

## les grandes voies neurologiques :

### les voies de la motricité :

Les voies de la motricité relient le cortex cérébral et les structures sous-jacentes aux plaques neuro-motrices. Elles contrôlent et coordonnent aussi bien l'exécution des mouvements volontaires que le tonus musculaire, les réflexes et les mécanismes posturaux.

Il s'agit de deux systèmes parallèles et complémentaires, reliant les niveaux de commande centraux aux motoneurones périphériques dont les axones stimulent la musculature somatique.

Ces deux systèmes sont :

- Le système pyramidal, qui concerne la motricité volontaire. L'influx qu'il génère emprunte une voie relativement longue, la voie pyramidale, entrecoupée par un relais synaptique où s'effectue la transmission entre les neurones centraux et les motoneurones périphériques. Les axones de ces derniers entrent dans la constitution des nerfs crâniens ou rachidiens selon leur niveau d'émergence du tronc cérébral ou de la moelle.
- L'autre système, dit extra-pyramidal, se distingue du précédent par ses origines sous-corticales, par son architecture neuronale et par la multiplicité de ses voies de conduction qui encadrent la voie pyramidale jusqu'au niveau des relais synaptiques. Son rôle est fondamental dans le contrôle du déroulement du mouvement et dans l'adaptation du tonus musculaire à l'effort physique, et ce sans l'intervention de la volonté du sujet.

L'intrication des effets de ces deux systèmes constitue la voie finale commune à travers laquelle la motricité s'exprime sous ses différents aspects : volontaire, automatique, instinctif.

## Le Cortex moteur

Il occupe la moitié postérieure du gyrus précentral (=aire 4 de Brodmann = *frontale ascendante*); et de son extension sur la face médiale de l'hémisphère.

Une grande part de l'aire latéro-inférieure de ce cortex moteur primaire est l'origine de la voie cortico-nucléaire (=faisceau géniculé) qui active la musculature du cou & de la tête ; de l'aire restante part la voie cortico-spinale (=faisceau pyramidal), stimulatrice des muscles du tronc et des membres de l'hémicorps du côté opposé.

Cette aire 4 de Brodmann s'étend depuis la scissure de Sylvius (ou scissure latérale) en bas, remonte jusqu'au sommet du cortex et plonge à la face médiane des hémisphères. Cette aire comporte une représentation topographique des groupes musculaires du corps similaire à la représentation sensitive du cortex somatosensoriels: on parle d'organisation somatotopie du cortex moteur. Depuis la scissure de Sylvius en bas et en remontant vers le haut, se succèdent les régions contrôlant les muscles de région buccale, du visage, des doigts, du bras, du tronc, de la jambe et du pied. La représentation du membre inférieur se situe sur la face médiane des hémisphères.

Autrement dit, l'étendue des zones corticales est fonction de la multiplicité et de la délicatesse du mouvement, et non du volume musculaire ; c'est ainsi que les aires de commande de la main ou de la langue sont les plus étendues. (cf Carte de Penfield et Rasmussen)

Pour certains mouvements volontaires, comme les mouvements précis des doigts et des mains, le cortex moteur agit directement sur les motoneurones de la moelle. Cependant, pratiquement tous les mouvements volontaires sont réalisés par l'activation par le cortex moteur de programmes moteurs qui préexistent dans des réseaux de structures localisés au niveau des noyaux gris centraux, du cervelet, du tronc cérébral et de la moelle. Ces centres moteurs intermédiaires, fonctionnellement sous la dépendance du cortex, émettent les signaux d'activation ou de contrôle de l'activation des muscles.

Le cortex moteur, situé en avant du sillon central (scissure de Rolando), est subdivisé en trois régions possédant leur propre représentation topographique des groupes musculaires du corps ainsi que des fonctions motrices spécifiques

- **Le cortex moteur primaire**
- **L'aire prémotrice**
- **L'aire motrice supplémentaire**

Ces trois régions corticales sont essentielles pour la planification, l'initiation, la coordination, le guidage et l'arrêt des mouvements volontaires.

Le cortex moteur primaire est le principal exécutant des instructions élaborées et planifiées par l'aire prémotrice (=aire 6 de Brodmann). Cette zone préfrontale est décomposable en deux territoires :

- l'aire prémotrice
- l'aire motrice supplémentaire

Il est démontré par l'imagerie médicale que l'activation de l'aire prémotrice initiée par l'intention d'un mouvement donné, précède de quelques millisecondes celle du gyrus précentral d'où part l'ordre d'exécution.

Le programme moteur est mis au point sur la base des informations que l'aire prémotrice reçoit du cortex associatif au niveau duquel auront été traités les messages sensoriels, sensitifs et proprioceptifs. En d'autres termes, l'intention de se mouvoir, née d'une activité de l'aire motrice préfrontale, déclencherait le rappel d'un ensemble de modèles évoquant le mouvement projeté ; ils seraient stockés sous forme de copies dans plusieurs sites dont le cortex associatif, les noyaux gris centraux et le cervelet.

Le cortex pariétal postérieur joue un rôle dans le mouvement volontaire en évaluant le contexte (position corporelle, position de la cible grâce à la vision) qui pourrait former un modèle de mouvement avant de l'effectuer.

La plupart des programmes sont des recettes prêtes à l'emploi quand le mouvement prévu nécessite une exécution rapide. Il en est autrement quand il s'agit de mouvements fins, complexes, laborieux ou en cours d'acquisition. La lenteur relative de leur déroulement implique de nombreux circuits à travers

lesquels les séquences du mouvement sont constamment analysées, modifiées si besoin est, et ajustées tout en se référant au programme initial.

### **L'aire pré motrice**

Elle est située immédiatement en avant du cortex moteur primaire, elle s'étend sur la face latérale des hémisphères, de la scissure de Sylvius en bas à l'aire motrice supplémentaire en haut. Elle correspond à **l'aire 6 de Brodmann**.

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

L'aire motrice supplémentaire (AMS) occupe quelques centimètres de la partie supérieure du cortex frontal et s'étend principalement dans la scissure interhémisphérique. Elle présente également une représentation somatotopique des groupes musculaires mais l'orientation de l'homonculus se fait ici d'avant en arrière (et non de bas en haut comme pour les deux aires précédentes).

L'AMS joue donc un rôle dans la planification du mouvement. 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 normales.

Enfin, il convient d'adjoindre au cortex primaire deux autres territoires  
En effet Certaines régions corticales motrices sont hautement spécialisées dans le contrôle de certains types de mouvements.

### ***Aire de Broca et de Wernicke***

L'année 1861 marque le début de l'identification de régions du cerveau impliquées dans le langage. Cette année-là, le neurochirurgien français Paul Broca examine le cerveau d'un de ses patients qui vient de décéder. Ce patient ne pouvait prononcer d'autres syllabes que « tan », bien qu'il comprenne ce qu'on lui disait. Sans être atteint d'aucun trouble moteur de la langue ou de la bouche qui aurait pu affecter son langage, ce patient ne pouvait produire aucune phrase complète ni exprimer ses idées par écrit.

En faisant l'autopsie de son cerveau, Broca a trouvé une lésion importante dans le cortex frontal inférieur gauche. Par la suite, Broca a étudié huit patients aux déficits semblables qui tous avaient une lésion dans l'hémisphère frontal gauche. Cela l'amène à déclarer son célèbre « Nous parlons avec l'hémisphère gauche » et à identifier pour la première fois l'existence d'un « centre du langage » dans la partie postérieure du lobe frontal de cet hémisphère.

Dix ans plus tard, Carl Wernicke, un neurologue allemand, met en évidence une autre région impliquée celle-là dans la compréhension du langage. Elle est située dans la partie postérieure du lobe temporal gauche. Les patients qui ont une lésion à cet endroit peuvent parler, mais leur discours est souvent incohérent et dénué de sens.

Ces observations ont été maintes fois confirmées et l'on s'entend aujourd'hui sur le fait qu'il y a, autour du sillon latéral de l'hémisphère gauche, une sorte de boucle neurale impliquée dans la compréhension orale du langage et sa production par la parole. À l'extrémité frontale de cette boucle, on trouve l'aire de Broca, habituellement associée à la production du langage. À l'autre extrémité, plus précisément dans la partie supérieure et postérieure du lobe temporal, se situe l'aire de Wernicke, associée au traitement des paroles entendues, autrement dit à l'input du langage. L'aire de Broca et l'aire de Wernicke sont connectées par un important faisceau de fibres nerveuses appelé le faisceau arqué.

Cette boucle est présente dans l'hémisphère gauche chez environ 90 % des droitiers et 70% des gauchers, le langage étant l'une des fonctions traitée de manière asymétrique dans le cerveau.

Étonnamment, on la retrouve aussi au même endroit chez les sourds qui s'expriment en langue des signes. Cette boucle ne serait donc pas spécifique au langage oral ou parlé, mais serait plus largement associée à la modalité principale du langage d'un individu.

### **Afférences du cortex moteur**

Le cortex moteur intègre l'information issue de différentes sources et prépare, en coordination avec les noyaux gris centraux et le cervelet, la réponse motrice adaptée au contexte. Les afférences du cortex moteur proviennent

- **du cortex somesthésique.**
- **des 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 adjacentes du cortex frontal**
- **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.

## **Rôle des afférences somesthésiques dans le contrôle moteur**

Lorsque des signaux nerveux issus du cortex moteur provoquent la contraction d'un muscle, des signaux reviennent de la région activée de l'organisme vers les neurones moteurs qui sont à l'origine de l'action. La plupart de ces signaux somesthésiques naissent

- dans les fuseaux neuromusculaires (sensibilité proprioceptive)
- dans les organes tendineux des tendons musculaires (sensibilité proprioceptive)
- dans les récepteurs tactiles de la peau qui recouvre le muscle (sensibilité épicrotique)

Les signaux somesthésiques ont un effet de rétrocontrôle positif qui accroît la contraction musculaire par exemple :

- Lorsque la contraction musculaire comprime la peau contre un objet (lors de la saisie d'un objet par exemple), les récepteurs tactiles (sensibilité épicrotique) émettent des signaux sensoriels augmentant la contraction musculaire et donc la puissance de la prise effectuée par la main.

## **Efférences du cortex moteur**

Les aires motrices controlatérales via le corps calleux.

Les noyaux gris centraux

La moelle épinière via la voie cortico-spinale

Les noyaux moteurs du tronc cérébral via la voie cortico nucléaire.

Les noyaux du tronc cérébral : réticulée ; noyaux vestibulaire d'où partent les faisceaux vers la moelle et le cervelet

## **Architecture du cortex moteur**

Le cortex moteur est stratifié, la population neuronale est disposée en six couches numérotées de I à VI en partant de la superficie. Chaque couche est identifiable par son épaisseur et l'aspect de ses neurones.

On a remarqué d'autre part que le volume du corps neuronal est lié à la distance que parcourt l'influx pour aboutir au motoneurone périphérique. C'est le cas de la couche V peuplée de grosses cellules de Betz, origine du faisceau pyramidal.

## **Projections motrices du cortex moteur**

### **Le réseau de la motricité volontaire**

Il relie directement le cortex primaire aux motoneurone somatiques des nerfs crâniens et rachidiens.

Schématiquement, l'influx emprunte un chemin fait de deux tronçons articulés au niveau d'un relais synaptique, là où s'établit la connexion entre les neurones centraux (corticaux) et les motoneurones  $\alpha$  périphériques. Dans l'ensemble, les fibres conductrices du premier tronçon sont organisées en deux faisceaux empruntant des voies distinctes :

- la voie cortico-nucléaire (= *faisceau géniculé*) aboutit aux relais du tronc cérébral
- la voie cortico-spinale (= *faisceau pyramidal*), plus longue, rejoint les relais médullaires. C'est à partir de ces relais que se constituent les les contingent moteurs des nerfs crâniens et rachidiens, lesquels se terminent à leur tour dans la musculature somatique des territoires correspondants.

### **La voie cortico-spinale**

Elle est destinée à la musculature du tronc et des membres. Elle part du cortex des 2/3 supérieurs de la frontale ascendante et de son prolongement sur la face

médiale de l'hémisphère. Les fibres vont avoir un trajet tout à fait remarquable :

- passent par la capsule interne en passant par son bras postérieur comme on le voit sur cette coupe horizontale.
- traverse le mésencéphale, occupant la partie moyenne du pied du pédoncule cérébral.
- Plus bas, la traversée du tamis de la réticulée protubérantielle le dissocie en fascicules
- se reconstitue au niveau bulbaire dont il forme le relief pyramidal appelé la pyramide bulbaire.

Lors de ce passage bulbaire se produit un phénomène remarquable. En effet le processus de décussation a lieu au niveau bulbaire : dans la partie basse du bulbe. La plus grande part des fibres croisent la ligne médiane en direction du cordon latéral de la moelle au sein duquel elles forment le faisceau cortico-spinal latéral (=faisceau pyramidal croisé). En effet 80 à 85% des fibres vont décusser.

Elles se terminent, au niveau segmentaire en faisant synapse avec les motoneurones alpha ( $\alpha$ ) de la colonne motrice antéro-latérale dont les axones innervent la musculature des membres.

En effet ces fibres participent préférentiellement au contrôle de la musculature des extrémités des membres en agissant sur les neurones moteurs responsables de la contraction musculaire. Elles exercent également une influence sur les arcs réflexes qui contrôlent les mouvements fins des extrémités des membres et des muscles proximaux des membres.

Les fibres qui n'ont pas croisé continuent le trajet initial, gardant leur situation ventrale qu'elles occupaient dans la pyramide nucléaire et descendent dans le cordon antérieur de la moelle en longeant la fissure antérieure, formant ainsi le tractus cortico-spinal antérieur ou médial (= faisceau pyramidal direct) qui s'épuise à la partie moyenne de la moelle thoracique.

De plus, un grand nombre de fibres corticospinales médiales émettent des collatérales qui franchissent également la ligne médiane et innervent de manière bilatérale ces interneurones. Le site de projection de cette voie est donc majoritairement bilatéral. Ces fibres se projettent préférentiellement sur les

motoneurones  $\alpha$  qui contrôlent la musculature proximale des membres (muscles des épaules) et surtout ceux qui contrôlent la musculature axiale (muscles de la nuque et du tronc). Cette voie contribue ainsi particulièrement au maintien de l'équilibre et de la posture= On oppose donc ce système qui intervient dans le Statique à celui de la voie croisée qui agit sur le dynamique.

Les motoneurones périphériques  $\alpha$  innervent directement la musculature striée, ils constituent la voie finale commune du système de la motricité. Son interruption est cause de paralysie flasque et amyotrophie, tandis que l'atteinte du neurone central s'exprime par des déficits marqués par des symptômes d'hypertonie et de spasticité.

### **La voie cortico-nucléaire**

Elle relie le cortex du pied de la frontale ascendante (gyrus précentral) aux noyaux somatiques originaires des nerfs crâniens. Son faisceau de fibres subit une torsion dans la traversée du centre ovale qui l'oriente vers le genou de la capsule interne, (d'où son ancienne appellation de faisceau géniculé). Il passe ensuite dans le mésencéphale où il occupe le 1/5 médial du pied du pédoncule cérébral, entre le locus Niger et l'espace inter pédonculaire. C'est à partir de là que ses fibres croisent la ligne médiane au fur et à mesure qu'elles descendent dans le tronc cérébral, elles y font synapse avec les motoneurones regroupés dans les noyaux des nerfs crâniens.

Les neurones contrôlant les muscles de tête et du cou forment le faisceau cortico-bulbaire, organisé de manière superposable au faisceau cortico-spinal. Ses axones quittent la voie cortico-spinale à différents niveaux du tronc cérébral pour innerver les noyaux moteurs et sensoriels des nerfs crâniens.

## **Le système extra pyramidal**

**C'est une structure ancestrale en comparaison avec le système de la motricité volontaire.**

Ses multiples connexions directes ou par l'intermédiaire d'interneurones aux effets facilitateurs ou inhibiteurs modifient la réponse de la voie commune finale.

Le terme extrapyramidal pose un problème d'ordre terminologique. En effet, il faut distinguer entre deux utilisations pour le terme : Le système extrapyramidal qui fait souvent référence au système moteur régité par les ganglions de la base, et les voies extrapyramidales qui comportent les voies motrices qui descendent dans la moelle épinière indépendamment de la voie pyramidale.

A côté de la voie pyramidale, on trouve de nombreuses voies et circuits qui interviennent dans la motricité involontaire (notamment la posture et l'équilibre), dans l'automatisation des gestes et dans la coordination des mouvements.

Le système extrapyramidal quant à lui fait intervenir les ganglions de la base. Il s'agit d'un système de contrôle des mouvements volontaires. Lorsqu'un mouvement est initié par le système pyramidal, des collatérales vont partir vers les ganglions de la base pour informer le système extrapyramidal de la nature du mouvement à réaliser.

Ce système va analyser le mouvement cible et fournir un scénario neurologique (séries d'excitations et d'inhibitions des neurones pyramidaux du cortex moteur primaire) afin de réaliser le mouvement de la façon la plus appropriée et la plus fluide.

### **3.1.10.1 Rappel NGC**

Pour comprendre il faut en premier lieu se replonger dans les structures anatomiques concernées et ici les ganglions de la base :

- Du striatum, composé : - du noyau caudé - du putamen
- Du noyau lenticulaire, composé : - du putamen - du pallidum interne et externe
- Du noyau sous-thalamique
- De la substantia nigra ou substance noire.
- Du thalamus

### **La boucle cortico-striato-thalamo-corticale**

Cette boucle naît de l'aire motrice supplémentaire (AMS) et va passer par différentes structures. En premier lieu, l'AMS se projette dans le striatum. Celui-ci envoie un relais dans le pallidum interne. Le pallidum interne envoie un relais dans le thalamus et le thalamus envoie un relais dans l'AMS. Il s'agit bien d'une boucle cortico-striato-thalamo-corticale (le pallidum est zappé dans le nom). Cette boucle AMS -> striatum -> pallidum-> thalamus-> AMS est appelée boucle d'activation directe. Cette boucle qui passe par différentes structures permet soit le déclenchement d'un mouvement, soit son amplification, ou encore sa diminution ou son inhibition.

Il y a une autre boucle, dite boucle d'activation indirecte, qui passe par : - l'AMS - le striatum - le pallidum externe - le noyau sous-thalamique - le pallidum interne - le thalamus - l'AMS Cette voie module la voie directe.

**Boucle directe** : De façon très schématique il y a 4 neurones qui nous intéressent:

- le premier neurone (cortex vers striatum) est excitateur
- le deuxième neurone (striatum vers pallidum interne) est inhibiteur
- le troisième neurone (pallidum interne vers thalamus) est inhibiteur
- le quatrième neurone (thalamus vers cortex) est excitateur

Le premier neurone est excitateur et active les neurones du striatum. Les neurones du striatum sont inhibiteurs et donc inhibent les neurones du pallidum interne. Les neurones du pallidum interne sont inhibés et donc ne peuvent pas exercer leur action d'inhibition sur le neurone excitateur

qui va du thalamus au cortex. Les neurones du thalamus excitent bien ceux du cortex. Ainsi, le circuit direct initie le mouvement. C'est un système d'amplification.

**Boucle indirecte:** De façon schématique:

- le premier neurone (cortex vers striatum) est excitateur
- le deuxième neurone (striatum vers pallidum externe) est inhibiteur
- le troisième neurone (pallidum externe vers noyaux sous thalamiques) est inhibiteur
- le quatrième neurone (noyaux sous thalamiques vers pallidum interne) est excitateur
- le cinquième neurone (pallidum interne vers thalamus) est inhibiteur
- le sixième neurone (thalamus vers cortex) est inhibiteur

Dans ce cas les noyaux sous thalamiques ont une action excitatrice sur les neurones inhibiteurs du pallidum interne. Ainsi, les neurones du pallidum interne peuvent inhiber les neurones du thalamus et le thalamus n'active plus les neurones du cortex. Le mouvement est supprimé.

Dans la physiologie les voies directes et indirectes sont en équilibre.

**Voie dopaminergique:** Il existe une voie dopaminergique extrêmement puissante qui renforce la voie directe et inhibe un peu la voie indirecte ce qui facilite le mouvement.

Cette voie prend sa source dans le locus Niger. Ce noyau mésencéphalique possède deux parties dont une appelée la partie compacta (pars compacta) et qui possède ces neurones dopaminergiques qui vont agir sur le striatum et participer ainsi au contrôle de la motricité.

## **Physiopathologie des mouvements anormaux**

### ***Maladie de Parkinson***

C'est une maladie d'installation, d'aggravation progressive et chronique qui associe :

- des tremblements de repos : contractions successives d'agonistes et d'antagonistes
- une hypertonie plastique en "tuyau de plomb", avec sensation de roue dentée lors de la mobilisation du bras. Il y a des déformations posturales - un ralentissement moteur (bradykinésie) et des mouvements d'amplitude réduite (hypokinésie)

Cette maladie est liée à la mort cellulaire des neurones dopaminergiques de la substance noire. C'est une maladie dégénérative dont les symptômes apparaissent après que 80% des neurones aient été détruits (on arrive un peu trop tard...). Il n'y a plus d'expression faciale, le mouvement est très difficile à initier. Les patients atteints de cette maladie ont une marche à petits pas, c'est-à-dire que la longueur du pas est inférieure à la longueur du pied. Ils ont aussi beaucoup de mal à passer les obstacles. La maladie de Parkinson est donc due à un déficit en dopamine. Ainsi la voie directe n'est plus excitée et la voie indirecte n'est plus inhibée et devient prédominante. Le mouvement est réduit.

### **Hémiballisme**

Dans cette maladie il y a :

- des mouvements balistiques involontaires
- ça commence par un groupe musculaire et ça gagne le reste du membre en quelques jours
- des mouvements continus et rotatoires

Cette maladie est due à la lésion du noyau sous-thalamique qui diminue donc l'activité inhibitrice du pallidum interne. Cela conduit à l'augmentation de l'activité des noyaux thalamiques. La voie indirecte est donc inhibée et la voie directe est activée. Ces lésions du noyau sous-thalamique sont dues à des petits AVC.

Cette maladie est horrible, on ne peut plus dormir du fait des mouvements incessants, sauf sous anesthésie. On peut poser aujourd'hui des pacemakers dans le cerveau pour moduler l'activité cérébrale.

## Voies extrapyramidales :

Les voies extrapyramidales comportent quatre faisceaux principaux répartis en 2 voies principales :

- La voie latérale représenté uniquement par le faisceau rubro-spinal. Cette voie est dite latérale car elle va se situer géographiquement dans la partie latérale de la moelle juste en avant du faisceau Pyramidal croisé.
- La voie antérieure est quant à elle faite de plusieurs tractus occupant dans le cordon antérieur de la moelle une aire aux limites imprécises. Leur tassement constitue un faisceau de fibres désigné par l'acronyme FAM ou faisceau antéro-médial. Ils sont traçables d'après leurs origines (réticulaire, vestibulaire, tectale)
  - Le faisceau vestibulo-spinal est impliqué dans le contrôle de l'équilibre.
  - Le faisceau réticulo-spinal joue un rôle dans le tonus musculaire, la marche et les ajustements posturaux automatiques.
  - Le faisceau colliculo-spinal (ou tecto-spinal) connecte le tectum (ensemble des 4 tubercules quadrijumeaux) du mésencéphale avec la moelle épinière. Il contrôle les mouvements de la tête en réponse à des stimuli visuels et auditifs.

### **Le tractus rubro-spinal**

Le noyau rouge, situé dans le mésencéphale, fonctionne en étroite relation avec le cortex moteur. Tout comme ce dernier, il présente une organisation somatotopique des muscles du corps mais la représentation de chaque muscle y est cependant moins précise. Il présente également d'étroites connexions avec le cervelet (groupe des noyaux interposés et noyau dentelé) et participe au contrôle de certains gestes des membres supérieur.

En effet La voie latérale extrapyramidale est représentée exclusivement par le tractus rubro-spinal qui descend devant le tractus cortico-spinal latéral. Elle s'articule avec les motoneurones contrôlant la musculature des membres à l'exclusion des doigts.

Le noyau rouge est un relais sous-thalamique interposé entre le mésencéphale et le cervelet. Son rôle serait prédominant chez le nourrisson durant l'étape de maturation du cortex cérébral, et ce en contrôlant certains aspects de la motricité instinctive, tels la tétée, la déglutition, le ramper. Autre manifestation de cette activité réflexe est sa contribution à l'équilibre postural par le balancement des bras durant la marche. Ce noyau interviendrait, d'autre part, dans l'activité motrice volontaire en suppléant le système pyramidal dans le contrôle de la musculature des membres à l'exclusion des doigts.

Le schéma ci-contre montre le tracé du tractus rubro-spinal, remarquable par

- sa décussation (de Forel) au niveau mésencéphalique
- sa connexion - via l'olive bulbaire - au cortex de la zone médiale du cervelet
- la position de son segment médullaire en avant du faisceau pyramidal croisé.

### **Les voies antérieures**

Cinq principales structures du tronc cérébral exercent un rôle moteur :

- Le noyau rouge vu précédemment
- Le colliculus supérieur
- le noyau vestibulaire
- la formation réticulée

D'un point de vue quantitatif et fonctionnel, les projections du noyau vestibulaire et de la formation réticulée sur la moelle spinale sont les plus

importantes. Ces deux structures se projettent sur la zone intermédiaire et la corne antérieure de la moelle en relation avec le contrôle de la musculature axiale et proximale des membres. Le noyau vestibulaire et la formation réticulée sont fortement impliqués dans le contrôle de l'équilibre et de la posture.

Le colliculus supérieur des projections moins importantes vers la moelle et ces projections se limitent à la moelle cervicale.

Le colliculus supérieur est surtout impliqué dans le contrôle des mouvements oculaires conjugués et ses projections sur la moelle participent au contrôle des mouvements de la tête.

### **Le faisceau tectospinal**

Le faisceau tectospinal prend son origine au niveau du colliculus supérieur (les colliculi forment le tectum). Les axones croisent la ligne médiane, juste en dessous de la substance grise périaqueducale, puis descendent dans le cordon ventral de la moelle et se terminent sur les interneurons du groupe médial de la moelle cervicale. Le faisceau tectospinal constitue un élément d'appoint dans la coordination des réflexes posturaux en réponse aux stimulations visuelles et auditives.

### **Le faisceau réticulo-spinal**

Les dendrites des neurones de la formation réticulaire sont perpendiculaires à l'axe du tronc cérébral alors que les axones sont parallèles à cet axe. L'ensemble constitue avec les fibres ascendantes et descendantes un réseau à larges mailles (à la différence des noyaux sensitifs et moteurs du tronc cérébral, aux limites bien définies), réalisant un système multi synaptique d'intégration. La formation réticulaire est l'équivalent d'un tamis à trous différents bloquant ou facilitant le passage des influx. Elle a des fonctions diverses, parmi lesquelles le contrôle cardiovasculaire et respiratoire, la régulation de la veille et du sommeil, ainsi que

divers aspects de contrôle de la motricité (stabilité posturale et maintien de l'équilibre, ensemble avec le noyau vestibulaire du tronc cérébral.

En d'autres termes la rétillée est une "tour de Babel" du cerveau, une plateforme d'échange et d'association d'information entre les différents sens, une zone de confluence des informations sensitivo (subjectives : D+, T°) - sensorielles (objectives : organe des sens). C'est donc une partie de la voie non spécifique du traitement de l'information. Ensemble avec le système limbique, elle participe au traitement subjectif de l'information en fonction des acquis, des antécédents personnels, socio-culturels etc. C'est ce que l'on appelle le système réticulé activateur ascendant (S.R.A.A.). Elle active le stimulus et les associations qui le concernent. Elle inhibe les stimuli en provenance d'horizons sensoriels momentanément moins importants.

La formation réticulée du tronc cérébral assure aussi plusieurs fonctions dans le domaine de la motricité. Son rôle est primordial dans l'inhibition du réflexe myotatique et dans le contrôle préalable et unilatéral de la musculature corporelle.

La formation réticulée est constituée d'un amas de neurones disséminés dans un réseau complexe de filets nerveux situés au centre du tronc cérébral. Elle s'étend du mésencéphale au bulbe et est divisée en 2 groupes principaux :

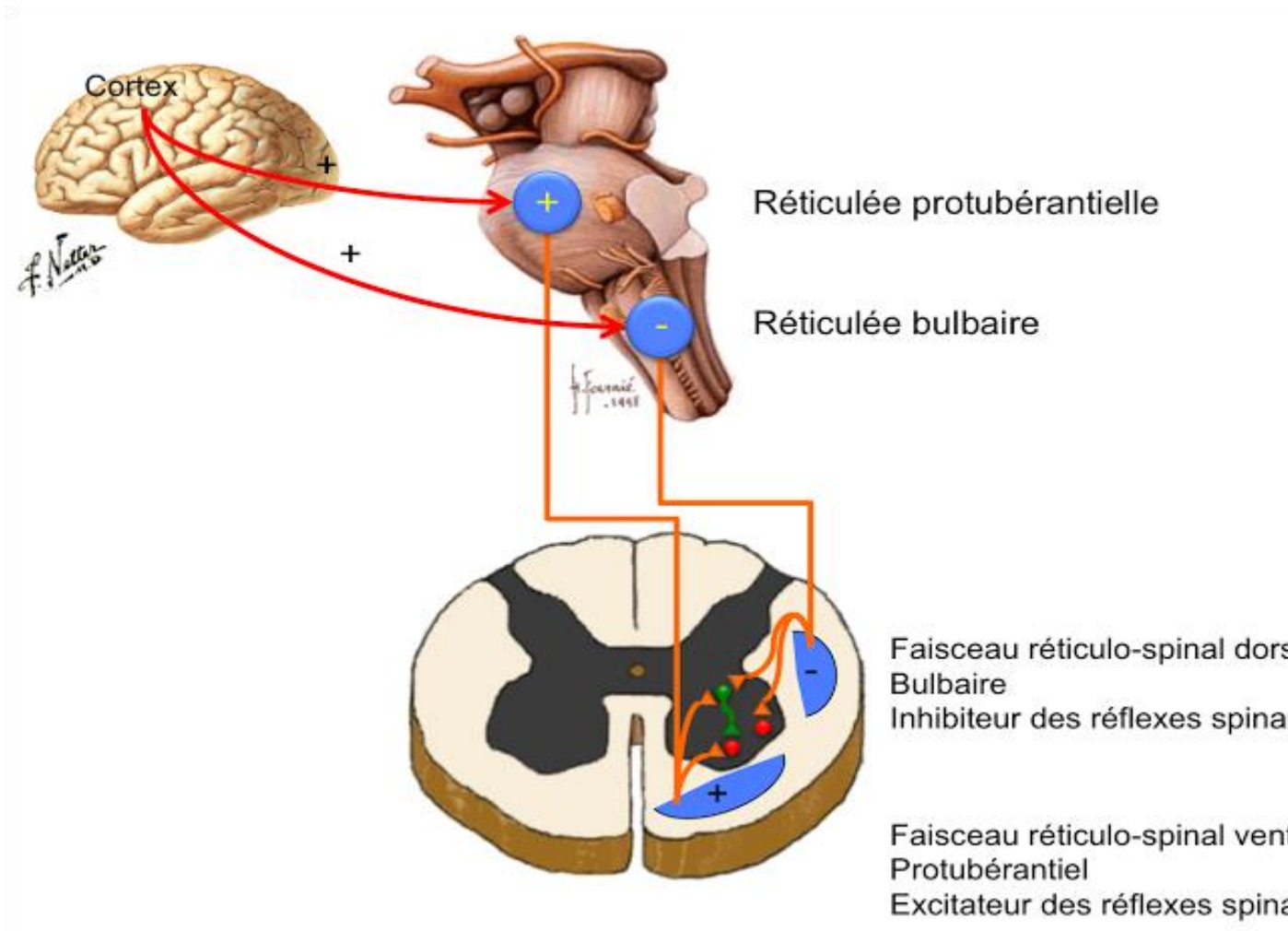
- les noyaux réticulés protubérantiels qui sont légèrement postérieurs et latéraux dans le pont et s'étendent jusqu'au mésencéphale
- les noyaux réticulés bulbaires allongés sur toute la hauteur du bulbe et situés en avant et plutôt à l'intérieur, près de la ligne médiane

La voie réticulo-spinale comporte deux faisceaux de fibres qu'on identifie d'après leur niveau d'origine et leur topographie médio-latérale :

- Le tractus réticulo-spinal médial provient de la de la rétillée du pont.
- Le tractus réticulo-spinal latéral provient de la rétillée bulbaire.
- 

Ces deux groupes de noyaux ont des rôles moteurs antagonistes :

- le groupe protubérantiel est excitateur des muscles antigravitaires (luttant contre la pesanteur)
- le groupe bulbaire est inhibiteur de ces mêmes muscles



La formation réticulée pontique constitue un système activateur descendant. Les fibres réticulo-spinales se connectent par des voies directes ou indirectes sur les motoneurones  $\alpha$  et  $\gamma$ . Les synapses activatrices entraînent une augmentation du tonus musculaire et des réflexes médullaires, en général. La formation réticulée bulbaire constitue un système inhibiteur descendant sur les mêmes motoneurones).

Ces deux systèmes antagonistes exercent leurs effets de façon simultanée : le tonus dépend de l'équilibre entre les deux. Pendant le sommeil, le tonus diminue ou disparaît complètement pendant la phase de sommeil paradoxal. La formation réticulée est responsable des ajustements à-priori du tonus musculaire en vue de la réalisation du mouvement.

## **Le tractus vestibulo spinal**

Les noyaux vestibulaires participent, en association avec les noyaux réticulés protubérantiels à la stimulation des muscles antigravitaires. Ces deux systèmes émettent de puissants signaux excitateurs sur les muscles axiaux qui luttent contre la pesanteur. La fonction spécifique des noyaux vestibulaires est d'ajuster les stimulations des différents muscles antigravitaires en fonction des informations sensorielles fournies par l'appareil vestibulaire.

Les projections du noyau vestibulaire sur la moelle sont représentées par les faisceaux vestibulospinaux médian et latéral.

Les faisceaux vestibulo-spinaux latéral et médial prennent leur origine dans le noyau vestibulaire latéral et médial respectivement. Le noyau vestibulaire latéral reçoit les projections des fibres du nerf VIII qui véhiculent les messages issus des canaux semi-circulaires et des organes otolithiques. Le noyau vestibulaire médial reçoit les projections des fibres du nerf VIII qui véhiculent les messages issus des canaux semi-circulaires.

Les signaux issus du labyrinthe véhiculent des informations relatives à la position et aux mouvements de la tête dans l'espace (informations statiques et dynamiques).

En d'autres termes les noyaux vestibulaire qui sont au nombre de 4 (supérieur, médial, latérale et inférieur) reçoivent des informations de la périphérie par le nerf vestibulaire branche du nerf vestibulo-cochléaire (VIII).

De là ils se projettent sur le cervelet, sur le thalamus et sur les noyaux des nerfs oculo moteurs comme on peut le voir ici.

L'information intégrée par les centres supérieurs donne naissance à une réponse adaptative qui emprunte la voie vestibulo spinale médiale ou latérale comme on le voit représenté sur ce schéma.

Les deux tractus vestibulo-spinaux activent les motoneurones de la musculature antigravitaire dont l'effet global est d'assister le reflexes myotatique segmentaire en renforçant le tonus des extenseurs du tronc et des membres, et ce en induisant un surplus d'effort nécessaire au maintien de la posture érigée.

De plus, quelques fibres du faisceau médial se terminent dans les motoneurones de la nuque, intervenant ainsi dans la coordination des mouvements des yeux et du cou.

**L'équilibre postural** reflète l'état du tonus actif, accompagnateur de mouvement, son ajustement est soumis au contrôle du cervelet en réponse aux informations proprioceptives provenant des récepteurs labyrinthiques, des muscles (fuseaux neuromusculaires, organes de Golgi), des capsules articulaires, des téguments, ainsi que des autres organes sensoriels (vision, audition).

Le contrôle de cet équilibre s'exprime par des réflexes qui consistent à :

- rattraper un déséquilibre imprévu ;
- prévenir le risque d'instabilité ;
- apprécier visuellement l'espace adaptable à la position verticale ;
- adapter le tonus musculaire à l'activation des canaux semi-circulaires durant une activité nécessitant stabilité et attention ;

### **La coordination oculo-céphalogyre**

Utilise la voie la voie vestibulo-oculomotrice qui relie le complexe vestibulaire aux noyaux oculo-moteurs (III, IV, VI). Elle constitue le substratum anatomique du réflexe vestibulo-oculaire et du nystagmus.

Le déplacement de la tête vers une direction donnée entraîne automatiquement celui des globes oculaires, de même amplitude, mais de sens opposé. Ce réflexe vestibulo-oculaire permet ainsi au regard de rester fixé sur l'objet immobile quand la tête et le corps sont en mouvement.

#### **Repères de la voie vestibulo-oculomotrice**

On reconnaît, de haut en bas :

- les deux globes oculaires maintenus en équilibre horizontal par les muscles droits latéral (dL) et médial (dM),
- l'aspect dorsal du tronc cérébral où figurent :

- la bandelette longitudinale médiane (blm)
- les noyaux oculomoteurs :
  - III (oculomoteur),
  - IV (trochléaire),
  - VI (abducens).
- les quatre noyaux vestibulaires (nv) de chaque côté.
  - La tête en position neutre, flanquée des deux canaux horizontaux, droit (chD) et gauche (chG), l'implantation postérieure dans l'utricule (U), correspond à l'ampoule où siège le récepteur vestibulaire sur lequel repose la cupule gélatineuse. De sa base se détachent les dendrites du nerf vestibulaire, ils aboutissent aux corps cellulaires situés dans le ganglion de Scarpa (gS), les axones issus de ce dernier constituent la racine vestibulaire (rv) qui se termine dans le noyau vestibulaire médial correspondant.

### **Mise en évidence du reflexe**

Soit un mouvement de rotation de la tête vers le côté gauche. L'ébranlement des cupules provoqué par le déplacement de l'endolymphe active les cellules ciliées du canal gauche tout en inhibant celles du canal droit.

Les influx qui en partent aboutissent au noyau vestibulaire médial de chaque côté.

Les axones de ces derniers croisent la ligne médiane et montent vers les noyaux oculomoteurs du VI et du III en empruntant la bandelette longitudinale médiale. Il en résulte la contraction du muscle droit latéral du côté droit et du muscle droit médial du côté gauche. Simultanément, leurs antagonistes respectifs sont par contre inhibés.

Ainsi, la rotation de la tête vers la gauche entraîne le déplacement réflexe des globes oculaires vers la droite. Ce réflexe compensatoire assure l'équilibre et le maintien du champ visuel où se projette l'objet observé.

Tout se passe comme si rotation de la tête dans un sens est automatiquement compensée par la déviation des yeux dans l'autre sens, et ce dans le même ordre d'amplitude.

Il ressort de ce qui précède que la principale fonction du système vestibulaire réside dans l'adaptation des mouvements oculaires à ceux de la tête afin que l'image projetée sur la rétine reste stable quelle que soit la position du corps.

### **Rôle des projections motrices du tronc cérébral**

La plupart des mécanismes et circuits impliqués dans le contrôle moteur exercé par le tronc cérébral sur la moelle ont été décrits chez l'animal quadrupède. Ces mécanismes sont encore partiellement décrits chez l'homme.

Deux mécanismes d'adaptation peuvent être décrits : d'une part les adaptations anticipées par rapport aux mouvements volontaires (réponses proactives), d'autre part les adaptations réactionnelles à des perturbations inattendues de la stabilité (réponses rétroactives).

Ces structures permettent de compenser par anticipation les modifications de stabilité induites par un mouvement volontaire. Par exemple, le fait de tirer horizontalement sur une porte lourde nécessite la contraction préalable des muscles des jambes pour contrecarrer le déplacement du corps vers l'avant. Cette anticipation motrice relève d'une réponse préprogrammée initiée par le tronc cérébral. Les mouvements volontaires, émanant du cortex empruntent en effet deux voies : une voie directe cortico-spinale et une voie indirecte allant du cortex sur le tronc cérébral et de là à la moelle. La substance réticulée est l'une de ces structures intermédiaires, la voie en question étant la voie cortico-réticulo-spinal. Les neurones corticaux induisent donc un mouvement volontaire d'un membre et les adaptations posturales nécessaires au maintien de la stabilité du corps.

Ces structures permettent également d'adapter la posture en réaction à des changements de stabilité détectés par les organes sensoriels. Le noyau

vestibulaire détecte ainsi les mouvements de la tête et transmet, via des projections directes sur la moelle, des messages compensateurs rapides. Les informations issues des organes tendineux de Golgi, des fuseaux neuromusculaires et du système visuel viennent compléter ces signaux sensoriels.

Le tronc cérébral exerce ainsi un rôle moteur sur

- l'équilibre
- la posture
- la locomotion
- les mouvements oculaires