

# Le Système Moteur

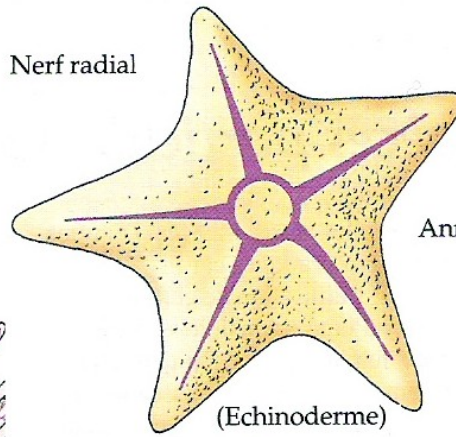


# « Au début était l'action »

- Logique et Constitution du Système Nerveux...

La phylogenèse a incrémenté le système moteur depuis la périphérie jusqu'au niveau central.

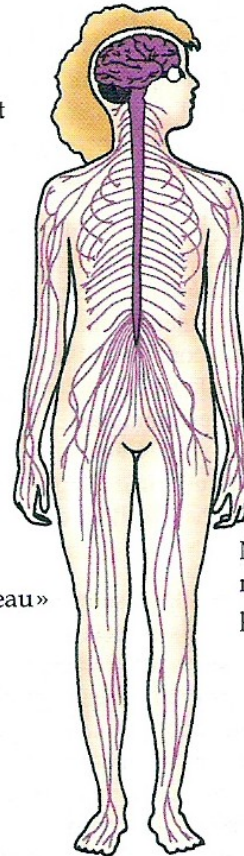
Nerf radial



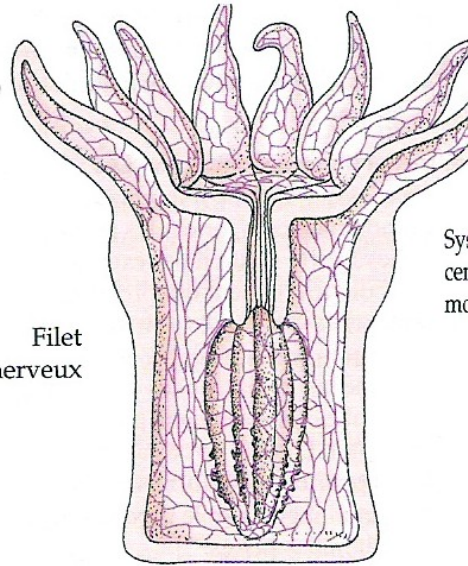
Anneau nerveux

(Echinoderme)

Système nerveux central : cerveau et moëlle épinière

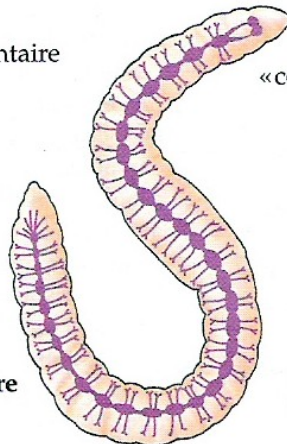


Filet nerveux



Anémone de mer  
(Cnidaire)

Nerf segmentaire

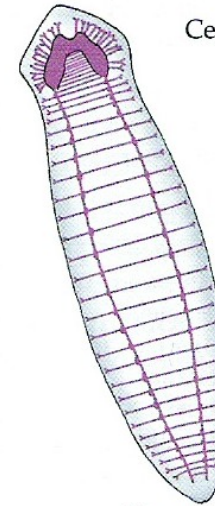


Ver de terre

«cerveau»

Ganglion dans le cordon nerveux ventral

Cerveau



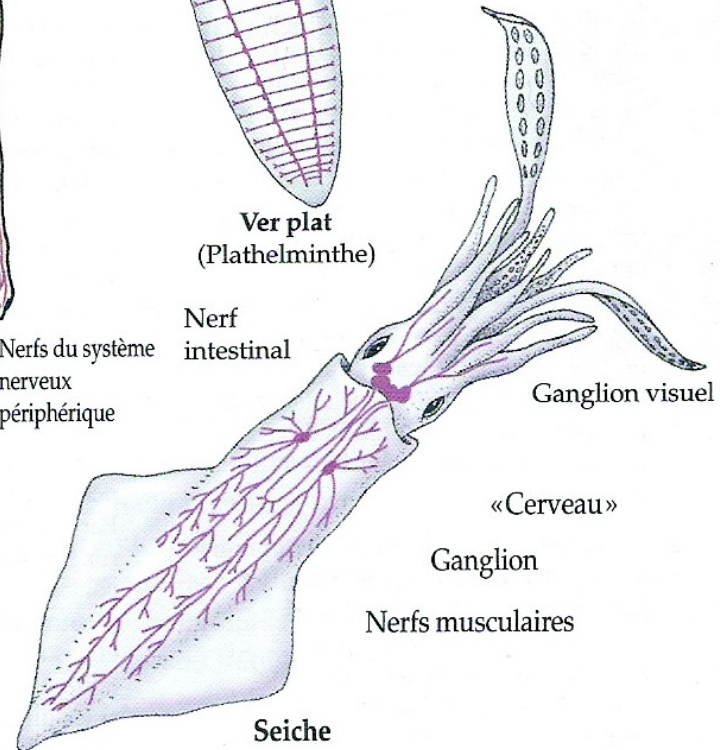
Tronc nerveux

Nerf transverse

Ver plat  
(Plathelminthe)

Nerfs du système nerveux périphérique

Nerf intestinal



«Cerveau»

Ganglion

Nerfs musculaires

Seiche

# « Au début était le verbe »

- Logique et Constitution du Système Nerveux...

La phylogenèse a incrémenté le système moteur depuis la périphérie jusqu'au niveau central.

- Logique du cours: Muscle → Cortex
  - Anatomie
  - Aspects fonctionnels
  - Pathologie

# Le Système Moteur: Composition

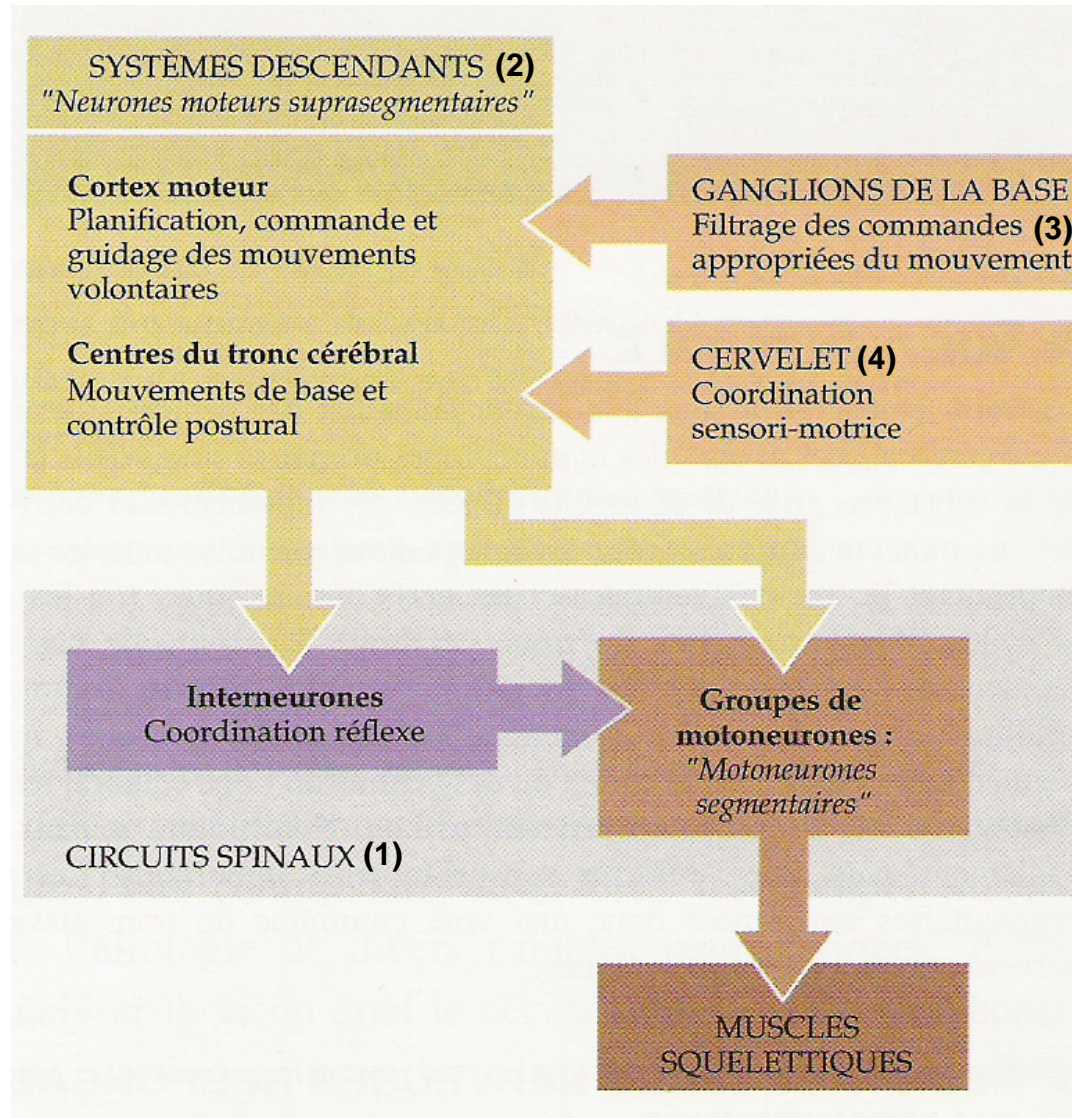
- Du Périphérique vers le Central:
  - Musculature striée (squelettique)
  - Musculature lisse
  - Système nerveux médullaire
  - Tronc cérébral
  - Cervelet
  - Ganglions de la base...
  - Cortex moteur et prémoteur...



# Le Système Moteur: Composition

Motricité  
Volontaire

4 sous-systèmes:



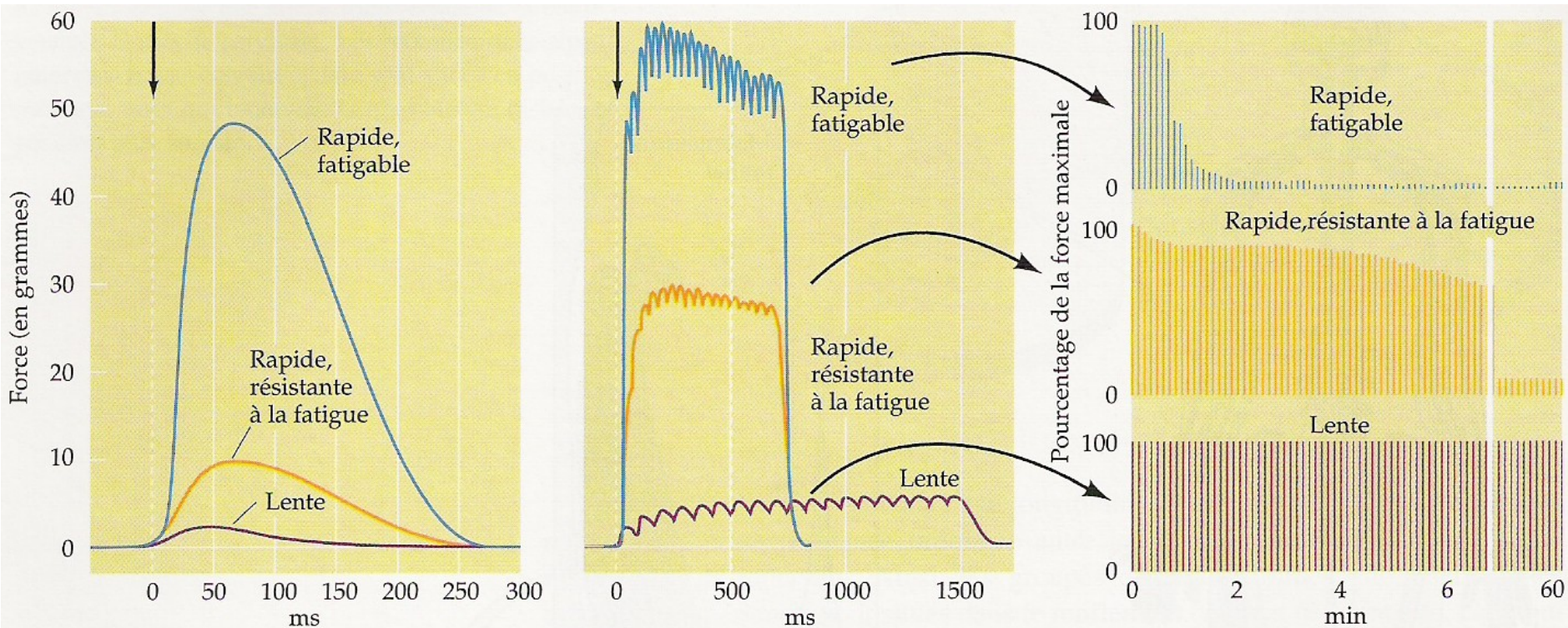
Motricité  
Automatique

# La Musculature

- La Musculature Lisse
  - (Système digestif et artères)
- La Musculature Striée (Squelettique)
  - Unités motrices rapides et fatigables  
(FF: « *fast fatigable* »)
  - Unités motrices lentes  
(S: « *Slow* »)
  - Unités motrices rapides et résistantes à la fatigue  
(FR: « *fatigue resistant* »)

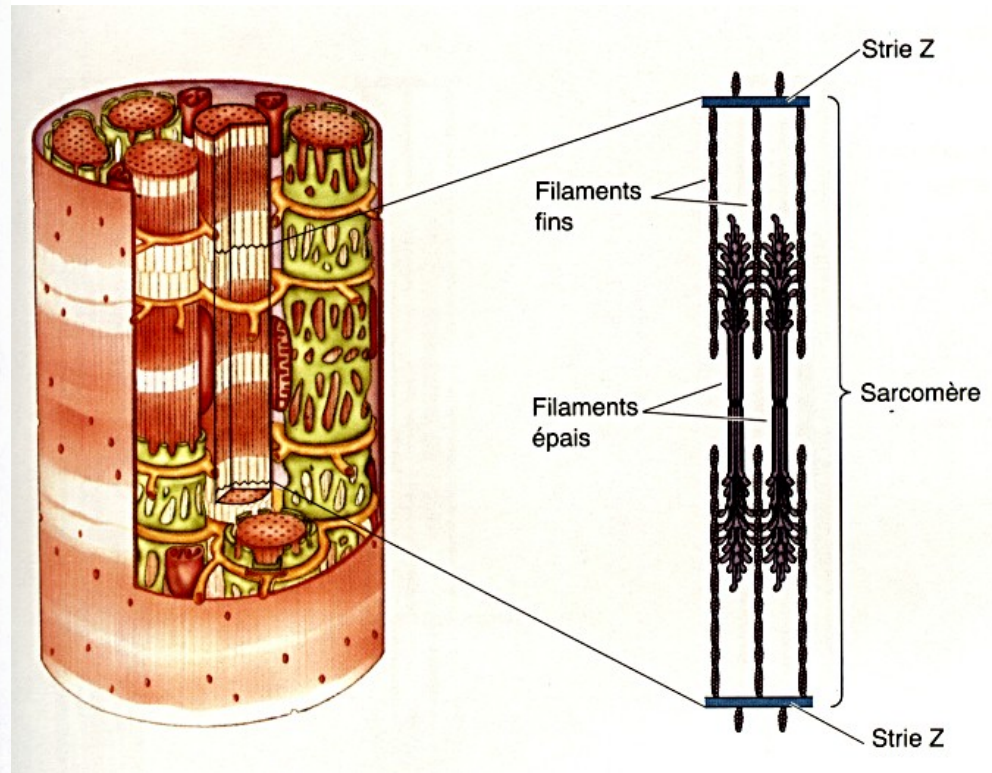
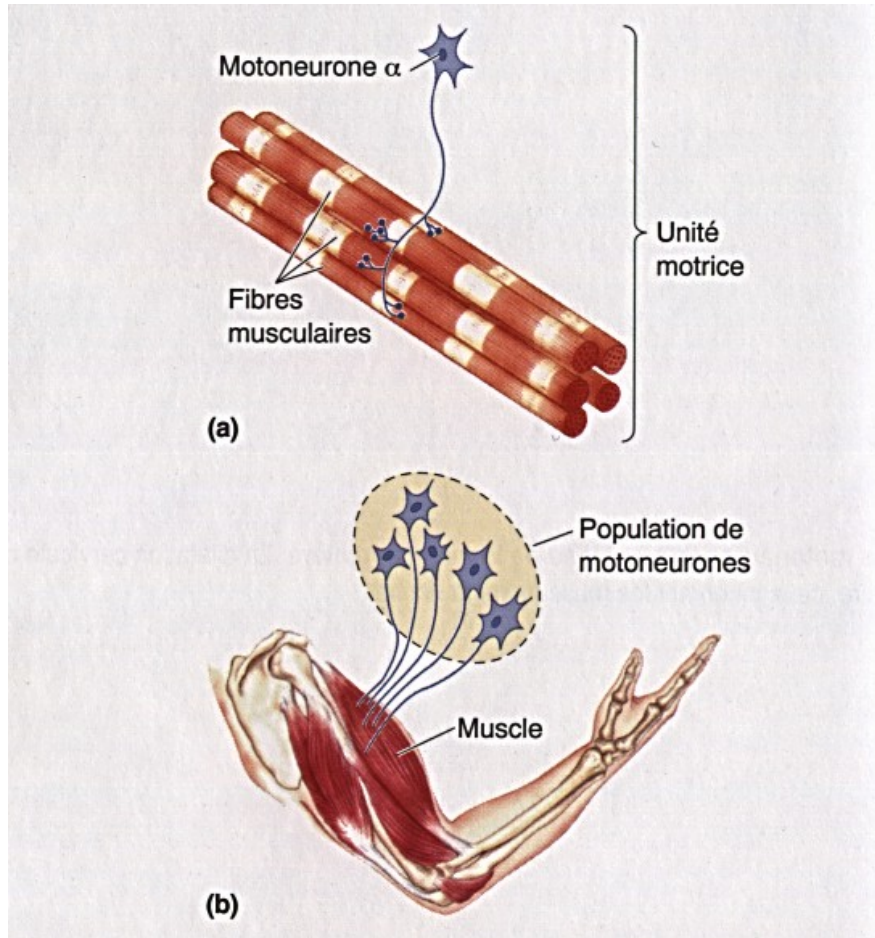


# La Musculature

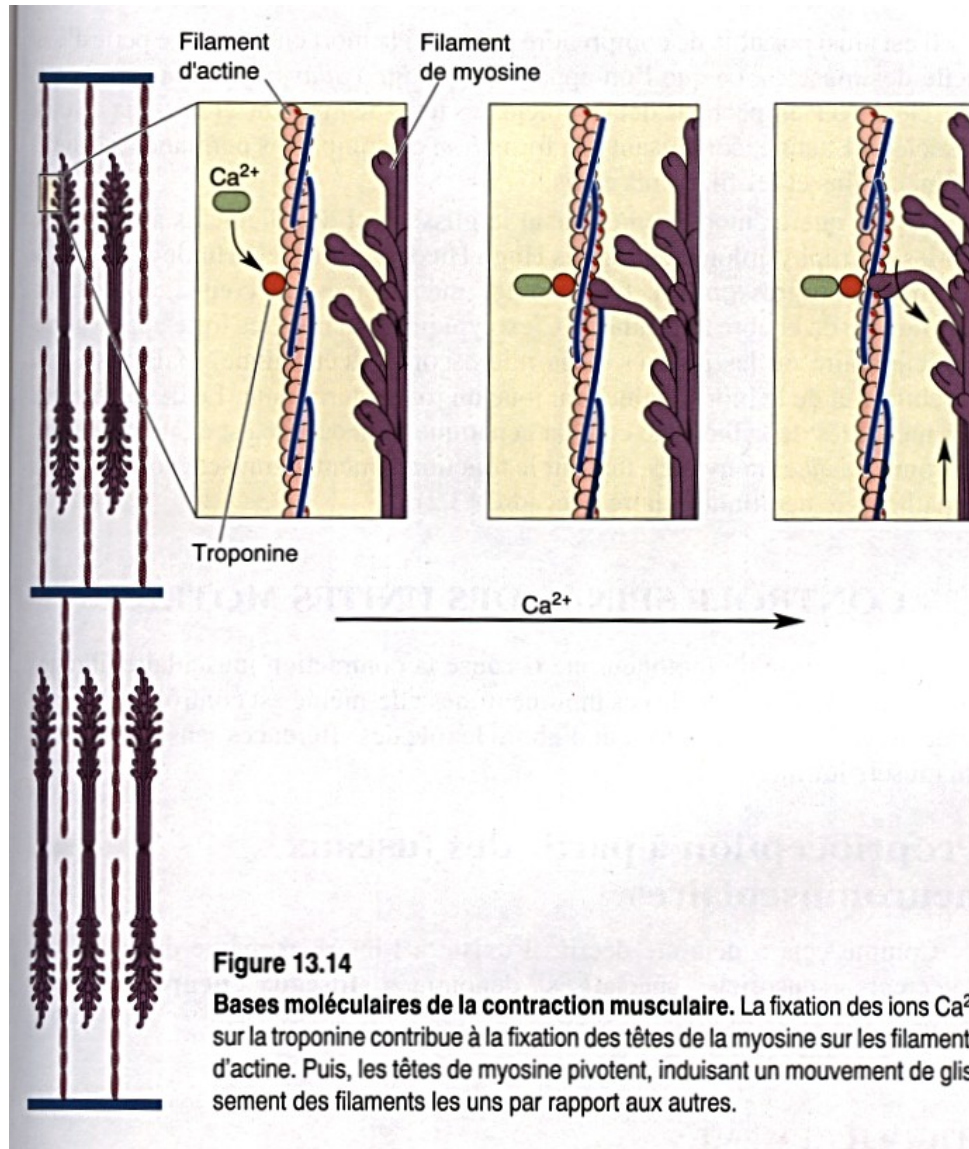




# Le muscle

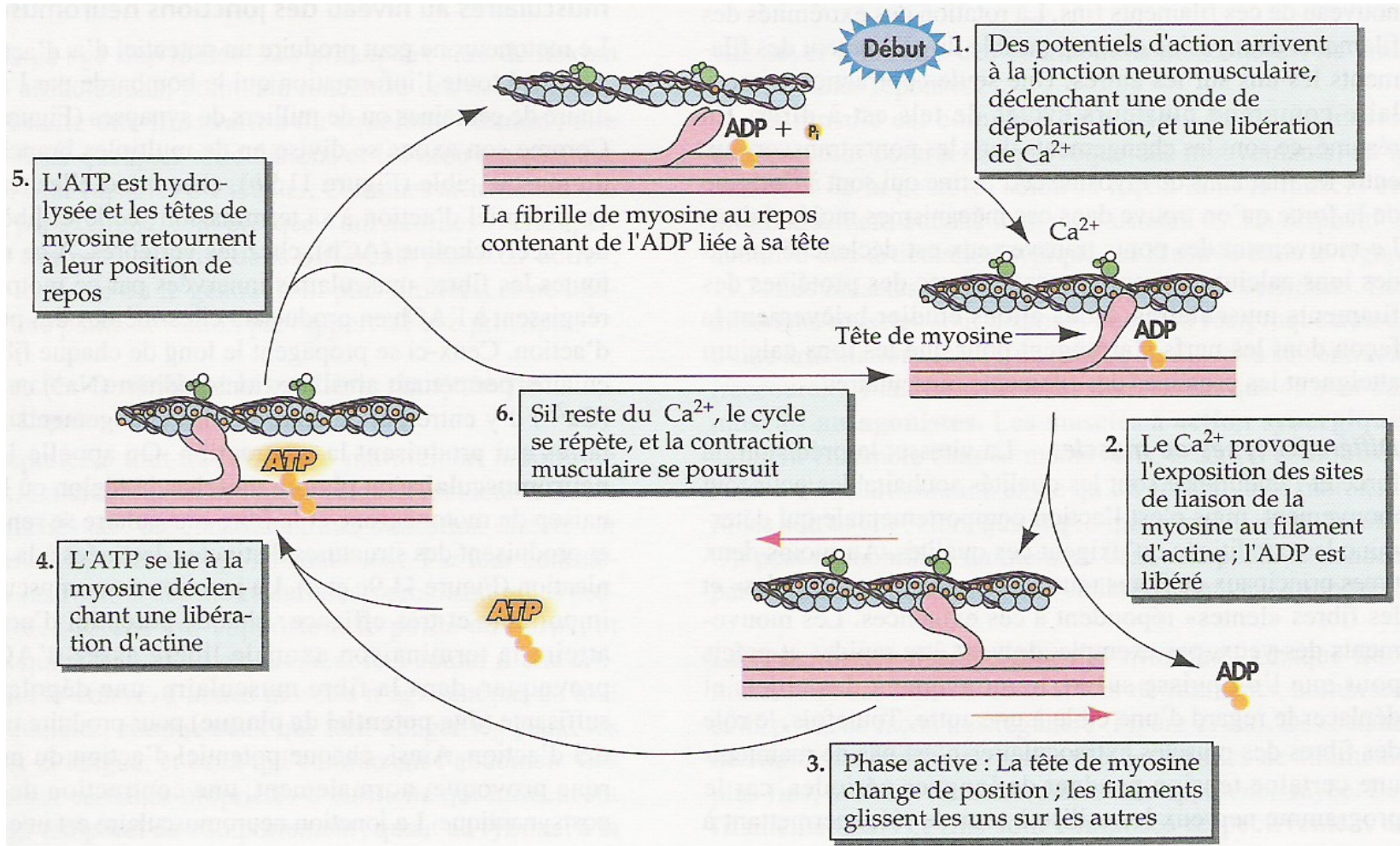


# La Contraction Musculaire

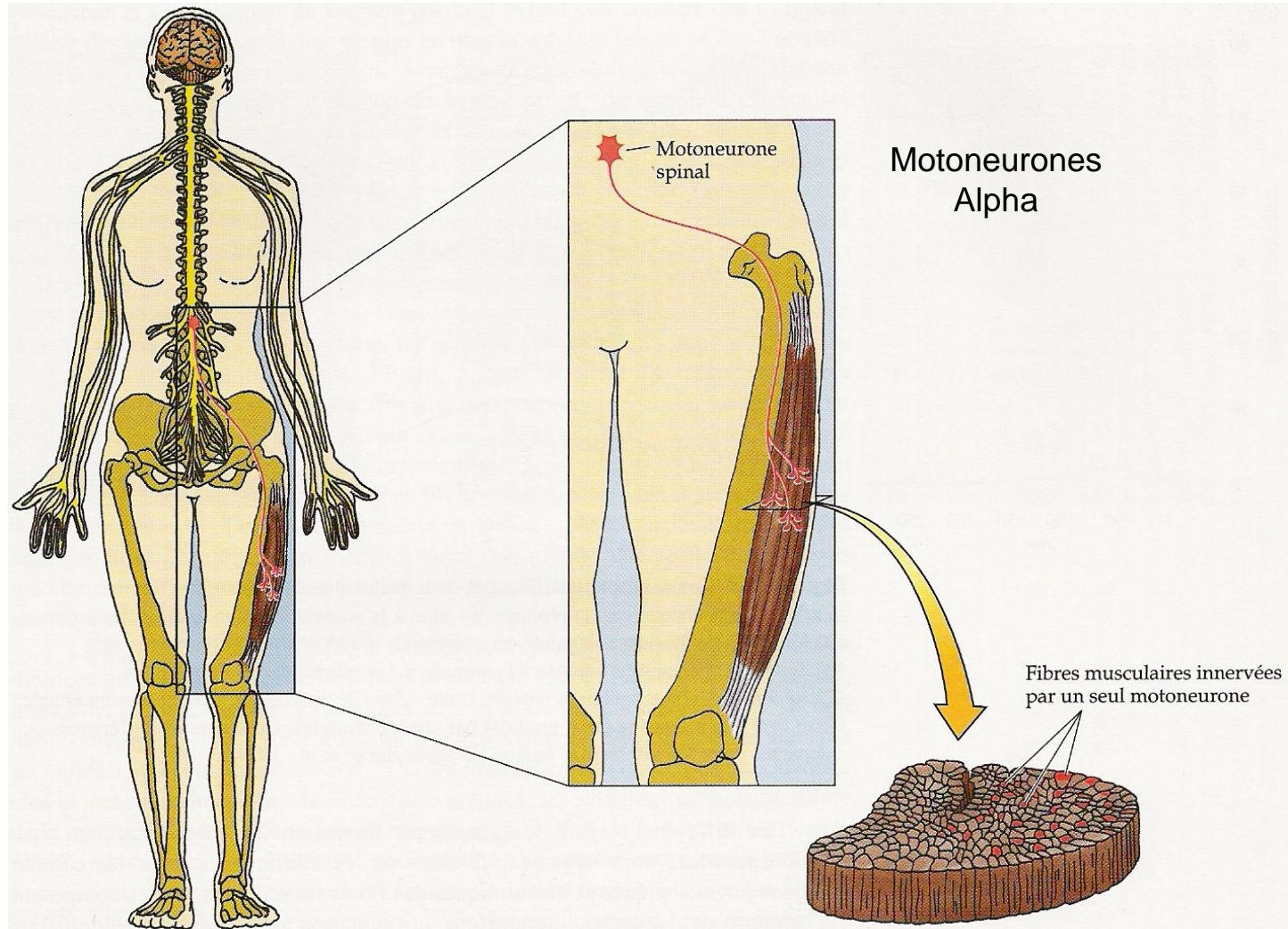




# La Contraction Musculaire

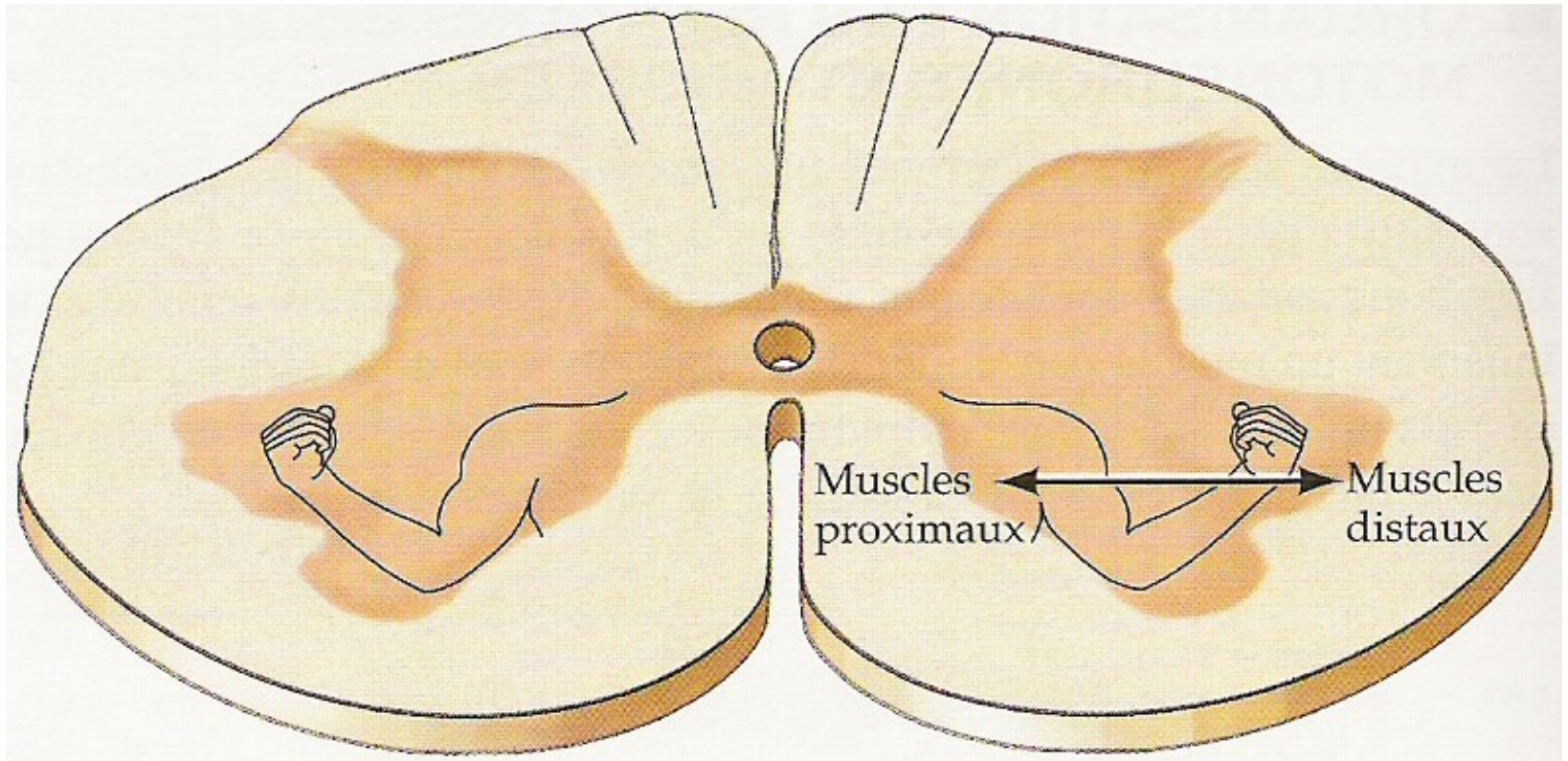


# La Moelle Epinière



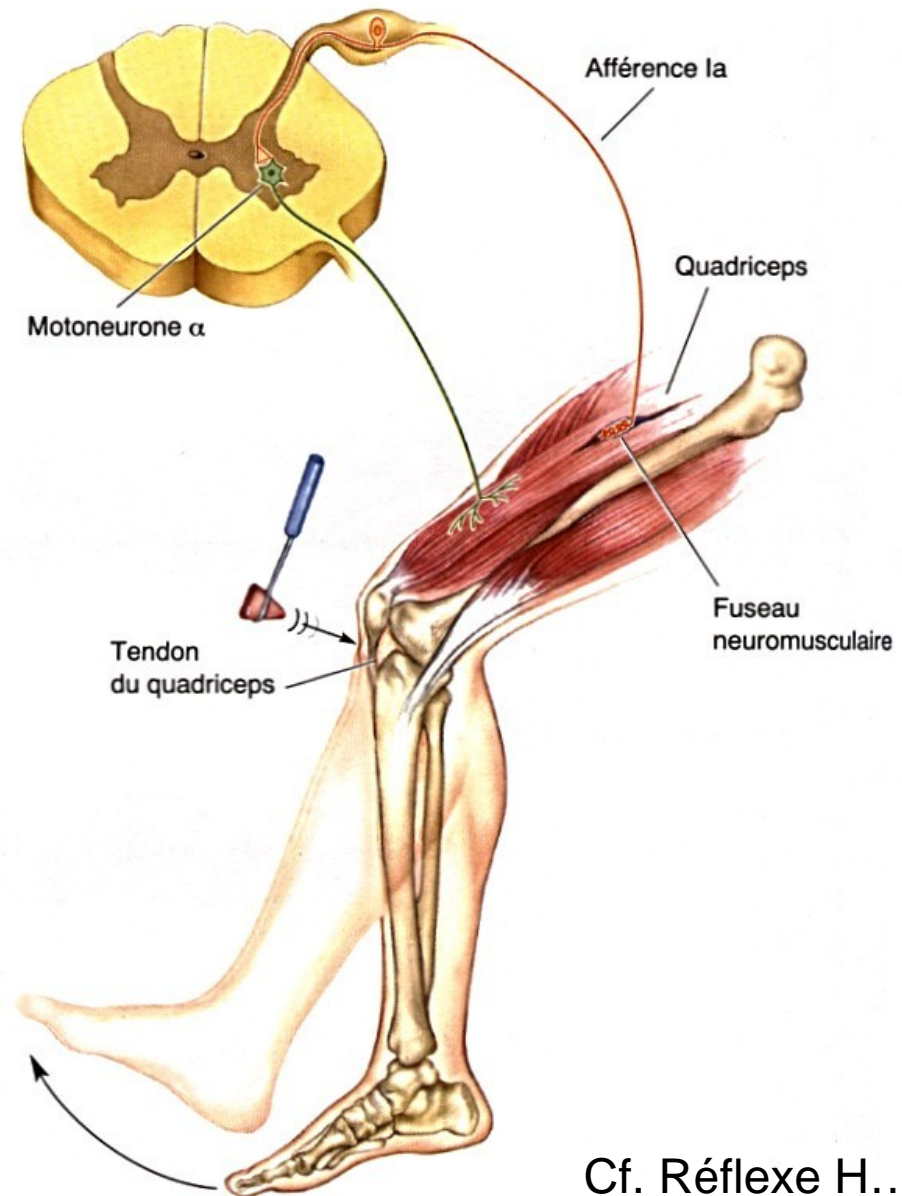


# La Moelle Epinière



# Les Circuits Spinaux des Réflexes Sensorimoteurs

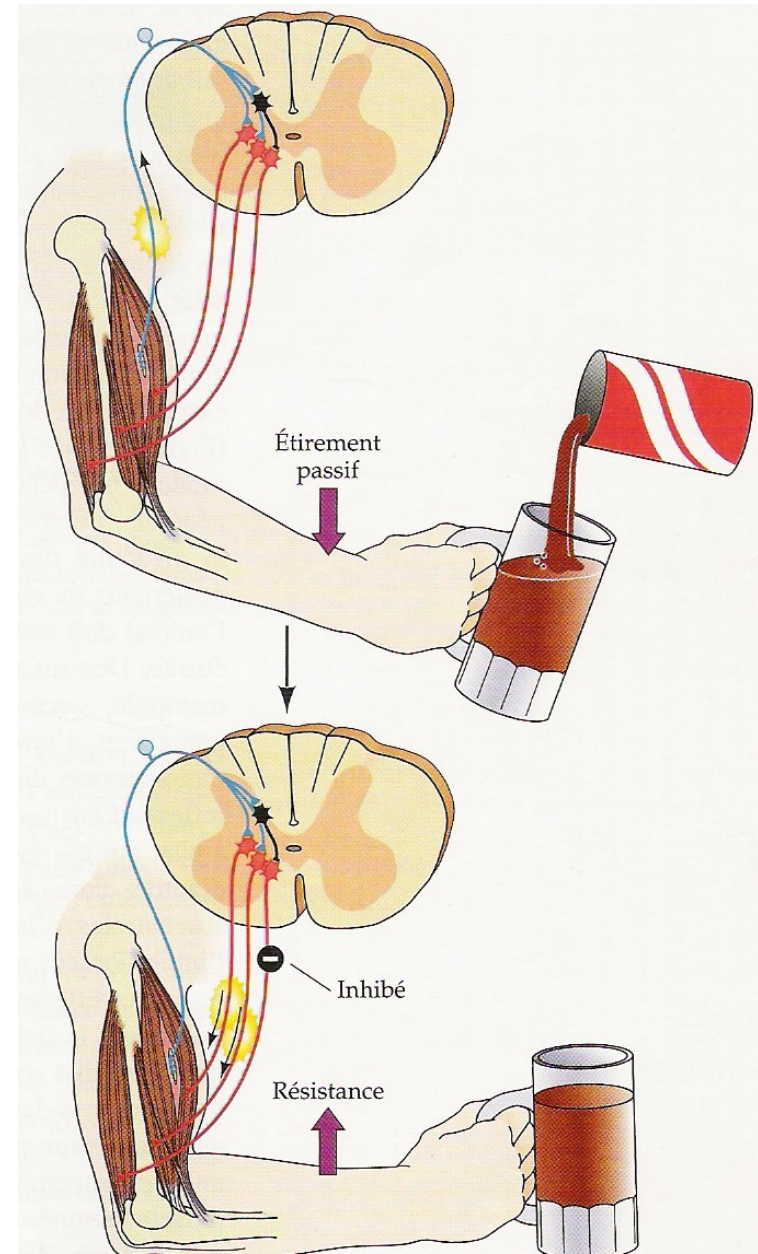
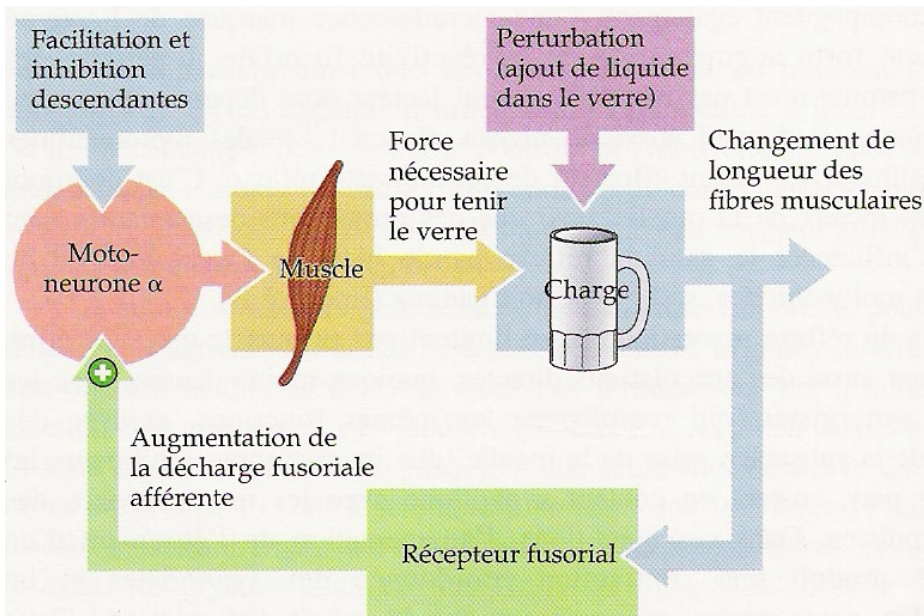
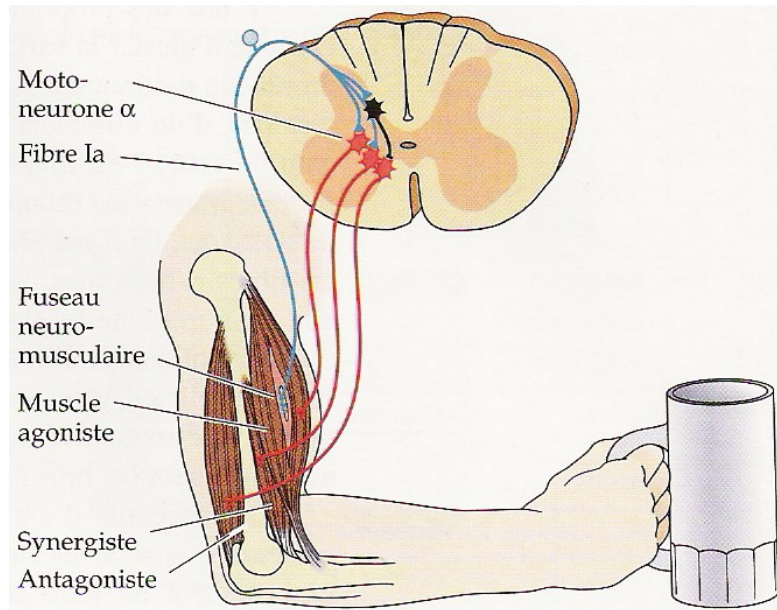
- Le Réflexe d'étirement  
(Myotatique, monosynaptique)



Cf. Réflexe H...



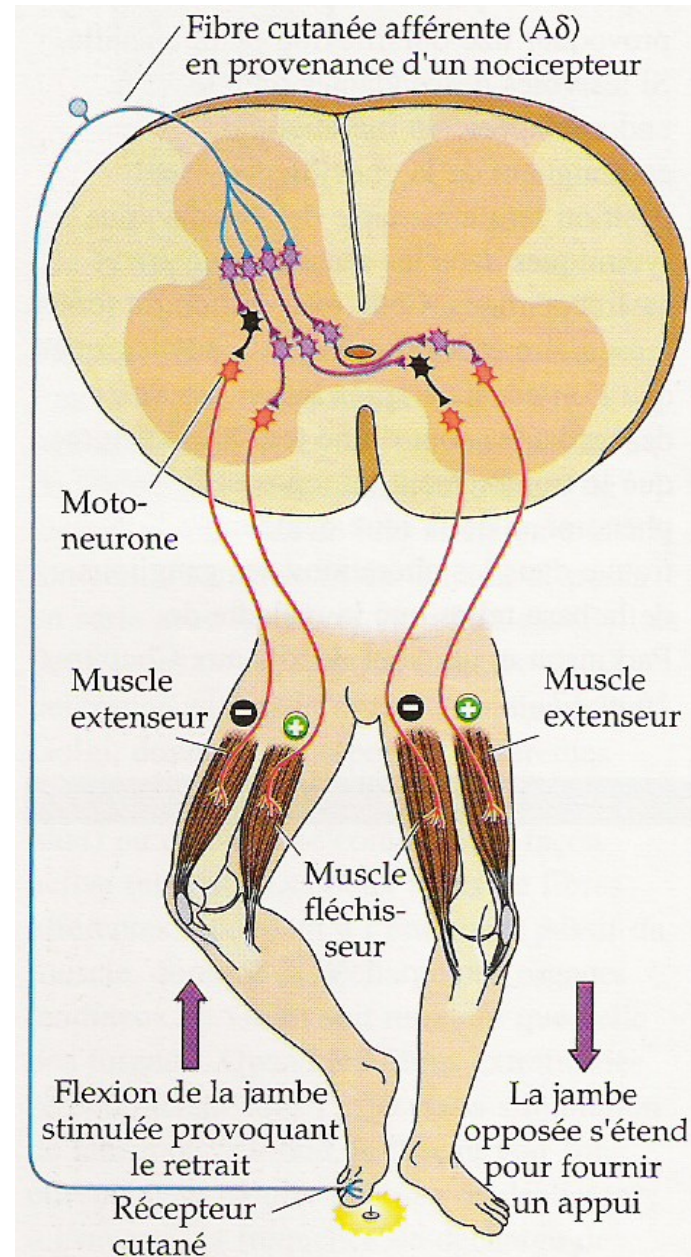
# Les Circuits Spinaux des Réflexes Sensorimoteurs



# Les Circuits Spinaux des Réflexes Sensorimoteurs

- Le Réflexe de Flexion (polysynaptique)

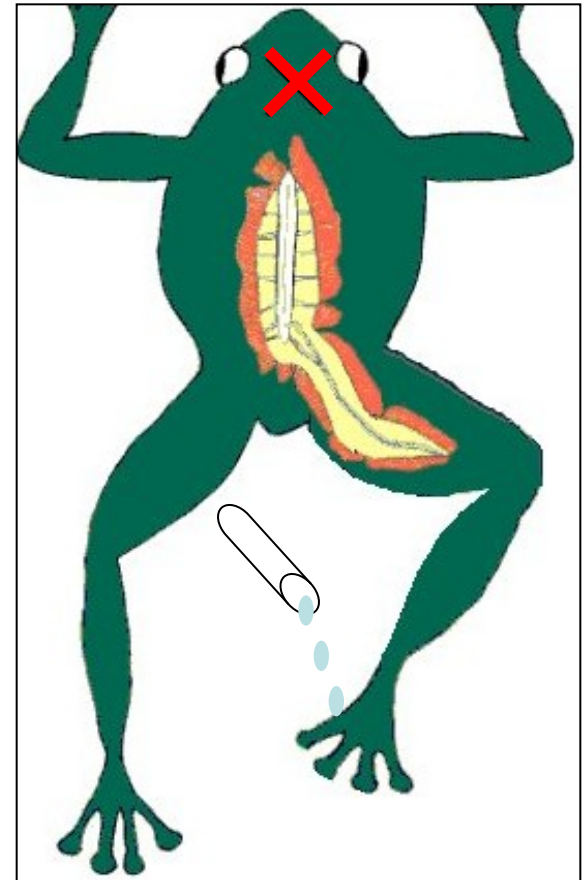
Rôle des interneurones...





# Les Circuits Spinaux des Réflexes Sensorimoteurs

- Les "réflexes complexes"...
  - De la réaction à l'action...
    - T0: Décérébration
    - Gouttes d'acide
    - T1: Retrait (flexion)
    - T2: Grattage patte 1
    - T3: Grattage patte 2



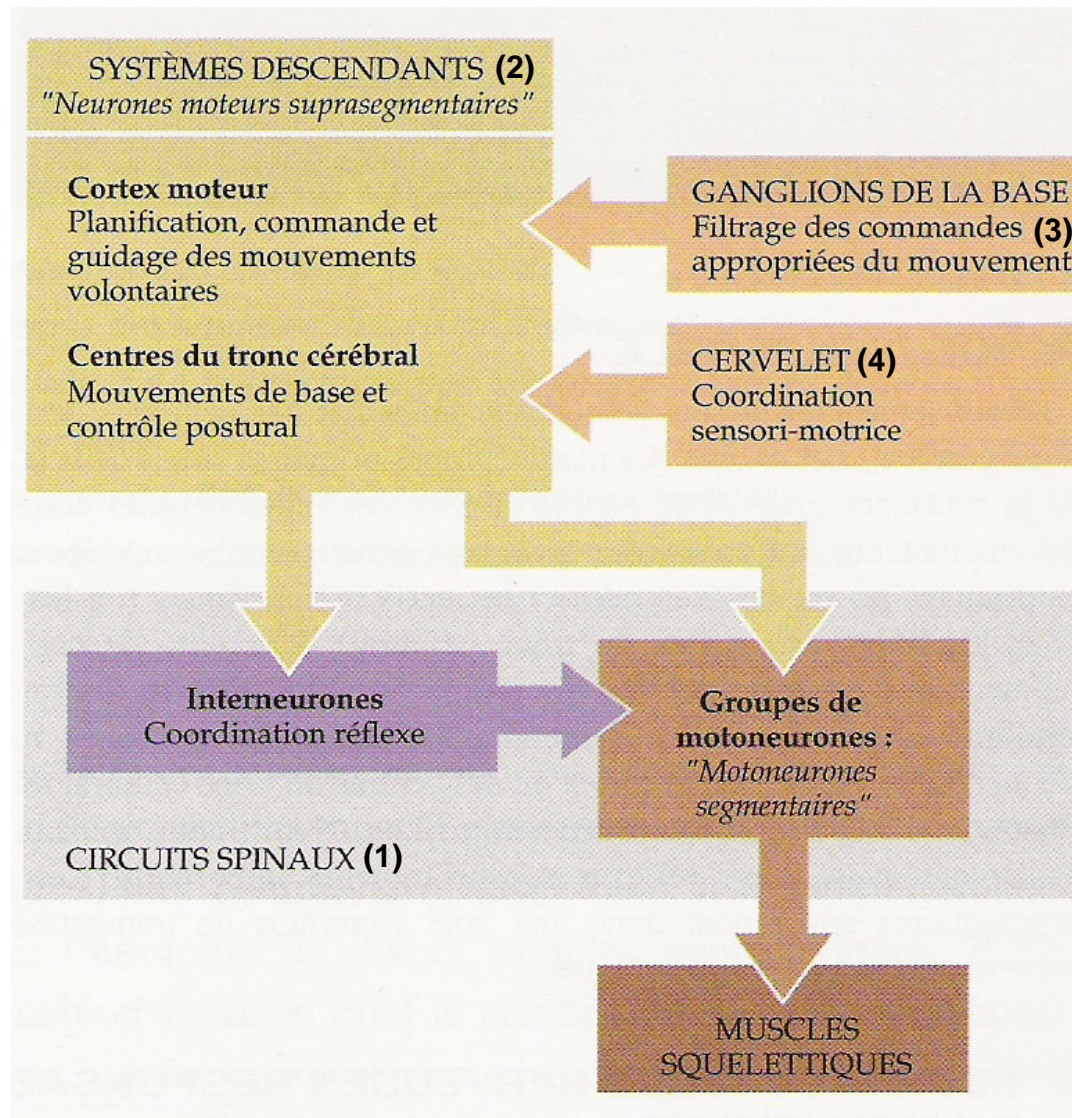
# Résumé: Le Système moteur Périphérique

Quatre sous-systèmes moteurs distincts, mais hautement interactifs, apportent des contributions capitales au contrôle moteur: les circuits spinaux, les voies descendantes, les ganglions de la base et le cervelet. Les motoneurones alpha de la moelle, de même que les neurones des noyaux des nerfs crâniens dans le tronc cérébral, constituent le lien direct entre le système nerveux et les muscles. Chaque motoneurone alpha constitue avec les fibres musculaires qu'il innerve une entité fonctionnelle, l'unité motrice. Les unités motrices varient par leur taille, par la tension qu'elles développent et par leur degré de fatigabilité. Les augmentations progressives de la tension musculaire sont dues à la fois au recrutement ordonné des différents types d'unités motrices et à l'augmentation de la fréquence de décharge des motoneurones. Une lésion des motoneurones alpha ou de leur axone entraîne une paralysie du muscle qu'ils innervent ainsi que d'autres troubles, parmi lesquels on peut citer la perte de l'activité réflexe, l'abolition du tonus musculaire, le début d'une atrophie musculaire et l'apparition de contractions spontanées des fibres musculaires. Les circuits spinaux, qui comprennent des fibres afférentes sensibles, des interneurones et des motoneurones alpha et gamma, sont d'une importance particulière pour le contrôle réflexe de l'activité musculaire. Le réflexe d'étirement fait intervenir des connexions monosynaptiques entre fibres sensorielles innervant les fuseaux neuromusculaires et motoneurones alpha de la corne ventrale de la moelle. Les motoneurones gamma règlent le gain du réflexe d'étirement en ajustant le niveau de tension des fibres musculaires intrafusales du fuseau neuromusculaire. Ces éléments du circuit du réflexe d'étirement déterminent le niveau de base de l'activité des motoneurones qui règlent la longueur du muscle et entretiennent le tonus musculaire. D'autres circuits réflexes exercent un contrôle rétroactif de la tension musculaire ou interviennent pour éloigner rapidement les membres des stimulus douloureux. Enfin, le contrôle temporel de l'activation musculaire exigé par des mouvements rythmiques comme la locomotion est en grande partie sous la dépendance de circuits spécialisés, appelés générateurs centraux de rythme, qui siègent également dans la substance grise de la moelle.

# Les Voies Descendantes: Tronc Cérébral et Cortex

Motricité  
Volontaire

4 sous-systèmes:



Motricité  
Automatique

# Les Voies Descendantes: Tronc Cérébral et Cortex

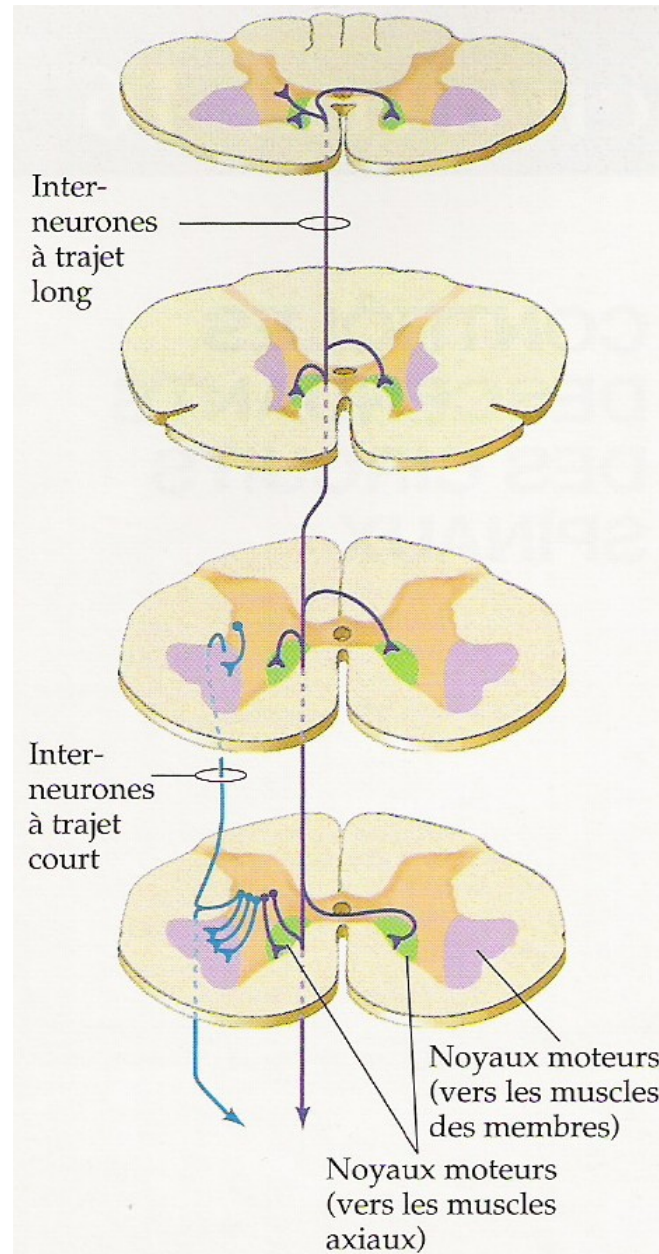
## Voies descendantes:

### Médianes

(plusieurs segments, décussation)

### Latérales:

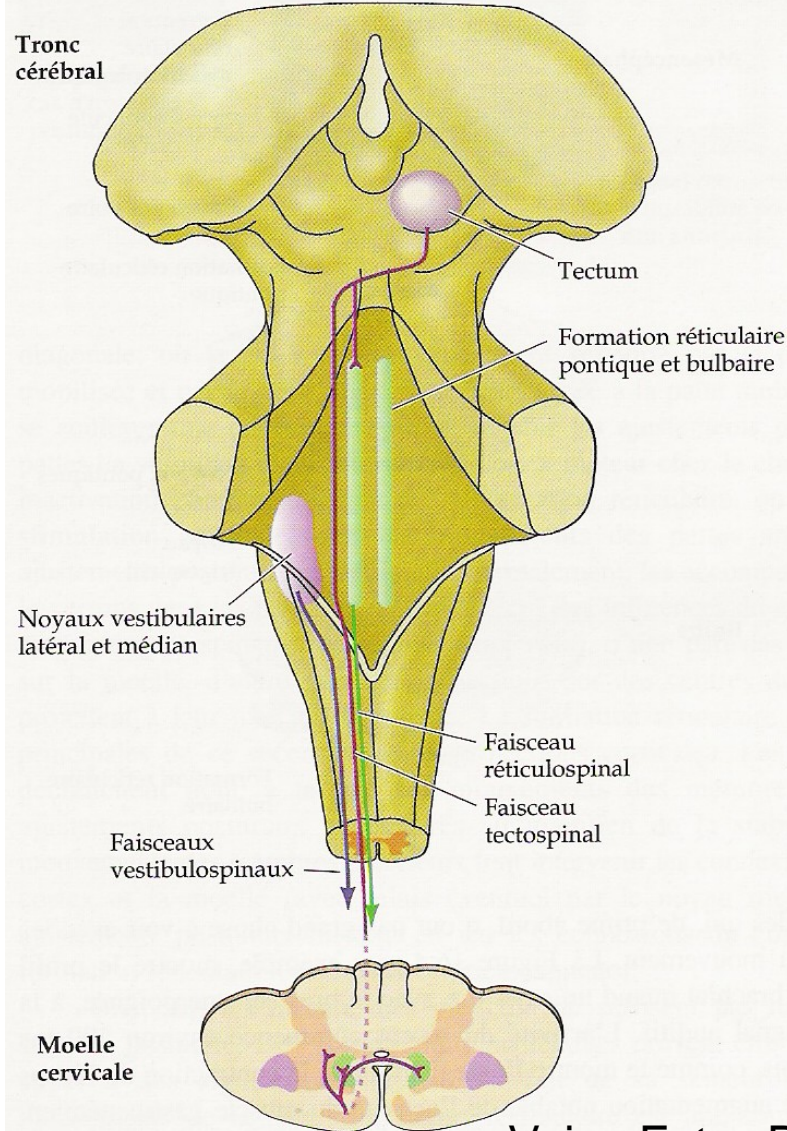
(peu de segments, ipsilatérale)



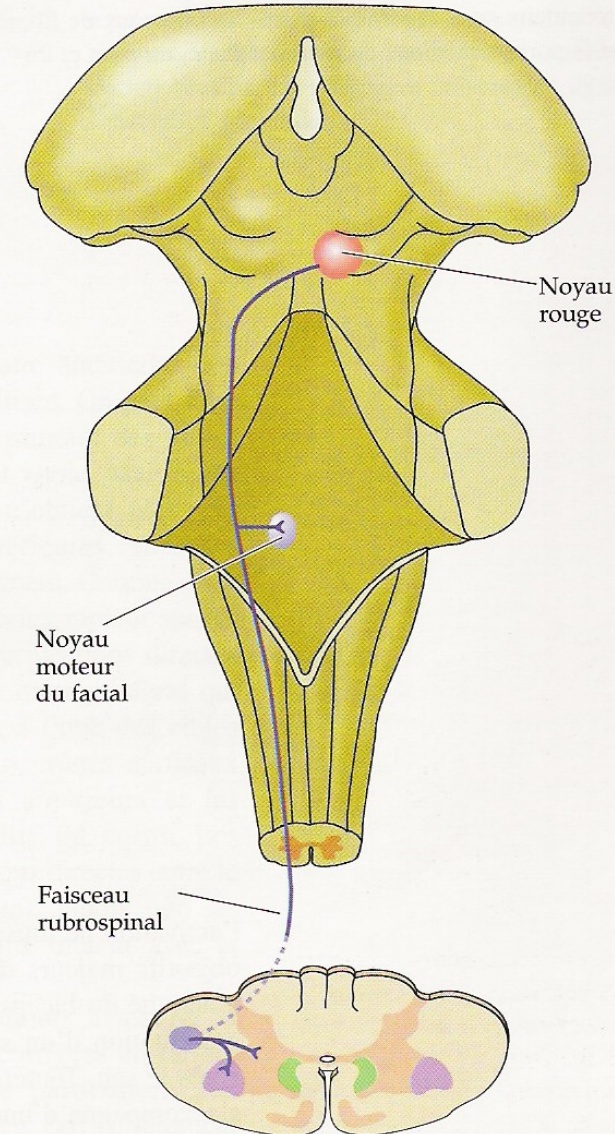


# Les Voies Descendantes Issues du Tronc Cérébral

(A) VOIES MÉDIANES DU TRONC CÉRÉBRAL



(B) VOIES LATÉRALES DU TRONC CÉRÉBRAL



Voies Extra-Pyramidales

Noyau vestibulaire:

Projection Médiane  
(Equilibre)

Formation Réticulaire:

Projection Médiane  
(Posture)

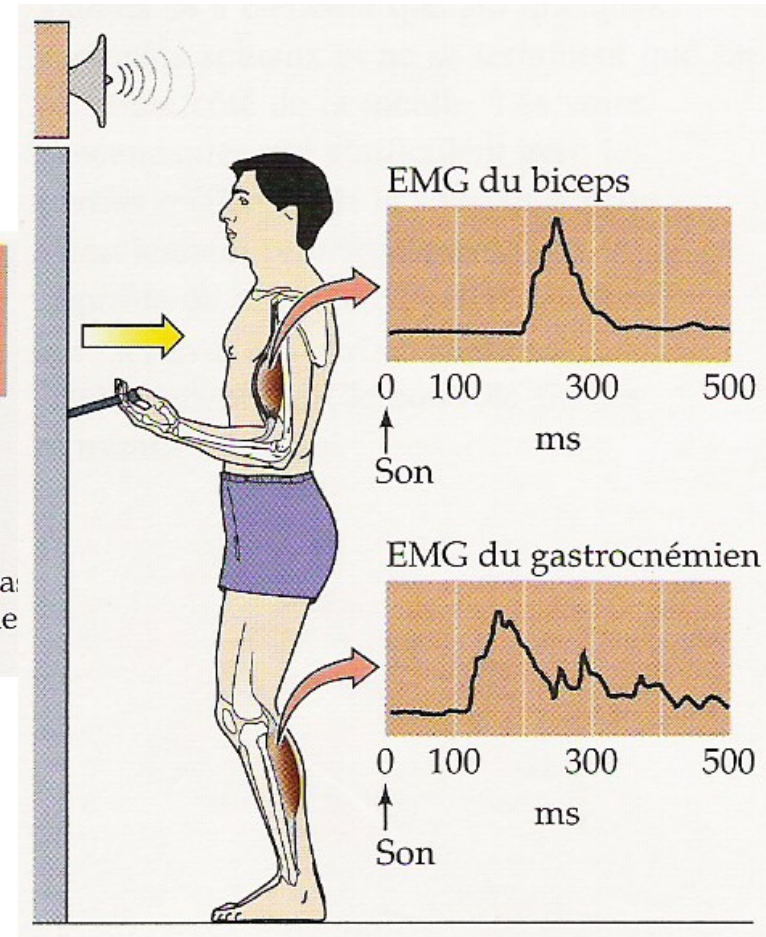
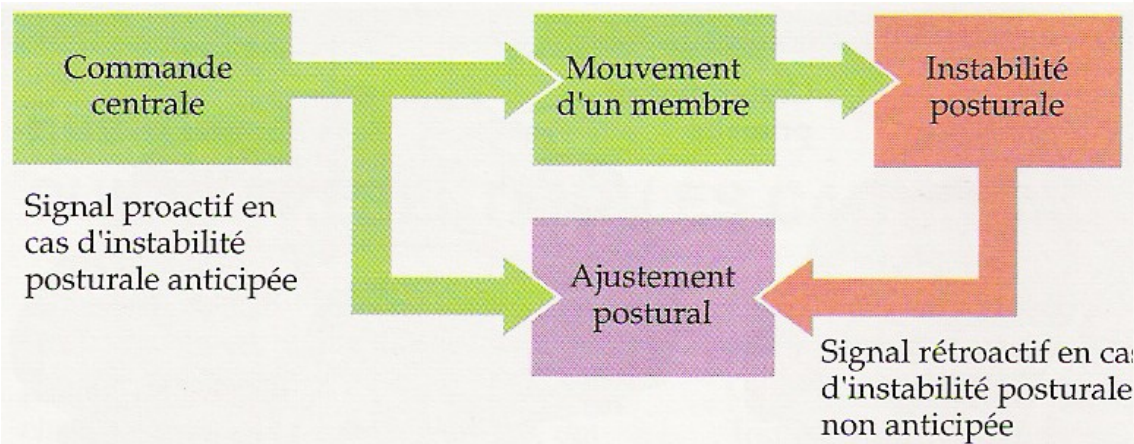
Colliculus Supérieur:

Projection Médiane  
Cervicale  
(Motricité Oculaire,  
tête)

Noyau Rouge:

Projection Latérale  
Cervicale  
(Motricité des bras)

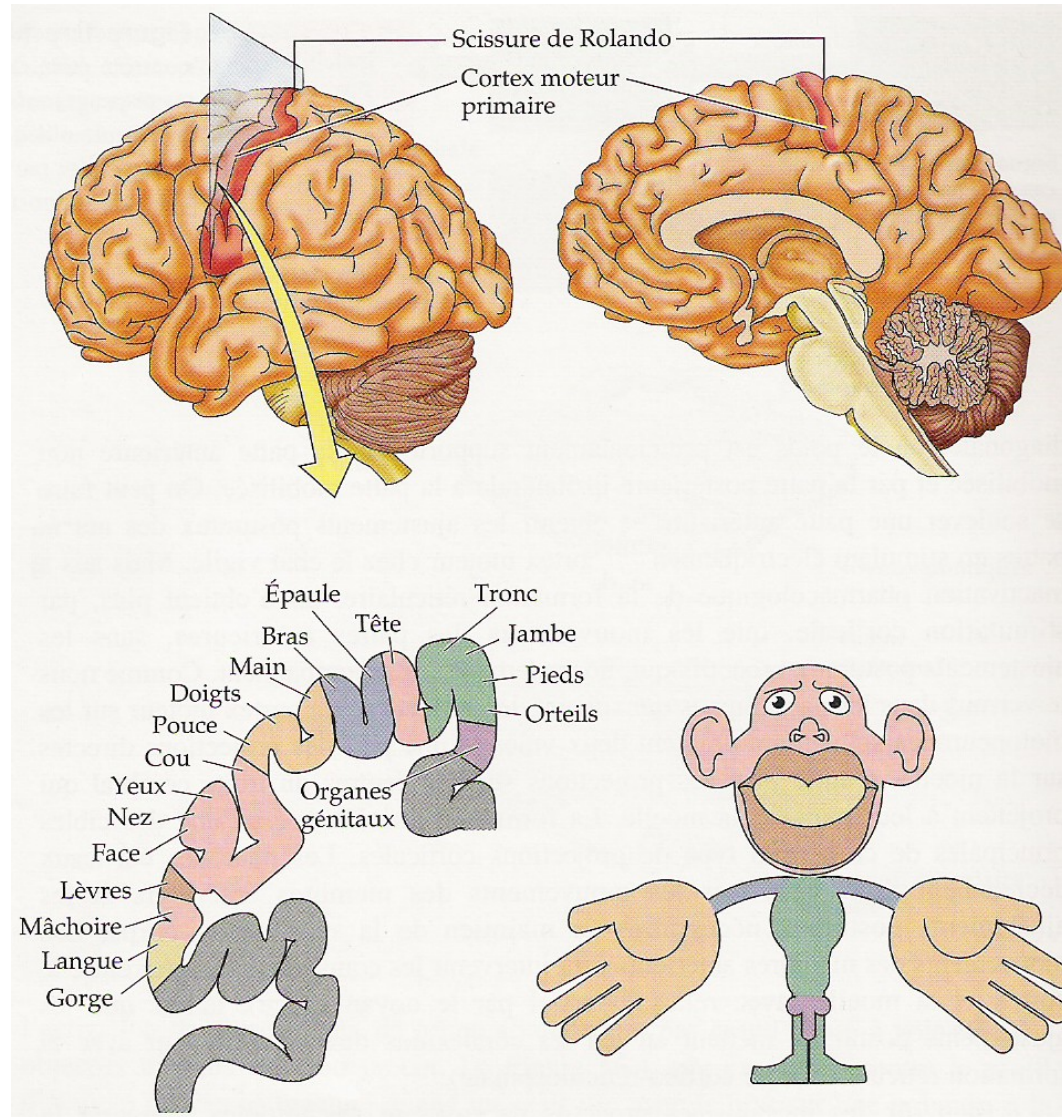
# Les Voies Descendantes Issues du Tronc Cérébral





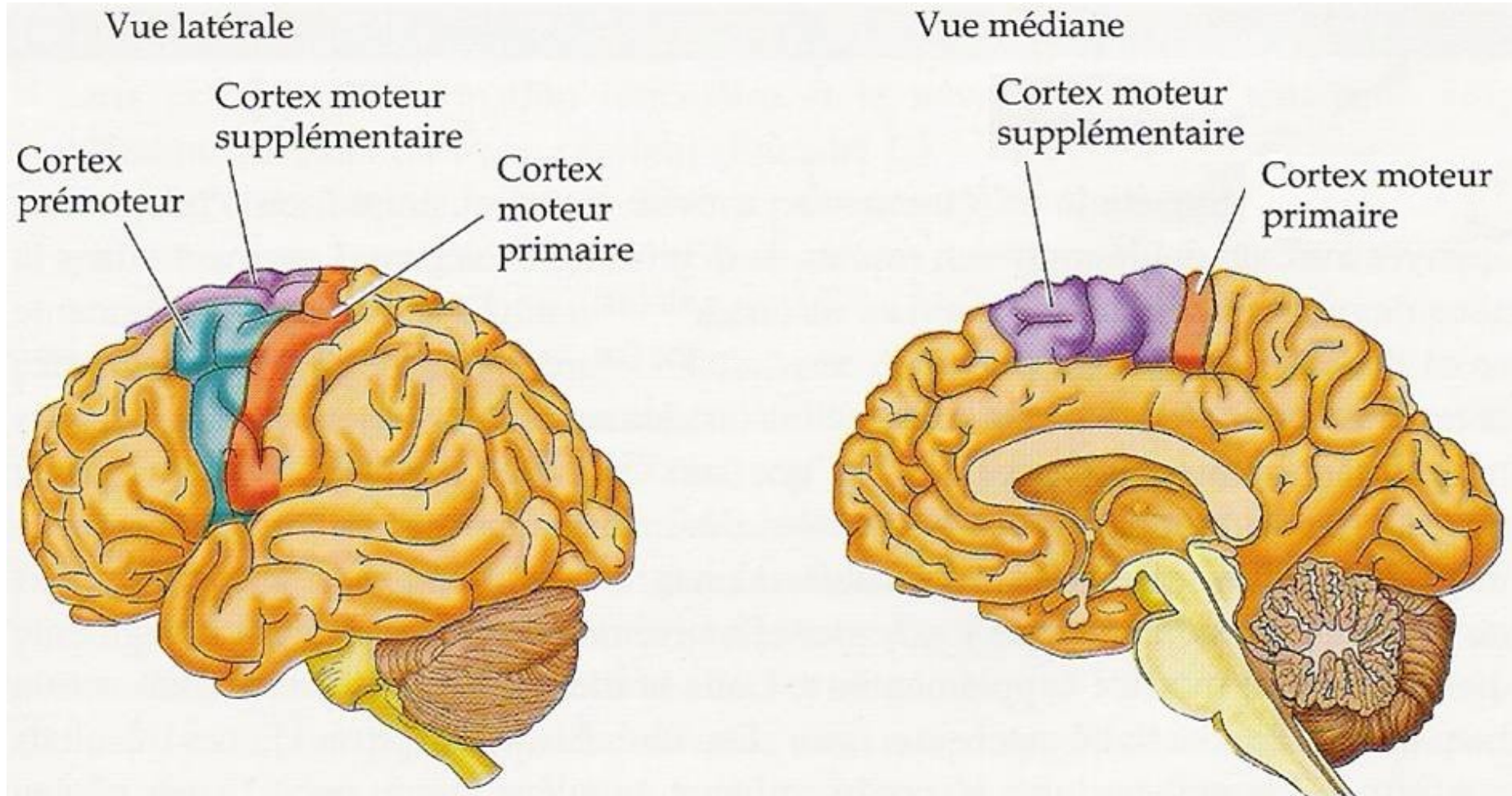
# Les Voies Descendantes Issues du Cortex

- Le Cortex Moteur Primaire (aire 4)



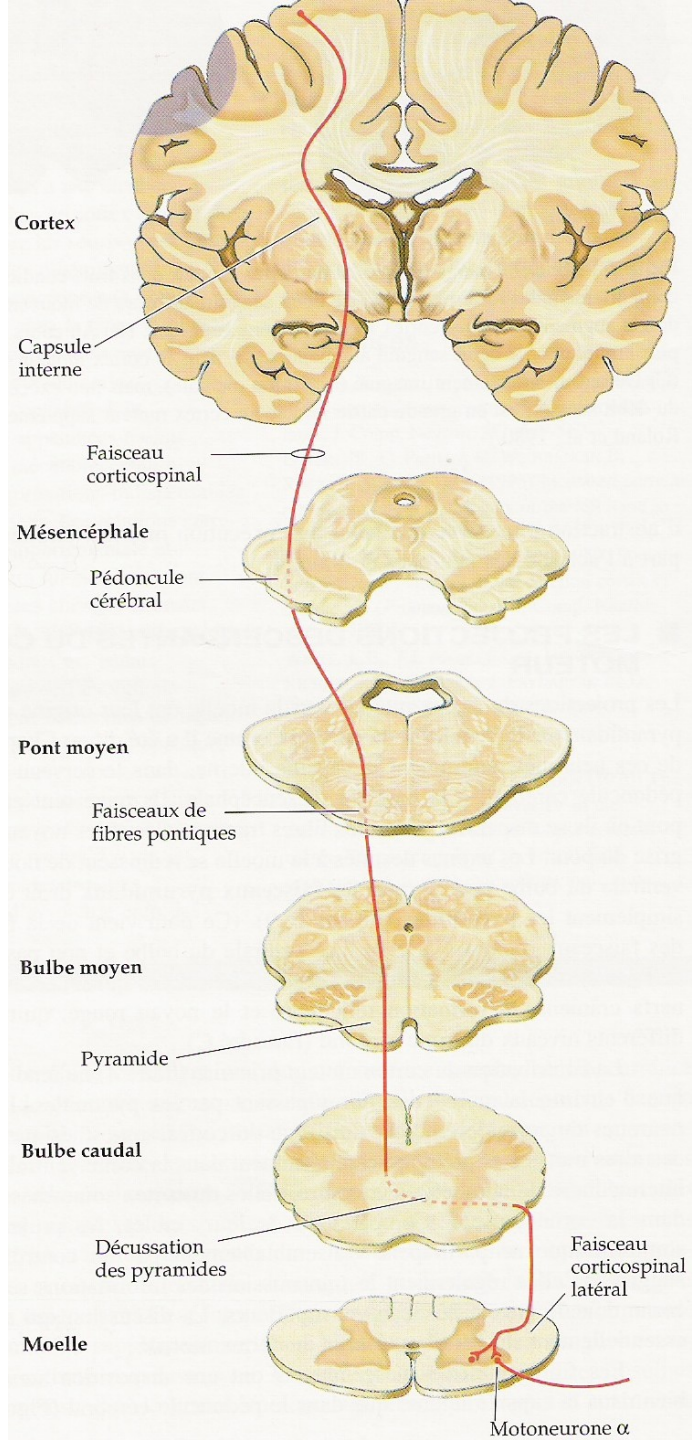
# Les Voies Descendantes Issues du Cortex

- Le Cortex Prémoteur (aire 6) et l'Aire Motrice Supplémentaire





# Voie Pyramidale (Cortico-motoneuronale)



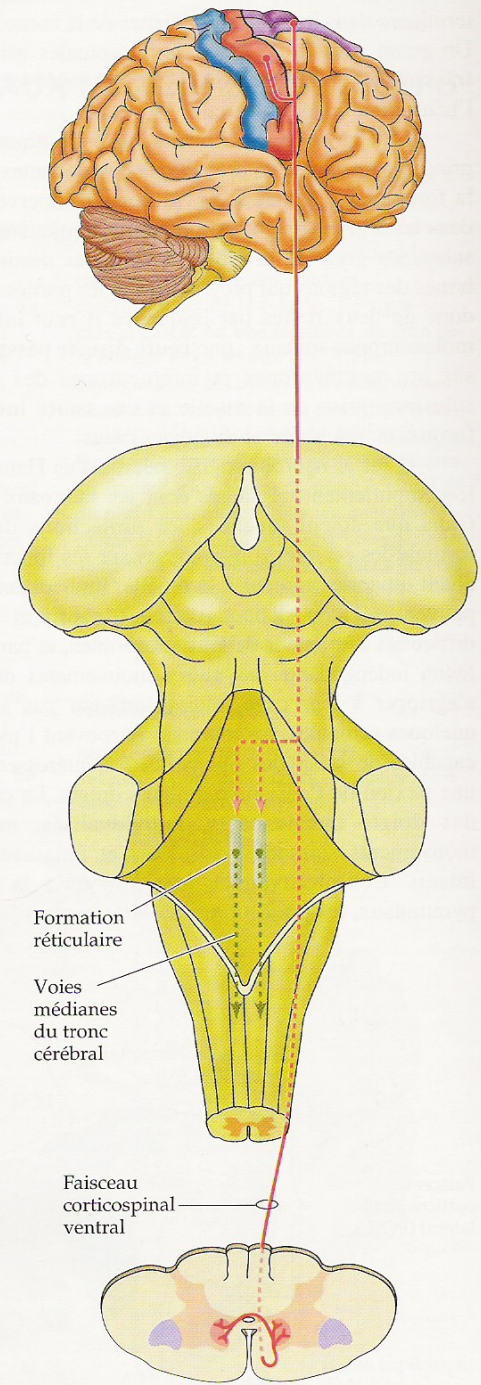
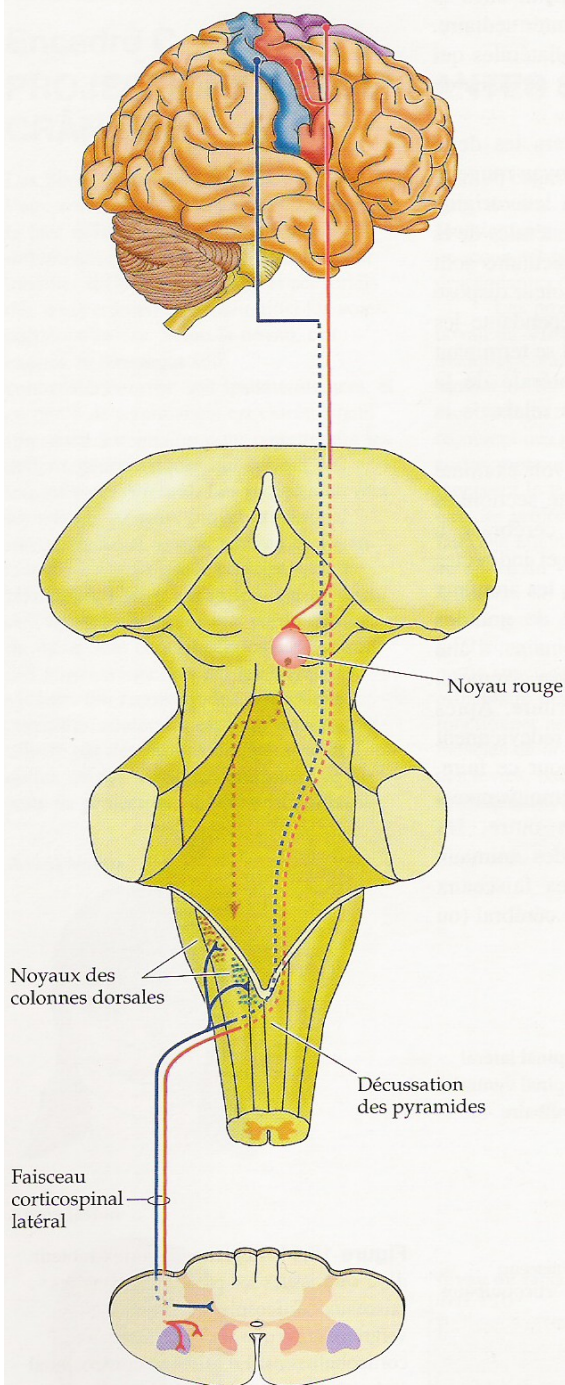
(A) Faisceau corticospinal latéral

(B) Faisceau corticospinal ventral

Cerveau

Tronc cérébral

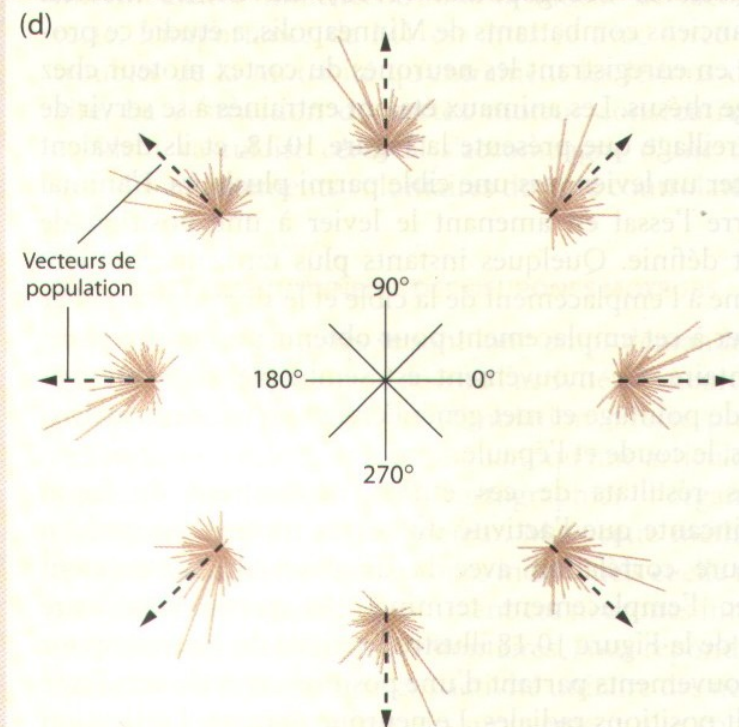
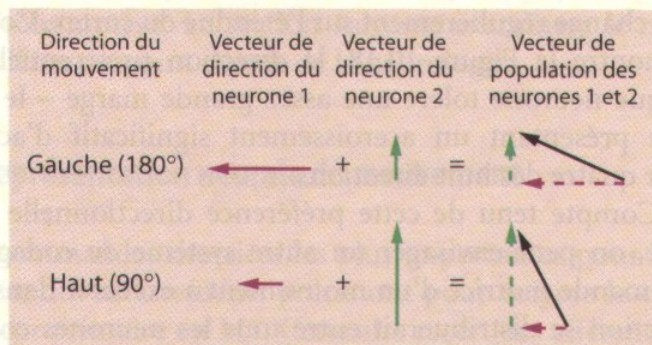
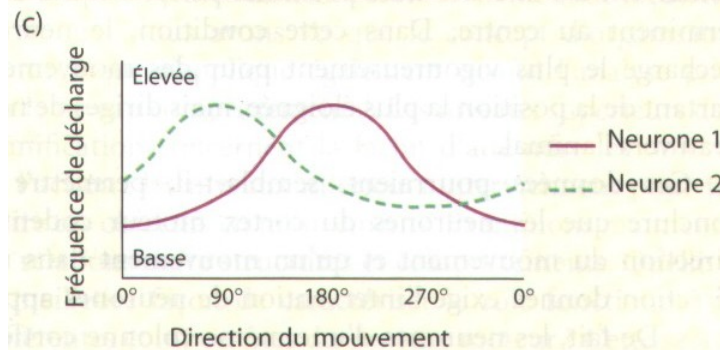
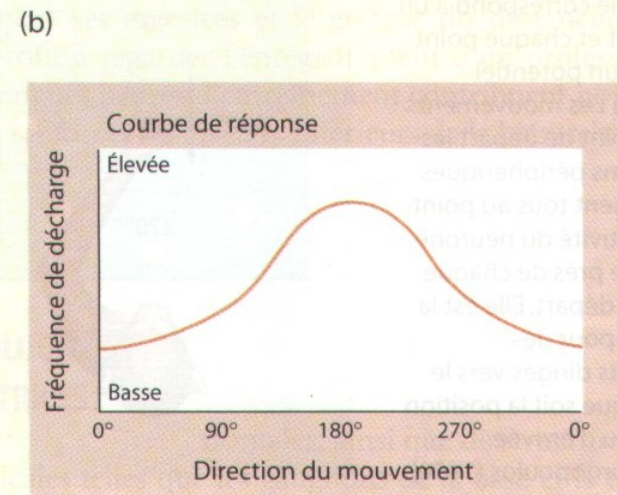
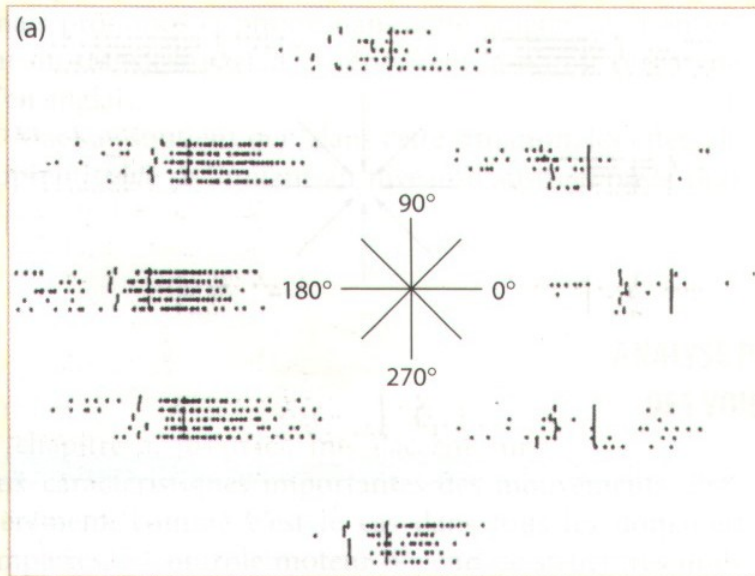
Moelle



# Le Cortex Moteur Primaire et le Codage de la Direction du Mouvement









# L'Imagerie Motrice

- Même zones activées...
- Activation de la SMA, du cortex préfrontal, pariétal, cervelet...(cortex moteur primaire)
- Chronométrie comparable
- Amélioration de la performance motrice (entraînement réel: 30%, Imagerie: 22%)
- Modification proportionnelle du rythme cardiaque et respiratoire

# Le Syndrome Pyramidal

- Lésion des voies motrices corticospinales
- Contrôle des muscles du tronc préservé
- T1: Paralyse flasque contra-latérale
- T2:       Signe de Babinski  
              Spasticité  
              Hyporéflexie

# Résumé: Le Système moteur Central

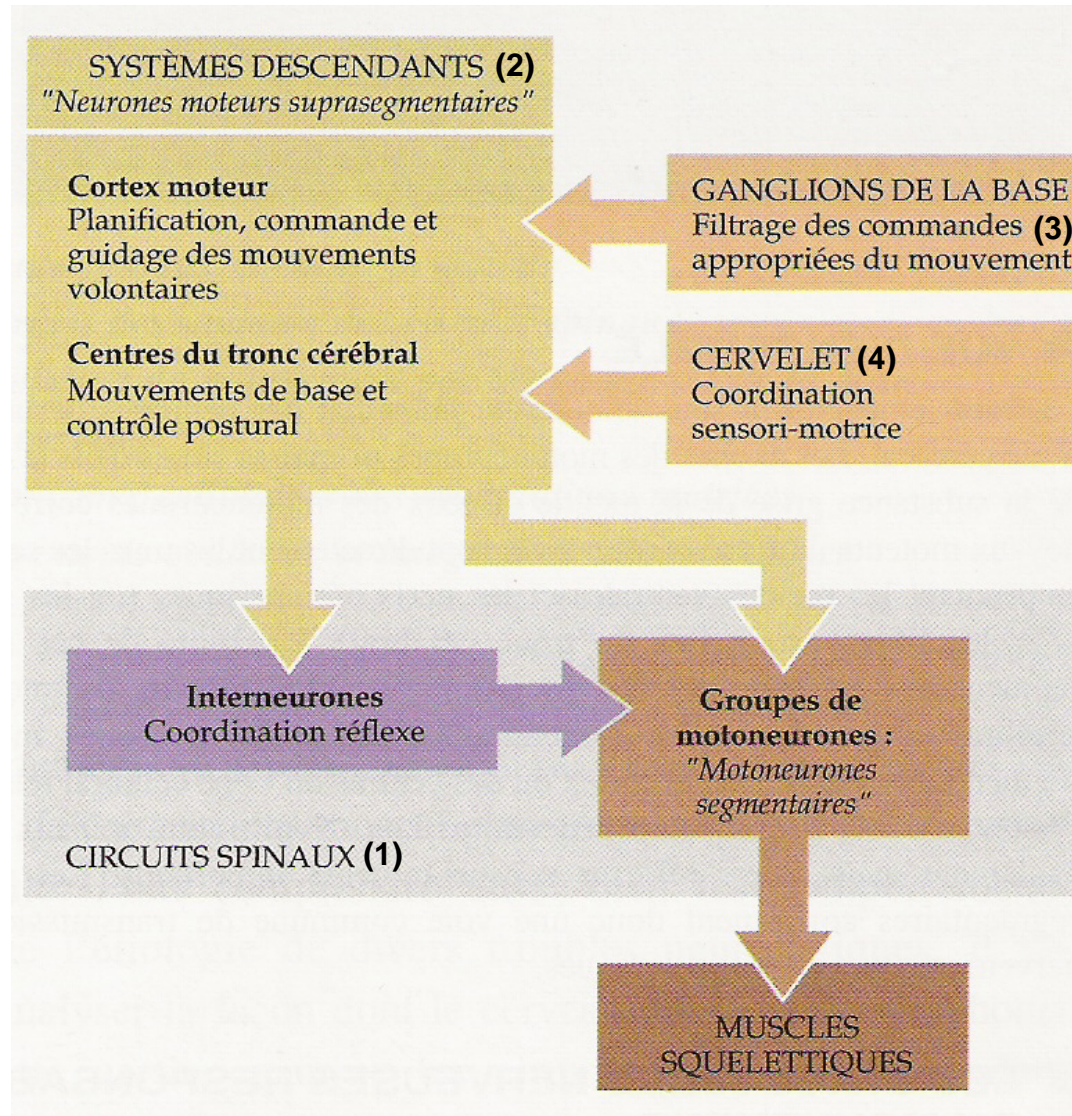
Il y a deux ensembles principaux de projections motrices descendantes, apportant chacune leur contribution propre au contrôle moteur. Le premier ensemble a son origine dans les neurones du tronc cérébral, principalement dans la formation réticulaire et dans le noyau vestibulaire, et il est responsable de la régulation de la posture. La formation réticulaire joue un rôle particulièrement important dans le contrôle proactif de la posture (c'est-à-dire dans les mouvements occasionnés par l'anticipation d'un changement de la stabilité du corps). Les neurones du noyau vestibulaire qui projettent sur la moelle jouent un rôle important dans les mécanismes posturaux rétroactifs (mouvement produits en réponse à des signaux sensoriels indiquant l'existence d'une perturbation posturale). Le second ensemble de projections motrices descendantes est issu du lobe frontal et il comprend des projections du cortex moteur primaire (aire 4) et de l'aire prémotrice. L'aire prémotrice semble impliquée dans la planification des mouvements et le cortex moteur primaire dans leur exécution. Le cortex moteur influence les mouvements d'une part de façon directe, en allant faire contact avec les motoneurones et les interneurones de la moelle et des noyaux des nerfs crâniens, d'autre part de façon indirecte, en innervant les neurones des centres du -tronc cérébral (formation réticulaire et noyau rouge). Alors que les voies du tronc cérébral peuvent réaliser un contrôle moteur grossier, les projections directes du cortex moteur vers les Motoneurones alpha de la moelle sont indispensables pour les mouvements fins et individualisés des extrémités.



# Modulation de la Motricité par les Ganglions de la base et le Cervelet

Motricité  
Volontaire

4 sous-systèmes:



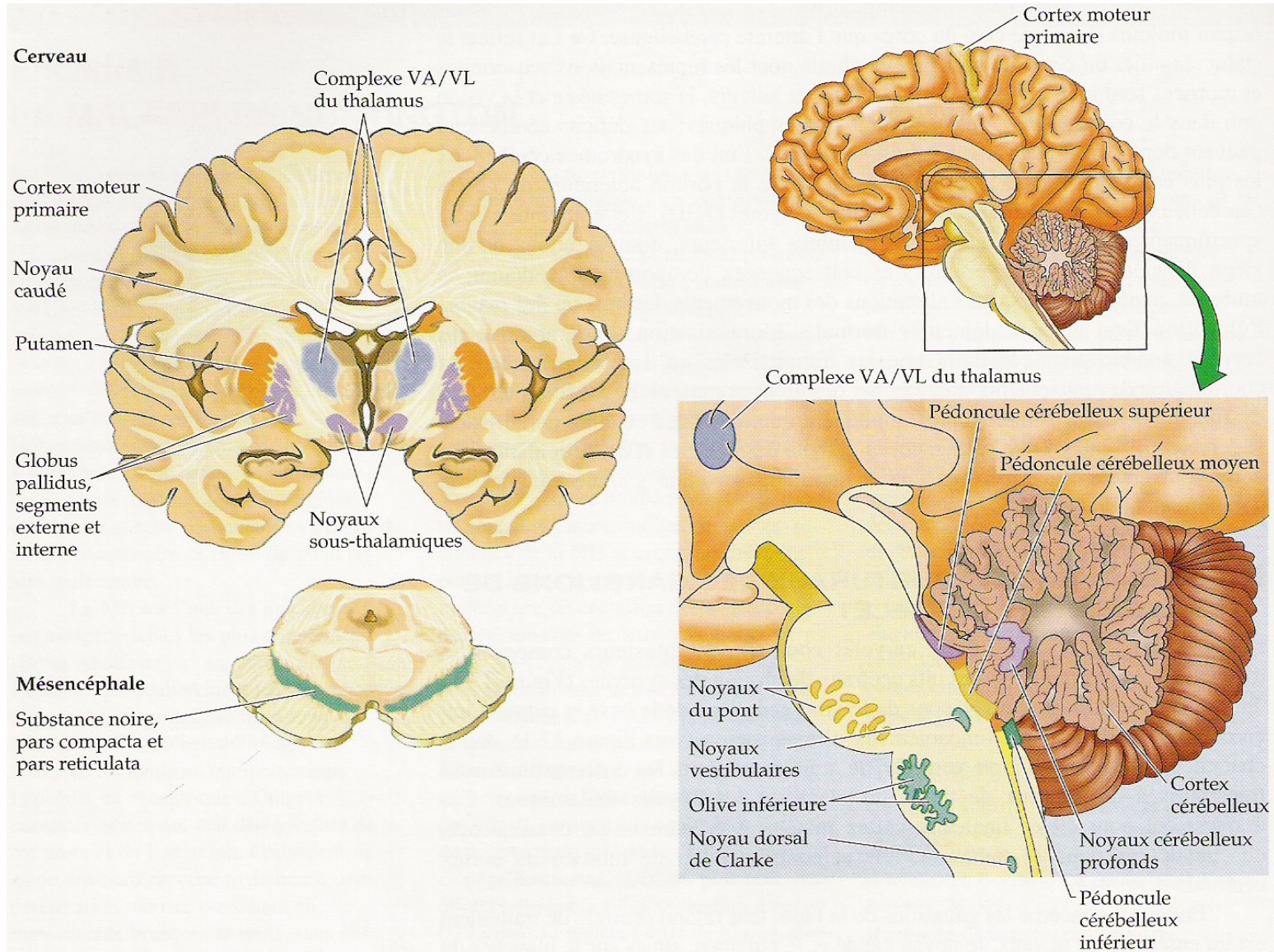
Motricité  
Automatique

# Composition des Ganglions de la base et du Cervelet

- Ganglions de la base :
  - Noyau caudé (Striatum)
  - Putamen (Néostriatum)
  - Globus Pallidus (Pallidum)
  - Noyau Sous-Thalamique (Noyau de Luys)
  - Substance Noire (Substantia Nigra, Locus Niger)
- Cervelet:
  - Cortex Cérébelleux
  - Noyaux de relais du pont
  - Les Pédoncules Cérébelleux



# Composition des Ganglions de la base et du Cervelet

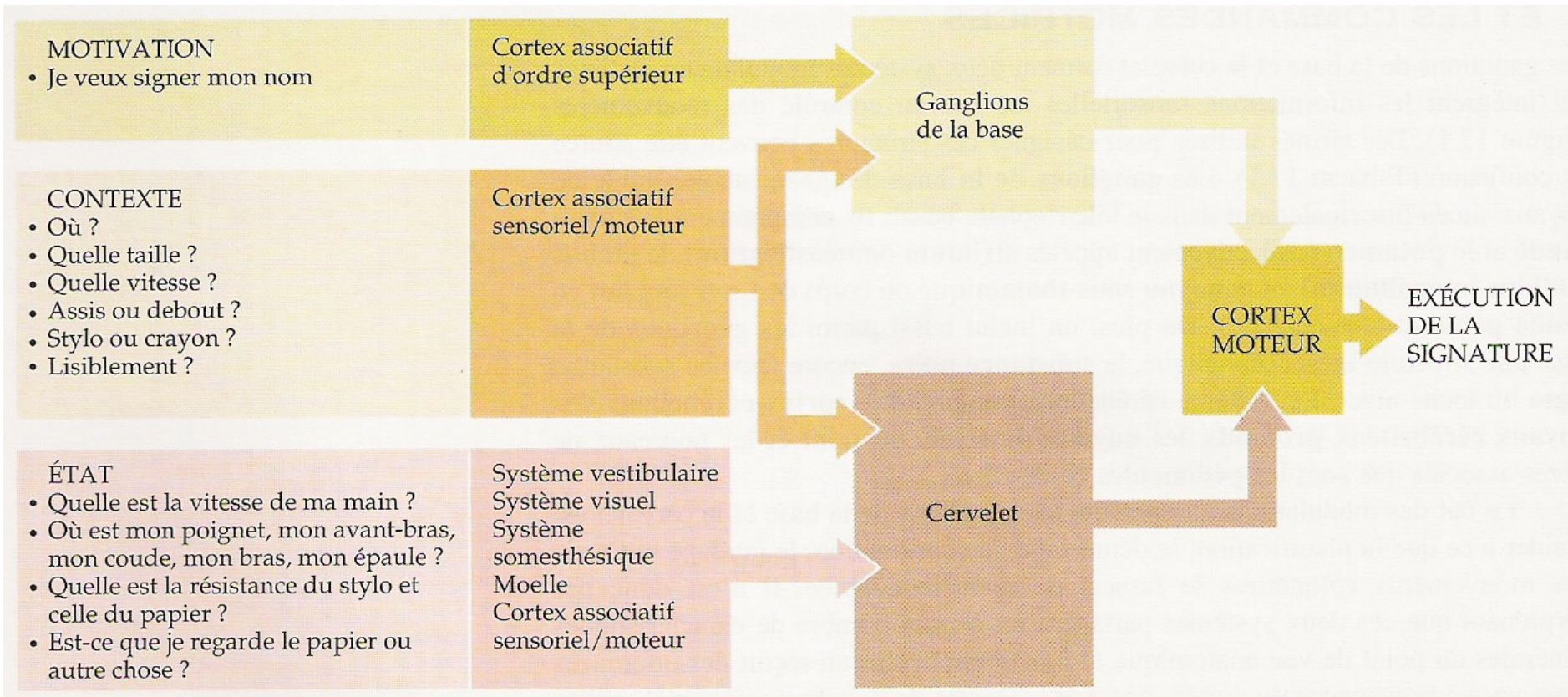




# Rôles des Ganglions de la Base et du Cervelet

- Planification de l'action
- Démarrage
- Coordination
- Guidage et arrêt des mouvements volontaires

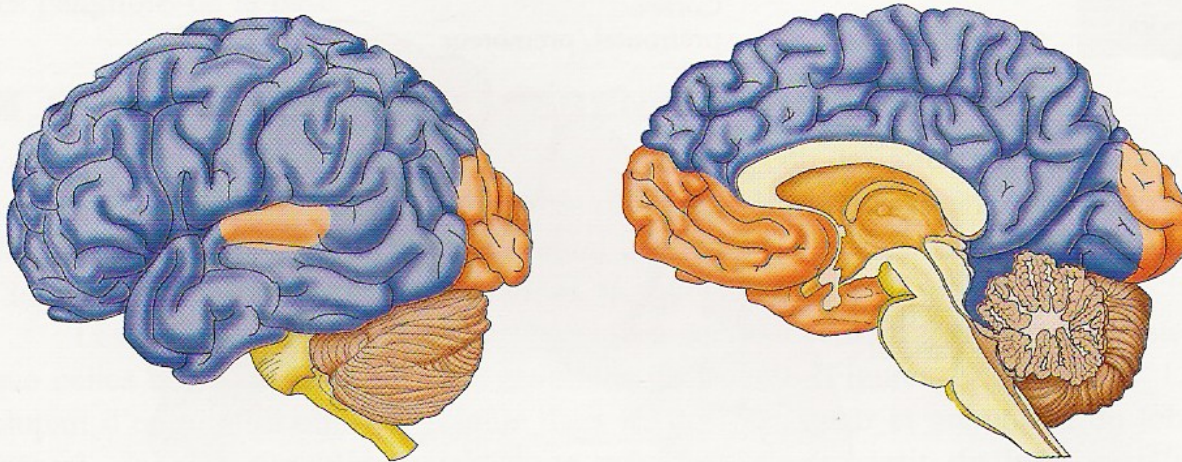
# Rôles des Ganglions de la Base et du Cervelet



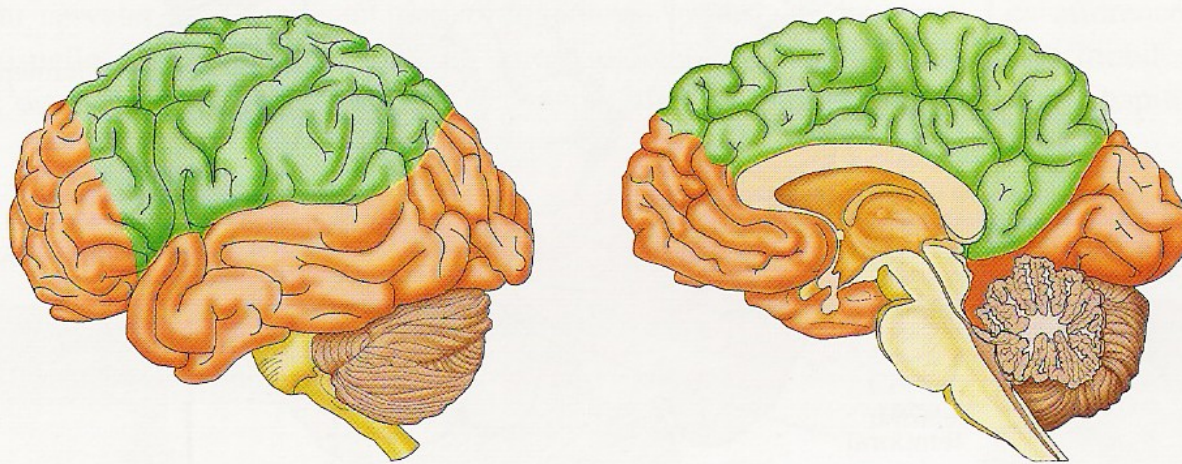


# Connectivité des Ganglions de la Base et du Cervelet

(A) Aires corticales projetant vers le caudé/putamen



(B) Aires corticales projetant vers le cervelet





# La Maladie de Parkinson

- Tremblement de repos permanent
- Rigidité des muscles et des membres
- Initiative motrice limitée (+ apathie)
- Diminution des "mouvements spontanés"
- Ralentissement des mouvements volontaires complexes (bradykinésie)
- Difficultés particulières dans le démarrage des actions

# La Thérapie de la Maladie de Parkinson

- Un précurseur de la dopamine (L-Dopa :  
décarboxylation  $\rightarrow$  DA)
- L'implantation de cellules souches
- La stimulation électrique intracérébrale