

Chapitres 9 et 10

L'ACTIVITÉ NEUROMUSCULAIRE

Rigal Robert

Le muscle

3 catégories de muscles:

- lisses
- squelettiques ou striés
- cardiaque

Agonistes-antagonistes

- l'agoniste produit le mouvement, l'antagoniste le freine;
- couples de muscles aux fonctions opposées:
- fléchisseurs-extenseurs;
- rotateurs internes-rotateurs externes
- abducteurs-adducteurs.

Les muscles striés

- **Muscles squelettiques ou striés: plus de 600 muscles dans le corps.**
- **Trois propriétés fondamentales:**
 - excitabilité
 - contractilité
 - élasticité
- **synergie musculaire**
 - plusieurs muscles s'associent pour produire un mouvement.

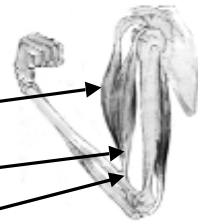
Le muscle (rappel) (fig. 9.1)

Structure des muscles:

•corps musculaire;

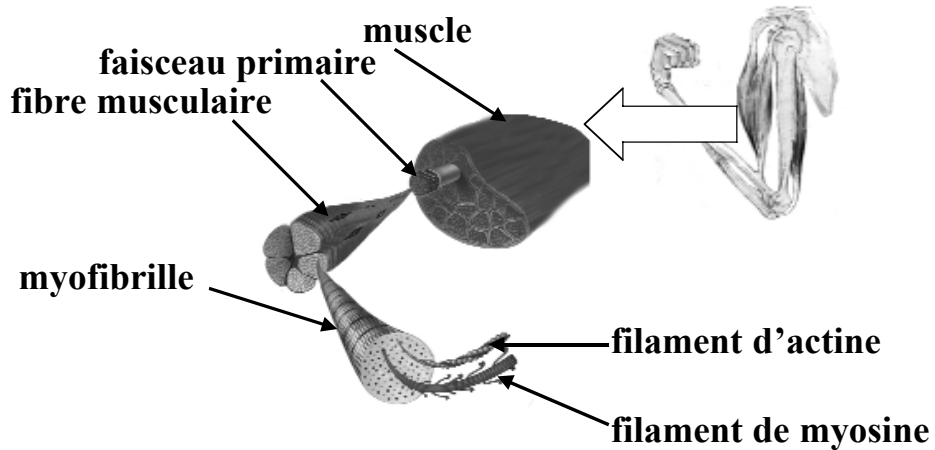
•tendon;

•insertion sur les os;



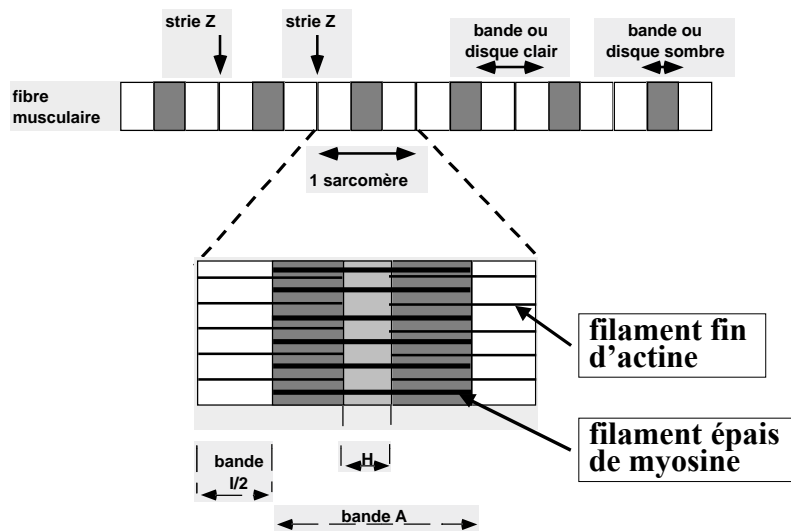
Le muscle: organisation (rappel) (fig. 9.1)

unité anatomique: la fibre musculaire

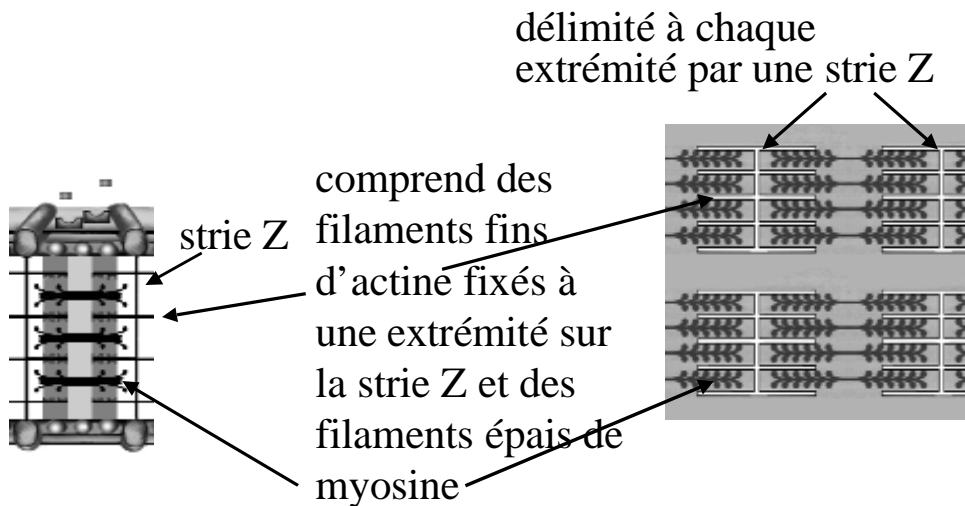


Le muscle: le sarcomère (fig. 9.3)

unité fonctionnelle: le sarcomère



Le muscle: le sarcomère

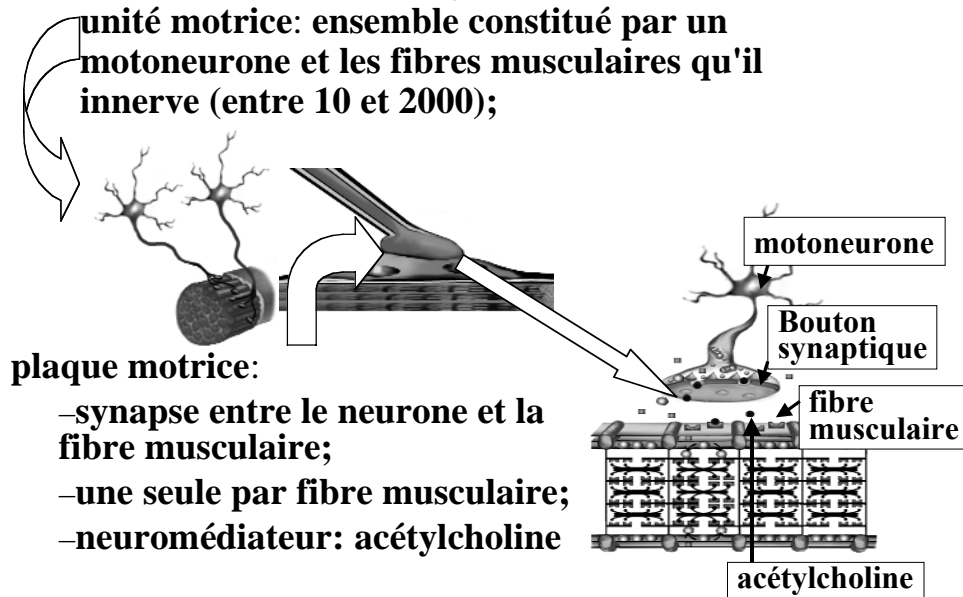


La jonction neuro-musculaire

- deux notions importantes dans l'organisation de la relation système nerveux-muscle:
- l'unité motrice;
- la plaque motrice.

La jonction neuro-musculaire

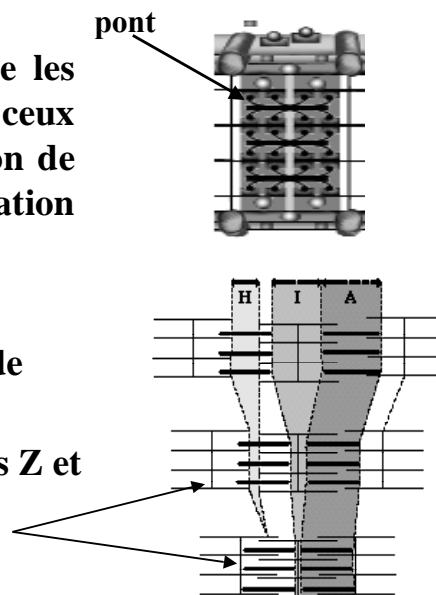
(fig. 9.5)



La contraction musculaire (fig. 9.3)

Elle se traduit par:

- la formation de ponts entre les filaments de myosine et ceux d'actine grâce à la libération de calcium lors de la dépolarisation de la fibre musculaire;
- le glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine;
- le rapprochement des stries Z et le raccourcissement de la longueur du sarcomère.



Les motoneurones (MN)

- assurent l'innervation motrice des muscles
- 2 types:
 - les motoneurones alpha- α (MN α)
 - innervent les fibres musculaires extrafusales
 - les motoneurones gamma- γ (MN γ)
 - innervent les fibres musculaires intrafusales

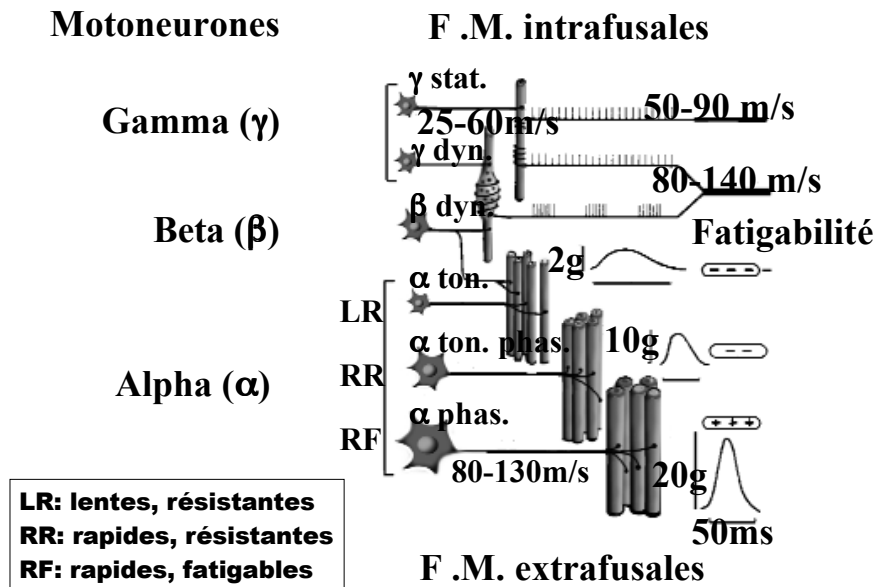
Les motoneurones α

- Premiers neurones à être étudiés dans le SNC des mammifères par des enregistrements intracellulaires à cause de :
 - leur taille 30-70 μm ,
 - leur accessibilité,
 - la possibilité de les identifier par stimulation antidromique;
- Organisés en regroupements ou noyaux, ou pools dans les cornes antérieures de la moelle;
- Données morphologiques
 - corps cellulaire de 30-70 μm
 - arbre dendritique 1000 μm



Types d'unités motrices (fig. 9.6)

(Paillard, 1976)



Caractéristiques des unités motrices

- le nombre de fibres musculaires par unité motrice varie d'un muscle à l'autre selon sa fonction;
- mouvement de précision:
 - rapport d'innervation (% de fibres musculaires par motoneurone) bas;
 - petite UM dans les petits muscles, 3-6 fibres/MN
- mouvement de force (grossier):
 - rapport d'innervation (% de fibres musculaires par motoneurone) élevé
 - grosse UM: 2000 fibres/MN (quadriceps)

Le muscle et la force

régulation de la force musculaire par:

- **le nombre d'unités motrices recrutées** (les petits motoneurones sont recrutés en premier);
- **la variation de la fréquence de décharge des motoneurones;**
- **la longueur du muscle au départ de la contraction.**

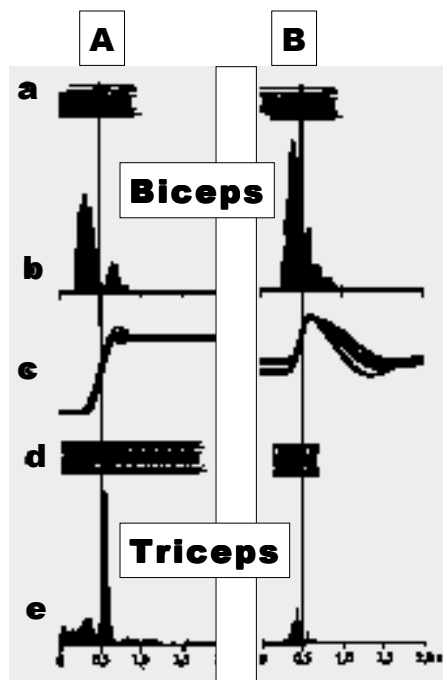
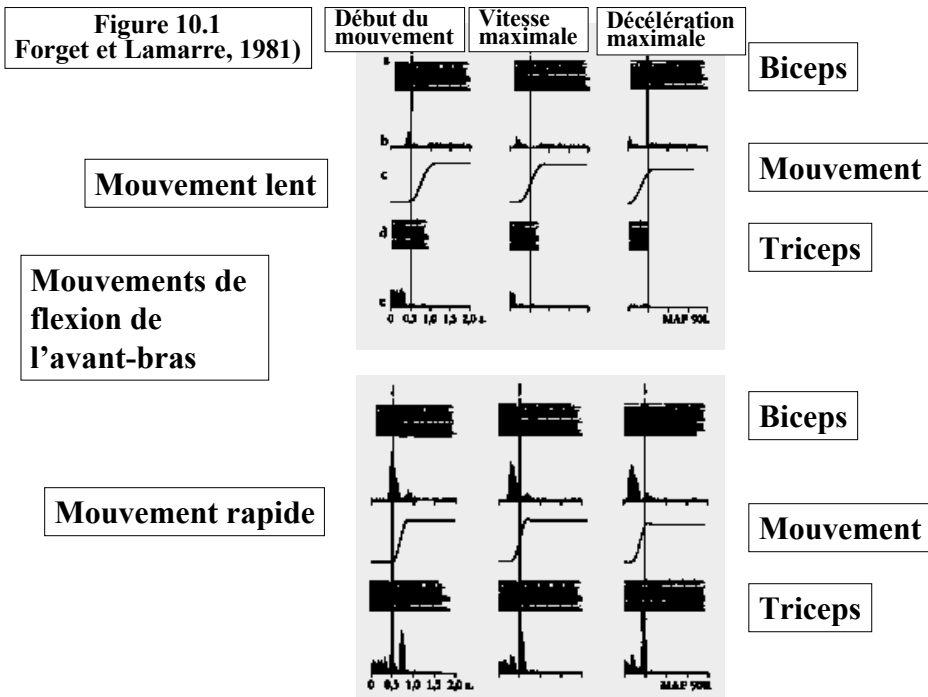
Relations agonistes-antagonistes

mouvements lents ou de poursuite:

- **intervention active des muscles agonistes;**
- **freinage par la viscoélasticité des muscles antagonistes.**

mouvements rapides ou balistiques:

- **modèle triphasique de contractions agonistes-antagonistes-agonistes.**



A Figure 10.2 (Forget, 1983)

Arrêt volontaire

Modèle triphasique

Relations agonistes-antagonistes

B

Arrêt passif

Modèle unique

a, b: activité EMG du biceps

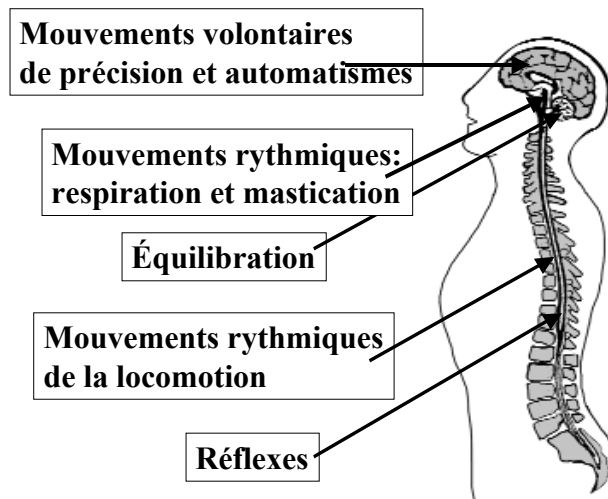
c: mouvement de flexion du bras

d, e: activité EMG du triceps

Catégories d'activités musculaires

- le tonus musculaire
- les réflexes
- la posture et l'équilibration
- l'activité volontaire
- l'activité automatique
- toutes effectuées par les mêmes muscles

Centres de contrôle des mouvements



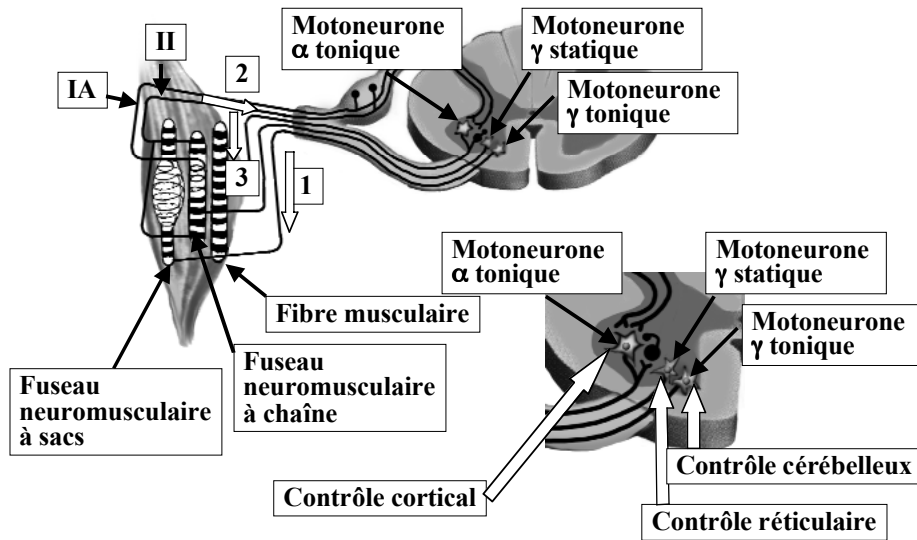
Le tonus musculaire

- **état de légère tension, contraction minimale, d'un muscle au repos;**
- **contrôlé par la boucle γ ;**

La boucle γ (gamma)

- **3 étapes:**
- **1- excitation des motoneurones γ , par les centres réticulaires et cérébelleux, contraction des fibres musculaires intrafusales (influx moteur);**
- **2- excitation des fibres annulo-spiralées (récepteurs primaires) et retour à la moelle d'un influx sensitif par les fibres IA;**
- **3- excitation des motoneurones α , contraction des fibres musculaires extrafusales (influx moteur) et apparition du tonus musculaire.**

La boucle gamma (γ) (fig. 10.3)

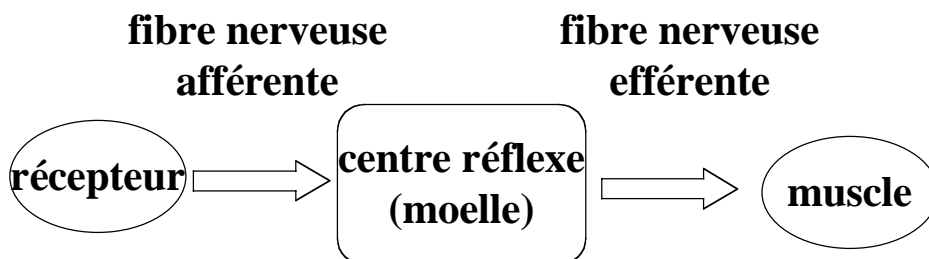


L'activité réflexe (fig. 10.4)

Réponse involontaire et automatique
qui sert à protéger l'organisme.

Réponse unique ou intégrée à un
mouvement volontaire.

Requiert 5 structures:

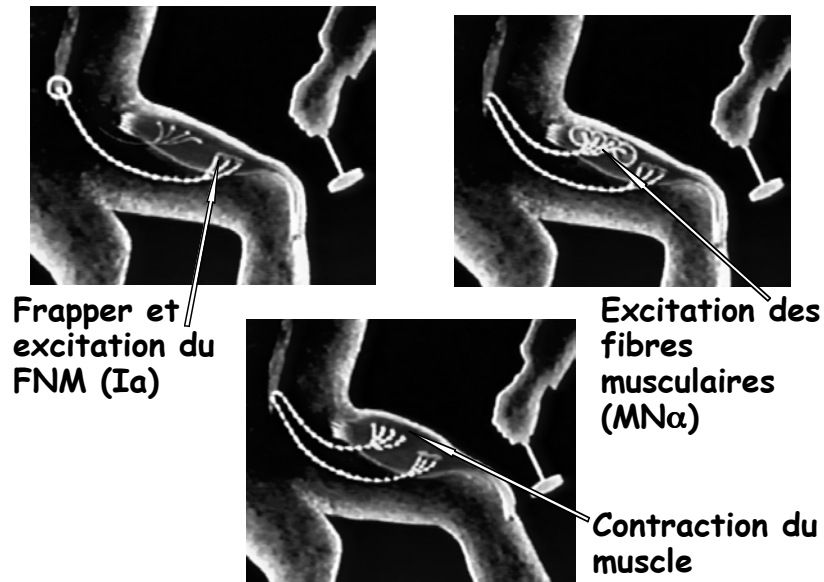


Les réflexes spinaux

- la moelle épinière génère des réponses réflexes;
- les réflexes ont deux origines majeures;
 - musculaire
 - fuseau neuromusculaire (réflexe myotatique)
 - organe tendineux de Golgi (réflexe myotatique inverse)
 - cutanée et articulaire
 - mécanorécepteurs et nocicepteurs (réflexe de flexion)

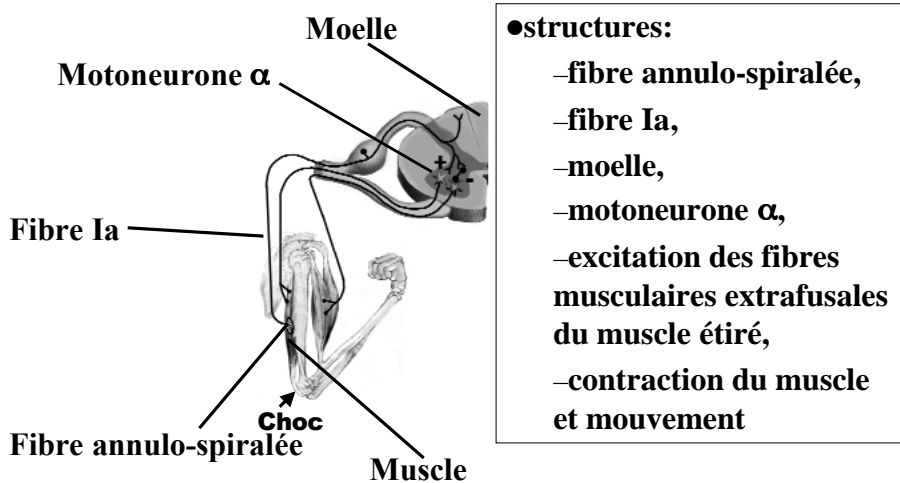


Le réflexe myotatique



Le réflexe myotatique ou proprioceptif (fig. 10.5)

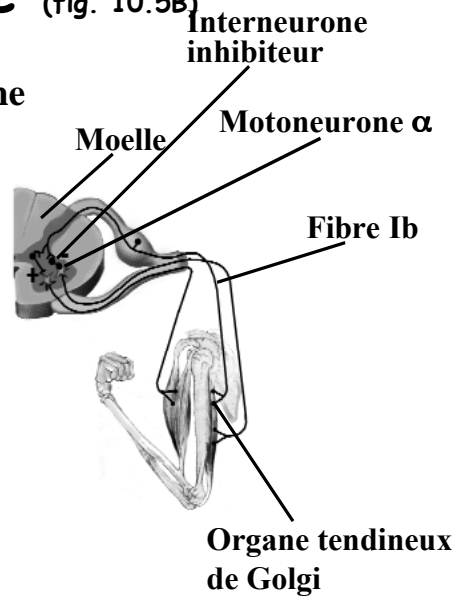
Le muscle étiré brusquement se contracte



Le réflexe myotatique inverse (fig. 10.5B)

Le muscle trop contracté (tension trop élevée) se relâche

- structures:
 - 1- organes tendineux de Golgi,
 - 2- fibres Ib,
 - 3- inhibition des motoneurones α du muscle contracté par un interneurone inhibiteur,
 - 4- relâchement du muscle.



Effets du réflexe myotatique inverse

- Inhibition du muscle homonyme;
- Inhibition des muscles synergistes;
- Excitation du muscle antagoniste.

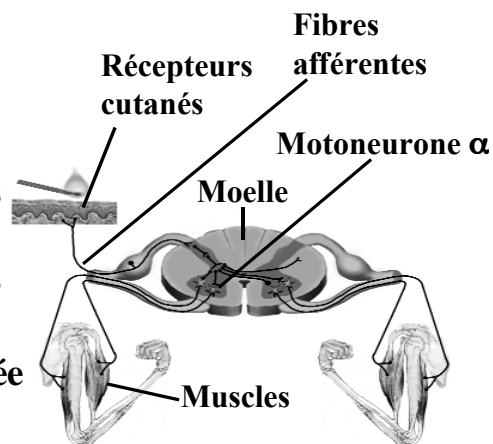
Les réflexes cutanés en flexion

- 2 types de réflexes en flexion:
- réponse à des stimuli non-nocifs ou non- douloureux:
 - activation de récepteurs cutanés,
 - afférences de type A bêta (β) ou II,
 - faible activation d'un ou plusieurs fléchisseurs,
 - pratiquement aucun mouvement.
- réponse à des stimuli nociceptifs ou douloureux:
 - activation des nocicepteurs dans la peau ou plus profondément dans les muscles,
 - afférences de type A delta (δ) (III) et C (IV),
 - contraction de plusieurs muscles fléchisseurs,
 - mouvement de flexion de l'articulation.

Le réflexe nociceptif cutané en flexion (fig. 10.7)

Une excitation cutanée douloureuse provoque un mouvement de retrait du membre

- 1- récepteurs cutanés,
- 2- fibres afférents III ou IV,
- 3- excitation des motoneurones α des muscles fléchisseurs et inhibition de ceux des muscles extenseurs,
- 4- mouvement de flexion,
- 5- réponse d'extension croisée possible.

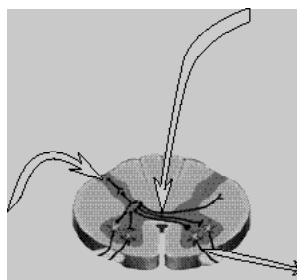


Modulation des réflexes (fig. 10.8)

- les réflexes médullaires protègent l'organisme; ils sont modifiables (plastiques)
- les circuits spinaux impliqués dans les réflexes sont sous l'influence d'influx excitateurs et inhibiteurs:
 - des voies descendantes
 - d'autres régions de la moelle épinière (voies ascendantes).

Modulation des réflexes spinaux (fig. 10.8)

voies ascendantes (afférences)
• origine (peau, muscle, tendon, articulation)
• modalité sensorielle
• intensité de la stimulation

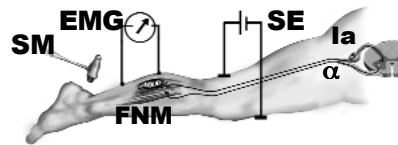


voies descendantes (efférences)
• volonté
• état d'éveil (attention-vigilance)
• contexte
• consignes (réagir ou non)
• émotions
• expérience
• phase du mouvement (locomotion)
• fatigue

réflexes

Le réflexe H

(fig. 10.6)



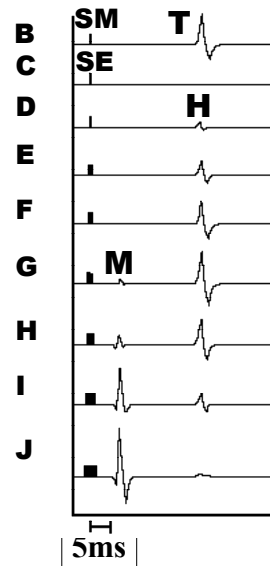
N'est pas un réflexe physiologique: stimulation électrique transcutanée d'un nerf dont l'intensité peut varier.

T: réponse tendineuse

H: réponse réflexe

M: réponse musculaire

B-J: réponses EMG (H et M) pour des stimulations électriques d'intensité croissante



La posture et l'équilibration

- Posture : attitude générale de maintien caractéristique d'une espèce (station debout chez l'humain);
- Équilibration: mécanismes assurant le contrôle de la posture et de l'équilibre du corps à l'arrêt ou en mouvement en fonction des forces de la gravité;
- ces contrôles supposent des afférences (informations sensorielles sur l'état du corps) et des efférences (ajustement des contractions musculaires);
- contractions et propriétés viscoélastiques.



Posture et équilibration (fig. 10.9)

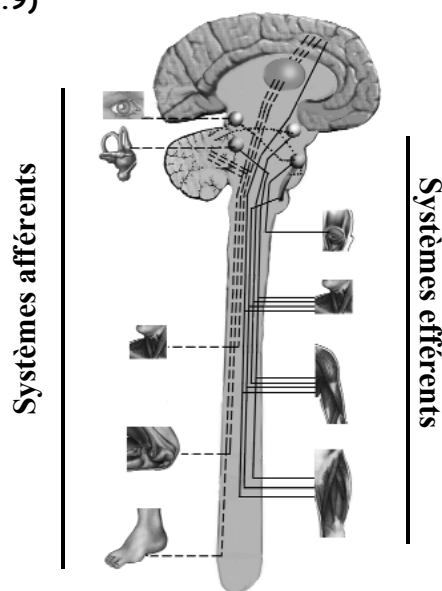
manière personnelle de se tenir debout ou assis

- tonus de posture, de maintien, d'action

systèmes afférents

- oculaire
- proprioceptif (musculaire et vestibulaire)
- cutané

Centres de contrôle



Récepteurs de position:

Vision

Sensations vestibulaires

Somesthésie et proprioception:

- muscles

- articulations

- plante des pieds

Équilibration

Effecteurs musculaires

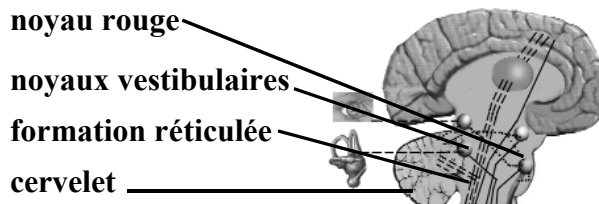
oeil

cou

membres supérieurs

membres inférieurs

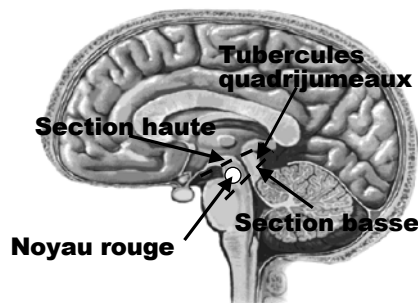
Posture et équilibration (fig. 10.9)



centres de contrôle:

- noyau rouge: excitation des muscles fléchisseurs;
- formation réticulée:
 - pontique latérale: facilitatrice des réflexes myotatiques
 - bulbaire médiane: inhibitrice des réflexes myotatiques
- noyaux vestibulaires: le latéral est excitateur des muscles extenseurs (redressement);
- cervelet: réduit le seuil d'excitabilité des motoneurones α et facilite le tonus musculaire;
- moelle: gestion des réflexes.

Posture et équilibration

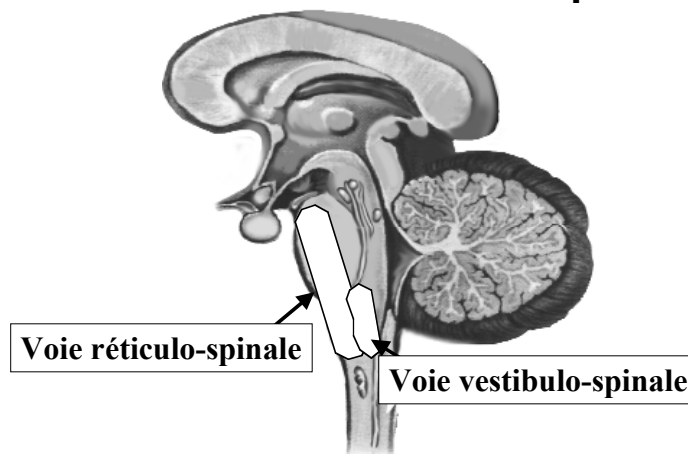


- Effets de lésions du tronc cérébral
- rigidité de décortication :section haute au-dessus des tubercules quadrijumeaux (cerveau isolé); hyperextension des membres inférieurs et hyperflexion des membres supérieurs;
- rigidité de décérébration: section basse entre les tubercules quadrijumeaux, au-dessous du noyau rouge; hyperextension des membres inférieurs et des membres supérieurs.

Les systèmes descendants associés au contrôle de la posture

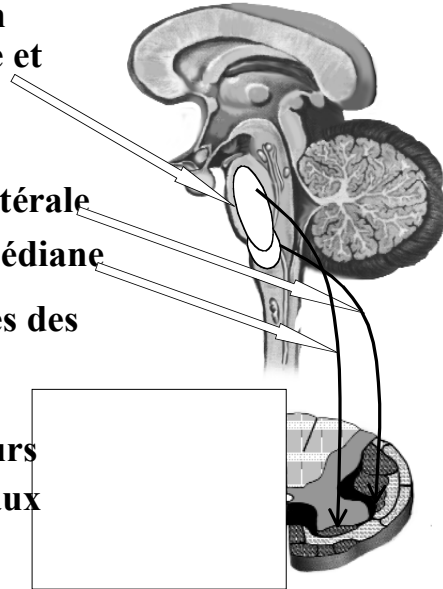
- Voies descendantes du tronc cérébral
 - Réticulospinale
 - Posture +++
 - Motricité opérante +
 - Vestibulospinale
 - Posture +++
 - Motricité opérante +
 - Rubrospinale
 - Posture +
 - Motricité opérante +++
- Voies corticospinales
 - Posture -
 - Motricité opérante +++++
- Moelle épinière
 - Réflexes

Origines des deux principales voies associées au contrôle de la posture



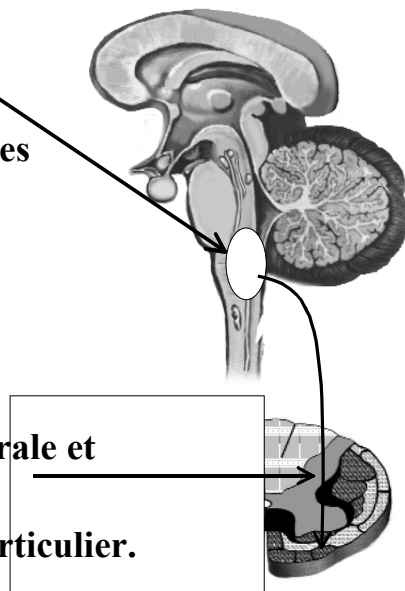
Voies réticulospinales (p. 430)

- Proviennent de la formation réticulée de la protubérance et du bulbe rachidien
- 2 voies principales
 - 1. Voie réticulospinale latérale
 - 2. Voie réticulospinale médiane
- Contrôlent les motoneurones des muscles extenseurs et fléchisseurs avec des effets:
 - excitateurs et inhibiteurs
 - ipsilatéraux et bilatéraux



Voies vestibulospinales (p. 430)

- proviennent des noyaux vestibulaires médians et latéraux;
- contrôlent les motoneurones des muscles extenseurs (surtout axiaux et proximaux)
 - effets excitateurs
 - effets ipsilatéraux
- 2 voies principales
 - Voies vestibulospinales latérale et médiane
- redressement de la tête, en particulier.



Réflexe vestibulo-spinal d'équilibration

- Signaux provenant des récepteurs vestibulaires suite au mouvement de la tête dans l'espace par rapport à la gravité;
- Mouvements de la tête vers l'avant (tomber vers l'avant):
 - extension des membres supérieurs
 - flexion des membres inférieurs;
- Mouvements de la tête vers l'arrière (tomber vers l'arrière):
 - flexion des membres supérieurs
 - extension des membres inférieurs.

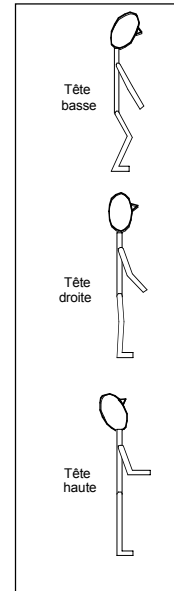
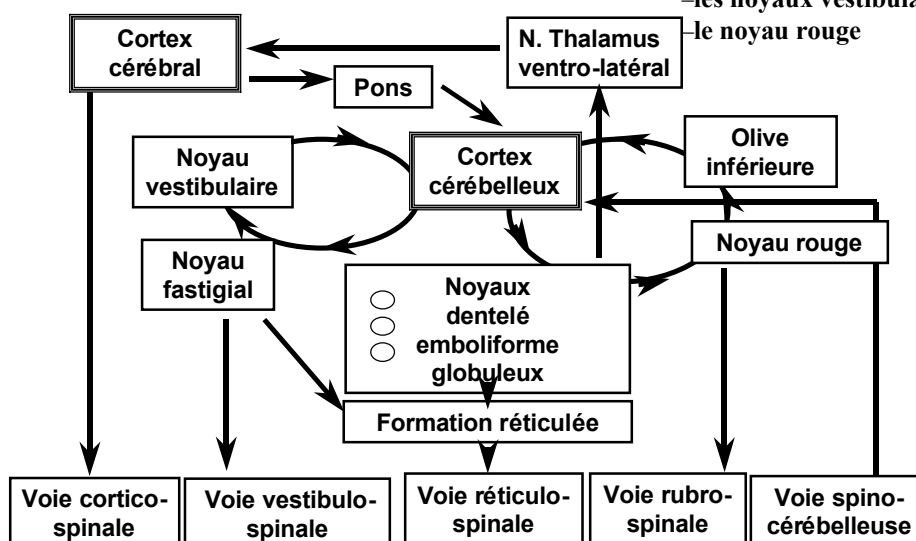


Figure 2.28 Le cervelet: aspects fonctionnels

- Le cervelet n'a pas de projections directes sur la moelle épinière;
- agit sur différents noyaux.

● contrôle la posture par des effets sur:

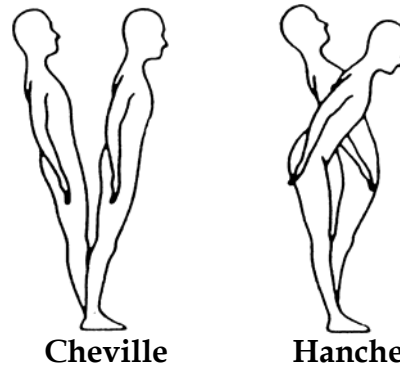
- la formation réticulée
- les noyaux vestibulaires
- le noyau rouge



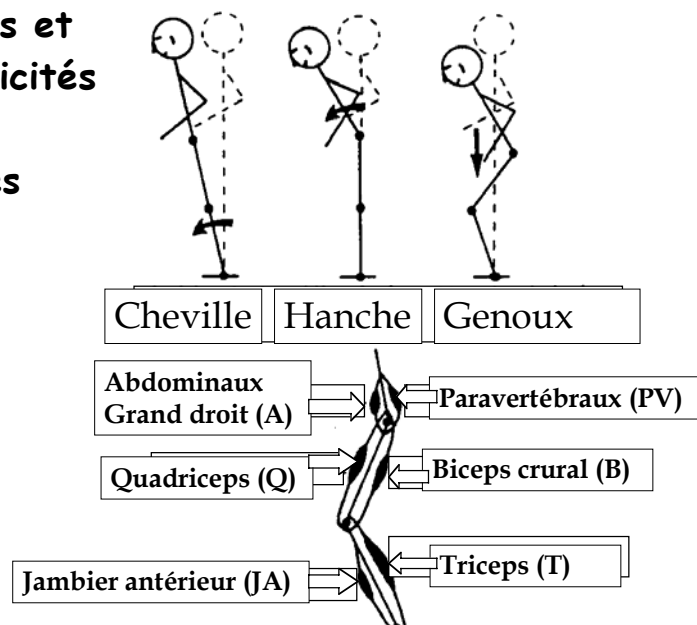
Les ajustements posturaux

Mise en place de contractions musculaires adaptées au rétablissement de l'équilibre en fonction du déséquilibre à venir (ajustements anticipatoires) ou enregistré (ajustements réactionnels) par les différents récepteurs.

- Plusieurs stratégies de récupération mobilisant:
 - les chevilles
 - les hanches
 - la flexion des genoux
 - un pas vers l'avant avec extension possible des bras pour amortir la chute.



Articulations et muscles sollicités lors de déséquilibres



Ajustements posturaux anticipatoires

(Fig. 10.11B)

Apparaissent avant le déséquilibre

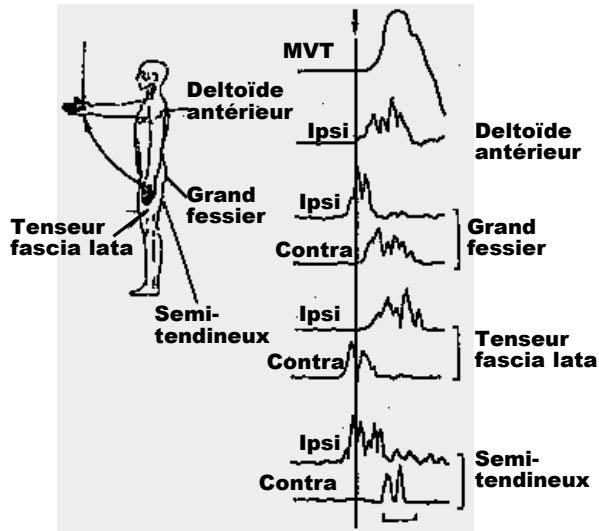
Bouisset, Zattara (1981)

Le sujet doit lever son bras pour appuyer sur un bouton.

Les activités EMG des différents muscles indiqués sont enregistrées.

La ligne verticale indique le début de l'activité EMG du deltoïde, muscle élévateur du bras, alors que le début du mouvement d'élévation débute 50 ms plus tard.

Plusieurs muscles voient leur activité débiter avant celle du deltoïde, ce qui témoigne de l'existence d'ajustements posturaux anticipatoires.



Ajustements posturaux réactionnels

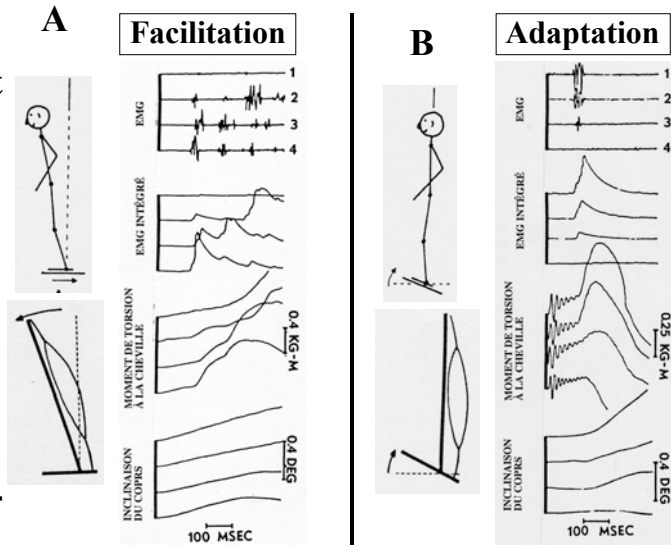
(fig. 10.11C)

Nashner (1976)

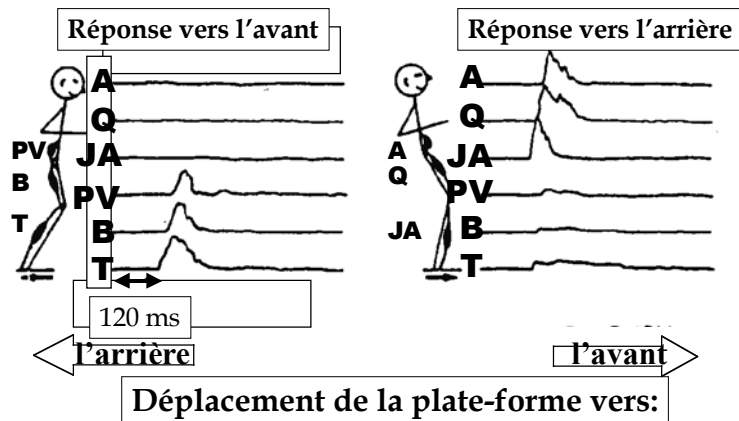
Apparaissent après le déséquilibre

Dispositif expérimental

A: déplacement de la plate-forme vers l'arrière;
B: rotation de la plate-forme autour d'un axe passant sous les talons.
Séquence disto-proximale

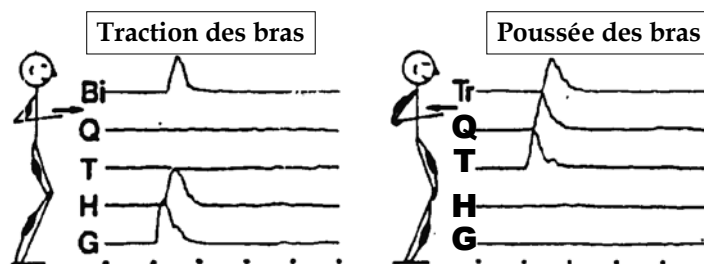


Ajustements posturaux réactionnels (Nashner)



Les réponses surviennent dans des muscles différents en fonction de la direction du déséquilibre

Ajustements posturaux reliés à un mouvement volontaire (tirer ou pousser)



Séquence d'activation musculaire:

- 1- Muscles posturaux
 - Stabilisation
- 2- Muscles du mouvement primaire

Ajustements posturaux chez les enfants

Réponse à la variation de l'équilibre, à un déséquilibre.

Études avec des plates-formes d'équilibre:

- -> les réactions des enfants, comme celles des adultes, sont coordonnées en vue de la récupération de l'équilibre;
- -> elles s'en distinguent par le fait que les muscles antagonistes se contractent de façon plus forte et que les oscillations sont plus importantes;
- -> les ajustements (EMG) commencent dans les muscles les plus proches du point de support et gagnent les muscles proximaux;
- -> vers 6 ans, caractéristiques adultes du contrôle de l'équilibre avec une diminution des temps de latence pour la réaction aux perturbations de l'équilibre (de 115 ms à 1 an à 95 ms à 10 ans pour le triceps sural).

FIN