



UNIVERSITÉ IBN ZOHR  
CAMPUS UNIVERSITAIRE-AIT MELLOUL  
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES  
FILIÈRE DES SCIENCES DE LA VIE



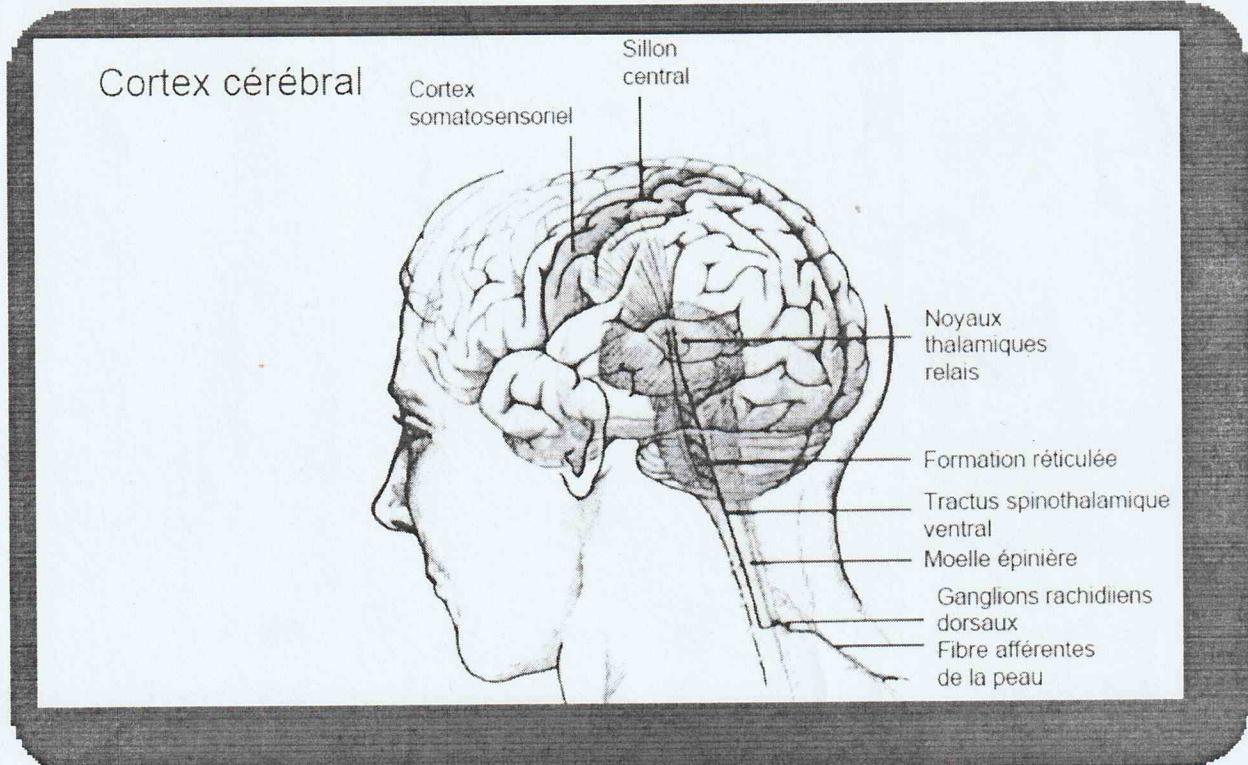
Licence fondamentale Science de la vie

Semestre 5

**Module 27 (S5)**

**Polycopie Cours**

## PHYSIOLOGIE ANIMALE II



2<sup>e</sup> version 2020-2021

Professeur Moulay Abdelmonaim EL HIDAN

## Partie I : Physiologie sensorielle

### I- Les types de sensibilités somesthésiques et classification des récepteurs sensoriels

#### 1. Définitions

Le système somesthésique ou système sensoriel somatique, du grec "*sôma*", corps et "*aïsthêsis*", sensibilité, regroupe les mécanismes nerveux chargés de recueillir les **sensations somatiques** (les sensations du corps). C'est le sens qui nous renseigne

- sur l'état de notre corps
- sur notre environnement, par l'intermédiaire de notre corps.

La somesthésie fait partie intégrante des différentes modalités sensorielles de perception au même titre que les sens spécifiques de l'ouïe, la vision, le goût, l'odorat, l'équilibre.

#### 2. Les modalités sensorielles de la somesthésie

- **Le tact épiceritique:** tact fin, il comprend le toucher, la pression, la vibration et le chatouillement et renseigne sur la taille, la forme et la texture des objets, leur mouvement sur la peau.
- **Le tact protopathique:** tact grossier
- **La proprioception:** il s'agit d'une sensibilité profonde qui renseigne sur la position statique et la vitesse du mouvement des membres et du corps.
- **La nociception:** elle correspond à la perception des stimuli à l'origine de la douleur.
- **Le sens thermoréceptif:** chaud et froid

#### 3. Récepteurs périphériques somatosensoriels

La détection des stimuli somesthésique repose sur l'existence de récepteurs somatosensoriels spécialisés.

##### a) Classification des récepteurs sensoriels

###### ❖ Selon la localisation anatomique

- ♣ Extérocepteurs : stimulus = milieu externe
  - Récepteurs cutanés de la pression, température, stimulus douloureux
  - Organes des sens : goût, odorat, ouïe, vision.
- ♣ Intérocepteurs : Stimulus = milieu interne

- Viscérocepteurs: Organes internes (« Viscères ») et système vasculaire (température, salinité, pH, teneur en gaz, pression, douleur, faim, soif ...)
- ♣ Propriocepteurs :
  - Muscles squelettiques, tendons, articulations, ligaments et tissu conjonctif recouvrant les os et les muscles (mouvement, vitesse, position, intensité de l'effort).
- ❖ Selon le type de stimulus traité
  - ♣ Photorécepteurs : Lumière (Cônes et Bâtonnets)
  - ♣ Chimiorécepteurs:
    - Odeurs ( Récepteurs olfactifs),
    - Saveur ( Récepteurs gustatifs),
    - Changements de composition chimique du sang (osmorécepteurs )
  - ♣ Nocicepteurs : à l'origine de la douleur

### b) Les principaux récepteurs somesthésiques

#### Les récepteurs tactiles cutanés

Chaque type présente des caractéristiques fonctionnelles différentes i.e. chaque type transmet des informations différentes sur les objets. Les deux premiers types de récepteurs (Corpuscules de Meissner et Disques de Merkel) permettent de reconnaître 2 stimulations différentes et rapprochées l'une de l'autre comme étant distinctes et de détecter avec finesse la texture des objets alors que les deux autres types (Corpuscules de Pacini et Corpuscules de Ruffini) permettent de sentir de façon globale le contact avec un objet et de détecter le déplacement d'objets sur de grande région de la peau.

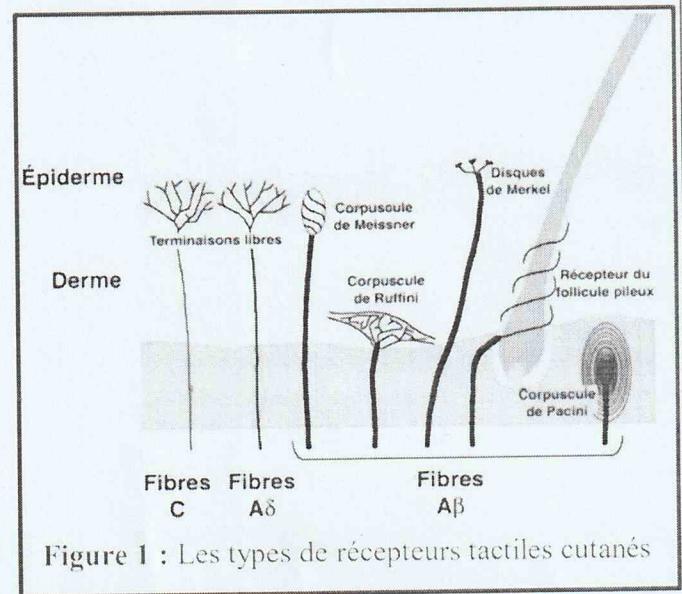


Figure 1 : Les types de récepteurs tactiles cutanés

#### • Corpuscules de Meissner

- Situés dans les couches superficielles de la peau (jonction derme-épiderme)
- Densité élevée au niveau des zones glabres (doigts, lèvres...)
- Capsule de tissu fibreux enfermant plusieurs lamelles de cellules de Schwann et contenant une ou plusieurs fibres afférentes au centre
- Champ récepteur de petite taille de quelques millimètres, bien délimité
- Réponse à des **dépressions minimes de la peau, des mouvements légers de surface, des vibrations lentes**

- Adaptation rapide

- **Disques de Merkel**

- Situés dans les couches superficielles de la peau (jonction derme-épiderme)
- Densité élevée dans le bout des doigts, les lèvres ...
- Terminaisons nerveuses associées à une cellule épithéliale non neuronale formant des contacts synaptiques avec les terminaisons nerveuses
- Champ récepteur de petite taille de quelques millimètres, bien délimité
- Réponse à la **pression légère**; permettent la discrimination statique de formes, de bords et des textures
- Adaptation lente

- **Corpuscules de Pacini**

- Situés dans les couches plus profondes de la peau (derme) et dans le tissu sous-cutané
- Grande capsule en lamelle d'oignons (diamètre 1 mm) avec une terminaison nerveuse au centre
- Champ récepteur large, de limites floues pouvant couvrir un doigt entier voire la moitié de la paume de la main
- Discrimination de **stimuli mobiles, des vibrations rapides**
- 10- 15% des récepteurs cutanés de la main
- Adaptation rapide

- **Corpuscules de Ruffini**

- Situés dans les couches plus profondes de la peau (derme), dans le tissu sous-cutané et les capsules articulaires
- Champ récepteur large, de limites floues pouvant couvrir un doigt entier
- Capsule allongée en fuseau
- Sensibles aux **étirements persistants** que produisent les mouvements des doigts et des membres
- Adaptation lente

## Les mécanorécepteurs proprioceptifs

On distingue **quatre types** de récepteurs musculaires dont deux sont spécifiques: les organes tendineux de Golgi et les fuseaux neuromusculaires (Figure 2).

- **Les corpuscules de Pacini** répondent aux stimuli vibratoires (Fibres A $\beta$ )
- **Les terminaisons nerveuses libres** répondent aux stimuli nociceptifs (fibres A $\delta$  et C)
- **Les organes tendineux de Golgi** sont des mécanorécepteurs proprioceptifs situés à la jonction du tendon et du muscle squelettique. Ils donnent naissance à des **fibres sensorielles afférentes de type Ib** qui sont des fibres myélinisées de gros diamètre à conduction rapide (même vitesse de conduction que les fibres de type Ia). Les organes tendineux de Golgi sont spécifiquement sensibles à la tension du muscle : le stimulus qui les active est la force exercée sur le tendon du muscle. L'organe tendineux de Golgi **code donc la force (la tension) exercée sur le muscle**. Lors d'une contraction active, les fibres Ib issues des organes tendineux de Golgi **réduisent l'activité des motoneurones  $\alpha$  du muscle étiré**. Les fibres Ib se projettent en effet sur les motoneurones du muscle étiré au moyen d'un interneurone spinal inhibiteur (de type Ib). **Ce circuit réflexe régule ainsi la tension musculaire en présence de forces excessives.**
- **Les fuseaux neuromusculaires** sont des mécanorécepteurs proprioceptifs situés au sein même du muscle strié squelettique. Les fuseaux sont constitués de 4 à 10 fibres musculaires spécialisées appelées **fibres musculaires intrafusales**. Les fibres musculaires intrafusales sont plus fines que les fibres musculaires ordinaires (les fibres musculaires striées extrafusales) et n'ont aucun rôle mécanique sur la force développée par le muscle. Ce sont des fibres musculaires modifiées situées dans une capsule conjonctive fibreuse et **disposées parallèlement** aux fibres musculaires ordinaires. Le récepteur sensoriel, situé dans la région centrale du fuseau est constitué par un complexe formé des axones des **fibres sensorielles afférentes de type Ia** (fibres myélinisées de gros diamètre, à conduction rapide) **et de type II** (fibres myélinisées de plus petit diamètre à conduction intermédiaire). Les fibres du groupe II répondent à l'allongement par une activité électrique soutenue (statique ou tonique) durant tout le temps de l'étirement, alors que le groupe Ia répond principalement à la première phase de l'étirement musculaire (réponse

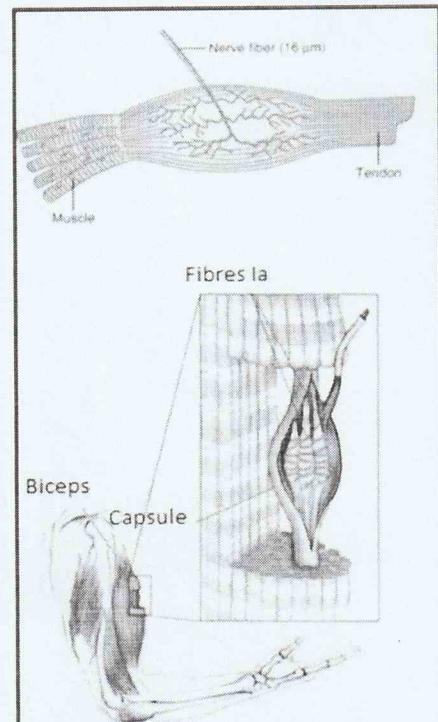


Figure 2 : Les types de récepteurs proprioceptifs

dynamique ou phasique) et d'une manière plus faible au maintien de l'étirement. Les fuseaux neuromusculaires sont à la fois des **indicateurs de longueur du muscle et de variation de longueur du muscle**. Lorsque le muscle est étiré passivement, les fuseaux neuromusculaires le sont également et il apparaît une augmentation de décharge dans les fibres sensorielles afférentes. À l'inverse, lorsque le muscle se raccourcit (lors d'une contraction non physiologique, par stimulation électrique des motoneurones), la fréquence de décharge dans les fibres afférentes sensorielles diminue (le fuseau n'étant pas sensible à la contraction du muscle). En conditions physiologiques, il existe cependant un **mécanisme d'ajustement de la longueur du fuseau** qui lui permet de continuer à informer le système nerveux de la longueur du muscle, quelle que soit cette longueur. Cette adaptation est réalisée par l'intermédiaire des **motoneurones  $\gamma$** .

#### 4. Fonctionnement des récepteurs et codage de l'information sensorielle :

##### a) Transduction

C'est la transformation d'une énergie non spécifique (thermique, chimique, mécanique...) en énergie électro-chimique véhiculée par les neurones: **un récepteur sensoriel convertit le stimulus en potentiels d'action (influx nerveux)** (Figure 3).

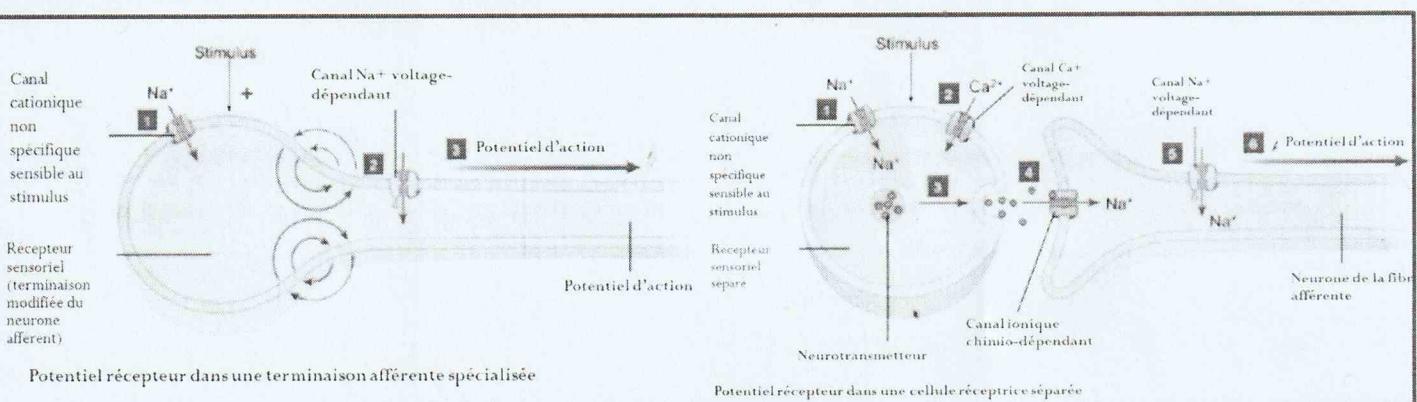


Figure 3 : mécanismes de transduction du stimulus en influx nerveux

##### • Champ récepteur

C'est la zone sensorielle qui modifie l'activité d'un neurone lorsqu'elle est stimulée. Pour la sensibilité tactile, le champ récepteur correspond à la région cutanée dans laquelle un stimulus tactile évoque une réponse neuronale. Les champs récepteurs se chevauchent les uns les autres et sont de tailles différentes selon les zones cutanées. Le pouvoir de discrimination est

inversement proportionnel à la taille des champs récepteurs; le pouvoir de discrimination est maximal au bout des doigts (forte densité de mécanorécepteurs + champ récepteur étroit + forte représentation corticale) : 1 à 2 mm au niveau de la pulpe des doigts versus 40 mm au niveau du dos (Figure 4).

- **Potentiel récepteur**

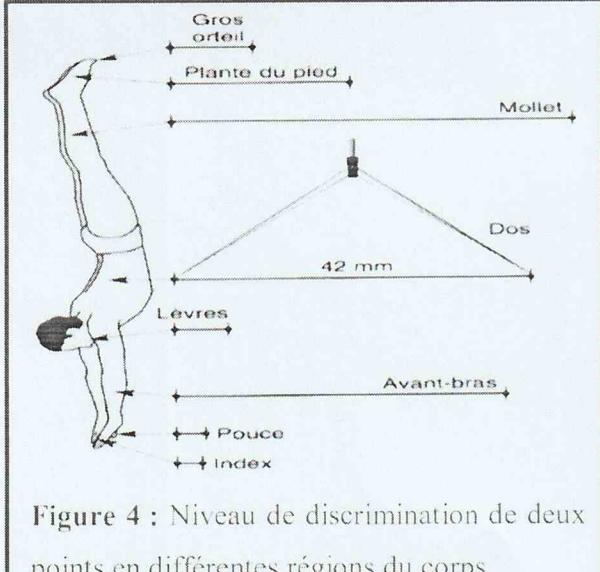
C'est la dépolarislation (variation du potentiel de repos) de la membrane du récepteur sous l'effet du stimulus. Il s'agit d'un potentiel gradué engendré au niveau de la réception du stimulus (au site transducteur). Si ce potentiel atteint le seuil d'excitation, il provoque un potentiel d'action (Figure 5). Par exemple, pour les mécanorécepteurs de type corpuscule de Pacini, la déformation de la capsule entraîne l'ouverture de canaux ioniques mécanosensibles qui génèrent un potentiel de récepteur.

Le potentiel récepteur est :

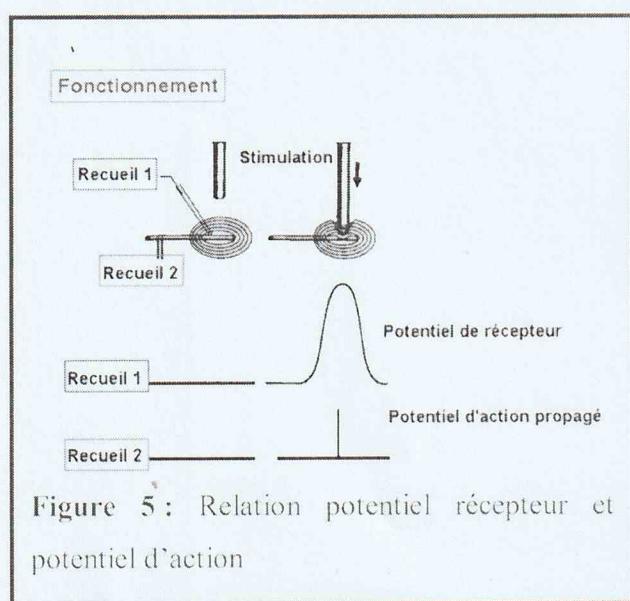
- Local (non propagé)
- Sommable dans le temps et l'espace
- Le plus souvent de durée égale à celle du stimulus
- D'amplitude proportionnelle à l'intensité du stimulus
- Adaptable

### Adaptation du potentiel récepteur (Figure 6)

#### A) Récepteurs phasiques ou à adaptation rapide



**Figure 4 :** Niveau de discrimination de deux points en différentes régions du corps



**Figure 5 :** Relation potentiel récepteur et potentiel d'action

### c) Transmission

La transmission nerveuse correspond à la propagation des influx à travers le système nerveux sensoriel et repose sur la propagation des potentiels d'action par la fibre nerveuse.

## II- Organisation des voies et des centres de l'information sensorielle

### 1. Les afférences périphériques

Le corps cellulaire du premier neurone de la voie afférente est situé dans le **ganglion rachidien des nerfs spinaux**. L'axone du premier neurone a une forme en T et comprend 2 branches: une **branche périphérique** qui se projette sur la périphérie du corps et établit une synapse avec les récepteurs périphériques des téguments (réception du stimulus) et une **branche centrale** qui pénètre dans la corne postérieure de la moelle et se projette sur le SNC.

Les informations en provenance de la périphérie sont véhiculées selon des voies parallèles spécifiques à chaque modalité somesthésique par **deux grandes catégories de fibres**:

**Tableau 1 :** les différents types de fibres nerveuses somesthésiques

Type de fibre nerveuse	Information véhiculée	Gaine de myéline	Diamètre (en micro-mètres)	Vitesse de conduction (en m/s)	
A-alpha	Proprioception	myélinisée	13 - 20	80 - 120	
A-beta	Toucher	myélinisée	6 - 12	35 - 90	
A-delta	Douleur (mécanique et thermique)	myélinisée	1 - 5	5 - 40	
C	Douleur (mécanique, thermique et chimique)	non-myélinisée	0.2 - 1.5	0.5 - 2	

#### • Les fibres myélinisées de gros diamètre (Aα et Aβ)

- Sensibilité profonde consciente proprioceptive et pallesthésique (sensibilité vibratoire), fibres Aα
- Sensibilité profonde inconsciente à l'étiement et à la pression musculaire, fibres Aα

- Réponse rapide par une décharge maximale mais brève
- Diminution de la réponse si maintien du stimulus
- Corpuscules de Meissner et Pacini

### B) Récepteurs toniques ou à adaptation lente

- Décharge maintenue tout au long du stimulus
- Disques de Merkel et Corpuscules de Ruffini
- Propriocepteurs articulaires (pour le maintien de l'équilibre), chimiorécepteurs (substances chimiques dans le sang), nocicepteurs (douleur)

#### b) Codage de l'intensité du stimulus

Le potentiel récepteur est à l'origine des potentiels d'action (PA) qui se propagent le long des axones afférents. Les propriétés dynamiques et statiques du stimulus sont codées par les caractéristiques d'adaptation du récepteur, lente ou rapide, à l'origine respectivement de décharges toniques ou phasiques de PA. L'intensité du stimulus est codée par la fréquence des PA.

En d'autre termes, plus le stimulus est intense, plus le potentiel récepteur sera grand (**codage en intensité**) (figure 7) et plus il y aura de récepteur qui seront stimulés (**codage numérique**). Plus le potentiel récepteur est grand, plus la fréquence des PA sera grande (**codage en fréquence**) (figure 8).

L'organisme peut ainsi faire la différence entre un coup et un contact délicat par exemple

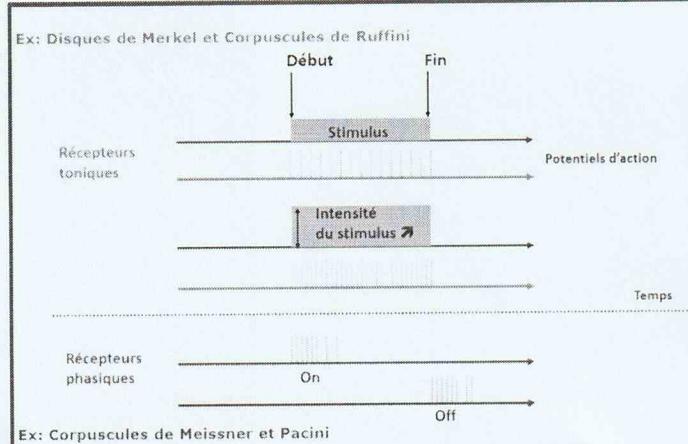


Figure 6 : Types d'adaptation du potentiel récepteur

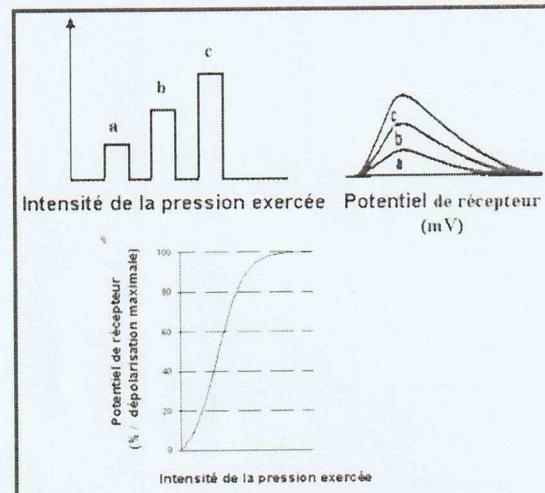


Figure 7 : Relation intensité de stimulation/potentiel récepteur

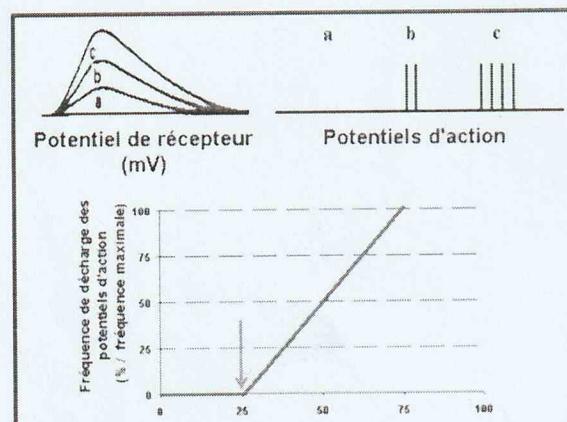


Figure 8 : Relation potentiel récepteur/fréquence de potentiel d'action

- Sensibilité superficielle tactile épiceritique (« fine »), fibres A $\beta$
- Les fibres myélinisées de petit diamètre (A $\delta$ ) et amyéliniques (C)
  - Sensibilité thermique et algique
  - Sensibilité superficielle tactile protopathique (« grossière », non discriminative)

## 2. Les Deux principales voies de projection ascendantes

- Voie de la sensibilité extéroceptive tactile épiceritique et proprioceptive consciente ou voie cordonale postérieure (appellation antérieure "voie lemniscale")

Elle véhicule les **informations tactiles précises** (sensibilité tactile fine et discriminative, toucher et vibrations de la peau) et les **informations proprioceptives conscientes** (position des membres). Elle est constituée d'une **chaîne de 3 neurones** aboutissant au cortex cérébral et est principalement formée par des fibres afférentes myélinisées de gros diamètre. Elle monte à travers les cordons postérieurs de la moelle.

La branche principale de l'axone du **premier neurone** ne fait pas relais au niveau de la corne dorsale et gagne directement le cordon dorsal homolatéral de la moelle pour constituer le **faisceau gracile** (ou faisceau de Goll) issu du membre inférieur, et le **faisceau cunéiforme** (ou faisceau de Burdach) issu du membre supérieur.

Les voies de la sensibilité extéroceptive font relais avec le **deuxième neurone** (deutoneurone) au niveau des **noyaux cervicaux gracieux** (noyau de Goll dans l'ancienne nomenclature) et **cunéiformes** (noyau de Burdach dans l'ancienne nomenclature) à la jonction entre le bulbe et la moelle. Ces deux noyaux sont le siège du premier relais central de cette voie. Cette voie n'a donc pas de relais médullaire. Puis, cette voie (2e neurone) décusse pour former un faisceau de fibres très dense, le **lemnisque médian**. Le lemnisque médian fait relais (2e relais central de cette voie) avec le **troisième neurone du thalamus**. Les neurones des noyaux thalamiques

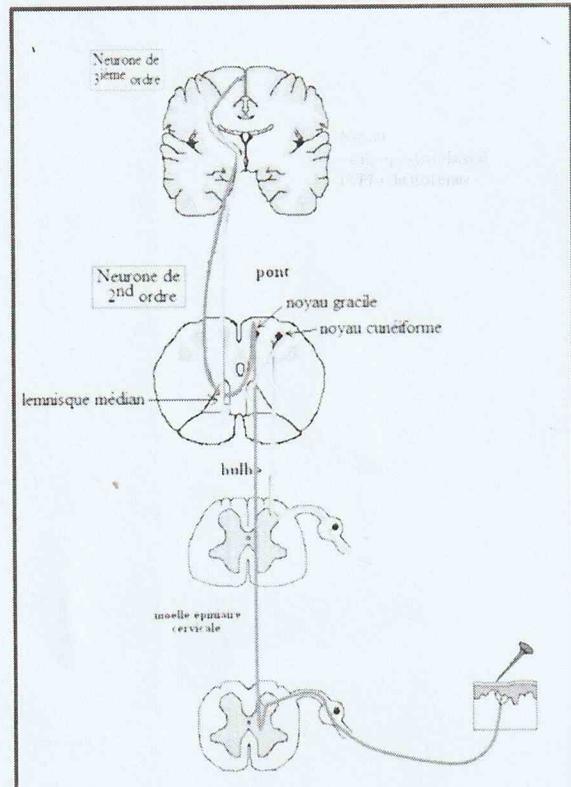


Figure 9 : Voie des colonnes dorsales-  
Voie Lemniscale

se projettent à leur tour sur le cortex somesthésique. Le faisceau lemniscal reste organisé de façon somatopique jusqu'au cortex.

- Voie de la sensibilité extéroceptive tactile **protopathique** (tact grossier) et **thermo-algique** (appellation antérieure "voie extralemniscale"), support des informations nociceptives et thermiques

L'axone du deutoneurone décusse, à l'étage, au niveau de la commissure grise ventrale, et gagne le **cordon antérolatéral controlatéral** de la moelle pour constituer le **faisceau spinothalamique**. Ce faisceau regroupe en moyenne 80 à 90 % des fibres nociceptives

### 3. Cortex somesthésique primaire

Ou circonvolution pariétale ascendante. Il occupe le gyrus post-central (partie antérieure rétrorolandique du lobe pariétal). Le cortex somatosensoriel primaire droit traite l'information tactile et proprioceptive provenant du côté gauche et vice-versa. Il reçoit les informations issues des noyaux thalamiques ventraux postérieurs.

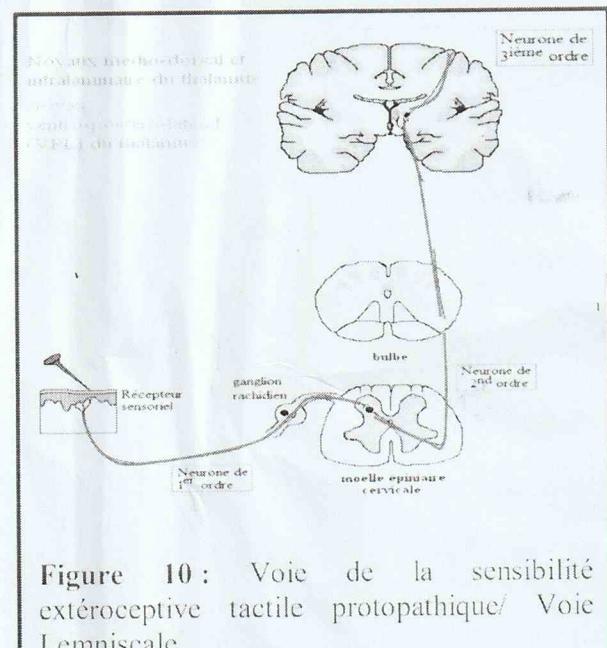


Figure 10 : Voie de la sensibilité extéroceptive tactile protopathique/ Voie Lemniscale

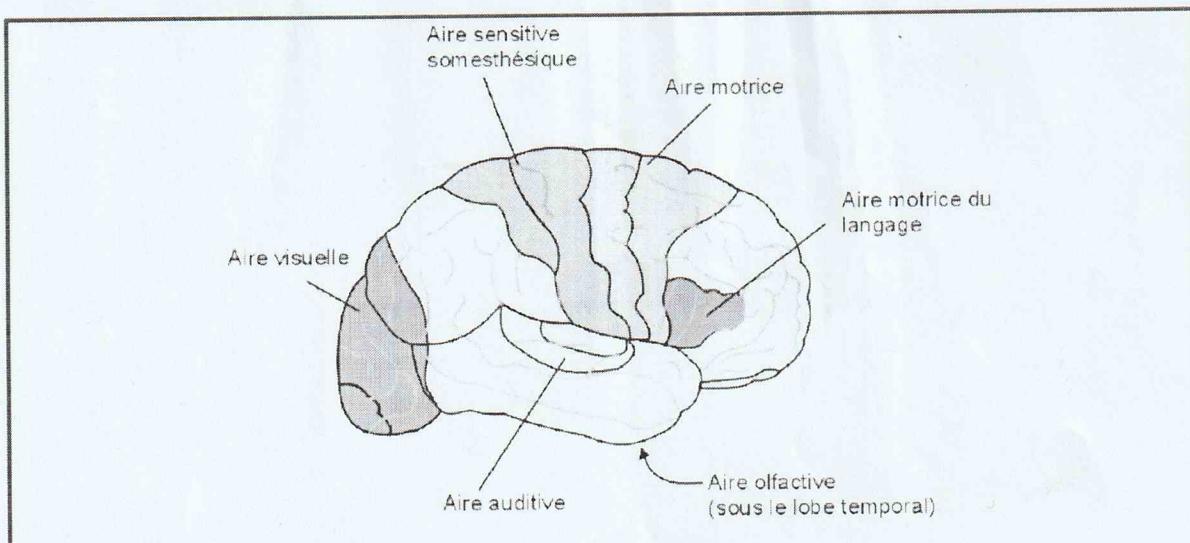
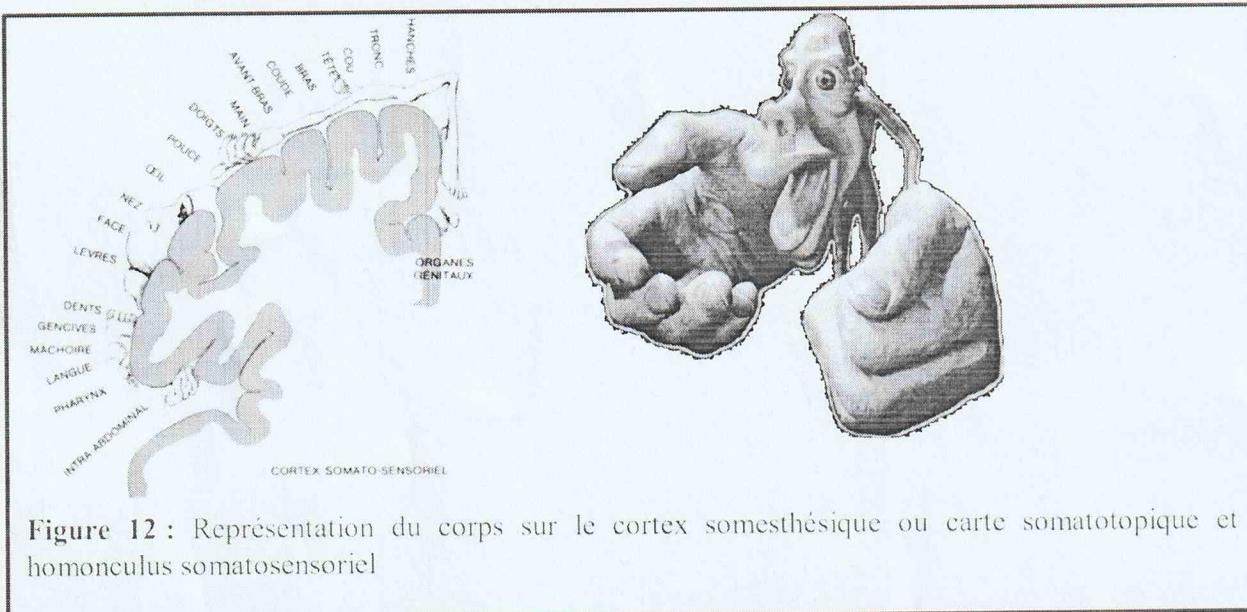


Figure 11 : Divisions fonctionnelles du cortex et localisation de l'aire somesthésique

Chacune de ces aires comporte également une représentation complète du corps, ce sont les cartes somatotopiques ou **homunculus somatosensoriel**. Ces cartes sont disproportionnées par rapport à la surface corporelle réelle. Elles traduisent la richesse de la **densité des récepteurs périphériques** dans chaque partie du corps; ceci a pour effet de majorer la proportion de la représentation corticale des zones corporelles clés sur le plan fonctionnel comme la main et la face.



**Figure 12:** Représentation du corps sur le cortex somesthésique ou carte somatotopique et homunculus somatosensoriel

## Partie II : Physiologie de la motricité

### I- Le muscle et son innervation

Les muscles sont des organes charnus dont le rôle est de part leur contraction de mouvoir activement les segments osseux sur lesquels ils s'insèrent ou les viscères auxquels ils sont affectés. Les fonctions du tissu musculaire :

- Production du mouvement
- Maintien de la posture
- Stabilisation des articulations
- Dégagement de chaleur

Il y a plus de 600 muscles squelettiques.

#### 1. Constituants du muscle

##### a) Organisation macroscopique

Le muscle squelettique est composé de faisceaux musculaires eux-mêmes formés d'un ensemble de fibres musculaires. Chaque muscle est inséré sur l'os par l'intermédiaire de tendons constitués essentiellement de tissu fibreux élastique et solide. Les fibres musculaires sont entourées de différentes couches de tissu conjonctif: En effet, chaque fibre est revêtue d'une fine gaine de tissu conjonctif: **endomysium**. Les faisceaux sont délimités par une gaine plus épaisse le **périmysium**. L'ensemble du muscle est renforcé et recouvert par une gaine épaisse: l'**épimysium**.

Outre les fibres musculaires et le tissu conjonctif qui le constituent, un muscle est parcouru par des vaisseaux sanguins et des fibres nerveuses. L'activité normale d'un muscle squelettique est tributaire de son innervation. Chaque fibre musculaire squelettique est en contact avec une terminaison nerveuse qui régit son activité.

Assurée par des artères et des veines, la vascularisation est essentielle au fonctionnement musculaire. Les artères fournissent au tissu musculaire les nutriments et l'oxygène nécessaires à son fonctionnement. Les veines suivent le chemin inverse de celui des artères. La circulation de retour débarrasse le muscle des déchets provenant du travail musculaire (acide lactique, CO<sub>2</sub>).

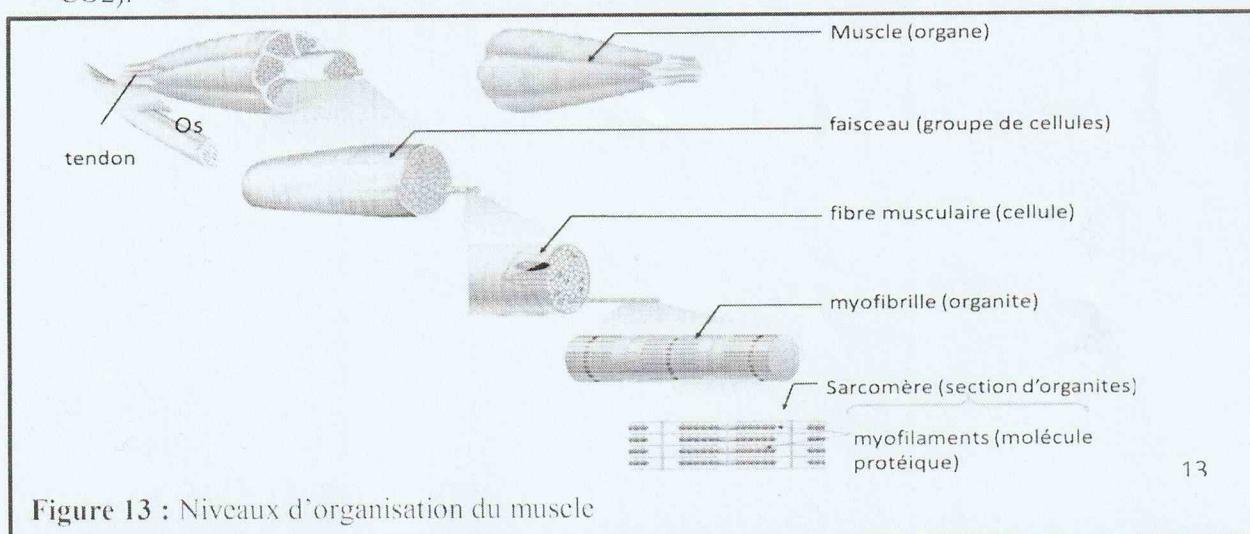


Figure 13 : Niveaux d'organisation du muscle

## b) Organisation microscopique ou cellulaire

Chaque faisceau musculaire est formé d'un ensemble de fibres musculaires. La fibre musculaire est une cellule allongée dont la longueur peut atteindre plusieurs centimètres.

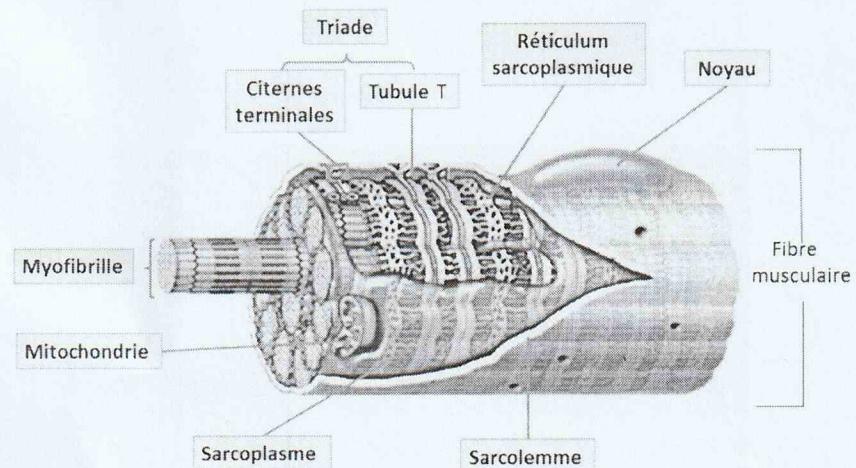


Figure 14 : Organisation microscopique de la cellule musculaire

### ♣ Noyaux :

La fibre musculaire possède plusieurs centaines de noyaux, situés en périphérie de la cellule contre la membrane plasmique, ils sont ovoïdes et allongés dans le sens de la fibre.

### ♣ Sarcolemme

La fibre musculaire est entourée d'une membrane : le sarcolemme. Il présente de fines invaginations tubulaires (tubules transverses ou tubules T) réparties régulièrement le long de la fibre musculaire et y pénétrant profondément.

### ♣ Sarcoplasme :

Le cytoplasme de la fibre musculaire, appelé sarcoplasme, contient les organites responsables de son fonctionnement (réseau endoplasmique, mitochondries,...) et le cytosquelette. Dans le sarcoplasme, se trouvent des réserves importantes de glycogène ainsi que la myoglobine.

### ♣ Réticulum endoplasmique lisse et tubule T

La fibre musculaire possède un réseau endoplasmique lisse particulièrement développé. Celui-ci forme des expansions de telle sorte que 2 sacs de réseau endoplasmique entourent chaque tubule T pour former une triade. La triade est la structure qui permet le passage du signal nerveux (Potentiel d'action) et la libération du calcium à partir du réseau, c'est-à-dire le couplage de l'excitation à la contraction.

### ♣ Myofibrilles

L'essentiel du cytosquelette musculaire est constitué de myofibrilles qui sont les éléments contractiles des cellules des muscles squelettiques. Chaque myofibrille est composée d'une chaîne d'unités contractiles répétitives, les sarcomères.

#### ♣ Myofilaments

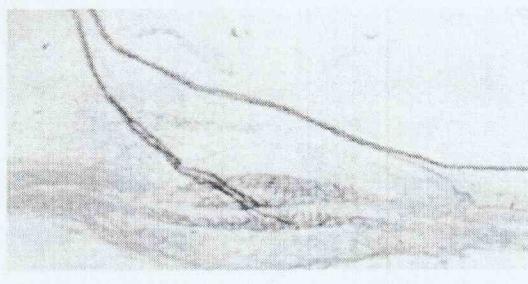
Au niveau moléculaire, les stries des myofibrilles sont formées par une disposition ordonnée de deux types de filaments de protéine ou myofilaments à l'intérieur du sarcomère. Les filaments épais sont composés de molécules de myosine. Les filaments fins sont composés principalement d'actine.

#### ♣ Mitochondries

Le muscle est une véritable usine métabolique consommant de l'énergie. Le sarcoplasme d'une fibre musculaire contient de très nombreuses mitochondries. Ce sont elles qui produisent de l'énergie (ATP) directement utilisable par la fibre musculaire pour contracter ses myofibrilles.

#### c) Le fuseau neuromusculaire

C'est un mécanorécepteur constitué de fibres musculaires modifiées. Disposé parallèlement aux fibres du muscle, il est sensible à l'allongement de celui-ci, et traduit un stimulus mécanique en un message nerveux. Ces fuseaux sont des récepteurs sensoriels. Ils jouent donc un rôle important dans la proprioception statique, ainsi que dans la kinesthésie



Fuseau neuromusculaire, récepteur de l'étirement (x500)

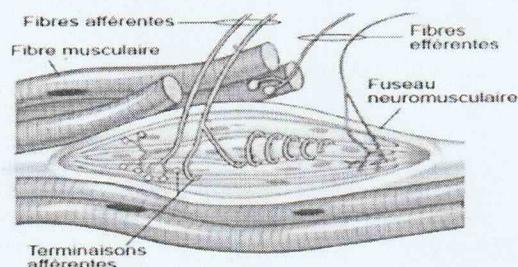


Figure 15 : Structure du fuseau neuromusculaire

#### d) Les attaches du muscle

Peuvent être directes ou indirectes:

- **Attaches directe:** l'épimysium du muscle est soudé au périoste de l'os ou au périchondre du cartilage
- **Attaches indirecte :** les plus nombreuses; les enveloppes de tissus conjonctif se joignent à un tendon cylindrique (fibres collagénées résistantes)

#### 2. Propriétés mécaniques

##### a) La secousse musculaire

C'est la réponse d'un muscle à un seul stimulus liminaire de courte durée: le muscle se contracte rapidement, puis se relâche. Une secousse peut être plus ou moins vigoureuse, suivant le nombre d'unités motrices qui ont été activées.

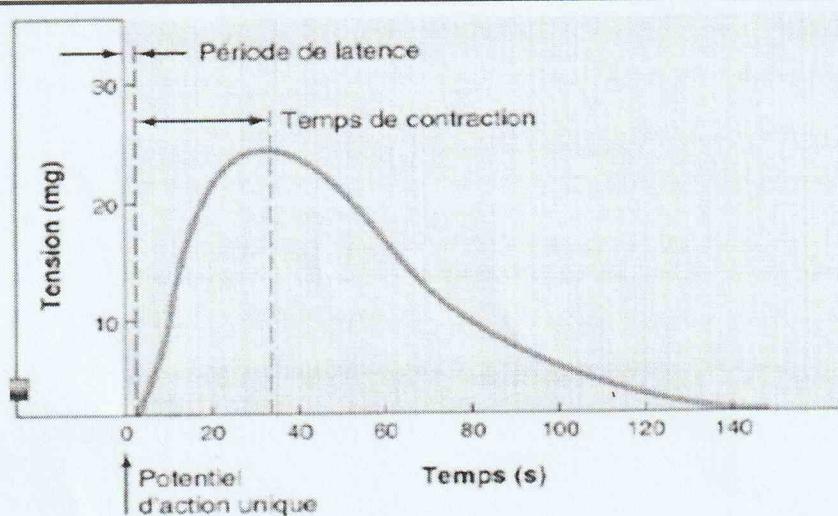


Figure 16 : Les phases de la secousse musculaire

### b) Les phases de la secousse musculaire (figure 16)

**La période de latence** dure pendant les quelques millisecondes qui suivent la stimulation, c'est à dire le temps du couplage excitation-contraction; le myogramme n'enregistre alors aucune réponse.

**La période de contraction** est l'intervalle de temps qui s'écoule entre le début du raccourcissement et le maximum de la force de tension, pendant lequel le tracé du myogramme forme un pic. Cette étape dure de 10 à 100 ms. Si la tension dépasse la résistance représentée par un poids qui y est attaché, le muscle raccourcit.

**La période de relâchement**, au cours de laquelle la force de contraction ne s'exerce plus; la tension du muscle diminue, puis disparaît complètement, et le tracé revient à sa valeur d'origine. Si le muscle s'est raccourci pendant la contraction, il reprend sa longueur initiale.

### c) Réponses graduées du muscle :

Les contractions musculaires sont relativement longues et continues et leur force varie en fonction des besoins. Ces divers degrés de contraction musculaire (qui sont évidemment indispensables à la régulation adéquate des mouvements du squelette) sont appelés réponses graduées. La contraction musculaire peut être modulée de deux façons :

- ♣ *La sommation temporelle:*

C'est-à-dire l'augmentation de la fréquence de stimulation, une 2ème contraction s'ajoute à la précédente qu'elle se termine ce qui augmente la force de contraction (sommation des deux contractions). Si la fréquence de stimulation (c'est-à-dire le nombre de stimulation) s'accélère

davantage, tout signe de relâchement disparaît et les contractions se fusionnent en une longue contraction régulière et continue (Figure 17).

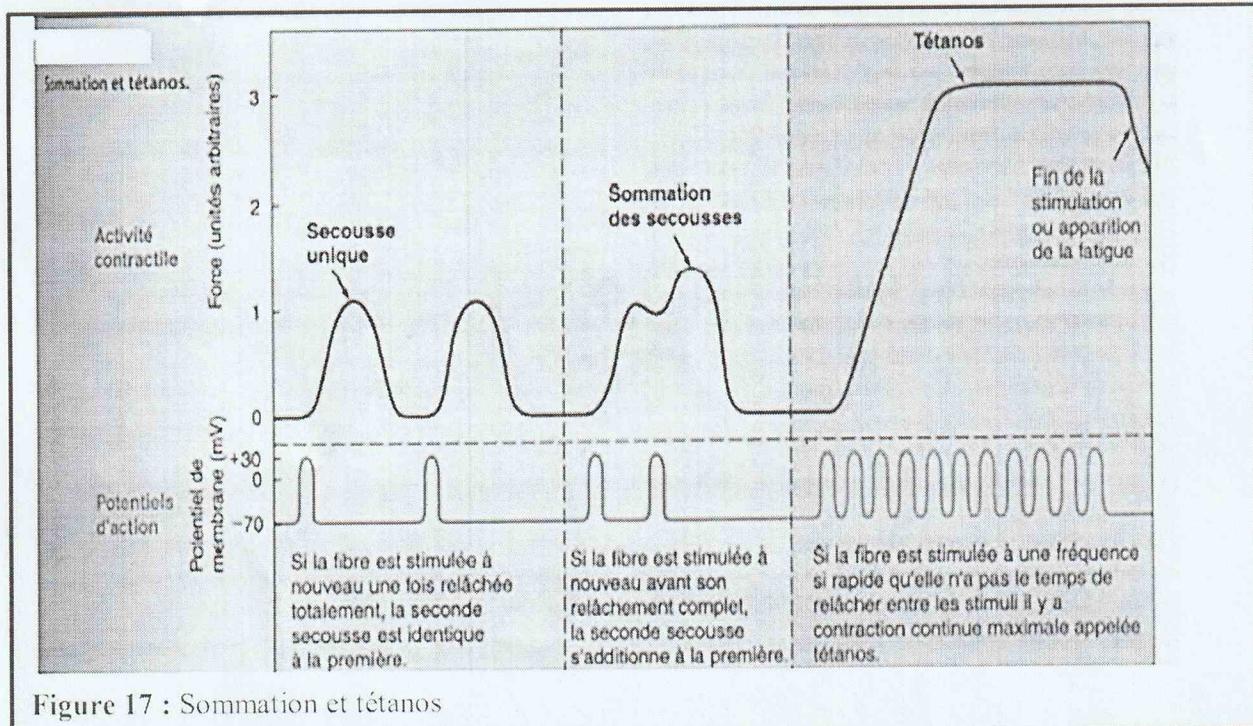


Figure 17 : Sommation et tétanos

✿ *La sommation spatiale:*

C'est l'augmentation du nombre d'unités motrices qui se contractent simultanément par l'augmentation de l'intensité du stimulus qu'envoie le système nerveux central à un muscle; ce qui augmente la force musculaire.

**d) Tonus musculaire**

On qualifie les muscles squelettiques de «volontaires», mais même les muscles au repos sont presque toujours légèrement contractés: ce phénomène est appelé tonus musculaire. Il est dû à des réflexes spinaux qui activent un groupe d'unités motrices, puis un autre, en réaction à l'activation des récepteurs de l'étirement situés dans les muscles et les tendons. Le tonus musculaire ne produit aucun mouvement, il permet aux muscles de rester fermes et prêts à répondre à une stimulation. Le tonus des muscles squelettiques stabilise aussi les articulations et assure le maintien de la posture

**e) Contraction isotonique et contraction isométrique:**

Les muscles ne se raccourcissent pas toujours lors d'une contraction. Le terme contraction désigne l'application d'une force par un muscle dont les têtes de myosine sont actives.

La force exercée sur un objet par un muscle contracté est appelée tension musculaire et on nomme charge le poids, ou force de résistance, opposé au muscle par l'objet. Comme la tension musculaire et la charge sont des forces opposées, la tension musculaire doit être plus grande que la charge à déplacer.

Le muscle se raccourcit ou s'allonge réduisant ainsi l'angle de l'articulation osseuse et déplace la charge. La tension musculaire reste constante pendant la plus grande partie de la contraction. Elle est dite **isotonique** (tension constante). Quand un muscle développe une tension mais ne se raccourcit pas et ne s'allonge pas; la contraction est dite **isométrique** (longueur constante)

Dans les deux types de contraction musculaire, les phénomènes électrochimiques et mécaniques qui surviennent sont les mêmes, bien que le résultat soit différent. Durant une contraction isotonique, les filaments minces (d'actine) glissent, alors que dans une contraction isométrique, les têtes de myosine exercent une force mais ne parviennent pas à les déplacer.

On qualifie habituellement d'isotoniques les contractions qui provoquent des mouvements bien visibles, comme ceux des jambes pendant la marche ou un coup de pied. On appelle isométriques celles qui servent surtout au maintien de la position debout ou à la stabilité des articulations pendant les mouvements d'autres parties du corps.

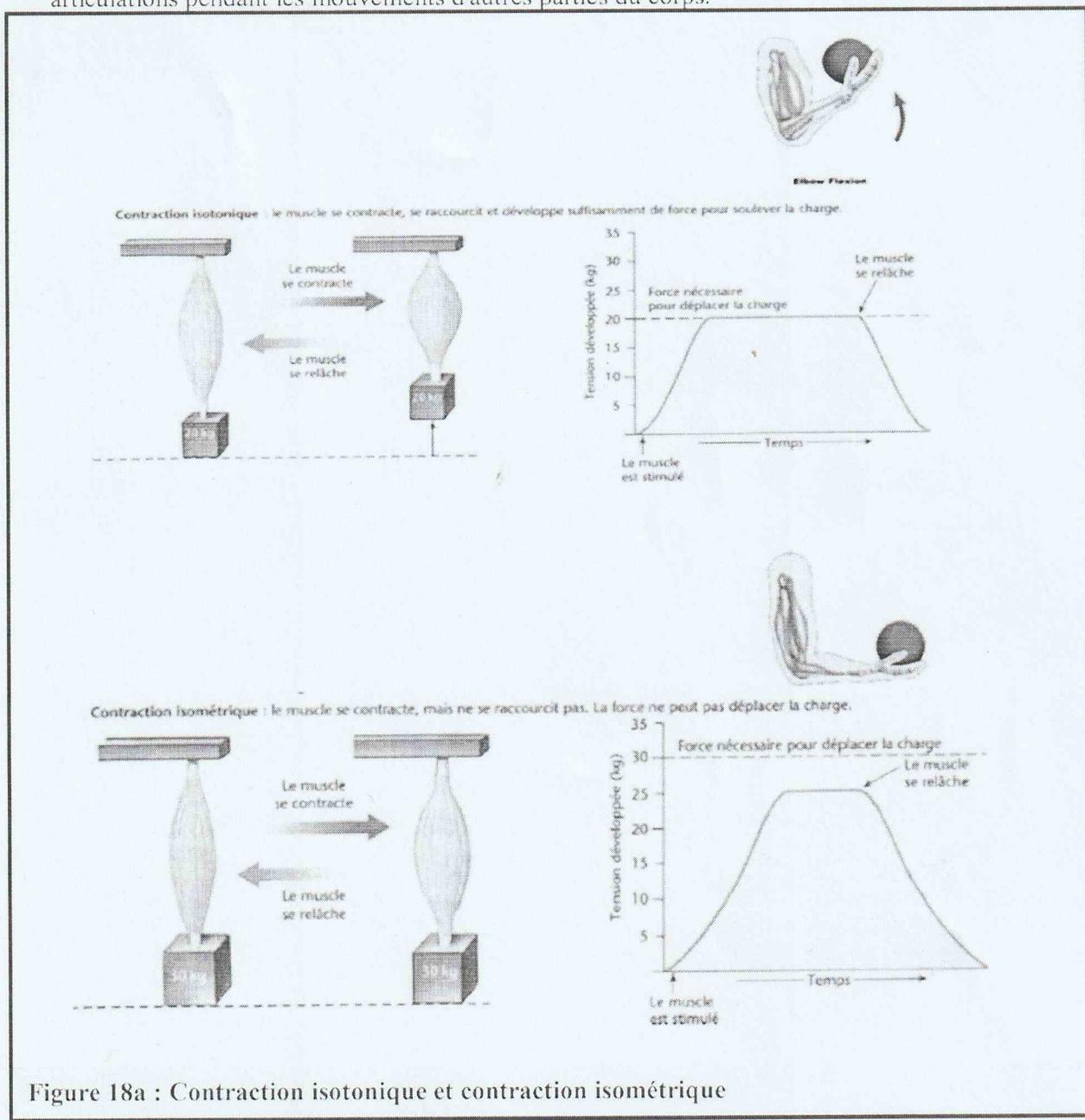


Figure 18a : Contraction isotonique et contraction isométrique

### 3. Innervation du muscle squelettique

#### a) - Innervation sensitive

Voir partie : « Les mécanorécepteurs proprioceptifs »

#### b) - Innervation motrice

##### • Les motoneurones

Ils constituent la voie de sortie du système nerveux central ou la voie finale de tout acte moteur. Les corps cellulaires des motoneurones sont situés soit **dans le tronc cérébral**, soit dans **la corne ventrale** de la substance grise de la moelle épinière. Chaque motoneurone possède un axone qui part du système nerveux central pour innérer les fibres musculaires d'un muscle.

##### • Types de motoneurones

On distingue les **motoneurones alpha** et les **motoneurones gamma** (30% des motoneurones). Pour un muscle donné, les deux types de motoneurones sont juxtaposés les uns à côté des autres dans la corne antérieure de la moelle.

Les **motoneurones alpha** (ou motoneurones primaires) assurent la transmission des commandes motrices volontaires ou réflexes aux effecteurs, les muscles squelettiques. Ils constituent la voie finale commune de la motricité.

Les **motoneurones de type γ (gamma)**, de diamètre plus petit et donc de conduction moins rapide que les motoneurones α, sont destinés aux fibres musculaires intrafusales (récepteurs sensoriels tendino-musculaires, ajustant ainsi leur sensibilité à l'étirement). Ces motoneurones participent à la régulation des réflexes myotatiques.

Chaque motoneurone médullaire innervé des fibres musculaires appartenant à un seul muscle et l'ensemble des motoneurones innervant un muscle particulier (**le pool de motoneurones** de ce muscle) se rassemblent en amas cellulaires cylindriques s'étagant sur un ou plusieurs segments parallèlement à l'axe longitudinal de la moelle.

##### • Organisation des motoneurones

Il existe une double organisation somatotopique des motoneurones, selon **l'axe longitudinal** et selon **l'axe médio-latéral** de la moelle:

► Les motoneurones qui innervent les extrémités supérieures sont situés dans le renflement cervical de la moelle, ceux destinés aux membres inférieurs sont situés dans le renflement lombosacré. Ces motoneurones forment des colonnes qui s'étendent sur un ou deux

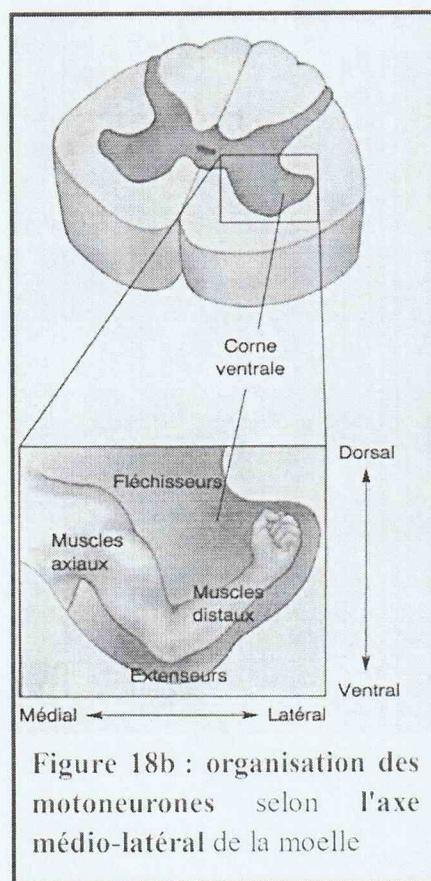


Figure 18b : organisation des motoneurones selon l'axe médio-latéral de la moelle

segments spinaux. Les motoneurones qui innervent la musculature axiale (du tronc) sont situés dans une colonne qui couvre la totalité de la moelle.

Ainsi plus médiane que les motoneurones des membres au niveau des renflements médullaires. Les motoneurones qui innervent les muscles des membres sont eux-mêmes disposés de plus en plus latéralement pour des muscles de plus en plus distaux : les motoneurones des muscles proximaux sont ainsi plus médians que les motoneurones des extrémités distales.

#### ♦ Notion de l'unité motrice

On appelle **unité motrice** l'ensemble constitué par **un motoneurone et les fibres musculaires qu'il innerve**.

La taille des unités motrices est proportionnelle à la précision du mouvement lié au muscle envisagé, les muscles du globe oculaire contrôlant des mouvements très fins de l'œil sont composés de très petites unités motrices (3 à 4 fibres musculaires pour un motoneurone). Les unités motrices du biceps brachial, contrôlant des mouvements puissants et relativement moins précis, comprennent une centaine de fibres musculaires pour un motoneurone - celle du quadriceps près de 2 000.

#### ♦ Classification des unités motrices

Une unité motrice contracte toujours le même type de fibre ; un même motoneurone innervé un seul type de fibres. Par conséquent, il existe une classification des unités motrices semblable à celle des fibres musculaires :

**Les unités motrices rapides et fatigables** (FF : *fast fatigable*): elles se contractent et se relâchent rapidement. Ce sont les fibres qui développent la force la plus grande mais elles se fatiguent vite.

**Les unités motrices lentes** (S : *slow*): elles se contractent lentement et la force qu'elles développent reste très en-dessous de la force développée par les précédentes; en revanche, elles sont résistantes à la fatigue.

**Les unités motrices rapides et résistantes à la fatigue** (FR: *fatigue-resistant*): elles ont des propriétés intermédiaires par rapport aux deux groupes précédents.

#### ♦ Régulation de la force motrice

Elle est obtenue par deux mécanismes

**Augmentation** ou diminution du nombre d'**unités motrices activées**. L'augmentation du nombre d'unités correspond à un **recrutement spatial** d'unités motrices: les premières unités recrutées sont les unités S puis les unités FR et enfin les unités FF. Par exemple, le maintien

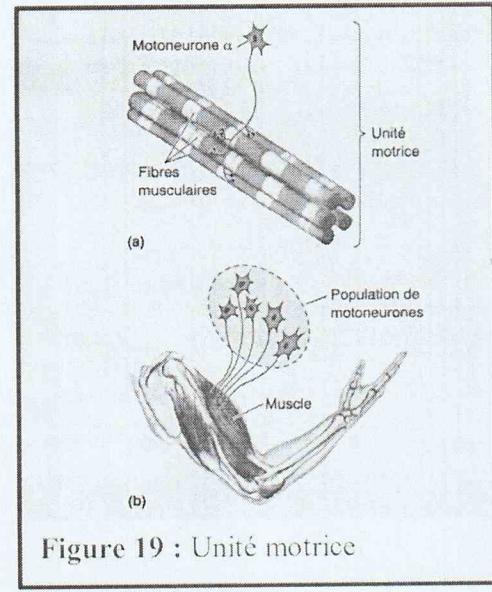


Figure 19 : Unité motrice

de la posture debout, la marche, la course puis le saut nécessitent une augmentation de la force développée et le recours progressif aux unités S, FR puis FF.

**Augmentation ou diminution de la fréquence de décharge des motoneurones.** L'augmentation de la force liée à l'augmentation de la fréquence de décharge des motoneurones correspond à une **sommation temporelle** des contractions musculaires: une fibre musculaire se contracte sous l'effet d'un nouveau PA avant de s'être complètement relâchée.

## II- Contrôle de l'unité motrice

### 1. Contrôle périphérique :

Le réflexe spinal représente une réponse motrice simple et relativement stéréotypée en réponse à un type de stimulus spécifique. Les activités réflexes ne dépendent pas des ordres émanant des centres encéphaliques. Dans les conditions normales, les réflexes spinaux sont cependant profondément modulés par les structures centrales qui les amplifient ou les diminuent.

Le trajet des influx nerveux qui produisent un réflexe est appelé *arc réflexe*.

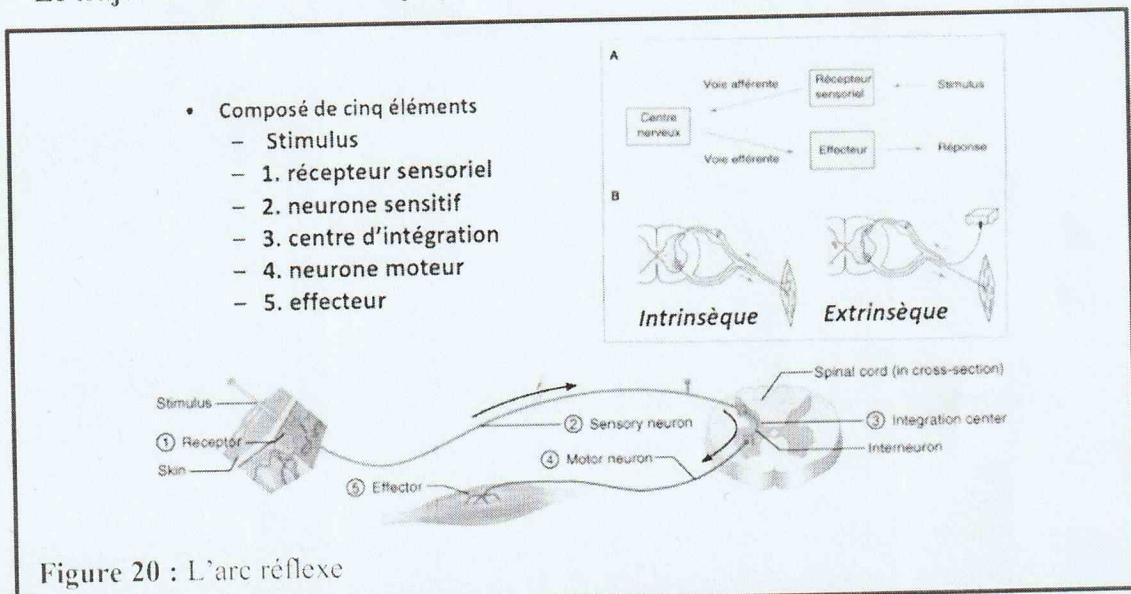


Figure 20 : L'arc réflexe

En fonction de la localisation des récepteurs sensoriels par rapport à l'effecteur musculaire, on distingue deux classes de réflexes médullaires :

- a) **Réflexes intrinsèques** : déclenchés par des récepteurs situés dans l'organe effecteur :
  - Le réflexe myotatique (récepteur = FNM)

Le réflexe myotatique (ou réflexe d'étirement) est un réflexe monosynaptique. Il correspond à la contraction d'un muscle en réponse à son étirement involontaire. Lorsqu'on étire un muscle, celui-ci développe une tension qui va durer aussi longtemps que dure l'étirement. Cette tension s'oppose à l'étirement et vise à maintenir constante la longueur du muscle (c'est-à-dire à ramener le muscle à sa longueur initiale) (figure 21).

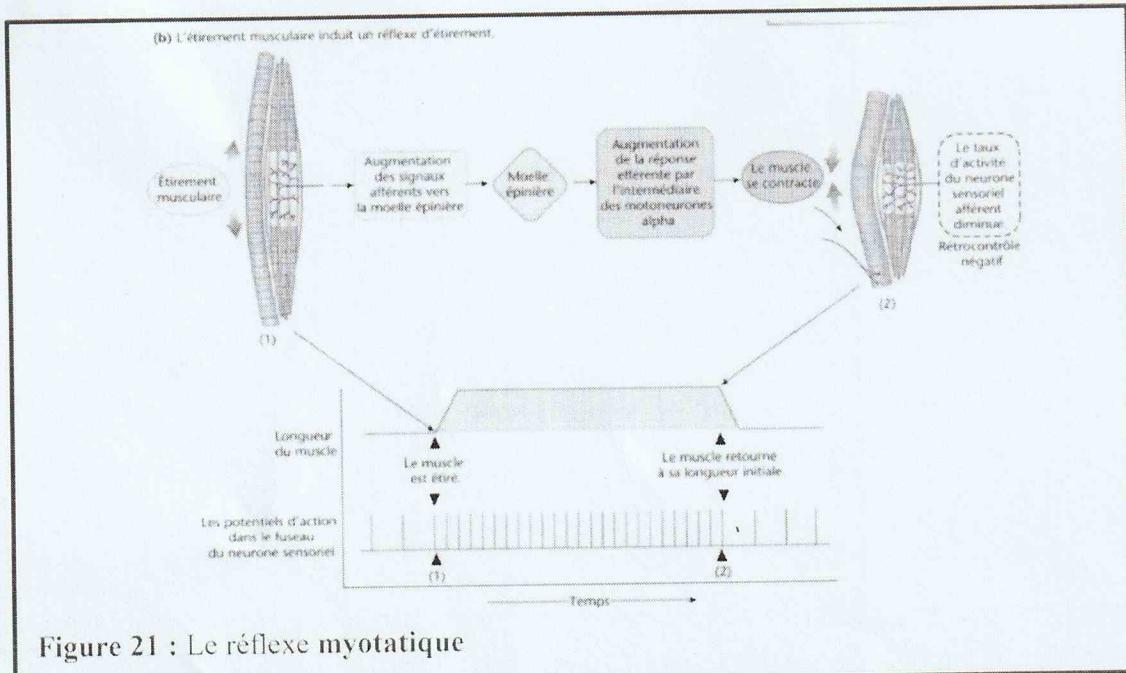


Figure 21 : Le réflexe myotatique

Si on sectionne le nerf mixte issu du muscle, le même étirement n'engendre plus qu'une petite tension due cette fois-ci aux éléments viscoélastiques du muscle. La différence entre les deux tensions correspond à la tension développée par le réflexe myotatique (Figure 22).

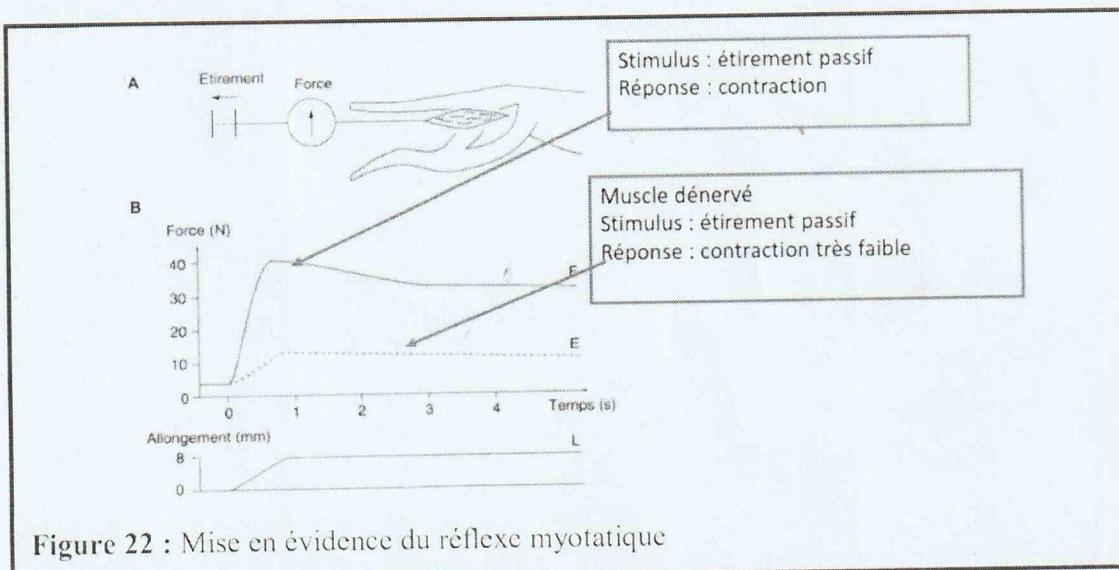


Figure 22 : Mise en évidence du réflexe myotatique

Ce réflexe représente l'activité la plus rapide sur le plan moteur. Il contribue au tonus musculaire et joue un rôle fondamental dans les processus antigravitaires.

#### Fonctionnement du réflexe myotatique

Le réflexe myotatique trouve son origine dans les fuseaux neuromusculaires. Les afférences sensitives issues des fuseaux neuromusculaires sont des fibres myélinisées de type Ia et II (les fibres de plus gros diamètre et les plus rapides de l'organisme). Ces fibres représentent la branche périphérique de l'axone en T des neurones sensoriels dont les corps cellulaires sont

localisés dans le ganglion spinal rachidien. La branche proximale des axones des fibres sensorielles pénètre dans la moelle épinière par les racines dorsales et remonte vers les centres somesthésiques supérieurs.

Ces axones se divisent entre temps au sein de la substance grise de la moelle épinière et émettent des branches collatérales qui excitent

- de façon monosynaptique, les motoneurones  $\alpha$  du muscle étiré, situés dans la corne antérieure de la moelle
- de façon monosynaptique, les motoneurones  $\alpha$  des muscles synergiques du muscle étiré
- des interneurones médullaires de type Ia, inhibiteurs des muscles antagonistes du muscle étiré

Les fibres sensorielles issues des fuseaux neuromusculaires et les motoneurones  $\alpha$  sur lesquels elles agissent constituent l'arc réflexe myotatique. L'organisation de cet arc réflexe, appelée innervation réciproque, permet d'activer un groupe de motoneurones et de contracter un groupe musculaire donné (par exemple les muscles extenseurs de la jambe, droit antérieur de la cuisse et ses muscles synergiques, comme le vaste intermédiaire) et d'inhiber simultanément les motoneurones des muscles antagonistes (ici les fléchisseurs de la jambe, comme le semi-tendineux).

Dans le cas de l'étirement passif d'un muscle extenseur (sous l'action du poids que supporte le muscle ou lors de la recherche d'un réflexe ostéo-tendineux au moyen d'un marteau réflexe), l'étirement de la région centrale du fusail neuromusculaire entraîne la dépolarisation des axones des fibres Ia et II par ouverture des canaux ioniques mécanosensibles. Cet étirement entraîne une décharge de potentiels d'action dans les fibres sensorielles de fréquence proportionnelle à l'allongement (codage statique) et à la vitesse de l'elongation du muscle (codage dynamique).

Les messages issus des fuseaux neuromusculaires de l'extenseur parviennent directement aux motoneurones  $\alpha$  de l'extenseur par l'intermédiaire d'une seule synapse, il s'agit d'un réflexe monosynaptique. Cette synapse est excitatrice et la libération synaptique de neurotransmetteur active les motoneurones  $\alpha$  de l'extenseur. Cette excitation augmente l'activité des motoneurones  $\alpha$ : elle augmente la fréquence des PA et par conséquent contracte le muscle extenseur.

La synapse de la fibre Ia sur l'interneurone Ia est elle aussi excitatrice alors que la synapse de l'interneurone sur le motoneurone  $\alpha$  est inhibitrice. La libération de neurotransmetteur sur les récepteurs post-synaptiques provoque ici l'hyperpolarisation du motoneurone et par conséquent diminue son activité. L'interposition de l'interneurone a donc un effet opposé sur le muscle fléchisseur que sur le muscle extenseur : le muscle fléchisseur se relâche.

Les deux muscles présentent ainsi un comportement antagoniste au cours du réflexe myotatique. La contraction du muscle activé (extenseur) corrige son étirement et le relâchement du muscle antagoniste (fléchisseur) permet la contraction et donc le mouvement

induit par le muscle extenseur. Cette balance contraction/décontraction musculaire permet le mouvement réflexe et participe au maintien de la posture lorsqu'il s'agit des muscles antigravitaires.

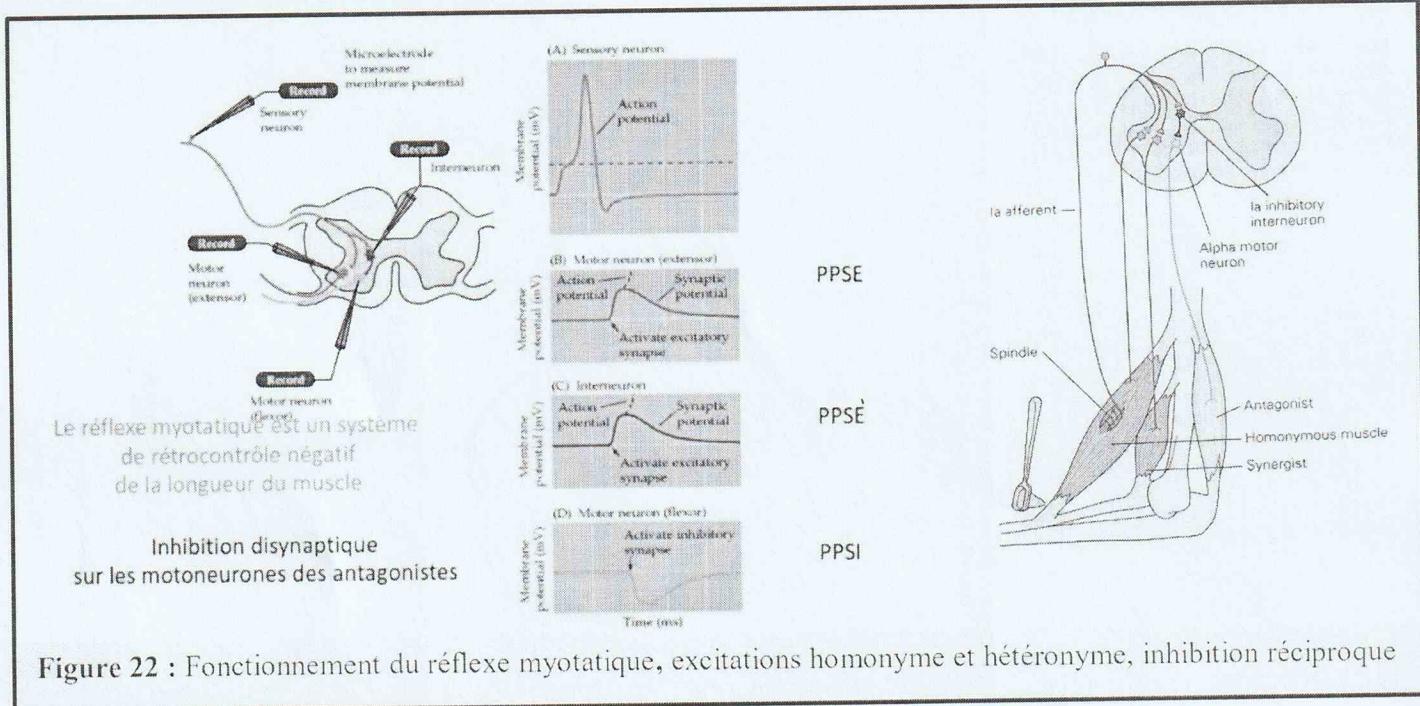


Figure 22 : Fonctionnement du réflexe myotatique, excitations homonyme et hétéronyme, inhibition réciproque

### Rôle physiologique du réflexe myotatique

Quand un muscle est étiré il reprend sa longueur initiale par **voie réflexe**: système rigide. Le **réflexe myotatique**, isolé de toute régulation, s'oppose donc au mouvement. Ce réflexe est en permanence mis en jeu dans le **maintien de la posture**.

1) **Maintien d'une articulation** dans l'espace à la même position

2) C'est aussi la **contraction réflexe permanente (tonique)** des muscles extenseurs des membres, en permanence étirés par la pesanteur, (maintien de l'ouverture des articulations des membres inférieurs).

Sous l'effet de la pesanteur, nos muscles sont sans cesse étirés. Par le biais de réflexe, ils s'opposent à cet étirement et reste donc contractés, de manière tonique.

### Le réflexe tendineux de Golgi (récepteur de Golgi)

Le réflexe myotatique inverse prend son origine dans l'activation des récepteurs tendineux de Golgi. L'organe tendineux de Golgi informe le système nerveux de la tension exercée sur le muscle. Les fibres sensorielles afférentes se projettent sur des interneurones médullaires inhibiteurs qui inhibent les motoneurones  $\alpha$  du muscle concerné et sur des interneurones excitateurs qui excitent les motoneurones alpha des muscles antagonistes. L'organisation de cet arc réflexe est donc opposée à celle de l'arc réflexe myotatique (d'où son nom). La

fonction de du réflexe myotatique inverse est cependant complémentaire de celle du réflexe myotatique d'étirement.

**Le réflexe tendineux de Golgi protège le muscle d'une charge trop lourde, en induisant sa relaxation et la chute de la charge.**

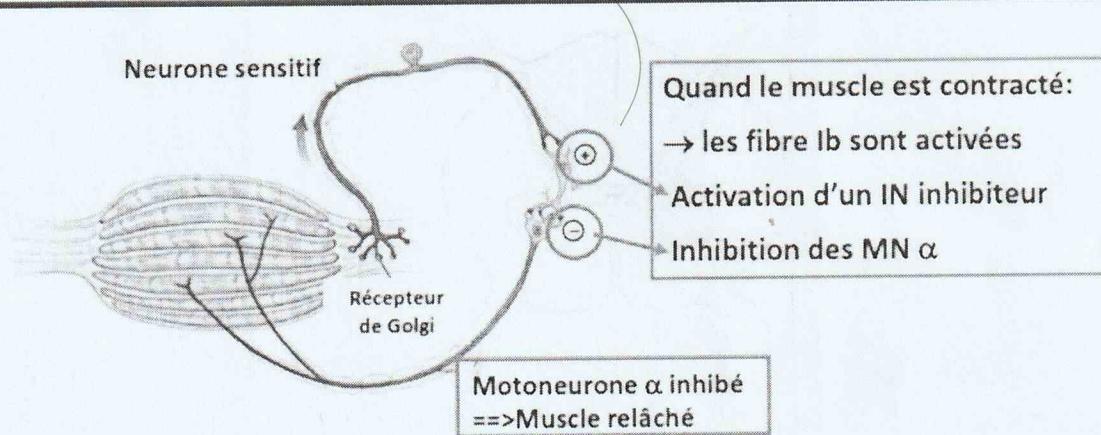
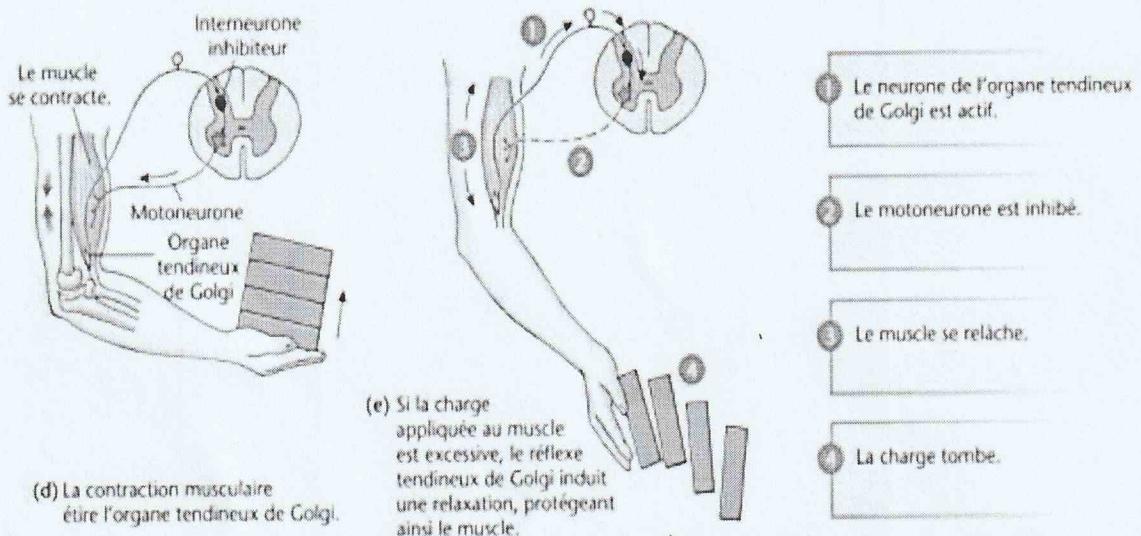


Figure 23 : Fonctionnement du réflexe myotatique inverse

- b) **Réflexes extrinsèques** : déclenchés par des récepteurs non localisés dans l'organe effecteur: réflexes de protection

### Les réflexes de flexion

Ces réflexes ont pour but de provoquer des réactions de retrait, par exemple pour éloigner un membre d'un stimulus douloureux (piqûre d'aiguille, chaleur de flamme...) mais également pour adapter la position du membre lors de la locomotion.

Les récepteurs sensoriels à l'origine de ce réflexe incluent de multiples récepteurs sensoriels situés sur la peau, les muscles, les articulations et les viscères.

Le réflexe de flexion comporte plusieurs synapses. Cette organisation permet la mise en place de réponses plus complexes que le réflexe myotatique.

La stimulation des fibres sensitives nociceptives provoque l'excitation des muscles fléchisseurs et l'inhibition des muscles extenseurs du membre stimulé et des réponses opposées dans le membre controlatéral: les muscles extenseurs y sont excités et les muscles fléchisseurs inhibés. Les afférences nociceptives provoquent ainsi l'excitation d'interneurones excitateurs des motoneurones alpha des muscles fléchisseurs ipsilatéraux et l'excitation d'interneurones inhibiteurs des motoneurones alpha des muscles extenseurs ipsilatéraux. L'excitation des interneurones commissuraux (qui croisent la ligne médiane de la moelle) provoquent la réponse inverse sur le membre controlatéral. Il existe donc ici une double innervation réciproque.

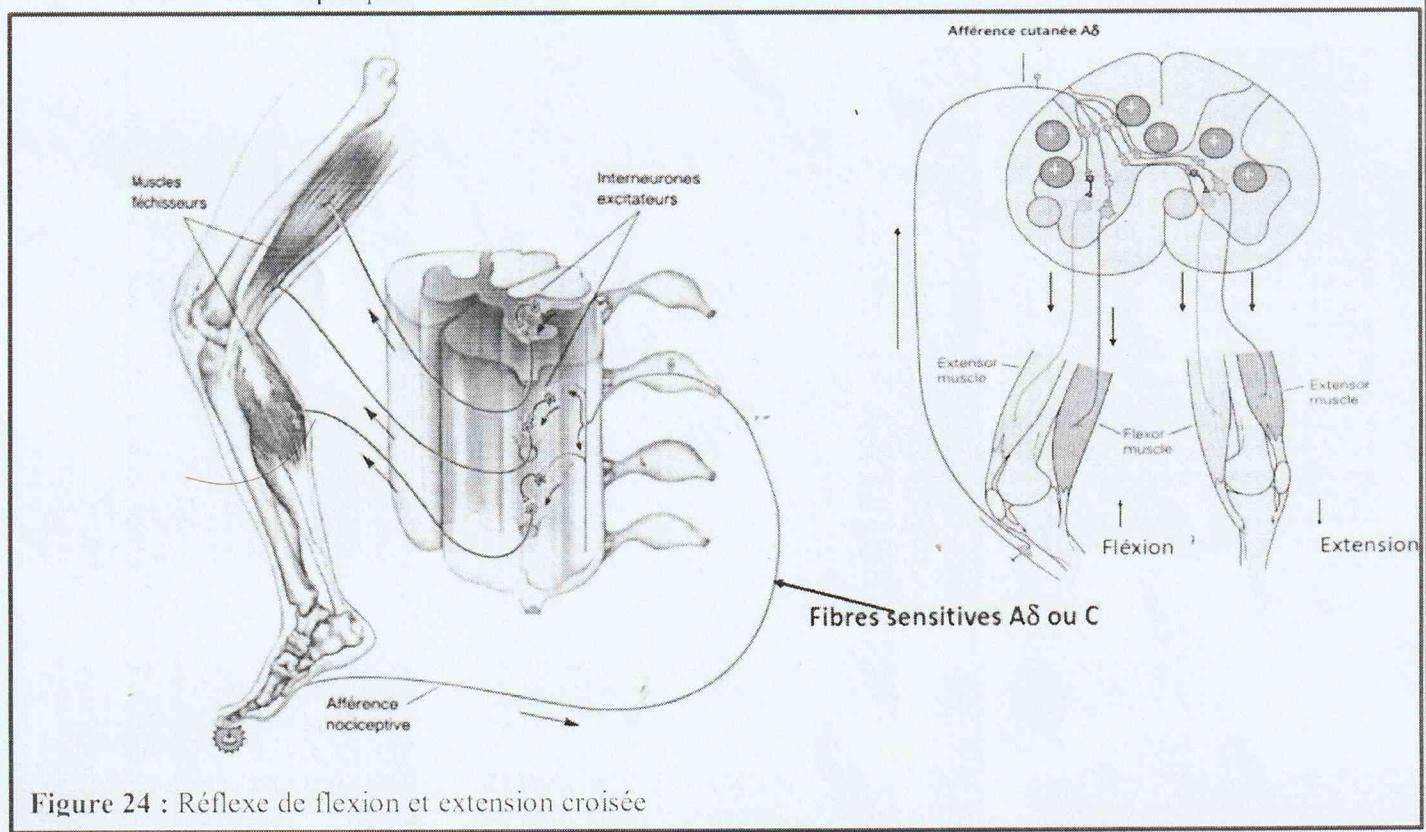


Figure 24 : Réflexe de flexion et extension croisée

De chaque côté, plusieurs groupes musculaires sont impliqués dans la réponse : le mouvement de flexion va en pratique concerner la majorité des articulations du membre. Ceci tient à la divergence des afférences sensorielles nociceptives qui s'étendent à plusieurs groupes de motoneurones. Le réflexe d'extension croisée améliore le support postural durant le retrait par rapport au stimulus douloureux (figure 24).

## 2. Contrôle central :

Les structures cérébrales impliquées dans la motricité sont nombreuses.

### a) Le cortex moteur

Pour certains mouvements volontaires, comme les mouvements précis des doigts et des mains, le cortex moteur agit directement sur les motoneurones de la moelle. Cependant,

pratiquement tous les mouvements volontaires sont réalisés par l'activation par le cortex moteur de **programmes moteurs** qui préexistent dans des réseaux de structures localisés au niveau des noyaux gris centraux, du cervelet, du tronc cérébral et de la moelle. Ces **centres moteurs intermédiaires**, fonctionnent sous la dépendance du cortex, émettent les signaux d'activation ou de contrôle de l'activation des muscles.

Le cortex moteur, situé en avant du sillon central (scissure de Rolando), est subdivisé en **trois régions** possédant leur propre représentation topographique des groupes musculaires du corps ainsi que des fonctions motrices spécifiques (figure 25):

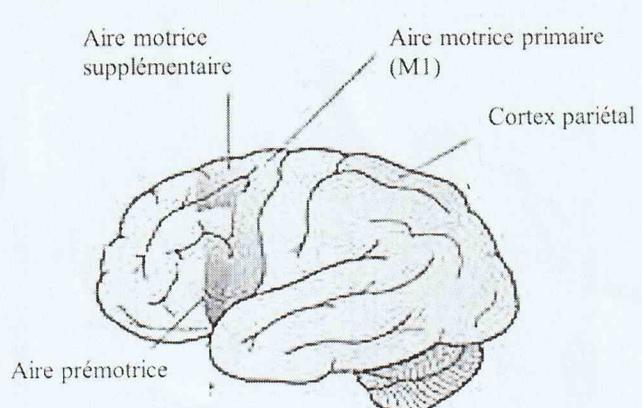


Figure 25 : Localisation du cortex moteur et du cortex pariétal

#### Le cortex moteur primaire

Le cortex moteur primaire de l'homme correspondant à l'**aire 4 de Brodmann** ou encore l'aire frontale ascendante prérolandique est situé juste en avant de la scissure de Rolando, dans le gyrus précentral, dans la première circonvolution frontale. Cette aire comporte une représentation topographique des groupes musculaires du corps similaire à la représentation sensitive du cortex somatosensoriel: on parle d'**organisation somatotopique** du cortex moteur (figure 26).

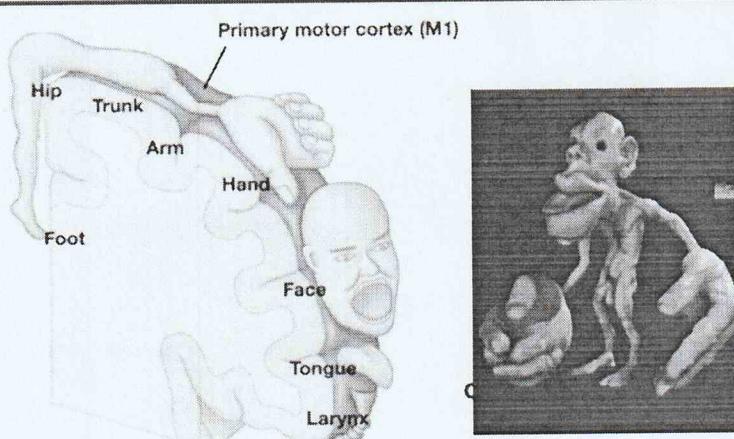


Figure 26 : Organisation somatotopique du cortex moteur primaire et Homunculus moteur

Le cortex moteur primaire intervient dans l'**exécution** proprement dite du mouvement. La stimulation électrique ponctuelle des aires motrices déclenche rarement la contraction d'un seul muscle, mais le plus souvent la contraction d'un groupe de muscles : l'excitation d'un neurone cortical unique donne naissance plutôt à un mouvement caractéristique qu'à la contraction d'un muscle particulier. Ce neurone stimule, selon "un modèle", de nombreux muscles qui apportent chacun sa propre direction et sa propre force au mouvement musculaire, aussi bien que les séquences de contraction des différents muscles.

#### ▪ L'aire prémotrice

Située immédiatement en avant du cortex moteur primaire. Elle correspond à l'**aire 6 de Brodmann**. Le cortex pré moteur reçoit une très importante quantité de signaux depuis le cortex pariétal postérieur et ses projections se font principalement via le système moteur médial. Cette région est donc essentiellement impliquée dans le contrôle de la musculature axiale

L'aire pré motrice intervient dans la **planification et la programmation du mouvement**. Pour effectuer ces actions, la partie la plus antérieure de l'aire pré motrice développe d'abord une image motrice de la totalité du mouvement musculaire projeté. Cette image déclenche ensuite la succession des "programmes" d'activité musculaire dans l'aire pré motrice postérieure.

#### ▪ L'aire motrice supplémentaire

L'aire motrice supplémentaire (AMS) occupe quelques centimètres de la partie supérieure du cortex frontal. L'aire motrice supplémentaire est impliquée dans la **programmation motrice** et est active durant la planification comme l'exécution des mouvements complexes. En sus de son rôle dans la coordination de la posture et des mouvements volontaires, l'AMS joue donc un rôle dans la planification du mouvement.

Ces trois régions corticales sont essentielles pour la planification, l'initiation, la coordination, le guidage et l'arrêt des mouvements volontaires. Le cortex moteur est en interaction constante avec d'autres structures nerveuses impliquées dans le mouvement comme le système des noyaux gris centraux et le cervelet (Figure 27).

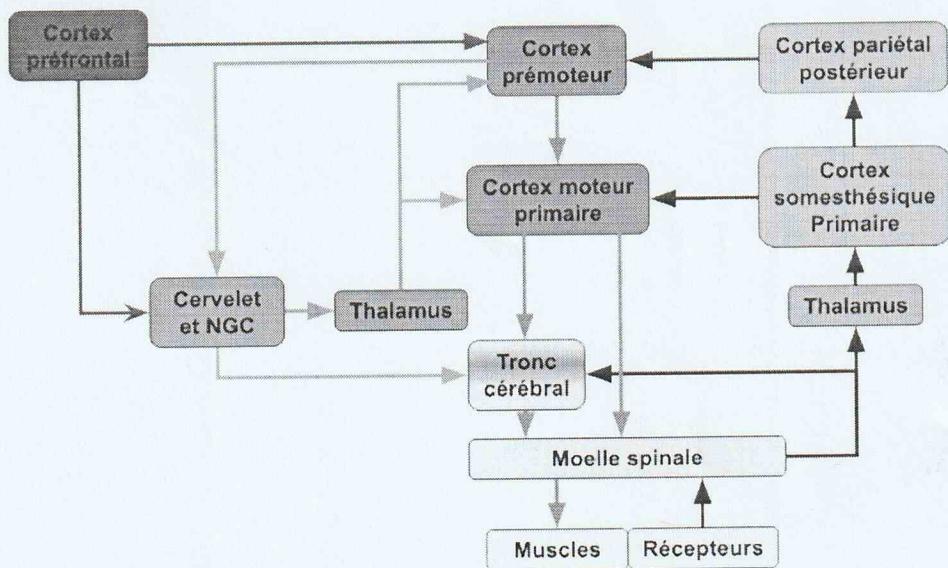


Figure 27 : Interactions du cortex moteur avec les différentes structures cérébrales

### b) Rôle des noyaux gris centraux (NGC) :

Plusieurs structures cérébrales sont regroupées sous l'appellation de NGC, soit le noyau caudé, le putamen, le globus pallidus et le noyau sous-thalamique. La substance noire, une structure mésencéphalique également interconnectée aux ganglions de la base, bien que ne faisant pas à proprement parler partie de ces derniers leur est souvent associée (Figure 28).

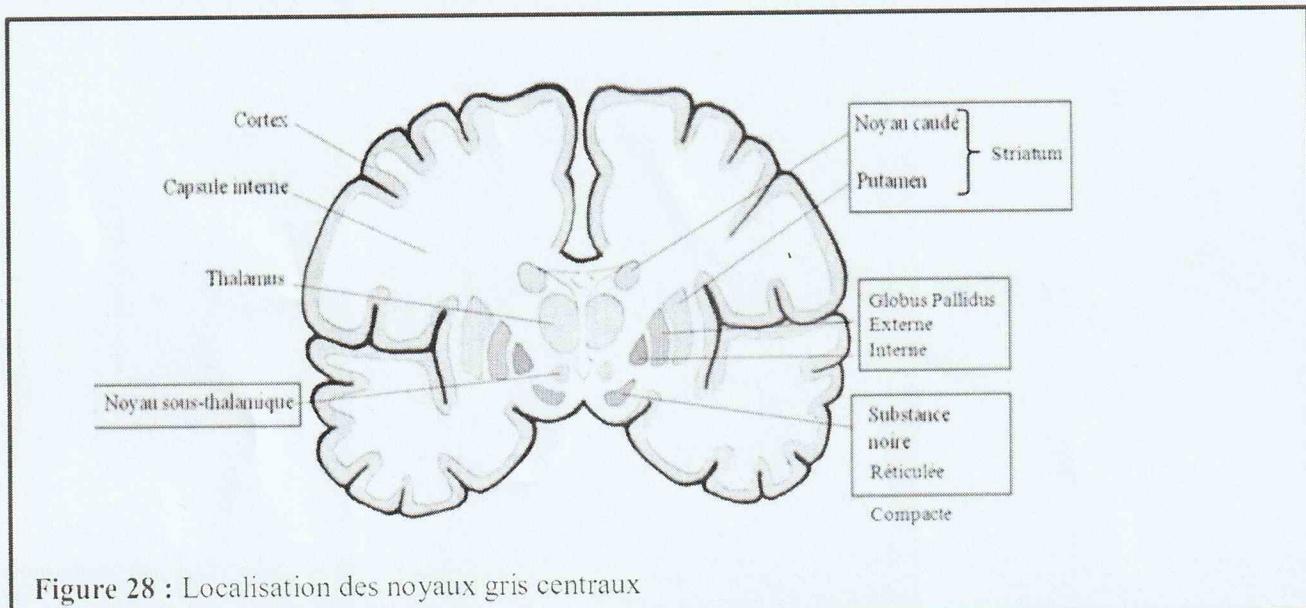
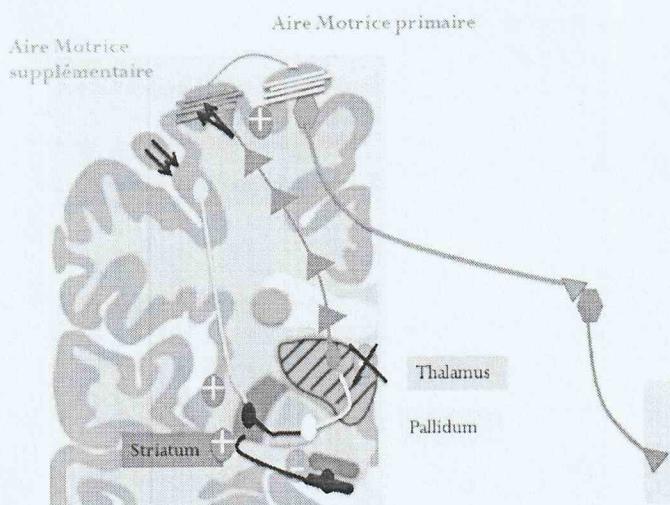


Figure 28 : Localisation des noyaux gris centraux

Le rôle fonctionnel des noyaux gris centraux reste mal connu. Il concerne globalement la programmation motrice et l'initiation des mouvements.

Il existe dans le pallidum une activité tonique inhibitrice (GABAergique) dirigée vers le thalamus moteur, qui freine l'action de neurones thalamo-corticaux se projetant sur l'aire motrice supplémentaire, et entrave donc l'expression motrice. Cette inhibition motrice peut être par le striatum, qui projette sur le pallidum des fibres inhibitrices (également GABAergiques). Cette désinhibition est obtenue sous l'influence d'afférences corticales excitatrices (glutamatergiques) se projetant sur le striatum. Elle permet de libérer de façon très sélective des circuits moteurs spécifiques, en réponse à des stimuli environnementaux particuliers, elle permet donc de focaliser l'activité corticale en sélectionnant au sein d'une activité diffuse, les influx corticaux adaptés au contexte. Ce processus de sélection motrice est soumis à la régulation de la substance noire (Dopaminergique) (Figure 29).



**Figure 29:** La boucle cortico-sous cortico-corticale

### c) Rôle du cervelet

Le cervelet est divisé en une partie médiane étroite, le vermis, et deux parties latérales développées, les hémisphères cérébelleux.

Le cervelet joue des rôles importants dans la motricité et l'équilibre:

- Le contrôle de la motricité des membres
- le contrôle de la motricité axiale et de l'équilibre
- la programmation du mouvement et l'apprentissage moteur.

### d) Rôle des autres structures cérébrales :

Pour qu'un mouvement volontaire se réalise de façon correcte, le **cortex frontal**, reçoit des informations du **cortex pariétal postérieur**, pour évaluer le contexte dans lequel s'effectue le mouvement. Le **cortex pariétal** évalue ainsi différentes données comme la position du corps et de la cible dans l'espace grâce aux informations **somatosensorielles, proprioceptives et visuelles** qu'il reçoit. Il produit ainsi des modèles internes du mouvement à effectuer, en amont des cortex pré moteur et moteur.

Le cortex pariétal postérieur reçoit des informations des **aires corticales somato-sensorielles** et intègre les signaux en provenance des aires visuelles.

Les **lobes pariétaux** sont eux-mêmes étroitement interconnectés avec les **aires préfrontales** qui représentent avec eux le plus haut degré d'intégration dans la hiérarchie du contrôle moteur où les **décisions** sur les actions à effectuer sont prises.

Les aires pariétales postérieures et préfrontales envoient leurs axones vers l'aire prémotrice qui, une fois renseigné sur le type d'action à réaliser, elle planifie le mouvement en coordination **avec les noyaux gris centraux** pour une réponse motrice adaptée au contexte

### e) Les voies de la motricité

Les voies de la motricité relient le cortex cérébral et les structures sous-jacentes aux plaques neuro-motrices. Elles contrôlent et coordonnent aussi bien l'exécution des mouvements volontaires que le tonus musculaire, les réflexes et les mécanismes posturaux.

#### ✿ La voie pyramidale

Le système pyramidal, le mieux connu, concerne la motricité volontaire. L'influx qu'il génère emprunte une voie relativement longue, la voie pyramidale, entrecoupée par un relais synaptique où s'effectue la transmission entre les neurones centraux (motoneurone N1) et les motoneurones périphériques (motoneurone N2 ou  $\alpha$ ). La voie pyramidale est formée par deux faisceaux, selon le niveau du relais synaptique, là où s'établit la connexion entre les neurones centraux (corticaux ou N1) et les motoneurones  $\alpha$  ou N2 périphériques :

**Le faisceau cortico-nucléaire :** Le motoneurone N1 fait relais avec le motoneurone N2 au niveau du tronc cérébral. Cette voie permet le contrôle volontaire des muscles de la tête au sens large et du cou (Figure 30).

**Le faisceau cortico-spinal :** originaire du cortex, se termine au contact des motoneurones de la corne ventrale et des interneurones de la zone intermédiaire de la moelle épinière. Ce faisceau contrôle les muscles du tronc, des membres supérieurs et de toutes les régions inférieures. Le processus de la décussation a lieu à la jonction bulbo-médullaire (Figure 30).

La plus grande part des fibres croisent la ligne médiane en direction du cordon latéral de la moelle au sein duquel elles forment le faisceau cortico-spinal latéral. Elles se terminent, au niveau segmentaire en faisant synapse avec les motoneurones  $\alpha$  de la colonne motrice **antéro-latérale** dont les axones innervent la musculature des membres.

Les fibres qui n'ont pas croisé constituent **le faisceau pyramidal ventral du cordon ventral**, qui croise également la ligne médiane à la toute fin de leur parcours. Elles projettent sur les motoneurones **innervant les muscles axiaux** (dos, tronc et cou) et ceux des segments proximaux des membres (épaules, coude, hanche, genoux).

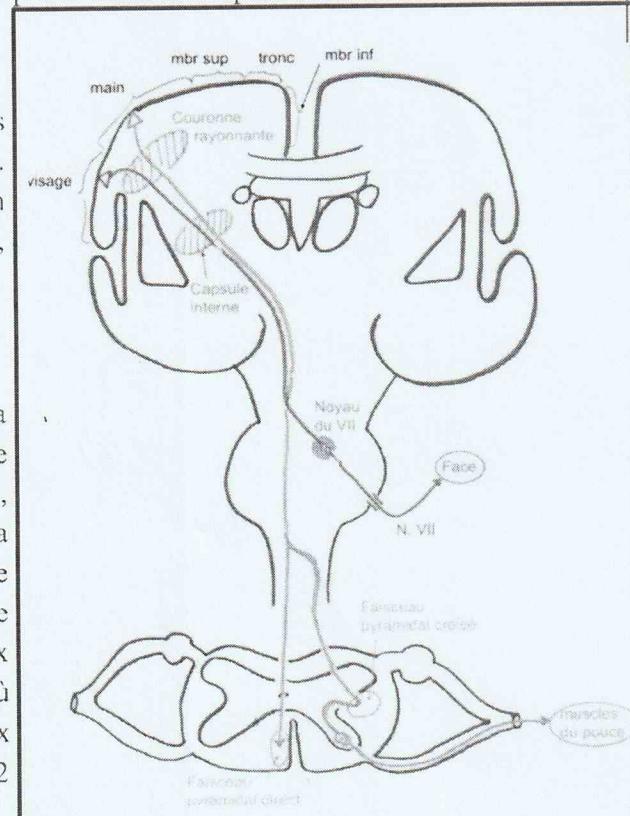


Figure 30 : Les faisceaux cortico-spinal et cortico-nucléaire de la voie pyramidale

#### ♣ Les voies "extrapyramidales"

Elles correspondent globalement aux voies de la motricité involontaire impliquée dans les mouvements automatiques associés (ex: positionnement des bras pour la préhension) ou non (ex: la marche) aux mouvements volontaires, les mouvements réflexes et le contrôle du tonus musculaire. Elles sont au nombre de quatre :

- Le faisceau rubrospinal, qui part du noyau rouge et suit un trajet parallèle au faisceau corticospinal latéral, intervient dans la motricité et la coordination des grands muscles distaux des membres supérieurs. Il reçoit des afférences du cervelet ainsi que du cortex moteur.
- Le faisceau vestibulospinal est impliqué dans le contrôle de l'équilibre.
- Les faisceaux réticulospinaux prennent naissance au niveau de la formation réticulaire, qui reçoit des afférences du cervelet ainsi que du tronc cérébral. Il en existe deux :
  - le premier est pontique (provient du pont) et active les réflexes antigravitaire (maintien de la stature érigée).
  - le second est bulbaire (provient du bulbe) et libère les réflexes gravitaire, ce qui fluidifie le mouvement.
- Le faisceau colliculo-spinal ou tectospinal : Trouve son origine au niveau du colliculus supérieur qui reçoit des afférences de la rétine et d'autres structures cérébrales. Il contrôle la musculature du cou et permet le maintien de la posture de la tête et des mouvements de la tête par rapport à l'orientation de la tête.