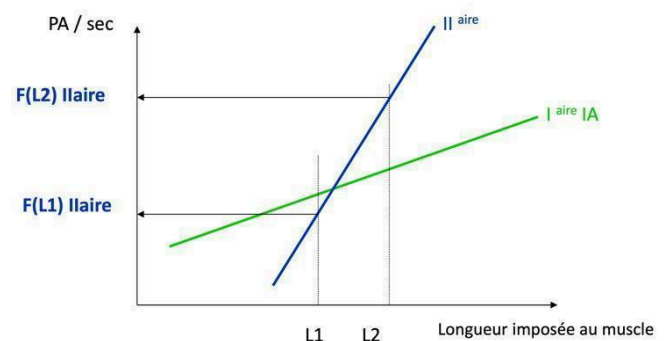
- **Pour les fibres Ia (terminaison primaire)** : la fréquence des PA augmente surtout pendant la phase d'allongement passif du muscle mais cette fréquence redescend à une valeur inférieure quand le muscle est à sa nouvelle longueur (la sensibilité statique est donc inférieure à celle des fibres secondaires).
- **Pour les fibres II (terminaison secondaire)** : la fréquence des PA augmente à l'allongement passif, et persiste à la nouvelle longueur du muscle. Elles donnent une information sur le degré d'étirement



## 3) Sensibilité statique du fuseau neuromusculaire

Lorsque le muscle est étiré passivement (non contracté), le nombre de PA émis par l'afférence augmente proportionnellement au degré d'étirement.

Quand le muscle est étiré, **la fréquence des PA est proportionnelle à la longueur** à laquelle est maintenu le muscle.



Les **fibres primaires** répondent sur une **très grande gamme de longueurs** en augmentant la fréquence des PA. Elles ont une **sensibilité dynamique** (donc sensible aux grandes variations de longueur).

Les **fibres secondaires** répondent à une faible variation de longueur par une forte augmentation de fréquence des PA. Donc elles ont plutôt une **sensibilité statique**. Pour **une même variation de longueur**, la terminaison secondaire adapte de façon plus large sa fréquence de PA (grande sensibilité pour une faible variation de longueur)

En comparant les pentes des courbes pour une même  $\Delta L$ , on s'aperçoit que la fréquence des PA pour les fibres **Ia** augmente beaucoup moins que celle des fibres **II**. On peut donc dire que les **fibres secondaires** ont plutôt une **sensibilité statique** (très sensible à de petites variations de longueur mais dans un domaine moins restreint). Les **primaires**, sont beaucoup moins sensibles, c'est une **sensibilité dynamique** (variation de fréquence très faible pour  $\Delta L$  faible mais domaine de réponse sur toute la longueur d'étirement du muscle).

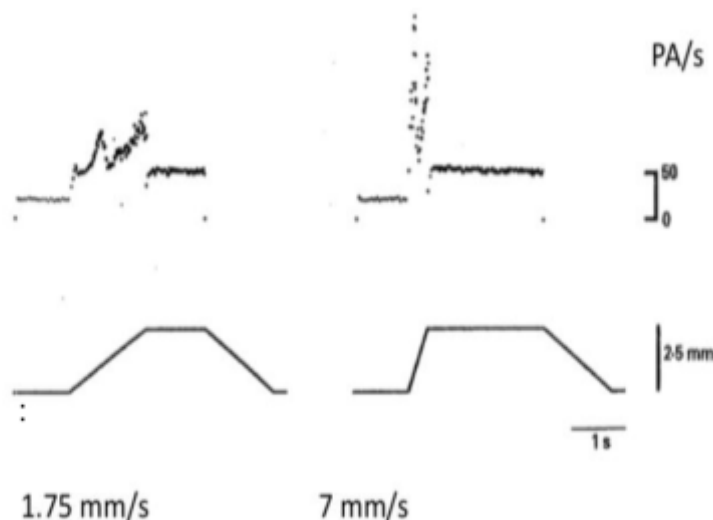
#### 4) Sensibilité dynamique du fuseau neuromusculaire

Sur la terminaison primaire, la fréquence de décharge des PA (potentiels d'action) est **proportionnelle à la vitesse de l'étirement**.

>>> Important **car longueur = dimension statique alors que vitesse = dimension dynamique** (toujours entre L1 et L2, on fait juste varier la vitesse)

>>> Ces fibres sont donc aussi sensibles à **la vitesse d'étirement**.

On regarde la longueur car ces fuseaux sont variables à la variation de longueur du muscle. Ils envoient plus ou moins de PA, font varier la fréquence des PA en fonction de l'info longueur et aussi la vitesse d'allongement du muscle.



Expérience (ci-dessus) : on s'intéresse aux fibres de type Ia et on réalise une expérience pour étudier la sensibilité dynamique.

>> On fait un enregistrement de la décharge des fibres Ia pour une élongation  $\Delta L$  fixe avec différentes vitesses de réalisation (on étire le muscle lentement puis rapidement :

on passe de  $v_1 = 1,75 \text{ mm/s}$  à  $v_2 = 7 \text{ mm/s}$ )

Si on augmente la fréquence, on augmente la vitesse (>> le codage des PA se fait donc essentiellement par la fréquence)

**Résultats** : La fibre décharge en permanence pour une longueur donnée L1. Au moment de la réalisation de l'élongation passive, on a une augmentation de la fréquence des PA qui va être plus ou moins brutale en fonction de la vitesse d'étirement. Les terminaisons primaires assurent le rôle de sensibilité dynamique (elles donnent à tout moment l'état d'étirement du muscle au centre régulateur).

C'est donc que la fréquence des PA est proportionnelle à la vitesse de l'étirement. Quand on arrive à la longueur dite L2, on voit que la fréquence de décharge est supérieure à celle que l'on avait en L1 mais la fréquence reste inférieure à celle obtenue au moment de l'élongation

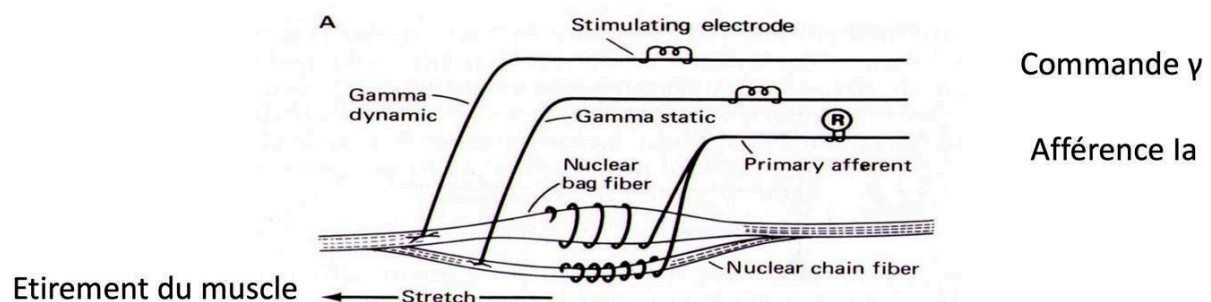
### 5) Modulation des sensibilités statiques et dynamiques

C'est la partie centrale des fibres qui doit être étirée pour envoyer un message, si cette partie centrale n'est pas étirée il n'y a pas de message sensoriel. Ainsi pour palier à ce défaut, les motoneurones Gamma vont venir en permanence ajuster la sensibilité du fuseau, pour qu'il soit toujours en position d'étirement

Les fuseaux neuromusculaires sont particuliers car ils présentent une double innervation motrice via les motoneurones  $\gamma$  :

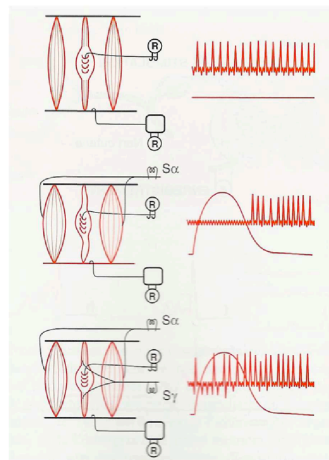
- Les fibres  $\gamma$  dynamiques innervent les fibres à sac
- Les fibres  $\gamma$  statiques innervent préférentiellement les fibres à chaînes

On décide d'enregistrer les réponses sur les fibres afférentes primaires suite à un étirement qui comprend une phase dynamique puis une phase statique



Comportement des terminaisons primaires lors de l'étirement passif lors de la contraction :

## Rôle du motoneurone gamma



- On enregistre simultanément l'activité d'une terminaison Ia et la contraction isométrique du muscle
  - Par stimulation du MN  $\alpha$  → le muscle se contracte (il se « raccourcit » même en isométrique) → le FNM est « détendu » donc non stimulé → Il y a une **pause** des la
  - Si on stimule en même temps le MN  $\alpha$  et le MN  $\gamma$  → on enregistre une activité sur la term Ia → activation du FNM. → **Disparition** de la pause des la
- Donc le MN gamma maintient la sensibilité du FNM**

Ces terminaisons ne sont sensibles qu'à l'étirement donc les terminaisons primaires ne sont pas sensibles au raccourcissement.

>>> Pour pallier ce déficit : on a des motoneurones gamma qui sont à l'intérieur de ces fuseaux

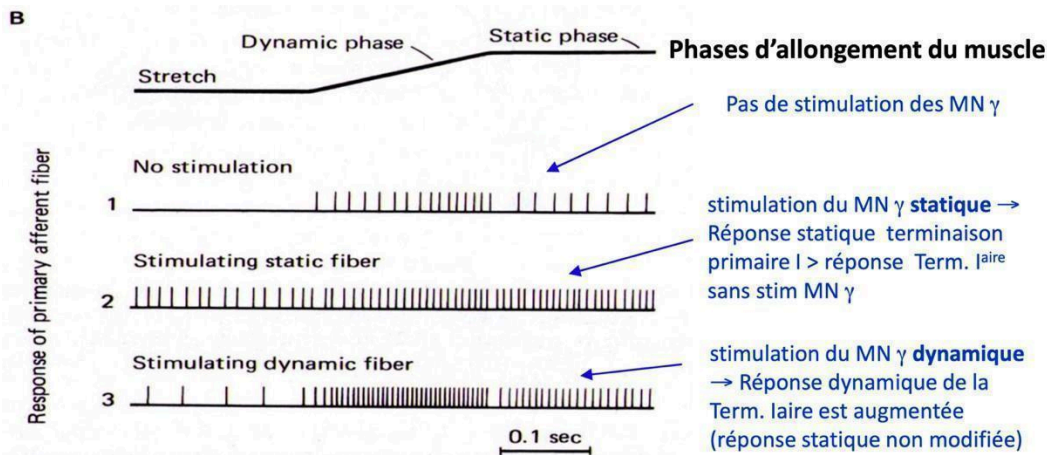
On prend un muscle isolé mais qui a toujours son nerf, on l'attache pour mesurer la force. On mesure simultanément l'action de la terminaison Ia et la contraction isométrique.

Quand on raccourcit le muscle et qu'on regarde ce qu'il se passe sur la terminaison primaire, il ne se passe rien : pas de signal = pas d'info sensorielle (>> le système intégrateur ne sait pas quel est l'état de son muscle)

Quand on stimule le **motoneurone gamma** : contracter les fibres intrafusales, il raccourcit le fuseau, le met en tension. Donc, quand on va étirer, on a des décharges de PA, quand on le stimule par le nerf, il ne se passe rien du tout. Si on contracte le muscle et si on contracte les FN par les motoneurones gamma : on a un signal.

Ce fuseau, quand on l'enregistre, émet une certaine quantité de PA. On va provoquer une contraction du muscle bloqué de manière isométrique (sans variations de longueurs) et mesurer les PA. **En stimulant le motoneurone alpha** on fait une contraction des fibres extrafusales. Si on contracte sans faire d'ajustement du fuseau, celui-ci est relâché donc perd sa sensibilité car il n'est plus étiré.

Pour cela **on stimule en même temps le motoneurone gamma**, et on contracte en même temps le muscle (motoneurone alpha), on retrouve alors des PA. Le fuseau redevient alors capable d'envoyer des infos de variations de longueurs.



→ Le rôle majeur du motoneurone gamma est de maintenir la sensibilité du fuseau ainsi pour maintenir au top la sensibilité des infos, il faut le motoneurone gamma (dans le FN).

Quand on stimule les motoneurones  $\gamma$  statiques, on va modifier la fréquence de décharge lors de la phase statique. On voit que la sensibilité du fuseau est augmentée en phase statique.

De la même manière, lors de la stimulation du motoneurone  $\gamma$  dynamique, on note une sensibilité du fuseau augmentée en phase dynamique de l'étirement.

>>> Ainsi, les fibres  $\gamma$  modifient les sensibilités dynamiques & statiques des fuseaux = **RÉGULATION**

### C) L'organe tendineux de Golgi

**Organe tendineux de Golgi (OTG)** : 2ème organe sensoriel. Il se trouve aux jonctions musculo-tendineuses. Il ne donne pas le renseignement de variation de l'allongement. Il est disposé **en série** et quand les fibres musculaires se raccourcissent, les OTG vont être étirés, ils vont être sensibles à la **tension** de contraction du muscle mais aussi à l'**étirement**.

Capteur sensoriel disposé en série : il renseigne le système sur cette tension, cette force dégagée par le muscle (!\ un muscle au repos est toujours en tension).

Caractéristiques :

- Son rôle est essentiel pour expliquer le réflexe myotatique
- Il est monté **en série** par rapport aux fibres musculaires extrafusales
- Il se trouve au niveau des **jonctions myotendineuses** (càd à l'extrémité des fibres musculaires)
- C'est un mécanorécepteur **sensible aux variations de force** (tension) → Celle-ci se transmet de proche en proche (pas à la longueur)
- Il possède des terminaisons Ib (renseigne le SNC sur les variations de force) **Sa sensibilité est proportionnelle à la tension développée dans le muscle.**

Il est stimulé par :

- La tension passive (muscle au repos)
- La tension active (muscle contracté)

Ils sont **toujours sensibles** car il y a toujours une force, même quand le muscle est au repos (force passive).

Son rôle est de **stabiliser la force musculaire** pour éviter les **déchirures musculaires** et les **ruptures tendineuses**.

**NB** : Le fuseau, quant à lui, n'est sensible qu'à l'étirement passif du muscle, mais pas à la contraction. Il est même inhibé lorsqu'il y a une contraction avec un raccourcissement, il devient silencieux, muet (sauf intervention d'un motoneurone  $\gamma$ , qui lui est à l'intérieur du FN).

Pour résumer :

- Lors d'un étirement passif, on stimule uniquement les terminaisons primaires Ia, et un petit peu les terminaisons Ib (car sensibles à la tension passive).
- Lors d'une contraction on a une décharge des terminaisons Ib mais on a un silence des terminaisons Ia (puisque le FN est inhibé par la contraction musculaire).

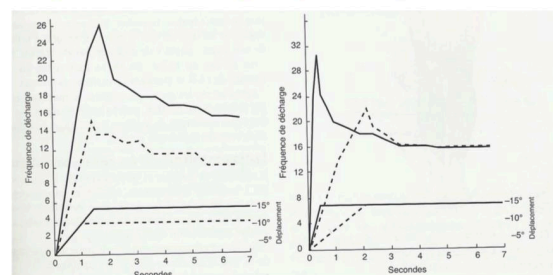
## E) Autres récepteurs

1. **Récepteurs de Pacini** : si on provoque une vibration expérimentale dans le membre d'un patient sans qu'il s'y attende, on peut provoquer l'illusion d'un mouvement grâce à la mise en jeu de ces récepteurs par vibrations du muscle (le sujet a l'impression d'avoir fait un mouvement)
2. **Fibres III** : sensibilité à la compression du muscle
3. **Fibres IV** : ce sont des nocicepteurs sensibles à l'ischémie musculaire et à la présence de lactate (douleurs musculaires lorsqu'on est en anaérobiose lactique qui provoque une sensation de brûlure)

### Récepteurs articulaires :

- Situés dans les **capsules** et les **ligaments**
- Ils renseignent sur les vitesses de déplacement des segments et articulations
- Sensibles à l'**angulation** et à la **vitesse** angulaire du déplacement
- Interviennent surtout dans les angulations extrêmes aux positions extrêmes
- **N'apparaissent pas comme indispensables** : les patients **porteurs de prothèse de hanche** (dénervations articulaires) perçoivent toujours le mouvement passif de l'articulation.

Récepteurs articulaires du genou (chez le chat)



2 angulations articulaires avec vitesse angulaire identique:

La fréquence de décharge du récepteur pdt le plateau permet le codage de l'angulation. Le plateau montre que le récepteur est adaptable

1 seule angulation articulaire mais 2 vitesses angulaires:

La vitesse de l'installation de la décharge permet le codage de la vitesse angulaire.

- La stimulation de ces récepteurs chez un sujet au repos augmente sa fréquence respiratoire et cardiaque

Afin d'étudier ces récepteurs articulaires, des expériences faites chez le chat, montrent qu'il existe deux sensibilités différentes :

- La première expérience (graphe 1 avec 2 angulations différentes (-10° et -15°) mais vitesses identiques) nous révèle qu'il existe un codage de l'angulation par la fréquence des potentiels d'action. La fréquence des PA est proportionnelle à l'angle. **Plus l'angulation est importante, plus la fréquence des PA est importante.** *Le mouvement se fait à la même vitesse mais va plus ou moins loin (exemple : flexion du coude)*

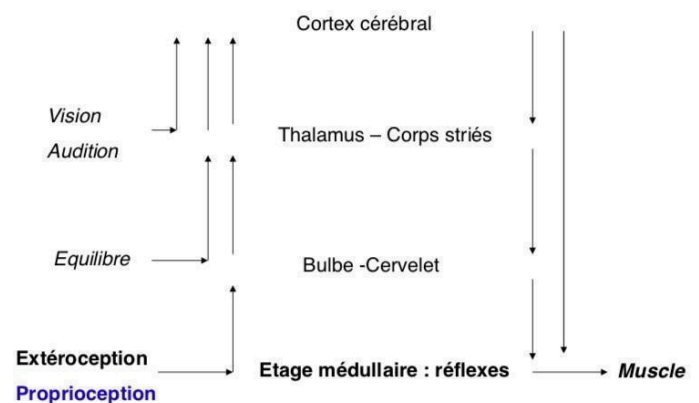
- La deuxième expérience (graphe 2, mêmes angulations mais 2 vitesses différentes) démontre que la fréquence des potentiels d'action code aussi la vitesse. **Quand la vitesse est élevée, la fréquence augmente très rapidement, au contraire, quand la vitesse est plus faible, la fréquence augmente moins.** *Le mouvement va au même niveau (ex : même angle de flexion) mais à des vitesses différentes.*

C'est ce système de codage qui permet aux centres nerveux d'avoir des informations sur les angles et les vitesses d'exécution des mouvements articulaires. Ces récepteurs sont complètement adaptables ; ils ne déchargent pas de la même manière suivant la façon dont ils sont stimulés.

1. Les capteurs ont été capables de renseigner les centres sur l'angle.  
Augmentation de la fréquence des PA : mouvement se produit. La fréquence max correspond à l'angulation. Après, il y a un phénomène d'adaptation (il n'est pas revenu à 0)
  2. Les capteurs sont capables de renseigner sur la vitesse de déplacement. La fréquence des PA est corrélée à la vitesse angulaire : plus la vitesse est rapide, plus la fréquence des PA est importante.
- Ils ne sont pas indispensables mais apportent une information complémentaire

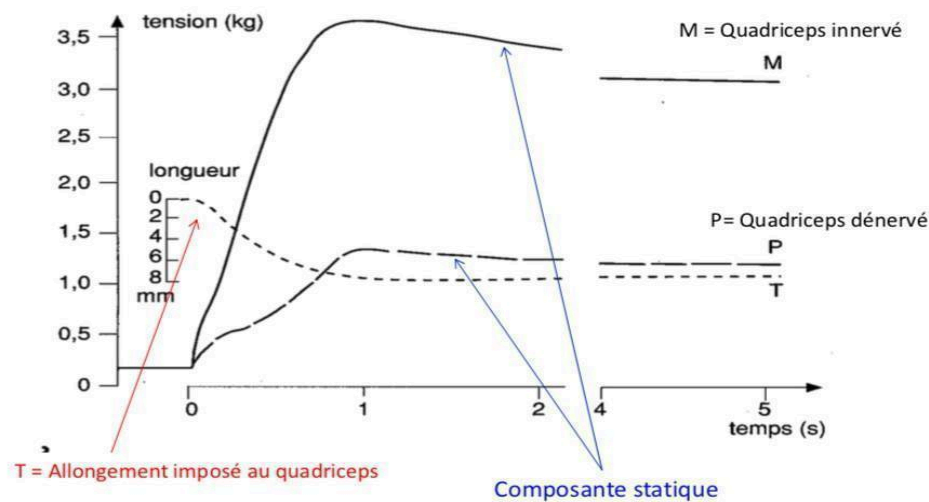
**Ils renseignent sur la vitesse, l'angle, le degré de contraction : retour permanent des informations**

Tous ces éléments proprioceptifs vont être le point de départ de réflexes.



## F) Réflexes proprioceptifs

Le réflexe proprioceptif d'étirement ou **stretch reflex** (Sherrington) a été mis en évidence sur le chat décérébré afin de mieux visualiser ce qui se passe au niveau de la moelle



indépendamment des influx descendants (car on a une régulation qui vient du cortex et donc une diminution voire absence d'observation des réflexes). On impose un étirement au quadriceps alors que celui-ci n'est pas contracté.

On s'aperçoit alors que la force du muscle augmente d'autant plus que celui-ci est innervé. Lorsque le quadriceps est dénervé on a une augmentation rapide puis un plateau. Lorsque le quadriceps est innervé, on observe la même chose mais pas dans la même gamme (augmentation beaucoup plus rapide).

Le fait d'avoir coupé le nerf modifie la force dégagée. En fait, entre les deux, le delta représente simplement le **réflexe myotatique** (= réflexe proprioceptif d'étirement). On a deux phases :

- une **dynamique rapide** (augmentation de la force)
- une **lente statique** (maintien de la force à un certain niveau).

Cela a permis de mettre en évidence le réflexe myotatique, qui est monosynaptique.

→ On tire sur le muscle : il y a toujours l'innervation complète. La force se dégage et elle augmente beaucoup.

→ On coupe le nerf, on refait pareil : on a une augmentation de la force mais beaucoup moins forte. Il y a moins de force quand le muscle est dénervé. Cette force est due aux propriétés intrinsèques du tissu "muscle"

## G) Réflexe myotatique monosynaptique

### 1) Composante dynamique

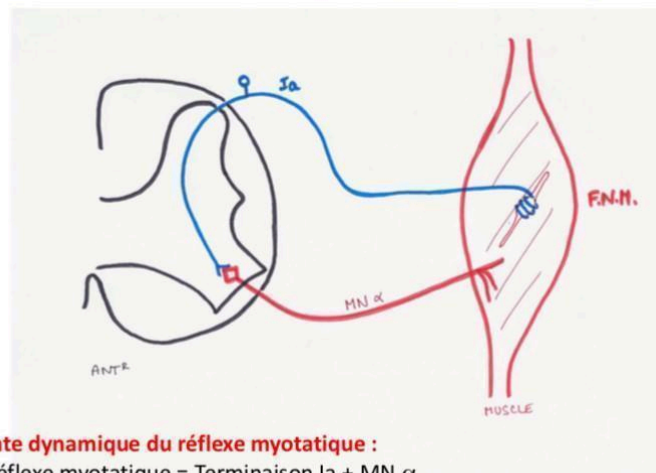
C'est un réflexe **extrêmement rapide**, composé de **2 neurones**. Le système sensitif constitué par le FN (organe sensible à l'étirement du muscle) et la terminaison primaire la qui l'innerve déclenche le **réflexe myotatique (réflexe rapide donc court) de façon monosynaptique**.

Séquence d'événement (arc réflexe) :

1. Allongement du muscle
2. Étirement des terminaisons primaires enroulées autour de la zone centrale des fibres du FN
3. Augmentation de la fréquence de décharge des terminaisons primaires la
4. En connexion monosynaptique avec les MN  $\alpha$  de la corne antérieure de la ME
5. Contraction musculaire en retour pour revenir à la situation initiale

Ce système fixe la position d'un segment de membre → maintien du tonus de tous

#### REFLEXE MYOTATIQUE MONOSYNAPTIQUE



#### Composante dynamique du réflexe myotatique :

- Boucle réflexe myotatique = Terminaison la + MN  $\alpha$
- La Term la déclenche le réflexe myotatique de façon monosynaptique. Tout allongement du muscle → ↑ fréquence de décharge des term la → stimulation MN  $\alpha$  → contraction musculaire .
- Intéresse extenseurs (antigravitaires) > fléchisseurs
- *Origine de la phase statique = complexe. Rôle des term I et II ? des FNM avec excitation des muscles homonymes par voie mono et plurisynaptique*

les muscles constant **élément déterminant du maintien de la posture**.

Le muscle a un FN qui est disposé en parallèle. Le muscle est étiré et envoie les informations par la racine dorsale de la moelle. Elle est en connexion avec le motoneurone alpha qui innerve les fibres extrafusales.

Étirement du fuseau ⇒ augmentation sensibilité ⇒ la ⇒ motoneurone alpha ⇒ contraction fibres intrafusales

Donc, dès qu'il est étiré, il se contracte = le réflexe myotatique

Il est principalement présent dans les **muscles antigravitaires** (car on résiste en permanence à la gravité, sauf quand on est posé dans son lit le vendredi matin au lieu d'aller en cours par exemple) et donc **extenseurs**.

## 2) La composante statique

La composante statique est un phénomène complexe, elle est retardée par rapport à la composante dynamique. *Pas détaillé...*

## H) Réflexe myotatique inverse

### 1) Description

Quand l'étirement d'un muscle dépasse une certaine limite, le réflexe myotatique est inhibé = **RÉFLEXE MYOTATIQUE INVERSE** par les **OTG**. Plus on étire, plus on déclenche un réflexe myotatique. Résultat de la stimulation des **fibres afférentes Ib** venant des organes tendineux de Golgi (qui sont montés en série).

>>> C'est un **système de protection** qui permet de contrôler la contraction réflexe du réflexe myotatique en l'inhibant.

Une augmentation importante de l'étirement d'un muscle produit d'abord une augmentation progressive de sa tension, suivie d'une chute de tension pour des étirements extrêmes.

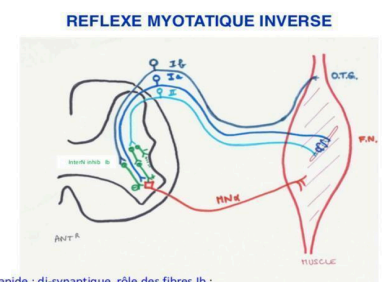
La cause est l'action inhibitrice des OTG par stimulation des terminaisons Ib du muscle agoniste par l'intermédiaire d'un seul interneurone inhibiteur Ib (médiateur : GABA) qui agit sur le MN $\alpha$  du même muscle et par l'intermédiaire des interneurons activateurs qui agissent sur le MN $\alpha$  du muscle antagoniste. On a un **rôle protecteur pour éviter la déchirure**.

L'OTG est informé de la force et variation de force  $\Rightarrow$  Ib  $\Rightarrow$  interneurone qui code l'info en positif ou négatif.

Le muscle homonyme (= même muscle) : étirement du fuseau, donc info sensitive  $\Rightarrow$  Ia  $\Rightarrow$  MN alpha  $\Rightarrow$  stimuler muscles (raccourcissement muscle)  $\Rightarrow$  stimulation OTG  $\Rightarrow$  stimulation de la force  $\Rightarrow$  Ib  $\Rightarrow$  racine dorsale  $\Rightarrow$  interneurone inhibiteur  $\Rightarrow$  motoneurone alpha du muscle homonyme (= le même quadriceps du même côté par exemple)

>>> On protège le muscle contre les contractions extrêmes.

On a en permanence une régulation des muscles antagonistes et agonistes.



Boucle réflexe rapide : di-synaptique, rôle des fibres Ib :

-Stimulation des term. Ib venant des OTG  $\rightarrow$  connexion disynaptique  $\rightarrow$  interneurone inhibiteur Ib  $\rightarrow$  inhibition du réflexe myotatique monosynaptique du muscle stimulé et  $\rightarrow$  interneurone excitateur  $\rightarrow$  facilitation du réflexe myotatique monosynaptique des muscles antagonistes du même membre. **Donc inhibition du muscle homonyme+ inhibition des synergistes + activation du muscle antagoniste**

-Clinique = arrêt brutal des contractions obtenues par étirement du muscle (signe du canif chez le paraplégique).

**Quand il inhibe le motoneurone du muscle homonyme, il va exciter le muscle antagoniste.** Il y a des connexions dans les 3 dimensions de l'espace. Ces connexions vont permettre par le réseau de neurones de donner des mouvements alternés, coordonnés entre eux (pour la marche par exemple).

Donc inhibition du muscle homonyme + inhibition des synergistes + activation du muscle antagoniste.

*clinique : arrêt brutal des contractures obtenues par étirement du muscle (signe du canif chez le paraplégique)*

## 2) Rôle du réflexe myotatique inverse :

### 1. Servo-contrôle de la tension musculaire ++

- Si tension musculaire trop élevée, ce réflexe inhibiteur diminue la tension
- Si tension musculaire trop faible, les effets de ce réflexe sont moindres donc il y a possibilité d'augmenter la contraction

### 2. Mécanisme de protection

- C'est un mécanisme de protection contre des contractions susceptibles de générer des tensions excessives entraînant des dommages musculaires (ex : contractions excentriques poussées). Par exemple, à la fin d'un mouvement, lorsque les limites mécaniques de l'articulation sont atteintes. Il s'agit de régulation qui fonctionne en permanence.

## 1) Rôles du neurone de Renshaw dans le réflexe myotatique

### 1) Le réflexe myotatique présente l'intérêt de permettre le maintien de la station debout.

Du fait de la pesanteur, les membres inférieurs ont tendance à fléchir sous le poids du corps, ce qui étire les extenseurs, ce qui provoque en retour leur contraction.

Le réflexe myotatique permet ainsi de maintenir la position debout et de lutter contre la pesanteur en s'opposant à la contraction des fléchisseurs.

### 2) Pour éviter l'emballement du système

Et ce quel que soit le moment où le réflexe myotatique se manifeste : maintien de la posture, développement d'une force, mouvement d'un segment osseux

>>> Chaque motoneurone s'autorégule en permanence grâce à un **circuit d'inhibition récurrente dit de Renshaw**

### 3) Coordination des mouvements de contraction des fléchisseurs et extenseurs

Comme la cellule de Renshaw innerve aussi l'interneurone inhibiteur de l'innervation réciproque, la décharge initiale du motoneurone commandant le muscle agoniste provoque également en retour une **inhibition de l'inhibiteur du motoneurone de l'antagoniste** (càd une levée de son inhibition)

Cela est indispensable pour la coordination des mouvements de contraction des fléchisseurs et extenseurs.

#### J) Innervation réciproque et inhibition réciproque

Le circuit neuronal d'innervation réciproque sous-tend le phénomène d'inhibition réciproque (est fonctionnel).

Circuit : les afférences la du muscle agoniste sont en relation avec les motoneurons d'un muscle antagoniste par l'intermédiaire d'interneurones inhibiteurs la.

Inhibition directe : Stimulation d'un antagoniste  $\Rightarrow$   $\downarrow \downarrow$  amplitude du réflexe monosynaptique de l'agoniste (potentiel post synaptique inhibiteur sur le MN  $\alpha$  de l'agoniste)

Cette inhibition nécessite un interneurone entre les MN et les fibres afférentes proprioceptives la

**Il y a facilitation monosynaptique ET inhibition directe  $\Rightarrow$  facilitation des muscles agonistes du même membre (avec mise en jeu des terminaisons Ia) alors que les antagonistes sont inhibés.**

Ce qu'il se passe pour un membre est l'inverse de ce qu'il se passe dans l'autre. Si on facilite un agoniste sur un membre on inhibe cet agoniste sur le membre controlatéral (Marche par exemple)

Si on veut protéger le mouvement : on va inhiber ces muscles et active les antagonistes

#### **DONC :**

1. facilitation des agonistes + inhibition des antagonistes du 1er membre
2. inhibition des agonistes du membre controlatéral (si on parle de la marche)
3. inhibition des agonistes + facilitation des antagonistes du second membre homolatéral
4. facilitation des agonistes + inhibition des antagonistes du second membre controlatéral (schéma inversé sur les 2 autres membres)  $\rightarrow$  dans la marche c'est le MS

*"Vous voyez que ça devient... voilà" - Metgès, 2020*

En gros, ça explique que quand on marche on balance les bras en rythme.

### Réseau d'inhibition réciproque :

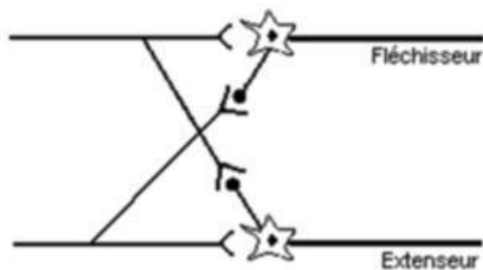
Ce type de réseau permet une commande sélective de la musculature. **Il est à la base des coordinations motrices.** La musculature est basée sur des muscles antagonistes fléchisseurs et extenseurs.

Les réseaux d'inhibition réciproque vont organiser l'inhibition des neurones qui innervent les muscles antagonistes :

- On a une première ligne de neurones qui va activer les fléchisseurs.
- On a une deuxième ligne de neurones qui va activer les extenseurs.

Lorsque la ligne 1 est activée, elle va venir par l'intermédiaire d'une collatérale exciter un interneurone qui lui-même va venir inhiber la ligne 2.

Quatre types de réseaux élémentaires vont pouvoir s'associer de façon plus ou moins complexe afin de traiter et d'intégrer encore à un niveau supérieur les différentes informations pour répondre de façon adaptée aux nécessités du comportement



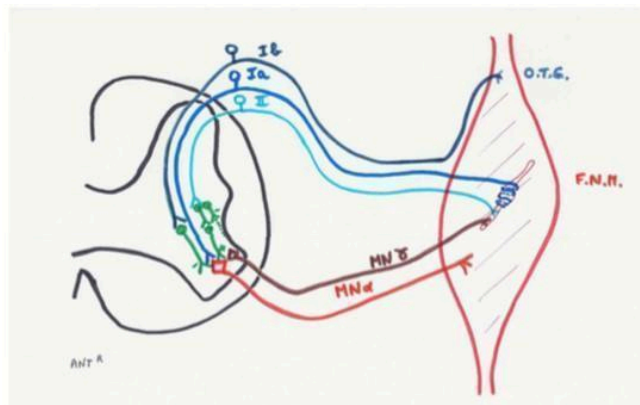
**Fonctionnalité dans les APS :** liée au fait que, quand nous réalisons un mouvement grâce à ce mécanisme, la performance des muscles agonistes est peu entravée par les muscles antagonistes qui sont réprimés. C'est-à-dire qu'on va privilégier la contraction d'un muscle par rapport à un autre.

### K) Rôle du motoneurone gamma

Le MN $\gamma$  innerve la partie musculaire des FN (à l'inverse des alphas qui sont extra-FN).

Le système efférent gamma est important:

- 31% de MN gamma
- 69% de MN alpha



Il **régule la tension du FN indépendamment de la longueur du muscle** : le but est de conserver la précision/sensibilité du FN quel que soit l'état de contraction du muscle et donc quelle que soit sa longueur. Il est activé simultanément avec le MN  $\alpha$

⇒ **Coactivation alpha-gamma**

Rôle majeur dans la **régulation de la posture et du mouvement** en modulant le tonus musculaire par action sur les fibres Ia :

- Il ajuste le gain fusorial (= capacité du fuseau neuromusculaire à rester sensible).
- Il informe le SNC sur le mouvement même faible
- Il informe le SNC même pendant le raccourcissement du muscle +++
- Si le MN $\gamma$  diminue sa fréquence de décharge → moindre stimulation des afférences Ia → diminution de la sollicitation du MN  $\alpha$  → **diminution de la contraction du muscle**

Plus un muscle a une fct anti gravitaire, plus il sera riche en fuseaux neuromusculaires et donc en motoneurone gamma.

Avant on pensait qu'on avait d'abord un étirement du fuseau, donc stimulation, donc contraction. Mais c'est simultané : **coactivation** de motoneurone alpha et gamma. Il faut stimuler les 2 !!!

Il ajuste le gain du FN en permanence. Il module le degré de sensibilité du fuseau, donc sa capacité à être étiré. On a une info en permanence en retour **ajustement en permanence**

A l'inverse, il peut augmenter sa vitesse de décharge. Si la contraction n'est pas suffisante, il va augmenter sa décharge. Si elle est trop importante il va diminuer sa décharge en même temps que les OTGs.

## **L) Application clinique du réflexe myotatique**

Ce réflexe peut être déclenché lors de l'examen clinique

### **1) Réflexes ostéo-tendineux (ROT)**

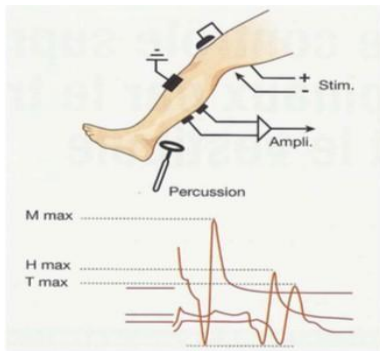
Le principe est de mettre en évidence le réflexe myotatique. On réalise une percussion "brusque et rapide" **d'un tendon** (et non pas de l'os) ⇒ onde de vibration stimule les terminaisons primaires par étirement brusque du muscle ⇒ contraction réflexe du muscle

Réflexes ostéo-tendineux divers :

- **Bicipital** (C5) : contraction du biceps (flexion de l'avant-bras sur le bras)
- **Stylo-radial** (C6)
- **Tricipital** (C7) : extension du coude
- **Ulnaire ou cubito pronateur** (C8)
- **Rotulien** (L4) : extension de la jambe sur la cuisse par contraction du quadriceps, on tape le tendon situé sous la rotule.
- **Achilléen** (S1) : On le voit quand on tape le tendon d'Achille avec une flexion plantaire de la cheville par contraction du triceps sural.

**En clinique** : hyperréflexie ostéotendineuse en cas de **syndrome pyramidal+++**. La disparition de ces réflexes est pathologique !

### Quantification du réflexe achilléen : réflexe myotatique soléaire



- Percussion du tendon d'Achille avec un marteau
- Mise en jeu de l'arc réflexe

Stimulation directe du Nerf sciatique au creux poplité court-circuite le FNM et la terminaison primaire  $\Rightarrow$  volée de PA sur la terminaison primaire et sur le MN  $\alpha$  3 réponses :

- Onde M = réponse précoce du MN  $\alpha$
- Onde H = réponse réflexe H de HOFFMANN qui vient de la stimulation directe des terminaisons primaires
- Onde T = réponse venant de l'étirement du soléaire

Stimulation directe du nerf  $\Rightarrow$  stimulation directe du muscle (on passe outre le réflexe)  $\Rightarrow$  M  
 Stimule le muscle : réponse musculaire car ça ne va pas direct au motoneurone alpha  $\Rightarrow$  T  
 Hoffman : on passe par un arc réflexe  $\rightarrow$  n'a pas exactement la même intensité

### 2) Clonus (rotule, cheville)

Si **secousses** sont **répétitives** (quand on tape on a une contraction et pas plusieurs saccadées)  $\Rightarrow$  **CLONUS**

Ce phénomène apparaît lorsque le réflexe myotatique est sensibilisé par des influences facilitatrices du cerveau. Se voit chez l'animal décérébré.

En clinique : le clonus est recherché lorsqu'on suspecte un syndrome pyramidal

- **Au niveau de la cheville** par un étirement brusque du triceps sural  $\Rightarrow$  contractions répétées du triceps sural en réponse à l'étirement
- **Au niveau du genou** : il provoque un étirement soudain du quadriceps en empaumant la rotule du haut vers le bas

### 3) En cas de lésion médullaire

L'absence de ROT permet de situer le niveau lésionnel.

Quelques réflexes ostéo-tendineux normaux et anormaux (ROT rotulien, ROT achilléen, Hyperréflexie). Des vidéos des réflexes peuvent être visualisées sur le site du collège des enseignants de neurologie ci-dessous :

<https://www.cen-neurologie.fr/videotheque/examen/index.phtml>

Ce site permet de bien visualiser et mémoriser certains aspects typiques de maladie (marche d'un parkinsonien, etc.)

## V) QCM

Lien des vidéos : <https://www.cen-neurologie.fr/premier-cycle/examen-neurologique>.  
(il va falloir fouiller un peu, c'était pas possible de mettre le lien de la vidéo exacte pour chaque QCM)

### **QCM 1 : On gratte le bord externe du pied, du talon vers les orteils (parfois appuyer ++). Quel est le nom du réflexe ?**

C'est un réflexe cutané-plantaire (racine S1)

On ne teste pas un tendon donc ce n'est pas un réflexe ostéo tendineux  
Marteau réflexe sur le bord externe : donc réflexe cutané. C'est donc un réflexe extéroceptif → cutané plantaire

S'il est normal, il doit avoir une flexion de l'hallux, et éventuellement des autres orteils. **Si extension de l'hallux : anormal ⇒ Signe de Babinski.**

Sauf chez le nouveau-né +++ (il est normal en flexion chez le nouveau-né)

### **QCM 2 : On tape avec le marteau réflexe le tendon rotulien. Quel est le nom du réflexe ?**

Nom du réflexe : réflexe rotulien ⇒ donc ostéotendineux

Dans la vidéo, c'est totalement pathologique car :

- A gauche : extension de la jambe gauche
- A droite :
  - Répété ⇒ réflexe polycinétique
  - La jambe gauche bouge aussi ⇒ réflexe diffusé
  - Réflexe vif
  - Il percute aussi le muscle (sur toute la jambe) : réponse identique

C'est donc **pathologique**.

Réflexe ostéo-tendineux myotatique qui amène à la conscience car le patient voit sa jambe bougée.

Normalement : le réflexe est lent, sur une jambe et ne provoque qu'un mouvement.

### **QCM 3 : On tape le tendon achilléen avec le marteau**

Normal : flexion plantaire, contraction du triceps

Réflexe achilléen

### **QCM 4 : On touche le centre de la cornée. Proprioceptif ou extéroceptif ?**

Réflexe extéroceptif : réflexe de fermeture palpébrale

### **QCM 5 : Réflexe extéroceptifs abdominaux**

Réflexes cutanées abdominaux : on teste les racines de T6 à T12

### **QCM 6**

Vidéo intéressante de l'examen neuro d'un nourrisson (ne pas hésiter à la regarder en entier !) : :

[https://www.youtube.com/watch?v=POZCJP-THdc&ab\\_channel=TugaPereira](https://www.youtube.com/watch?v=POZCJP-THdc&ab_channel=TugaPereira)

Réflexe d'enjambement → extéroceptif : contact de la face dorsale du pied avec le bord de la table → déclenchement de l'enjambement ⇒ marche automatique

Si on touche la plante des pieds : il y a flexion des orteils : **grasping plantaire** Si on touche la paume des mains, il agrippe : **grasping palmaire**

Les réflexes de grasping doivent disparaître vers 4-5 mois de vie.