

# Anatomie fonctionnelle des systèmes moteurs

Prof. Laurent Tatu

Service de Neurologie-Électrophysiologie clinique – CHU Besançon  
Laboratoire d'anatomie – UFR Santé – Université de Franche-Comté

Enseignement des DES et DIU de MPR

Année universitaire 2021 - 2022

# Anatomie fonctionnelle des systèmes moteurs

Le système moteur volontaire

Le rôle du cervelet dans la motricité

Le rôle des ganglions de la base dans la motricité

# Terminologie

## Mouvement réflexe :

Réponse motrice reproductible à un stimulus sensoriel précis

Utilisés en clinique (réflexes ostéo-tendineux, cutanés...)

## Mouvement automatique :

Séquences motrices complexes génétiquement déterminées (respiration) ou nécessitant un apprentissage (marche)

Séquences de mouvement apprises qui deviennent automatiques (natation)

## Mouvement volontaire ou intentionnel :

Mouvement qui relève d'une commande centrale

Planification, exécution, contrôle

# Terminologie

Voies de la **motricité volontaire**

Cortico-spinale et cortico-nucléaire

"Voie pyramidale"

Voies impliquées dans la **motricité automatique**

Système des ganglions de la base

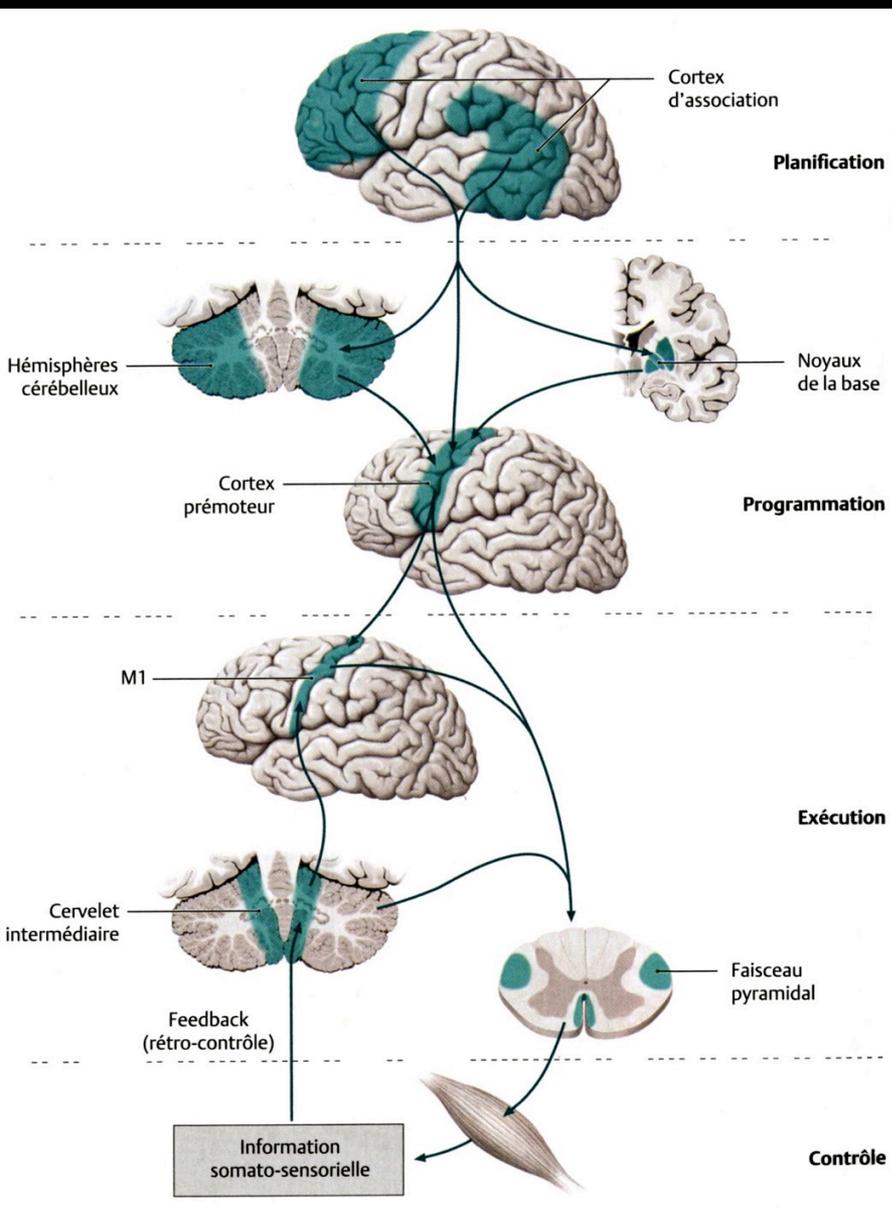
"Voies extra-pyramidales"

# Les voies de la motricité volontaire

Voie cortico-spinale

Voie cortico-nucléaire

# Organisation du système moteur volontaire



## Planification

Cortex prémoteur – Ganglions de la base

## Programmation

Cervelet latéral

## Exécution

Cortex moteur – Voie motrice volontaire

## Contrôle

Cervelet intermédiaire

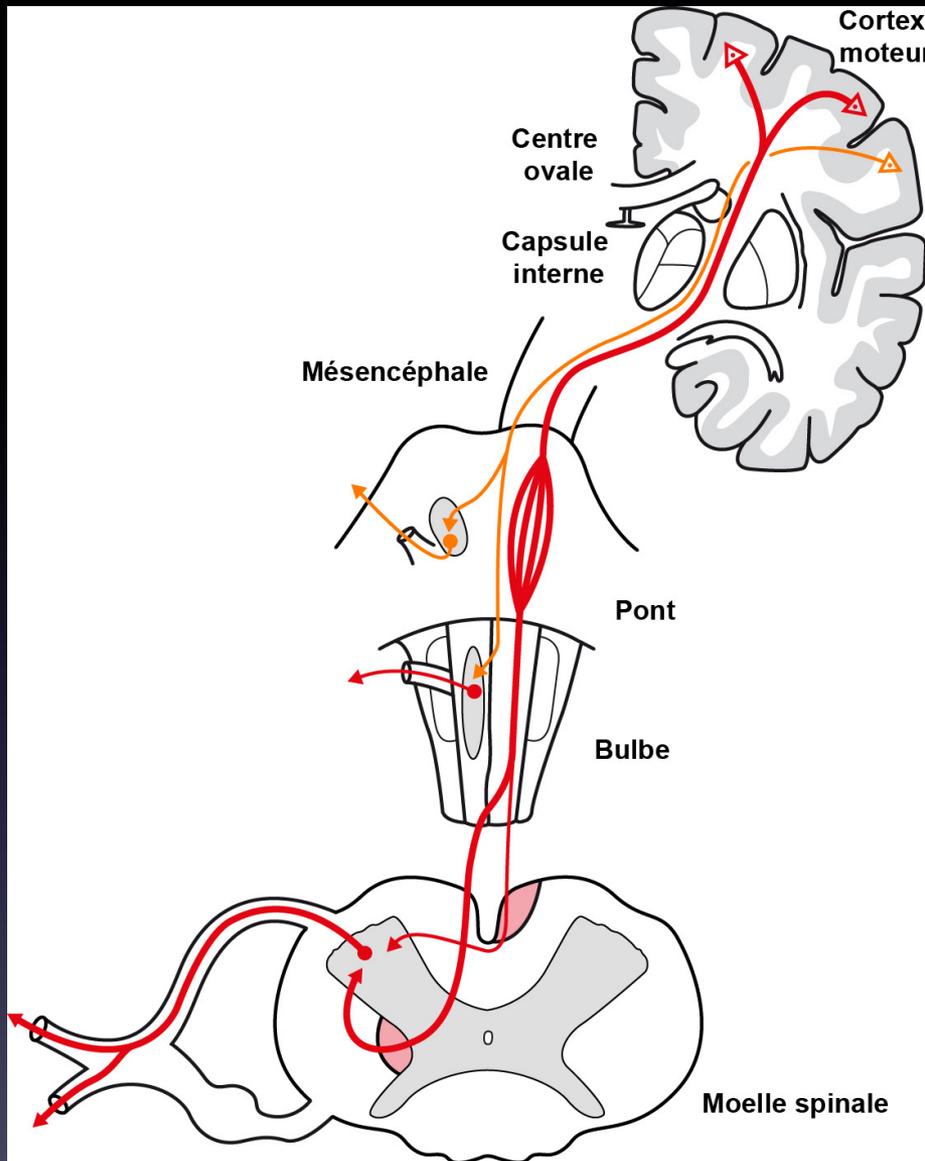
# Voies motrices volontaires

Voies croisées à deux neurones

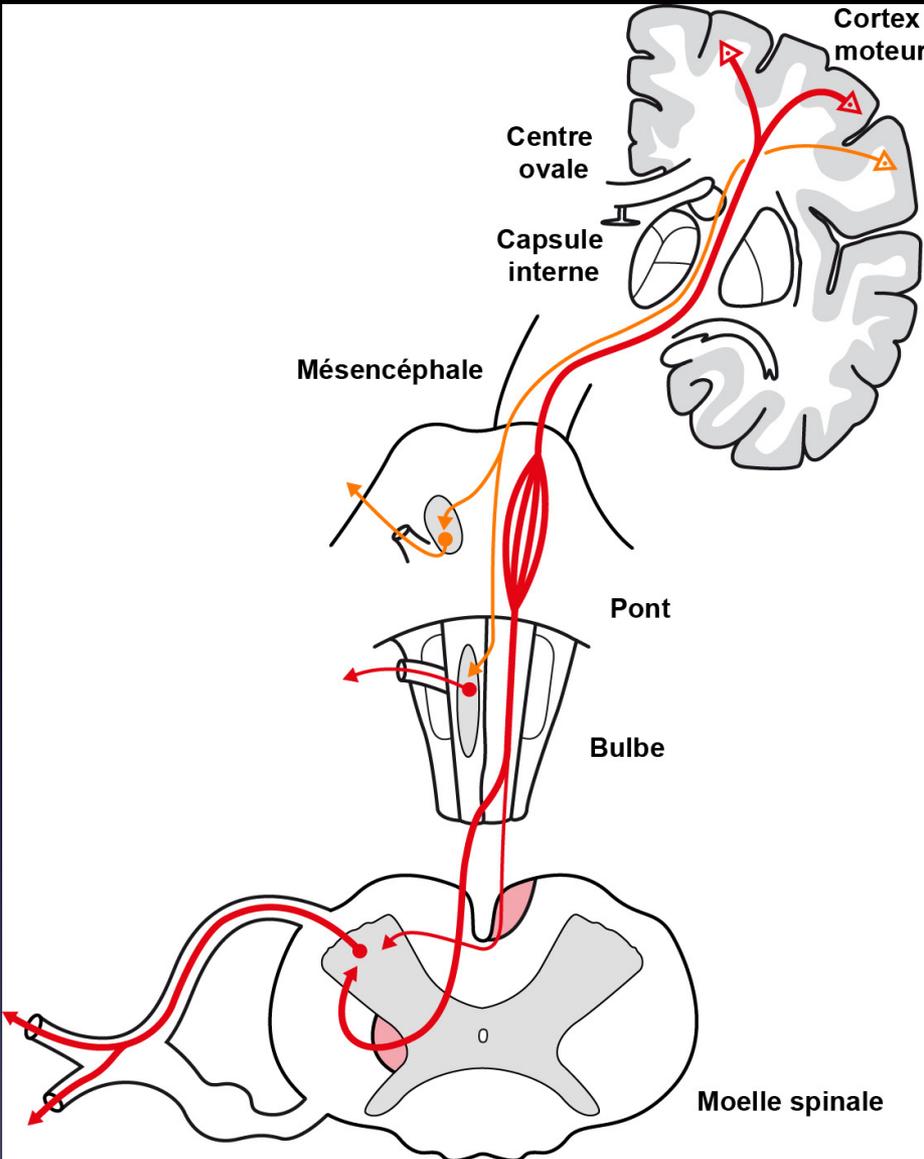
Premier neurone "central"  
Deuxième neurone "périphérique"

Voie cortico-spinale  
(corne ventrale de la moelle spinale)

Voie cortico-nucléaire  
(noyaux des nerfs crâniens)



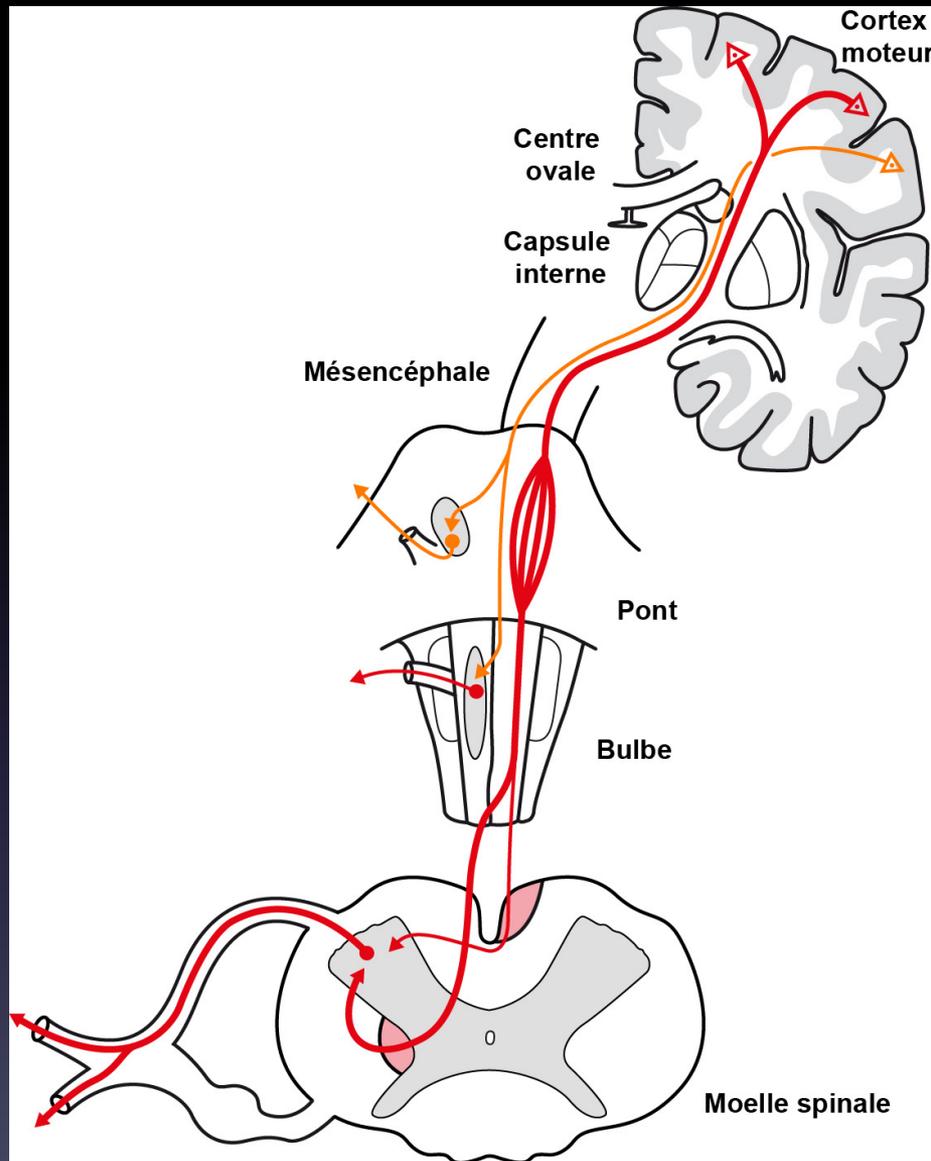
# Voies motrices volontaires



Voie cortico-spinale  
(corne ventrale de la moelle spinale)

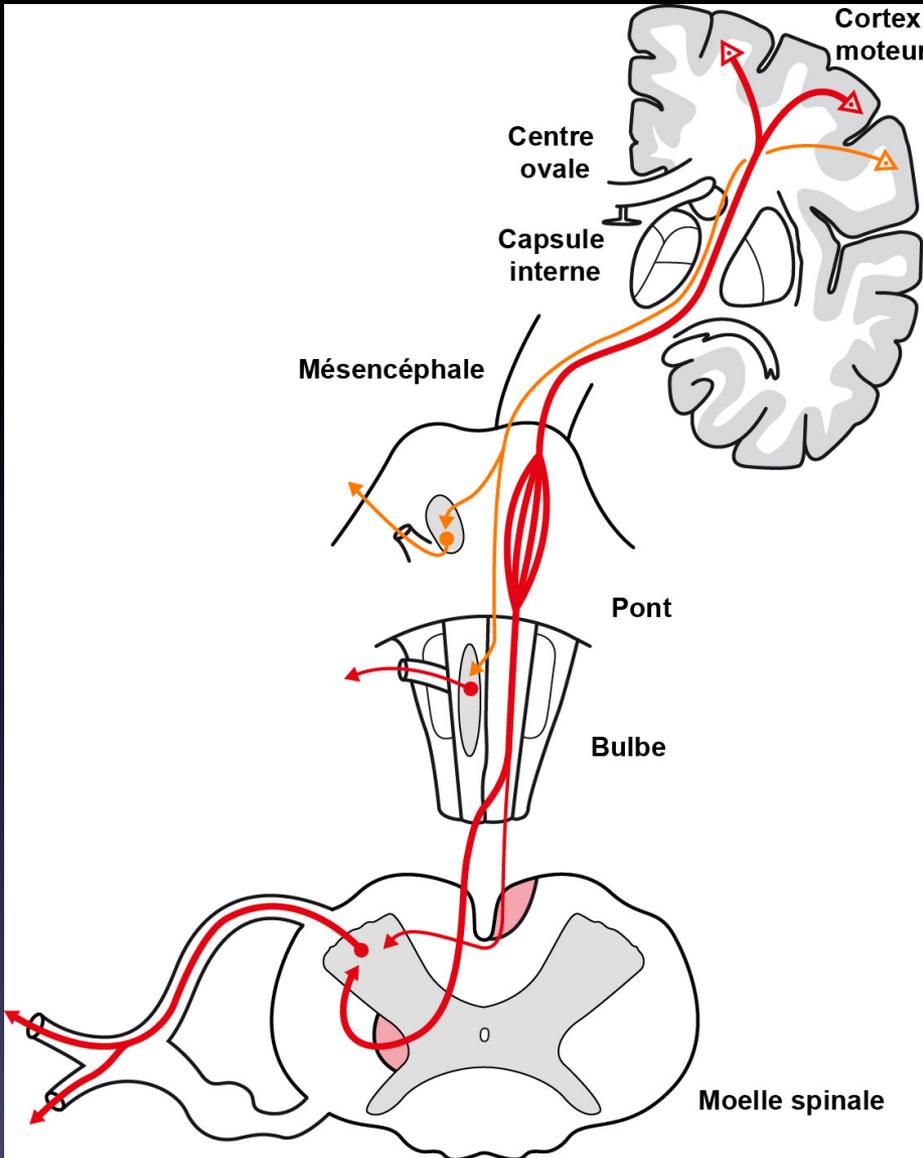
Décussation (bulbaire ou spinale)  
Voie "croisée" ou "directe"

# Voies motrices volontaires



Voie cortico-nucléaire  
(noyaux des nerfs crâniens)

# Voies motrices volontaires



Voie finale commune

Nerfs crâniens

Jonctions neuromusculaires

Muscles

Nerfs spinaux

Plexus

Jonctions neuromusculaires

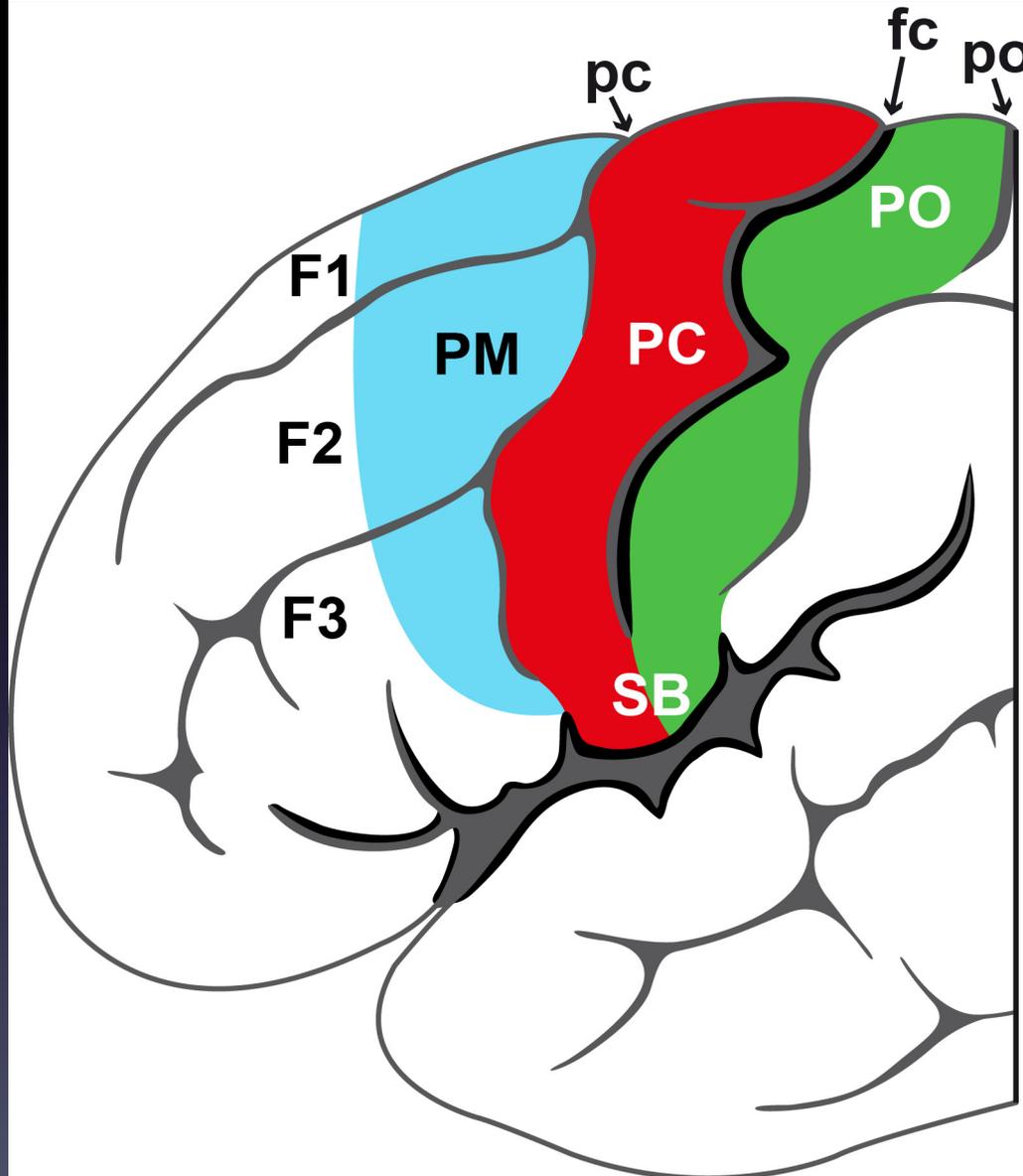
Muscles

Motricité volontaire

Motricité automatique

Motricité réflexe

# Voies motrices volontaires : centres corticaux



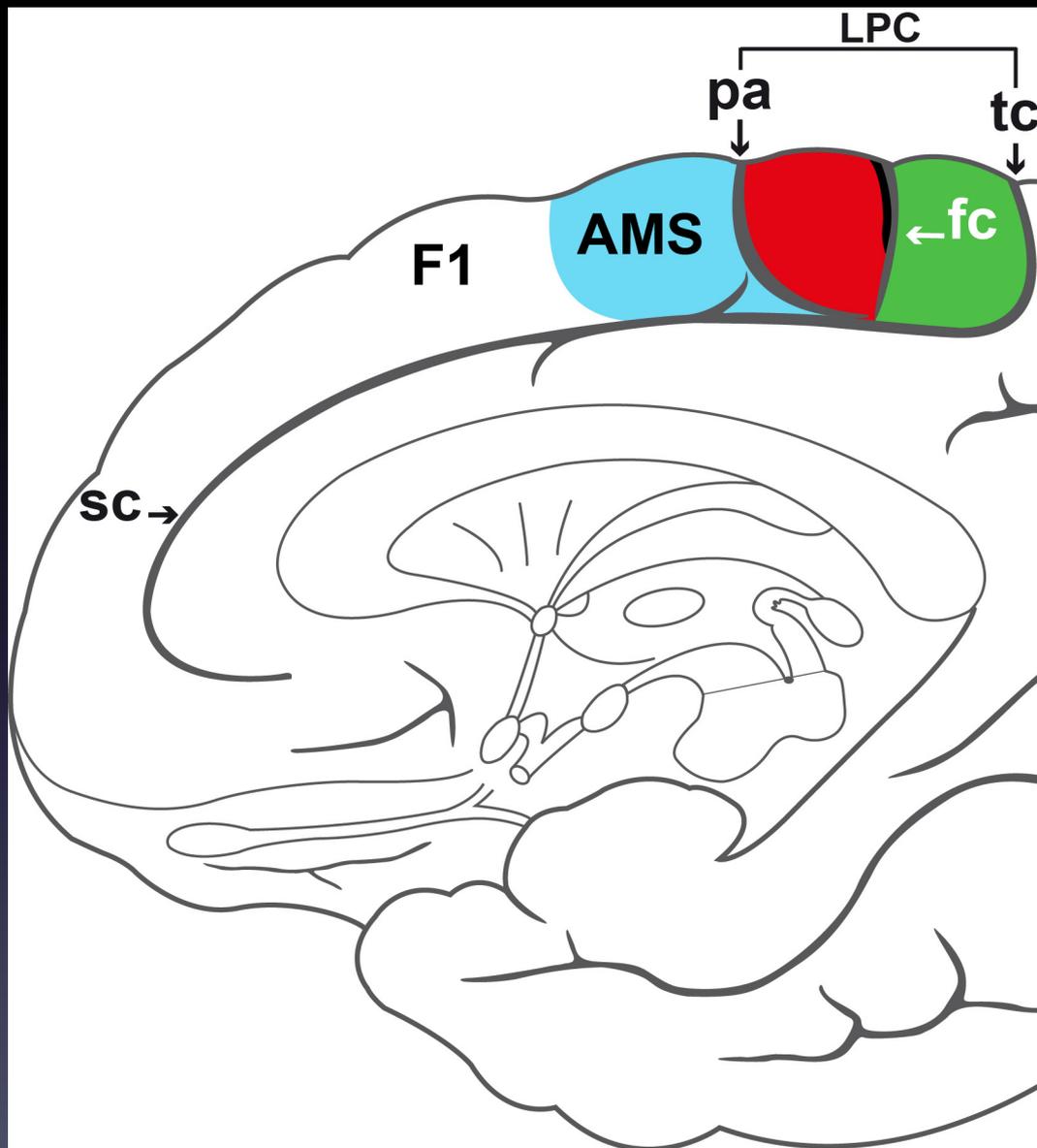
## Face latérale

Gyrus précentral  
Aire 4 de Brodmann

Cortex prémoteur  
Aire 6 de Brodmann

Gyrus post central  
Aires 3,1,2 de Brodmann

# Voies motrices volontaires : centres corticaux



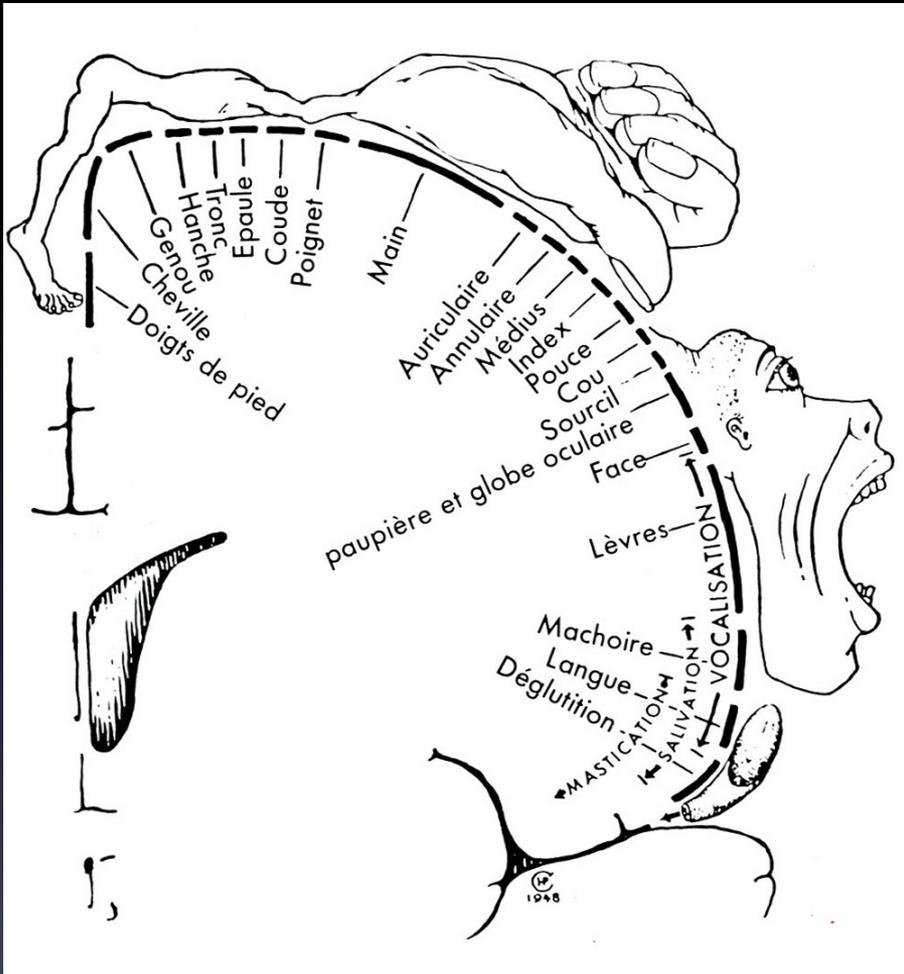
## Face médiale

Lobule paracentral  
Gyrus précentral  
Gyrus postcentral

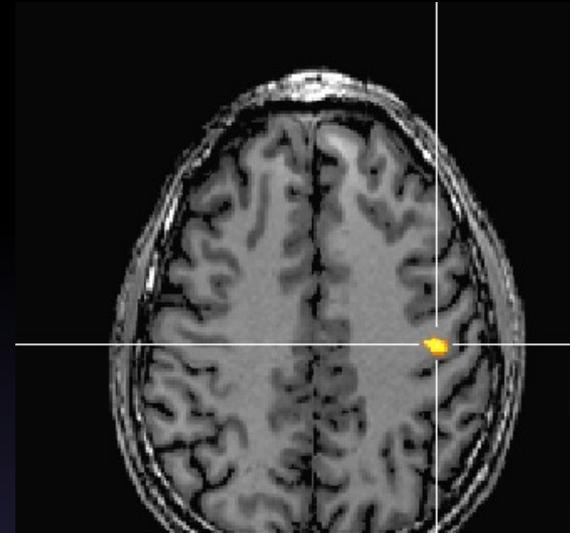
Sillon paracentral  
Sillon cingulaire  
(pars marginalis)

Aire motrice supplémentaire

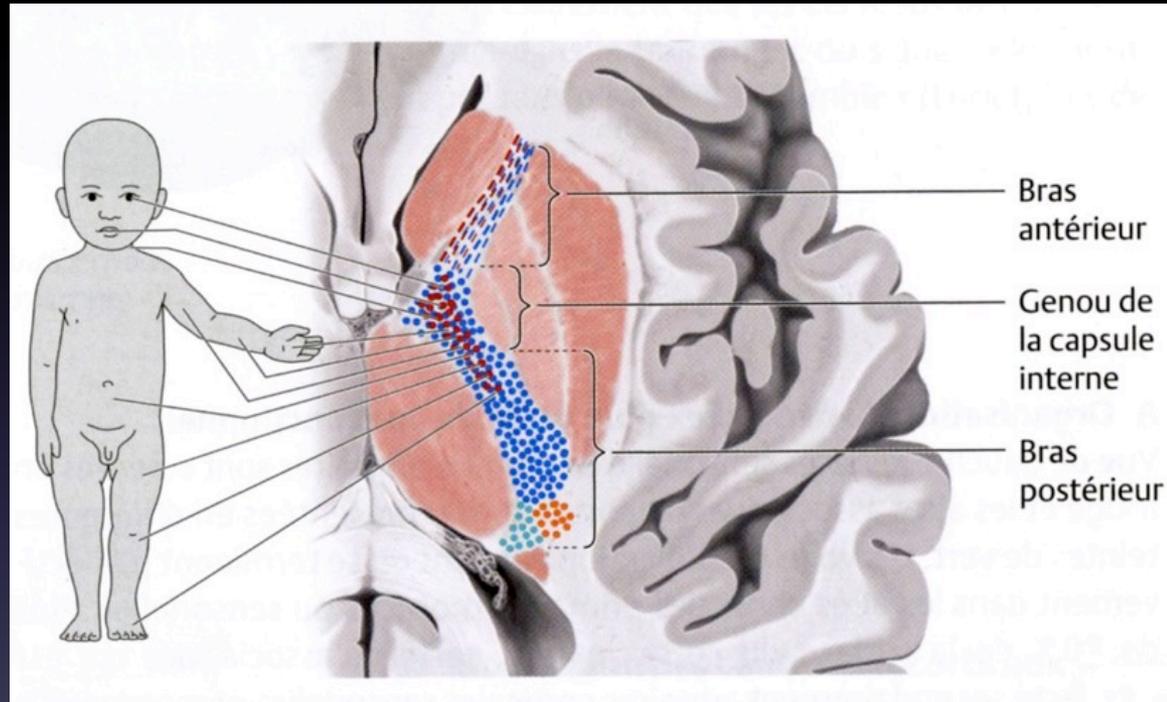
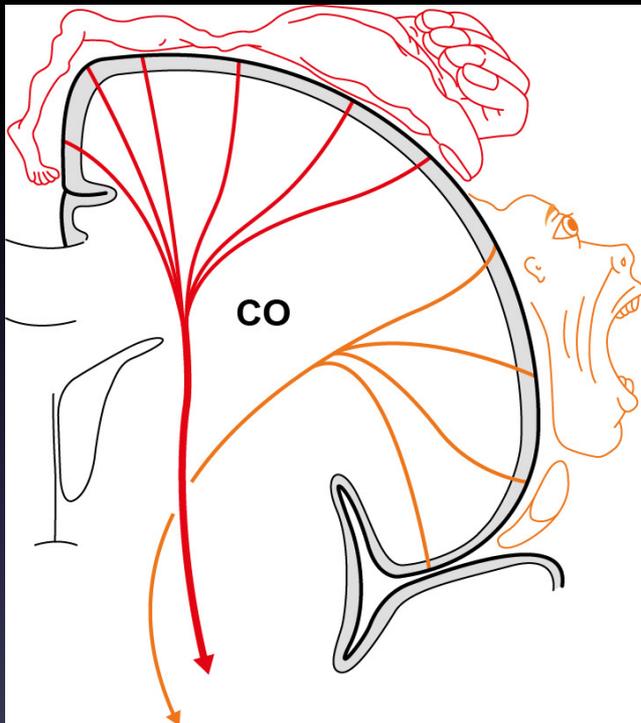
# Principes de la somatotopie



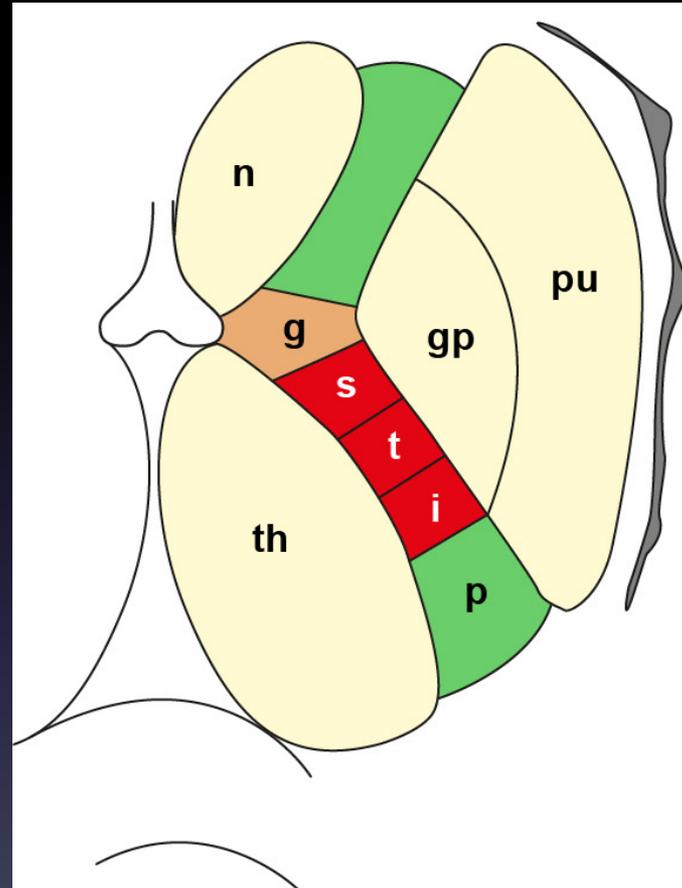
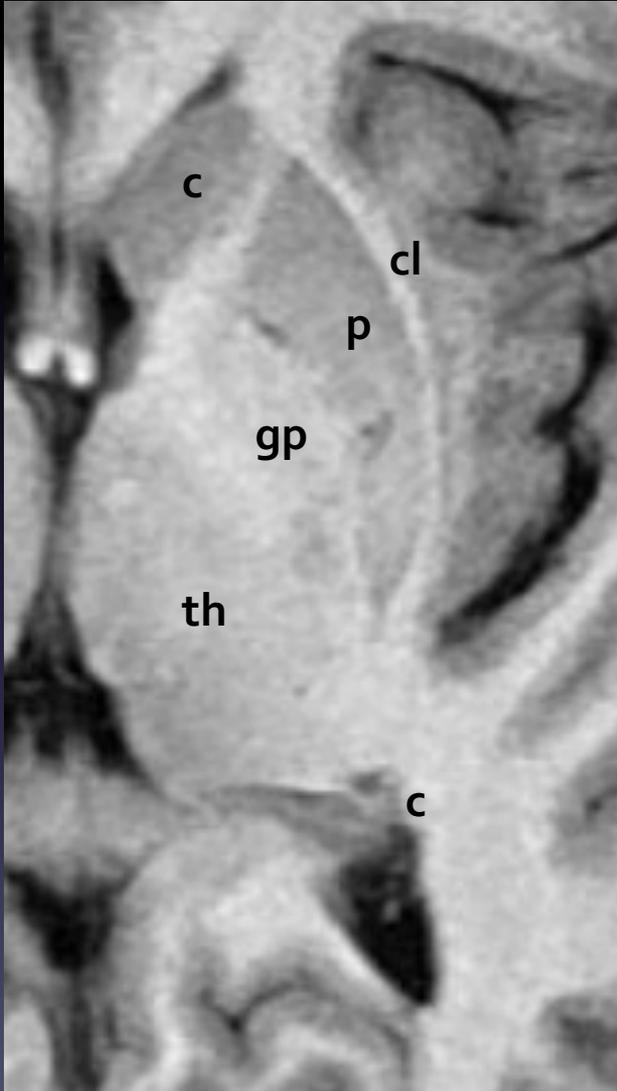
Penfield (1951)



# Traversée du centre ovale - Capsule interne

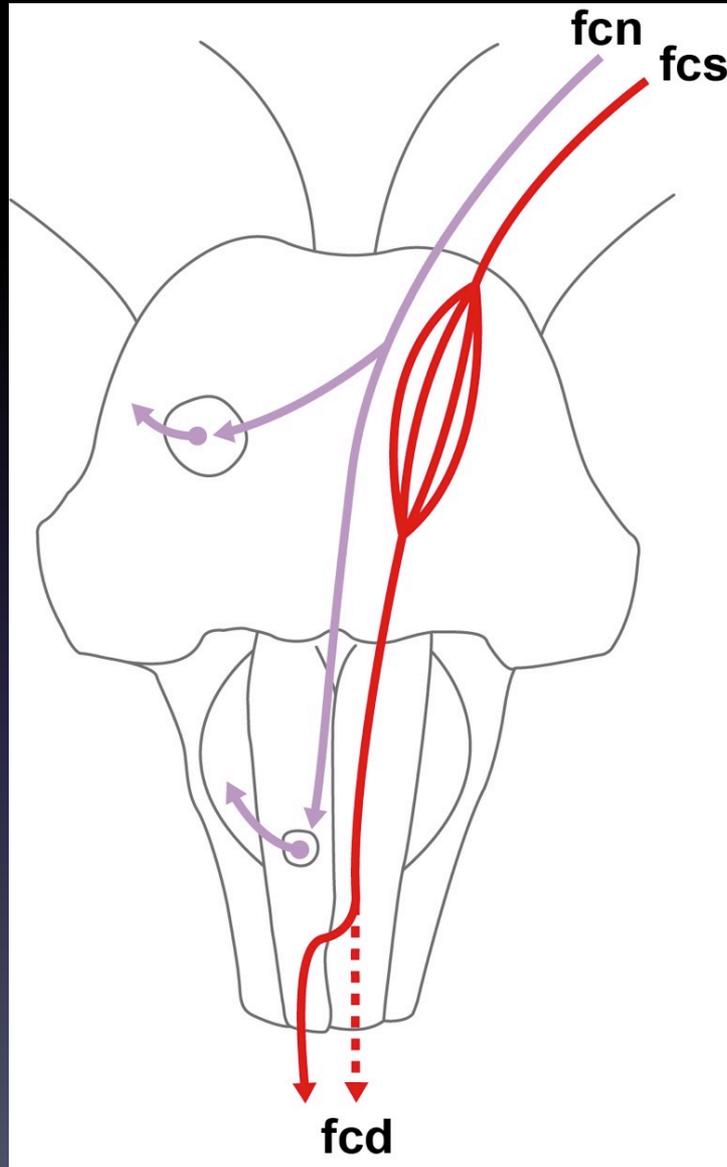


# Traversée de la capsule interne



L. Tatu. La lettre du neurologue (2018)

# Traversée du tronc cérébral

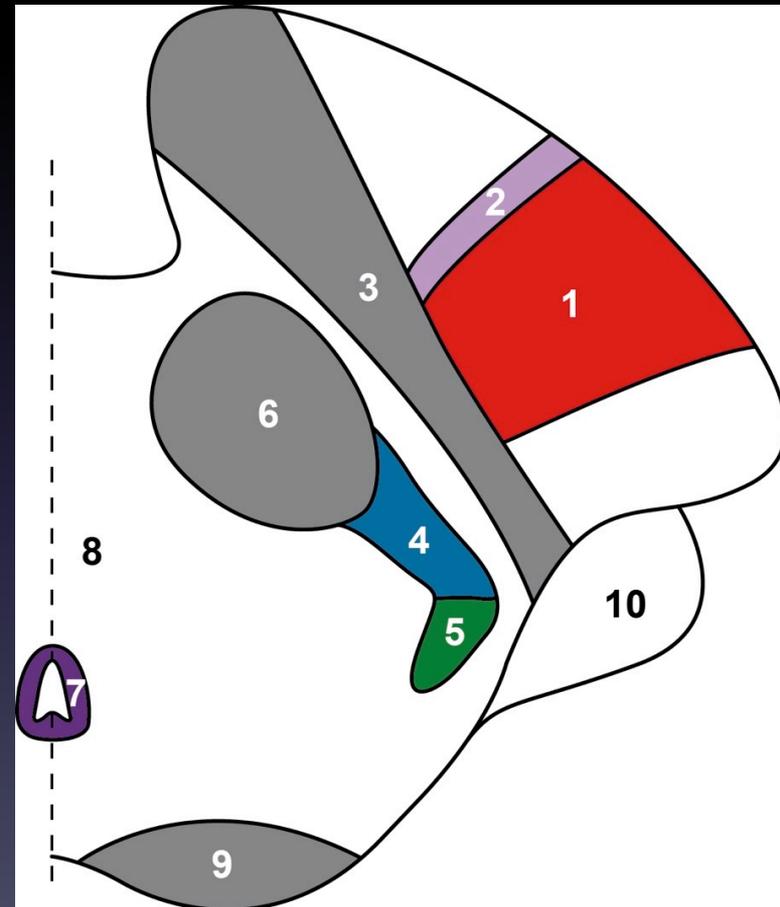
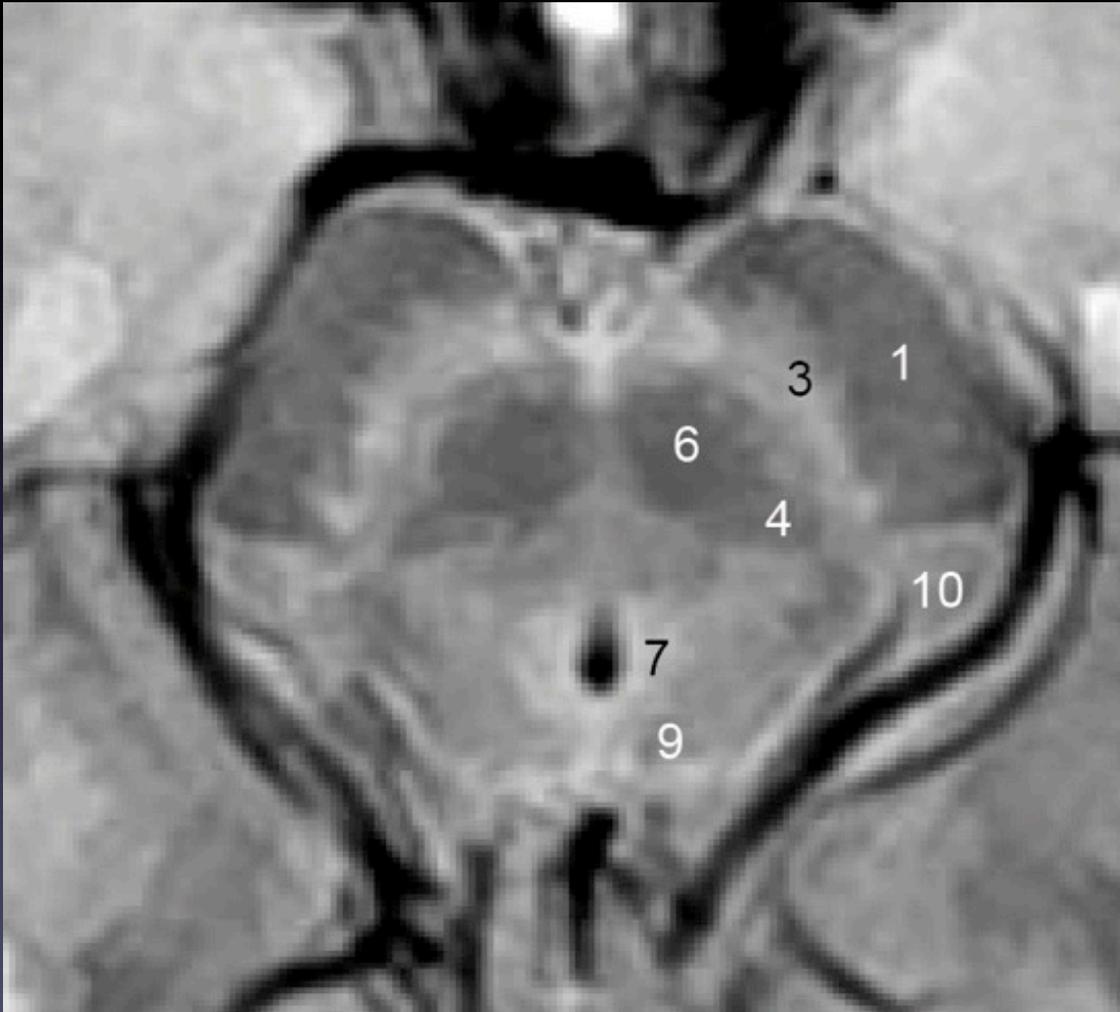


Mésencéphale

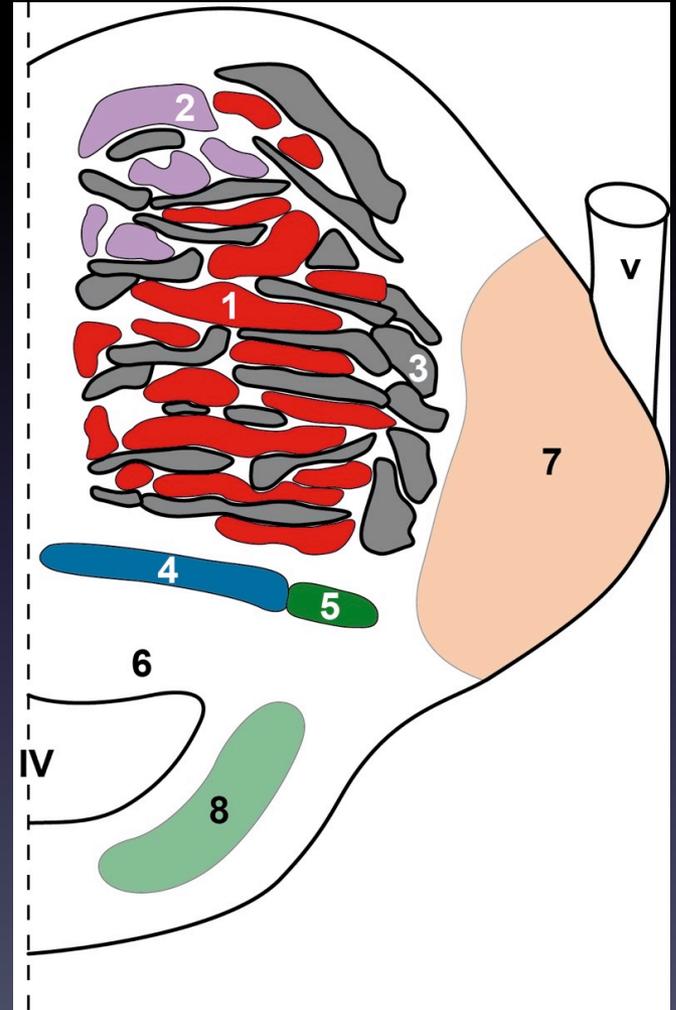
Pont

Bulbe  
(Moelle allongée)

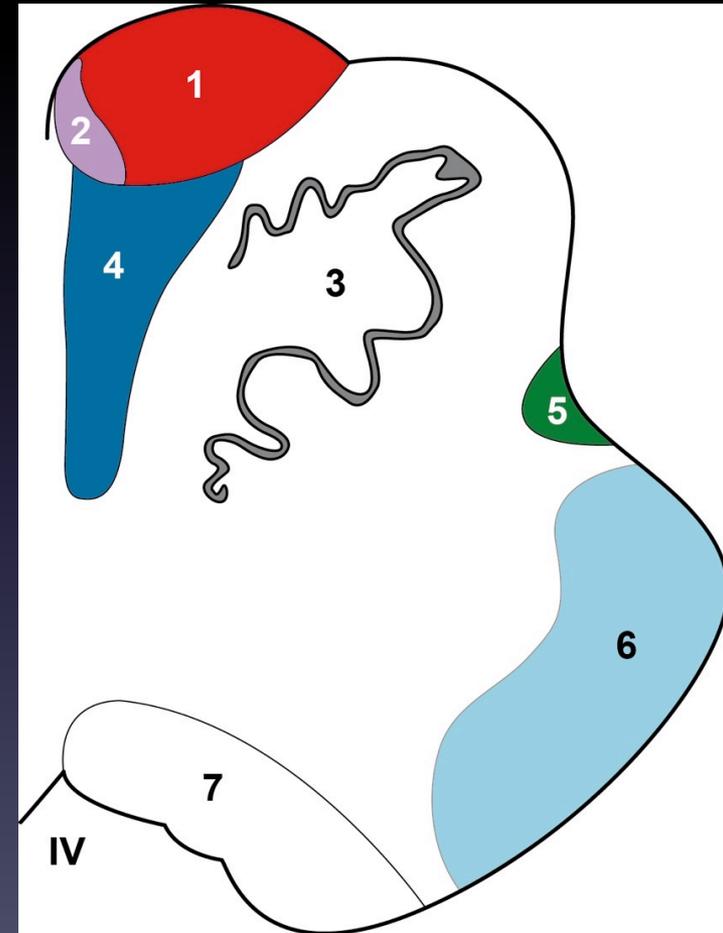
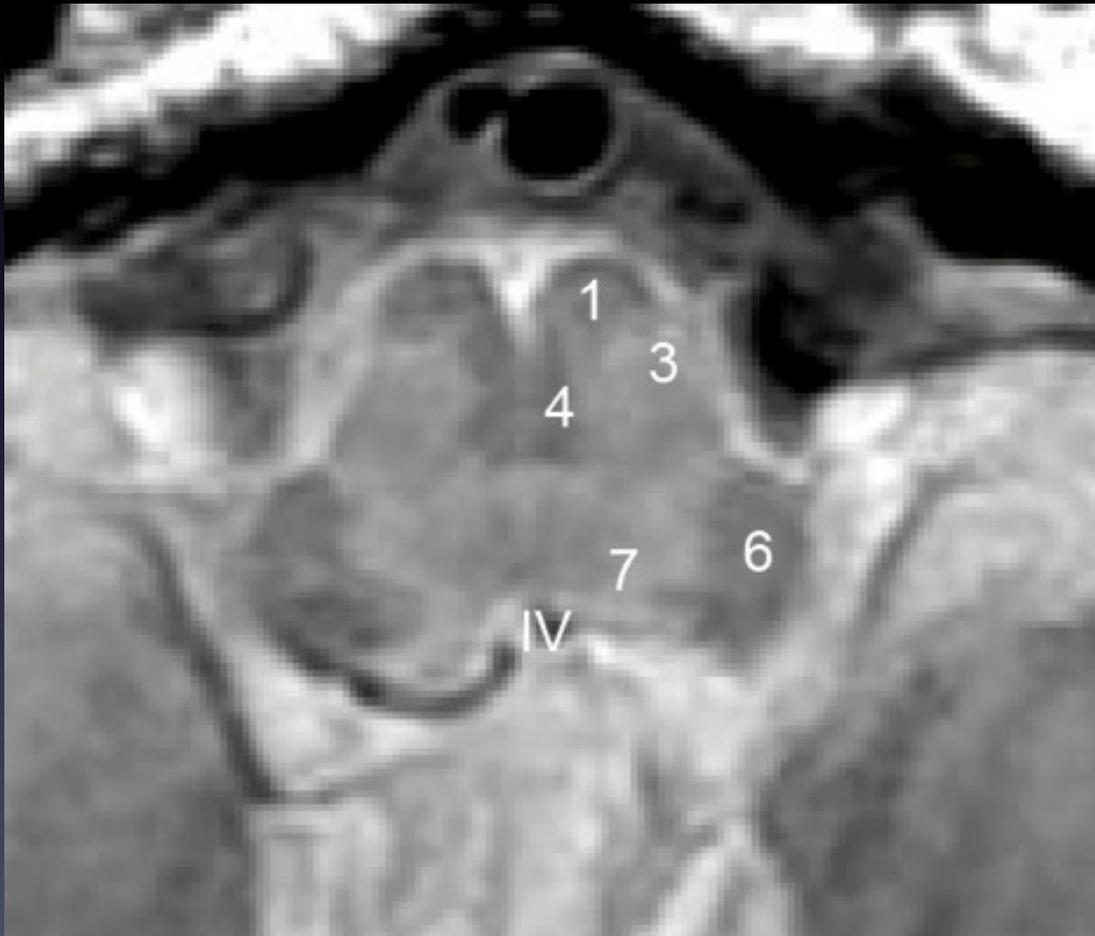
# Mésencéphale



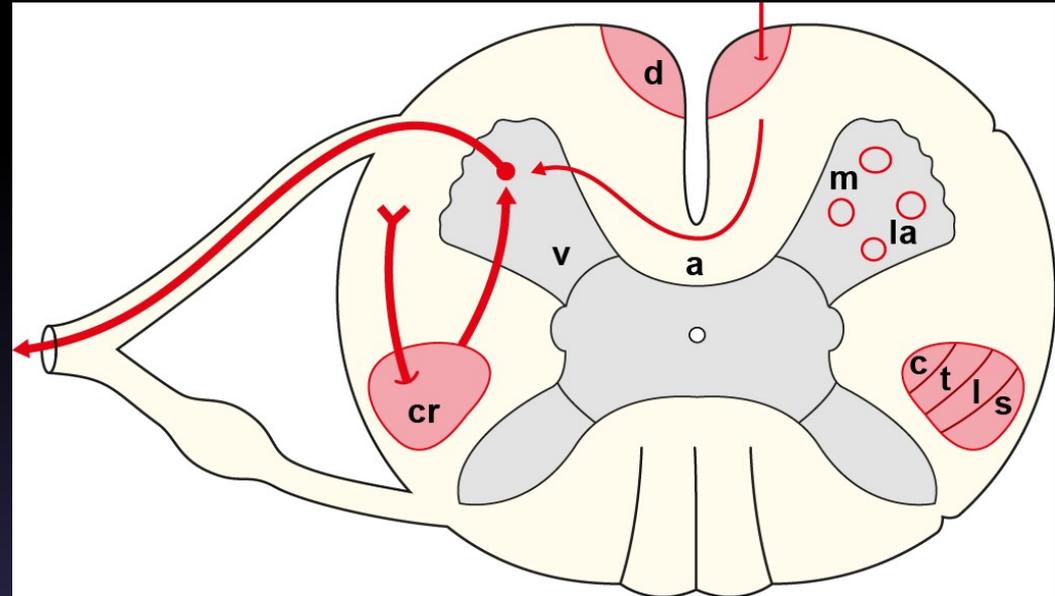
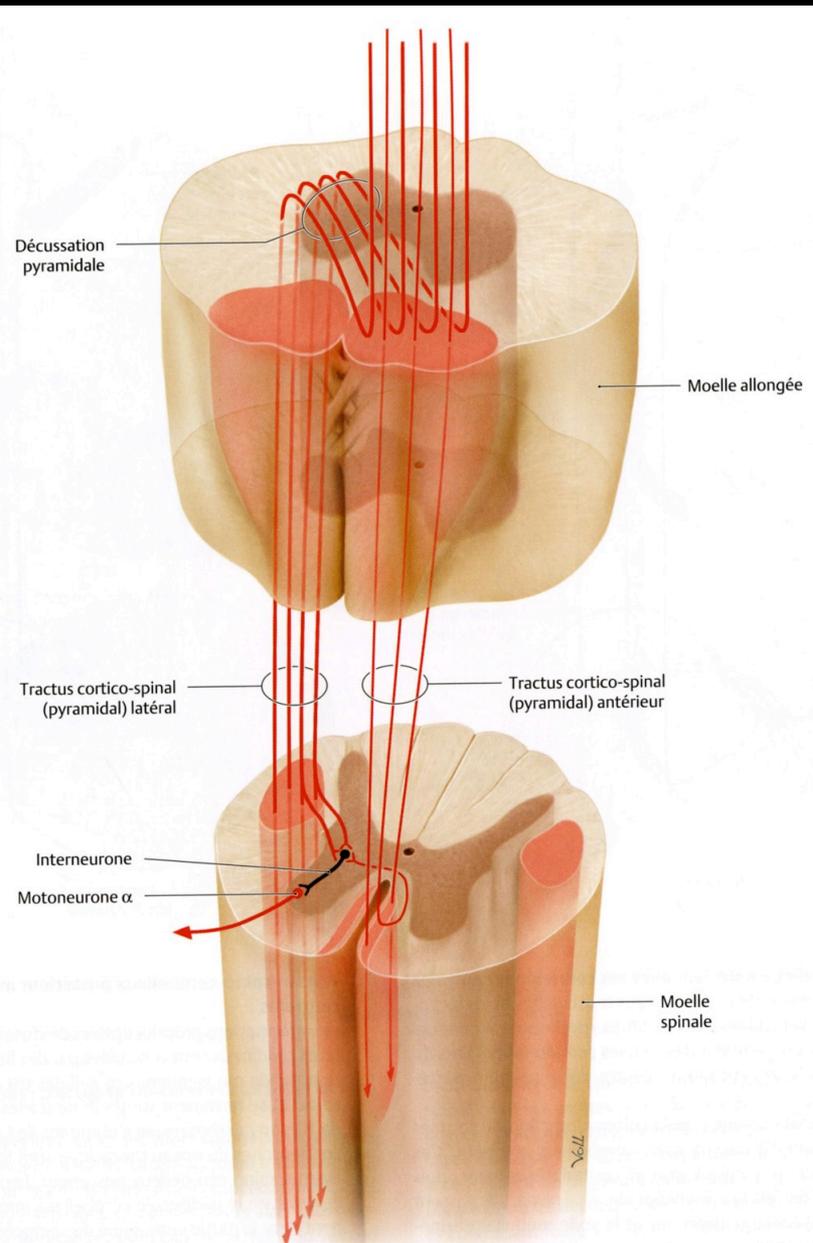
# Pont



# Bulbe (moelle allongée)



# Moelle spinale

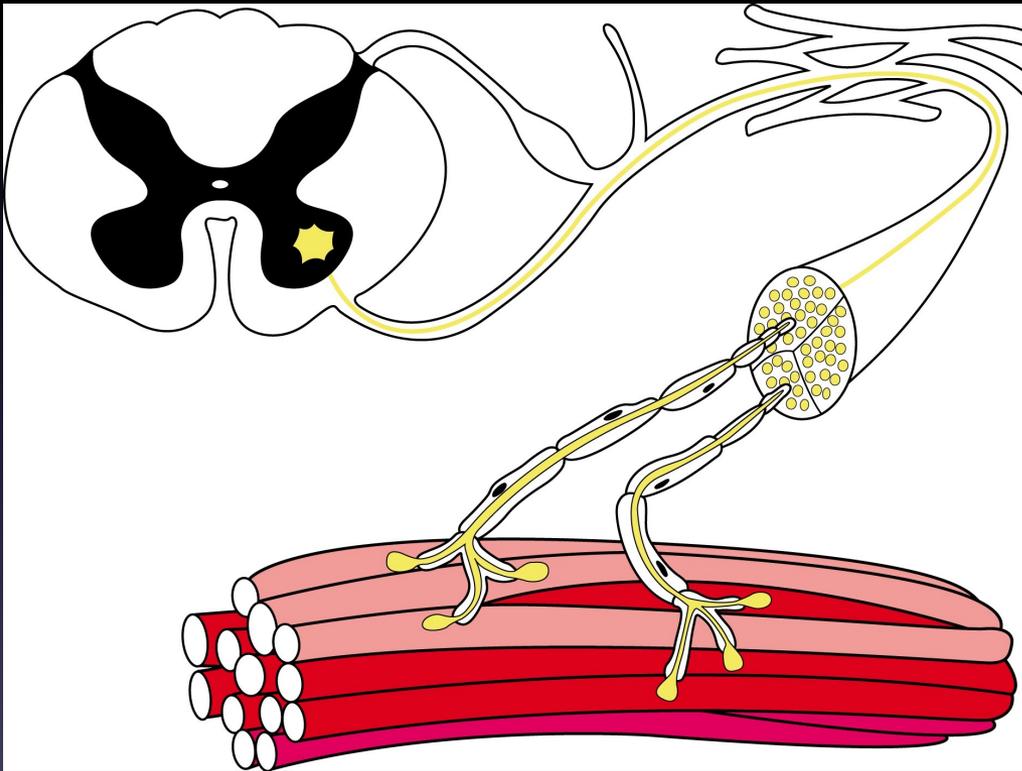


L. Tatu. La lettre du neurologue (2018)

Faisceau cortico-spinal croisé (latéral)

Faisceau cortico-spinal direct (ventral)

# Deuxième neurone moteur



Corne ventrale

Racine ventrale du nerf spinal

Nerf spinal

Branche ventrale du nerf spinal

Plexus (ou nerf intercostal)

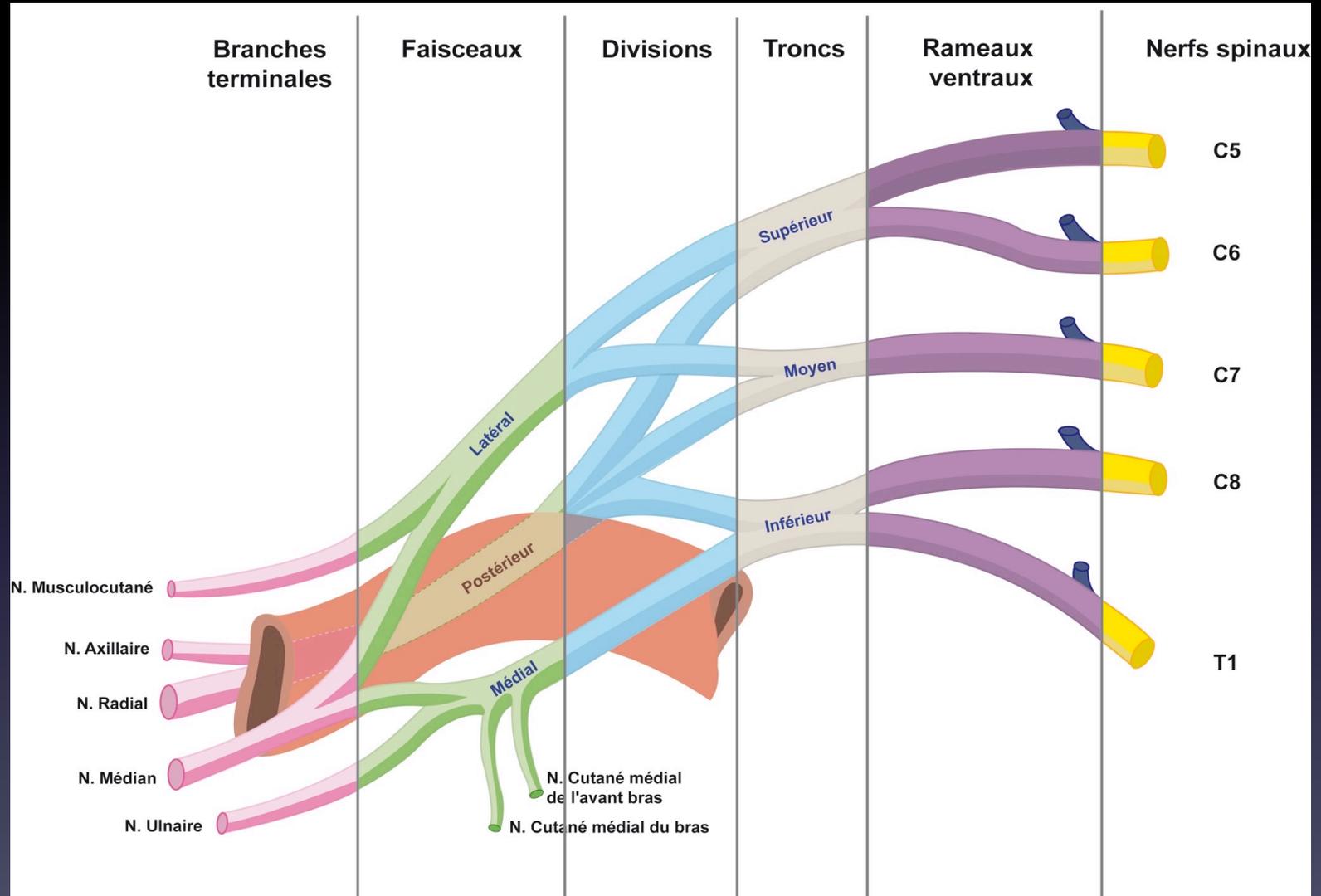
Tronc nerveux

Jonction neuro-musculaire

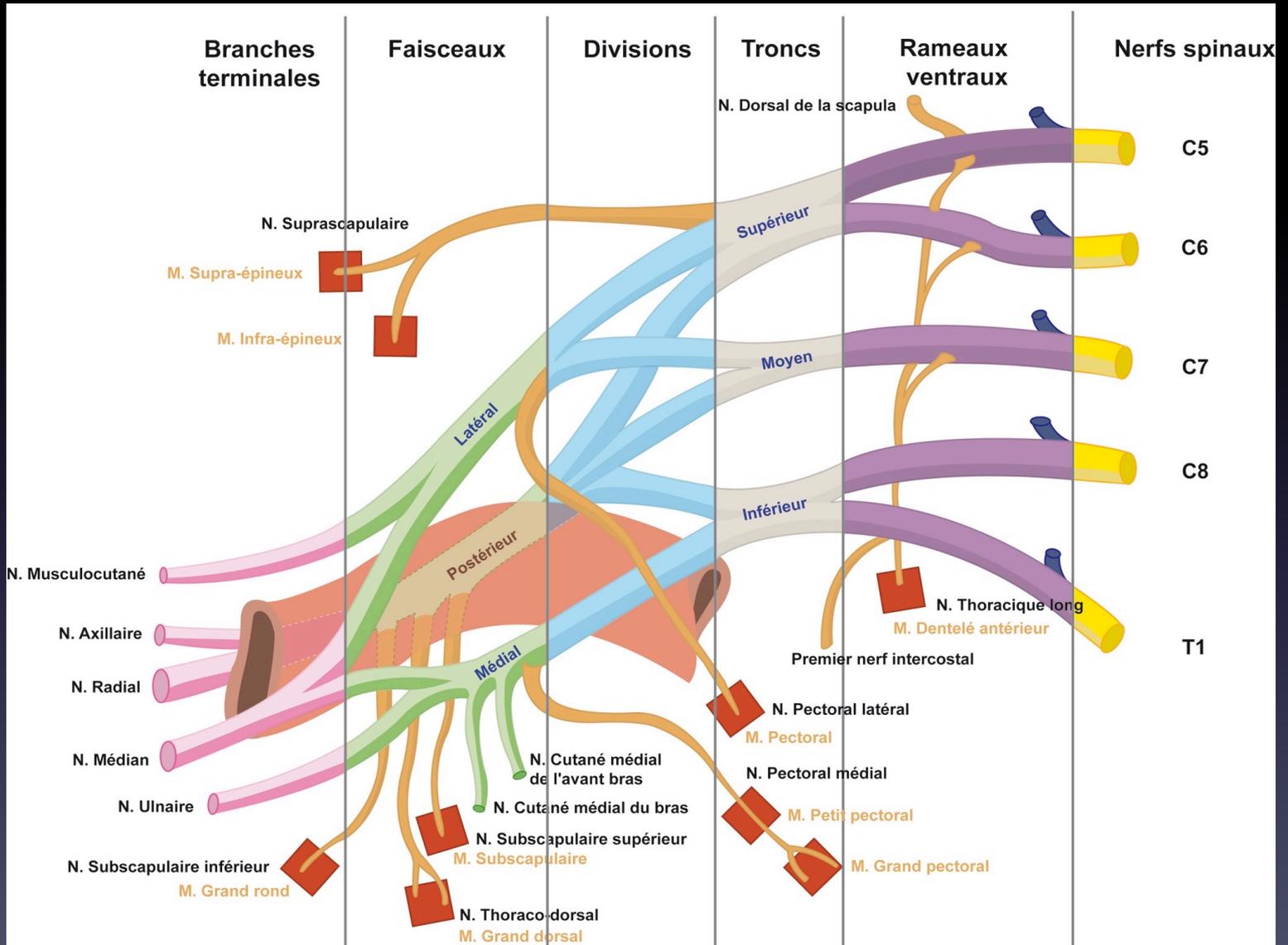
Muscle

Systematisation

# Exemple du plexus brachial

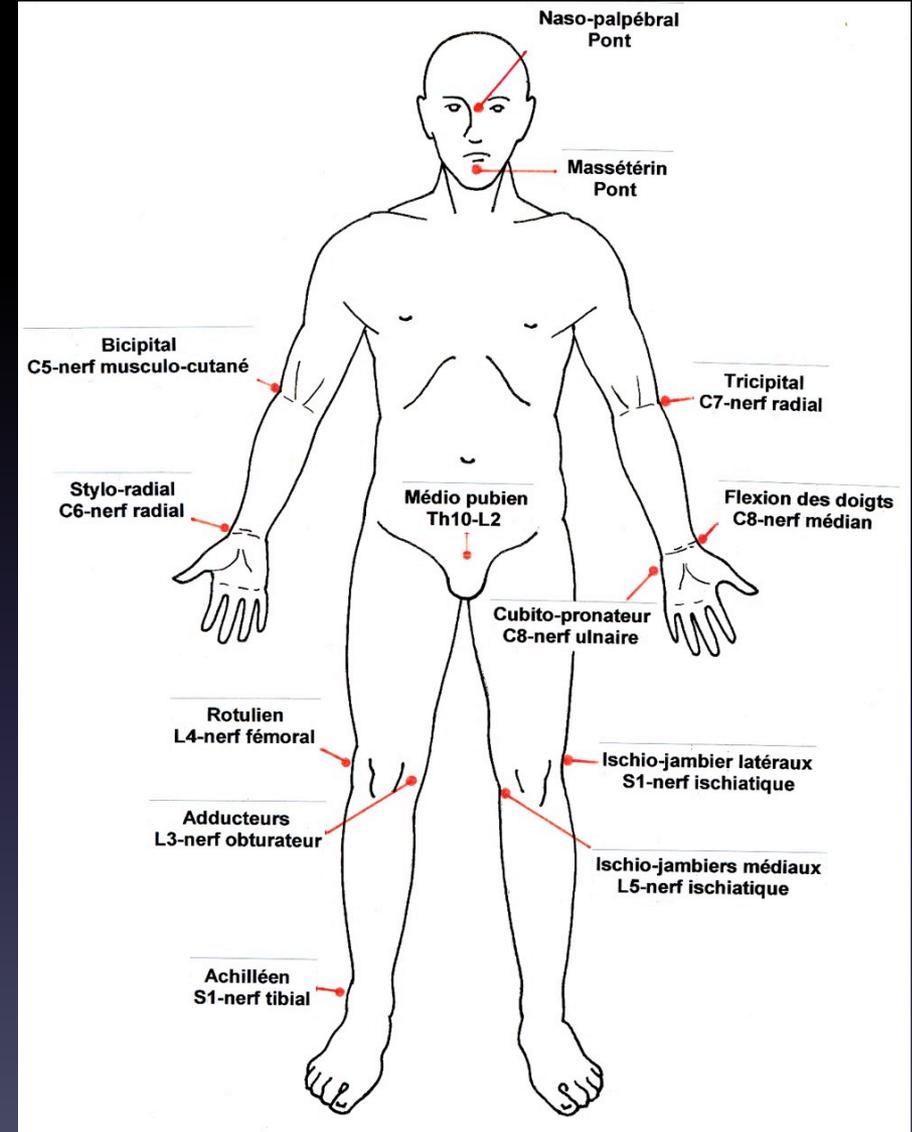


# Exemple du plexus brachial



# Principes de la systématisation périphérique motrice

ANTERIOR PRIMARY RAMY	C4	C5	C6	C7	C8	T1
<b>PROXIMAL NERVES</b>						
rhomboïd major/minor(dorsalscapular)	■	■				
supraspinatus (suprascapular)		■	■			
infraspinatus (suprascapular)		■	■			
dectoïd (axillary)		■	■			
biceps brachii (musculocutaneous )		■	■			
serratus anterior (thoracicus longus)		■	■	■		
<b>RADIAL NERVE</b>						
triceps			■	■		
anconeus				■		
brachioradialis			■	■		
extensor carpi radialis			■	■		
extensor digitorum longus				■	■	
extensor pollicis brevis or longus				■	■	
<b>MEDIAN NERVE</b>						
pronator teres			■	■		
flexor carpi radialis				■		
flexor pollicis longus				■	■	
pronator quadratus				■	■	
adductor pollicis brevis					■	■
<b>ULNAR NERVE</b>						
flexor carpi ulnaris				■	■	
flexor digitorum profundus (med)				■	■	
abductor digiti minimi					■	■
abductor pollicis					■	■
first dorsal interosseous					■	■
<b>POSTERIOR PRIMARY RAMI</b>						
cervical paraspinals		■	■	■	■	■
high thoracic paraspinals			■	■	■	■



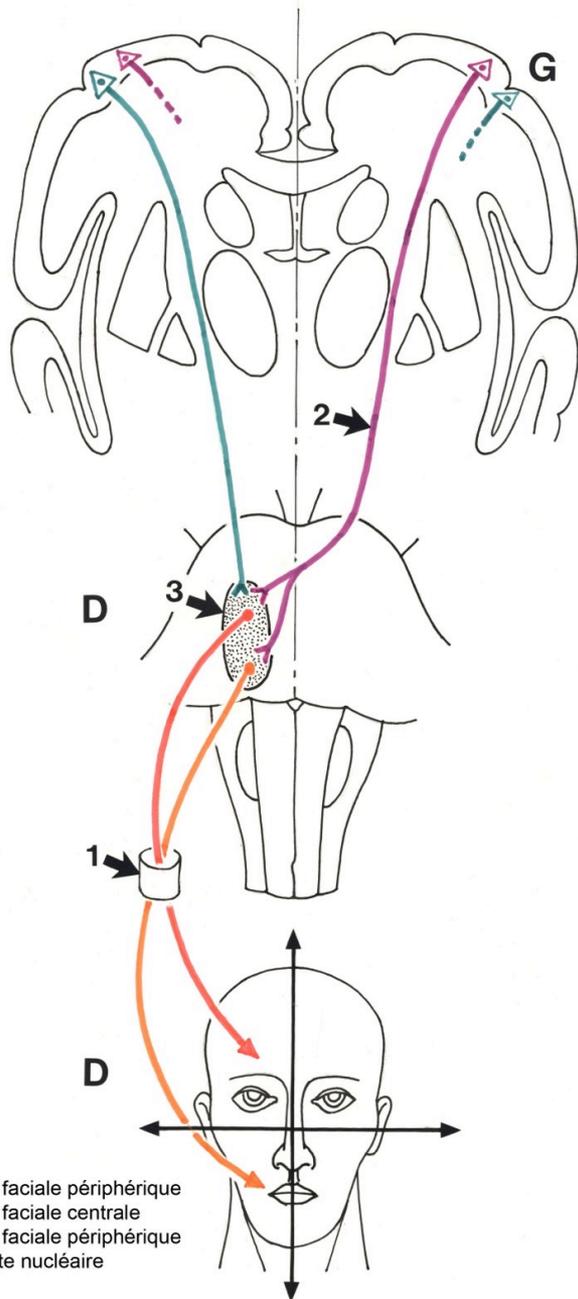
Innervation radiculaire dominante

Niveaux radiculaire et tronculaire des ROT

# Particularités du nerf facial

Complexe nucléaire à deux étages

Projections bilatérales  
du faisceau cortico-nucléaire



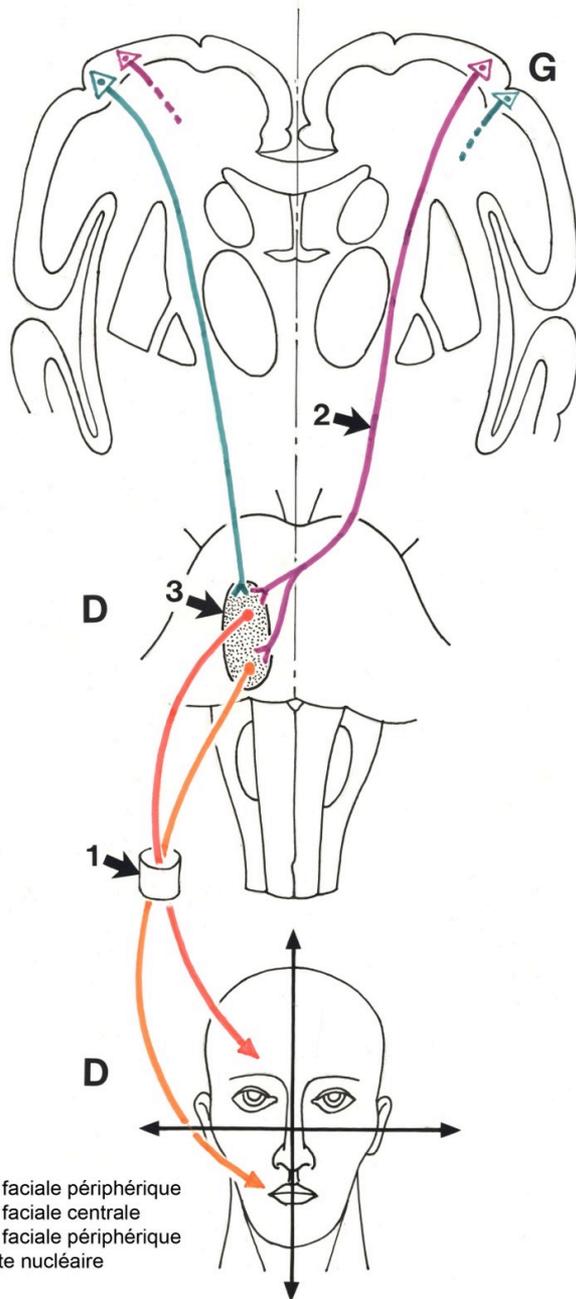
- 1 : Paralysie faciale périphérique
- 2 : Paralysie faciale centrale
- 3 : Paralysie faciale périphérique par atteinte nucléaire

# Particularités du nerf facial

Complexe nucléaire à deux étages

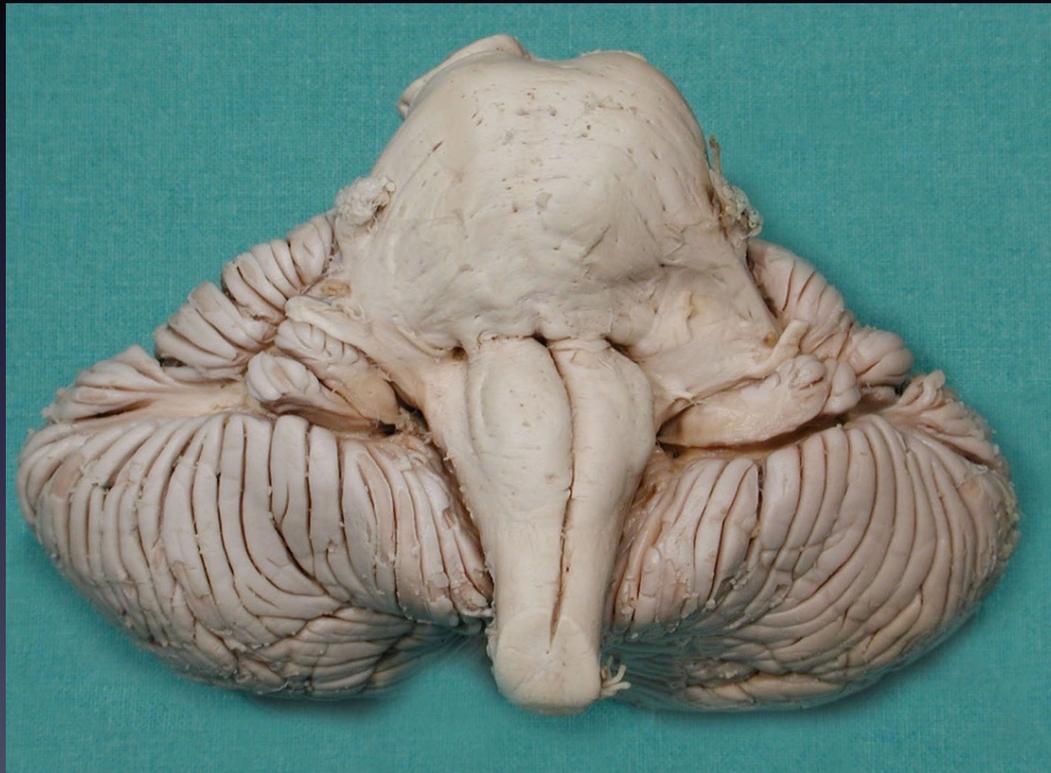
Projections bilatérales  
du faisceau cortico-nucléaire

Paralysie faciale centrale :  
Atteinte du territoire facial inférieur  
Dissociation automatico-volontaire



- 1 : Paralysie faciale périphérique
- 2 : Paralysie faciale centrale
- 3 : Paralysie faciale périphérique par atteinte nucléaire

# Rôle du cervelet dans la motricité



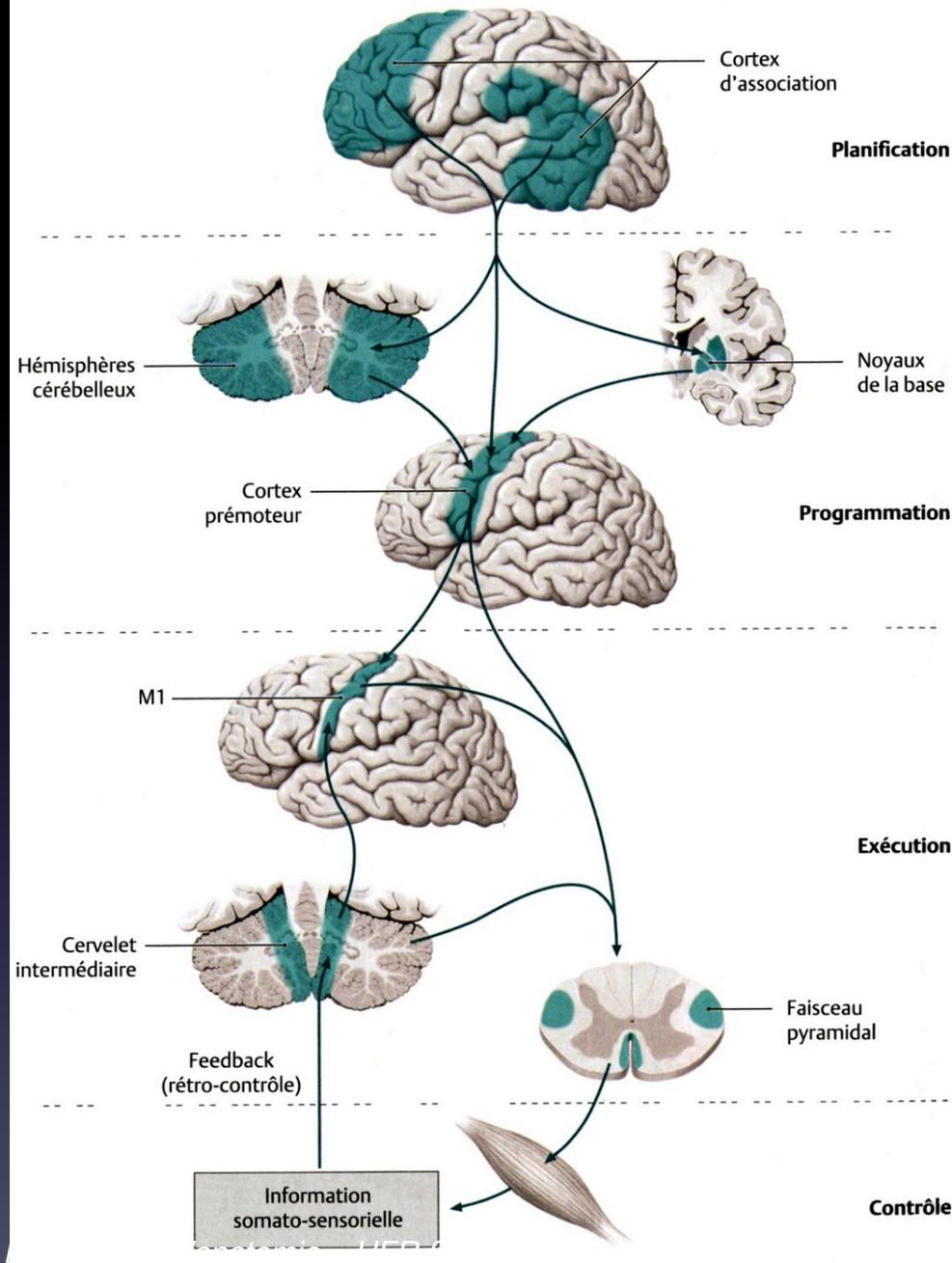
# Rôle du cervelet

**Programmation :**  
Cervelet latéral

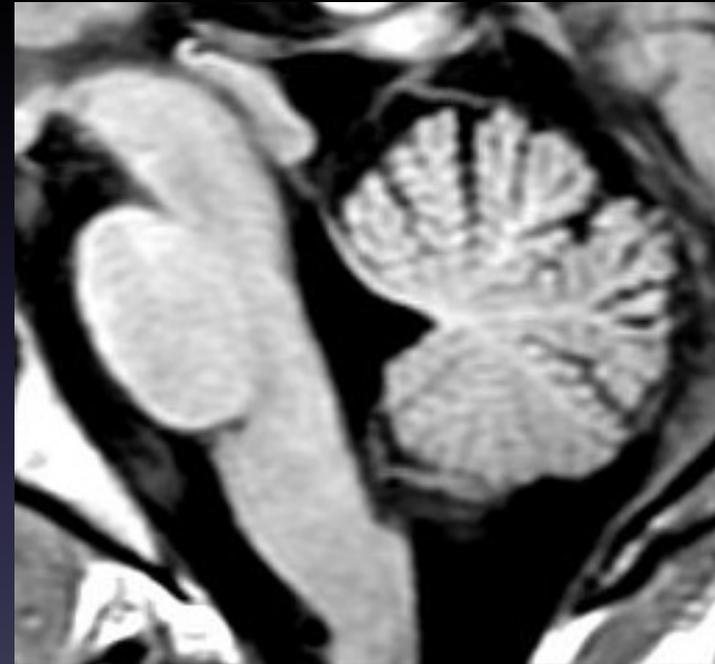
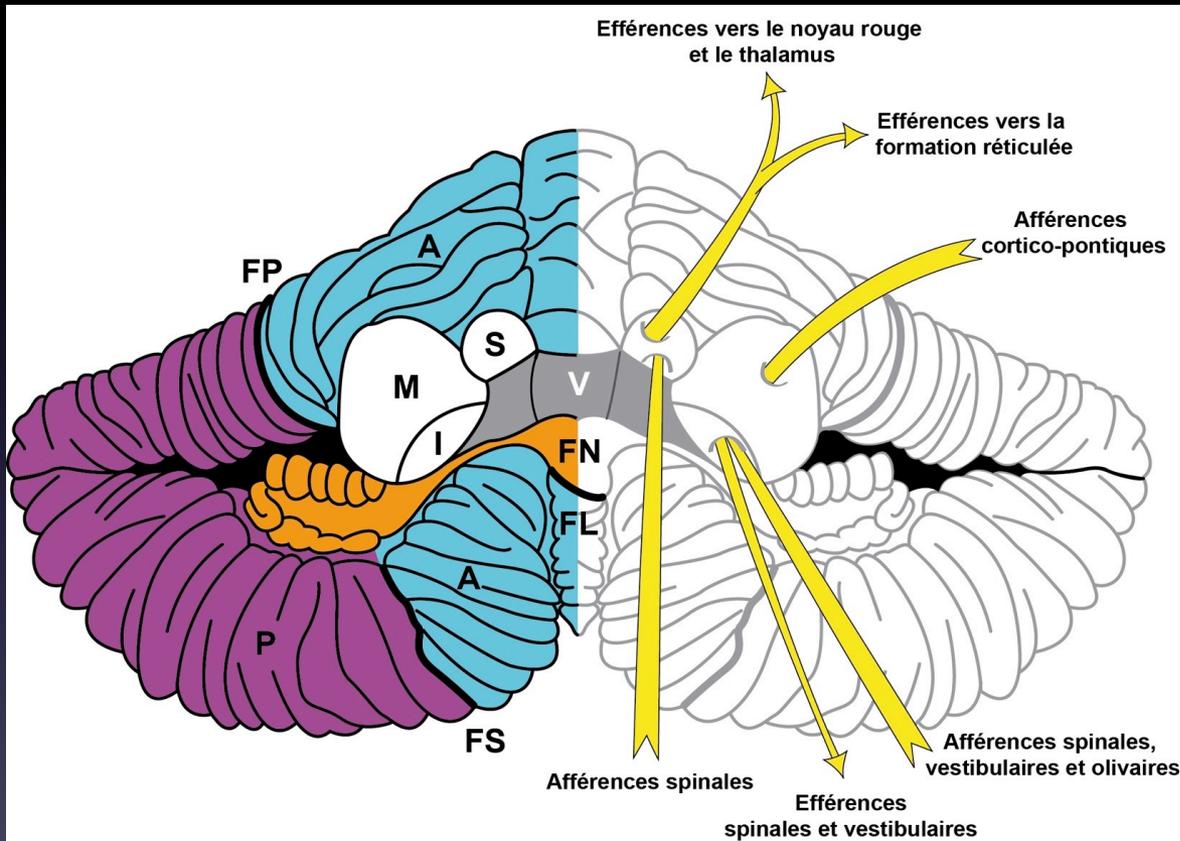
**Exécution :**

Cervelet intermédiaire  
Contrôle du mouvement en cours

**Apprentissage des mouvements**



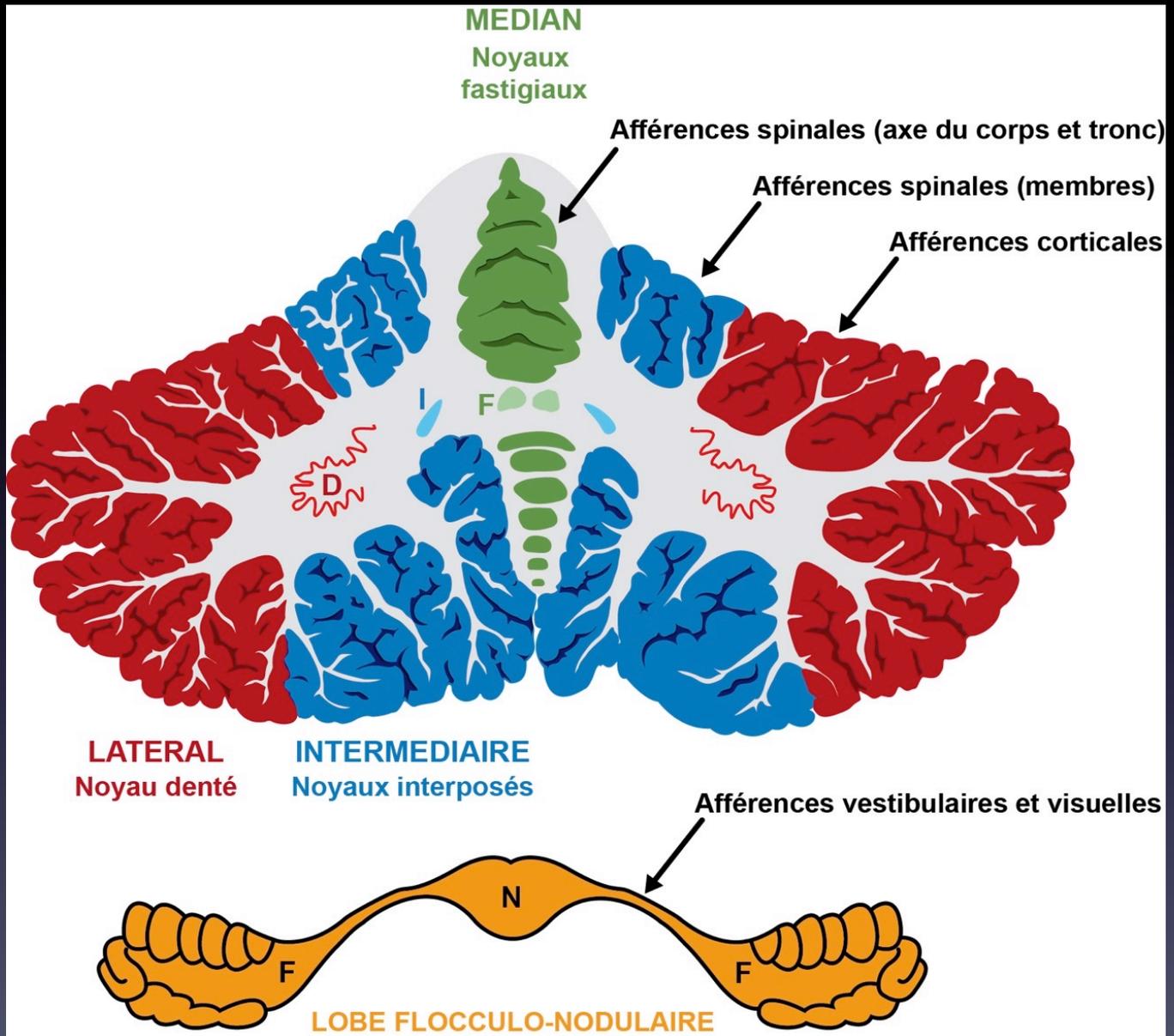
# Organisation du cervelet



L. Tatu. La lettre du neurologue (2009)

Pédoncules cérébelleux

# Division fonctionnelle du cervelet



# Cervelet intermédiaire

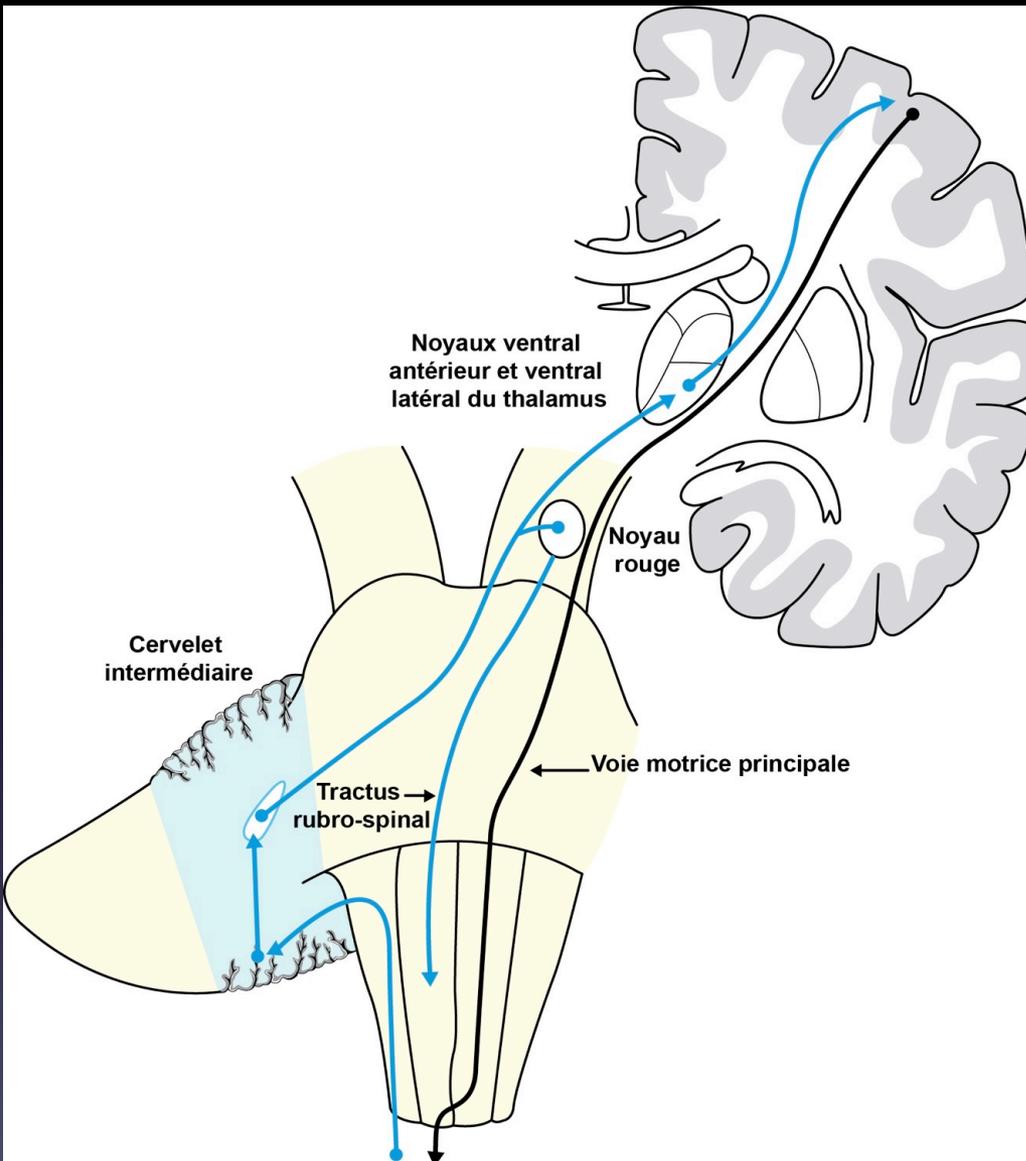
Informations par les faisceaux spino-cérébelleux

Relais dans le cervelet intermédiaire (cortex et noyaux interposés)

Voie cérébello-rubro-thalamo-corticale

Action sur la voie motrice

Syndromes cérébelleux le plus souvent extra-cérébelleux



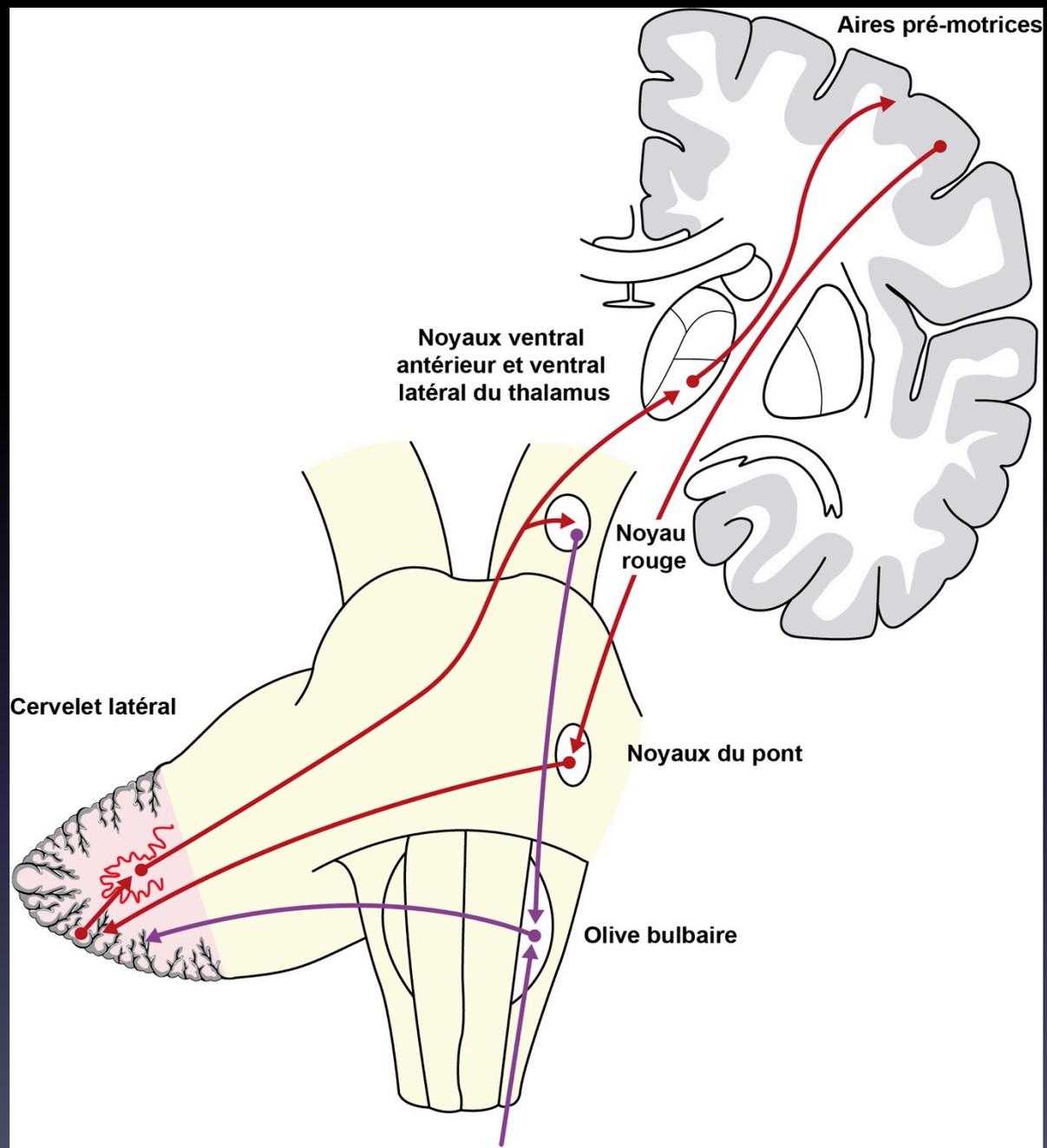
# Cervelet latéral

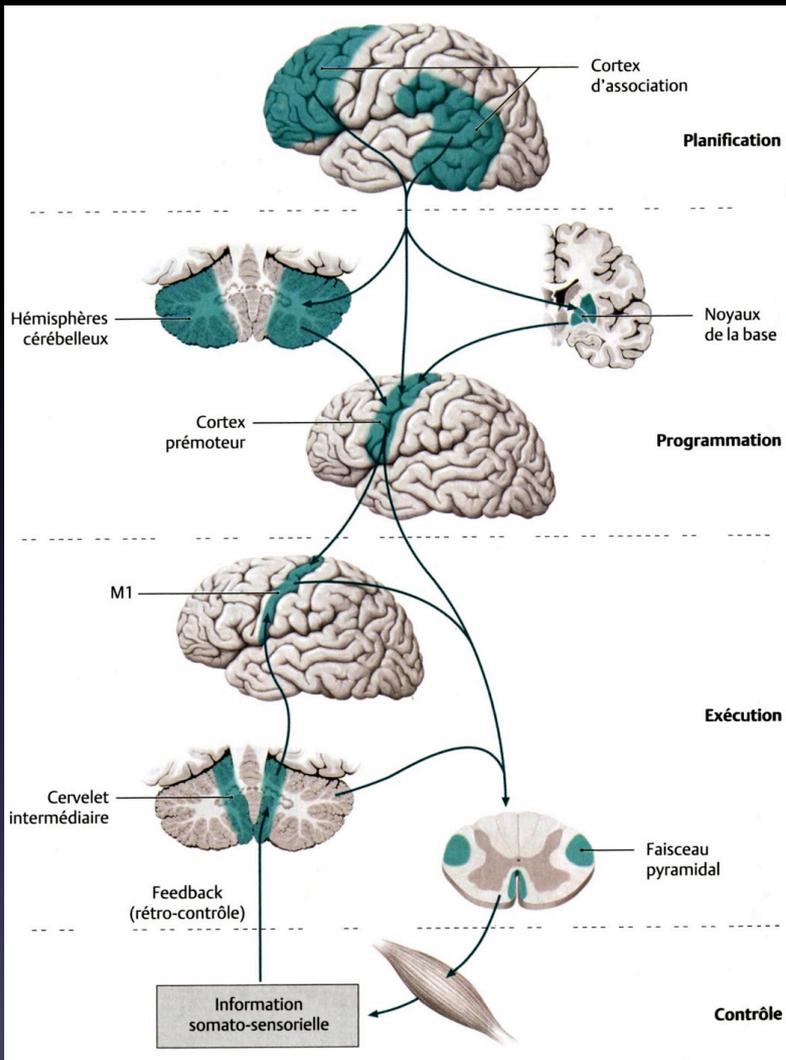
Pas d'informations  
périphériques

Dialogue  
cervelet – cerveau

"Double" du  
programme moteur

Apprentissage  
Olive bulbaire





## Rôle des ganglions de la base

Planification du mouvement volontaire

Gestion des mouvements automatiques

# Ganglions de la base : définitions

**Noyaux de la base** : Noyaux lentiforme et caudé

**Noyaux gris centraux** : Noyaux de la base et thalamus

**Ganglions de la base** :

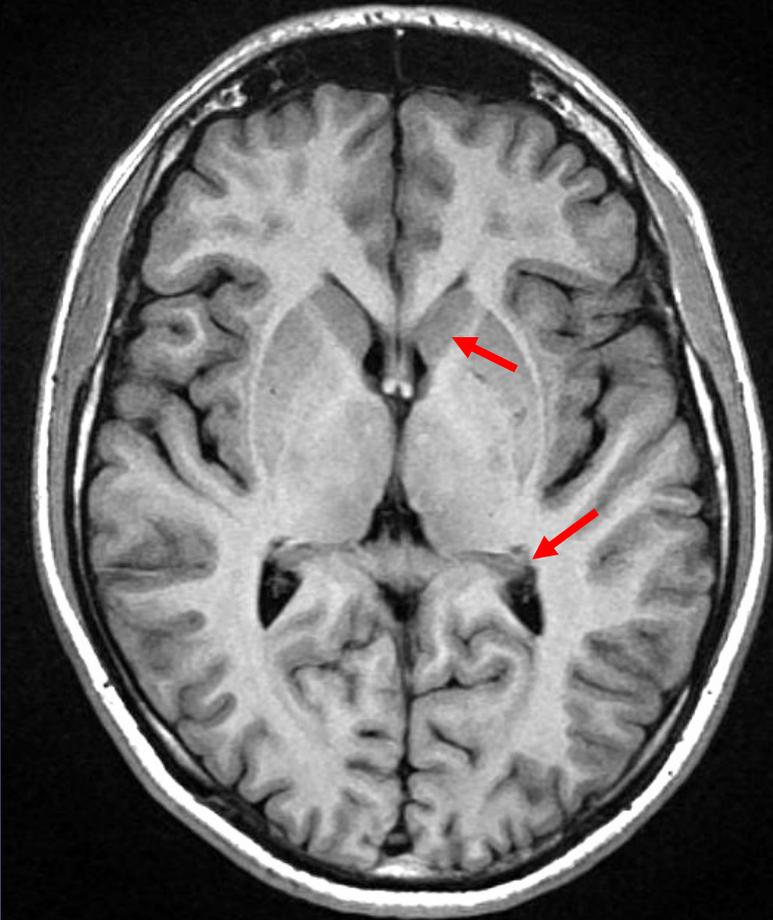
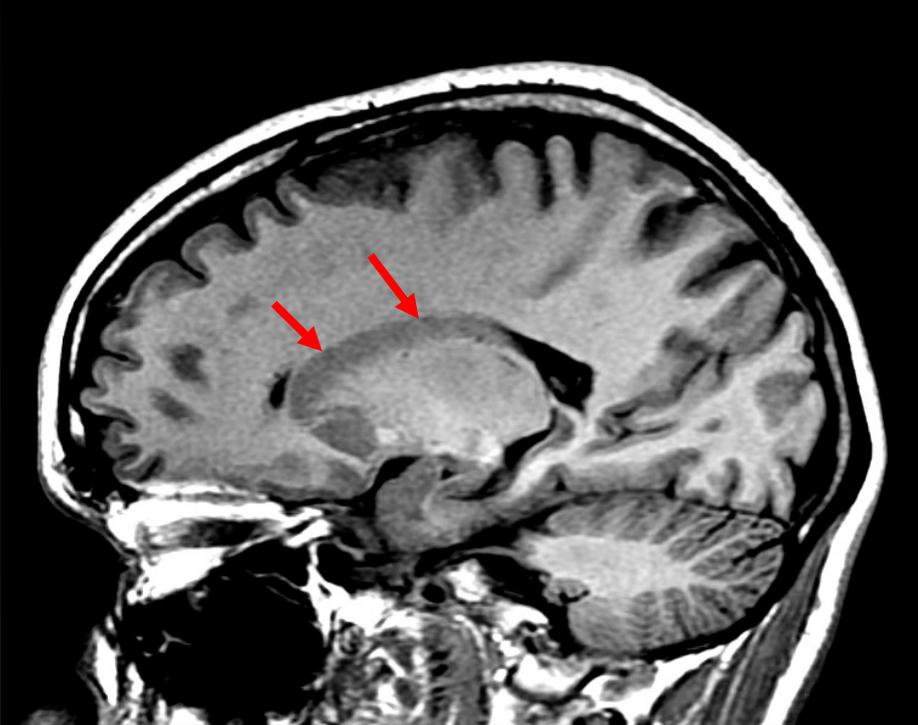
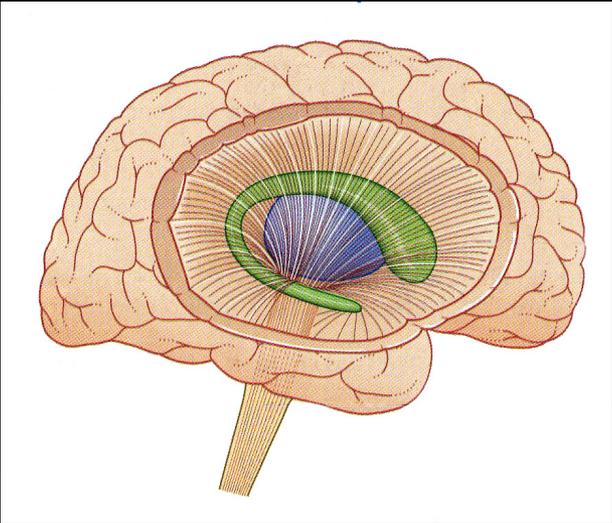
- Noyau lentiforme (putamen et globus pallidus)

- Noyau caudé

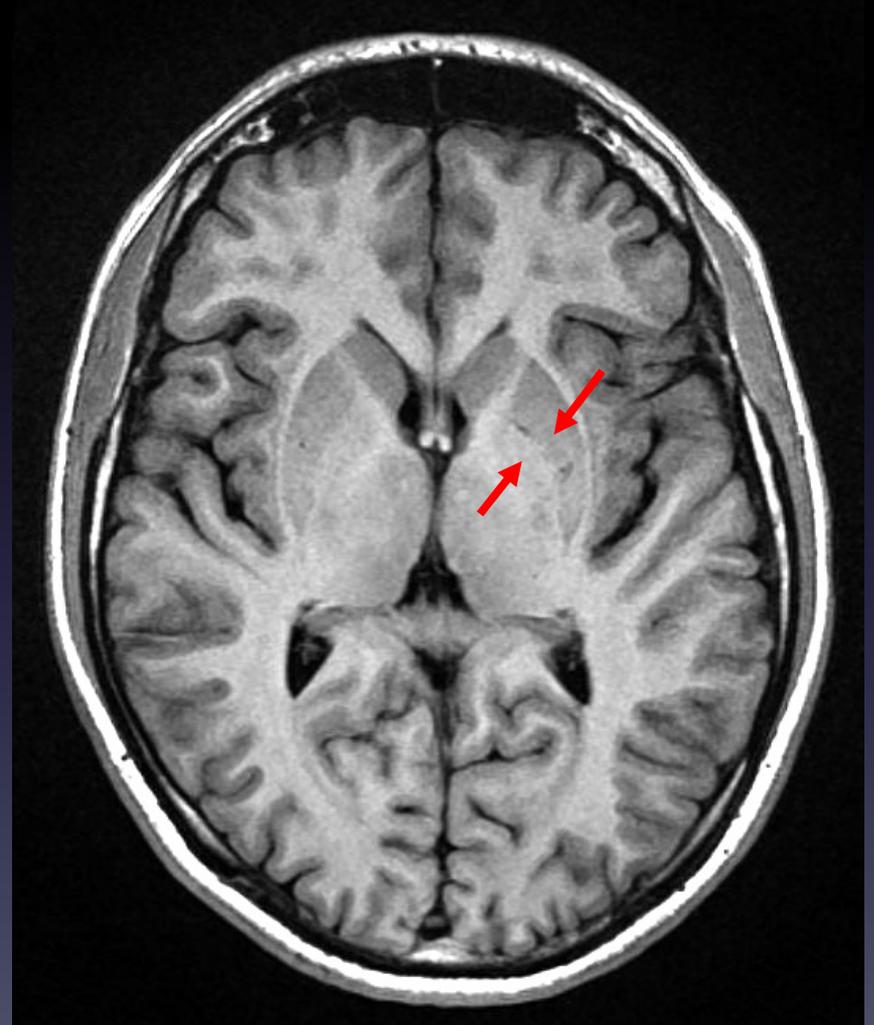
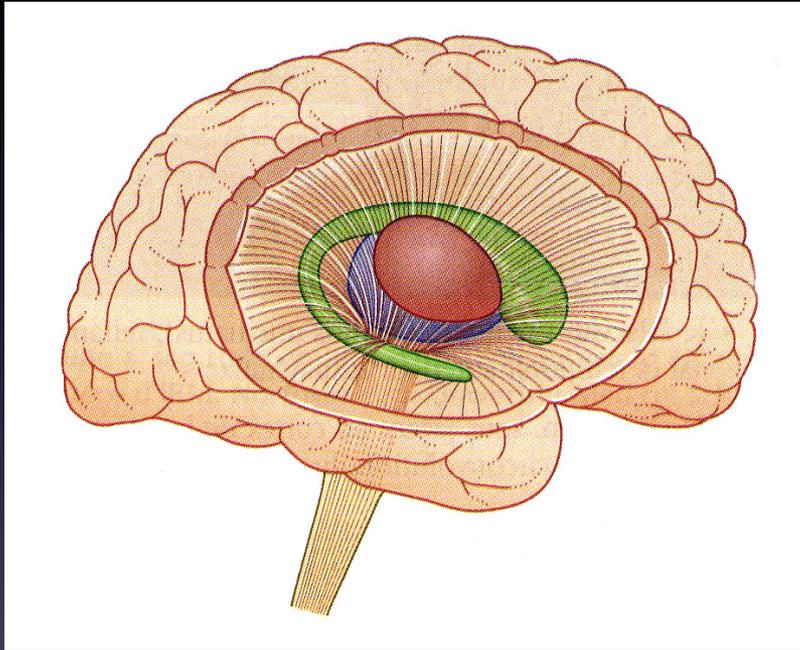
- Substance noire mésencéphalique

- Noyau sub-thalamique

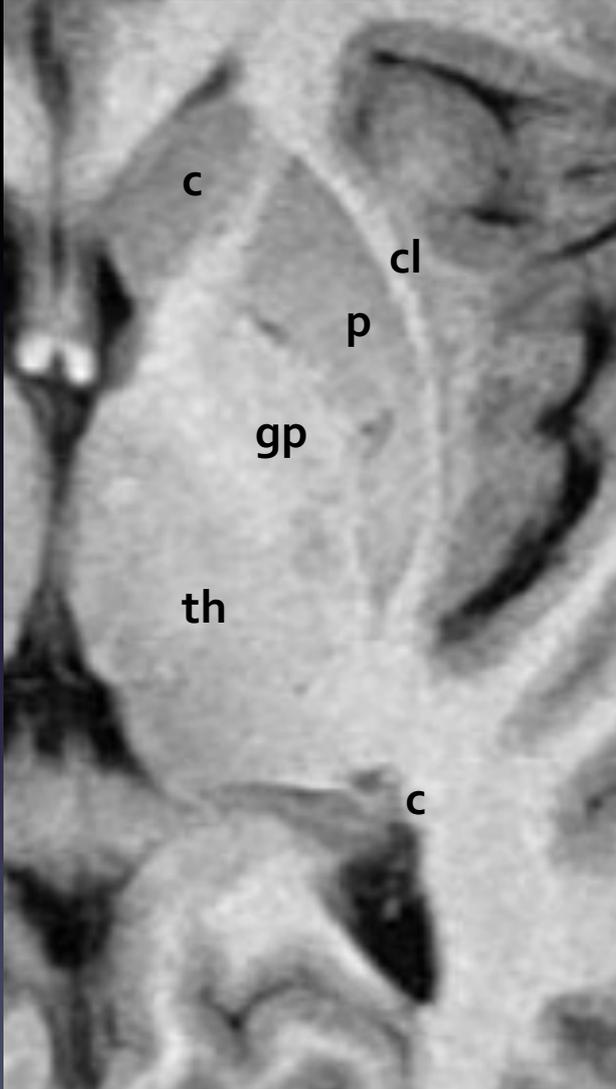
# Noyau caudé



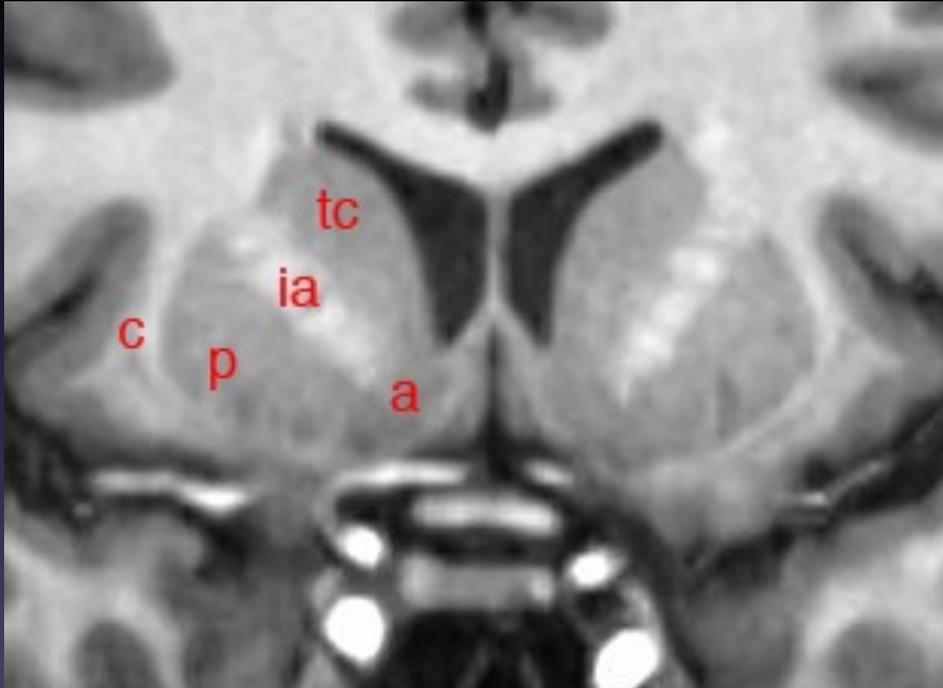
# Noyau lentiforme : Putamen - Globus pallidus



# Noyau lentiforme



# Ponts putamino-caudés - Nucleus accumbens



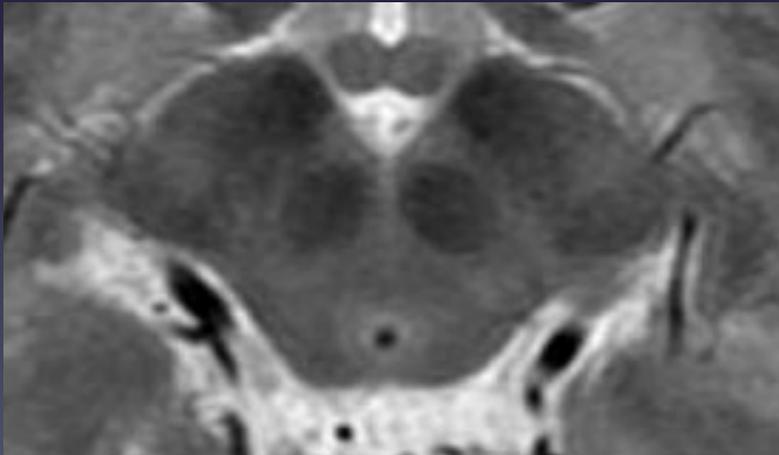
# Substance noire :

Pars compacta

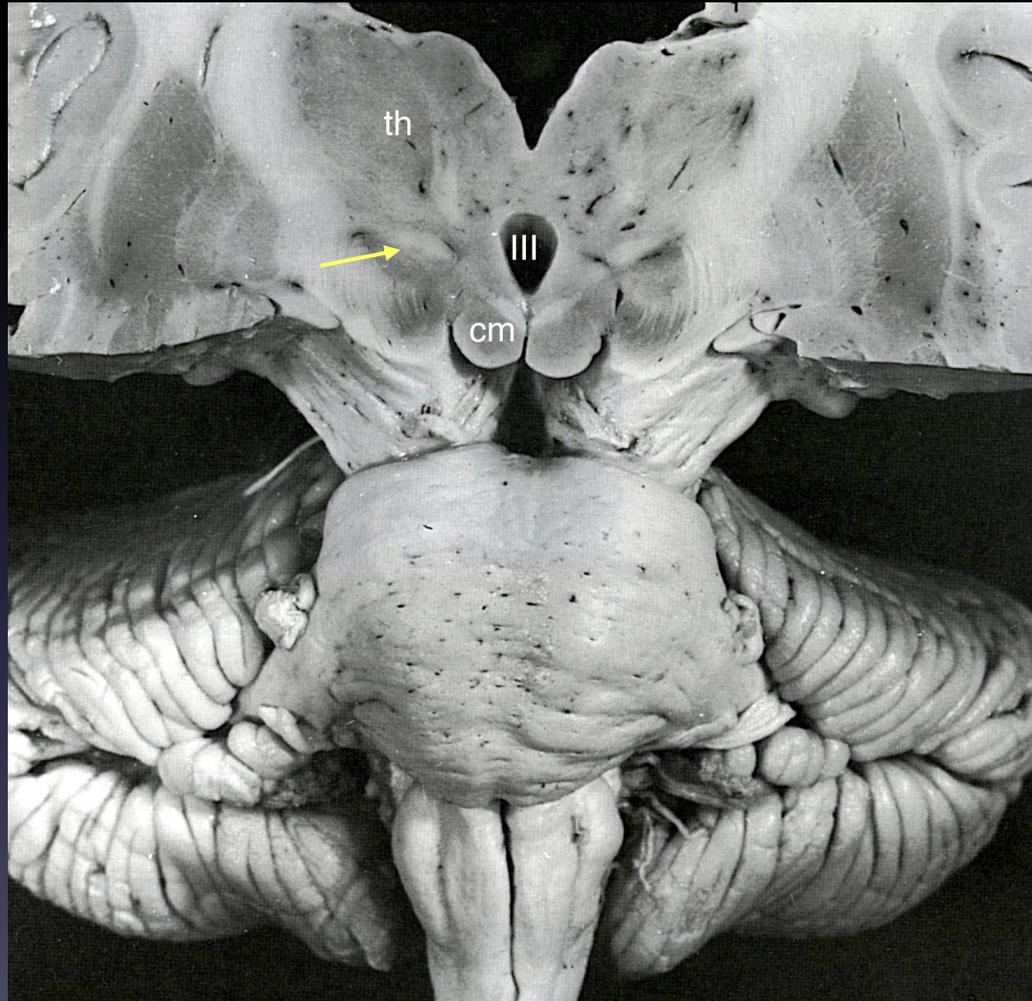
Pars reticulata



*Duvernoy et al.*



# Noyau sub-thalamique



Duvernoy 1999

# Fonctions des ganglions de la base

## Fonctions motrices

Planification du mouvement

Régulation spatiale du mouvement

Gestion des mouvements automatiques

Mémorisation des séquences motrices

## Processus cognitifs, émotionnels, motivationnels

Boucles fonctionnelles

# Organisation fonctionnelle

## Structures d'entrée :

Afférences corticales

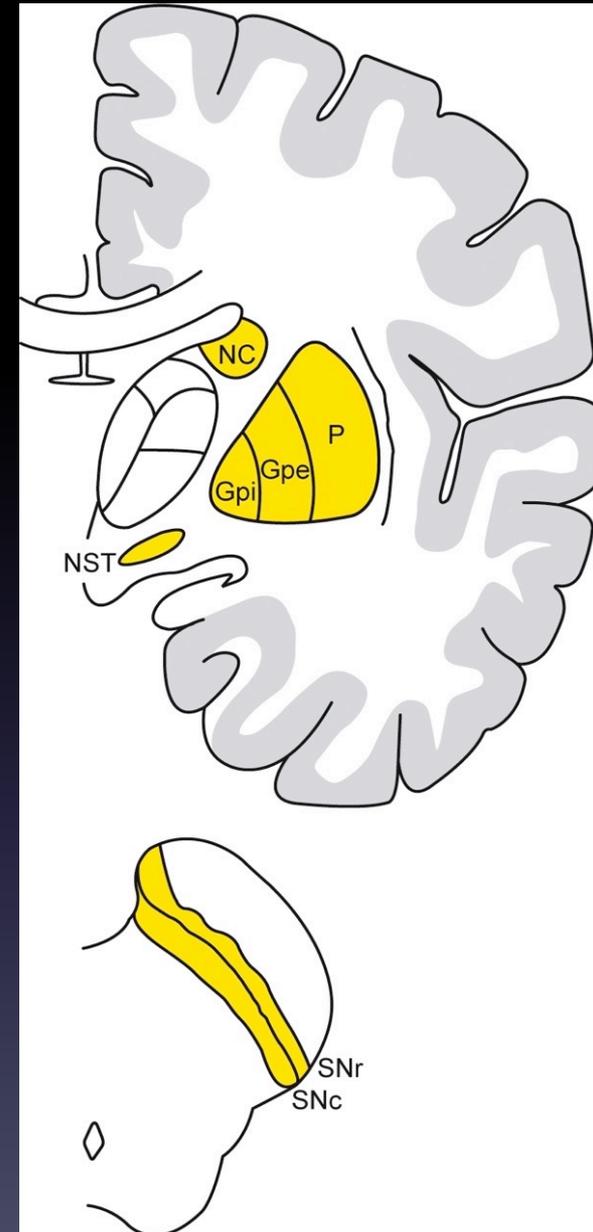
## Structures intrinsèques

## Structures de sortie :

Afférences thalamo-corticales

Afférences spinales et tronc cérébral

## Régulation par le système dopaminergique



Alexander (1986), Albin, Young, Penney (1989) DeLong (1990)

Tatu et al. (2013)

# Structures d'entrée

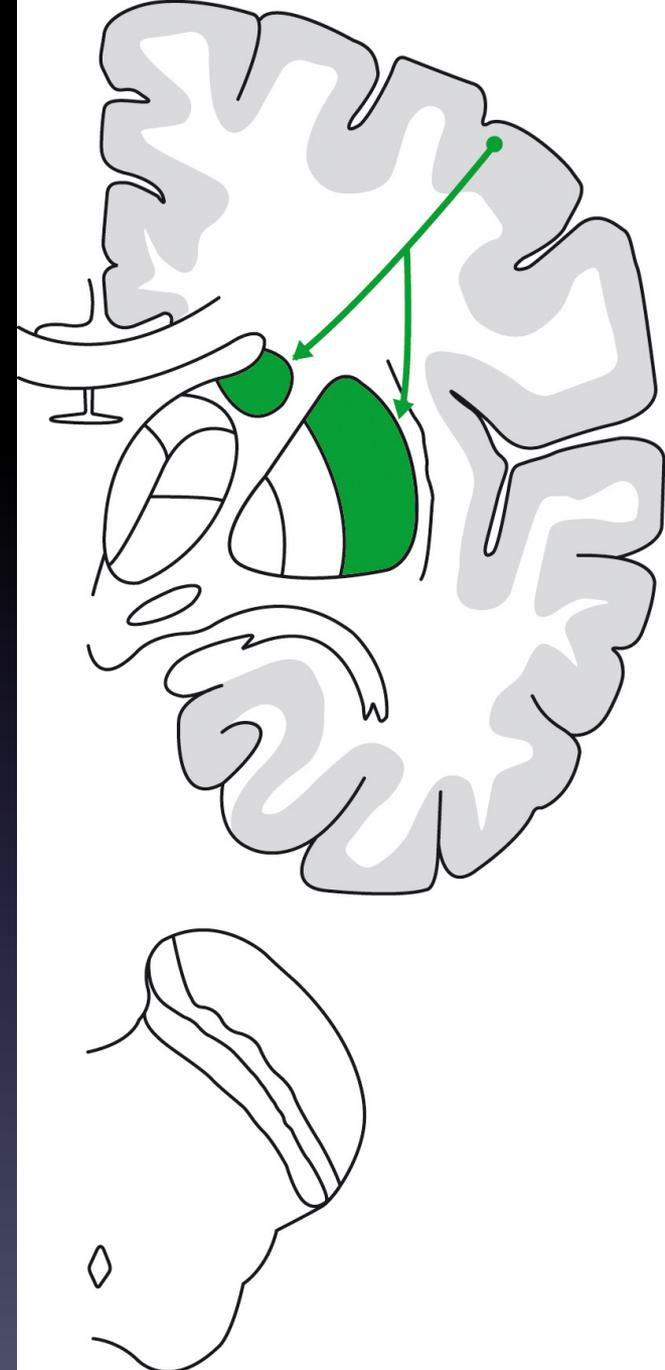
Striatum

Putamen

Noyau caudé

Afférences :

Cortex cérébral



# Structures de sortie

Globus pallidus interne (Gpi)

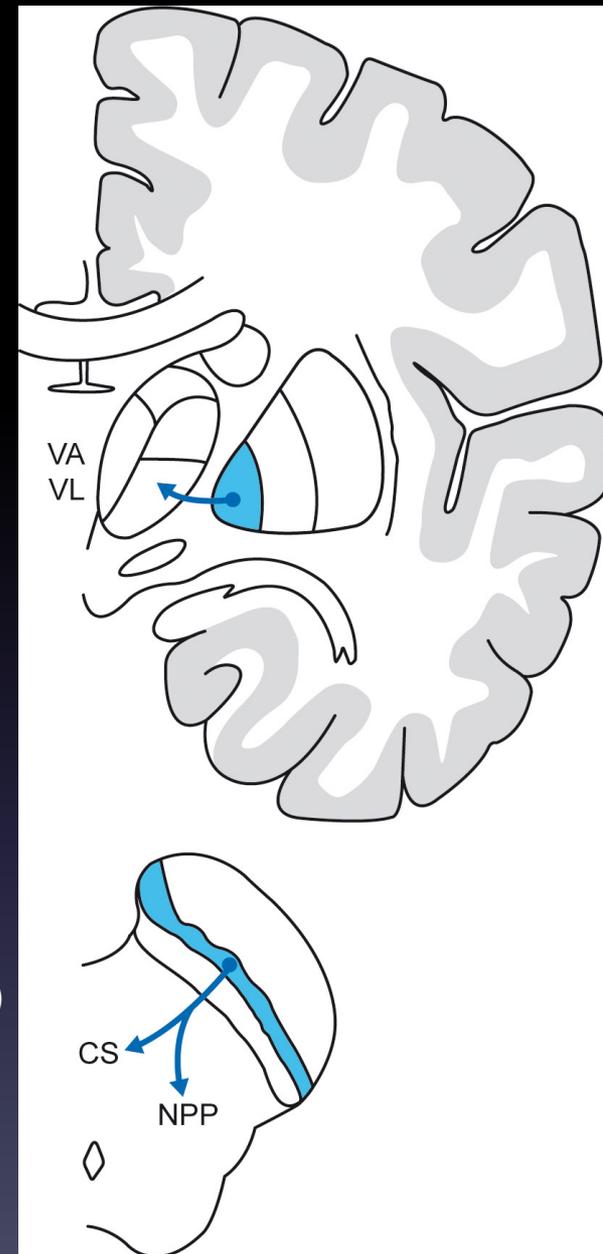
Substance noire pars reticulata (SNr)

## Efférences :

Noyaux thalamiques VA - VL

Tronc cérébral (Colliculus supérieur/ Noyau pedunculo-pontin)

Moelle spinale (Centre de marche)

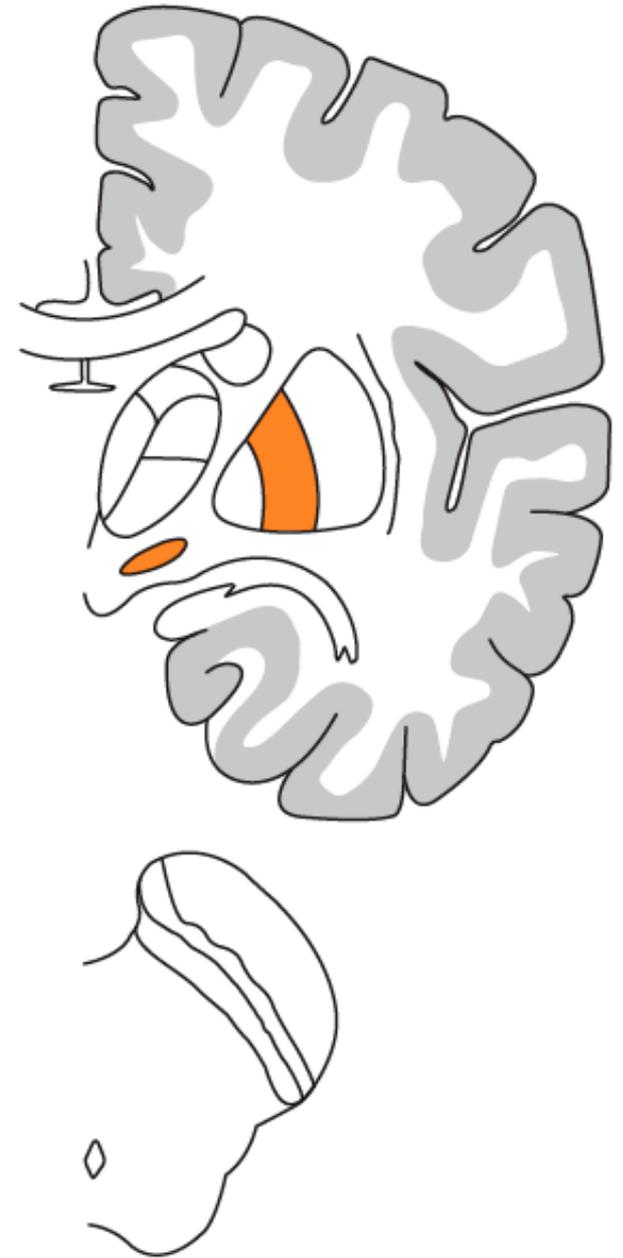


# Structures intrinsèques

Globus pallidus externe (Gpe)

Noyau sub-thalamique (NST)

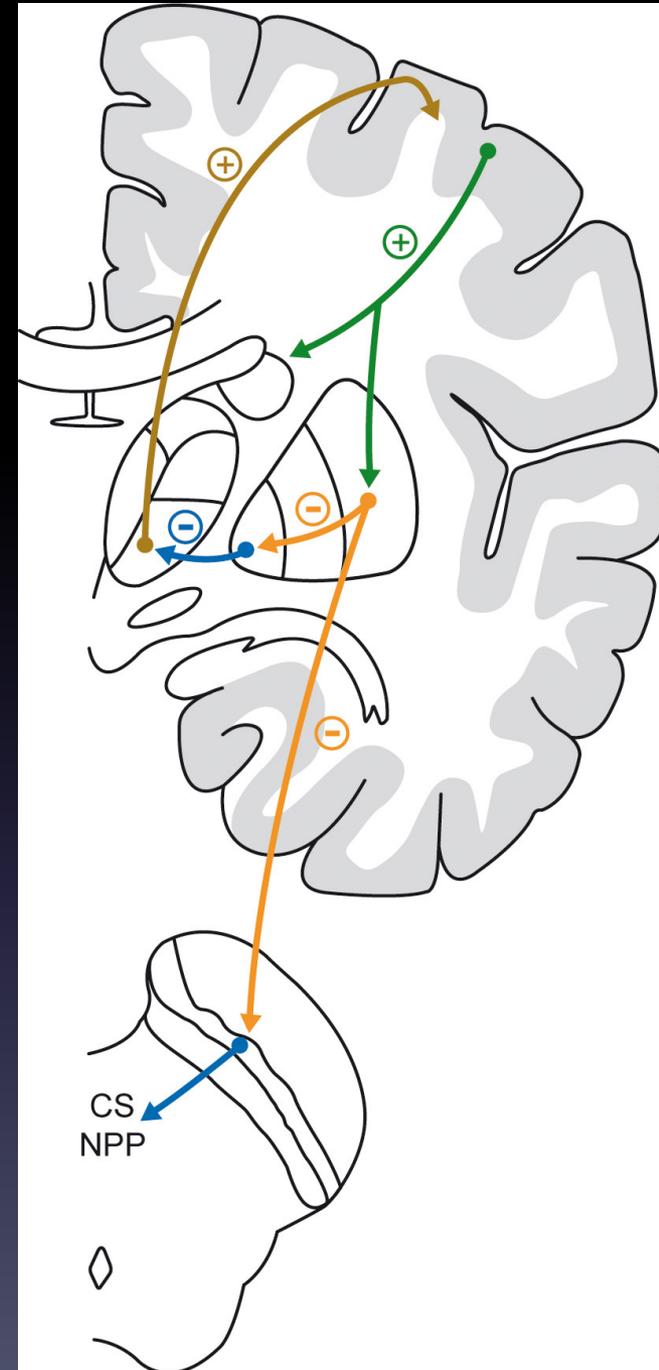
Voies directe et indirecte



# Voie directe

Production de mouvements

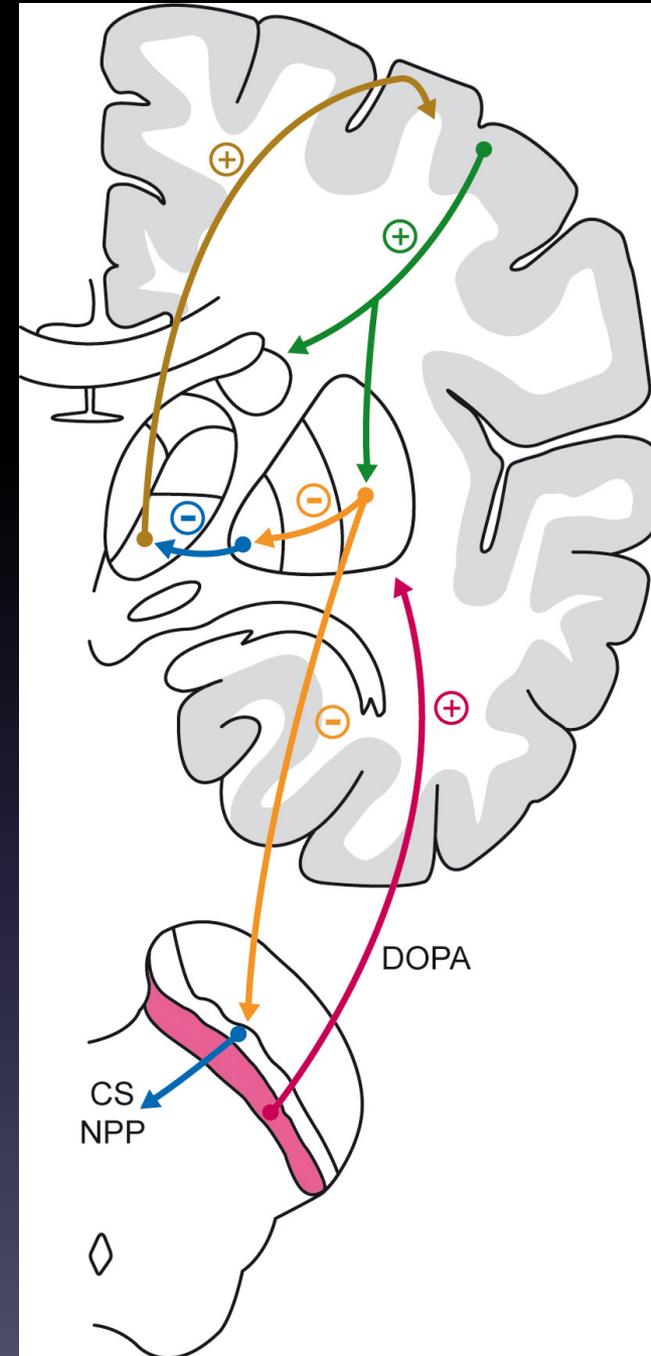
+ glutamate  
- gaba



# Voie directe

Action stimulante de la dopamine

Récepteurs D1

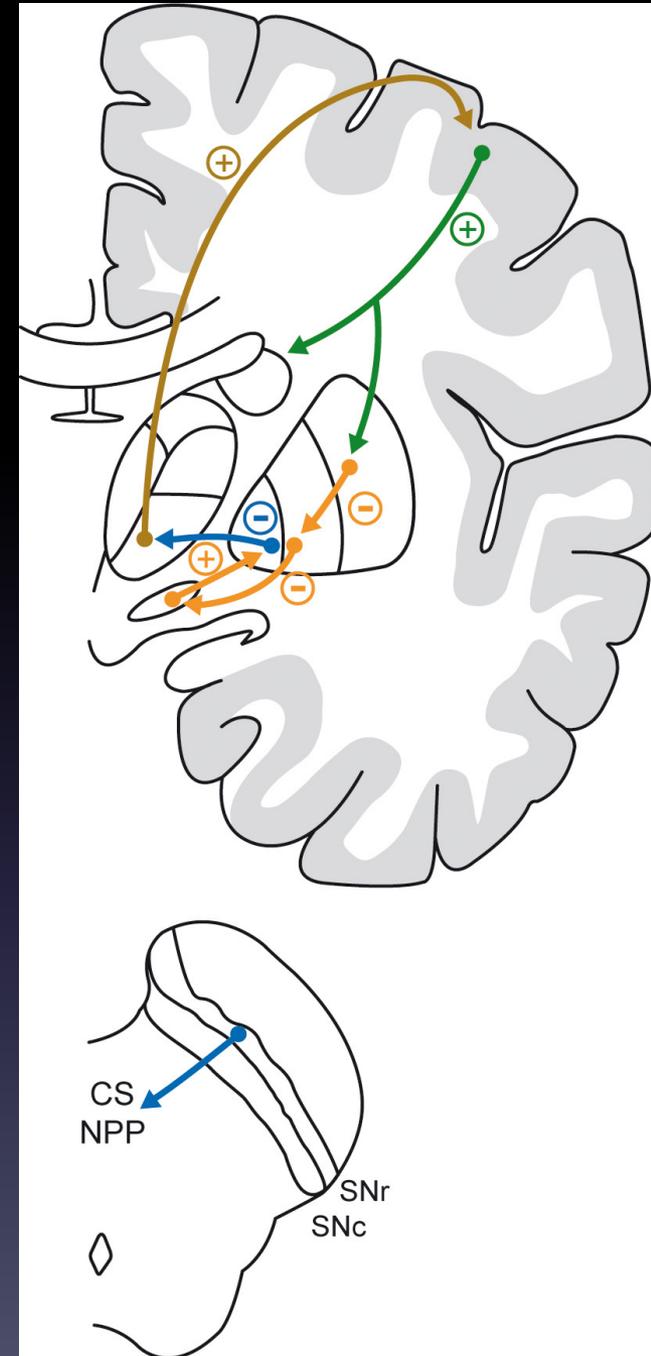


# Voie indirecte

Inhibe le mouvement

+ glutamate

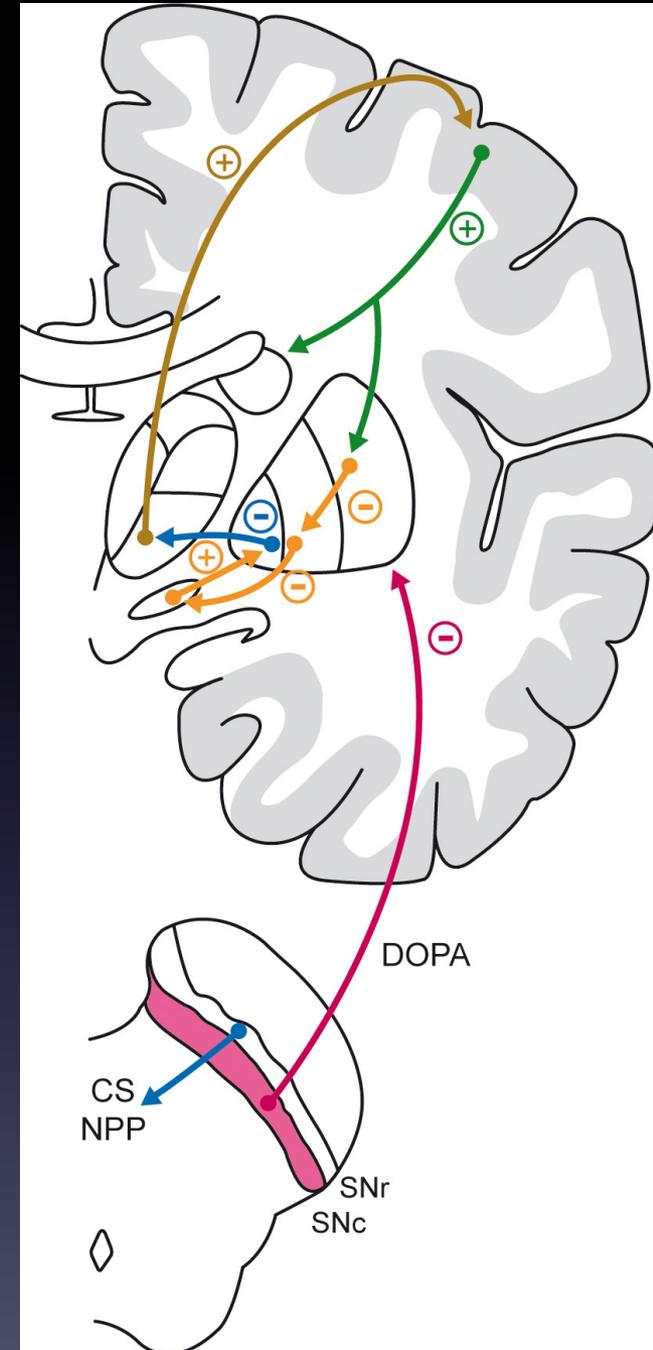
- gaba



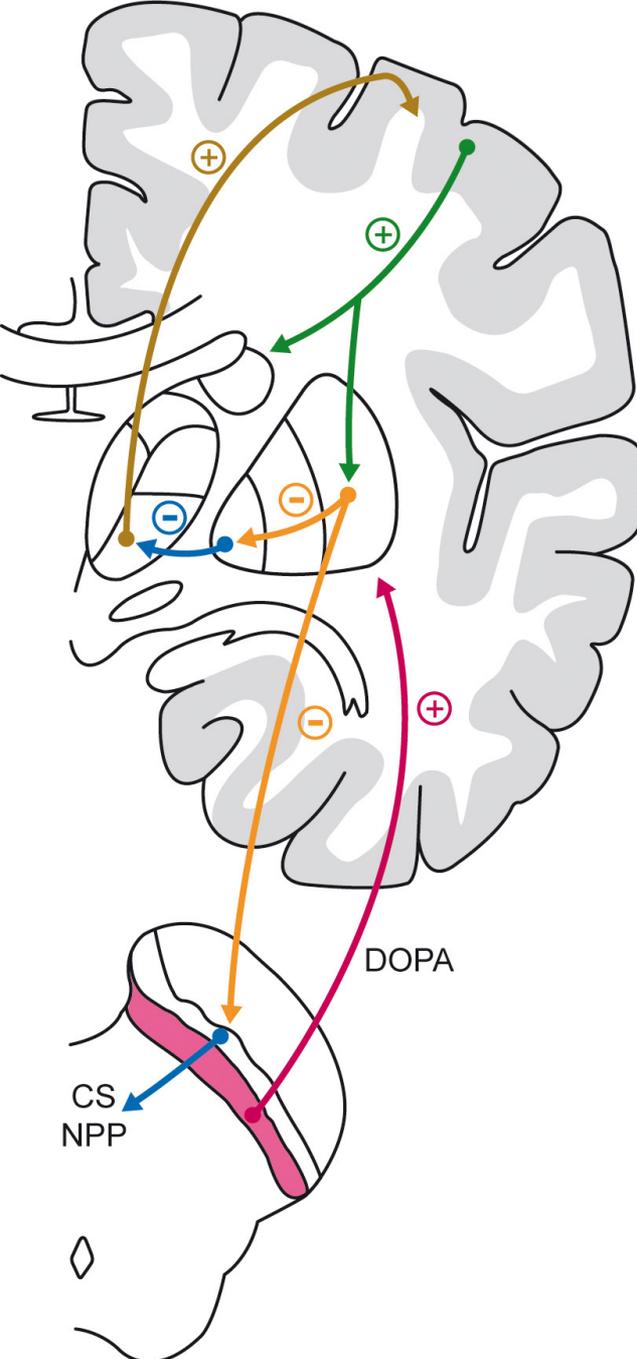
# Voie indirecte

Action inhibitrice de la dopamine

Récepteurs D2



# Maladie de Parkinson

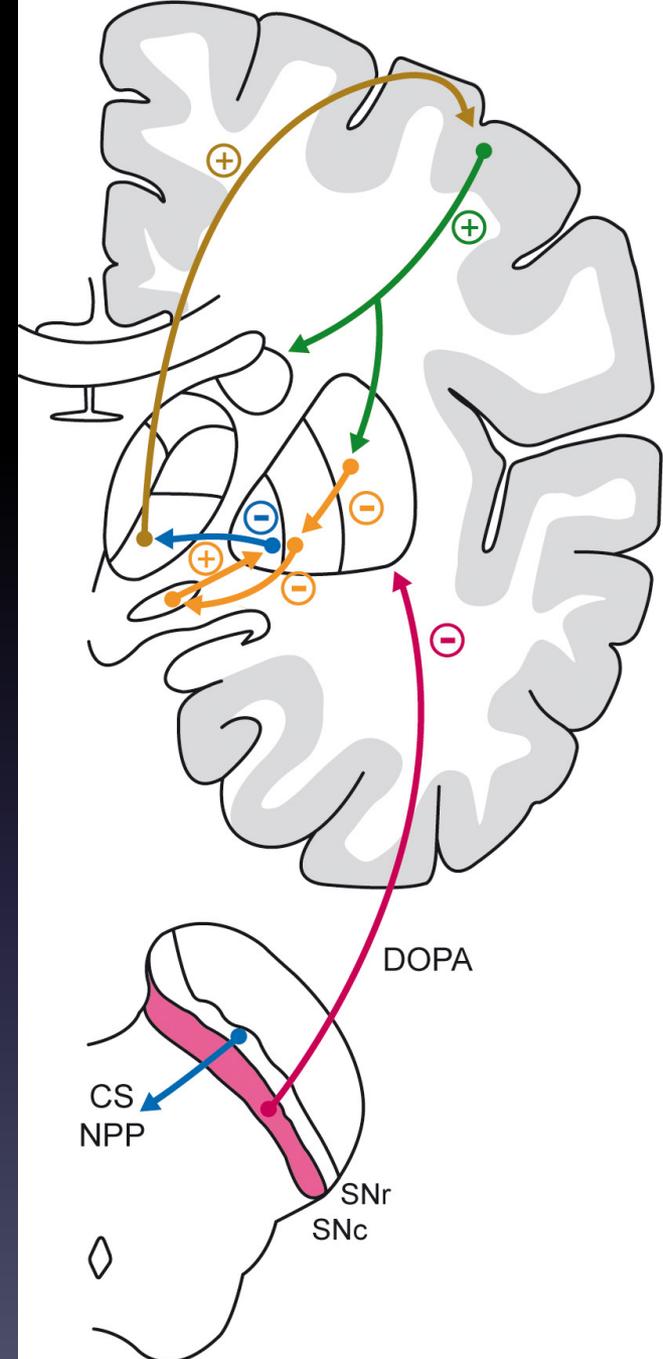


Déplétion en dopamine

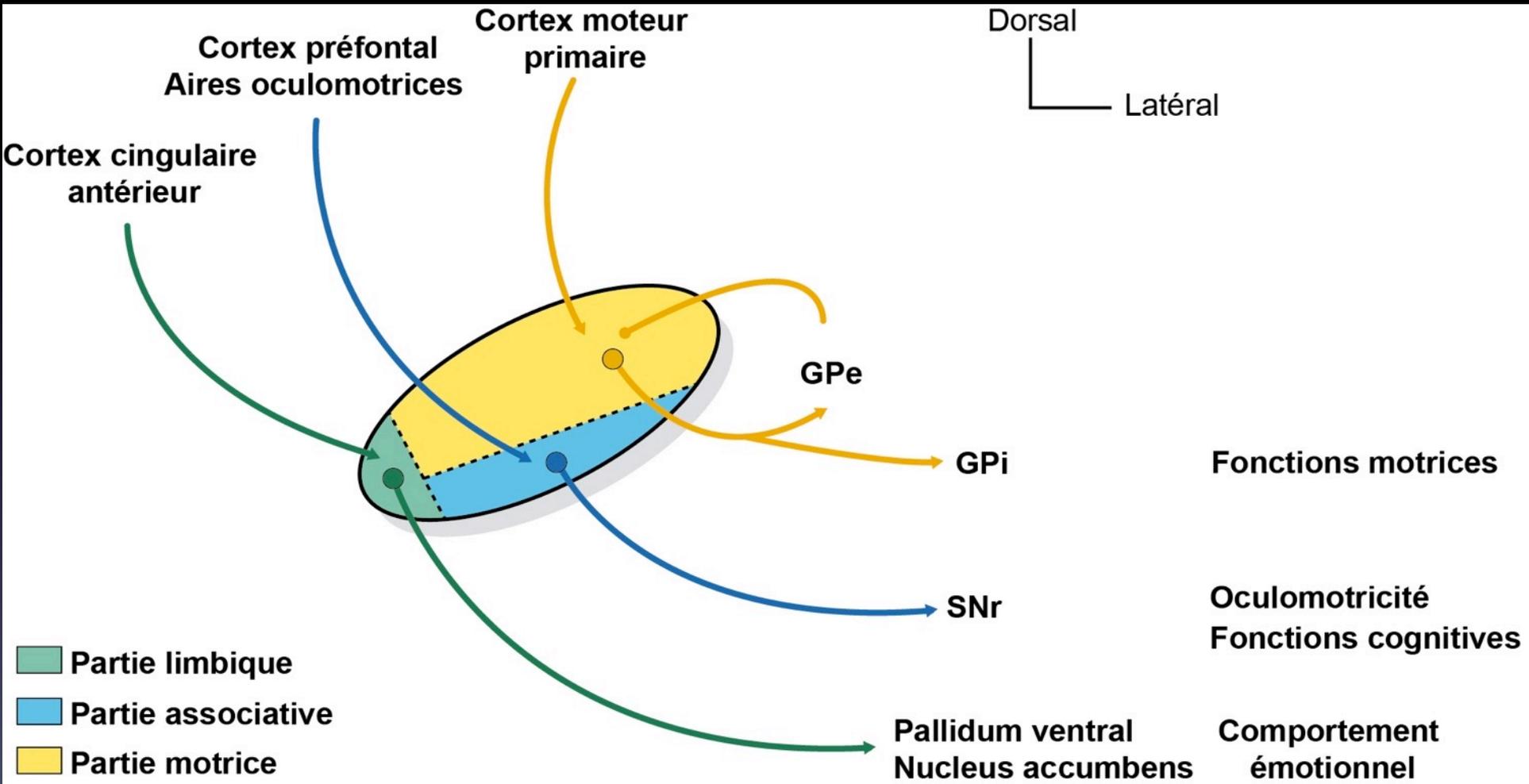
Hyperactivité de la voie indirecte

Hypoactivité de la voie directe

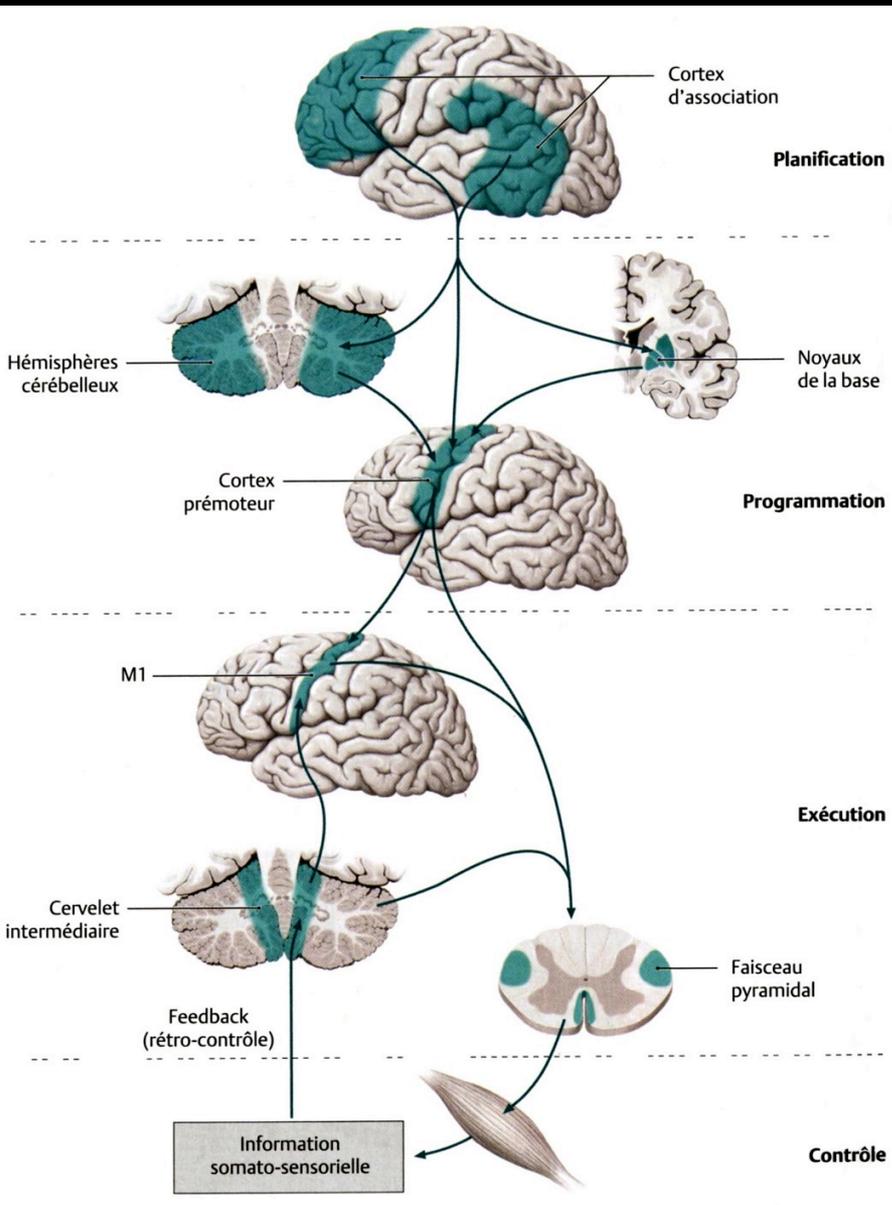
Hyperstimulation des structures de sortie



# Noyau sub-thalamique



# Organisation du système moteur volontaire



## Planification

Cortex prémoteur – Ganglions de la base

## Programmation

Cervelet latéral

## Exécution

Cortex moteur – Voie motrice volontaire

## Contrôle

Cervelet intermédiaire