

FACULTE DE MEDECINE D'ORAN

DEUXIEME ANNEE MEDECINE-PHYSIOLOGIE

SERVICE DE NEUROPHYSIOLOGIE ET D'EXPLORATION FONCTIONNELLE DU SYSTEME NERVEUX

Dr F. SENOUCI

LE CORTEX CEREBRAL MOTEUR

I/ INTRODUCTION :

Pour réaliser un mouvement volontaire conscient (comme marcher, prendre un objet, écrire, jouer un instrument de musique, ...) ; nos neurones moteurs (motoneurones α) de la moelle épinière et du tronc cérébral sont contrôlés par des structures supra-spinales.

Parmi ces structures on trouve le cortex cérébral moteur occupant le cortex frontal postérieur, origine des voies de la motricité volontaire qui sont :

- Les faisceaux cortico-spinaux (ou pyramidaux)
- Les faisceaux cortico-bulbaires (ou cortico-nucléaires).

L'initiation d'un mouvement volontaire, sa programmation, sa planification et son exécution se font au niveau de ce cortex moteur.

En 1870, Fritsch et Hitzig montraient, chez le chien, que la stimulation électrique pratiquée sur le cortex cérébral d'un côté provoquait la contraction des muscles de l'hémicorps controlatéral au côté stimulé.

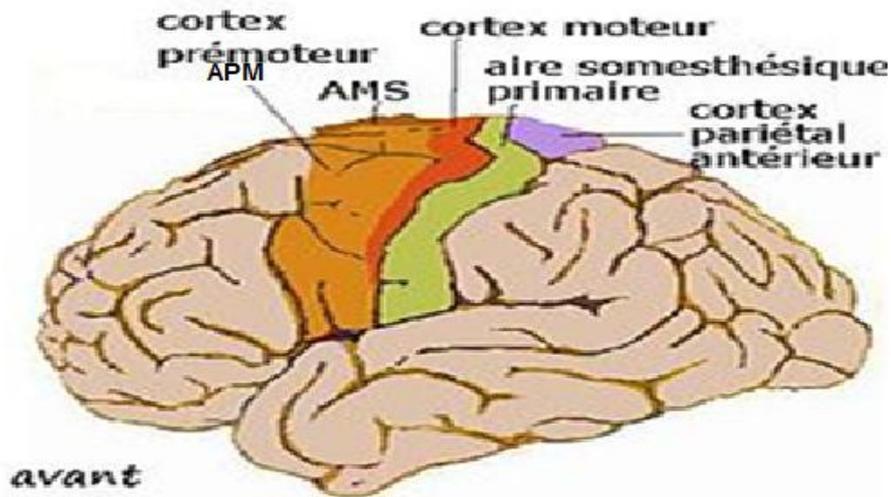
Ces expériences reprises quelques années plus tard avec plus de précision, montraient la répartition et le rôle des neurones moteurs corticaux.

II/ ANATOMIE ET ASPECT MICROSCOPIQUE :

Le cortex moteur se situe dans la partie postérieure du lobe frontal, au niveau de la région caudale de la circonvolution frontale ascendante en avant du sillon central (ou scissure de Rolando), il comprend plusieurs **aires corticales interconnectées** :

- Le cortex moteur primaire (M1) qui correspond à l'aire 4 de la classification de Korbinian Brodmann ; situé sur la paroi antérieure du sillon central.
- Le cortex moteur secondaire (M2), ou cortex prémoteur, qui est subdivisé en deux régions :

- Le cortex prémoteur latéral ou aire prémotrice (APM), qui correspond à l'aire 6 de Brodmann, situé en avant de M1.
- L'aire motrice supplémentaire (AMS) : situé en avant de M1, dans la partie médiane de l'aire 6, sur la face interne des deux hémisphères cérébraux.



- Aspect microscopique :

Le cortex cérébral est formé de 6 couches, de la plus externe à la plus interne :

- I- La moléculaire : contient des fibres (axones et dendrites)
- II- La granulaire externe : contient des neurones granulaires (récepteurs)
- III- La pyramidale externe : contient des cellules pyramidales (effectrices)
- IV- La granulaire interne : contient des voies de la sensibilité
- V- La pyramidale interne : contient des cellules pyramidales (voies de la motricité)
- VI- La fusiforme polymorphe : contient des fibres de connexion.

Cette organisation cellulaire (cytoarchitectonie) diffère selon les régions corticales, ce qui donne des spécificités fonctionnelles pour chaque région corticale. C'est la base de la classification de Brodmann des aires corticales.

La spécificité du cortex moteur est que les couches V et III sont très développées alors que les couches II et IV sont quasi-inexistantes (cortex agranulaire).

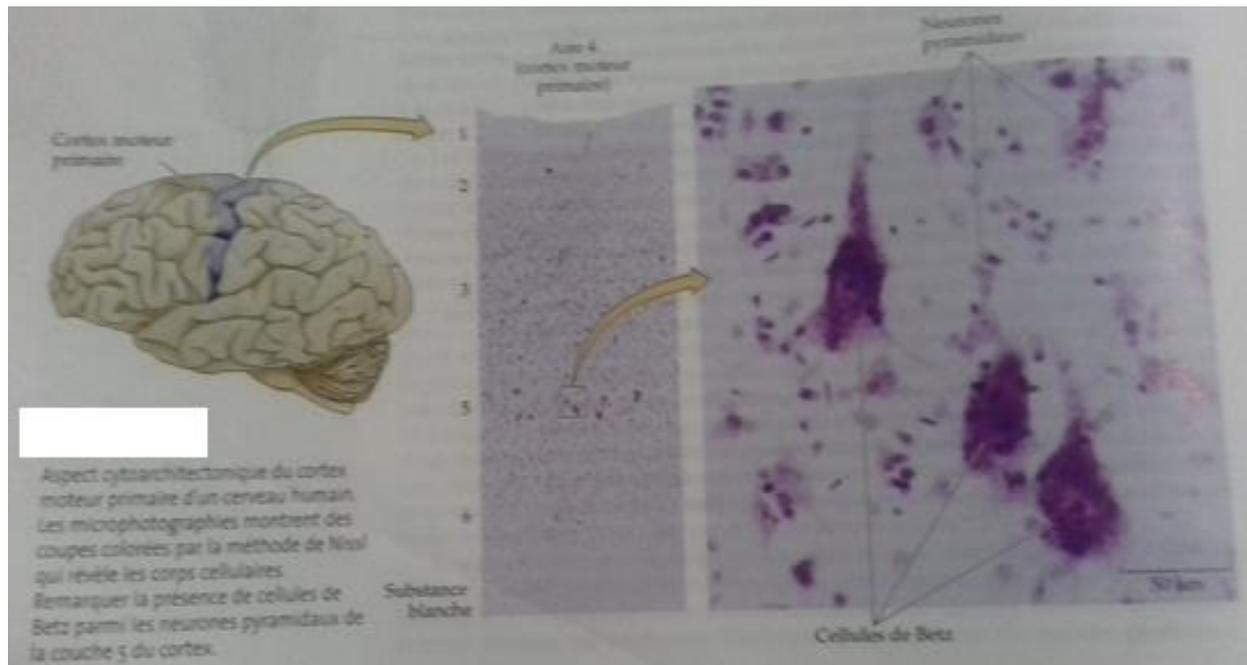
Le cortex moteur primaire (l'aire 4) contient dans sa couche V de grands et petits motoneurones pyramidaux ; et des **cellules pyramidales géantes de Betz** (ce sont ses cellules caractéristiques) ; dont le soma est volumineux ; sont les plus gros neurones du système nerveux central humain.

L'aire prémotrice et l'aire motrice supplémentaires sont aussi agranulaires avec une couche V développée (grandes et petites cellules pyramidales), mais ne contiennent pas de cellules de Betz.

Les influx afférents projettent sur les couches II et IV.

Les neurones efférents moteurs, l'origine des faisceaux cortico-spinaux (pyramidaux) ou bulbares, sont tous situés dans la couche V du cortex moteur.

De la couche VI partent des fibres essentiellement destinées aux autres régions corticales.



III/ LES AIRES MOTRICES ET LEURS ROLES :

III-A/ Le cortex moteur primaire (M1), l'aire 4 :

Elle s'individualise des autres aires motrices par :

- Sa cytoarchitectonie (l'absence de l'aire IV) et la présence de cellules pyramidales géantes de Betz, et
- Sa faible intensité de stimulation nécessaire pour évoquer un mouvement.

Ce seuil bas d'évocation des mouvements indique l'existence d'une voie directe relativement massive allant de l'aire primaire (aire 4) aux motoneurones α du tronc cérébral et de la moelle épinière.

La faible stimulation électrique corticale ponctuelle déclenche la contraction d'un groupe de muscles. L'excitation d'un neurone cortical unique donne naissance à un mouvement

caractéristique simple, localisé dans l'hémicorps controlatéral (l'excitation de plusieurs muscles et l'inhibition de certains autres) et non pas la contraction d'un muscle particulier.

Ce neurone stimule, de nombreux muscles qui apportent chacun sa propre direction et sa propre force au mouvement musculaire.

C'est ce qu'on appelle le champ musculaire d'un neurone moteur cortical, c'est-à-dire qu'un seul neurone cortical s'articule avec plusieurs groupes de motoneurones α .

L'aire 4 intervient dans **l'exécution** proprement dite du mouvement.

III-B/ Le cortex prémoteur latéral, ou l'aire prémotrice (APM), l'aire 6 :

La stimulation électrique de l'aire prémotrice induit rarement des mouvements hormis en cas d'une stimulation de forte intensité et de fréquence élevée par rapport à l'aire 4, ce qui est le signe de l'existence d'un nombre important de synapses entre le point stimulé et l'effecteur périphérique.

Les signaux nerveux générés dans l'aire prémotrice déclenchent des schémas de mouvements plus complexes que ceux issus du cortex moteur primaire.

L'action peut consister par exemple à positionner les épaules et les bras de façon que les mains se trouvent bien placées pour effectuer une tâche précise.

Pour effectuer ces actions, la partie la plus antérieure de l'aire prémotrice 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 prémotrice postérieure.

L'aire prémotrice intervient dans **la planification et la programmation du mouvement**.

L'aire prémotrice intervient aussi dans **la sélection du mouvement sur la base d'indices externes** : un singe entraîné à aller atteindre une cible dans différentes directions en réponse à un indice visuel, ces neurones prémotrices répondent préférentiellement à la direction indiquée commencent à augmenter leur fréquence de décharge dès la présentation de l'indice visuel, avant l'exécution effective du mouvement (au cours de l'intervalle entre la présentation de l'indice et celle du signal d'exécution).

En fait cette aire prémotrice reçoit une très importante quantité de signaux depuis le cortex pariétal postérieur (somesthésiques et sensoriels (visuels)).

III-C/ L'aire motrice supplémentaire (AMS), l'aire 6 :

La stimulation de l'aire motrice supplémentaire induit des mouvements posturaux complexes, ceux-ci pouvant être bilatéraux.

Les contractions déclenchées par la stimulation de cette région sont le plus souvent bilatérales. L'action peut consister à réaliser des mouvements de préhension unilatérale d'une main ou simultanée des deux mains.

L'évaluation du flux sanguin cortical au cours d'une tâche motrice a permis de montrer que l'AMS était active tout autant lorsque le sujet réalisait effectivement le geste que lorsqu'il pensait activement au geste.

A l'inverse, le flux sanguin n'augmente dans le cortex moteur primaire que lorsque le mouvement est effectivement réalisé.

L'AMS et l'aire l'APM ont des fonctions proches : Elles fonctionnent pour organiser des mouvements de positionnement, de fixation d'attitude des différents segments corporels, des mouvements positionnels de la tête et des yeux... .

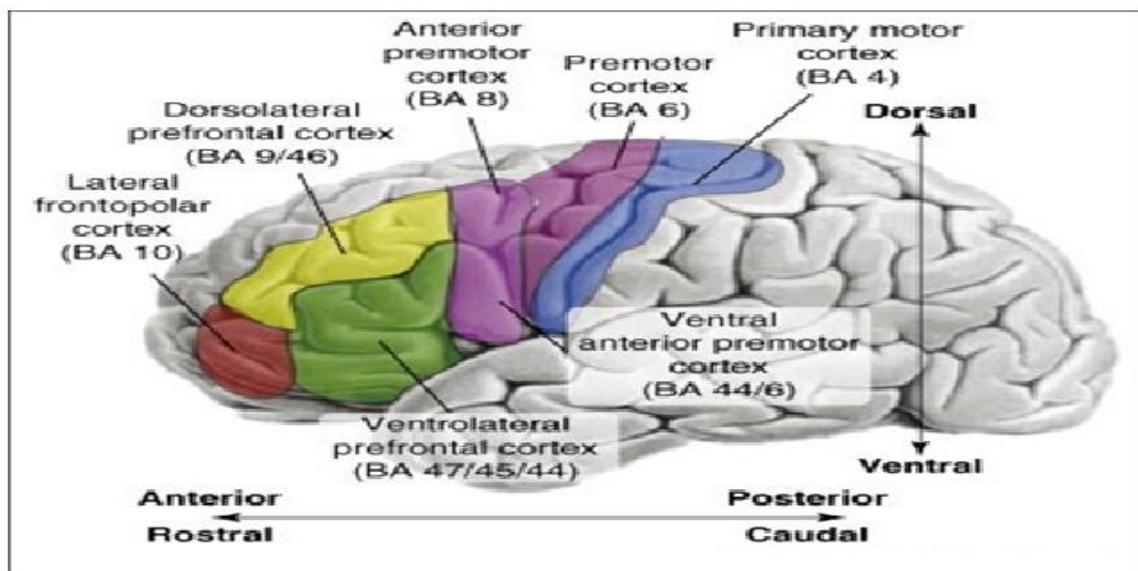
L'aire motrice supplémentaire est impliquée dans **la programmation et la planification motrice** et est active durant la planification comme l'exécution des mouvements complexes.

III-C/ Régions motrices spécialisées :

Certaines régions corticales motrices sont hautement spécialisées dans le contrôle de certains types de mouvements :

➤ Aire de Broca :

Située immédiatement en avant du cortex moteur primaire et immédiatement au-dessus de la scissure de Sylvius (aire 44 et 45 de Brodmann), cette région est spécialisée dans l'expression motrice du langage (langage parlé), la formation des mots.



➤ **Aires corticales des mouvements oculaires volontaires :**

Cette zone recouvre l'**aire oculomotrice frontale** et l'**aire oculomotrice frontale supplémentaire** situées dans l'aire prémotrice du cortex préfrontal. Située juste au-dessus de l'aire de Broca, cette petite région contrôle les mouvements oculaires volontaires et les mouvements de paupières controlatéraux.

Elle reçoit des informations directement du lobe occipital et se projette en retour sur les colliculi supérieurs et la formation réticulée.

➤ **Aire de rotation de la tête :**

Située au-dessus de la précédente, dans l'aire prémotrice, cette aire est en étroite relation avec l'aire des mouvements oculaires volontaires et permet l'orientation de la tête vers une cible visuelle.

➤ **Aire d'habileté manuelle :**

Située dans l'aire prémotrice, immédiatement en avant des zones du cortex moteur primaire dévolu au contrôle des muscles des doigts et de la main, cette zone semble spécifiquement impliquée dans les gestes fins des mains.

Une lésion de cette zone entraîne l'apraxie motrice caractérisée par des mouvements des mains désordonnés et sans but.

IV/ LES VOIES MOTRICES DESCENDANTES CORTICOBULBAIRES ET CORTOCOSPINALES :

Ces voies ont leur origine dans les neurones pyramidaux de la couche V : grandes et petites cellules pyramidales ; et les cellules de Betz qui sont en fait peu nombreuses (elles ne représentent que 5% des projections sur la moelle).

Les axones de tous ces neurones forment **les faisceaux cortico-bulbaires** qui se terminent dans les centres du tronc cérébral et **les faisceaux cortico-spinaux ou (pyramidaux)** qui se terminent dans la moelle.

Dans leur trajet, ils empruntent le bras postérieur de la capsule interne dans le cerveau antérieur, puis le pédoncule cérébral, à la base du mésencéphale.

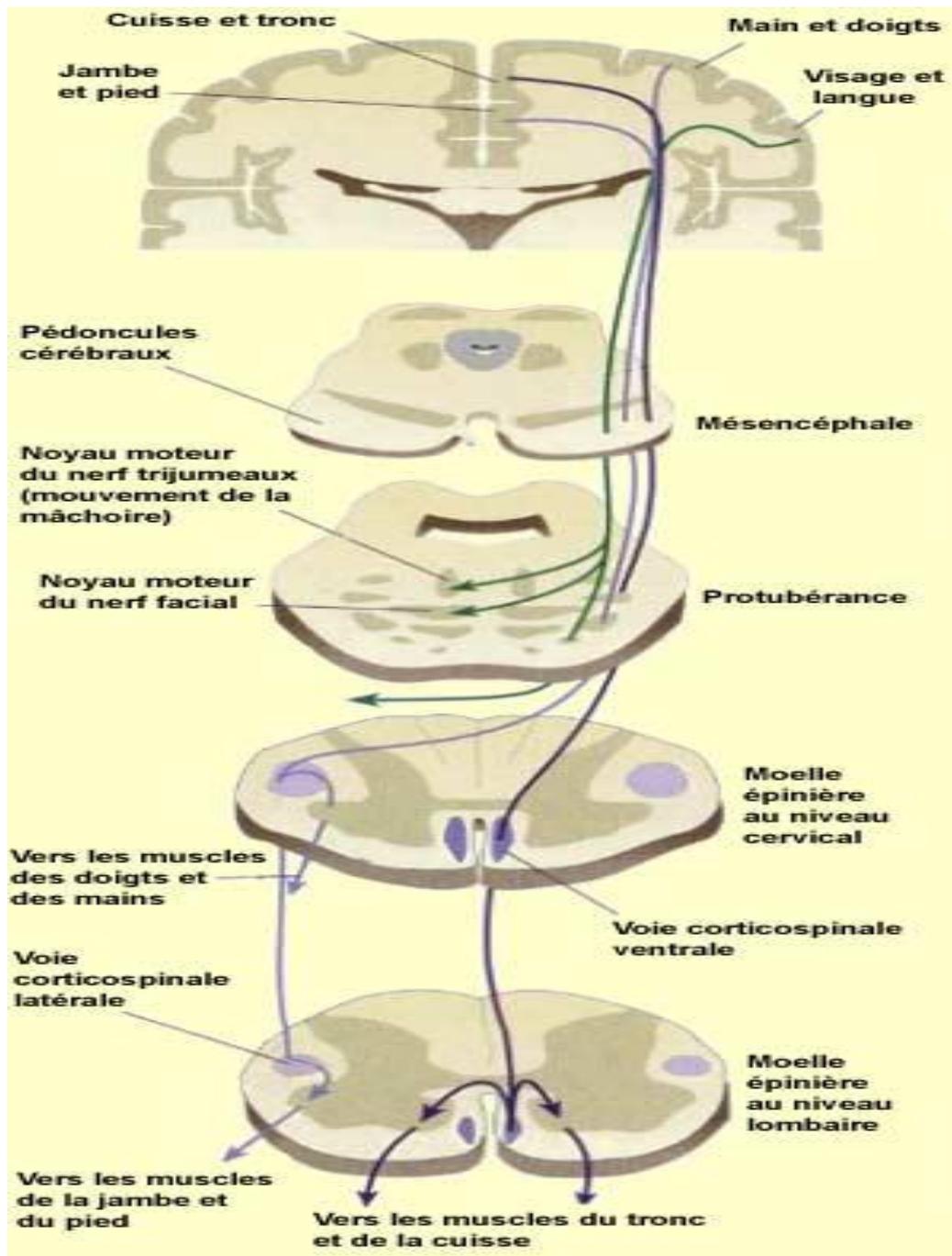
Ils traversent ensuite la base du pont, puis se réunissent de nouveau à la surface ventrale du bulbe pour former les pyramides bulbaires.

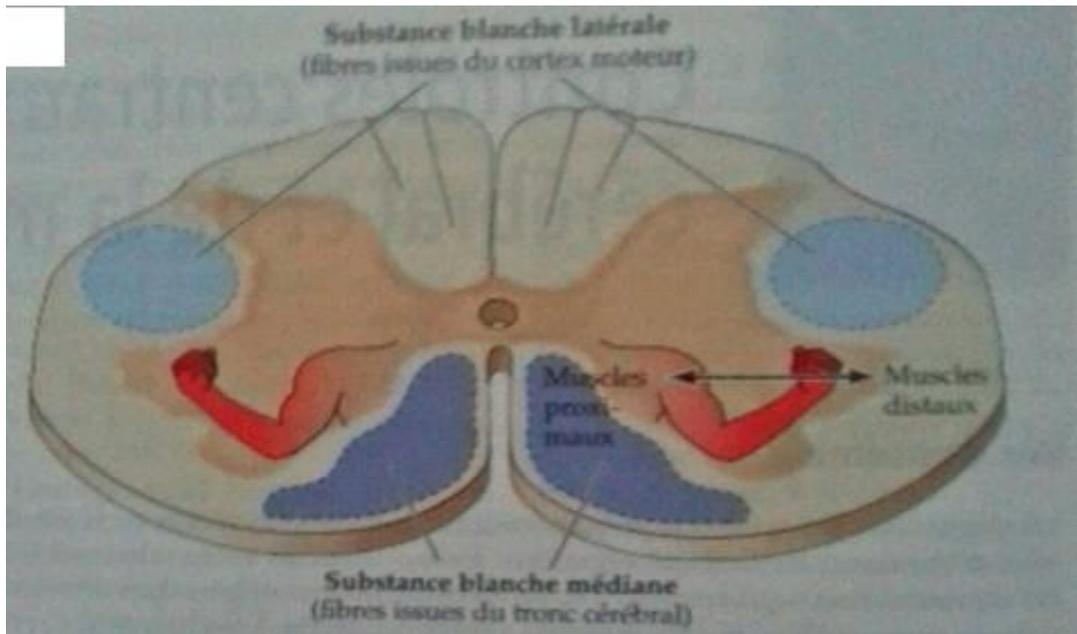
Les fibres qui innervent les noyaux des nerfs crâniens, la formation réticulaire et le noyau rouge quittent cette voie à différents niveaux du tronc cérébral **constituant le faisceau cortico-bulbaire**.

A l'extrémité caudale du bulbe, la majorité des fibres du faisceau pyramidal (environ 90%) croisent la ligne médiane (elles décussent) et entrent dans les cordons latéraux de la moelle controlatérale où elles forment **le faisceau corticospinal (ou pyramidal) latéral**.

Les 10% qui restent entrent directement dans la moelle, sans croiser, forment **le faisceau corticospinal (ou pyramidal) ventral**. Ces fibres se terminent soit ipsilatéralement, soit bilatéralement (par des collatérales qui franchissent la ligne médiane en empruntant la commissure blanche antérieure de la moelle).

- La voie corticospinale ventrale a son origine principale dans les régions du cortex moteur qui commandent la musculature axiale et proximale et qui projettent sur la formation réticulaire. Elle se termine principalement sur des interneurons dans la partie ventrale de la corne ventrale.
- Le faisceau cortico-spinal latéral est une voie directe du cortex vers la moelle, il se termine principalement sur des interneurons dans la partie latérale de la corne ventrale. Quelques-uns de ses axones forment des contacts synaptiques directes sur les motoneurons α qui contrôlent la musculature distale (les motoneurons α innervant les muscles de l'avant bras et de la main), ce qui explique que le faisceau pyramidal latéral a un rôle important dans le contrôle de la motricité de la main).

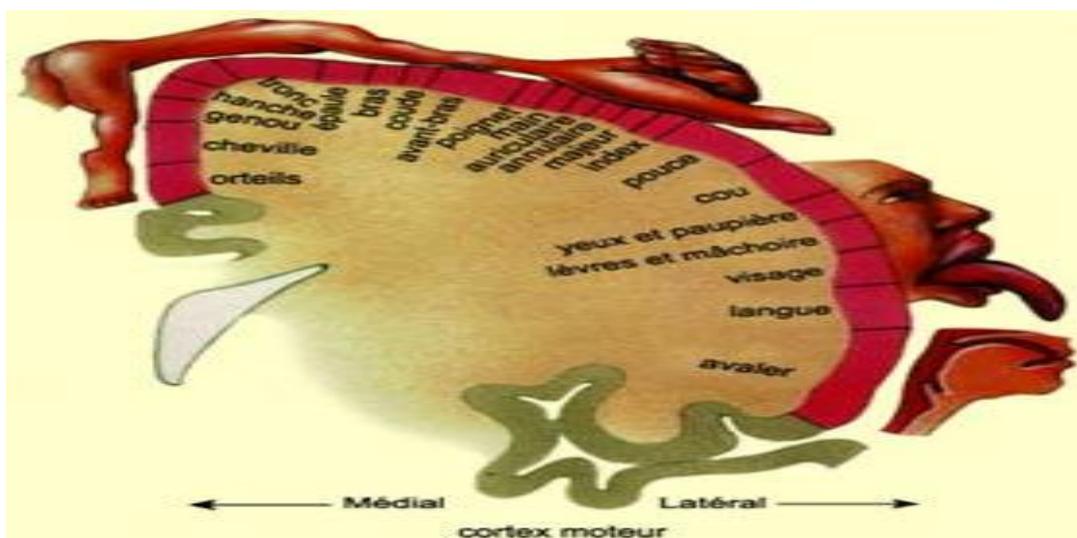




Durant les années 1930, le neurochirurgien américain Wilder Penfield a démontré que le cortex moteur contient lui aussi une carte topographique de la musculature controlatérale du corps en stimulant électriquement la surface du cortex moteur chez plus de 400 patients lors d'interventions neurochirurgicales en rapportant l'emplacement des contractions musculaires ainsi obtenues à l'endroit stimulé, il put tracer la carte de représentation des muscles sur le gyrus précentral.

Il constata que cette carte motrice présente les mêmes disproportions que la carte somesthésique du gyrus postcentral.

La musculature utilisée pour des tâches qui exigent un contrôle moteur fin (comme celle de la face ou des mains) occupe une surface plus étendue que celle des muscles dont la tâche motrice est moins fine (comme ceux du tronc).



V/ LES AFFERENCES ET EFFERENCES :

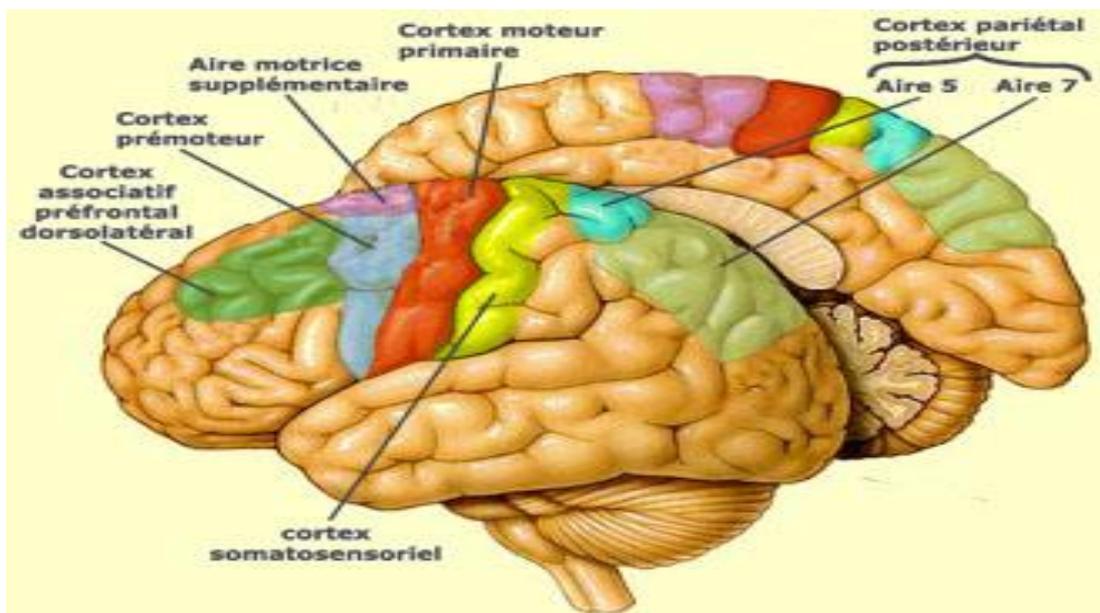
Pour qu'un mouvement volontaire se réalise de façon correcte, le cortex frontal, reçoit des informations du **cortex pariétal postérieur**, pour évaluer le contexte dans lequel s'effectue le mouvement.

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 prémoteur et moteur.

On distingue deux aires particulières dans le cortex pariétal postérieur :

- L'aire 5 reçoit les informations des aires corticales somatosensorielles 1, 2 et 3.
- L'aire 7, intègre des 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 6 qui, une fois renseignée sur le type d'action à réaliser, elle exécute le mouvement en coordination avec les noyaux gris centraux et le cervelet pour une réponse motrice adaptée au contexte.

V-A/ AFFERENCES :

- **Cortex somesthésique** : Les cortex somesthésiques primaire et secondaire (SI et SII) se projettent directement sur l'aire motrice primaire ou indirectement, par l'intermédiaire du cortex pariétal postérieur sur les aires prémotrices. Le cortex

somesthésique associatif situé dans le cortex pariétal postérieur émet de nombreux signaux vers les aires prémotrices, indispensables à la réalisation des mouvements. Les informations sensorielles adressées par le cortex pariétal postérieur et les relais thalamiques sensoriels permettent au cortex moteur de s'assurer que le mouvement initié reste approprié.

- **Cortex visuel et auditif** : Le cortex visuel transmet ses informations aux aires prémotrices via le cortex pariétal postérieur. Les aires oculomotrices frontales reçoivent également des signaux directement du lobe occipital.
- **Des aires motrices homologues** : situées dans l'hémisphère controlatéral, via le corps calleux.
- **Du complexe ventrobasal du thalamus** : Ces fibres somesthésiques véhiculent essentiellement des signaux cutanés tactiles et des signaux proprioceptifs des articulations et des muscles.
- **Des noyaux thalamiques ventrolatéral et ventral antérieur** : Ces noyaux reçoivent eux-mêmes des signaux des noyaux gris centraux et du cervelet. Les signaux émis vers le cortex moteur permettent la coordination du cortex moteur, du cervelet et des noyaux gris centraux.
- **Des noyaux thalamiques intralaminaires** : Ces signaux règlent le niveau général d'excitabilité du cortex dont le cortex moteur.

V-B/ EFFERENCES :

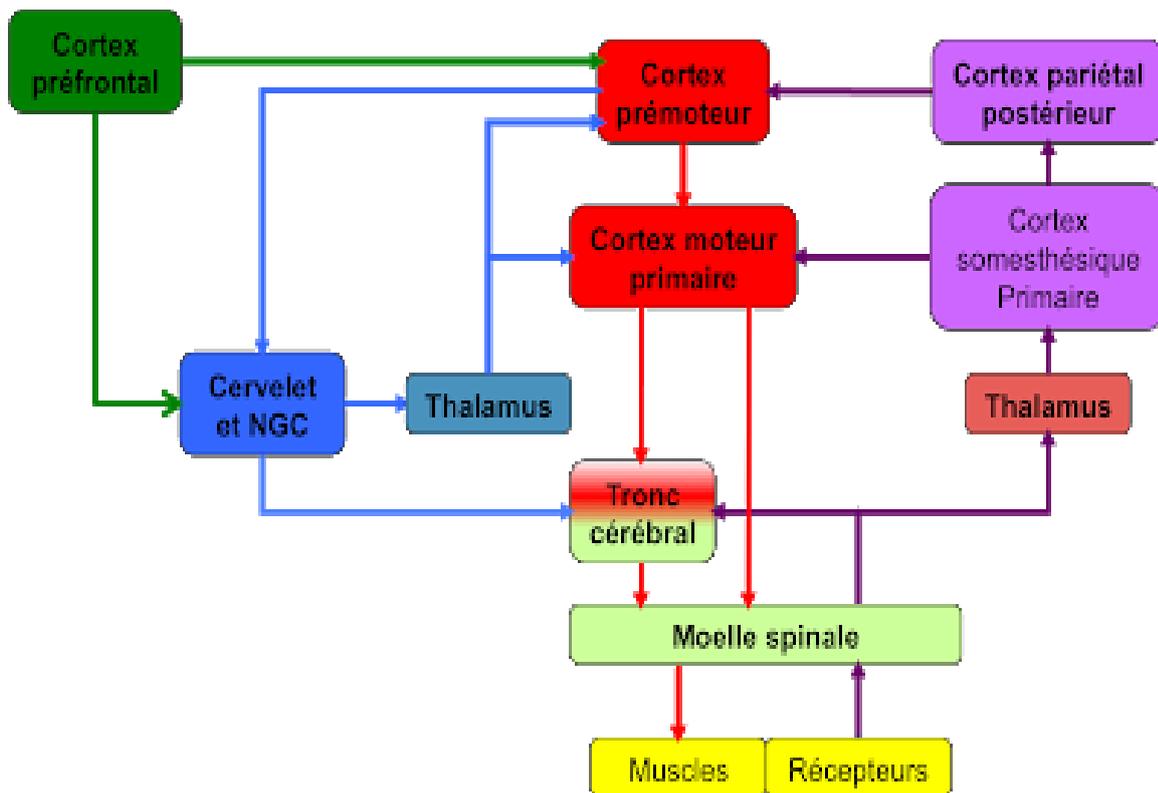
Les efférences du cortex moteur comportent :

- **Les projections motrices du cortex moteur sur la moelle** : représentées par :
 - **Le faisceau cortico-spinal** (projections directes sur la moelle) et,
 - **Le faisceau cortico-rubro-spinal** (projections indirectes sur la moelle via un relais par le noyau rouge).

Ces projections médullaires constituent le système moteur latéral.

- **Les projections motrices du cortex moteur sur le tronc cérébral** : comportent elles-mêmes :
 - **Les projections du cortex sur les noyaux moteurs du tronc cérébral via le faisceau cortico-bulbaire**
 - **Les projections sur la substance réticulée et les noyaux vestibulaires du tronc cérébral**. De ces structures de relais partent les projections motrices du tronc cérébral sur la moelle (les faisceaux réticulo-spinal et vestibulo-spinal) constituant le système moteur médial. De ces structures de relais partent également des projections motrices sur le cervelet (les faisceaux réticulo-cérébelleux) et (vestibulo-cérébelleux).
 - **Les projections sur les noyaux du pont** : d'où partent les fibres ponto-cérébelleuses qui acheminent les signaux vers les hémisphères cérébelleux.

- **Les projections sur les noyaux de l'olive bulbaire** : d'où partent les fibres olivo-cérébelleuses qui redirigent les signaux vers de nombreuses régions centrales du cervelet.
- **Les projections du cortex sur les noyaux gris centraux** : (sur le striatum = noyau caudé + putamen et sur le noyau subthalamique). Ces structures émettent en retour des projections sur le cortex frontal, la moelle et le tronc cérébral.
- **Les projections interhémisphériques sur les aires motrices homologues** : situées dans l'hémisphère controlatéral, via le corps calleux.



Schématisation des relations des structures nerveuses impliquées dans le mouvement

VI/ SEMIOLOGIE D'ATTEINTE DES AIRES CORTICALES MOTRICES OU DES VOIES DESCENDANTES :

Les lésions (accidents vasculaires cérébraux, traumatismes, dégénératives, tumorales, ...) des aires motrices ou des voies descendantes (cortico-bulbaires et corticospinales ou pyramidales) peuvent se manifester par des signes cliniques orientant vers l'origine central de l'atteinte motrice.

Parmi plusieurs signes on va citer :

- **Le syndrome pyramidal :**

L'atteinte du cortex moteur ou des fibres passant par la capsule interne, provoque initialement une paralysie flasque (abolition du tonus).

Les manifestations aiguës les plus graves concernent les bras et les jambes, le contrôle des muscles du tronc est généralement préservé (soit par les voies du tronc cérébral soit par projection bilatérale de la voie ventrale qui contrôlent la musculature axiale).

Cette période d'hypotonie est qualifiée de choc spinal, elle reflète la diminution de l'activité des circuits spinaux privés des influences du cortex moteur et du tronc cérébral.

Après quelques jours, les circuits spinaux retrouvent une bonne partie de leurs fonctions (mécanisme mal connu).

Par la suite des symptômes moteurs s'installent :

- Le signe de Babinski : si on gratte la plante du pied du talon aux orteils, normalement on obtient une flexion des autres orteils ; en cas d'atteinte on aura une extension du gros orteil et l'ouverture en éventail des autres orteils. (**Babinski positif**).
On le trouve chez les nourrissons avant maturation cortico-spinale (contrôle incomplet des neurones moteurs corticaux sur les circuits moteurs locaux) ; il est physiologique à cet âge.
- Spasticité : augmentation du tonus musculaire, exagération du réflexe d'étirement, et un clonus (alternance de contraction et de relâchement d'un muscle en réponse à son étirement).
Elle est due probablement à un retrait des influences inhibitrices qu'exerce le cortex sur les centres posturaux (des noyaux vestibulaires et la formation réticulaire).
- Perte de la capacité d'exécuter des mouvements fins : si la lésion touche les voies descendantes qui innervent la musculature distale (mains).

- **La rigidité de décérébration :**

Charles Sherrington qui a donné le nom de rigidité de décérébration.

Elle est causée par une lésion des voies descendantes au niveau du tronc cérébral (au-dessus des noyaux vestibulaires et en dessous du noyau rouge).

- **L'apraxie :**

Une lésion affectant les aires prémotrices peut entraîner une apraxie, c'est à dire une difficulté à réaliser des gestes volontaires complexes alors que la réalisation des gestes simples et que la sensibilité reste normale

▪ **Le syndrome frontal :**

En plus des troubles moteurs, le patient peut présenter :

- Des troubles de comportement : hypoactivité globale, perte d'initiation (ralentissement psychomoteur) ou au contraire une excitation et une hyperactivité ; troubles de l'attention, de concentration et de mémoire... .
- De l'aphasie (de Broca) : réduction de l'expression (réduction des mots jusqu'à l'incapacité totale de parler (mutisme)).