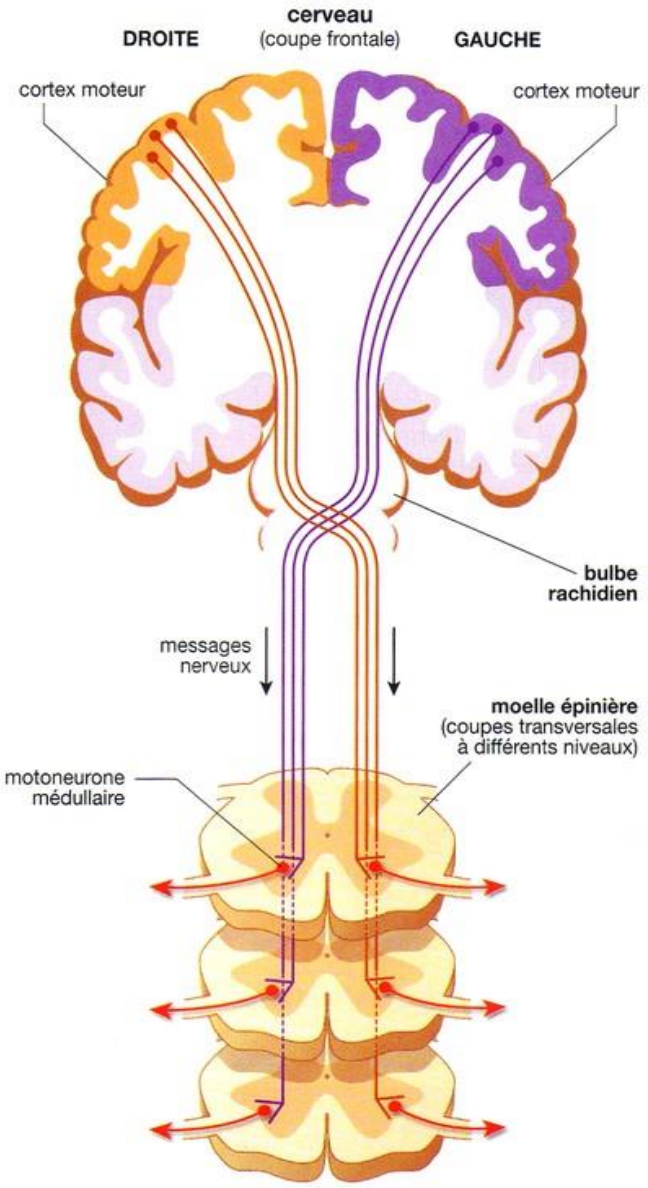
Partie 3 : Les voies motrices

Du SNC vers les effecteurs = glandes ou muscles



Les neurones du cortex moteur se terminent en établissant un contact synaptique directement sur les neurones moteurs de la moelle épinière.

I/ La Motricité

1) les différentes fonctions motrices

- Le tonus musculaire
- La posture
- Les mouvements :
  - Intentionnels
  - Automatiques (locomotion, respiration)

- La motricité volontaire permet d'agir sur les muscles squelettiques sous le contrôle de la conscience, en synergie avec les voies de la sensibilité.
- La motricité automatique est hors du champ de la conscience. Elle implique les structures sous-corticales (moelle spinale, noyaux gris centraux...) par la voie extrapyramidale
- La motricité réflexe assure des réponses rapides et non volontaires aux stimuli externes ou internes
- La motricité involontaire ou viscérale (SN autonome sympathique et parasympathique)

2) Mouvements volontaires

– Intentionnels
– Améliorés par l'apprentissage et l'expérience

- Nécessitent d'identifier et de localiser une cible, d'organiser un plan d'action, d'exécuter le programme

=>Plan et exécution dépendent du **cortex**

Le **faisceau cortico-spinal** (ou **pyramidal**) relie l'aire motrice primaire aux motoneurones de la corne antérieure de la moelle épinière pour générer le mouvement

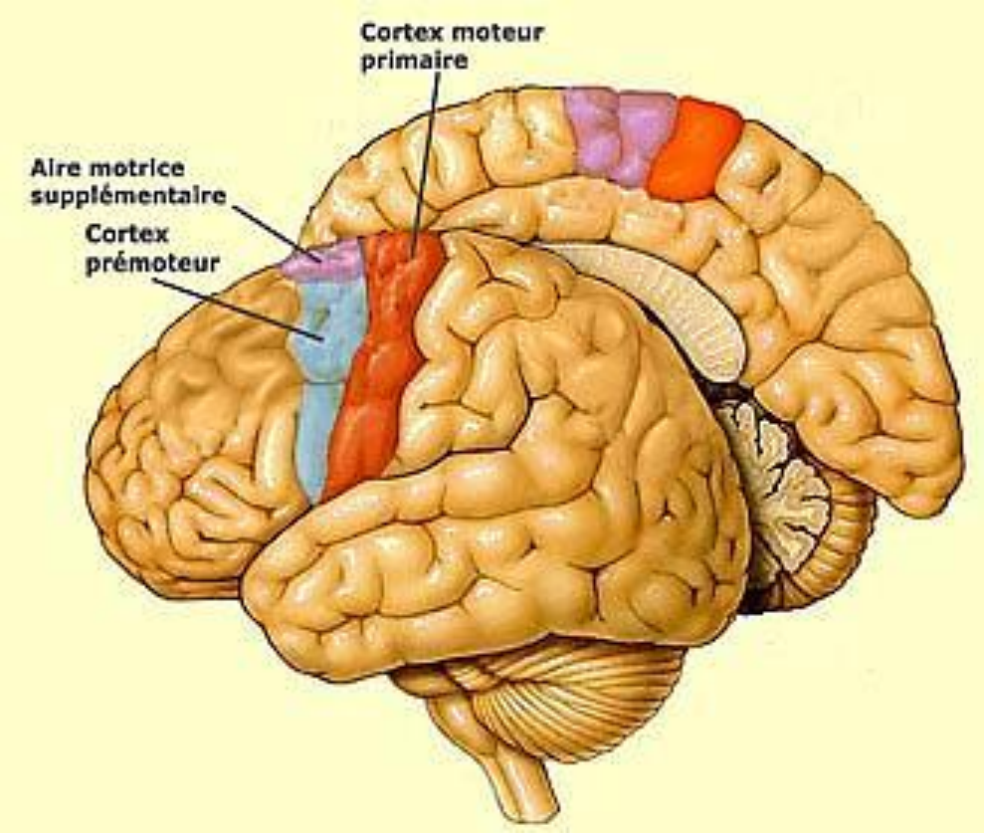
Système simple à 2 neurones : protoneurone avec corps cellulaire dans cortex (aire 4 de Brodman) et motoneurone α dans corne antérieure SG M-Ep,

II/ les aires motrices

1) Aire cortico-motrice primaire

(aire 4 de Brodmann)

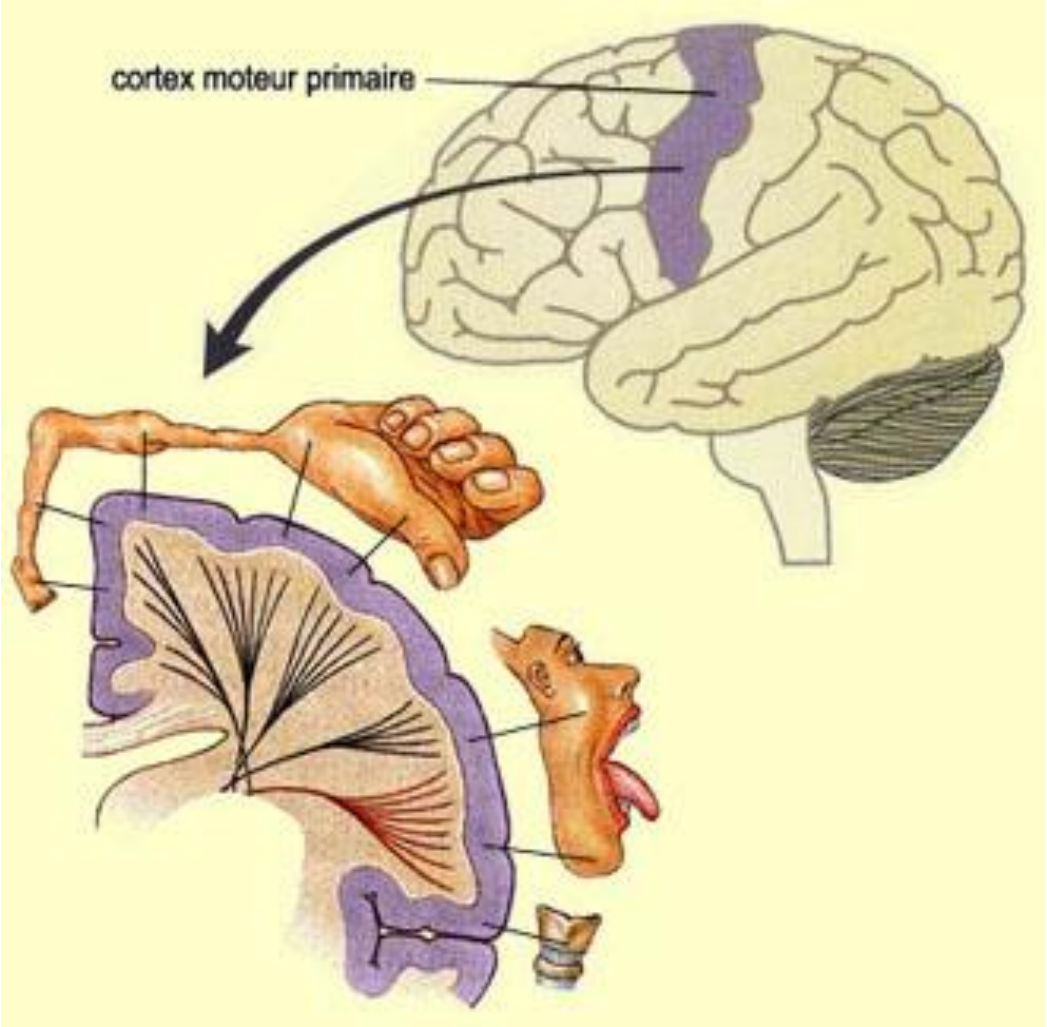
- Chaque partie de cette aire est impliquée dans la motricité d'une partie du corps
- Sa stimulation : mouvement
- Sa destruction : paralysie contra-latérale



Aire motrice primaire

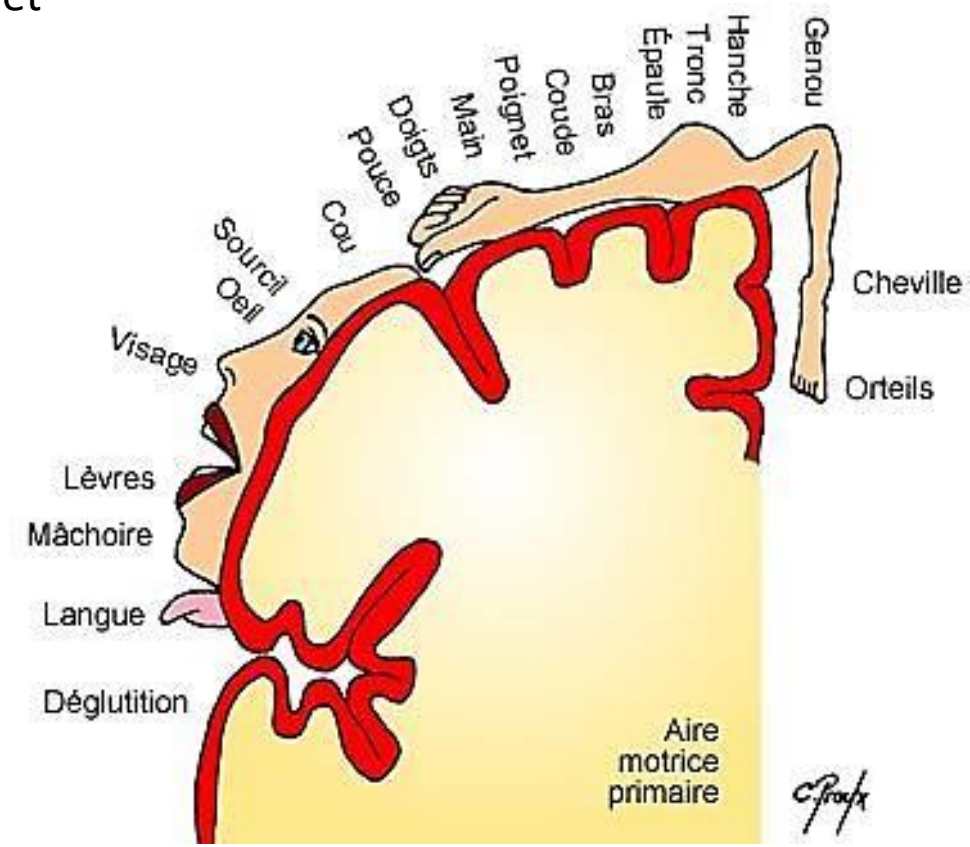
véritable clavier de commande assurant la contraction élémentaire de tous les muscles.

Le système musculaire tout entier se projette ainsi sur la circonvolution frontale, mais l'étendue de chaque centre moteur dépend, non de la masse des muscles qu'il représente, mais de la précision des mouvements dont ces muscles sont capables



Carte somatotopique

Homonculus
de Penfield et
Rasmussen



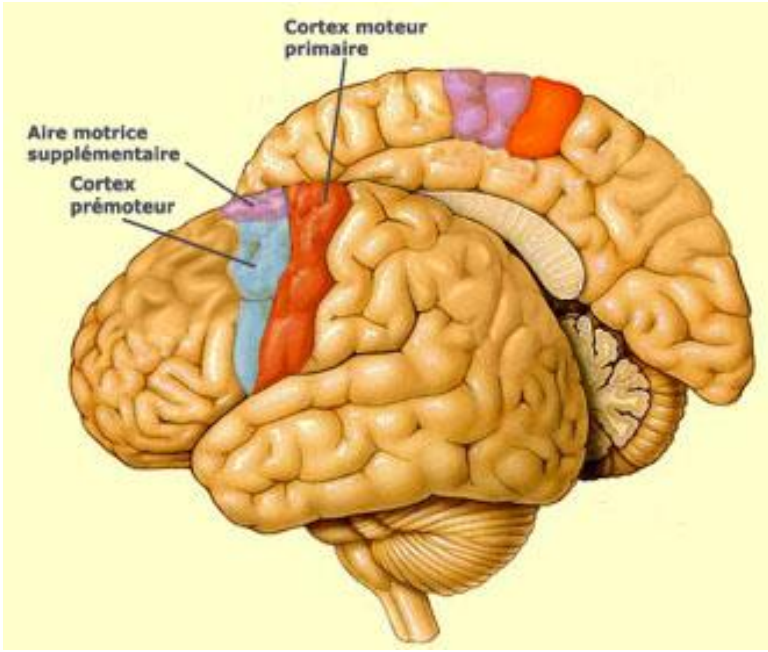
L'aire motrice de l'un des hémisphères est prédominante : Il s'agit de l'hémisphère gauche chez les droitiers, de l'hémisphère droit chez les gauchers.
Cette prédominance permet une meilleure coordination des mouvements symétriques, d'où l'intérêt de ne pas contrarier un gaucher.

2) Autres aires corticales impliquées dans le mouvement volontaire

2.1. L'aire corticale prémotrice APM

- Prépare les systèmes moteurs au mouvement
- S'active lors de la décision de l'individu de réaliser un mouvement

- Sa destruction n'entraine pas de paralysie mais perturbe planification et organisation de certains mouvements fins



Cette aire secondaire est dédiée à la **coordination** des contractions élémentaires et leur orientation vers un but précis (praxie).

Le malade qui présente une lésion à ce niveau ne manifeste aucun symptôme de paralysie, mais ses gestes sont maladroits et tous les mouvements complexes acquis lors d'un apprentissage sont oubliés (apraxie).

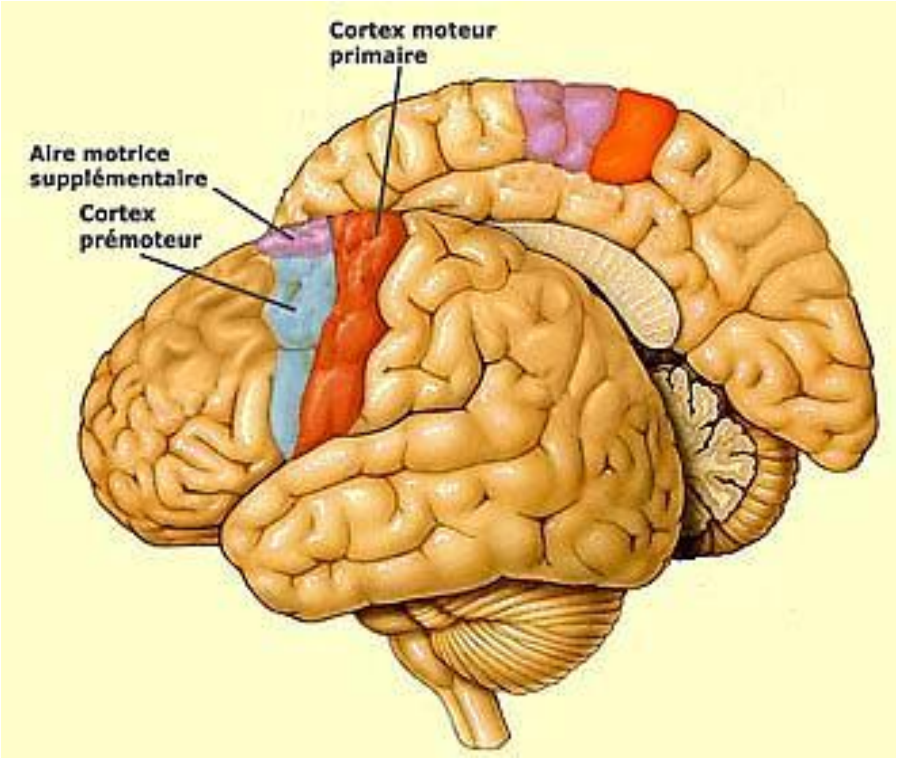
Lésion des aires prémotrices = apraxie (difficulté à réaliser des gestes volontaires complexes)

Les apraxies sont à la motricité volontaire ce que les agnosies sont à la sensibilité consciente.

Les plus étonnantes concernent le langage : le malade raisonne normalement, mais il est incapable d'écrire (agraphie) ou d'articuler les mots (anarthrie) qui pourraient traduire sa pensée.

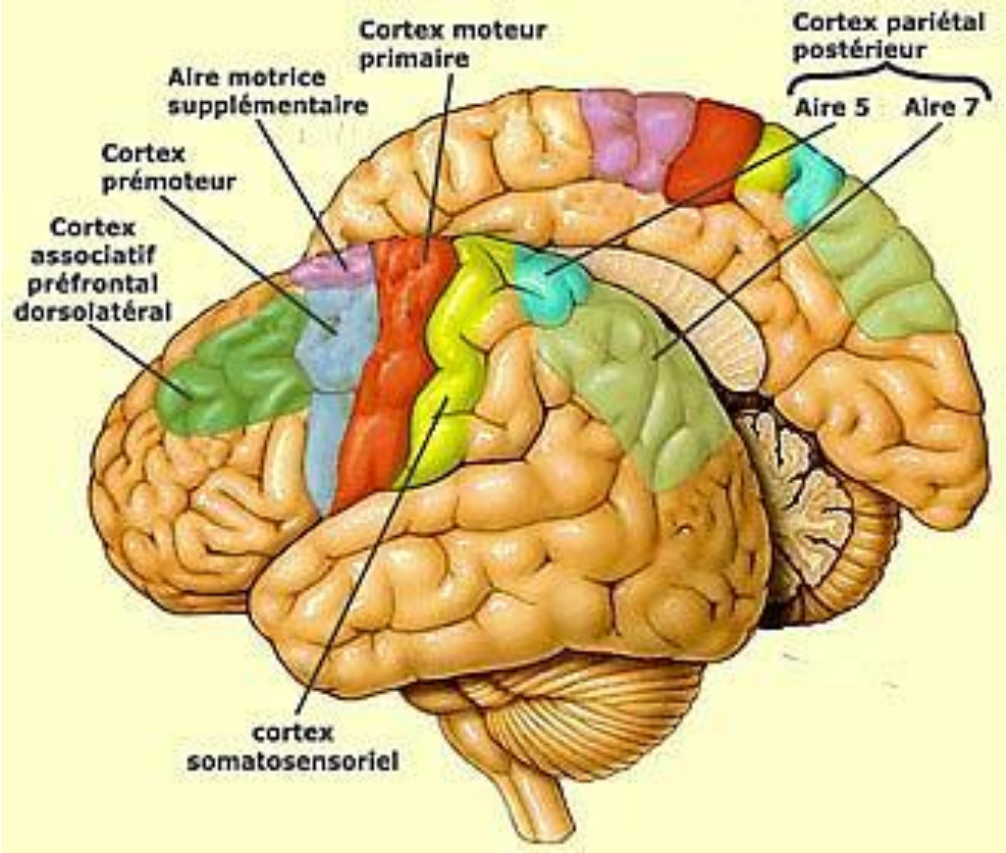
2.2. L'aire motrice supplémentaire AMS

- Prépare la coordination des mouvements complexes bilatéraux
- Programme les mouvements complexes
- Lésion : pas de paralysie mais trouble de la coordination sur un même membre (bras, avant bras, doigts) ou coordination bimanuelle



2.3. Le lobe pariétal postérieur (aire sensorielle II)

- Fournit une aide visuelle au mouvement
- Chez le droitier, lobe droit spécialisé dans traitement information position corps dans l'espace
- Reçoit projections visuelles en vue organisation mouvement
- Lésion entraine négligence

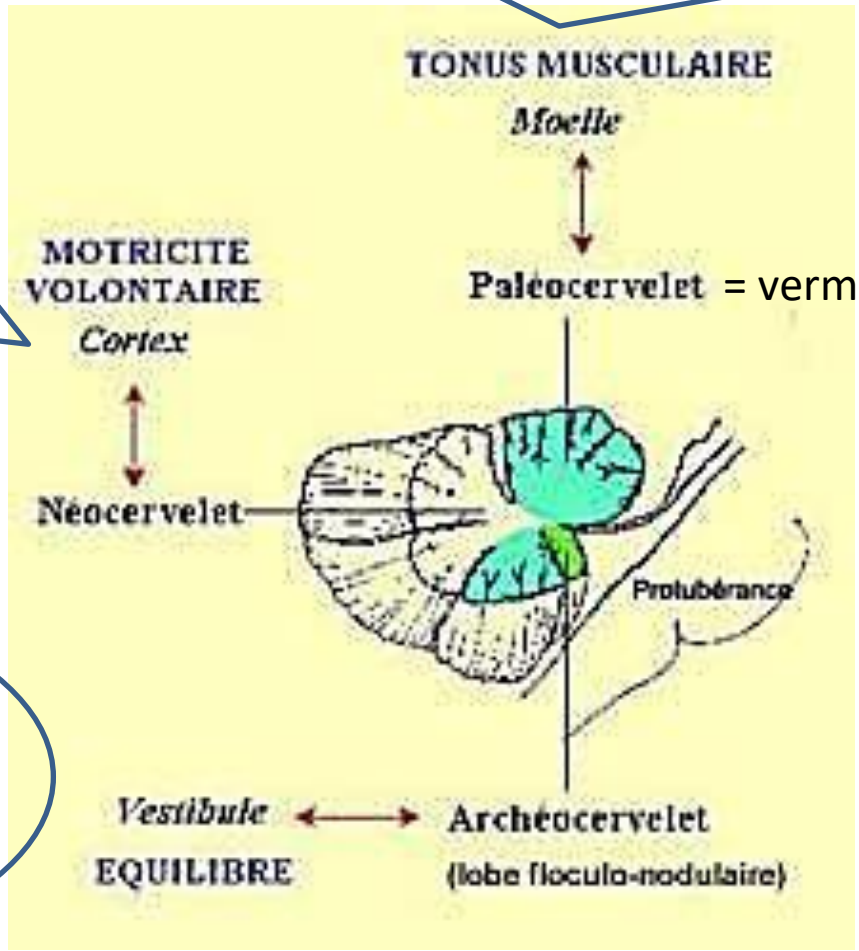


III/ Autres structures du SNC impliquées

1) Le cervelet

contrôle l'activité musculaire de la posture en influençant le **tonus musculaire**. Le muscle doit en effet être tendu pour jouer son rôle de maintien corporel. Le cervelet contrôle donc à chaque instant la tension musculaire et laisse libre les muscles chargés de faire des mouvements.

contribue à la **coordination des mouvements volontaires**. Il s'assure entre autres que les muscles antagonistes freinent les muscles à l'origine du mouvement pour atteindre parfaitement le but.



Syndrome cérébelleux : ataxie

- Troubles de la statique
- Troubles de la marche (ébrieuse)
- Troubles de l'exécution des mouvements
- Troubles du tonus (hypotonie)
- Asynergie
- Dysarthrie

l'**ataxie** (du grec « désordre ») consiste en un manque de coordination fine des mouvements volontaires.

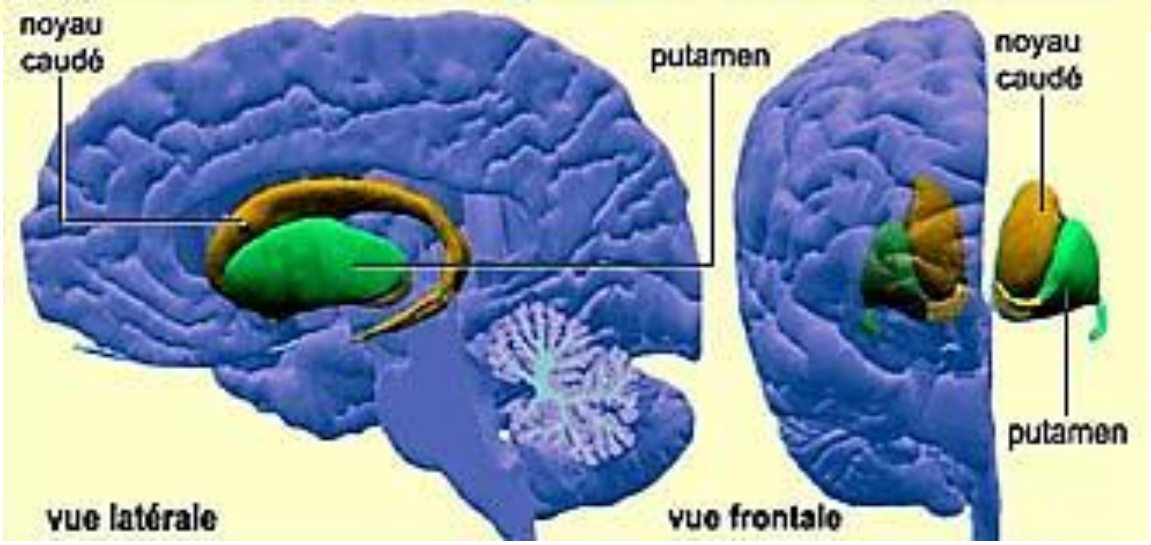
- L'ataxie se manifeste principalement par des troubles de la marche, de l'équilibre et de la station debout, du guidage des mouvements par la vue.
- Elle s'observe par le phénomène de rebond, il n'y a pas de frein dans le mouvement, le sujet dépasse la cible en raison d'un freinage tardif des muscles antagonistes.

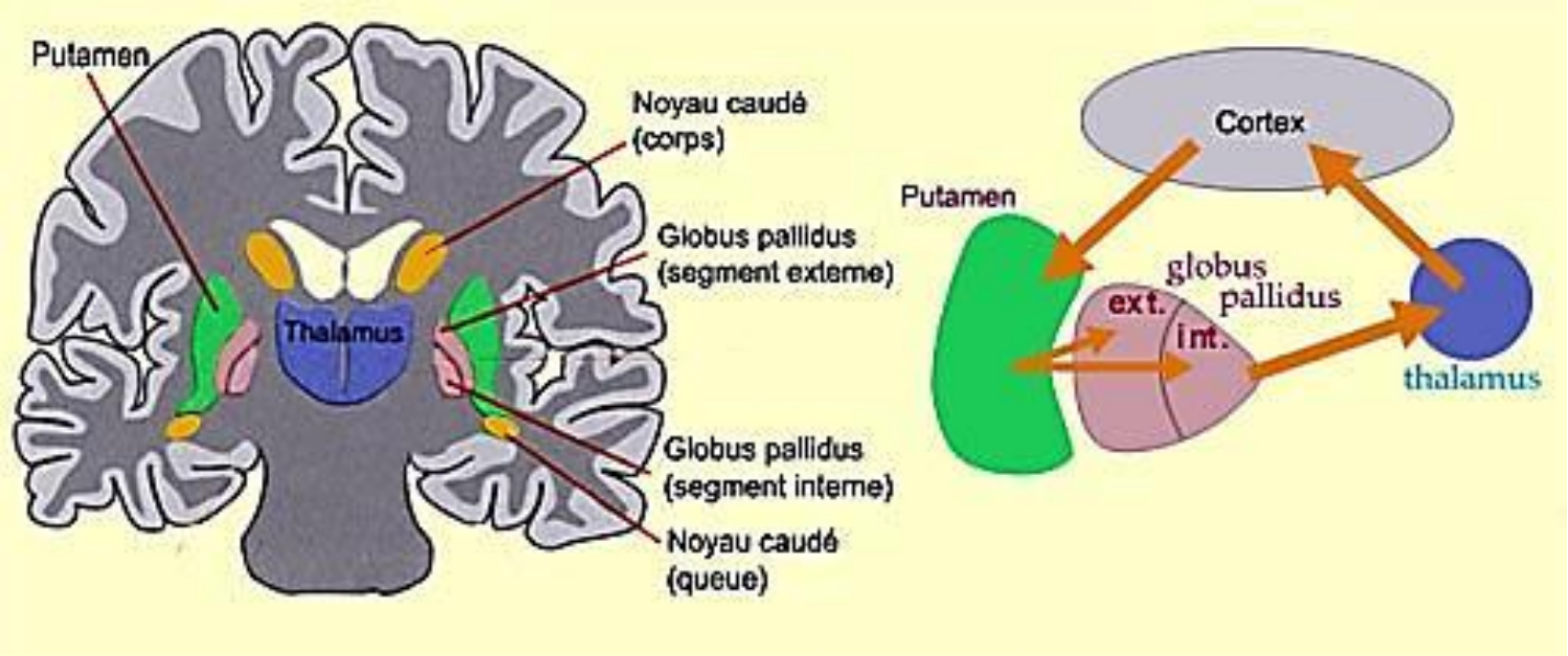
2) Ganglions de la base ou noyaux gris centraux

formés d'un ensemble de structures nerveuses enfouies profondément sous le cortex. Les principales sont le **noyau caudé,** le **putamen** et le **globus pallidus**.

Ces ganglions sont étroitement interconnectés et reçoivent également des informations en provenance de plusieurs régions du cortex cérébral. Une fois traitée par les ganglions de la base, cette information retourne au cortex moteur en passant par le thalamus.

L'une des fonctions de cette boucle, qui s'ajoute à celle impliquant le cervelet, est vraisemblablement de sélectionner et de déclencher des mouvements volontaires harmonieux.





Ce rôle dans l'initiation et le bon déroulement de la commande motrice apparaît clairement chez les personnes dont les ganglions de la base sont endommagés, comme c'est le cas lors de la **maladie** de Parkinson par exemple. On observe alors chez ces patients de la difficulté à commencer les mouvements qu'ils ont planifiés, des tremblements ainsi qu'une lenteur dans l'exécution de leurs gestes.

3) Tronc cérébral

Trois segments

- Mésencéphale
- Pont ou Protubérance
- Bulbe

- Noyaux moteurs et sensitifs pour la face et la tête (idem substance grise de la moelle spinale pour les membres)
- Centre de relais des signaux émanant des autres structures encéphaliques
- Fonctions spécifiques
  - Régulation de la veille et du sommeil
  - Contrôle respiratoire, cardio-vasculaire et gastro-intestinal
  - Contrôle moteur: réalisation de nombreux mouvements stéréotypés, contrôle de l'équilibre et de la posture, contrôle des mouvements oculaires

Remarque : la **moelle épinière** réalise aussi des fonctions motrices, comme la marche automatique, c'est le niveau segmentaire du mouvement

IV/ Efférences du système moteur

- **Système pyramidal** (pour les projections directes)
- **Système extrapyramidal** (pour les circuits des **noyaux gris centraux**) correspondant 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
  - ➢ le contrôle du tonus musculaire

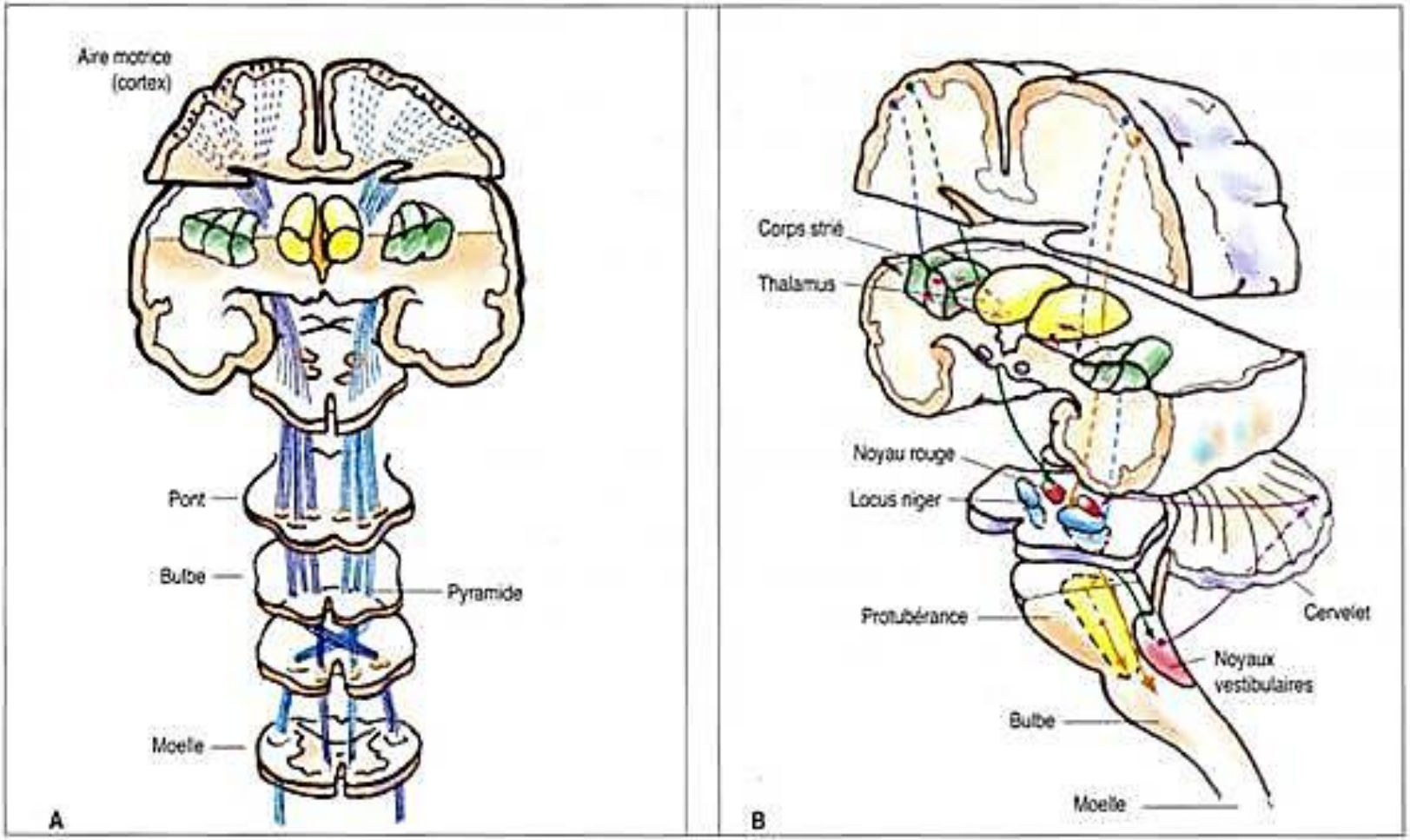
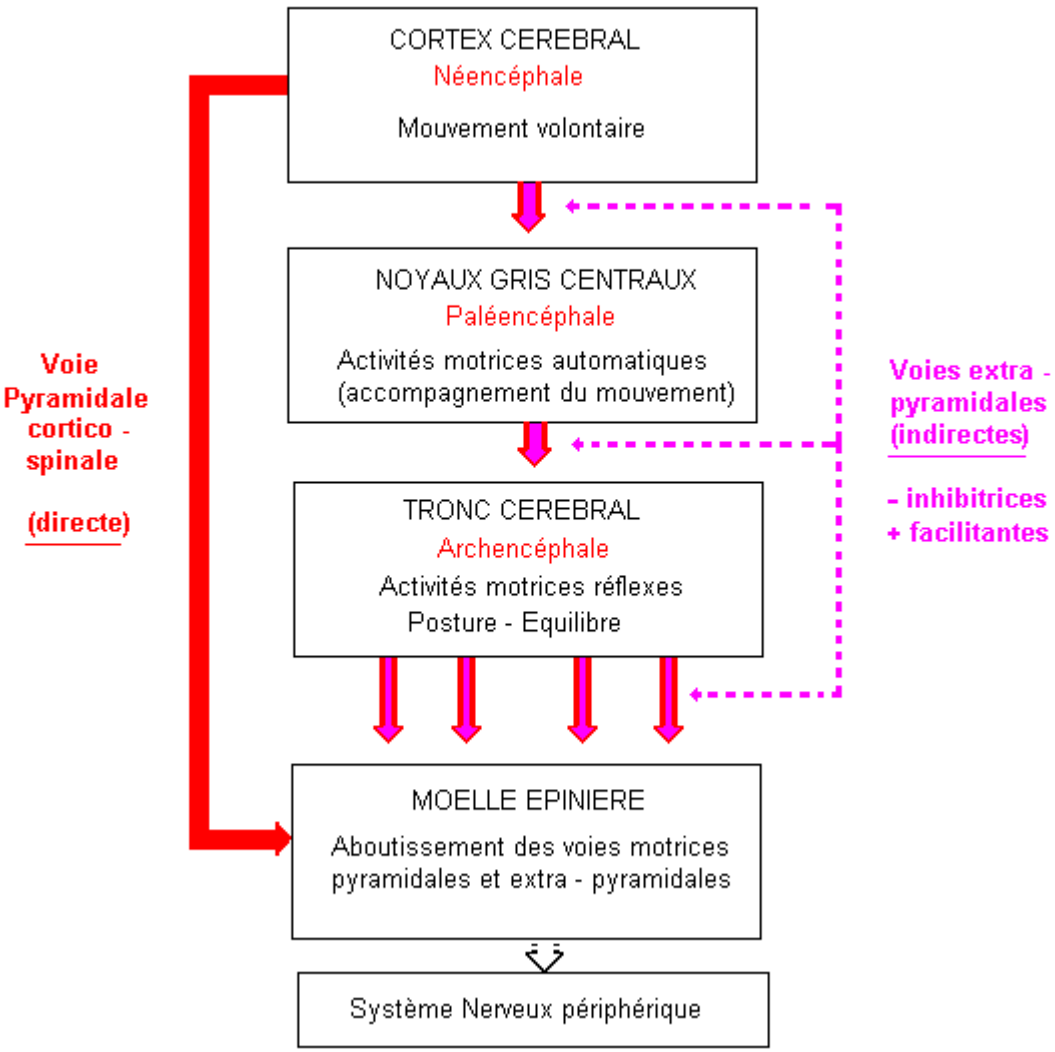


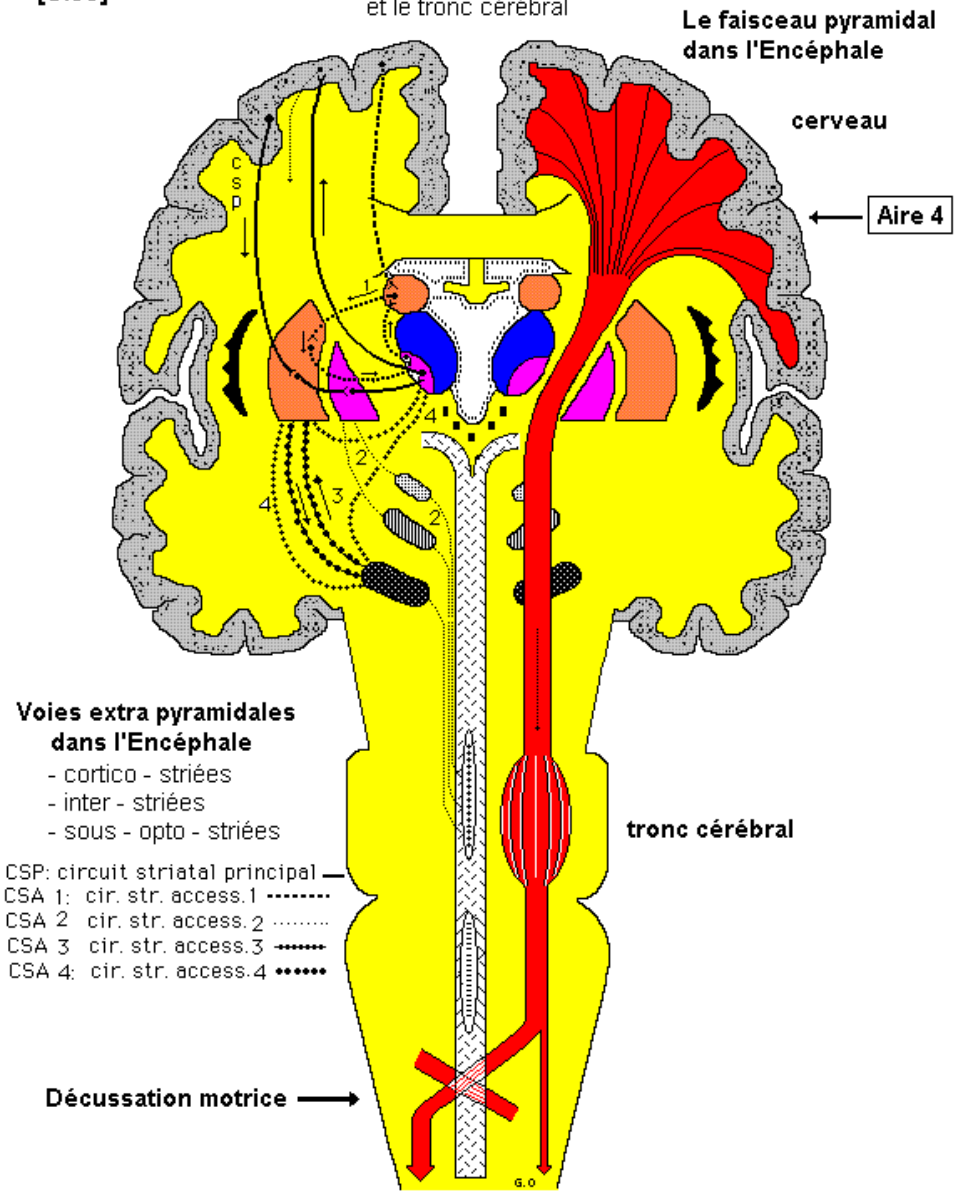
Figure 18.
Les grandes voies neurologiques de la motricité. (A) voies pyramidales ; (B) centres relais des voies extrapyramidales.

[S.67] **Organigramme simplifié des voies motrices centrales**



[S.65]

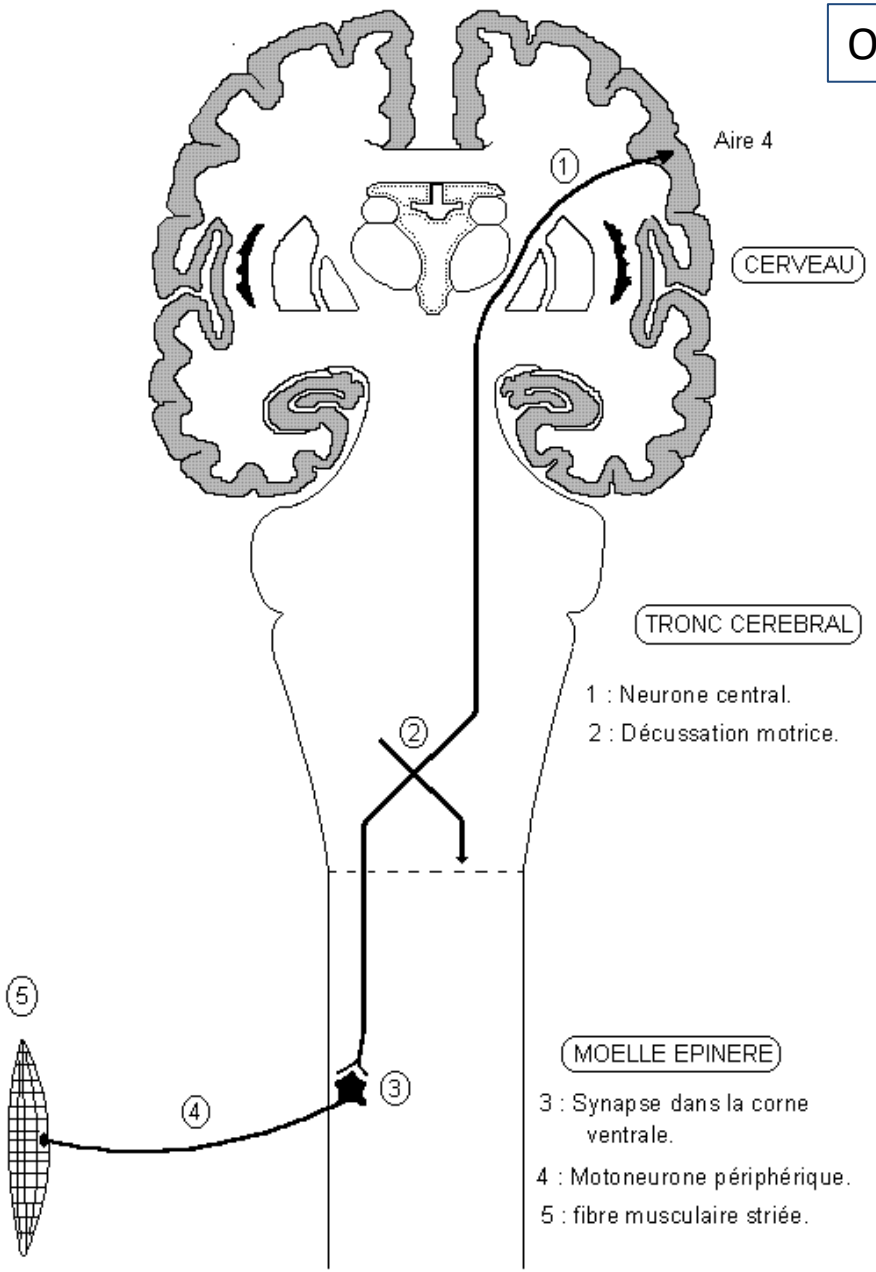
Origine et trajet du Faisceau Pyramidal dans l'Encéphale et le tronc cérébral



1) Faisceau cortico-spinal = voie pyramidale

- issu des motoneurones du cortex moteur.
- Ainsi nommée du fait qu'elle traverse les pyramides bulbaires, cette voie relie le cortex moteur à l'étage spinal (faisceau pyramidal) et bulbaire (faisceau géniculé).
- Elle a pour fonction d'activer les motoneurones de la moelle et du tronc cérébral qui activent à leur tour les muscles. La voie pyramidale correspond ainsi à la **voie de la motricité volontaire**.
- Parcoure la capsule interne
- Au niveau des pédoncules cérébelleux se divisent en 2 groupes
  - Les ¾ décussent au niveau du bulbe et parcourent le faisceau cortico-spinal latéral controlatéral (ou pyramidal croisé)
  - L'autre ¼ reste homolatéral et forme le faisceau cortico-spinal ventral (pyramidal direct)

Organisation générale de la voie pyramidale



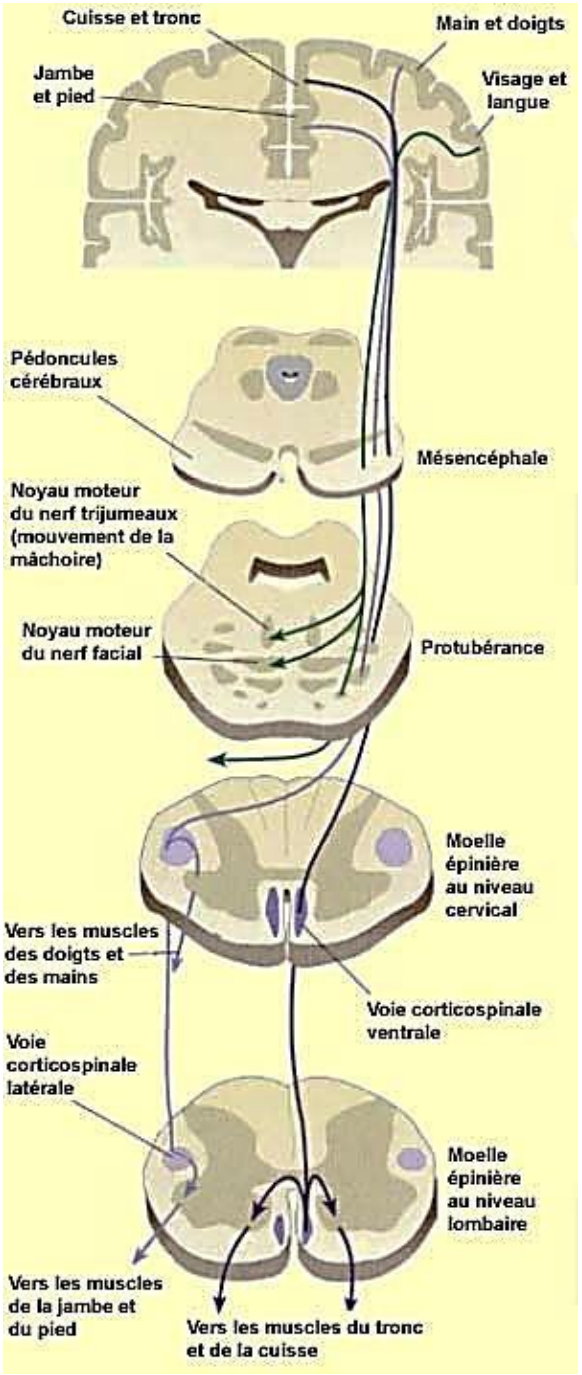
http://www.anatomie-humaine.com/La-Moelle-epiniere-3-Anatomie.html

Trajet de la voie pyramidale

–Le faisceau cortico-spinal latéral innerve préférentiellement les motoneurones des muscles des membres (partie latérale de la corne antérieure)
–Le faisceau cortico-spinal ventral innerve préférentiellement les motoneurones des muscles axiaux (partie médiale de la corne antérieure)

•Chaque axone se divise en de très nombreuses branches qui viennent innerver plusieurs motoneurones

•Le faisceau cortico-spinal fait des relais monosynaptiques avec les corps cellulaires des motoneurones.



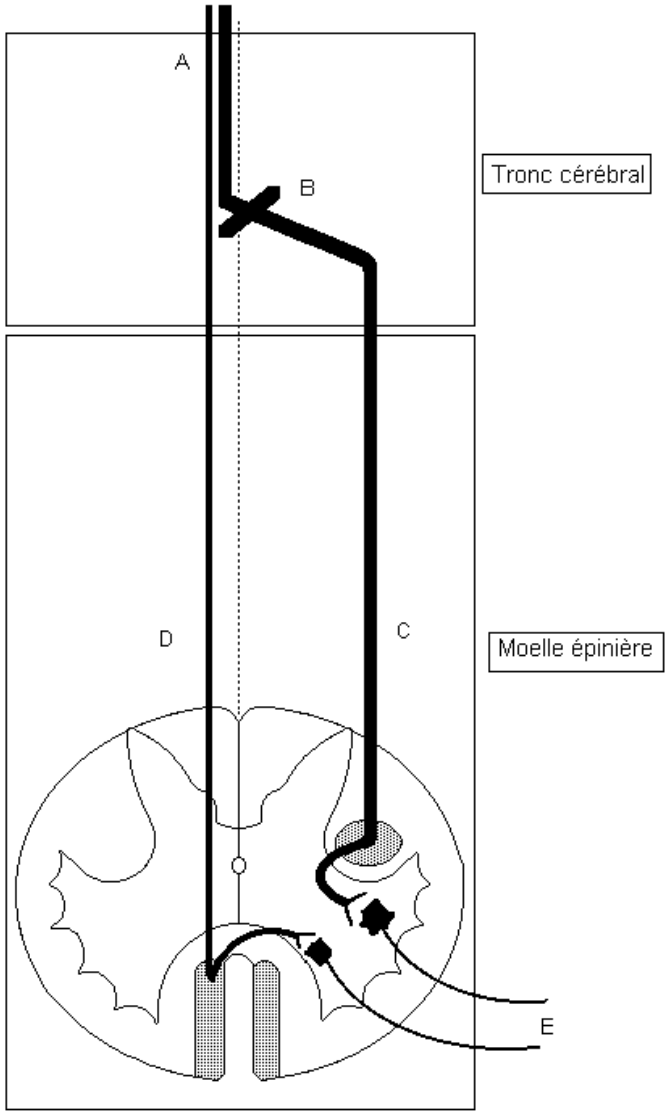
Remarque : Faisceau cortico-bulbaire

- Contrôle des muscles de tête et du cou
- Organisé de manière superposable au faisceau cortico-spinal
- Innerve les noyaux moteurs des nerfs crâniens
- Selon le noyau, ces axones se terminent de manière controlatérale, ipsilatérale ou bilatérale (le plus souvent)

Syndrôme pyramidal:

- Déficit moteur (distaux, discrets)
- Modif tonus (2 stades : paralysie flasque et hypotonus puis paralysie spastique avec hypertonie élastique)
- Modif réflexe ostéotendineux (abolition puis hyperréflexie, Babinski)

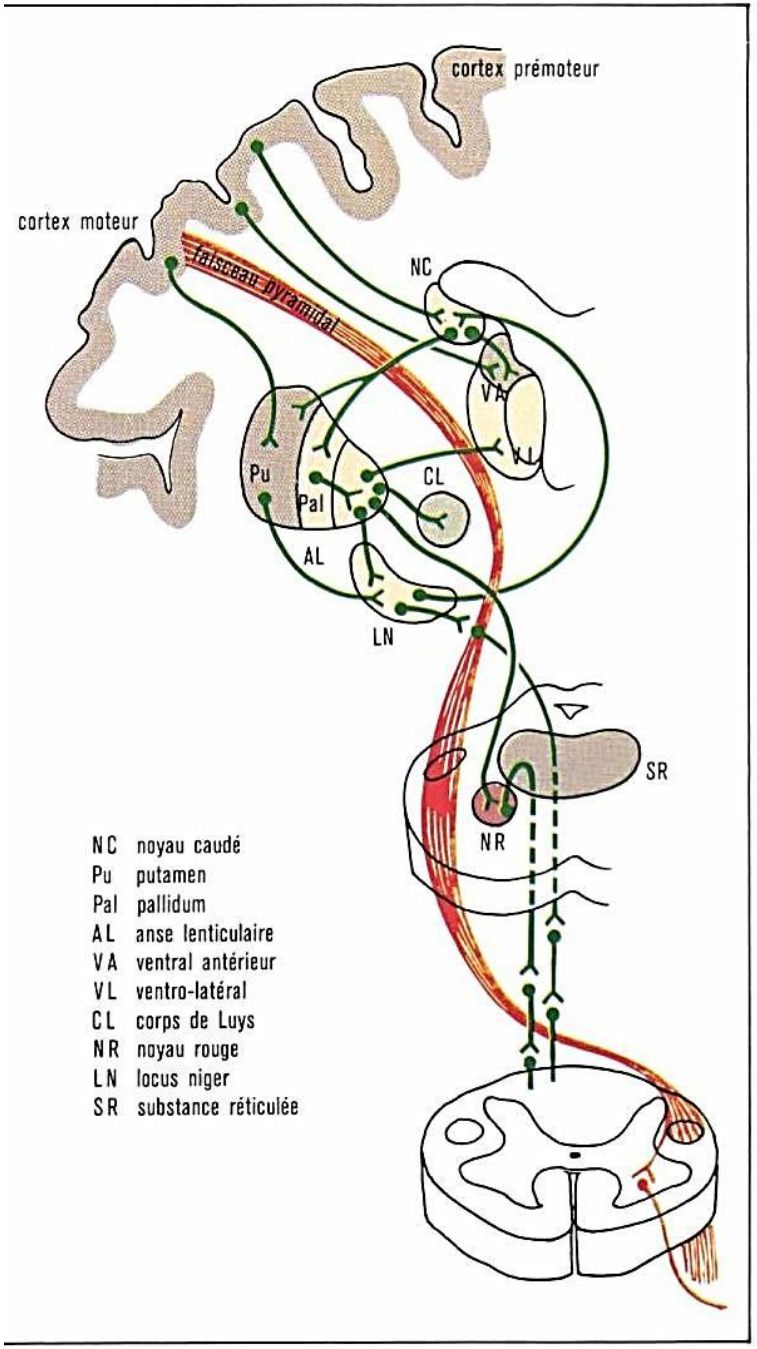
[S.66] Organisation de la voie motrice pyramidale dans la moelle épinière



A : Faisceau pyramidal. B : Décussation motrice.
C : Faisceau pyramidal croisé D : Faisceau pyramidal direct.
E : Motoneurones périphériques.

2) Voies extrapyramidales

- Nombreux relais
- Passent par les NGC
- Puis le tronc cérébral.
- Rôle de facilitation de la motricité volontaire avec réduction du temps d'exécution (*atteinte = bradykinésie Parkinson*)
- Action sur motricité automatique (*atteinte = tremblements)*
- Action sur tonus musculaire (*atteinte = hypertonie)*



Syndrome extrapyramidal = Syndrome Parkinsonien

Syndrome = ensemble de symptômes
parkinsonien : groupe 3 symptômes essentiels :

- **tremblement** :

  - de repos : *il s'agit d'oscillations régulières de fréquence 4-7 Hz, survenant uniquement au repos, s'atténuant lors du mouvement. Il prédomine au membre supérieur, généralement en distalité (main ++). Il est renforcé par les émotions, disparaît pendant le sommeil*

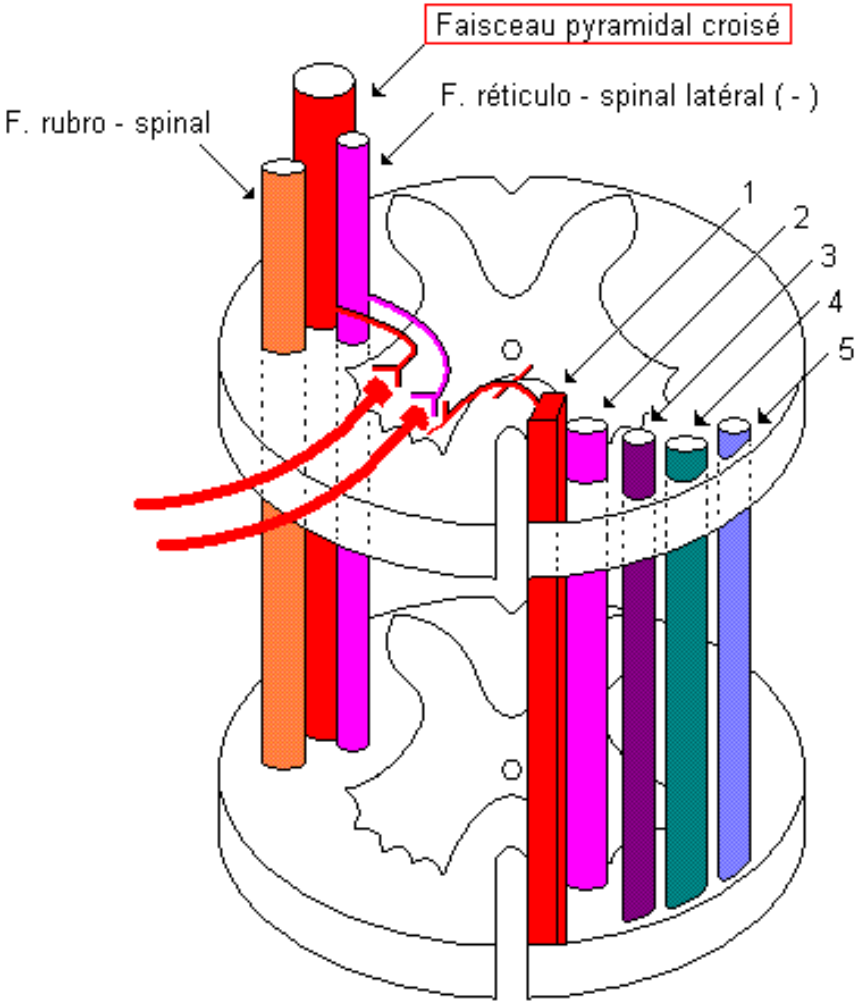
  - d'attitude : *il survient lors du maintien d'un membre dans une position donnée*

- **hypertonie : rigidité**
  - prédomine sur les muscles antigravitiques.
  - Elle peut céder par à-coups, par exemple au poignet, où elle réalise alors le phénomène de la "roue dentée".
  - Cette hypertonie est renforcée par un mouvement du membre controlatéral (manœuvre de Froment).
  - Comme le tremblement, elle disparaît au cours du sommeil

- **akinésie :**
  - rareté du geste,
  - difficultés d'initiation du mouvement,
  - amimie (visage peu expressif),
  - rareté du clignement des paupières,
  - perte du ballant du bras à la marche, avec une démarche à petits pas.
  - la parole est rare,
  - il existe une micrographie (diminution de la taille de l'écriture).

Mécanisme Parkinson = dégénérescence des**neurones dopaminergiques** de la **substance noire** ou locus niger

[S.68] Les voies motrices pyramidales et extra - pyramidales dans la moelle épinière



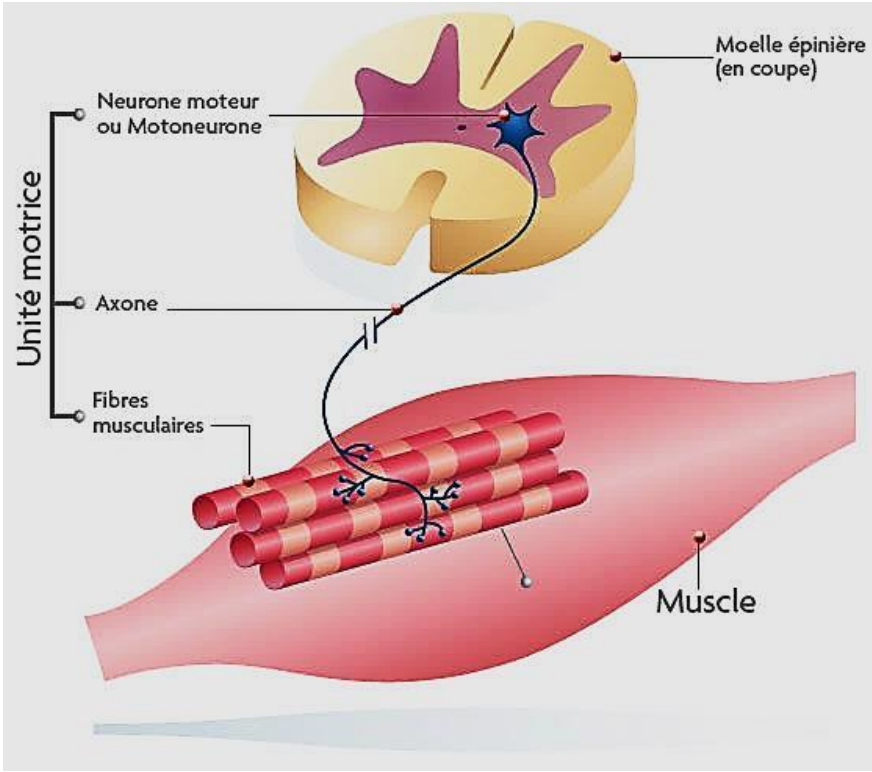
1 - Faisceau pyramidal direct

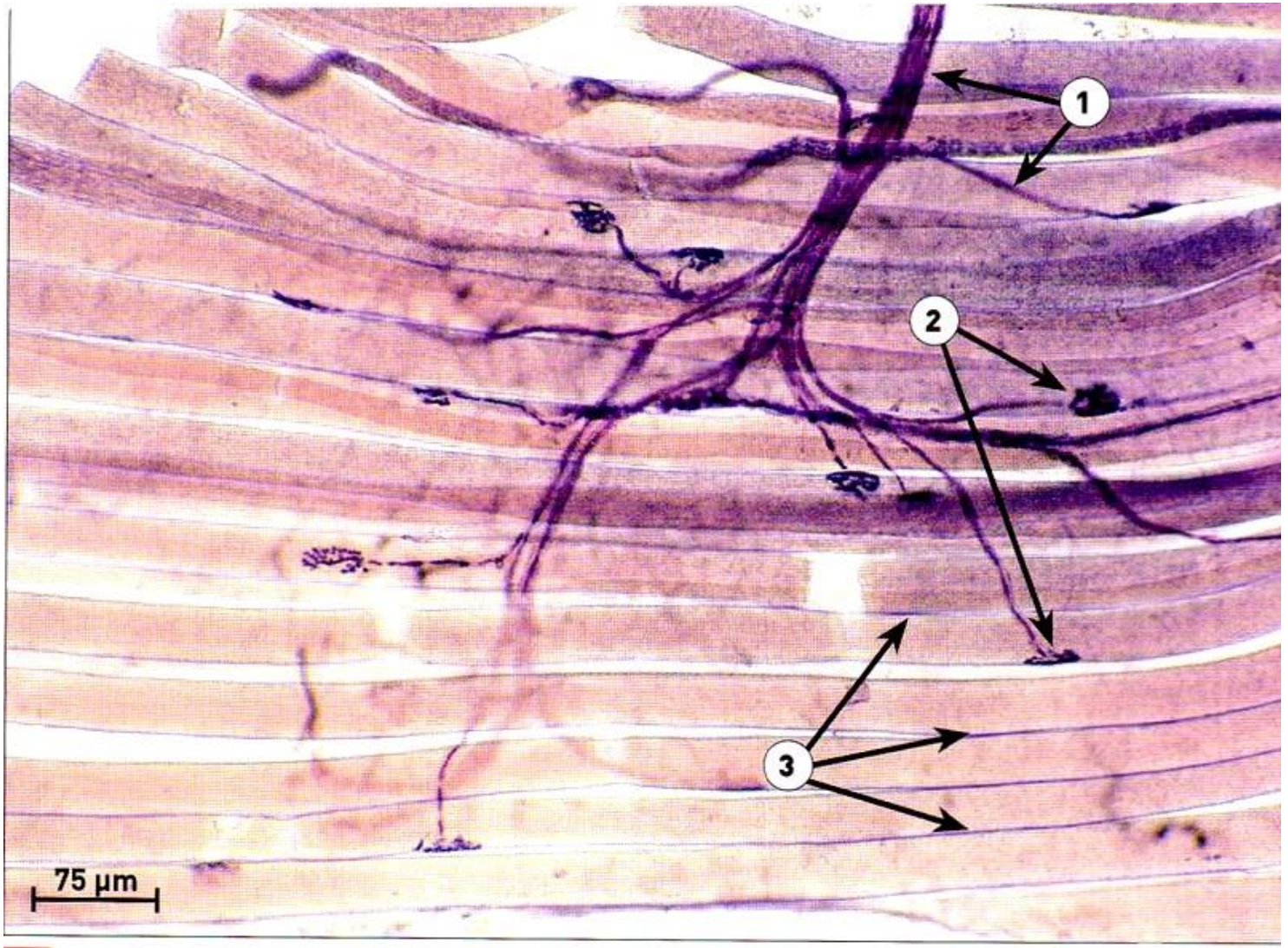
2 - F. réticulo - spinal médian (+) 3 - F. tecto - spinal

4 - F. vestibulo - spinal 5 - F. olivo -spinal

13) Terminaison des voies motrices

- Aboutissement voies pyramidales et extrapyramidales = la **corne ventrale de la SG de la M-Ep** sur les **motoneurones périphériques**. (ou noyaux moteurs du tronc cérébral)
- L'axone moteur quitte la moelle par la racine ventrale des nerfs spinaux
- L'axone présente une arborisation terminale. Chaque branche apporte l'innervation motrice à une fibre musculaire striée, au niveau de la plaque motrice.
- Un motoneurone, son corps cellulaire, son axone et les fibres musculaires qui en dépendent constituent une **UNITE MOTRICE**.

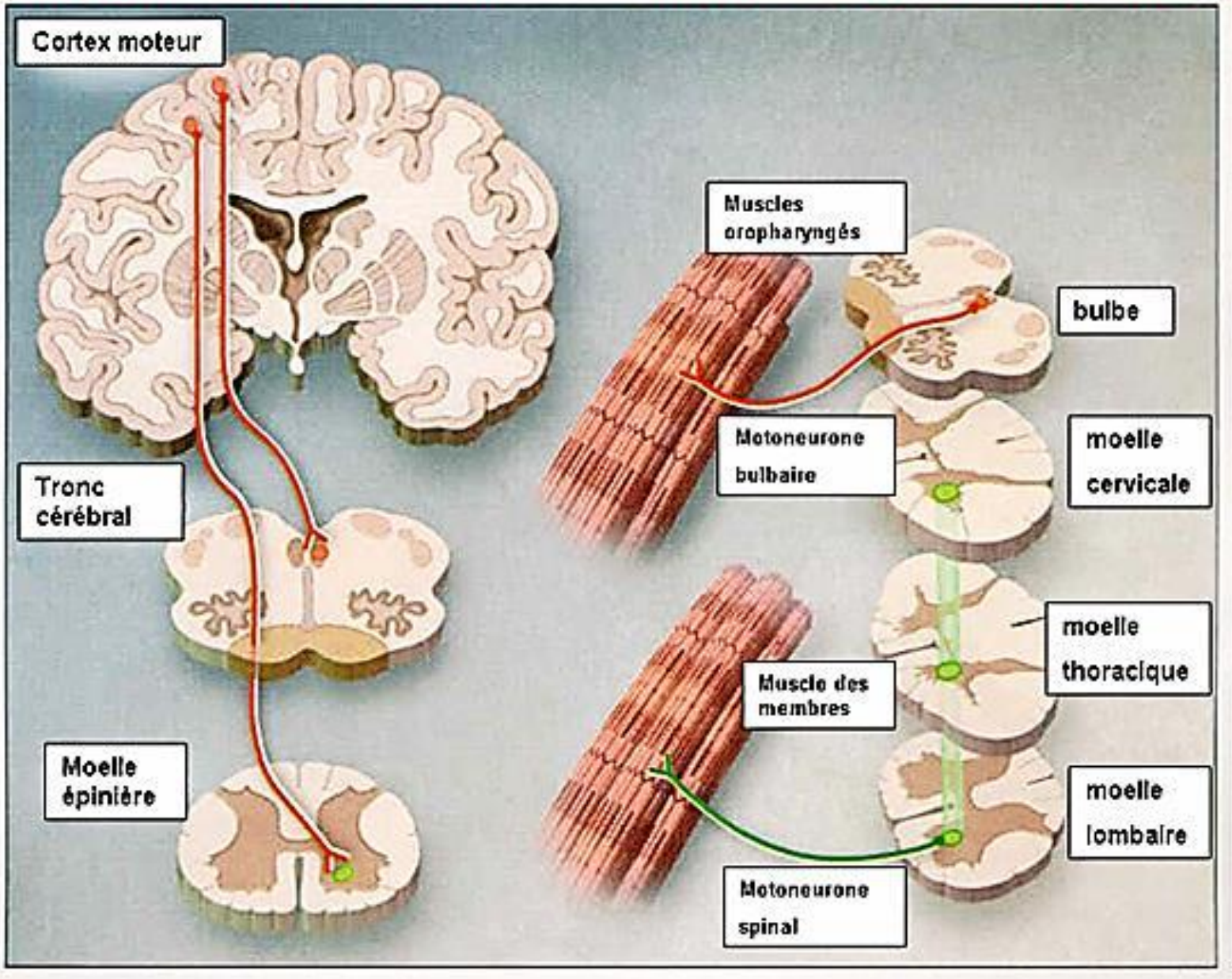




b Plaque motrice (MO). On observe les fibres nerveuses **(1)**, les synapses neuromusculaires **(2)** et les fibres musculaires **(3)**.

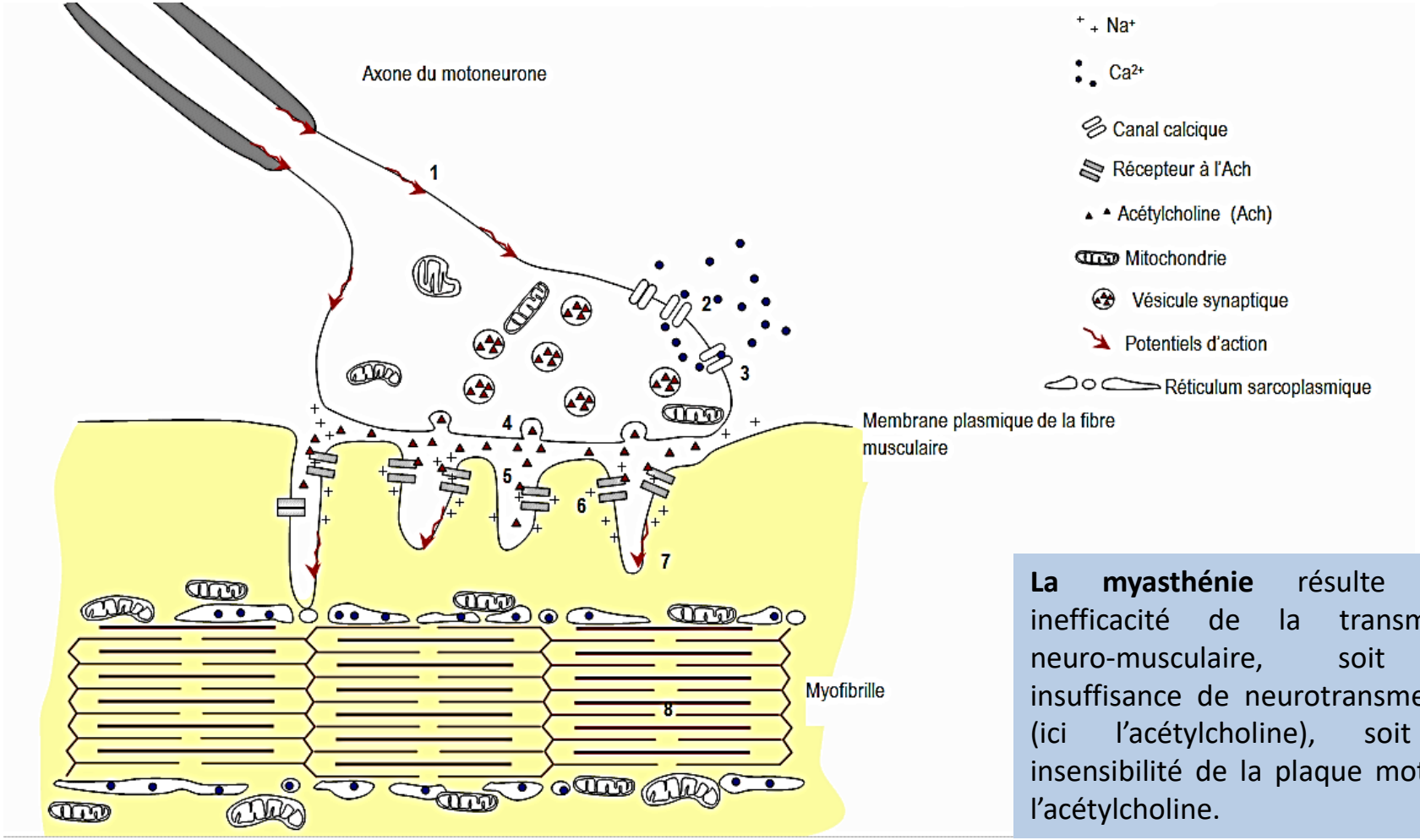
MOTONEURONE CENTRAL

MOTONEURONE PERIPHERIQUE



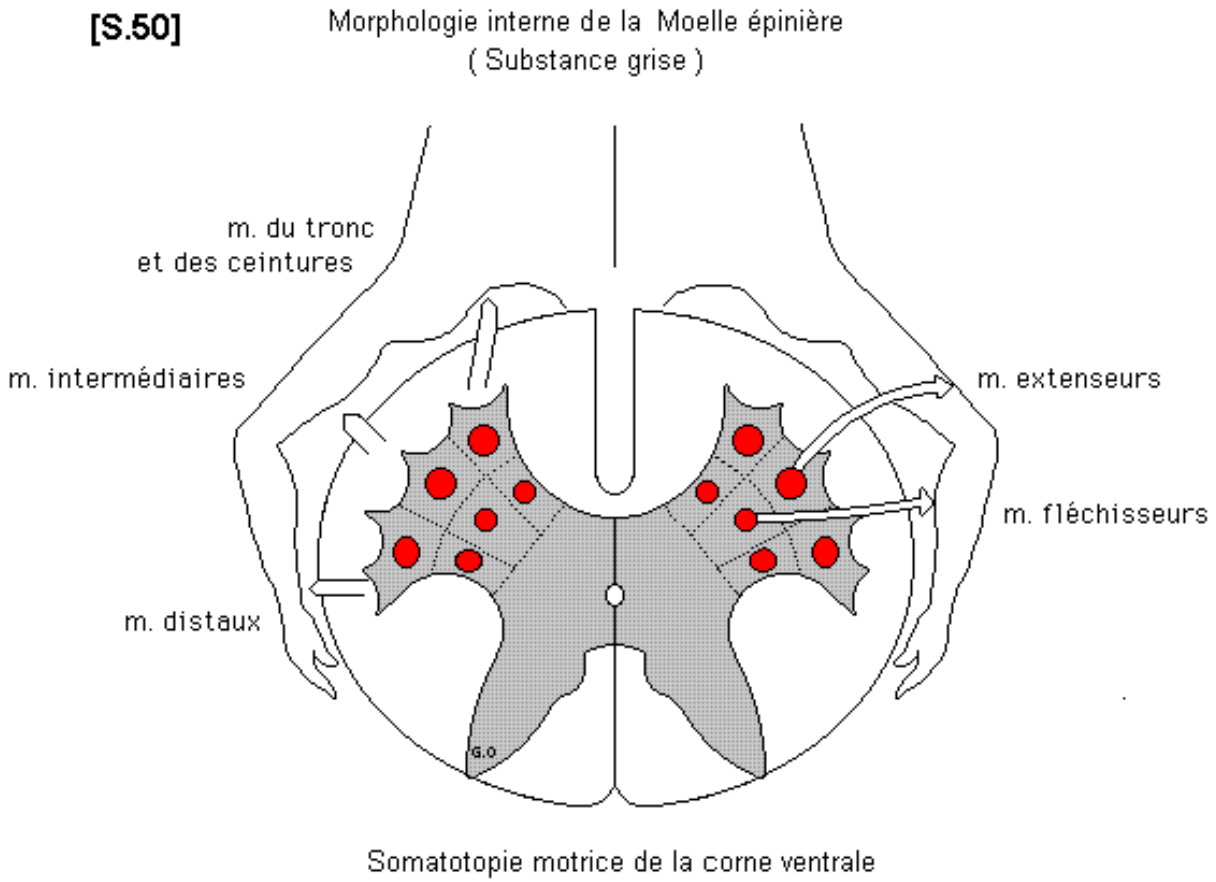
Structure de la plaque motrice ou synapse neuromusculaire ou jonction neuromusculaire

Le mécanisme de transmission de l'influx nerveux au contact de la fibre musculaire peut être bloqué par le curare.



La myasthénie résulte d'une inefficacité de la transmission neuro-musculaire, soit par insuffisance de neurotransmetteurs (ici l'acétylcholine), soit par insensibilité de la plaque motrice à l'acétylcholine.

On retrouve une somatotopie dans la corne antérieure de la moelle épinière:



V/ Organisation des commandes motrices

1) Présentation

Avant que les commandes motrices ne soient envoyées aux centres d'exécution, elles doivent être organisées au niveau cortical.

- 1ère étape: **Intégration** des données sensorielles relatives au milieu interne et externe, au sein du cortex pariétal postérieur = intention, motivation et stratégie motrice
- 2ème étape: **Planification** de l'action motrice à partir des informations reçues du cortex pariétal, au sein du cortex préfrontal
  - Ce schéma moteur inclue les muscles qui doivent être contractés, la force et la séquence des contractions musculaires.
  - Encodage des données spatiales et temporelles du mouvement.
  - Coordonne les segments de membres, la direction du regard et l'orientation du corps.
  - Les noyaux gris centraux jouent un rôle important dans ces phases préparatoires.
- 3ème étape: **Transmission** du plan moteur par le cortex moteur aux centres exécutifs de la moelle ou du tronc cérébral, via les voies motrices descendantes, = réalisation de la tâche motrice

hiérarchie séquentielle :

- **la moelle spinale** (niveau le plus bas) : contient les motoneurones et des circuits locaux, qui assurent des réponses stéréotypées. Le motoneurone reçoit en plus les influences pyramidales et extrapyramidales suprasegmentaires
- **le cervelet** compare le programme moteur élaboré au niveau cortical avec la tâche motrice réalisée. Le cervelet contrôle:
  - les synergies musculaires (agonistes / antagonistes)
  - la coordination motrice
  - la régulation du tonus
  - l'apprentissage des tâches motrices
- **les ganglions de la base (noyaux gris centraux**) appartiennent au système extrapyramidal. Ils traitent les données corticales (projet moteur) en formant une boucle avec le cortex au travers du thalamus. Ils influencent le planning et l'exécution du mouvement.
- **le cortex cérébral** génère et contrôle l'activité motrice.

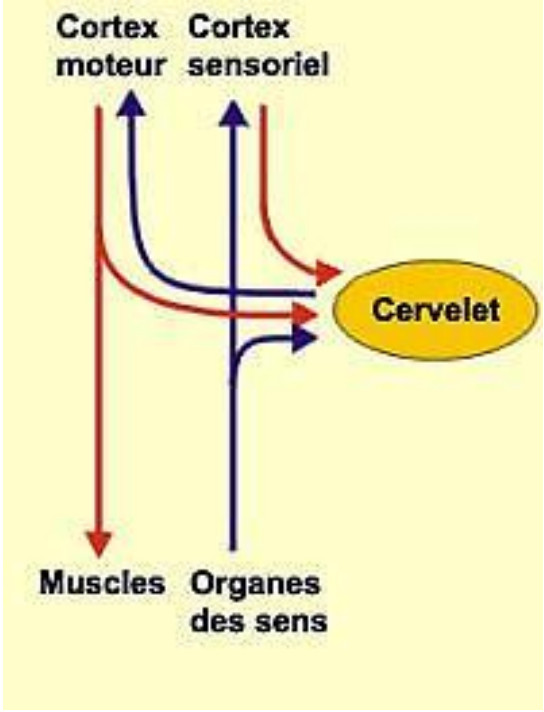
hiérarchisation parallèle :
La motricité présente aussi une organisation fortement parallèle. De nombreux circuits de contrôle fonctionnent simultanément.

2) Systèmes de contrôle

Noyaux gris centraux et cervelet

- Assurent une modulation continue du plan moteur et de son exécution

Chez la personne saine, le cervelet reçoit du cortex sensoriel et moteur de l'information sur l'intention d'un mouvement. Il informe ensuite en retour le cortex moteur des caractéristiques requises pour le mouvement à effectuer en terme de direction, de force et de durée.

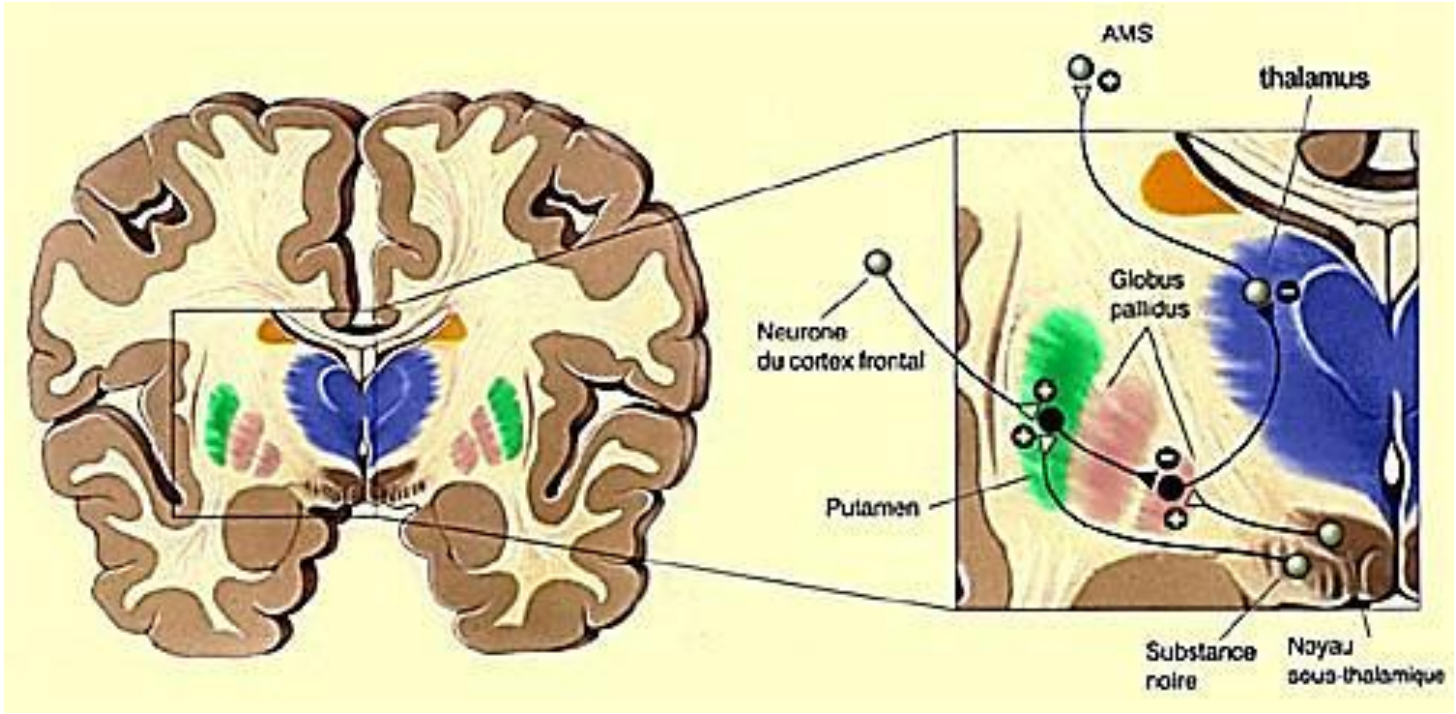


Les ganglions de la base sont impliqués dans une boucle complexe qui les lie à différentes aires corticales :

Cortex ⟶ ganglions de la base ⟶ thalamus ⟶ aire motrice supplémentaire

=> action facilitatrice sur le mouvement

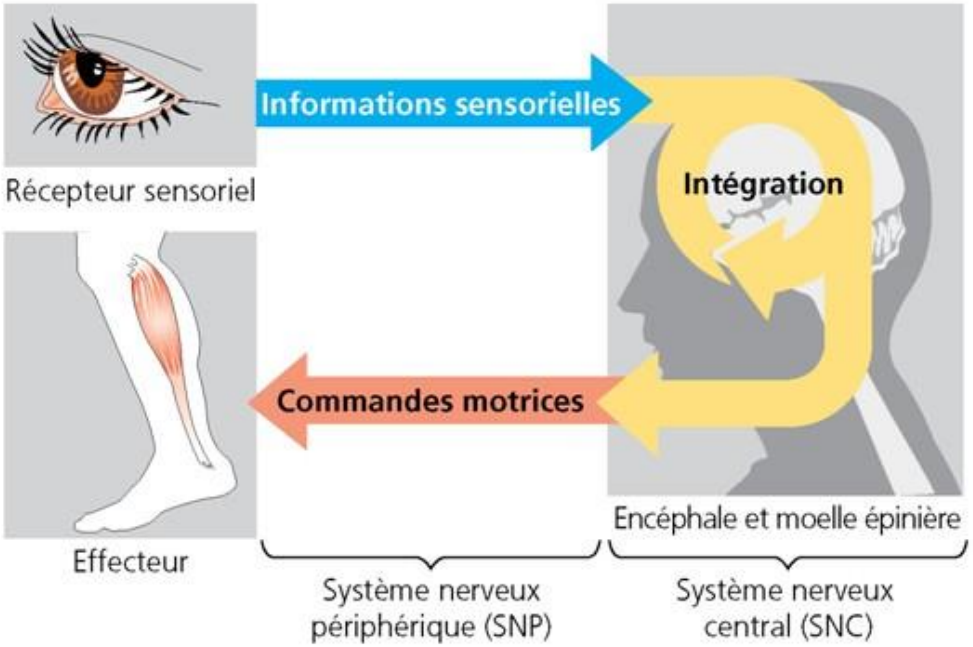
- aussi filtre bloquant la réalisation des mouvements lorsque ceux-ci sont inadaptés.



3) Intégration sensorielle

L'information sensitive est intégrée à tous les étages du système nerveux pour susciter des réponses motrices appropriées qui sont :

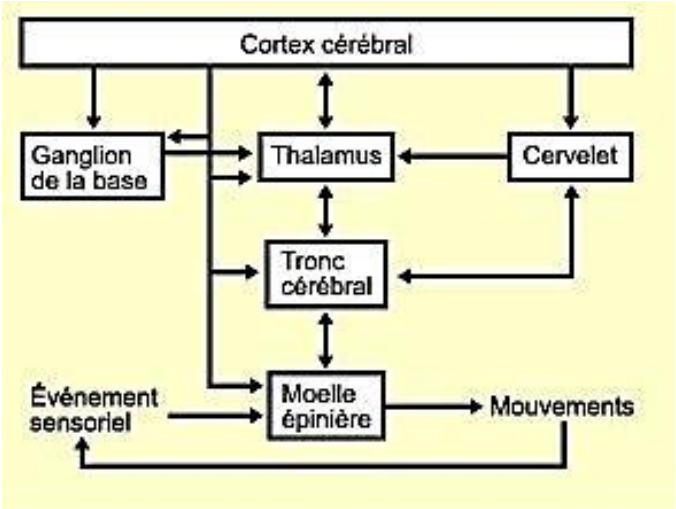
- des réflexes simples dans la moelle spinale
- des réponses plus complexes dans le tronc cérébral
- les réponses les plus élaborées dans le cerveau

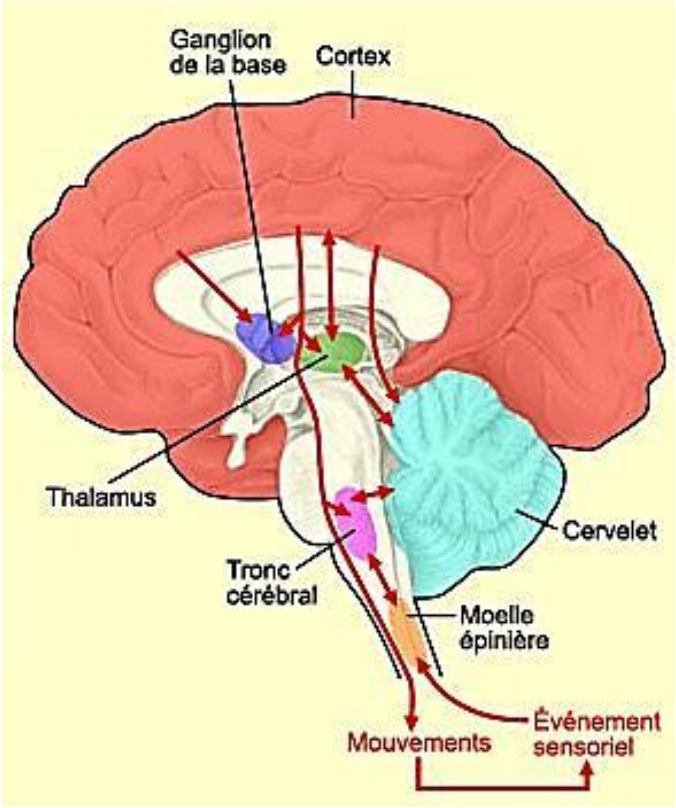


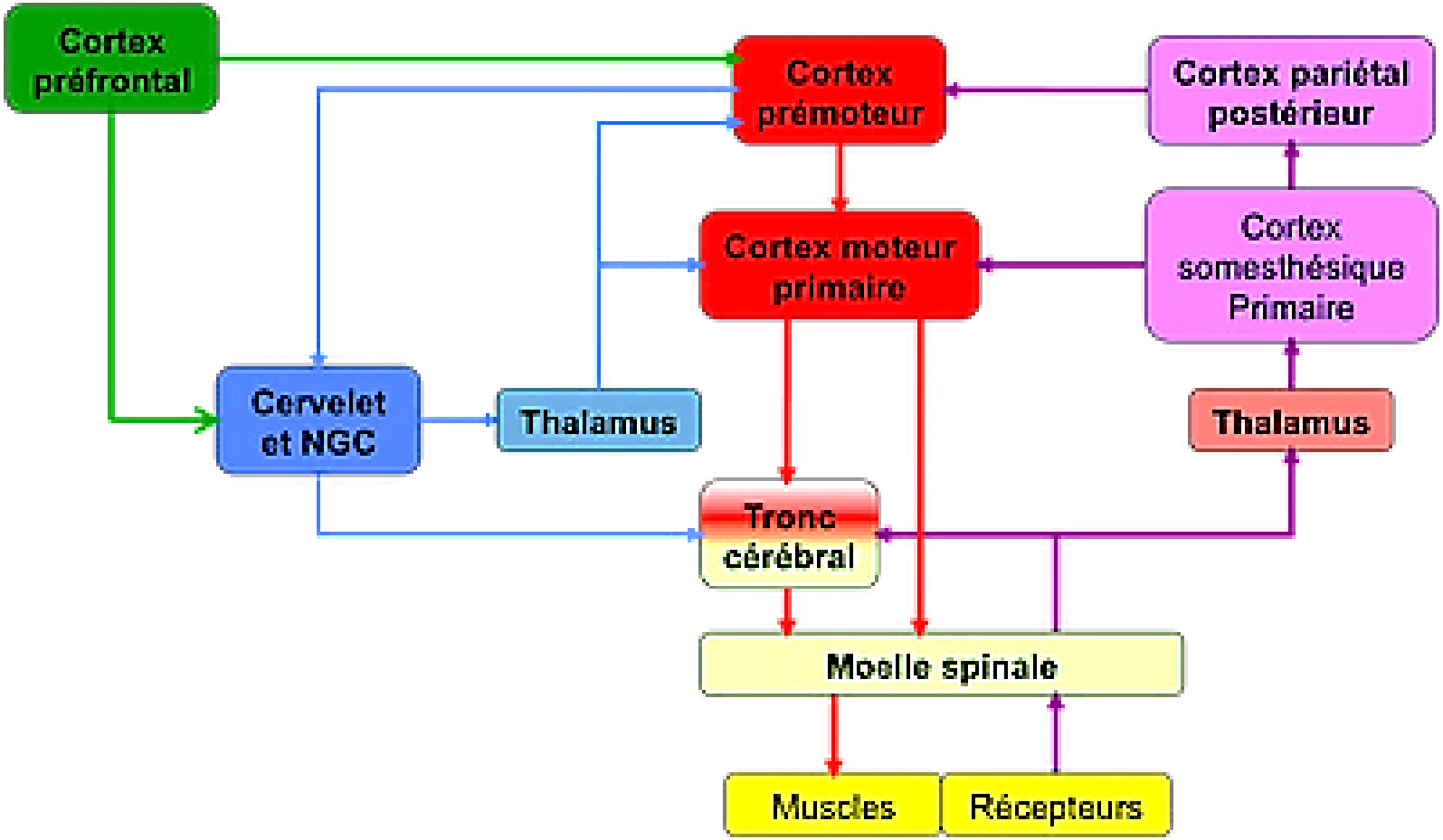
Le fonctionnement de chaque niveau hiérarchique de la commande motrice est extrêmement dépendant de **l'information sensorielle** qu'il reçoit.

- Au niveau de la détermination des stratégies motrices, les informations sensorielles contribuent à générer une image mentale du corps et de sa situation dans l'environnement.
- Au niveau de l'exécution du mouvement, la rétroaction sensorielle permet le maintien postural et aide à déterminer la longueur et la tension des muscles avant et après chaque mouvement volontaire

Schéma bilan






Cortex préfrontal
Cortex prémoteur
Cortex pariétal postérieur
Cortex moteur primaire
Cortex somesthésique Primaire
Cervelet et NGC
Thalamus
Thalamus
Tronc cérébral
Moelle spinale
Muscles
Récepteurs

4) PATHOLOGIES :

- Si lésion médullaire : cela supprime l'influence suprasegmentaire.
  Dans un premier temps : l'activité synaptique est totalement sidérée (stade de paralysie flasque).
  Puis, l'organisation synaptique locale, non contrôlée par les voies descendantes, fait apparaître un "syndrome pyramidal" : paralysie spastique (hypertonie élastique et réflexes très vifs).

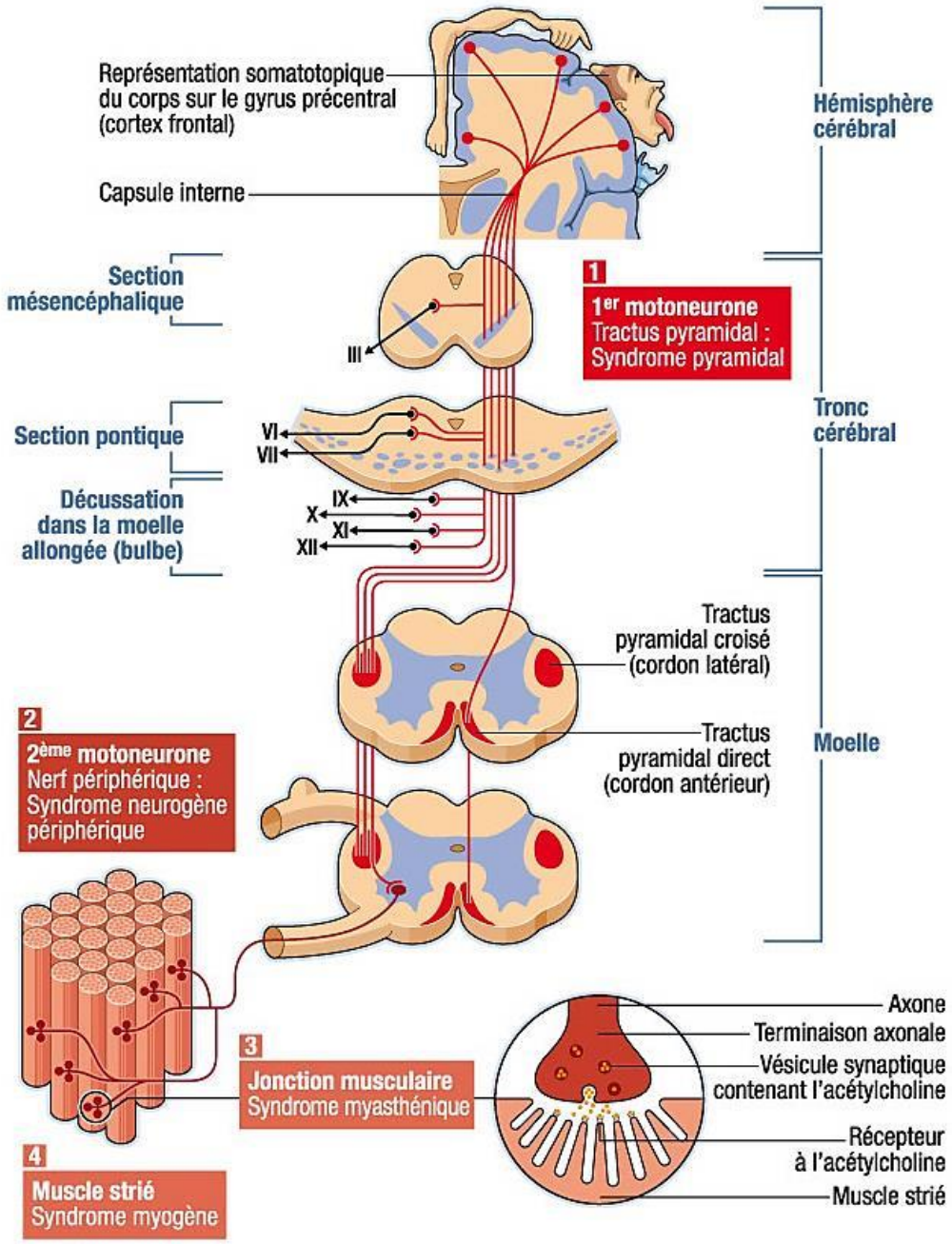
- Pour le syndrome extrapyramidal, les circuits de régulation du mouvement et du tonus sont déficients => hypertonie plastique.

On parle d'hypertonie plastique lorsqu'un membre du corps garde la position qui lui est donnée, ou que lors de la mobilisation de celui-ci, le membre exerce une résistance qui cède par à-coup.

L'hypertonie élastique ou spastique : lorsque le membre mobilisé revient à sa position d'origine lors de l'arrêt de la mobilisation. Cela se rencontre notamment en cas de pathologie responsable d'une paralysie, comme après un accident vasculaire cérébral.

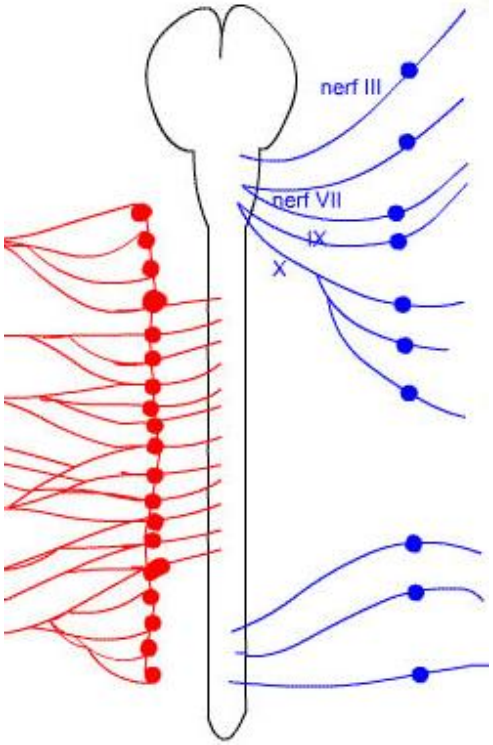
Sémiologie

4 syndromes selon localisation atteinte



VI/ Motricité viscérale

- Système neurovégétatif
  - sympathique
  - Parasympathique



- Parasympathique = cranio-sacré
- Sympathique = thoraco-lombaire de C8 à L2

Voies efférentes : Contingent Somatique

Sudation, pilo-érection, vasomotricité

- Neurone pré ganglionnaire :

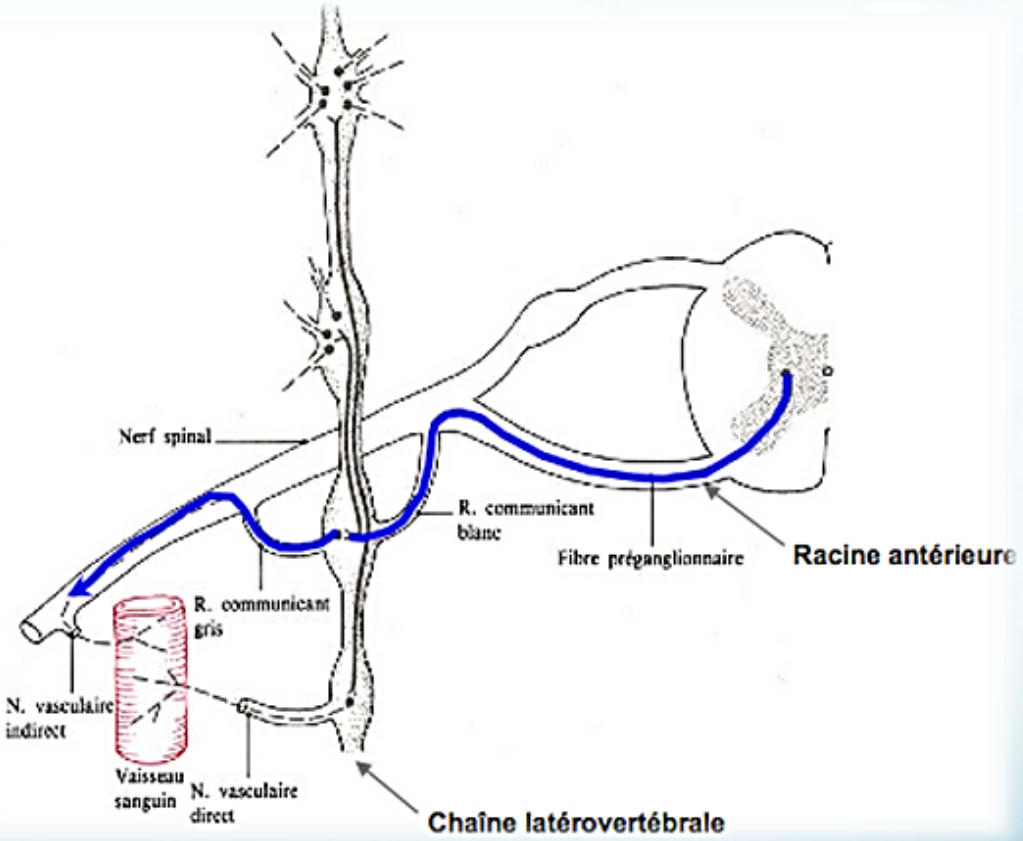
➔ Corne inter-médio-latérale

➔ Racine antérieure ➔ Rameau communicant blanc

➔ relais dans le ganglion latéro-vertébral

- Neurone post ganglionnaire :

Rameau communicant gris ➔ Nerf rachidien ➔ Territoire cutané correspondant



Voies efférentes :Contingent Viscéral

Cœur, médiastin, digestif, appareil vésico-sphinctérien

- Neurone pré ganglionnaire :

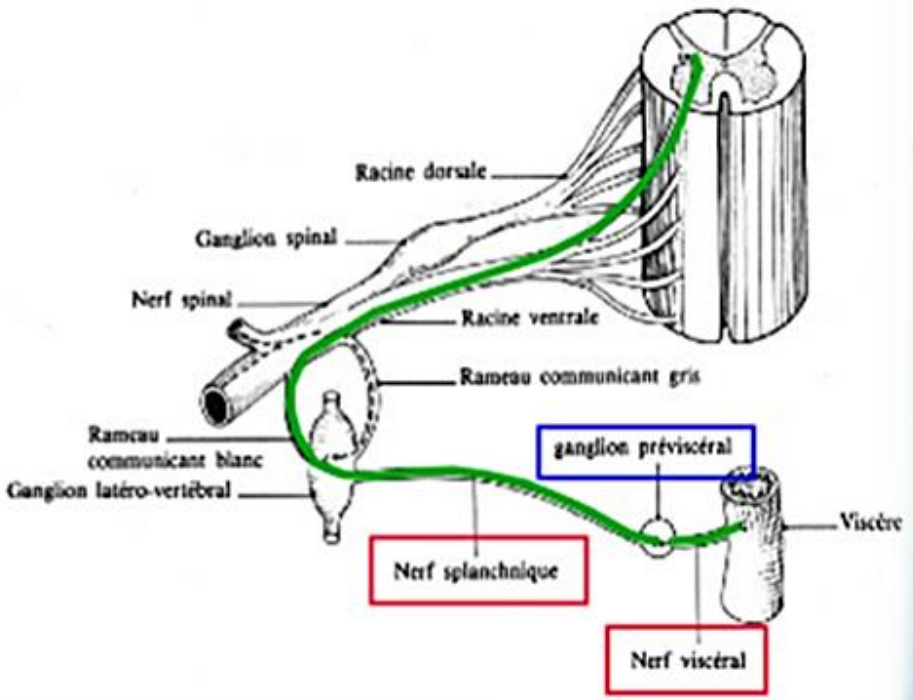
➔ Corne inter-médio-médiale

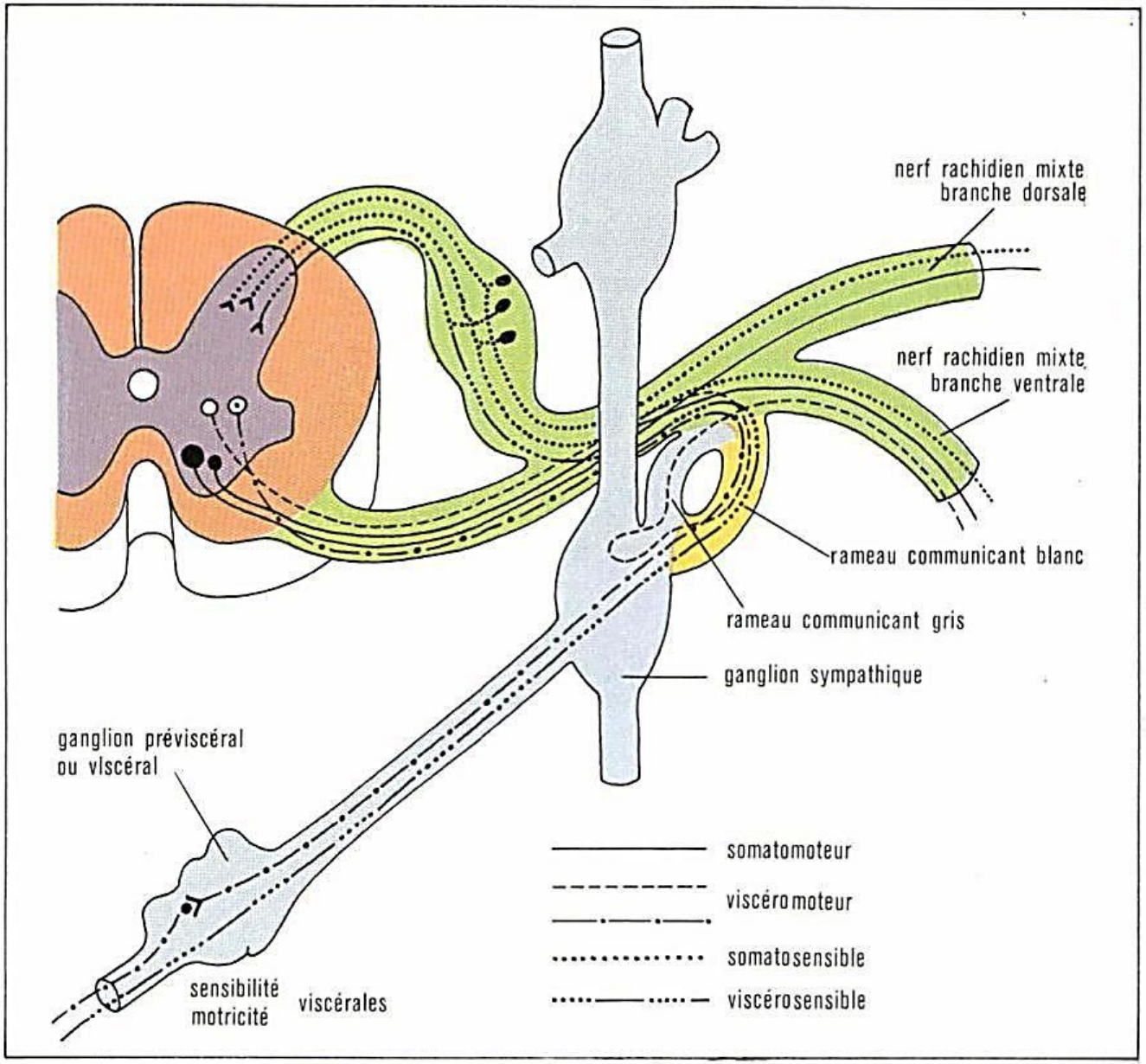
➔ Racine antérieure ➔ Rameau communicant blanc

➔ ganglion latéro-vertébral ➔ Nerf splanchnique

➔ Relais dans le ganglion pré viscéral

- Neurone post ganglionnaire : trajet jusqu'au viscère



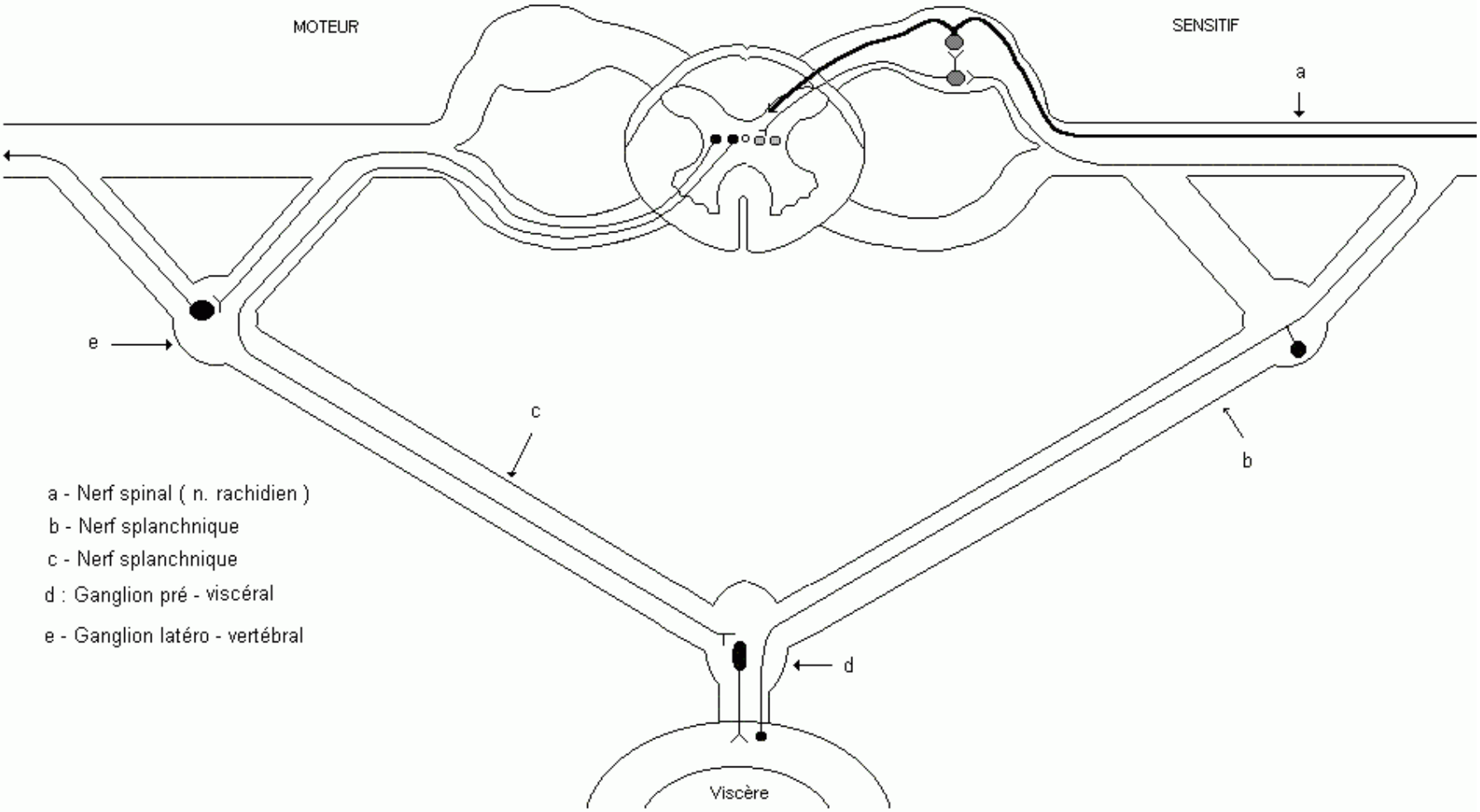


Organisation du système nerveux autonome orthosympathique.

[S.92]

SYSTEME NERVEUX VEGETATIF _ PARTIE SYMPATHIQUE

SYSTEMATISATION



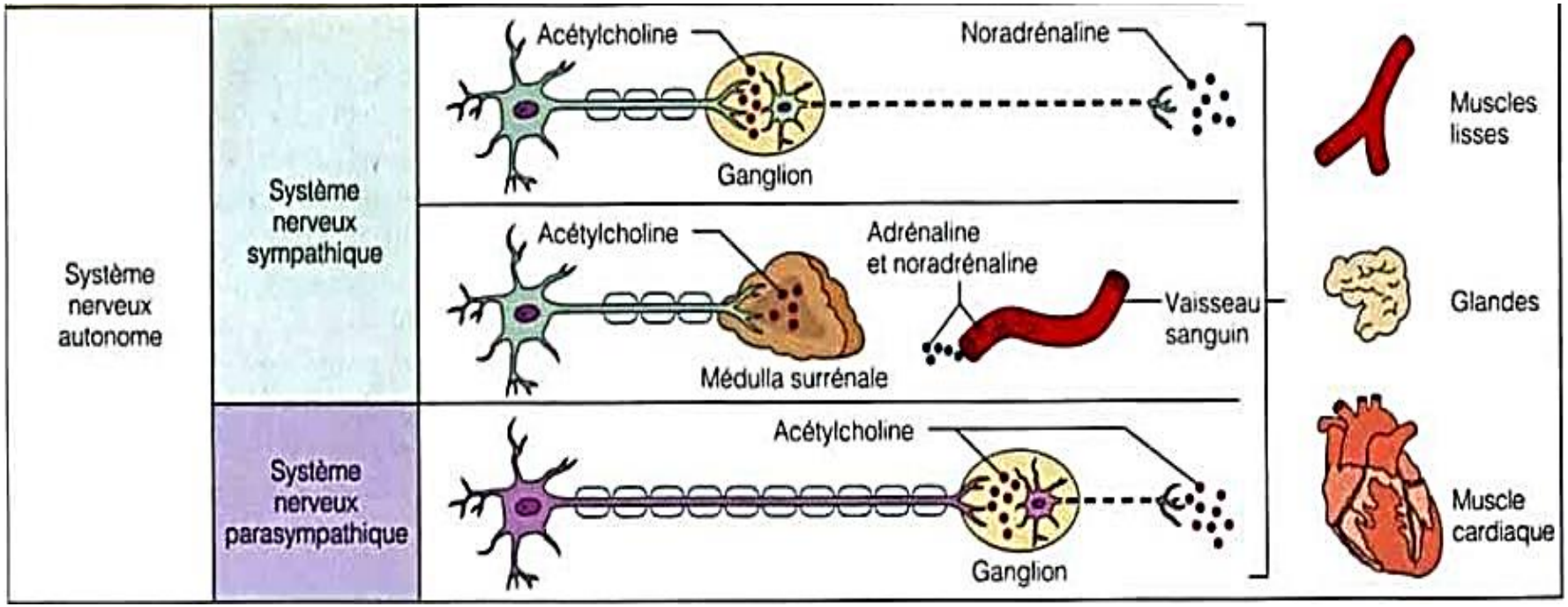
a - Nerf spinal (n. rachidien)

b - Nerf splanchnique

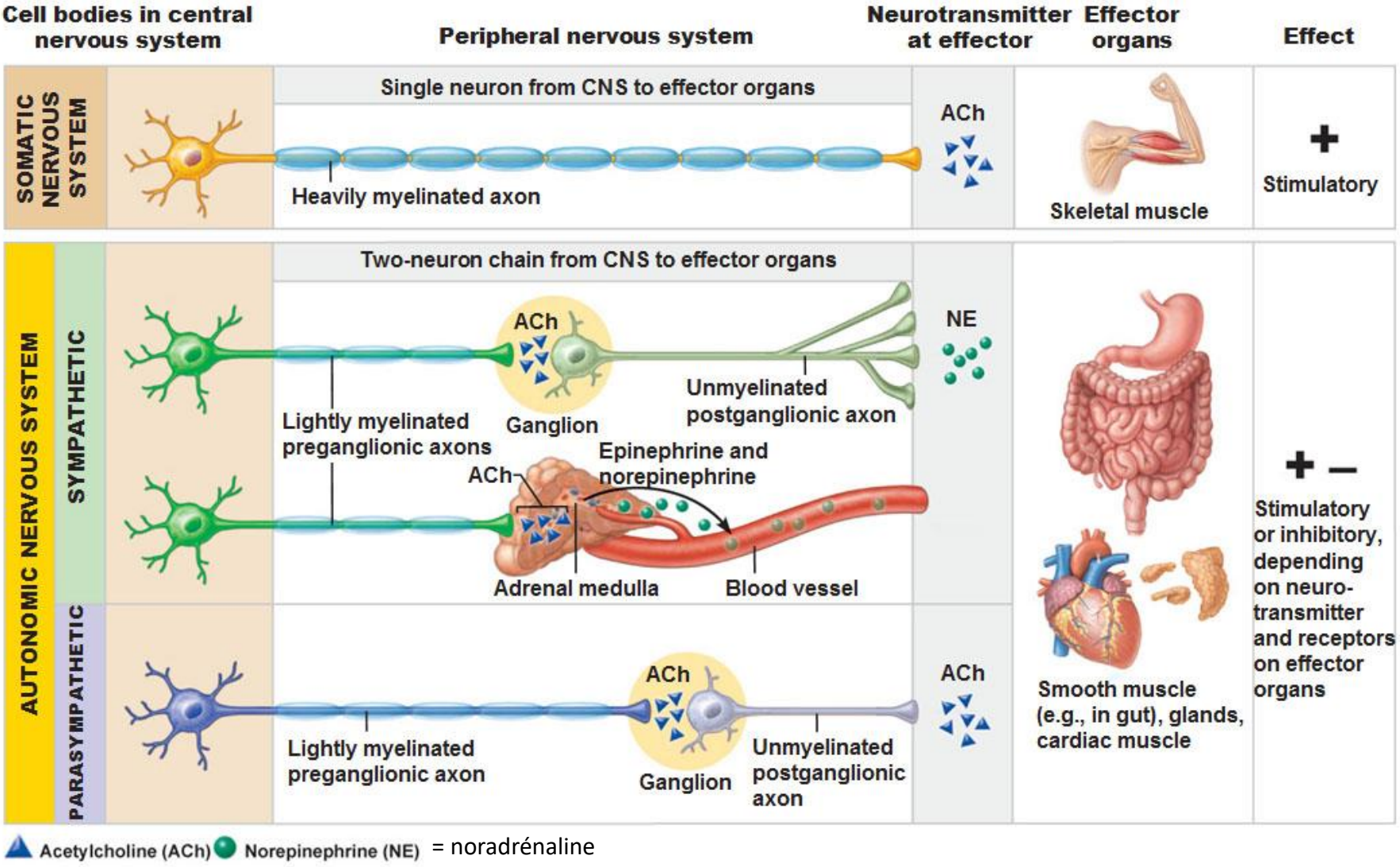
c - Nerf splanchnique

d : Ganglion pré - viscéral

e - Ganglion latéro - vertébral


Système nerveux autonome
Système nerveux sympathique
Système nerveux parasympathique
Acétylcholine
Noradrénaline
Ganglion
Acétylcholine
Adrénaline et noradrénaline
Vaisseau sanguin
Médulla surrénale
Acétylcholine
Ganglion
Muscles lisses
Glandes
Muscle cardiaque

Comparison of Autonomic and Somatic Motor Systems



= noradrénaline