

NEURO-ANATOMIE FONCTIONNELLE (Version 2007)

Professeur Outrequin

" Les hiérarchies fonctionnelles du Système Nerveux Central
sont fondées sur la Phylogénèse "

Préface

Ce cours est le résultat d'un enseignement de la neuro - anatomie effectué pendant de très longues années. Il s'agit d'une pédagogie concentrée, synthétique et orientée principalement vers la fonction et la physio - pathologie - "savoir pour comprendre" - dans les délais les plus brefs. Cette contrainte fut très enrichissante pour l'enseignant, tout autant que les questions inopinées qui surgissent dans des esprits neufs et non préparés.

Merci à mes auditeurs qui m'ont ainsi imposé une gymnastique intellectuelle allant des développements minutieusement détaillés, aux analogies les plus audacieuses. Ce jeu, fut un excellent entraînement de musculation cérébrale, pour l'enseignant et les enseignés. Dans le feu de l'action et de l'inspiration, cet outil a été forgé et taillé sur mesure, pour un enseignement rapide, qui se voulait efficace.

Le plan adopté ici (Généralités, Cerveau, Moelle épinière; Tronc cérébral, Cervelet) n'est pas classique. Il répond aux nécessités de précéder ou d'accompagner, au plus près, l'enseignement clinique et les stages hospitaliers. Mais il répond aussi à une logique pédagogique, car c'est dans le cervelet que se déroulent les boucles essentielles de la **fonction motrice**. C'est le niveau des grandes synthèses, en fin de cours.

Il me plaît d'évoquer ici mes Maîtres dans cette discipline, les Professeurs Villemin, Dufour et Rigaud à Bordeaux, le Professeur A.Delmas à Paris, ainsi que mes collègues les Professeurs A.Gouazé et M.Caix, pour leur dire ma gratitude.

Les ouvrages de références (traités, monographies, articles) consultés au cours de ces longues années, sont trop nombreux pour être cités ici, mais je garde un culte particulier pour les livres de Bossy, Gouazé, Wilkinson, Eccles, Godeaux et, très spécialement, De Meyer.

Bossy J. (1990) Neuro - anatomie Springer - Verlag France ed. Paris

Delmas A. (1975) Voies et centres nerveux Masson et Cie ed. Paris

De Meyer W. (1974) Technique of the neurological examination. A programmed text. 2nd. ed. McGraw - Hill Book Company New - York

Dubuc B. Le Cerveau à tous les niveaux !

sur <http://lecerveau.mcgill.ca>

Duus Peter (1998) Diagnostic neurologique – Les bases anatomiques
De Boeck Université – Thième - Bruxelles

Eccles J.C. (1992) Evolution du cerveau et création de la conscience
Fayard (Le temps des sciences) ed. Paris

Godeaux E., Chéron G. (1989) Le mouvement Medsi/McGraw - Hill ed. Paris

- Gouazé A. (1983) L'examen neurologique et ses bases anatomiques
Expansion scientifique française. Paris
- Gray's Anatomy Descriptive and applied. T.B. Johnston and J. Whillis. (1946)
Longmans, Green and Co. London.
- Paturet G. (1964) Traité d'Anatomie humaine T. IV Système nerveux Masson Ed.
Paris
- Pritchard T.C. Alloway K.D. (2002) Neurosciences médicales.
De Boeck Université Bruxelles
- Schmidt R.F. Dudel J. Jänig W. et Zimmermann M. Neurophysiologie
(Traduction française Richard D. 1964) Librairie Le François Ed. Paris
- Wilkinson J.L. (1992) Neuroanatomy for Medical Students Butterworth - Heinemann
Ltd ed. London
-

Internet www.anatomie-humaine.com/neuroanatomie

NEURO - ANATOMIE FONCTIONNELLE

(Version 2007)

1. PRESENTATION

1.1.- Introduction

Pour se mouvoir et survivre, les animaux et l'homme doivent être **informés** de l'état du milieu extérieur dans lequel ils sont situés et dans lequel ils doivent organiser leur comportement (chaîne fonctionnelle: information - traitement de l'information - action).

1.2.- Subdivisions du système nerveux

Les appareils anatomiques responsables de ces fonctions essentielles sont les appareils de la vie de relation qui se composent de :

- a) - **l'appareil de la locomotion** (squelette, articulations, muscles) étudié ailleurs,
- b) - **l'appareil de l'innervation**
- c) - **l'appareil sensoriel** (organes du toucher, du goût, de l'olfaction, de la vue et de l'audition).

Ces appareils sont sous la dépendance du *système nerveux cérébro-spinal* qui comprend le système nerveux central et le système nerveux périphérique.

De plus, les régulations du milieu intérieur, qu'elles soient humorales, sécrétoires, vaso - motrices ou viscérales dépendent d'un système nerveux particulier, appelé *système nerveux végétatif* ou *autonome*, comprenant lui-même deux parties :

- * **le système nerveux orthosympathique**, (en nouvelle nomenclature : partie sympathique)
- * **le système nerveux parasympathique**. (en nouvelle nomenclature : partie parasympathique)

En résumé, les différentes parties du système nerveux peuvent être disposées dans le tableau portant le numéro 1.2.

1.2. SUBDIVISIONS DU SYSTEME NERVEUX

S.N. CEREBRO-SPINAL	SYSTEME NERVEUX CENTRAL: CERVEAU, TRONC CEREBRAL, CERVELET, MOELLE EPINIÈRE	FONCTION MOTRICE	FONCTION SENSITIVE
Syst.Nerveux de la vie de relation avec le milieu extérieur	SYSTEME NERVEUX PERIPHERIQUE: Nerfs Spinaux, Plexus, Troncs nerveux périphériques (N.Médian, N.Sciatique, etc.....) ----- Nerfs craniens: - Nerfs somitiques - Nerfs branchiaux	INNERVATION DES FIBRES MUSCUL. STRIEES	INNERVATION SOMATIQUE SENSITIVE ET SENSORIELLE
S.N.VEGÉTATIF OU AUTONOME	PARTIE PARA-SYMPATHIQUE	INNERVATION DES FIBRES MUSCUL. LISSES	INNERVATION SENSITIVE VISCERALE ET GLANDULAIRE
Syst.Nerveux de la régulation du milieu intérieur (viscères, glandes)	PARTIE SYMPATHIQUE (anc. ortho-sympathique)		

2. - GENERALITES :

2.1.- LE TISSU NERVEUX : Le tissu qui constitue le substratum du système nerveux est très spécialisé dans sa morphologie et dans ses fonctions. Il est hautement spécialisé dans la réception des excitations (ou stimuli) venant du milieu extérieur. Ces informations sont transmises sous la forme d'influx nerveux aux centres fonctionnels chargés d'élaborer une réponse, qui est adressée aux organes effecteurs (voir schéma de l'organisation générale du système nerveux). De plus, une multitude d'informations parviennent au niveau des centres nerveux qui en font la synthèse et construisent une réponse adaptée, immédiate ou différée (stockée en mémoire). Cette assimilation d'informations diverses s'appelle **INTEGRATION**. [S.01]
L'intégration concerne les fonctions très supérieures comme la conscience, le langage, la mémoire et l'apprentissage.

2.2.- LA CELLULE NERVEUSE

2.2.1.- Caractères généraux :

La cellule nerveuse s'appelle **neurone**. Le neurone dérive d'une cellule souche embryonnaire appelée neuroblaste. Notre capital de neurones étant fixé dès la naissance, aucune autre division de la cellule souche ne pourra donner de nouveaux neurones. Toute destruction de neurones après la naissance est définitive. Le neurone est une unité fonctionnelle traversée par l'influx nerveux dans un seul sens : il est donc polarisé. C'est aussi une unité trophique car tout segment du neurone qui est séparé du corps cellulaire dégénère et disparaît.

2.2.2. - Morphologie des neurones [S.03]

Il convient de distinguer le corps cellulaire et ses expansions. [S.02]

a) - le corps cellulaire ou périkaryone entoure un gros noyau. Le corps cellulaire a souvent une forme étoilée.

Sa membrane est formée de deux couches de molécules de phospho-lipides présentant des orifices ou canaux (ou pores membranaires), permettant les échanges ioniques (Na⁺), (K⁺) et (Cl⁻) avec l'extérieur de la cellule. Le cytoplasme contient des inclusions: des mitochondries, petits organes intra-cellulaires qui fournissent l'énergie nécessaire au métabolisme cellulaire et des inclusions sécrétoires appelées corps de Nissl ou substance tigroïde. Ces inclusions disparaissent avec la fatigue nerveuse et au cours de la dégénérescence.

Le cytoplasme contient aussi de la mélanine sous forme de pigments jaunâtres et noirs. Il existe enfin des inclusions spécifiques qui sont les neurofibrilles. Elles sont libres ou anastomosées entre elles. On a pensé qu'elles jouaient un rôle dans la conduction et la transmission de l'influx nerveux à l'intérieur du corps cellulaire.

b) - Les expansions sont de deux sortes et elles partent du corps cellulaire. Ce sont :

- les **dendrites**, prolongements protoplasmiques ramifiés.
- l'**axone**, prolongement unique qui possède des branches collatérales et se termine par une arborisation de fibres dont chacune des branches aboutit à la plaque motrice d'une

fibre musculaire, dans le cas d'un axone moteur. L'ensemble du corps cellulaire, de l'axone et des fibres musculaires qui en dépendent, constitue l'**UNITE MOTRICE**. Recouvert de ses gaines, l'axone prend le nom de cylindraxe ou fibre nerveuse. Les nerfs sont donc formés d'une multitude de fibres nerveuses groupées en faisceaux.

- On peut se faire une idée des proportions relatives des différentes parties d'un neurone en multipliant artificiellement leur dimension réelle par mille. Ainsi un gros motoneurone lombaire aurait les dimensions suivantes :

- * - Le corps cellulaire aurait le volume d'un pamplemousse.

- * - Les dendrites auraient 2 à 5 mètres de long

- * - Le cylindraxe des neurones les plus longs, serait un câble d'un kilomètre de long et de deux centimètres de diamètre.

C'est le cylindraxe ou axone qui a pour fonction de conduire l'influx nerveux.

2.2.3. - Variétés de neurones [S.03]

a) - Les neurones multipolaires. Situés dans le névraxe, ce sont les plus nombreux et les plus typiques. Ils sont de forme étoilée. Ils ressemblent au neurone pris pour type de description. Ils ont un seul axone mais plusieurs dendrites. Les influx nerveux parviennent au corps cellulaire par les multiples pôles dendritiques pour se diriger vers l'axone.

b) - Les neurones bipolaires. Ils possèdent un seul dendrite et un seul axone. Le sens de la propagation de l'influx nerveux se fait toujours du dendrite vers l'axone. De tels neurones existent dans la rétine.

c) - Les neurones en T semblent être unipolaires. En fait, leur forme spéciale résulte d'un accollement partiel entre le dendrite et l'axone. Ces cellules en **T** existent dans les ganglions spinaux. Ce sont les corps cellulaires des premiers neurones sensitifs.

2.2.4. – Plasticité neuronale

Bien que hautement spécialisée chez l'adulte, la cellule nerveuse est capable d'*adaptations synaptiques* pendant les périodes embryonnaire et fœtale, ainsi que dans la première décennie de la vie. Les circuits synaptiques, propres à un individu et supports de ses fonctions cérébrales, se construisent pendant cette période. Ceci souligne l'importance des facteurs nutritionnels et éducatifs, à ce moment là.

De plus, à l'âge adulte, les réseaux synaptiques gardent une capacité relative d'adaptation dans les circonstances suivantes. :

En cas de déficit neuronal partiel, fonctionnel ou organique, les réseaux peuvent, si les lésions locales le permettent, se réorganiser dans des circuits voisins, assurant ainsi des récupérations partielles ou des suppléances (Ex : suppléances des déficits sensoriels). C'est le rôle thérapeutique de la Rééducation fonctionnelle.

Il semble exister, en plus, une sensibilité accrue aux neuro-médiateurs dans les neurones actifs.

2.3.- LA FIBRE NERVEUSE ET SES GAINES [S.04]

La **fibre nerveuse** ou cylindraxe n'est autre que le prolongement d'un neurone (axone) entouré de gaine. Il existe deux sortes de gaines isolée ou associée entourant la fibre nerveuse : la gaine de **myéline** et la gaine **SCHWANN** ou neurilèmme.

Il existe donc quatre types de fibres nerveuses :

- * les fibres sans myéline ni gaine de Schwann : ce sont les fibres nues qui existent pendant le développement de l'embryon.
- * les fibres sans myéline mais à gaine de Schwann: ce sont les fibres de **REMAK**. Elles constituent les nerfs végétatifs (nerfs viscéraux). Elles sont de couleur grise.
- * les fibres myélinisées sans gaine de Schwann: ce sont les fibres de la substance blanche du système nerveux central et du nerf optique.
- * les fibres myélinisées avec gaine de Schwann: elles sont abondantes dans tous les nerfs périphériques. Ce sont les plus typiques et les plus perfectionnées.

La **myéline** est un mélange de lipides phosphorés. Elle donne à la fibre nerveuse une couleur blanc- mat caractéristique. Elle est considérée comme une réserve nutritive pour le cylindraxe et elle joue le rôle d'un isolant électrique. Elle protège la fibre nerveuse des courants d'influx venant des fibres voisines. La gaine de myéline présente des incisures (incisures de **SCHMIDT-LANTERMANN**) et des étranglements appelés noeuds de **RANVIER**.

La gaine de **SCHWANN** recouvre la gaine de myéline. Elle est formée de cellules plates soudées entre elles (c'est un Syncytium). Il existe un noyau ovalaire entre chaque étranglement de **RANVIER**.

2.4. - LES ORGANES NERVEUX : STRUCTURE ET REPARTITION DU TISSU NERVEUX

2.4.1.- Structure des nerfs périphériques [S.05]

Ce sont des cordons blancs, cylindriques ou aplatis, plus ou moins volumineux, durs, résistants et difficilement extensibles. Microscopiquement, ils sont formés de faisceaux de fibres nerveuses appelés faisceau de **KRAUSE**, entourés d'une gaine conjonctive (le **périnèvre**) qui envoie des cloisons appelées **endonèvres**. Il existe un tissu conjonctif appelé **épinèvre** autour du nerf. A l'intérieur du nerf, entre les faisceaux de Krause, courent des vaisseaux sanguins et lymphatiques (appelés **vasa nervorum**). Un traumatisme local peut provoquer un hématome interstitiel dans les gaines du nerf.

Les nerfs en s'éloignant du lieu de leur naissance diminuent progressivement de calibre en donnant des branches collatérales.

2.4.2.- Structure des organes du système nerveux central

Ils sont formés de deux substances : **la substance grise** et **la substance blanche**.

* **la substance grise** : périphérique et superficielle, au niveau du cerveau et du cervelet, elle est centrale dans la moelle épinière. Elle est composée des corps cellulaires des neurones, des dendrites et de la partie initiale des axones. Toutes les fibres qui pénètrent dans la substance grise perdent leur gaine de myéline.

* **la substance blanche** est profonde dans le cerveau et le cervelet. Elle est superficielle au niveau de la moelle épinière. Elle est formée de fibres nerveuses myélinisées. Elle est de ce fait plus ferme et plus résistante que la substance grise.

2.4.3. - La névroglie

A côté des neurones, cellules hautement spécialisées, on trouve dans les organes nerveux du tissu de soutien, tissu de remplissage appelé névroglie. Elle contient plusieurs types de cellules (Astrocytes, oligodendrocytes et microglies). Globalement, la névroglie forme une **matière interstitielle** interposée entre les capillaires sanguins et le tissu nerveux. Elle prend aussi l'aspect d'un épithélium de revêtement dans les cavités du système nerveux, par exemple le canal de l'épendyme dans la moelle ou les ventricules dans les hémisphères cérébraux. . De plus elle joue un rôle sécrétoire, car elle forme des pelotons épithéliaux appelés plexus choroïdes et elle intervient dans la sécrétion du liquide cérébro - spinal (ou liquide céphalo-rachidien).

En outre, c'est la névroglie (oligodendrocytes) qui est à l'origine des gaines de **SCHWANN** et de myéline. Contrairement aux apparences, ce tissu de soutien n'est pas un tissu conjonctif car il a la même origine embryonnaire que les neurones. En bref, c'est un tissu nerveux de soutien, de liaison et de revêtement. La névroglie joue un rôle trophique car elle est le milieu intermédiaire entre les vaisseaux et les neurones

Les recherches actuelles montrent que certaines de ses cellules (les astrocytes) assurent une régulation du transfert des neurotransmetteurs dans les synapses.

2.5.- CLASSIFICATION NEUROPHYSIOLOGIQUE DES FIBRES NERVEUSES

Il convient de distinguer séparément **les fibres sensitives et les fibres motrices**.

2.5.1.- LES FIBRES SENSITIVES

Il existe 4 catégories différenciées selon leur calibre et leur vitesse de conduction nerveuse.

a) - Groupe I : ce sont des fibres myélinisées de gros calibre. Elles transportent les influx de la sensibilité proprioceptive inconsciente. Elles proviennent des fuseaux neuro-musculaires et des récepteurs neuro-tendineux de Golgi. Elles se continuent par les voies spino-cérébelleuses.

b) - Groupe II : moins volumineuses, elles transmettent les influx de la sensibilité tactile épicrotique et proprioceptive consciente.

La sensibilité proprioceptive consciente (ou sens articulaire ou sens des positions) est aussi la *sensibilité profonde* des Cliniciens.

c) - Groupe III : moins volumineuses et à vitesse de conduction lente, elles transmettent les influx des sensibilités thermiques.

d) - Groupe IV : fibres très minces, sans gaine de myéline, elles jouent un rôle dans la transmission de la douleur.

Il existe deux classifications classiques des fibres sensibles, la classification de **LLOYD** et la classification de **ERLANGER** et **GASSER**.
(voir tableau).

2.5.1. CLASSIFICATION NEURO - PHYSIOLOGIQUE DES FIBRES NERVEUSES PERIPHERIQUES SENSITIVES

Classification fonctionnelle		Classification de LLOYD	Classification de ERLANGER-GASSER	Calibre
Systèmes sensitifs	Modalités			
Système spino - cérébelleux	Sensibilité proprioceptive inconsciente	Fuseaux N.M. : Ia Organes NT : Ib	A α	++++ 20 μ
Système lemniscal (informations)	Sensibilité tactile épicrotique + Sensibilité proprioceptive consciente (sens articulaire ou sens des positions) + Pallesthésie	II	A β	+++
Système extra – lemniscal (alarme)	Sens. thermiques Sens. tactile protopathique	III	A γ	++
	Sensibilité douloureuse	IV	A δ	+
SYSTEME NERVEUX VEGETATIF	Fibres pré-ganglionnaires (myélinisées)		B	
	Fibres post-ganglionnaires (amyéliniques)		C	

2.5.2.- LES FIBRES MOTRICES [S.06]

Il existe dans les nerfs périphériques deux sortes de fibres nerveuses motrices dont les corps cellulaires sont dans la substance grise de la moelle. Les corps cellulaires sont appelés **motoneurones**. On distingue :

a) - des motoneurones alpha (alphaphasique et alphanique) dont l'axone innerve les fibres musculaires squelettiques et sont responsables de l'activité musculaire et du mouvement.

b) - des motoneurones gamma qui innervent la partie musculaire des fuseaux neuro-musculaires qui sont responsables de la régulation du tonus musculaire.

2.6.- LA BIOLOGIE DU NEURONE

2.6.1.- METABOLISME DU NEURONE

Le métabolisme du neurone est semblable à celui des autres cellules. Mais étant très différencié il n'est pas capable de multiplication.

Son métabolisme est principalement basé sur la présence de glucose, d'oxygène et de co-facteurs vitaminiques. Deux substances lui sont spécialement indispensables : ce sont les vitamines B1 (ou Thiamine) et PP (Pellagra Preventing). La vitamine B1 assure l'utilisation complète des glucides et son absence provoque des neuropathies carencielles avec sclérose et dégénérescence des neurones. L'avitaminose PP, appelée Pellagre, provoque chez l'homme des troubles nerveux et mentaux par neuropathie et encéphalopathies carencielles.

Le neurone respire activement et il est très sensible à la privation d'oxygène. Les neurones du cerveau sont les plus vulnérables à l'anoxie et 3 minutes d'anoxie totale peuvent provoquer des lésions cérébrales irréversibles..

2.6.2. - LA DEGENERESCENCE WALLERIENNE

Lorsque le corps cellulaire d'un neurone est détruit, la fibre nerveuse dégénère totalement. Lorsque la fibre nerveuse est sectionnée, la partie distale, c'est à dire la partie qui est séparée du corps cellulaire, dégénère. C'est le phénomène de la dégénérescence wallérienne. Par contre la partie proximale, c'est à dire celle qui est restée en rapport avec le corps cellulaire, peut régénérer

2.6.3. - LA REGENERATION NERVEUSE [S.07]

La régénération nerveuse peut se présenter de différentes façons. Si la fibre nerveuse n'est pas sectionnée, mais comprimée (neuropraxie par hématome ou oedème interstitiel), l'influx nerveux est temporairement interrompu. La récupération spontanée survient dans un délai de 6 à 8 semaines.

Si la fibre nerveuse est interrompue avec conservation de ses gaines de SCHWANN et de myéline, la régénération se fait normalement à la vitesse approximative d'un millimètre par jour, et la fibre retrouvera son trajet normal en suivant les gaines.

Si les gaines sont interrompues, la fibre nerveuse peut repousser dans des gaines de voisinage et présenter éventuellement des fausses routes.

Si les gaines sont interrompues et les deux segments très écartés, les fibres n'étant plus guidées se recourbent en pelotons ou en boules appelés névromes, qui sont spécialement douloureux.

On distingue donc ainsi trois grands types de lésions nerveuses périphériques : ce sont **la neuropraxie, l'axotmésis, et le neurotmésis.**

2.6.4.- ARTICULATIONS ENTRE LES NEURONES: LES SYNAPSES [S.08]

a)- Synapses centrales :

L'ensemble du système nerveux central est constitué de multiples chaînes de neurones disposées bout à bout et en relation réciproque par leur pôle contraire. L'arborisation de l'axone est en effet en rapport avec les dendrites ou le corps du neurone suivant. Les connexions entre les neurones sont appelées **synapses**. Il existe donc des synapses axo-somatiques et des synapses axo-dendritiques. Certaines sont excitatrices, et d'autres, inhibitrices, assurant ainsi la régulation de la transmission synaptique.

Notion de densité synaptique : il existe environ 6000 synapses pour un motoneurone.

La transmission de l'influx nerveux dans la synapse se fait grâce à la libération locale de substance chimique (adrénaline, acétylcholine, dopamine etc...). **Ces substances sont appelées médiateurs chimiques ou neuro-transmetteurs.**

b)- Synapses périphériques : Elles sont représentées par la synapse neuro - musculaire de la plaque motrice des fibres musculaires.

2.7.-PROPRIETES ELECTROPHYSIOLOGIQUES DU NEURONE : INFLUX NERVEUX

2.7.1.- Mise en évidence de l'influx nerveux

L'influx nerveux résulte d'une variation transitoire, de l'ordre d'une milliseconde, de la répartition des ions situés de part et d'autre de la membrane cellulaire.

Dans le cas d'un neurone sensitif, l'influx nerveux prend naissance au niveau d'un récepteur périphérique et se propage le long de la fibre nerveuse jusqu'à son arborisation terminale. La naissance de l'influx nerveux est donc la conséquence de phénomènes physico-chimiques qui ont lieu au niveau du récepteur.

Dans le cas d'un neurone moteur, l'influx nerveux prend naissance à la jonction du corps cellulaire et de l'axone. Il est la conséquence de phénomènes physico-chimiques intervenus au niveau du corps cellulaire à la suite d'une stimulation du neurone moteur par un autre neurone.

On peut mettre en évidence l'existence de l'influx nerveux de la façon suivante :

Chez un animal dont on a dénudé un nerf moteur, les contractions musculaires, volontaires, spontanées, ou stimulées, persistent tout le temps que le nerf n'a

pas été écrasé, ligaturé ou sectionné. Les nerfs sont donc parcourus par "quelque chose" que **GALIEN** au II^{ème} siècle avant Jésus-Christ, appelait "un fluide". Bien que les nerfs et les muscles soient très sensibles au courant électrique et bien que l'on puisse enregistrer à leur contact des phénomènes électriques, l'influx nerveux n'est pas un courant électrique. Ceci est démontré par les deux faits suivants.

a) - un nerf écrasé qui ne conduit plus l'influx nerveux transmet encore, par diffusion, des courants électriques qui sont enregistrables sur le nerf en aval de l'écrasement mais sans effet moteur sur le muscle.

b) - un nerf intact conduit le courant électrique à la vitesse de la lumière (300.000 kilomètres/seconde) alors que l'influx nerveux n'est transmis qu'à une vitesse comprise entre 1 et 100 m/seconde (en fait chez l'homme 49m/s pour les nerfs du membre supérieur et 42m/s pour les nerfs du membre inférieur).

Quoique l'influx nerveux ne soit pas un courant électrique on peut enregistrer le passage de l'influx, car son existence est liée à la production d'un champ électrique. Celui-ci est de faible intensité et l'enregistrement nécessite des amplificateurs et des galvanomètres très sensibles (oscilloscope à tube cathodique).

On peut enregistrer et étudier ainsi soit un potentiel d'action émis au cours du fonctionnement normal du système nerveux, soit un potentiel d'action provoqué par une stimulation électrique portée sur le nerf.

Sur l'oscilloscope cathodique on obtient un premier accident de la ligne de base isoélectrique que l'on appelle "artéfact de stimulation" qui est pratiquement contemporain de la stimulation. On obtient ensuite un second accident appelé potentiel d'action qui répond au passage de l'influx nerveux. Il apparaît avec un retard de quelques millisecondes. En mesurant le temps qui sépare l'artéfact et le potentiel d'action, en connaissant la longueur parcourue sur le nerf, on peut mesurer la vitesse de la conduction nerveuse (motrice ou sensitive). Toutes ces explorations se font dans les services de Neurophysiologie clinique (Explorations fonctionnelles de Système nerveux).

2.7.2.- Polarisation de la fibre nerveuse au repos : potentiel de membrane ou potentiel de repos. [S.09]

Comme toute structure vivante, la fibre nerveuse est polarisée. Si on introduit à l'intérieur de la fibre une micro-électrode on enregistre, entre celle-ci et une électrode extérieure, une différence de potentiel. Cette différence apparaît brusquement au moment où, ayant franchi la membrane, la micro-électrode pénètre à l'intérieur de la fibre. L'intérieur de la fibre est négatif par rapport à sa surface. La différence de potentiel est de -70 à -80 millivolts environ. C'est le **potentiel de membrane ou potentiel de repos**. Le potentiel de repos enregistrable sur toute cellule vivante, s'explique par la théorie ionique de l'influx nerveux de HODGKIN et résulte d'une inégale répartition des ions de part et d'autre de la membrane cellulaire.

Elle est la conséquence de deux sortes de phénomènes:

a) - les uns sont passifs et ne consomment pas d'énergie. Ils correspondent aux lois simples de l'osmose s'appliquant aux membranes semi-perméables.

b) - les autres sont des transports ioniques actifs et consomment de l'énergie qui est fournie par le métabolisme du glucose. Leur rôle est de faire entrer quelques ions **K** dans la cellule et de chasser de nombreux ions **Na** hors de la cellule. Ce mécanisme actif du rejet du sodium, qui est permanent au repos, est appelé **POMPE A SODIUM**.

De ces mouvements permanents il résulte une stabilité, un équilibre de concentration ionique à l'intérieur et à l'extérieur de la fibre, la plus grande concentration d'ions Na se faisant hors de la cellule. Ainsi, au repos, l'extérieur de la cellule est positif et l'intérieur de la cellule est négatif.

2.7.3. Dépolarisation de la fibre nerveuse active : potentiel d'action [S.10]

Lorsque la membrane est soumise à une stimulation électrique ou à l'action d'un neurotransmetteur chimique, le rejet actif du sodium diminue, cesse, puis s'inverse. La concentration de Na intra-cellulaire augmente (blocage de la pompe à sodium). D'autre part, la vitesse de passage des ions K à travers la membrane cellulaire est plus petite que la vitesse de passage des ions Na. En conséquence une certaine quantité d'ions Na pénètre dans la cellule avant qu'une égale quantité d'ions K n'en sorte.

L'équilibre est temporairement rompu. On assiste à une dépolarisation de la fibre nerveuse qui se traduit par l'apparition d'un potentiel d'actions (voir schéma). Lorsque le potentiel de membrane a retrouvé son niveau de repos, l'activité de la pompe à sodium reprend. C'est un temps consommateur d'énergie. On dit que la cellule "recharge ses batteries".

Etude des circonstances d'apparition du potentiel d'action

Lorsque la stimulation est faible, ou au début de la stimulation on assiste à une légère diminution de la différence de potentiel. Ceci se traduit sur l'écran par une inflexion appelée "phénomène local". Lorsque l'intensité de la stimulation augmente, l'amplitude du phénomène local atteint le seuil de dépolarisation (-55 millivolts). Alors éclate un potentiel d'action qui atteint 0 millivolt et le plus souvent les dépasse. Cette dépolarisation brutale est responsable de l'apparition du potentiel d'action qui est complet, constant, de même amplitude, de même forme et de même durée pour une fibre donnée : c'est la "loi du tout ou rien". La partie ascendante correspond à la pénétration rapide des ions Na, la partie descendante plus lente, correspond à la sortie des ions K. Le potentiel d'action va se propager le long de la fibre nerveuse et sa vitesse de propagation est constante.

2.7.4.- La propagation de l'influx

2.7.4.1.- le long de la fibre nerveuse

La gaine de myéline constitue un isolant mais elle présente de distance en distance des interruptions complètes, ce sont les étranglements de **RANVIER**. A ce niveau, l'axone est seulement recouvert par la gaine de **SWANN** qui est perméable aux échanges ioniques.

C'est seulement au niveau des étranglements de **RANVIER** que peuvent s'effectuer les échanges ioniques du potentiel d'action. Au point de stimulation, l'intérieur de la fibre nerveuse est très positif et les ions positifs se répandent de part et d'autre du site de stimulation vers les autres étranglements de **RANVIER**. Leur présence provoque l'ouverture des pores de la membrane cellulaire permettant à nouveau la pénétration d'ions sodium et une dépolarisation qui provoque un autre potentiel d'action. Ainsi, de segment en segment, le potentiel d'action est entretenu tout le long de la fibre nerveuse. L'influx nerveux parcourt toute la fibre nerveuse par propagation saltatoire, et atteint l'arborisation terminale. La transmission de l'influx se fait à vitesse constante le long d'une fibre nerveuse normale.

2.7.4.2.- au niveau des synapses

Au niveau du franchissement des synapses, cette transmission peut subir trois types de modification appelés **facilitation, inhibition, occlusion**.

a) - Facilitation : un neurone qui est stimulé et qui va répondre par un potentiel d'action, produit dans son environnement un champ électrique décroissant. Des neurones de voisinage sont soumis à ce champ électrique infra-liminaire, insuffisant pour provoquer la stimulation des neurones voisins. Cependant, si dans le même temps, un autre neurone est lui-même directement stimulé, son champ électrique décroissant va s'étendre aux neurones périphériques qui, bien que n'étant pas stimulés directement, atteignent, de ce fait, le seuil de dépolarisation et sont alors l'objet d'une dépolarisation complète responsable de leur potentiel d'action. On voit que schématiquement deux neurones peuvent être stimulés directement et que plusieurs autres neurones peuvent répondre, par diffusion de l'influx.

b) - Inhibition : certaines articulations synaptiques libèrent des médiateurs chimiques qui augmentent la fuite des ions K alors que la membrane cellulaire reste imperméable au sodium. Il existe de ce fait une hyperpolarisation (-80 millivolts). Il faut dans ce cas un stimulus plus intense pour faire apparaître une dépolarisation et un influx au niveau des neurones concernés.

c) - Occlusion : lorsque plusieurs neurones reçoivent une double stimulation synchrone, leur fonctionnement est bloqué et il n'y a pas à leur niveau de formation de potentiel d'action. Dans ce cas, deux neurones synchrones peuvent bloquer le fonctionnement de plusieurs autres neurones.

3.- LE SYSTEME NERVEUX CENTRAL OU NEVRAXE

3.1.- INTRODUCTION

Il contient les *centres* nerveux et les *voies* neurologiques centrales motrices et sensibles. Il constitue, avec le système nerveux périphérique, le système nerveux cérébro-spinal ou système nerveux de la vie de relation.

3.2.- SUBDIVISION DU SYSTEME NERVEUX CENTRAL [S.11]

Les différentes parties du système nerveux central sont :

1) - la moelle épinière logée dans le canal vertébral des vertèbres

2) - le tronc cérébral formé lui-même par :

* la moelle allongée (anc. bulbe rachidien)

* le pont (anc. protubérance annulaire)

* le mésencéphale.

3) - le cervelet

4) - le cerveau.

On nomme **Encéphale** l'ensemble des parties du névraxe situées dans la boîte crânienne, c'est à dire le cerveau, le tronc cérébral et le cervelet.

3.3. - EVOLUTION ET DEVELOPPEMENT DU SYSTEME NERVEUX CENTRAL (Organogenèse)

3.3.1.- Développement morphologique des organes nerveux [S.12]

Primitivement, chez les vertébrés les plus inférieurs, ainsi que dans les premiers stades de l'embryon humain, le système nerveux central est un simple tube (tube neural primitif) dont les parois épaisses sont formées de tissu nerveux de substance grise, c'est à dire de **corps cellulaires, cylindraxes, dendrites et névroglie**.

A) – Formation du tube neural primitif

Vers le 17ème jour, après la fécondation, il apparaît un sillon appelé: gouttière neurale, sur la face dorsale de la plaque embryonnaire. S'enfonçant dans l'ectoblaste embryonnaire, les bords du sillon se soudent et déterminent la formation d'un tube. Ce tube neural primitif est d'abord formé de segments juxtaposés tous semblables appelés **neuromères**. Chaque neuromère comporte une cavité centrale : **le canal de l'épendyme**.

La paroi du tube neural est formée par la substance grise répartie autour du canal de l'épendyme. La substance blanche, constituée par les cylindres myélinisés, apparaît secondairement à la périphérie du tube neural. [S.13]

B) – Evolution du tube neural primitif

L'extrémité antérieure du tube neural présente au cours de son développement 3 puis 5 dilatations. Elles constitueront les différentes parties du tronc cérébral et du cerveau. Aux deux extrémités du tube neural, se trouvent deux orifices appelés **neuropores : le neuropore antérieur et le neuropore postérieur.**

Ultérieurement il apparaît, par cloisonnement (septum) un dédoublement du télencéphale (5ème vésicule). Il existe alors, en raison de la croissance rapide, un enroulement du télencéphale autour du diencéphale (4ème vésicule), qui préfigure la morphologie des deux hémisphères cérébraux.

3.3.2.- Chronologie du développement du système nerveux

3.3.2.1.- **Neurulation** : C'est le développement du tube neural primitif.

La plaque neurale et la gouttière neurale apparaissent au 17ème jour de la vie intra-utérine. La fermeture de la gouttière neurale apparaît au début du 21ème jour. La fermeture du neuropore antérieur (future lame terminale) se fait au 26ème jour et la fermeture du neuropore postérieur au 28ème jour. L'absence de fermeture du neuropore postérieur est à l'origine d'une malformation neurologique congénitale appelée *spina bifida*.

3.3.2.2.- **Développement de l'encéphale** : [S.14]

Le stade à trois vésicules se situe au début du 25ème jour. Le stade à cinq vésicules commence au 32ème jour. A deux mois et demi de la vie intra-utérine, les vésicules télencéphaliques recouvrent et encerclent complètement la vésicule diencéphalique. Dans l'épaisseur des parois du télencéphale se développent des formations cellulaires, progressivement volumineuses qui constituent le futur striatum (noyaux gris centraux).

Parallèlement au développement morphologique, les structures fonctionnelles se mettent en place, en établissant les premiers réseaux synaptiques dans la substance grise.

3.3.2.3. - **Myélinisation**

a) - au niveau des nerfs périphériques : la myélinisation est effectuée par les gaines de **SCHWANN**. Elle commence au 4ème mois de la vie intra-utérine.

b) - au niveau du système nerveux central : la myélinisation débute aussi au 4ème mois de la vie intra-utérine. Ainsi le faisceau vestibulo-spinal se myélinise au 6ème mois, le faisceau rubro-spinal au 7ème mois. Au niveau du faisceau pyramidal, la myélinisation se poursuit après la naissance et s'étend jusqu'à l'âge de 1 à 2 ans.

4.- LE CERVEAU

C'est l'étage le plus élevé dans la hiérarchie fonctionnelle du système nerveux central. Il est spécialement développé chez l'homme. Son poids moyen est de 1400 à 1800 grammes.

4.1.- Situation du cerveau et éléments de protection

4.1.1.- la loge osseuse [S.15]

Le cerveau est placé dans la boîte crânienne où il repose sur la base du crâne et il est recouvert par la voûte. Il existe des fractures de la voûte et des fractures de base, ainsi que des fractures de la voûte **irradiées** à la base du crâne.

4.1.2. - la loge fibreuse [S.16]

Une toile fibreuse très épaisse appelée **dure-mère** tapisse la face interne du crâne et forme un repli sous le cerveau appelé: tente du cervelet. Elle forme aussi un repli vertico - sagittal entre les deux hémisphères du cerveau constituant une cloison médiane appelée: faux du cerveau. Ainsi se trouvent délimitées deux loges fibreuses : en haut la **loge cérébrale** qui contient les deux hémisphères du cerveau, en bas la **loge cérébelleuse** (ou fosse crânienne postérieure) qui contient le cervelet et le tronc cérébral.

Notions sur les engagements cérébraux: Le syndrome d'hypertension intra - crânienne (par tumeur cérébrale ou hématome intra - crânien) est responsable de déformations du tissu cérébral, qui s'engage sous les replis fibreux (engagements cérébraux) qui augmentent la compression intra- crânienne (engagement cingulaire sous la faux du cerveau, engagement diencephalique, engagement temporel, engagement cérébelleux).

4.1.3 - les méninges

Le cerveau est recouvert de trois méninges :

* **la dure-mère** est la méninge la plus épaisse (décrite plus haut).

* **l'arachnoïde** tapisse la face interne de la dure-mère

* **la pie-mère** tapisse la surface du cerveau en épousant étroitement les replis, les scissures et les circonvolutions du cerveau.

Entre l'arachnoïde et la pie-mère se trouve l'espace sub-arachnoïdien qui est occupé par le liquide cérébro-spinal.

Notions d'hématomes intra - crâniens: On peut, schématiquement, distinguer trois types d'hématomes intra- crâniens, selon leur localisation:

- Hématome extra - dural
- Hématome sous - dural (ou hémorragie méningée, par rupture d'anévrisme).
- Hématome intra - cérébral

4.1.4.- La loge liquidienne: liquide cérébro – spinal [S.17] (anc. liquide céphalo - rachidien)

Le névraxe baigne totalement dans le liquide cérébro-spinal, qui est situé à l'extérieur et à l'intérieur du névraxe. On peut distinguer deux départements : un département interne (ou central) et un département externe (ou périphérique).

a- Le département interne (ou central) [S.18]

Au niveau de l'encéphale, il est constitué par quatre ventricules : Les ventricules latéraux, dans les hémisphères cérébraux, le troisième ventricule entre les deux thalamus, et le quatrième ventricule dans le tronc cérébral.

Ces cavités communiquent entre elles. Le trou de Monro fait communiquer les ventricules latéraux, et le troisième ventricule. L'aqueduc du mésencéphale (ou de Sylvius) fait communiquer le troisième ventricule et le quatrième. L'hydrocéphalie de l'enfant résulte d'un obstacle à la libre circulation liquidienne, le plus souvent par rétrécissement de l'aqueduc du mésencéphale (ou de Sylvius).

Au niveau de la moelle, ce département comprend le canal de l'épendyme qui est partiellement virtuel, en principe plus ou moins oblitéré pendant l'adolescence. L'épithélium qui tapisse la paroi interne des cavités est étanche. Il existe donc une barrière biologique entre le tissu nerveux et le liquide cérébro-spinal.

b- Le département externe (ou périphérique)

Il est représenté par l'ensemble des espaces sub-arachnoïdiens. Certaines portions intracranienne de ces espaces sont plus vastes. Elles sont appelées, citernes ou lacs. Exemples: citerne basilaire, lac cérébelleux supérieur et lac cérébelleux inférieur.

Les deux départements communiquent par le trou de Magendie, à la face dorsale du tronc cérébral.

c- Biologie du liquide cérébro-spinal

Il est sécrété en permanence par les plexus choroïdes, qui sont des formations névrogliales de structure glomérulaire. La filtration dans le sens sang / liquide cérébro-spinal est très sélective. Il existe donc une véritable barrière hémoméningée qui assure, au système nerveux central, la stabilité de son milieu.

Le liquide cérébro-spinal circule en permanence et il est résorbé par voie veineuse au niveau du secteur périphérique. Son volume total est de 150ml. Il est renouvelé en totalité trois à quatre fois par jour. Il présente une circulation lente, favorisée par l'effort et la posture.

Cette circulation peut être étudiée par l'emploi de produits isotopiques.

Le liquide cérébro-spinal peut être prélevé par ponction lombaire, au cours de laquelle on peut mesurer sa pression (10 à 15cm. d'eau). Le liquide prélevé peut être soumis à une analyse chimique, cytologique, bactériologique et sérologique.

4.2.- Morphologie externe du Cerveau

Le cerveau a la forme générale d'un ovoïde à grand axe antéro - postérieur. Il est composé de deux hémisphères séparés par un profond sillon médian (fissure longitudinale du cerveau, anciennement: scissure inter - hémisphérique) et reliés entre eux par des ponts de tissu nerveux (les commissures inter-hémisphériques).

La surface des hémisphères est constituée d'un "manteau" (pallium) de substance grise très plissée (alors qu'au niveau de la moelle et du tronc cérébral, la substance grise est centrale autour du canal de l'épendyme). Cette substance grise périphérique et superficielle constitue l'écorce cérébrale ou **cortex**. Elle présente de nombreux plis dont les plus profonds et les plus constants s'appellent sillons (anciennement scissures).

4.2.1. - Face latérale de l'hémisphère cérébral [S.19]

On distingue chez l'homme 3 sillons principaux (anc. scissures) sur la face latérale de chaque hémisphère.

* **le sillon central** (Sulcus centralis), ou **scissure de Rolando**

* **le sillon latéral** (Sulcus lateralis) ou **scissure de Sylvius**

* **le sillon occipital transverse** ou **scissure perpendiculaire externe** (ou scissure pariéto-occipitale) qui est plus rudimentaire sur la face externe.

Les scissures délimitent des lobes : **le lobe frontal, le lobe pariétal, le lobe temporal, le lobe occipital**. La surface des lobes est parcourue par des sillons moins profonds que les scissures. Ces sillons délimitent de gros plis de substance grise appelés **circonvolutions cérébrales** (circonvolution cérébrale = Gyrus). Ainsi, la circonvolution frontale ascendante s'appelle: Gyrus pré-central, et la circonvolution pariétale ascendante: Gyrus post - central.

Les bords du sillon latéral dissimulent une profonde dépression - la fosse latérale - qui contient un lobe particulier appelé **lobe de l'insula** qui possède 5 petites circonvolutions. La fonction de ce lobe profond paraît se rapporter aux sensibilités conscientes d'origine viscérales.

4.2.2. - Face médiale de l'hémisphère [S.20]

La face médiale de l'hémisphère n'est visible que par section des commissures inter-hémisphériques (très spécialement par section du corps calleux) et par ouverture du 3ème ventricule.

Sur la face médiale, on distingue une circonvolution corticale particulière, appelée **circonvolution limbique** ou **gyrus cingulaire** délimité par le sillon du cingulum (scissure calloso-marginale). Cette circonvolution est enroulée autour de la partie profonde de l'hémisphère. La partie inférieure de la circonvolution limbique est enroulée sur elle-même. Elle est formée en bas par la 5ème circonvolution temporale, dont l'extrémité s'enroule en forme de crochet (Uncus).

Elle est située contre un repli profond, appelé **HIPPOCAMPE**. C'est une circonvolution inversée, repliée vers l'intérieure du cerveau, formant relief dans la cavité du ventricule latéral. Cette région de l'hippocampe contient les structures fonctionnelles de la mémoire.

Au-dessus de la circonvolution limbique, on distingue le lobe frontal dont la partie postérieure est appelée **lobule para-central**. Sur la face médiale du lobe pariétal se trouve le **lobule quadrilatère** et sur la face médiale du lobe occipital se trouve le **CUNEUS**, délimité par le sillon pariéto - occipital (scissure perpendiculaire interne) et le sillon calcarin (scissure calcarine), zone de projection corticale de la vision.

4.2.3.- Face inférieure des hémisphères [S.21]

Sur la face inférieure du lobe frontal, on voit la présence des trois premières circonvolutions frontales, contre lesquelles sont appliqués le bulbe olfactif et le tractus olfactif (I ère paire des nerfs crâniens).

Sur la face inférieure du lobe temporal, on trouve la face inférieure des 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} circonvolutions temporales, ainsi que la circonvolution de l'hippocampe.

Au centre de la face inférieure du cerveau, entre les deux hémisphères, se trouve *l'isthme de l'encéphale* qui correspond à la jonction du tronc cérébral et du cerveau. C'est à cet endroit que se trouvent le chiasma optique et le début des bandelettes optiques.

Dans l'espace inter- pédonculaire, on voit le relief des tubercules mamillaires et le pédicule de la glande hypophyse (tige de l'hypophyse).

4.2.4.- Les commissures inter -hémisphériques [S.22] :

Elles contiennent des fibres nerveuses qui établissent des relations entre les deux hémisphères cérébraux. Ces fibres sont appelées, fibres d'association inter -hémisphériques. Ce sont : **le corps calleux, le fornix, la commissure blanche antérieure, la commissure blanche postérieure.**

a - Le corps calleux

C'est une formation qui appartient au néo-cortex. Elle apparaît chez les mammifères. Le corps calleux a la forme d'une lame épaisse de substance blanche, à disposition sagittale et disposée entre les deux hémisphères. Il présente une extrémité antérieure (le genou), un corps et une partie postérieure (le bourrelet). La face supérieure est au fond de la fissure longitudinale du cerveau (scissure inter- hémisphérique). La face inférieure répond au fornix (trigone) et aux ventricules latéraux.

Les fibres nerveuses du corps calleux réunissent les territoires corticaux des deux lobes frontaux (forceps minor), des deux lobes pariétaux et des deux lobes occipitaux (forceps major). Il existe des aires cérébrales symétriques mais non reliées fonctionnellement par des fibres calleuses. Elles sont appelées **aires primaires**. Toutes les autres régions sont connectées par des fibres calleuses. Elles sont appelées **aires associatives**.

b - Le fornix (ou Trigone)

C'est une formation qui appartient au paléo-cortex. Elle est formée de deux cordons de fibres nerveuses, appelés **piliers**, enroulés d'avant en arrière, et accolés dans leur partie moyenne. L'ensemble a la forme d'un X. Chaque cordon relie l'hippocampe au tubercule mamillaire, du même côté. Quelques fibres sont croisées. Le fornix est placé sous le corps calleux.

c - La commissure blanche antérieure

C'est une formation qui appartient à l'archéo-cortex et qui relie les deux lobes temporaux en passant devant les piliers antérieurs du fornix. Elle relie les deux noyaux amygdaliens (placés dans le lobe temporal) qui appartiennent aux systèmes olfactif et limbique.

d - La commissure blanche postérieure

Formation transversale, de structure très complexe, qui contient des fibres d'association entre les noyaux des nerfs crâniens, et entre les deux moitiés du mésencéphale et du diencéphale.

e - Physiopathologie des commissures inter- hémisphériques

Expérimentalement, chez l'animal, la section des commissures inter- hémisphériques, réalise un dédoublement des fonctions cérébrales (**SPLIT BRAIN**), produisant des troubles du comportement psycho -moteur.

En pathologie humaine (par troubles vasculaires, dégénératifs ou lésions tumorales), le syndrome calleux est rarement pur. Les fonctions cérébrales supérieures sont conservées. Il existe des troubles dans l'exécution des mouvements associés (troubles praxiques) et des troubles de la reconnaissance sensorielle (tact, lecture).

Globalement, l'expérimentation et la pathologie confirment la notion d'hémisphère fonctionnellement dominant, le gauche chez les droitiers (et inversement), pour les fonctions du langage parlé ou écrit.

4.3.- Morphologie interne du Cerveau [S.23]

Sous le cortex se trouve la substance blanche centrale au sein de laquelle sont situés de volumineux noyaux gris. Ce sont des centres sous-corticaux appelés noyaux gris centraux. Ils sont composés des corps striés et de la couche optique ou thalamus. Enfin au centre du cerveau se trouve un système de cavités appelées ventricules qui ne sont autres que des dilatations régionales du canal de l'épendyme primitif.

4.3.1.- Le cortex cérébral ou substance grise périphérique ou écorce. [S.24]

L'écorce grise représente le néo-cortex. Epaisse d'environ 4mm, elle recouvre toute la surface extérieure des hémisphères et s'enfonce entre les circonvolutions en suivant les lèvres des scissures et des sillons. Elle est formée de **cellules nerveuses** disposées en 6 couches. Certaines sont des cellules d'association, d'autres des cellules réceptrices des sensibilités et des activités sensorielles, d'autres enfin, les plus grandes, sont des cellules motrices. Ces dernières sont appelées **cellules pyramidales** en raison de leur forme. En plus de cette disposition laminaire, les connections neuronales dans le cortex sont disposées en colonnes verticales, contenant des neurones différents, mais qui concernent les mêmes territoires périphériques. Cette disposition apporte des capacités fonctionnelles complémentaires au niveau des aires motrices, sensibles et sensorielles. La disposition en colonnes a surtout été étudiée dans les aires visuelles, mais il est vraisemblable qu'elle existe dans tous les territoires corticaux. Les colonnes sont des modules de traitement interposés entre l'entrée et la sortie du signal d'information.

Nombre de neurones:

" Le cortex est une structure constituée de six couches interconnectées, contenant quelque dix milliards de neurones, et environ un million de milliards de connexions."

G.M.Edelman. Biologie de la conscience. Ed. Odile Jacob. p.138.

4.3.2.- La substance blanche centrale [S.25]

Elle occupe l'espace compris entre le cortex, les noyaux gris centraux et les ventricules. On lui distingue plusieurs territoires appelés **capsule extrême, capsule externe, capsule interne, centre ovale**. Cette substance blanche contient des fibres nerveuses myélinisées issues des cellules du cortex ou y parvenant. La substance blanche contient aussi, en

particulier dans le centre ovale, des fibres d'association intra-hémisphériques et inter-hémisphériques.

La capsule interne est formée par le passage de faisceaux nerveux dont le plus important est le faisceau pyramidal (voie motrice principale). Ce faisceau occupe le bras postérieur de la capsule. Une partie du faisceau est située dans le genou de la capsule, et s'appelle, de ce fait, faisceau géniculé. Les fibres motrices issues du cortex pré-central présentent une torsion dans le centre ovale et se disposent dans le bras postérieur de la capsule interne selon une somatotopie précise (voir schéma).

4.3.3.- Les noyaux gris centraux [S.26]

Ce sont les corps striés et la couche optique ou thalamus.

4.3.3.1.- Les corps striés ou striatum.

Chaque corps strié est formé de 3 noyaux gris : le **noyau caudé**, le **noyau lenticulaire** et le **claustrum** ou avant-mur.

Le **noyau lenticulaire** est lui-même formé de deux parties : la partie externe s'appelle **putamen**. Elle forme avec le noyau caudé: le **néo-striatum**.

La partie interne s'appelle **pallidum**, qui forme le **paléo - striatum**. Ce sont des centres sous-corticaux de la fonction motrice. Ils sont responsables de la motricité automatique, accompagnant l'exécution du mouvement volontaire. Ils sont en connexion avec le cortex moteur, au-dessus, et avec les noyaux sous-jacents. Avec le Thalamus, ils forment le Paléencéphale.

4.3.3.2. - La couche optique ou thalamus [S.27]

Volumineuse, elle est située dans la partie la plus profonde de l'hémisphère, de chaque côté du 3ème ventricule. La couche optique est en fait composée de la coalescence de plusieurs noyaux, séparés par une mince lame médullaire interne. Globalement, cette masse de substance grise est le grand carrefour auquel aboutissent toutes les sensibilités et les impressions sensorielles. C'est un véritable centre de triage qui répartit ensuite les informations sur les différentes zones du cortex. Le thalamus contient de nombreux noyaux:

a) - des noyaux spécifiques qui projettent leurs fibres sur les aires primaires du cortex. Les plus importants d'entre eux sont, le **noyau latéro-ventral postérieur** (noyau sensitif) où aboutissent les sensibilités cutanées (lemnisciales et extra - lemnisciales), et deux noyaux moteurs : le **noyau latéro-ventral intermédiaire**, le **noyau latéro -ventral antérieur**.

b) - des noyaux non spécifiques, qui projettent leurs fibres sur les aires associatives du cortex. Le plus volumineux est le noyau médian dorsal qui joue un rôle dans les manifestations émotives.

c) - Le système thalamique diffus: ce sont des petits noyaux situés dans les lames médullaires internes qui séparent les noyaux principaux. Au plan physiologique, ils sont un prolongement de la substance réticulée du tronc cérébral, et jouent un rôle dans l'éveil de l'activité corticale (vigilance, attention, mémorisation). Leur fonction paraît équivalente à celle d'un filtre en électronique.

Il existe, de ce fait, de nombreuses fibres de connexion entre le thalamus et le cortex, fonctionnant dans les deux sens et formant *la couronne rayonnante* (corona radiata).

4.3.3.3. - L'hypothalamus

Le bas - fond du 3ème ventricule contient, répartis dans l'épaisseur de ses parois, plusieurs noyaux de substance grise qui appartiennent au système nerveux végétatif. Aussi les fonctions de l'hypothalamus sont-elles multiples et concernent :

- * **les mouvements de l'eau intra et extra- cellulaire**
- * **le métabolisme des glucides, des protides et des lipides,**
- * **la régulation thermique**
- * **la régulation de l'émotivité**
- * **les fonctions sexuelles**
- * **le sommeil.**

En bref, l'hypothalamus est l'étage fonctionnel le plus élevé du système nerveux végétatif (cerveau végétatif). Situé dans la base du cerveau, il est en connexion :
 - en haut, avec le lobe limbique (cerveau instinctif) et les aires pré- frontales (expression caractéristique). Il existe à ce niveau et traversant l'hypothalamus, un important faisceau d'association qui relie le télencéphale à la substance réticulée du tronc cérébral (faisceau médian du télencéphale).
 - en bas, avec les noyaux végétatifs de la substance réticulée du tronc cérébral (noyaux parasymphatiques). C'est à ce niveau que s'établissent les équilibres neuro - végétatifs et leur pathologie (sympathicotomie et parasymphicotomie).

De plus, sous l'hypothalamus et en étroite relation anatomique et physiologique avec lui, se trouve la **glande hypophyse** (relations neuro-endocriniennes par neuromédiateurs hypothalamiques).

4.3.3.4. - Enfin, à la jonction du tronc cérébral et du cerveau se trouvent les noyaux sous-opto-striés et les Ganglions de la base du Cerveau

Ce sont : la zona incerta, le corps de Luys, le **locus niger** (pars compacta / pars reticulata), le noyau amygdalien, le noyau acubens, le noyau basal de Meynert, et la substance innommée

4.3.3.5.- Les ventricules cérébraux [S.28]

Le cerveau et le tronc cérébral possèdent un système de cavité qui contient du liquide cérébro - spinal. Le 4ème ventricule appartient au tronc cérébral. Le 3ème ventricule appartient au cerveau. Il est placé profondément sur la ligne médiane, entre les deux couches optiques. Il communique par un orifice étroit (trou de Monro) avec les ventricules latéraux qui sont des cavités placées au sein de chaque hémisphère. L'hydrocéphalie de l'enfant résulte d'une hypertension du liquide céphalo-rachidien bloqué à l'intérieur des ventricules distendus.

4.4.- Systématisation du cerveau

4.4.1.- Organisation fonctionnelle générale (Phylogénèse) [S.29]

Les centres nerveux cérébraux sont hiérarchisés. Ainsi les centres sous-corticaux sont sous la dépendance du cortex. Cependant les centres sous-corticaux sont capables d'autonomie relative lorsqu'ils assurent des fonctions automatiques. *Cette subordination est la conséquence des acquisitions fonctionnelles successives des étapes de la phylogénèse* (évolution organique et fonctionnelle, étudiée tout au long des espèces animales successives).

Les structures les plus récentes dominent les structures qui les ont précédées mais celles-ci conservent leurs fonctions propres.

Sur le plan fonctionnel, il est donc intéressant de retrouver, dans les structures du cerveau, les trois niveaux de développement évolutif du Système Nerveux Central (archencéphale : cerveau instinctif et réflexe, paléencéphale : cerveau impulsif et automatique, néencéphale : cerveau conscient puis rationnel, chez l'homme). A chaque stade évolutif, le cerveau possède un cortex et des noyaux gris.

4.4.1.1.- Archencéphale: Cerveau instinctif et réflexe

C'est le niveau de développement des poissons et des amphibiens. Les informations sont reçues par le cerveau sensitif et sensoriel (olfactif et visuel). Les centres d'intégration sont représentés par l'archéo-cortex (dont les structures sont présentes chez l'homme : hippocampe dorsal - atrophié chez l'homme - et hippocampe ventral) et la substance réticulée. Le cerveau moteur est représenté par les noyaux sous-opto-striés et les noyaux du toit du mésencéphale (qui correspondent chez l'homme aux tubercules quadrijumeaux). Les voies vestibulaires appartiennent aussi à ce stade de développement. Les voies motrices peuvent être regroupées sous le nom de *Système archéo-moteur* qui assure la mobilité ainsi que le positionnement propre à l'espèce (équilibre).

Ainsi à l'origine même du comportement moteur, se trouvent des stimulations sensorielles et des réponses instinctives de nature purement réflexe.

4.4.1.2. - le Paléencéphale: Cerveau impulsif et automatique

C'est le stade de développement des reptiles puis des oiseaux. Il se superpose aux structures précédentes pour constituer le RHINENCEPHALE.

Il comprend un **cortex** (paléo-cortex), représenté par le gyrus cingulaire et la circonvolution entorhinale ou T5. L'ensemble a la forme classique d'une raquette, dont le manche est constitué par l'appareil olfactif. Il contient, en plus, un centre sensitif et sensoriel, le **thalamus**, (noyau ventro- latéral postérieur). Les centres moteurs sont constitués par le paléo-striatum (pallidum et noyaux moteurs du thalamus). Ces centres sont reliés entre eux par les voies thalamo-striées. Les voies motrices paléo-striées se projettent sur les noyaux sous-opto-striés. Les voies motrices, à ce niveau de développement, peuvent être regroupées sous le nom de *Système paléo-moteur*.

Globalement, le Paléencéphale est un cerveau fonctionnellement très complet. Dépassant les impératifs biologiques élémentaires de l'instinct, il assure toute l'activité automatique (mouvement et posture) du comportement.

4.4.1.3.- le Néencéphale: Cerveau conscient puis rationnel chez l'homme

C'est le stade évolutif des mammifères avec des graduations à l'intérieur du groupe. Il est spécialement développé, en volume et en fonction, chez les primates et surtout chez l'homme. Il se superpose aux deux stades précédents, dont les structures restent cependant, fonctionnelles chez l'homme. Il comprend le cortex cérébral. Au plan moteur, ce néo-cortex ou néo-pallium possède lui-même des aires associatives motrices dont les voies peuvent être regroupées sous le nom de *Système néo-moteur*.

Il possède aussi des aires primaires (aire 4) dont la voie efférente constitue le *faisceau pyramidal*. Le néencéphale possède ses propres noyaux gris, qui sont le noyau caudé et le putamen (néo-striatum). Par des voies cortico-striées, il contrôle le paléencéphale.

En bref, le concept fonctionnel du cerveau, basé sur la phylogenèse, reconnaît trois structures superposées:

- le cerveau instinctif et réflexe (archencéphale)
- le cerveau impulsif et automatique (paléencéphale)
- le cerveau conscient, puis rationnel (néencéphale)

On retrouve, à tous les niveaux, le comportement fondamental de la matière vivante :

Information – Traitement - Action

4.4.2. - Organisation fonctionnelle particulière : Topographie fonctionnelle du cortex

Il existe au niveau de la surface du cortex une disposition topographique des fonctions motrices, sensibles, sensorielles et associatives. Cette organisation des grandes fonctions a été récemment remise en cause par les images obtenues en IRM fonctionnelle, mais les bases de la topographie corticale sont confirmées par la physio-pathologie neurologique et par la clinique.

« La carte cyto-architectonique du cortex cérébral, proposée par Brodmann en 1909, reste le découpage du cortex cérébral le plus utilisé » (Source : Pritchard/Halloway. Neurosciences médicales. 2002. P.229). C'est cette description, toujours classique, qui est exposée ici.

4.4.2.1. Systématisation du néencéphale (Topographie corticale)

4.4.2.1.1. - Fonctions motrices et territoires moteurs [S.30]

a - Aire 4 (aire somato-motrice) : [S.31]

* Topographie corticale :

L'aire 4 correspond à la plus grande partie du gyrus pré-central (circonvolution frontale ascendante). A son niveau sont situées les grandes cellules pyramidales de **BETZ** qui sont le point de départ des axones qui constituent le faisceau pyramidal. A noter que la partie la plus élevée de l'aire 4 se prolonge sur la face médiale de l'hémisphère. Tout au long de l'aire 4 il existe une véritable somatotopie fonctionnelle. Chacune des régions de l'aire 4 représente un territoire corporel dont la surface corticale est d'autant plus grande que ce territoire a une grande importance fonctionnelle. Ainsi la surface correspondant à la main

est très grande et, plus spécialement, la surface correspondant au pouce. Cette représentation schématique du corps humain à la surface du cortex moteur s'appelle "**homunculus de Penfield**".

*** Structure corticale**

Le cortex de l'aire 4 ne contient pas de cellules sensibles, mais seulement des cellules pyramidales, grandes et petites, et les couches 3 et 5 envahissent toute l'épaisseur du cortex (3mm). Seules les fibres motrices cortico- spinales directes naissent des grandes cellules pyramidales de Betz (100 μ). Elles sont peu nombreuses (35000). Leur axone représente seulement 2 à 3% du faisceau pyramidal. Elles assurent les fonctions motrices distales de précision.

Les autres fibres motrices sont les axones des petites cellules pyramidales dont 60% proviennent de l'aire 4 (faisceau para – pyramidal ou voie adversive). Les 40% restants proviennent des aires motrices associatives du cortex. Globalement, le faisceau pyramidal compte, au niveau des pyramides de la moelle allongée, un million de fibres. Ainsi constituée, la voie pyramidale est donc hétérogène.

*** Aire motrice supplémentaire [S.32]**

Au niveau du lobule para-central (face médiale de l'hémisphère), il existe un territoire moteur particulier appelé **aire motrice supplémentaire** (AMS). Elle possède, comme l'aire 4, une somatotopie complète. C'est une aire motrice associative qui paraît se rapporter au projet du mouvement (prévision et représentation du mouvement à exécuter). L'EEG a montré qu'il existe une activité corticale précédant le mouvement apparent.

b- Aire 6 (aire psycho - motrice) :

En avant de l'aire 4 se trouve un vaste territoire cortical moteur correspondant à l'aire 6, appelée aire pré-motrice. C'est une zone d'intégration motrice qui correspond au point de départ du faisceau fronto-pontin. Elle concerne la commande du mouvement volontaire **global** (et coordonné). Elle est donc impliquée dans la construction des chaînes musculaires cinétiques assurant le support et la conduite du mouvement volontaire vers son objectif de précision.

c - Aire 8 (aire oculo-motrice) :

En avant de l'aire 6, il existe un petit territoire moteur spécialisé qui est l'aire 8 ou aire oculo-motrice responsable des mouvements synergiques des yeux.

d- Aires 5 et 7.

Ce sont des territoires moteurs corticaux associatifs au niveau du lobe pariétal, donnant le faisceau pariéto - pontin. Ces aires sont en relation étroite de proximité avec les aires pariétales de la somesthésie, puis avec l'aire 40 dans la région du pli courbe. Le résultat de cette intégration assure le déroulement normal du mouvement par reconnaissance de l'espace extra – corporel.

Sa pathologie, dans l'hémisphère dominant, entraîne une méconnaissance spatiale du mouvement et une héli – négligence motrice, du côté opposé à la lésion.

e- Aires 21 et 22.

Ce sont des territoires moteurs corticaux associatifs au niveau du lobe temporal, mais en relation de proximité avec les aires visuelles du lobe occipital. Ces territoires donnent le faisceau temporo-pontin. Ce dernier intervient dans les ataxies à prédominance axiale et, indirectement, sur les mouvements cortico-oculo-céphalogyres (aire 22: - Bossy p.237).

Le lobe temporal est aussi le lieu des foyers d'épilepsie temporale.

4.4.2.1.2. - fonctions sensibles et sensorielles [S.33] [S.34]

La topographie sensible et sensorielle du cortex cérébral a des caractères très particuliers. On distingue en principe trois localisations concentriques pour une même projection sensible et sensorielle.

- a) - Il existe une zone de *réception* primaire corticale où émerge le signal neuro-physiologique (provenant de la rétine, par exemple).
- b) - Autour de la zone primaire, sont disposés des neurones de structure particulière qui correspondent à la prise de conscience de la nature du signal et de ses paramètres. C'est la zone de *perception*.
- c) - Enfin, à la périphérie, il existe une troisième zone de neurones spécialisés qui correspondent à l'analyse du message sensoriel, à son identification et à sa reconnaissance. C'est la zone *d'interprétation*.

En gros, il existe, en principe, trois centres concentriques qui sont : le centre de réception primaire, le centre de perception consciente et le centre d'interprétation. Les territoires qui sont placés autour du centre de la réception primaire sont appelés zones psychiques ou zones de gnosie. Ce sont des territoires associatifs et intégratifs.

En bref, il existe une diffusion corticale du message sensoriel, qui s'accompagne d'un changement de nature par intellectualisation et enrichissement symbolique. A noter que les déficits sensoriels (ex. cécité) peuvent être partiellement compensés par extension fonctionnelle des zones de gnosie des territoires sensitifs environnants (somesthésie tactile, spatiale, et audition). Il existe donc, au niveau cortical, des suppléances possibles qui, bien que partielles, doivent pouvoir être développées par des procédés éducatifs appropriés. (Exemple : Chez l'aveugle, la perception du monde extérieur peut – être enrichie par le développement très précoce des perceptions non – visuelles : tactiles, auditives, olfactives).

a - Les aires corticales de la vision :

On distingue ainsi dans le lobe occipital les aires sensorielles de la vision. L'aire 17 est le centre de réception primaire, l'aire 18 est l'aire de perception et l'aire 19, la plus périphérique, est l'aire d'interprétation. Ces trois territoires se retrouvent sur la face médiale de l'hémisphère de part et d'autre du sillon calcarin.

b- Les aires corticales de l'audition

Les centres sensoriels de l'audition sont placés au niveau des premières circonvolutions du lobe temporal. On distingue ici seulement deux territoires : l'aire 41 est l'aire de réception primaire et l'aire 42 correspond aux zones de gnosie.

c - Les aires corticales de la somesthésie

La sensibilité générale se projette au niveau du cortex du lobe pariétal, en arrière du sillon central (scissure de Rolando). On distingue là aussi à son niveau, trois territoires successifs : l'aire 3 correspond à la réception primaire et les aires 1 et 2 correspondent aux aires psychiques. Il existe au niveau de ce territoire, sur le gyrus post-central (circonvolution pariétale ascendante) une topographie somatotopique tout à fait comparable à celle de

l'homonculus de Penfield. Ce sont aussi des centres associatifs de la reconnaissance des formes et de leur disposition spatiale.

d - Les aires corticales de l'olfaction :

Les aires de l'olfaction sont placées sur la face médiale de l'hémisphère au niveau de la circonvolution limbique et au niveau de la région de l'hippocampe. On distingue deux territoires olfactifs situés dans l'aire 24 et dans l'aire 38, qui correspondent aux deux racines du tractus olfactif.

4.4.2.1.3. - **Fonctions associatives [S.35]**

Elles couvrent environ 80% du cortex chez l'homme (10% chez le rat), ce qui témoigne de leur importance fonctionnelle.

Fonctions générales des aires associatives : Elles traitent les informations de toutes les aires spécifiques motrices, sensibles et sensorielles. Elles assument ainsi l'intégration de nombreuses informations différentes (par leur nature et leurs paramètres neurophysiologiques). Cette capacité de traitement des signaux aboutit à la construction de programmes de reconnaissance et d'action sur l'environnement. Les conséquences fonctionnelles des déficits pathologiques dans ces territoires corticaux sont des agnosies et des apraxies.

a - Les aires corticales pré - frontales :

Il existe, au niveau du cortex, une zone très particulière, située dans la partie la plus ventrale des lobes frontaux. Ce sont les aires pré - frontales 9 et 10. Leur signification physiologique précise est mal connue. On sait seulement qu'elles représentent le lieu d'élaboration des caractères de la personnalité. Elles concernent aussi les activités intellectuelles de la concentration et de la prévision, ainsi que la régulation de l'humeur (cyclo-thymie: dépression, euphorie). Il s'agit de territoires complexes qui sont en fait des aires associatives, abondamment reliées au lobe limbique, au thalamus et à l'hypothalamus.

Les lésions pré - frontales se caractérisent donc par des modifications caractérielles: perte du dynamisme naturel, perte la concentration, des capacités prévisionnelles, perte de l'initiative et de la décision et perte de l'affectivité, avec conservation des aptitudes intellectuelles fondamentales (raisonnement). En bref, il s'agit d'un état de passivité et de neutralité psycho-affective.

(Étiologies: Traumatismes crânio - cérébraux frontaux, Méningiome frontal opéré).

b - Les aires corticales du polygone du langage

On distingue enfin au niveau du cortex des territoires particuliers sensoriels et moteurs qui sont spécialisés dans les fonctions du langage et de l'écriture (centres du langage et de l'écriture.) On distingue :

*** - des centres moteurs.**

Ce sont :

* **le centre de l'écriture** : il est placé en avant de la circonvolution frontale ascendante au voisinage des territoires moteurs qui correspondent au membre supérieur et à la main. Sa lésion pathologique provoque l'agraphie.

* **le centre du langage** : il est situé au pied de la circonvolution frontale ascendante, au voisinage des territoires moteurs du larynx. C'est l'aire de **Broca** de l'hémisphère gauche, située dans le territoire artériel de la portion *initiale* de l'artère cérébrale moyenne (ou art. sylvienne) Il s'agit de la composante motrice du langage. Sa lésion provoque l'anarthrie (impossibilité d'émettre des sons organisés). C'est un langage lent, désorganisé, laborieux, en style télégraphique élémentaire, appelé en clinique « locution non fluente » ou « jargon ».

* - **des centres de reconnaissance** :

* **le centre de la surdité verbale** : il est situé dans le lobe temporal, en arrière des centres de projection de l'audition. C'est l'aire de **Wernicke** de l'hémisphère gauche, située dans le territoire artériel de la portion *distale* de l'artère cérébrale moyenne (ou a. sylvienne). Il s'agit de la composante cognitive du langage, qui concerne le sens du langage. Sa lésion entraîne l'incompréhension des paroles entendues, car elles ne sont pas reconnues. Il s'agit, en fait d'un trouble complexe du langage, associant diverses formes (logorrhée, paraphasie, erreur du mot, manque ou recherche du mot) appelé *Aphasie de Wernicke*, par lésion dans le lobe temporal postérieur. Mais l'aphasie de Wernicke donne un langage qui paraît normal dans sa construction, et qui appelé en clinique « locution fluente ».

Les accidents vasculaires cérébraux dans le territoire de l'artère cérébrale moyenne sont souvent responsables de nécrose ischémique corticale (ou ramollissent cérébral) au niveau des aires de Broca et de Wernicke.

* **le centre de la cécité verbale** : il est situé dans une zone intermédiaire entre le lobe pariétal et le lobe occipital. Sa lésion entraîne l'incompréhension des mots écrits ou imprimés, car ils ne sont pas reconnus.

L'ensemble de ces quatre centres constitue le **polygone du langage**. Il existe entre eux de nombreuses fibres d'association (dont le faisceau arqué, situé dans le territoire du pli courbe) qui relie les aires de Wernicke et de Broca). En effet, on entend et on comprend ses propres paroles, de même que l'on voit et que l'on comprend sa propre écriture. Il faut noter que ce polygone du langage, bien que bilatéral, n'est fonctionnel qu'à gauche chez les droitiers (et à droite chez les gauchers). Pour expliquer cette fonction unilatérale, on pense que les phénomènes moteurs et psychiques du langage, dont le synchronisme est très délicat, nécessitent la prédominance d'un hémisphère sur l'autre. C'est ainsi que s'expliqueraient certaines formes de bégaiement par non - prédominance d'un hémisphère sur l'autre.

Ces constatations posent le problème plus général de la spécialisation fonctionnelle des aires associatives de chacun des hémisphères.

Les aires associatives de l'hémisphère dominant (le gauche chez les droitiers) paraissent plus aptes aux fonctions procédurales, c'est-à-dire au traitement séquentiel et analytique des informations et, par conséquent, plus aptes aux raisonnements déductifs et logiques (les mathématiques par exemple).

Au contraire, les mêmes territoires dans l'autre hémisphère, paraissent plus aptes au traitement déclaratif, global et intuitif des informations, considérées comme un tout. Ce serait le lieu de la reconnaissance analogique des images sensorielles - visuelles – sonores – olfactives - gustatives (notion de l'espace environnant, des formes, des couleurs, de la musique, et de leurs nuances).

c - Le carrefour temporo-pariéto-occipital :

Il s'agit d'une zone associative très importante située à cheval sur trois lobes : le lobe pariétal, le lobe temporal et le lobe occipital et qui correspond à l'aire 40. C'est la région du pli courbe. Cette aire est principalement le territoire de la représentation spatiale extérieure et du schéma corporel. Ses troubles pathologiques se caractérisent par des déficits fonctionnels complexes, qui sont :

a) - des apraxies :

perturbations de l'exécution motrice volontaire et coordonnée.

b) - des agnosies :

troubles de l'identification et de la reconnaissance.

En bref, cette région est un grand centre de synthèse d'informations différentes.

d - Les aires associatives du lobe temporal

En plus des aires auditives et des aires motrices extra-pyramidales (origine du faisceau temporo-pontique), le cortex temporal contient de vastes territoires associatifs qui correspondent aux circonvolutions T3 et T4 (aires 36, 37, 38), et concernent la mémorisation d'informations, spécialement visuelles.

A noter que T5 appartient fonctionnellement au système limbique.

4.4.2.2. - Systématisation du paléencéphale [S.36]

(Noyaux gris centraux)

(Centres des voies motrices extra - pyramidales)

Les noyaux gris centraux sont constitués par le corps strié et la couche optique ou thalamus. Ces structures ont été étudiées au chapitre de la morphologie. Ils jouent un rôle important dans la fonction motrice et dans le contrôle de son déroulement. En effet, toute activité motrice n'est pas volontaire. Il existe à l'intérieur du mouvement normal une grande participation d'activités motrices automatiques qui résultent très principalement des fonctions des noyaux gris centraux, situés dans le paléencéphale. Leurs voies neurologiques particulières constituent les voies motrices extra – pyramidales dont les faisceaux de sortie atteignent plus bas, tous les segments de la moelle épinière.

Au niveau des noyaux gris centraux, ces voies constituent les circuits striataux.

°Les circuits striataux

Les différentes connexions des noyaux gris centraux entre eux et avec le cortex, décrivent plusieurs systèmes de boucles de régulation de l'activité motrice, dont la participation est indispensable à l'exécution normale du mouvement. Ces connexions sont assurées par des voies et des synapses qui mettent en jeu des neuro-médiateurs et des récepteurs spécifiques. On distingue actuellement 5 boucles de régulation :

- **le circuit striatal principal (CSP)** : il est cortico-strio-thalamo-cortical.

- **les quatre circuits striataux accessoires (CSA):**

* **1er CSA** : néo-striatum, pallidum, noyau latéro-ventral intermédiaire du thalamus et retour au cortex.

* **2è CSA** : boucle pallido-sous-thalamo-striée : elle relie le pallidum au corps de Luys et à la zona incerta.

* **3è CSA** : c'est la boucle strio-nigrique qui est impliquée dans la physio-pathologie de la **maladie de Parkinson**.

* **4è CSA** : boucle strio-nigro-thalamique et retour au néo-striatum et retour au néo-striatum.

(A noter, l'organisation générale en boucles de contrôle ou de rétro - action).

° **les systèmes d'entrée dans les circuits striataux:**

Le cortex du cerveau projette des fibres sur le paléocéphale (sur le néo-striatum puis, au delà, sur le pallidum). Ce sont les voies cortico -striées.

° **les systèmes intra - striataux:**

C'est le circuit striatal accessoire 1. Il relie le néo- striatum (Noyau caudé/Putamen) au paléo – striatum (Pallidum/noyaux latéro - ventraux du thalamus).

° **les systèmes de sortie des circuits striataux:**

Les corps striés sont en relation avec les noyaux sous-jacents: noyaux sous opto - striés et, au delà, avec la substance réticulée. Ce sont les voies strio – réticulaires.

Physio – pathologie du paléocéphale (Pathologie motrice extra – pyramidale)

Applications cliniques :

La pathologie extra pyramidale comporte les signes cliniques suivants :

- troubles du tonus musculaire : l'hypertonie est une rigidité de type plastique. Elle est, en principe, diffuse. Cependant une hypertonie localisée entraîne une dystonie, responsable de mouvements anormaux, incontrôlables. Ils se voient dans l'Athétose, la Chorée, et l'Hémiballisme. Ce dernier correspond à une lésion sélective du Corps de Luys.
- tremblements rythmiques de repos qui disparaissent au mouvement.
- akinésie par difficulté d'exécution du mouvement volontaire, aboutissant à la rareté du geste et de l'expression (Maladie de Parkinson).

En bref, les lésions des centres et des voies du paléencéphale se traduisent par des troubles du mouvement et des troubles du tonus musculaire. On distingue ainsi deux types de syndromes extra –pyramidaux :

- Un syndrome hypokinétique – hypertonique (rigidité musculaire) :
Ex : Maladie de Parkinson (boucle strio – nigrique)
- Un syndrome hyperkinétique – hypotonique : Ex : Athétose (lésion du néo – striatum).

4.4.2.3. - Systématisation de l'archencéphale : le système limbique [S.37]

Il est constitué par un ensemble de centres nerveux très profonds, au centre du cerveau, abondamment reliés entre eux, mais aussi avec les aires corticales associatives, le thalamus, l'hypothalamus, et les aires pré- - frontales.

Fonctionnellement, les territoires du lobe limbique sont responsables de l'organisation des comportements instinctifs fondamentaux et de l'expression des émotions et des motivations, assurant la protection de l'individu et la survie de l'espèce. C'est le domaine de l'instinct.

En bref, il s'agit des trois fonctions primordiales qui sont :

- **vivre** (motivations alimentaires)
- **survivre** (en cas de menace, deux comportements opposés, combattre ou fuir – Instinct de sauvegarde ou de conservation).
- **se reproduire** (sexualité)

Anatomie du système limbique

Au plan du développement phylogénétique, il correspond à l'association de l'archencéphale et du paléencéphale. Il forme le *rhinencéphale* des mammifères macrosmatiques, pour lesquels l'olfaction est une fonction essentielle. Chez l'homme, la fonction olfactive est réduite, mais toutes les autres fonctions du lobe limbique sont conservées.

Il comprend les organes suivants :

- **L'appareil olfactif**
- **L'hippocampe ventral,**
- **Le noyau amygdalien** (ou complexe amygdalien): c'est un noyau gris situé dans l'épaisseur du lobe temporal au niveau de l'uncus,
- **La région septale,** avec les noyaux du septum

Il ne s'agit pas exactement du septum lucidum, mais d'une aire voisine (aire 25) située dans la partie basse de la face médiale du lobe frontal et sous le bec du corps calleux (gyrus sous – calleux). Elle est l'aboutissement de la bandelette olfactive médiale.

Les noyaux profonds (noyaux du septum, dont le noyau accubens) ont gardé, peut-être au détriment des finalités olfactives, une vive activité impulsive et motivante.

Ce sont des éléments très actifs de la physiologie du lobe limbique (attirance, appétit, satisfaction).

- Le grand lobe limbique de Broca

Il est formé par :

- * le gyrus cingulaire
- * la circonvolution para-hippocampique ou T 5

Anatomie fonctionnelle

Cet ensemble est le siège de deux manifestations du comportement :

A - C'est le centre de la manifestation des émotions, se rapportant soit aux motivations alimentaires (attirance, appétit) soit aux instincts de conservation en cas de danger (combattre ou fuir, c'est-à-dire agressivité, ou répulsion), soit aux instincts fondamentaux de la sexualité.

Les voies sont représentées par la bandelette semi-circulaire assurant le circuit **SEPTUM / AMYGDALÉ**. Les expériences neuro - physiologiques ont montré que les stimulations des noyaux du septum, étaient génératrices de sensations de plaisir ou de satisfaction. Au contraire, la stimulation du noyau amygdalien est génératrice de sensations d'agressivité (combat) ou de crainte (fuite).

Toutes ces manifestations fondamentales étant en rapport avec la vie végétative, on comprend que le système limbique échange de nombreuses relations avec l'hypothalamus et la substance réticulée. Il est aussi en relation avec les aires associatives sensorielles du cortex et spécialement les aires pré-frontales qui ont des fonctions psycho-affectives se rapportant avec la personnalité des individus. Toutes ces régions sont inter - connectées, dans les deux sens, par le faisceau médian du télencéphale.

B - C'est aussi le centre de la mémoire.

A l'intérieur du système limbique, il existe, en plus, une boucle fermée sur elle-même, utilisant le tubercule mamillaire, le noyau antérieur du thalamus, le gyrus cingulaire, la région de l'hippocampe et le fornix..

Ce circuit, décrit par **Papez**, est responsable de la mémoire de fixation. Une interruption de ce circuit provoque une amnésie antérograde (seuls les souvenirs anciens sont conservés, mais il ne peut s'en constituer de nouveaux.).

On peut étudier la mémoire à trois niveaux: clinique, physiologique et pathologique.

La mémoire au plan clinique:

La mémoire immédiate (testée après une ou quelques informations sensorielles brèves).

La mémoire récente (ou à court terme, quelques heures à quelques jours)

La mémoire à long terme (souvenirs consolidés et durables)

Des travaux plus récents, basés sur les « tests – mémoire » classiques, distinguent :

- pour Popper (1977) : **la mémoire implicite**, spontanée, sans effort, concernant les faits habituels et répétitifs (c'est une mémoire motrice), et **une mémoire explicite**, concernant les événements particuliers. C'est une mémoire intellectuelle, plus fragile.
- Pour Squire (1983), la **mémoire procédurale** concerne les automatismes du savoir - faire habituel, basée sur les enchaînements analytiques des faits concrets, moteurs, sensitifs ou sensoriels, et la **mémoire déclarative** (plus fragile) : c'est une mémoire cognitive des faits abstraits, basée sur

l'enchaînement des liens logiques et analogiques. Elle est lésée dans les lésions de l'hippocampe.

- Sur ces bases là, Michel Serres a décrit deux principes de pédagogie : la pédagogie procédurale, simplement énumérative et descriptive (mathématique ou « digitale »), et la pédagogie déclarative, explicative, extensive et « analogique », exposant ses objectifs et ses liens, dont la cohérence logique facilite la mémorisation et le décloisonnement de la connaissance.

La mémoire au plan physiologique:

entrée des données: Informations d'origine sensorielle, majorées en intensité par le contexte motivant ou émotif (rôle du lobe limbique) ou psycho-affectif (rôle des aires pré-frontales). Ces informations atteignent les territoires psychiques ou aires de gnose sensorielle du cortex.

le lieu de stockage: Dans un premier temps (mémoire immédiate), ce sont les aires de gnose du cortex sensoriel (d'ou la notion de mémoire visuelle, auditive, olfactive...), puis le cortex de toutes les aires associatives (pré-frontales, pariétales et temporales).

Ainsi, tous les cortex sont des sites potentiels de stockage: d'abord, le néocortex (hémisphérique), puis, plus profondément, le paléocortex (gyrus cingulaire et gyrus parahippocampique ou T5), enfin, l'archéocortex (hippocampe).

Il existe donc une notion de pénétration progressive, jusqu'aux sites de la mémoire de fixation (mémoire à long terme – circuit de Papez).

Mécanisme du stockage: Il s'agit de modifications moléculaires progressivement stables dans le cytoplasme du neurone, sous l'influence de signaux bio-électriques, d'autant plus actifs qu'ils sont répétitifs (circuits réverbérants – rétro - action positive).

Ces modifications moléculaires sous stimulation nerveuse concerneraient la synthèse de l'ARN. L'ARN est une molécule, située dans le cytoplasme des cellules, et intervenant dans les processus d'information de la cellule (en bref, notion de codage bio-électrique et neuro-chimique dans les neurones.

la sortie ou réactivation des données mémorisées: le phénomène d'évocation (ou de re-mémorisation) est activé par une pulsion spontanée ou provoquée, dont les agents profonds sont le système réticulaire activateur ascendant (SRAA), puis le circuit de Papez et le thalamus (système réticulaire diffus), puis les aires associatives concernées, au niveau du néo-cortex.(prise de conscience avec formulation plus ou moins complète ou exacte du souvenir).

La mémoire au plan pathologique:

Les amnésies organiques

a)- atteinte du Système réticulaire ascendant: Sa fonction est nécessaire au phénomène d'attention et de concentration. Il est hors fonction pendant les comas, la crise d'épilepsie, et l'anesthésie générale.

b) - le syndrome de Korsakoff : C'est une amnésie antérograde qui concerne la mémoire récente et à long terme, mais non la mémoire immédiate. Il existe en plus un léger débord rétrograde. Les lésions sont situées dans l'hippocampe, le tubercule mamillaire et le fornix.

Les étiologies sont l'éthylisme, certaines encéphalites, les ramollissements dans les territoires cérébraux postérieurs.

c) - les lésions dégénératives: Dans les démences organiques de l'adulte avec troubles de la mémoire, la dégénérescence concerne le cortex, les hippocampes et les noyaux amygdaliens (Ex: démence sénile, maladie de Pick et maladie d'Alzheimer).

c)- Les lésions pré-frontales: Elles perturbent l'attention et la mémoire immédiate.

d)- L'ictus amnésique: Manifestation soudaine mais transitoire (quelques heures) et sans déficit secondaire, sauf une amnésie lacunaire (ischémie transitoire des hippocampes?).

e)- Amnésies traumatiques: En plus de l'amnésie lacunaire contemporaine de l'accident, il peut exister un créneau étroit d'amnésie rétrograde.

Les amnésies non organiques: les amnésies affectives.

Conclusions et réflexions sur le lobe limbique

Alors que les informations proviennent du milieu extérieur par les voies sensorielles et les aires de projection primaires, leur traitement (c'est à dire leur compréhension et leur charge symbolique) est assuré par les aires corticales associatives. Celles ci sont stimulées par les boucles ascendantes provenant du cerveau profond le plus archaïque (archencéphale), et se projetant, en particulier sur le thalamus d'une part et les aires pré-frontales, d'autre part. Elles concernent les réactions, les pulsions affectives, tensions et motivations élémentaires, nécessaires à la vie et à la survie. Elles suscitent ainsi l'établissement de liens comparatifs et associatifs entre les multiples informations qui entrent dans le système.

Là est, peut-être, la source du développement progressif des aires associatives corticales et du développement corrélatif de l'intelligence humaine, qui résulteraient d'une confrontation entre les situations **extérieures** à l'individu, et le traitement **intérieur** de leurs informations, par les réactions affectives les plus élémentaires. Ceci est à rapprocher d'une réflexion récente d'Edgard Morin :

- " Le développement de l'intelligence est lié à celui de l'affectivité chez les mammifères. L'affectivité est indispensable à la compréhension ".

On comprend mieux ainsi toute l'importance fonctionnelle du lobe limbique d'une part, et la notion de la globalité fonctionnelle du cerveau d'autre part, en raison du traitement extensif et associatif de l'information et de son retentissement affectif, lié aux mouvements des neurotransmetteurs.

4.4.3 - Les fibres d'association [S.38]

Elles constituent, en grande partie, la structure de la substance blanche cérébrale.

a) fibres courtes (ou fibres arquées): Elles assurent des relations à la surface du cortex, entre les différentes circonvolutions voisines

b) fibres longues : Ce sont les fibres intra-hémisphériques. Elles assurent les connections entre les différents lobes d'un même hémisphère, en formant les faisceaux suivants :

- faisceau longitudinal supérieur

- faisceau longitudinal inférieur
- faisceau du cingulum
- faisceau uncinatus
- faisceau de l'uncus

c) **fibres inter- hémisphériques** (ou commissurales): Elles passent dans le corps calleux

4.5. -Vascularisation artérielle du cerveau

4.5.1.. Les sources: le trépied artériel [S.39]

Les trois troncs artériels responsables exclusivement de la vascularisation cérébrale sont:

- L'artère Carotide interne droite
- L'artère Carotide interne gauche
- l'artère Basilaire (elle-même formée par l'anastomose des deux artères vertébrales).

L'ensemble est appelé le trépied artériel du Cerveau.

Ces trois artères majeures montent dans le cou. Traversant la base du crâne, elles pénètrent dans la boîte crânienne et donnent leurs branches terminales près de la face inférieure du cerveau.

Les branches terminales des A. carotides internes sont :

1. L' A. cérébrale antérieure
2. L' A. cérébrale moyenne (ou A. sylvienne)
3. L' A communicante postérieure
4. L' A. choroïdienne antérieure

Les branches terminales de l'A. Basilaire sont les A. cérébrales postérieures.

4.5.2. Le polygone de Willis [S.40]

Contre la face inférieure du cerveau, les artères cérébrales antérieures, moyennes et postérieures réalisent, par leurs anastomoses contro - latérales, un système anastomotique d'assez gros calibre.

Ce système est appelé Polygone de Willis. Ainsi, des suppléances contro- latérales sont possibles, à ce niveau, en cas de déficit circulatoire par athérome progressif des gros troncs.

4.5.3. Les artères superficielles ou corticales

Elles irriguent la surface de chaque hémisphère.

Les artères cérébrales antérieures et postérieures pénètrent dans la fissure médiane du cerveau, appliquées contre la face médiale des hémisphères. Leurs branches terminales montent verticalement contre cette face, contournent le sommet de chaque hémisphère, et irriguent le tiers supérieur de la face latérale de l'hémisphère. Par référence somatotopique (homunculus de Penfield), ces régions correspondent à la projection motrice du membre inférieur et du tronc.

Les artères cérébrales moyennes présentent d'abord un premier segment horizontal contre la face inférieure du lobe frontal, puis gagnent la face latérale de l'hémisphère par un trajet sinueux, placé dans le fond de la fosse latérale.

Leurs branches terminales ascendantes irriguent le tiers moyen de la face latérale de l'hémisphère. Par référence somatotopique (homunculus de Penfield), ces régions correspondent à la projection motrice du membre supérieur et de la face (infarctus cérébral à ce niveau = hémiparésie brachio - faciale).

Les branches terminales descendantes irriguent le tiers inférieur de la face latérale de l'hémisphère (lobe temporal).

4.5.4. Les artères profondes ou centrales [S.41]

a. centrales ou capsulo-striées : Elles proviennent, pour la plupart, du premier segment sous-frontal de l'A cérébrale moyenne. D'autres proviennent de la portion initiale de l'A. cérébrale antérieure. Elles pénètrent dans le cerveau en traversant sa face inférieure et assurent l'irrigation des noyaux gris centraux et de la capsule interne. A ce niveau, une artéiole un peu plus volumineuse est appelée " l'artère de l'hémorragie cérébrale". La rupture artérielle à ce niveau entraîne une hémorragie capsulaire cataclysmique, avec coma soudain et une hémiparésie (ictus apoplectique).

b. choroïdiennes, antérieure et postérieure:

Elles proviennent des artères cérébrales correspondantes. Elles pénètrent dans le cerveau pour se distribuer aux parois des ventricules et aux plexus choroïdes.

4.5.5. Problème des anastomoses

Les artères corticales et les artères centrales sont de type terminal, c'est-à-dire sans anastomose fonctionnelle avec les artères voisines. En cas d'occlusion artérielle ou artériolaire, il n'y a donc pas, en principe, de suppléance possible et le territoire ischémié est le siège d'une nécrose par ischémie ou ramollissement cérébral (ou infarctus cérébral). Toutefois, dans des dispositions artérielles favorables (rares), il peut exister des anastomoses partiellement fonctionnelles permettant une circulation collatérale de suppléance (?).

Conclusions : Tableau général des pathologies du Cerveau :

- Pathologies traumatiques : Traumatismes crâniens et cranio – cérébraux
- Pathologies vasculaires : Accidents vasculaires cérébraux (A.V.C./A.I.T.) : Hémorragie cérébrale, Ramollissement cérébral par infarctus cérébral, Rupture d'anévrisme.
- Pathologies dégénératives : Démences séniles – Maladie d'Alzheimer – Sclérose en plaques – Maladie de Parkinson
- Pathologies tumorales
- Pathologies infectieuses : Abscesses du cerveau - Encéphalites
- Pathologies parasitaires exotiques : Paludisme – Maladie du sommeil – Cysticercoses
- Pathologies toxiques : Alcool – Drogue – Oxyde de carbone
- Pathologies malformatives – Pathologies héréditaires

Types anatomo – pathologiques des lésions, selon l'étiologie : Lésions diffuses ou en foyer.

5.- LA MOELLE EPINIÈRE

5.1. Morphologie externe

5.1.1.- Description [S.42]

C'est un cordon de tissu nerveux situé dans le canal vertébral et s'étendant de la première vertèbre cervicale à la deuxième vertèbre lombaire. Il a 43 cm de long chez l'adulte et pèse une trentaine de grammes.

La moelle présente deux renflements : un renflement cervical et un renflement lombaire qui correspondent à la naissance des plexus (plexus brachial et plexus lombo-sacré). La partie la plus inférieure de la moelle s'appelle le cône terminal, prolongé par le filum terminale. Elle est placée dans une enveloppe fibreuse : la dure-mère. L'extrémité inférieure de la moelle ne descend pas en dessous de la deuxième vertèbre lombaire et le cul de sac dural inférieur s'arrête au niveau de S2.

La surface de la moelle épinière est parcourue par des sillons verticaux. Le plus large placé sur la face ventrale est appelé fissure médiane ventrale. Sur la face dorsale, il existe un sillon médian dorsal. Enfin, latéralement il existe des sillons collatéraux ventraux et dorsaux qui correspondent à l'émergence des fibres nerveuses qui forment les racines d'un nerf spinal.

[S.40]

5.1.2.- Nerf spinal (anc. nerf rachidien) [S.43] [S.44]

Il existe 31 paires de nerfs spinaux qui naissent de la moelle épinière. Ils constituent le premier segment des nerfs périphériques. Ils possèdent près de la moelle deux racines. La racine dorsale, sensitive, est pourvue d'un ganglion spinal dans lequel se trouvent les corps cellulaires des neurones sensitifs (cellules en T). La racine ventrale, motrice, contient le cylindraxe des neurones moteurs. Le nerf spinal ainsi constitué est donc un nerf mixte.

En raison de la croissance différentielle de la moelle épinière et du canal vertébral, la disposition des racines, dans ce canal, varie selon le niveau considéré. Au niveau cervical, les racines sont pratiquement horizontales. Elles deviennent progressivement de plus en plus obliques le long de la moelle thoracique puis de plus en plus verticales au niveau de la moelle lombo-sacrée. Enfin, à ce niveau, les nerfs spinaux descendent verticalement sous la moelle dans le cul-de-sac dural.

L'ensemble de ces racines nerveuses lombo – sacrées constituent *les nerfs de la queue de cheval*. Ils sont responsables de la motricité et de la sensibilité des membres inférieurs, des sphincters et du périnée.

Globalement, la moelle épinière donne naissance à 8 nerfs spinaux cervicaux (de C1 à C8), 12 nerfs spinaux thoraciques (T1 à T12), 5 nerfs spinaux lombaires (L1 à L5), 5 nerfs spinaux sacrés (S1 à S5), 1 nerf spinal coccygien (C1).

En tout, il existe donc 31 paires de nerfs spinaux.

Malformations de la moelle épinière : [S.45]

Le Spina bifida est une malformation congénitale de la moelle épinière terminale et des racines nerveuses lombo- sacrées. Elle présente plusieurs degrés de gravité, de la forme bénigne (Spina bifida fermé) à la forme grave (Spina bifida ouvert) qui est détectable à la naissance.

5.1.3.- Notion de dermatomes sensitifs [S.46]

(ou Innervation cutanée sensitive radiculaire)

La projection cutanée des territoires sensitifs des racines spinales détermine à la surface du corps des bandes sensibles plus ou moins parallèles appelées dermatomes sensitifs.

Chacun des dermatomes correspond à un niveau radiculaire précis (voir les schémas des dermatomes sensitifs des membres et du tronc).

5.1.4.- Les moyens de protection de la moelle épinière [S.47]

Dans le canal vertébral, la moelle épinière est protégée par les méninges : la dure - mère, l'arachnoïde et la pie - mère. L'espace sub - arachnoïdien contient le liquide cérébro - spinal ou liquide céphalo-rachidien, (déjà étudié dans les chapitres du cerveau 4.1.3 et 4.1.4). A noter que la dure - mère est partiellement adhérente aux parois osseuses du canal vertébral, ménageant cependant des espaces étagés entre la méninge et la surface osseuse. Cet espace extra - dural s'appelle « espace épi - dural ». Il peut être le siège d'hématomes extra - duraux, compressifs de la moelle.

5.2.- La vascularisation de la moelle

La vascularisation de la moelle est assurée par un apport artériel et un drainage veineux. Il n'y a pas de drainage lymphatique.

5.2.1.- Vascularisation artérielle [S.48]

(notion de déségmentation artérielle)

Les artères superficielles de la moelle sont disposées en 3 systèmes verticaux, anastomosés entre eux par un réseau horizontal péri- médullaire.

a) - **l'artère spinale antérieure** : elle est verticale et située au niveau de la fissure médiane ventrale.

b) - **l'artère spinale postérieure droite** longe le sillon collatéral postérieur droit.

c) - **l'artère spinale postérieure gauche** longe le sillon collatéral postérieur gauche

d) - **Le réseau horizontal péri - médullaire** distribue des artéριοles pénétrantes et assure la vascularisation des cordons de substance blanche. Le réseau horizontal est fourni par les branches terminales des artères radiculo-médullaires.

Il existe, chez l'embryon, une artère radiculo-médullaire par nerf spinal, donc 31. En fait, la disposition métamérique des artères, régresse progressivement (déségmentation artérielle), à partir de la naissance. Elles n'ont pas toutes le même calibre ni la même valeur fonctionnelle. Le plus grand nombre n'atteint pas la moelle.

Il subsiste, de ce fait, quelques artères principales qui assurent l'irrigation des trois segments de la moelle.

e) - **Les sources artérielles principales [S.49]**

* - **au niveau cervical** : les artères vertébrales assurent la formation de la partie haute de l'artère spinale antérieure. Elles donnent, en plus, deux ou trois artères médullaires (artères radiculaires cervicales ou artères du renflement cervical).

* - **au niveau thoracique**, il existe une ou deux artères radiculo-médullaires principales provenant des artères intercostales. C'est le segment de la moelle le plus pauvrement vascularisé.

* - **au niveau lombaire** : il existe une seule artère importante, c'est l'artère radulaire lombaire ou artère du renflement lombaire ou artère d'**ADAMKIEWICZ**, dont l'origine est variable.

f) - Les territoires artériels dans la moelle

* **Les branches pénétrantes de l'artère spinale antérieure** assurent la vascularisation de la corne antérieure de la substance grise (aire motrice), et d'une partie du cordon latéral de la substance blanche, qui contient le faisceau pyramidal.

* **Les branches pénétrantes périphériques du cercle péri-médullaire** assurent la vascularisation des cordons de substance blanche.

5.2.2.- Vascularisation veineuse de la moelle

Les veines sont plus nombreuses que les artères et plus volumineuses (Ex: la grosse veine spinale dorsale).

En plus des veines médullaires satellites des artères déjà décrites, il existe, dans le canal vertébral, un très important réseau veineux plexiforme, en position extra-durale et en rapport avec les veines des vertèbres. Ce sont les veines épi - durales. Ces réseaux épi - duraux peuvent être responsables d'hématomes intra-vertébraux comprimant la moelle.

5.3.- Morphologie interne [S.50]

La moelle épinière est formée par la substance grise qui est en situation profonde et la substance blanche qui est en situation périphérique. Au centre de la substance grise se trouve le canal de l'épendyme.

5.3.1.- La substance grise

Autour du canal de l'épendyme se trouve la substance grise formée par les corps cellulaires des neurones, leurs dendrites et leurs synapses. C'est le centre nerveux de la moelle. Cette substance grise, à la coupe, a la forme d'un papillon, permettant de reconnaître des expansions antérieures appelées cornes ventrales qui ont une fonction motrice, et des expansions postérieures appelées cornes dorsales qui ont une fonction sensitive. De part et d'autre du canal de l'épendyme se trouvent la commissure grise antérieure et la commissure grise postérieure.

5.3.1.1.- Structure de la zone péri-épendymaire

La partie centrale péri-épendymaire a une fonction végétative et synaptique. Cette région contient un grand nombre de courts neurones interposés entre les voies de la sensibilité et les voies de la motricité. Ils sont appelés : **interneurones**.

5.3.1.2.- structure de la corne ventrale

Elle a une fonction motrice. Elle contient les motoneurones dont les axones forment les fibres motrices des nerfs périphériques. Ces motoneurones sont groupés en *noyaux moteurs*. Les uns, en situation médiale, sont responsables de l'innervation des muscles axiaux (muscles spinaux). Les autres, en situation latérale, sont responsables de l'innervation des muscles des membres. Les noyaux intermédiaires sont responsables de l'innervation des muscles des ceintures et proximaux des membres. Enfin, le plan le plus antérieur correspond aux muscles extenseurs et le plan postérieur, aux muscles fléchisseurs. Il existe donc une somatotopie de la corne ventrale de la substance grise.

Au niveau des renflements médullaires, c'est à dire au niveau de la naissance des plexus des membres, les noyaux moteurs sont groupés verticalement formant de véritables colonnes, se prolongeant sur plusieurs segments de moelle et formant des *centres moteurs pluri-segmentaires*. Ceux-ci contiennent les motoneurones périphériques des muscles ayant des synergies fonctionnelles, à l'intérieur de chaînes cinétiques musculaires (exemple : muscles deltoïde, biceps brachial, coraco-brachial, brachio-radial, qui assurent l'abduction de l'épaule, la flexion du coude et la supination, et dont l'innervation radriculaire commune est de niveau radriculaire C5 et C6 – mouvement global d'enroulement du membre supérieur).

5.3.1.3.- Structure de la corne dorsale

Elle a une fonction sensitive. Ses neurones sont regroupés en 3 noyaux principaux :

- a) - le noyau de **CLARKE** situé sur le bord médial du col de la corne dorsale
- b) - le noyau de **BETCHEREW** : Peu visible, il est situé sur le bord latéral du col. Il figure uniquement au niveau du renflement cervical, car il concerne l'innervation sensitive du membre supérieur.
- c) - **le noyau propre de la corne dorsale** est le plus volumineux.

Les deux premiers noyaux sont des relais sur les voies de la sensibilité proprioceptive inconsciente (fuseaux neuro-musculaires et organes neurotendineux de **GOLGI**). Le dernier noyau est un relais sur la voie des sensibilités protopathiques, thermiques et douloureuse.

Les trois noyaux constituent, par association verticale, des *centres sensitifs pluri-segmentaires* au niveau des renflements médullaires.

Dans la pointe de la corne dorsale on distingue, en arrière du noyau propre:

- a) - la substance gélatineuse de **ROLANDO** qui joue un rôle important dans la transmission et le filtrage de la douleur
- b) - la zone marginale de **WALDEYER**
- c) - le faisceau de **LISSAUER** qui est un étroit recouvrement de substance blanche en arrière de la corne dorsale.

5.3.1.4.- Structure laminaire de la substance grise [S.51]

En 1952, **REXED** montra, par coloration des neuro – transmetteurs, que la substance grise était formée de lames cellulaires superposées qu'il numérotait de I à X (voir schéma). La lame VII, située dans la région centrale de la substance grise, contient des neurones d'association. C'est la zone des interneurons. On retrouve, au niveau des différentes lames, les structures nucléaires décrites plus haut.

5.3.2. -La substance blanche

5.3.2.1.- Substance blanche proprement dite [S.52]

Elle est formée par les fibres nerveuses recouvertes de leur gaine et groupées en faisceaux. Les fibres sensibles montent dans la moelle vers les centres supérieurs. Les fibres motrices descendent vers les motoneurons. La substance blanche est donc une zone de passage. On distingue dans la substance blanche un certain nombre de territoires, appelés :

**cordons ventraux,
cordons latéraux,
cordons dorsaux.**

Dans ces cordons se trouvent tous les faisceaux nerveux moteurs et sensitifs en transit dans la moelle.

5.3.2.2.- Faisceau propre ou faisceau fondamental [S.53]

C'est une mince couche de substance blanche située à la périphérie de la substance grise. Elle contient des fibres verticales d'association inter-segmentaires s'articulant principalement avec les interneurons de la lame VII.

5.4.-Systématisation et physiologie de la moelle épinière

La substance blanche et la substance grise ont une organisation et des fonctions différentes.

5.4.1.-La substance grise [S.54]

C'est un centre nerveux segmentaire.

* **Centre nerveux**, car, dans la substance grise, se déroulent des phénomènes réflexes.

* **Segmentaire**, car la substance grise est formée d'éléments étagés qui correspondent à la subdivision métamérique de l'embryon. Chaque segment de moelle grise, appelé *neuromère*, donne naissance aux racines d'un nerf spinal. Ainsi sur toute la hauteur de la substance grise de la moelle, on peut reconnaître la naissance de 31 paires de nerfs spinaux qui sont :

- * 8 neuromères cervicaux qui donnent 8 nerfs spinaux cervicaux
- * 12 neuromères thoraciques qui donnent 12 nerfs spinaux dorsaux
- * 5 neuromères lombaires qui donnent 5 nerfs spinaux lombaires
- * 5 neuromères sacrés qui donnent 5 nerfs spinaux sacrés et 1 neuromère coccygien qui donne 1 nerf spinal coccygien, qui est vestigial.

Il faut rappeler ici que la moelle épinière est plus courte que la colonne vertébrale (limite inférieure de la moelle : 2ème vertèbre lombaire). Il n'y a donc pas de concordance exacte de hauteur entre les neuromères médullaires et les niveaux vertébraux.

5.4.1.1.- la substance grise centre réflexe : l'arc réflexe simple et le réflexe médullaire réel. [S.55]

C'est au niveau de la substance grise d'un neuromère que se réfléchit l'arc réflexe simple dont voici le cheminement. Une information sensitive périphérique (tact, douleur etc ...) est véhiculée par le nerf périphérique (ex. n. médian) puis par le nerf spinal. Il pénètre par la racine dorsale jusqu'à la substance grise médullaire. Par articulation monosynaptique (ou plurisynaptique, en raison de l'interposition d'un neurone intercalaire ou de plusieurs), l'influx nerveux aboutit à un motoneurone de la corne ventrale. L'influx nerveux moteur efférent chemine alors dans la racine ventrale, puis dans le nerf spinal jusqu'à la plaque motrice de la fibre musculaire qui réagit par contraction.

Le réflexe myotatique (boucle gamma) est un exemple de réflexe mono – synaptique, assurant le réglage de la tonicité musculaire. [S.56]

Pour les autres réflexes, dans le fonctionnement de la moelle, chez l'homme, l'arc réflexe n'est jamais aussi simple. L'information sensitive diffuse sur plusieurs neuromères grâce à des cellules d'association verticale, et l'influx moteur peut partir d'un nombre encore plus grand de neuromères. Ce débordement de l'influx nerveux est en rapport direct avec l'intensité de la stimulation et sa diffusion est rendue possible par un très grand nombre de fibres d'association. Ces dernières sont disposées autour de la substance grise et constituent les voies proprio-spinales ou faisceau fondamental ou faisceau propre.

Le réflexe rotulien est un bon exemple d'un arc réflexe relativement simple puisqu'il intéresse deux neuromères (L3 et L4). Voir plus loin, le schéma et le tableau général des réflexes. (Chap.5.4.3.)

5.4.1.2.- La substance grise, centre de la motricité automatique.

Cette modalité de fonctionnement est en fait une conséquence de la propriété physiologique précédente. Lorsque pour des raisons pathologiques (myélite transverse ou section de moelle) les relations nerveuses entre le cerveau et la moelle sont interrompues, le segment médullaire sous-jacent à la lésion devient le siège de phénomènes moteurs automatiques qui sont :

5.4.1.2.1. - l'hypertonie musculaire : elle résulte de l'interruption de la voie motrice principale ou voie pyramidale. Cette hypertonie ou contracture pyramidale, s'appelle **SPASTICITE**. Elle est provoquée par une majoration de l'activité gamma du

réflexe myotatique. Elle est aussi responsable du clonus du pied ou de la rotule et de l'hyper-réflexivité tendineuse (Ex. paraplégie spasmodique en extension).

5.4.1.2.2. - l'apparition de réflexes de retrait

Ce sont des réflexes automatiques de défense dont la partie sensitive utilise la voie de la sensibilité superficielle (extéroceptive et nociceptive). Ce sont des réflexes cutanés. La partie motrice aboutit à des muscles provoquant le repli et le retrait des segments de membre. C'est le cas du réflexe cutané plantaire ou signe de **BABINSKI**. En cas de signe positif, le grattement du bord latéral de la plante du pied provoque l'élévation du gros orteil, associée parfois à une flexion complète du membre inférieur (Ex: automatismes médullaires de la paraplégie spasmodique en flexion. Cette forme apparaît plus tardivement et succède à la phase précédente).

5.4.1.3. – La substance grise, centre de la régulation médullaire de la motricité (connectique dans la corne ventrale).

La corne ventrale de la substance grise contient les corps cellulaires des motoneurones alpha (innervation des fibres musculaires phasiques), et des motoneurones gamma (innervation des fibres musculaires intra – fusoriales, pour régulation de l'activité tonique).

Elle contient, en plus, un réseau de petits neurones intercalaires, à fonction inhibitrice (cellules de RENSHAW). Ces cellules assurent la régulation et la répartition des phénomènes toniques dans les muscles agonistes et antagonistes.

Dans le mouvement normal, la force agoniste (ex. la flexion) s'accompagne d'un étirement de la musculature antagoniste. Il ne s'agit pas, ici, d'un simple étirement physique (comme un élastique), il s'agit d'une mise en tension régulée, progressivement et proportionnellement, par l'innervation récurrente de RENSHAW (mécanisme de l'innervation réciproque).

Ainsi, l'articulation est mécaniquement située au centre d'un couple de forces opposées, régulées par le système nerveux moteur, assurant le contrôle de la précision du geste.

5.4.2.- LA SUBSTANCE BLANCHE

Elle est formée par les longs faisceaux nerveux verticaux, groupés autour de la substance grise dans les cordons médullaires, ventraux, latéraux et dorsaux. [S.57]

5.4.2.1.- Les voies ascendantes (sensitives)

Elles commencent au niveau de corpuscules sensitifs spécifiques situés dans la peau (sensibilité superficielle) ou situés dans les capsules articulaires (sensibilité profonde).

5.4.2.1.1.- Structure et organisation des corpuscules sensitifs (voir schéma) [S.58]

L'examen du schéma montre qu'il existe plusieurs catégories (ou modalités) fonctionnelles de sensibilités. Chacune d'elle possède, à son origine des corpuscules spécifiques. Pour des raisons de terminologie fonctionnelle et clinique, il est commode de classer ces différentes sensibilités, en fonction de leur trajet dans le névraxe.

Les unes montent dans les cordons dorsaux de la moelle, atteignent la moelle allongée du tronc cérébral, et se regroupent pour former un tractus sensitif appelé **LEMNISCUS** (ruban de **REIL**). Ainsi, la sensibilité tactile épicritique, la sensibilité proprioceptive consciente, la baresthésie et la pallesthésie constituent le *système des sensibilités lemniscales*.

Les autres montent dans le cordon latéral de la moelle (sensibilités tactile protopathique, thermique et algésique). Dans la moelle allongée elles sont situées en dehors du lemniscus. Elles constituent le *système des sensibilités extra-lemniscales*.

Enfin, un dernier groupe de sensibilité se rapporte à la sensibilité proprioceptive inconsciente. Leur trajet va de la moelle épinière au cervelet. Elles sont appelées *sensibilités spino-cérébelleuses*.

En bref, on voit qu'on peut regrouper les différents modes de sensibilités en trois catégories, en fonction de leur trajet dans le névraxe :

* **sensibilités lemniscales**

* **sensibilités extra-lemniscales**

* **sensibilités spino-cérébelleuses.**

5.4.2.1.2. - organisation générale des voies sensitives [S.59]

Les voies sensitives montent dans la moelle, les unes vers le cervelet, les autres vers le cerveau. Elles sont formées d'une chaîne de 3 neurones successifs.

Exemple des voies lemniscales et extra - lemniscales:

a) - le premier neurone ou protoneurone : il fait suite à un corpuscule récepteur sensitif situé dans la peau, dans les muscles, dans les tendons, les capsules et les ligaments articulaires. Chaque type de sensibilité possède ses corpuscules spécifiques. Le protoneurone se situe dans les troncs nerveux périphériques, puis dans la racine dorsale du nerf spinal. Le corps cellulaire du neurone (qui est une cellule en T) est placé dans le ganglion spinal de la racine dorsale (note pratique : c'est dans le ganglion spinal que se

développe le virus du zona qui est, de ce fait, une « ganglionite »).

Le cylindraxe du protoneurone pénètre dans la moelle. Il s'articule alors avec le corps du deuxième neurone situé dans les noyaux sensitifs de la corne dorsale.

b) - le deuxième neurone ou deutoneurone : il est situé entièrement dans le névraxe. C'est lui qui constitue les faisceaux sensitifs qui montent dans la moelle. Les faisceaux de deutoneurones sensitifs montent les uns vers le cervelet (voies spino-cérébelleuses), les autres vers les noyaux gris centraux du cerveau (voies lemniscales et extra-lemniscales). Le deutoneurone se termine dans des noyaux gris centraux dont le principal est le thalamus situé dans la partie profonde du cerveau (noyau latéro-ventral postérieur du thalamus).

c) - **le troisième neurone ou neurone terminal** : il s'articule avec le précédent dans le thalamus et se termine dans l'écorce du cerveau. C'est le neurone de projection corticale.

5.4.2.1.3.- Organisation particulière des voies sensitives

5.4.2.1.3.1- origine et trajet des sensibilités lemniscales [S.60]

Les voies des sensibilités lemniscales transportent la sensibilité tactile épicrotique, la sensibilité proprioceptive consciente, la baresthésie (sensibilité à la pression) et la pallesthésie (sensibilité ostéo-périostée vibratoire).

a) - **la sensibilité tactile épicrotique** possède ses propres corpuscules sensitifs spécifiques situés dans l'épiderme (disques de **Merkel** et terminaisons sensitives annexées aux poils). Dans l'hypoderme se trouvent les corpuscules de **Paccini** et les corpuscules de **Golgi-Mazzoni**. Ils enregistrent la sensibilité à la pression sur la peau (baresthésie).

b) - **la sensibilité proprioceptive consciente** correspond aux corpuscules sensibles des ligaments et des capsules articulaires. Ils renseignent les centres nerveux sur la tension de l'appareil ligamentaire et sur la position des segments de membres dans l'espace (sens articulaire ou sens des positions ou *sensibilité profonde* des cliniciens).

c) - Ces voies contiennent aussi la **sensibilité vibratoire ou pallesthésie** dont les corpuscules sont situés dans le périoste des os (exploration clinique par les vibrations du diapason).

Le protoneurone qui véhicule ces sensibilités lemniscales est une fibre nerveuse du groupe II. Il se dirige vers la moelle dans les troncs nerveux périphériques. Son corps cellulaire est dans le ganglion spinal de la racine dorsale. Le cylindraxe pénètre dans la moelle. Il monte directement dans la substance blanche des cordons dorsaux en formant les faisceaux gracile et cunéiforme (anciens faisceaux de **Goll** et **Burdach**). Ils se terminent au-dessus de la moelle, au niveau de la moelle allongée, dans les noyaux gracile et cunéiforme (anciens noyaux de **Goll** et **Burdach**).

Plus haut, dans la moelle allongée (ou tronc cérébral), les fibres nerveuses des deutoneurones sensitifs croisent la ligne médiane (décussation sensitive) et sont groupées en faisceau rubané appelé lemniscus (anc. ruban de Reil).

A noter que ces protoneurones des sensibilités lemniscales abandonnent, en pénétrant dans la moelle, des collatérales destinées à la corne dorsale de la substance grise, et plus spécialement, à la substance gélatineuse de **Rolando** (notion de Gate Control de **Melzak** et **Wall** : filtrage de la douleur au niveau segmentaire).

(Note pratique : Syndrome des cordons dorsaux de la moelle: Voir le cours de Neurologie clinique)

5.4.2.1.3.2. - Origine et trajet des sensibilités extra - lemniscales [S.61]

(ou voies spino - thalamiques)

Dans la peau, les terminaisons nerveuses libres de la douleur locale sont le point de départ des sensations cutanées douloureuses et dans le derme les corpuscules de **Krause** et de **Ruffini** sont le point de départ des sensations thermiques (**Krause** : Froid et **Ruffini**: Chaud). Les corpuscules de **Meissner**, dans les papilles du derme, sont le point de départ d'une sensibilité tactile grossière approximative appelé *tact protopathique*.

Le protoneurone qui leur fait suite est une fibre du groupe III à conduction lente qui voyage dans les troncs nerveux périphériques et dans la racine dorsale du nerf spinal. Le corps cellulaire est dans le ganglion spinal. Le cylindraxone se termine dans le noyau de la tête de la corne dorsale soit directement, (pour le tact protopathique et les sensibilités thermiques), soit indirectement (pour la sensibilité douloureuse).

Le deutoneurone qui part du noyau de la corne dorsale, croise la ligne médiane au niveau de chaque neuromère en passant par la commissure grise antérieure et va constituer, dans le cordon latéral de la moelle, le **faisceau spino-thalamique** qui transporte ainsi vers le cerveau la sensibilité thermo-algésique et la sensibilité tactile grossière (tact protopathique). On distingue deux parties dans ce faisceau spino-thalamique (ou faisceau en croissant de **Dejerine**)

a) - le faisceau spino-thalamique ventral (ou paléo-spino-thalamique) il transporte la sensibilité protopathique dont l'excès de stimulation donne une sensation douloureuse profonde, confuse et imprécise s'accompagnant éventuellement de réactions végétatives (pâleur et nausées). Ce faisceau donne des rameaux collatéraux à la substance réticulée du tronc cérébral.

b) - le faisceau spino-thalamique dorsal (ou néo-spino-thalamique) il transporte les sensations thermiques et les sensations douloureuses, brèves et précises (douleur superficielle).

Ces faisceaux montent dans le cordon latéral de la moelle épinière puis dans le tronc cérébral pour atteindre le thalamus. Une partie seulement des fibres gagne directement le thalamus, *le reste aboutissant par de nombreuses collatérales à la substance réticulée du tronc cérébral (faisceau spino - réticulo - thalamique)*. Cette dernière voie est impliquée dans la transmission de la douleur.

En bref, les deux faisceaux des voies extra-lemnisciales donnent des branches collatérales à la substance réticulée, dans le tronc cérébral.

Applications physio-pathologiques :

Notion de Gate-contrôle: L'articulation des protoneurones de la sensibilité douloureuse superficielle avec le deutoneurone, dans la corne dorsale, se fait par un interneurone intermédiaire à fonction inhibitrice. C'est à ce niveau, dans la substance gélatineuse de Rolando, que s'exerce le contrôle médullaire des influx de la douleur *superficielle* (terminaisons libres de la douleur, dans l'épiderme) par la convergence des collatérales du système lemniscal.

Syndrome syringomyélique: Le croisement segmentaire des voies extra-lemnicales dans la moelle explique leur interruption dans le syndrome syringomyélique, par l'extension dégénérative du calibre du canal de l'épendyme.

En séméiologie, ceci se traduit par la dissociation des sensibilités (perte des sensibilités thermo-algésiques et conservation des sensibilités du système lemniscal, qui sont dans les cordons dorsaux de la moelle).

5.4.2.1.3.3. - Origine et trajet des sensibilités spino-cérébelleuses [S.62]

Ces voies transportent vers le cervelet les sensibilités proprioceptives inconscientes c'est à dire la sensibilité **à la tension** des muscles et des tendons musculaires.

Les petits organes sensitifs de la tension des muscles sont situés dans le corps musculaire. Ce sont les **fuseaux neuro-musculaires**. Répartis au sein des fibres musculaires squelettiques, ce sont, en fait, des **capteurs de tension**, qui se comportent comme un dynamomètre (ou une jauge d'extensométrie). Ils ont approximativement 1 à 2 mm de long. Ils n'ont pas d'action dynamique directe sur les segments squelettiques, mais participent au réglage du tonus musculaire nécessaire au mouvement et à la posture. Ils possèdent, au milieu de leur longueur, une dilatation en forme de fuseau dans laquelle sont disposées les terminaisons nerveuses spiralées comme un ressort. Ces formations nerveuses spiralées s'articulent avec le protoneurone de la proprioceptivité inconsciente. Les extrémités du fuseau sont formées de petites fibres musculaires striées qui reçoivent une innervation particulière provenant des motoneurons gamma, responsables du réglage du tonus musculaire. En raison de cette disposition, la formation nerveuse spiralée se distend en deux occasions :

- * lorsque un corps musculaire antagoniste subit une élongation (Ex: les muscles extenseurs, dans une flexion), cette élongation n'est pas passive. Elle est contrôlée et régulée par le système nerveux central (sensibilité proprioceptive inconsciente et paléo - cervelet).

- * ou lorsque les fibres musculaires du fuseau se contractent par innervation gamma. L'influx nerveux engendré par la distension de la formation nerveuse spiralée intermédiaire renseigne les centres nerveux sur l'état de tension du muscle. L'influx nerveux chemine tout au long du protoneurone qui est une fibre de type Ia (gros diamètre et vitesse rapide).

Il existe deux variétés de fuseaux neuro-musculaires :

- * **Les fuseaux neuro-musculaires primaires à fonction phasique** (Fuseaux N.M. à sac nucléaire). Ils participent au réglage du tonus musculaire des muscles agonistes, au cours du mouvement. Ils sont à l'origine de la boucle gamma, dont la fonction réflexe est de niveau spinal et segmentaire.

- * **Les fuseaux neuro-musculaires secondaires à fonction tonique** (Fuseaux N.M. à chaîne nucléaire). Ils sont responsables du tonus musculaire de base. Au cours du mouvement, ils assurent le réglage du tonus dans les muscles antagonistes. Ces deux catégories de fuseaux sont à l'origine de la boucle cérébelleuse, dont la voie intra - névraxique est formée par les faisceaux spino-cérébelleux direct et croisé.

- * **Les corpuscules neuro - tendineux de Golgi**, situés à la jonction musculo – tendineuse, renseignent les centres nerveux sur l'état des tractions enregistrées au niveau des

tendons. La fibre nerveuse qui en part est du type **Ib**. C'est un système protecteur de la jonction musculo – tendineuse.

Ces proto-neurones montent dans les nerfs périphériques, et dans la racine dorsale des nerfs spinaux. Leur corps cellulaire est dans le ganglion spinal. Les cylindraxes pénètrent dans la moelle épinière et se terminent dans les deux noyaux du col de la corne dorsale, les uns dans le noyau de Clarke, les autres dans le noyau de Betcherew.

a)- Faisceau spino-cérébelleux direct : Les deutoneurones, qui naissent du noyau de Clarke, gagnent le cordon latéral du même côté, pour former le **faisceau spino-cérébelleux direct** (anciennement F. de Fleischsig). Il monte tout au long de la moelle et du tronc cérébral, vers le cervelet (pédoncule cérébelleux inférieur). Il transporte la sensibilité proprioceptive inconsciente des membres inférieurs et du tronc.

b)- Faisceau spino-cérébelleux croisé : Les deutoneurones qui naissent du noyau de **Betcherew** croisent la ligne médiane dans la commissure grise postérieure et montent dans la moelle en formant le **faisceau spino-cérébelleux croisé** (anciennement F. de Gowers). Il monte dans la moelle épinière, vers le cervelet (pédoncule cérébelleux supérieur). Il transporte la sensibilité proprioceptive inconsciente du membre supérieur. De ce fait, le faisceau n'est présent que dans le segment cervical de la moelle.

5.4.2.1.3.4. – Synthèse des voies sensibles dans la moelle épinière [S.63]

En bref, on voit que les nombreuses modalités sensibles sont regroupées en trois systèmes, fondés sur leur trajet dans le névraxe (lemniscal, extra – lemniscal et spino – cérébelleux). Ces trajets expliquent les conséquences physio – pathologiques différentes pour chacun des trois systèmes.

5.4.2.2.-Les voies descendantes (voies motrices)

5.4.2.2.1.-Organisation générale [S.64]

Il existe deux catégories des voies motrices :

Les unes sont directes et monosynaptiques et constituent la voie cortico-spinale directe, présente dans le faisceau pyramidal.

Elle est constituée par une chaîne de deux neurones.

Le premier neurone est le neurone central, au trajet strictement cortico-spinal. Sa lésion pathologique, quel qu'en soit le niveau (cerveau, tronc cérébral, moelle épinière), se traduit par une paralysie centrale, avec *spasticité*.

Le deuxième neurone est le motoneurone de la corne ventrale ou motoneurone périphérique dont l'axone forme les fibres nerveuses motrices des racines spinales et des nerfs périphériques. Sa lésion pathologique se traduit par une paralysie périphérique, qui est flasque (ex. poliomyélite).

Il existe enfin des voies neurologiques motrices indirectes, polysynaptiques, constituant le système des voies motrices extra-pyramidales. Leur atteinte se traduit par des troubles moteurs centraux, avec rigidité de type *plastique*.

5.4.2.2.2.- Organisation particulière des voies motrices

5.4.2.2.2.1.- La voie motrice pyramidale : [S.65] [S.66]

C'est une voie directe cortico-spinale. Cette voie motrice principale est responsable de la motricité volontaire. Elle descend du cortex cérébral en formant le faisceau pyramidal, traverse la capsule interne et se dirige verticalement vers le tronc cérébral et la moelle épinière. Dans la traversée verticale du tronc cérébral, au niveau de la moelle allongée, le faisceau pyramidal, pour sa plus grande partie, croise la ligne médiane (décussation pyramidale) et descend dans la moelle du côté opposé à l'hémisphère cérébral d'origine. Ainsi se trouve individualisé dans le cordon latéral de la moelle, le volumineux faisceau pyramidal croisé. Un faible contingent de fibres motrices pyramidales ne subit pas la décussation et descend dans la moelle du même côté que celui de son origine : c'est le faisceau pyramidal direct placé dans le cordon ventral, le long de la fissure médiane de la moelle.

Les axones contenus dans le faisceau pyramidal croisé se terminent du même côté en s'articulant dans la corne ventrale avec les motoneurones alpha au niveau de chaque neuromère.

Les axones contenus dans le faisceau pyramidal direct croisent la ligne médiane au niveau de chaque neuromère et s'articulent à leur tour avec les motoneurones de la corne ventrale du côté opposé.

En définitive, la voie pyramidale est totalement croisée. La voie motrice principale issue du cortex et descendant dans la moelle est responsable du mouvement volontaire précis et sélectif. La voie pyramidale est encore appelée voie idio-cynétique (= voie motrice particulière).

En bref, on voit que l'organisation générale de la motricité volontaire correspond à une chaîne de deux neurones, neurone central et neurone périphérique (notions de paralysie centrale et de paralysie périphérique).

5.4.2.2.2. - les voies motrices extra - pyramidales : [S.67] [S.68]

Elles sont responsables de l'activité motrice globale, consciente ou non, qui se manifeste dans le cadre du mouvement. Elles mettent en oeuvre des groupes musculaires entiers d'où leur appellation très évocatrice sur le plan fonctionnel, de voies motrices holocinétiques (= voies motrices globales). Elles proviennent des différents centres moteurs du cerveau et du tronc cérébral et parcourent verticalement les cordons de substance blanche de la moelle. Il est commode de les classer en 3 catégories : voies archéo-motrices, paléo-motrices et néo-motrices.

a) - voies extra-pyramidales archéo-motrices (les plus anciennes)

Ce sont :

- **Le faisceau réticulo-spinal** : issu de la substance réticulée du tronc cérébral, il comprend deux parties :

*le faisceau réticulo-spinal médian à fonction facilitante. Il est placé dans le cordon ventral.

*le faisceau réticulo-spinal latéral à fonction inhibitrice. Il est placé dans le cordon latéral.

- **Le faisceau vestibulo-spinal** : il est en rapport avec le maintien de l'équilibre. Il descend des noyaux vestibulaires de la moelle allongée et se divise en faisceau vestibulo-spinal direct et faisceau vestibulo-spinal croisé. Il est placé dans le cordon ventral.

b) - voies extra-pyramidales paléo-motrices :

Elles sont en rapport avec les mouvements globaux automatiques et inconscients. Elles comprennent :

- **Le faisceau rubro-spinal** : il descend du noyau rouge du tronc cérébral et plus spécialement de sa portion magno-cellulaire (appelée paléo-rubrum). Il est placé dans le cordon latéral.

- **Le faisceau tecto-spinal** : il descend des tubercules quadrijumeaux du tronc cérébral et il concerne les mouvements de la tête en rapport avec les sensations visuelles et auditives. Il est placé dans le cordon ventral.

c) - les voies extra-pyramidales néo-motrices :

Elles comprennent :

- **Le faisceau olivo-spinal** : issu de l'olive de la moelle allongée, il concerne l'activité des muscles synergiques du mouvement du membre supérieur et, de ce fait, n'existe qu'au niveau du renflement cervical de la moelle épinière. Il est placé dans le cordon ventral.

- **les voies cortico-spinales extra-pyramidales** : elles sont nombreuses et importantes. Elles proviennent du cortex du cerveau. Elles descendent dans la moelle, mêlées aux fibres du faisceau pyramidal (Elles sont étudiées et dessinées dans le chapitre de systématisation des voies du cervelet).

5.4.2.2.3. - Terminaison des voies motrices

Les axones moteurs centraux des voies pyramidales et extra-pyramidales s'articulent au niveau de chaque neuromère, dans la corne ventrale avec les motoneurones périphériques. Le corps du motoneurone donne un axone moteur qui quitte la moelle par la racine ventrale des nerfs spinaux puis pénètrent dans les troncs nerveux périphériques. 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** (ou grappe neuromyotique).

Structure de la plaque motrice ou synapse neuro-musculaire: C'est l'organe au niveau duquel l'influx nerveux arrive au contact du muscle et provoque sa contraction. Chaque branche de l'arborisation terminale du neurone s'applique sur la face latérale d'une fibre musculaire élémentaire au niveau d'un épaississement appelé plaque motrice. Au voisinage de la plaque motrice, le rameau nerveux perd sa gaine de myéline et se subdivise en plusieurs petits boutons pédiculés, appelés boutons synaptiques, qui s'implantent dans le sarcoplasme de la fibre musculaire. Entre la paroi du bouton (membrane pré-synaptique) et la paroi de la fibre musculaire (membrane post-synaptique), il existe un petit espace appelé espace synaptique. A l'intérieur du bouton pré-synaptique, il existe des vésicules de neurotransmetteurs qui libèrent leur contenu dans l'espace inter-synaptique. Il en résulte une dépolarisation de la membrane de la fibre musculaire qui se traduit par la contraction de la fibre. Ce mécanisme de transmission de l'influx nerveux au contact de la fibre musculaire peut être bloqué par le curare.

La myasthénie (maladie d'**Erb-Goldflam**) 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. Un certain

nombre de médicaments facilitent la transmission neuro-musculaire dans ce cas (Ex. prostygmine).

5.4.3. –Moelle épinière : Fonctions réflexes [S.69]

Après avoir étudié les voies ascendantes (sensitives) et descendantes (motrices), il est logique d'étudier les connexions intermédiaires qui relient, dans la moelle elle-même, les structures sensibles et motrices. Elles réalisent des boucles réflexes, les unes courtes, mono ou pauci - synaptiques, les autres plus longues, poly-synaptiques, s'étendant en hauteur sur plusieurs neuromères, ou en largeur à destinée contro-latérale, par des fibres utilisant les commissures grises antérieures et postérieures de la moelle et le faisceau propre (ou fondamental).

Dans cette organisation, le **faisceau propre** joue un rôle important dans les relations inter-segmentaires, mais il n'est pas le seul. En effet, les fibres sensibles des cordons dorsaux ont un trajet ascendant qui formera plus haut la voie lemniscale. Mais, dans chaque neuromère, ces fibres donnent des *collatérales descendantes* plus courtes, qui assurent des relations d'association intersegmentaire, sur quelques neuromères, avec prolongement contro-latéral. Ces groupes de fibres descendantes sont décrites, dans les cordons dorsaux sous le nom de faisceaux de Schultze, de Hoche et de Gombault. De plus, toutes les fibres sensibles envoient des collatérales sur les interneurons de la lame VII.

Globalement, nous sommes, ici, en présence d'un important système associatif intramédullaire, à fonctionnement réflexe. Ainsi s'explique la diffusion uni ou bilatérale de l'action réflexe, en fonction de l'intensité de la stimulation. Ce fonctionnement réflexe est normalement régulé par l'action modulatrice des centres supérieurs (action inhibitrice de la voie cortico-réticulo-spinale dont l'interruption pathologique (Ex: paraplégie) aboutit à la spasticité.

A - Appareil de connexion intra-médullaire (Faisceau propre ou faisceau fondamental).

- en hauteur : la diffusion pluri-segmentaire est assurée par le faisceau propre (ou fondamental) ainsi que par les collatérales descendantes des fibres sensibles intramédullaires des systèmes lemniscal, extra-lemniscal et spino-cérébelleux ; L'ensemble de ces collatérales s'articule dans la lame VII (zone des interneurons) avec les cellules d'association du faisceau fondamental.
- en largeur : la structure de la lame VII contient des fibres commissurales assurant la diffusion controlatérale.

B – Réflexes normaux ou spontanés

Deux catégories : réflexes courts, réflexes longs.

1 – Réflexes courts : monosynaptiques ou pauci - synaptiques Fibres nerveuses motrices et boucle gamma). [S.70]

Le prototype de ce système est le réflexe myotatique de la boucle gamma. C'est un réflexe proprioceptif inconscient. Les sources sensibles intramusculaires du réflexe sont les fuseaux neuro - musculaires : fuseaux primaires (phasiques) pour le réglage de la longueur des fibres musculaires, et fuseaux secondaires (toniques) pour le réglage de la tension des fibres musculaires. Les organes neuro - tendineux de Golgi sont aussi des capteurs de tension réglés à un seuil plus élevé que les précédents, pour la protection de la jonction musculo - tendineuse.

La régulation des paramètres musculaires dans le mouvement normal est assurée par l'action modulatrice de la voie cortico - réticulo - spinale, citée ci-dessus. La pathologie motrice centrale démontre la puissance de ce mécanisme réflexe, quand il n'est plus régulé.

2- Réflexes longs : polysynaptiques : plus étendus et plus complexes, ils sont présents dans plusieurs comportements moteurs et variables en fonction du degré de maturation neurologique.

Chez le *nouveau né* (1^{er} mois), les réflexes sont appelés par les pédiatres : automatismes primaires, en raison de l'immaturation de la myélinisation de la voie pyramidale et des connexions synaptiques. Ce sont :

- réflexe de succion (déjà présent avant la naissance). C'est un réflexe du tronc cérébral, mais cité ici en raison de son importance chez le nouveau-né.

- réflexe de Moro : Extension/abduction des 4 membres, à la dépression du lit (disparaît au 3^{ème} mois)
- réflexe tonique du cou : flexion des membres du côté de la tête, extension de l'autre
- réflexe d'allongement croisé du MI, à la stimulation plantaire opposée
- « grasping » (empoignement)

Cette période d'hyper - réflexie est appelée : « Stade pré-pyramidal ».

Chez le *nourrisson* (de 2 à 18 mois) :

- Fin de l'hypertonie de flexion.
- Présence des réflexes rotulien et achilléen, mais diffusés
- Réflexes de redressement se renforçant progressivement : Tient la tête à 3 mois.
- réflexe d'incurvation dorsale du tronc (en position ventrale)
- Déplacements à plat ventre dans le lit (« locomotion ichtyoïde » - réflexes de flexion)
- Appui sur les coudes (« locomotion reptilienne » - réflexes d'extension vers 5mois)
- réflexe de marche automatique et d'enjambement
- Position assise et déplacement à quatre pattes vers 8 mois
- Verticalisation et bipédie avec appui vers 10 – 12 mois
- La marche est acquise à 15 mois mais solide à 18 mois

Il y a donc une évolution de l'activité réflexe, aidée par l'apprentissage.

Chez l'*adulte*, les réflexes spontanés sont principalement extéroceptifs, nociceptifs et proprioceptifs :

. Aux membres supérieurs : Réflexes de flexion (ou de protection ou de fuite). Ils diffusent par la voie de neurones intersegmentaires (Ex: toucher un objet brûlant : retrait d'un ou deux membres)

Aux membres inférieurs : appui douloureux de la plante du pied: retrait en triple flexion avec réflexe croisé d'extension opposée, pour assurer l'appui au sol.

Mouvements de rattrapage d'équilibre

C – Réflexes provoqués :

Les réflexes provoqués sont largement utilisés en séméiologie. Ils sont à point de départ ostéo - tendineux (proprioceptifs) ou cutanés (extéroceptifs). Ils étudient, à la fois, l'état des voies périphériques du réflexe (n. sensitif / n. moteur) et l'état de la réflexivité centrale.

Les réflexes en séméiologie : Tableau des réflexes

TABLEAU DES PRINCIPAUX REFLEXES

Nom du réflexe.	Stimulation	niveau radiculo - segmentaire	Réponse
Réflexe bicipital	Percussion du tendon du Biceps au pli du coude	C5 – C6	Flexion du coude
Réflexe stylo-radial	Percussion du proc. Styloïde du Radius	C5 – C6 – C7	Flexion du coude
Réflexe cubito-Pronateur	Percussion du proc. Styloïde de l'Ulna	C8	Ebauche de Pronation
Réflexe rotulien	Percussion du ligament patellaire	L3 – L4	Extension du Genou
Réflexe achilléen	Percussion du tendon calcanéen	S1 – S2	Flexion plantaire du pied (Réflexogramme)
Réflexe cutané plantaire	Stimulation cutanée de la Plante du pied (bord latéral)	S1 – S2	Flexion du G.O : normal Extension du G.O : pathol. (Signe de Babinski)
Réflexe abdominal Sup.(stimulation cutanée)	Stimul. cutanée près du Rebord costal	T8 – T10	Contraction locale
Réflexe abdominal Inf. (stimulation cutanée)	Stimul. cutanée au dessus du pli inguinal	T11 – T12	Contraction locale
Réflexe médio-pubien	percussion de la symphyse pubienne	T8 – T12	Contract. m. larges + mm. Adducteurs

A noter que les cinq premiers sont des réflexes tendineux et les quatre derniers, des réflexes cutanés

C - Synthèses

1- Neuro - physiologie et Théorie de l'information

La théorie de l'information s'applique bien aux fonctions du Système nerveux central, et spécialement aux fonctionnements réflexes.

Exemple : Source de l'information sensitive ou sensorielle => transfert (avec relais et diffusion éventuels) => destination, analyse et traitement => départ de l'information motrice => voies motrices directes ou indirectes => réponse réflexe motrice. Cette transmission comporte des contrôles en feed-back.

La physio - pathologie de la fonction motrice se situe nécessairement dans l'une de ces étapes, soit au niveau des voies et des organes nerveux proprement dits, soit au niveau des champs synaptiques qui les unissent.

2- Techniques de facilitation et d'inhibition en rééducation fonctionnelle

Ce sont des méthodes **globales** recrutant des **chaînes musculaires cinétiques** et des **groupements musculaires antagonistes**.

La diffusion ipsi et contro - latérale des réflexes médullaires, exposée ci-dessus est un argument neuro - physiologique à mettre au crédit des méthodes de rééducation neuromusculaire proprioceptive. (Méthodes de Kabat, de Knot, de Bobath et de Rood (Reprogrammation neuro - motrice de Viel) . (réf. Moody J.M., Noël F. et Viel E. – Méthodes de rééducation neuromusculaire – Encycl. Méd. Chir. Paris – Kinésithérapie, 3-23-01, 26060 A10).

Il faut signaler aussi, pour son importance, ses résultats et sa relative simplicité, la rééducation musculaire à base de **réflexes posturaux** de Gilbert (réf. Gilbert M.A. et Adam M.- Encycl.Méd. Chir. Paris – Kinésithérapie - 4-5-09 - 26061 – A10.

3- Réflexothérapie ou massage réflexe (Bindegewebs massage)

5.4.4.- Coupe horizontale théorique de la moelle épinière: [S.71]

Tous les faisceaux nerveux existant dans la substance blanche de la moelle épinière sont représentés sur un dessin de synthèse de coupe de la moelle. Il s'agit d'une coupe théorique, puisque tous les faisceaux ne sont pas présents à tous les niveaux de la moelle (les faisceaux qui concernent le membre supérieur ne sont présents que dans le renflement cervical).

5.4.5.- Applications cliniques (Les principaux syndromes médullaires)

a) Paraplégie spasmodique: Déficit moteur des deux membres inférieurs avec spasticité. (Compression de moelle ou section de moelle).

b) Syndrome de Brown – Sequard (Section de l'hémi - moelle)

Dans le territoire sous-jacent :

- Hémiplégie avec spasticité, du côté de la lésion
- Abolition des sensibilités extra-lemnisciales (thermo-algésiques) du côté opposé à la lésion
- Atteinte (incomplète) des sensibilités spino-cérébelleuses du côté de la lésion
- Atteinte, plus ou moins complète, des sensibilités lemnisciales (tact épicrotique) du côté de la lésion.

Il s'agit d'un syndrome rarement pur.

A retenir: l'association d'un syndrome pyramidal d'un côté, et d'un syndrome spino-thalamique de l'autre, est caractéristique de l'hémi-lésion médullaire, et a une grande valeur localisatrice. En bref, il s'agit d'un syndrome alterne de la moelle.

c) Syndrome de la corne ventrale: Exemple : Poliomyélite

- d) Syndrome des cordons dorsaux:** Atteinte des sensibilités lemniscales, et spécialement de la sensibilité proprioceptive consciente (sens articulaire ou sensibilité profonde). (Notion d'ataxie radiculaire - cordonnaire = Tabès).
- e) Syndrome syringomyélique:** dissociation des sensibilités
- f) Syndrome de la sclérose combinée de la moelle:** Atteinte pyramidale + Syndrome des cordons postérieurs de la moelle.

6.- LE TRONC CEREBRAL

6.1.- Généralités, situation, sub-divisions

C'est le segment du névraxe qui est placé au-dessus de la moelle, sous le cerveau et en avant du cervelet, au centre de la fosse crânienne postérieure.

Le tronc cérébral est une portion dilatée du névraxe. Il présente à décrire 3 parties qui sont, de bas en haut :

- a) - la moelle allongée (bulbe rachidien)
- b) - le pont (protubérance annulaire)
- c) - le mésencéphale (pédoncules cérébraux)

6.2.- Morphologie externe

6.2.1.- Etude de la face ventrale : [S.72]

Au niveau de la moelle allongée il existe une fissure médiane ventrale. De chaque côté de la fissure il existe deux reliefs verticaux appelés pyramides de la moelle allongée. En dehors des pyramides se trouve le relief d'un noyau gris profond qui est l'olive de la moelle allongée.

Au niveau du pont les fibres nerveuses constituent un bourrelet transversal dont les extrémités latéro - dorsales forment les pédoncules cérébelleux moyens. Le sillon horizontal qui sépare la moelle allongée et le pont s'appelle sillon bulbo-pontique. A ce niveau apparaissent plusieurs nerfs crâniens.

Au niveau du mésencéphale, il existe deux bourrelets de fibres nerveuses qui ont une direction ascendante et divergente, ce sont les pédoncules cérébraux. L'espace entre les deux pédoncules s'appelle espace interpédonculaire. A cet endroit se trouvent le relief des deux tubercules mamillaires et la tige de la glande hypophyse.

6.2.2.- Etude de la face dorsale : [S.73] [S.74]

Au niveau de la moelle allongée : On retrouve, au tiers inférieur, la prolongation des cordons dorsaux de la moelle épinière. La partie haute de cette région comporte un relief, le corps restiforme, au dessus des noyaux gracile et cunéiforme. Puis les deux cordons dorsaux de la moelle allongée s'écartent l'un de l'autre pour délimiter la cavité du 4ème ventricule et constituer les pédoncules cérébelleux inférieurs.

Au niveau du pont : la face postérieure du pont est occupée par la très large cavité losangique du 4ème ventricule, qui communique, en haut, avec le 3ème ventricule par un pertuis étroit appelé aqueduc du mésencéphale (a. de Sylvius).

La partie haute et la partie basse du 4ème ventricule sont recouvertes par des replis du tissu nerveux appelés valvule de **VIEUSSENS** en haut, valvule de **TARIN** en bas. Cette dernière possède un orifice appelé trou de **MAGENDIE**. Le fond de la cavité du 4ème ventricule

constitue le plancher du 4ème ventricule et comporte plusieurs reliefs qui correspondent aux noyaux des nerfs crâniens. Au niveau des angles latéraux du 4ème ventricule se trouvent les plexus choroides, à structure glomérulaire et responsables de la sécrétion du liquide cébro-spinal, à ce niveau.

Au niveau de la face dorsale du mésencéphale il existe un segment étroit appelé **lame quadrijumelle** (ou Toit du Mésencéphale) qui comporte les 4 reliefs des tubercules quadrijumeaux, actuellement appelés **colliculus supérieur et colliculus inférieur**, qui sont des centres sensoriels réflexes pour la vision et l'audition.

6.2.3. - Notions sommaires concernant les nerfs crâniens [S.75] [S.76]

a) Généralités :

Les nerfs crâniens naissent presque tous du tronc cérébral, à l'intérieur de la boîte crânienne. Ils quittent la cavité crânienne en traversant les trous de la base du crâne, pour atteindre leur destination, c'est à dire, les régions de la tête et du cou. Ils ont donc un segment de trajet intra-crânien et un segment extra-crânien. Ils sont en tout point comparables, par leur structure, aux nerfs spinaux et contiennent pour la plupart des fibres motrices, des fibres sensibles, des fibres végétatives. Quelques uns d'entre eux sont purement sensoriels. Ils sont au nombre de 12 de chaque côté. Voici le catalogue, dans l'ordre de numérotation (de I à XII), des différents nerfs crâniens et de leurs fonctions.

b) Catalogue des nerfs crâniens

* **le I, nerf olfactif** : c'est le nerf de l'odorat. Il est placé à la face inférieure du cerveau et en relation directe avec les centres rhinencéphaliques de l'olfaction.

* **le II, nerf optique** : c'est le nerf de la vision. Il est aussi en relation directe avec les parties profondes du cerveau.

* **le III, nerf moteur oculaire**

* **le IV, nerf trochléaire**

* **le VI, nerf abducens.**

Ces trois nerfs sont des nerfs oculo-moteurs, responsables de l'innervation motrice des muscles moteurs du globe oculaire.

* **le V, nerf trijumeau.** C'est, très principalement, le nerf de la sensibilité de la face. (Patho : Névralgie faciale). Il apparaît à la partie moyenne du pont. Néanmoins, il contient quelques fibres motrices. Ces fibres motrices sont responsables de l'innervation des muscles masticateurs. Elles constituent donc la racine masticatrice du V.

* **le VII, nerf facial.** Il apparaît au niveau du sillon bulbo-pontique. C'est principalement le nerf moteur de la face (Patho: paralysie faciale). Il est accompagné par des fibres sensibles et végétatives qui constituent le nerf intermédiaire (VII bis).

* **le VIII, nerf vestibulo-cochléaire.** C'est un nerf sensoriel qui apparaît dans la partie latérale du sillon bulbo-pontique. Son contingent cochléaire contient les fibres de l'audition et son contingent vestibulaire contient les fibres de l'équilibration.

* **Le IX, nerf glosso-pharyngien.** Il apparaît au niveau du sillon latéral dorsal de la moelle allongée. C'est le nerf moteur du pharynx et le nerf sensitif de la partie dorsale de la langue (sensibilité générale et gustation).

* **le X, ou nerf vague** (nerf pneumogastrique). C'est un nerf très important qui apparaît aussi dans le sillon latéral dorsal de la moelle allongée. Il contient un très gros contingent de fibres végétatives destinées aux viscères du cou, du thorax et de l'abdomen. Il contient, en plus, des fibres motrices phonatoires (nerf récurrent) qui proviennent, par anastomose, du nerf suivant.

* **le XI, nerf accessoire.** Il apparaît dans la partie basse du sillon latéral dorsal. Il est responsable de l'innervation des grands muscles céphalogyres (muscle sterno-cléido-mastoïdien et muscle trapèze). Il contient un certain nombre de fibres phonatoires qui, par anastomose, vont descendre dans le X et constituer dans le thorax le nerf récurrent laryngé (nerf moteur de la phonation).

* **le XII, nerf hypoglosse.** Il apparaît dans le sillon pré-olivaire de la moelle allongée. C'est le nerf moteur de la langue.

6.3.-Morphologie interne [S.77]

On retrouve au niveau du tronc cérébral la substance blanche et la substance grise.

6.3.1.- La substance grise

La substance grise subit à ce niveau d'importantes modifications qui résultent en partie de la disposition de la vaste cavité du 4ème ventricule. De plus, la substance grise se fragmente en nombreux noyaux étagés, disposés sous le plancher du 4ème ventricule. Elle perd ainsi la disposition en papillon qu'elle avait au niveau de la moelle épinière. Les noyaux de substance grise peuvent être subdivisés en deux groupes :

a) - les noyaux ou centres segmentaires. Ce sont les noyaux d'origine des nerfs crâniens. Ils sont placés sous le plancher du 4ème ventricule.

b) - les noyaux ou centres supra-segmentaires. Ce sont des noyaux gris plus volumineux qui constituent, pour la plupart, des relais sur les voies motrices extra-

pyramidales. Les autres sont des relais sensitifs ou sensoriels. Ces noyaux sont de haut en bas :

*- **le noyau rouge** qui est lui-même formé de deux parties appelées néorubrum et paléorubrum.

*- **les noyaux du toit du mésencéphale** dont le volume constitue le relief des colliculus supérieur et inférieur (tubercules quadrijumeaux)

* - **Noyau olivaire de la moelle allongée**

* - **Le noyau vestibulaire** qui est placé dans les angles latéraux de la cavité du 4ème ventricule.

* - **Les noyaux cunéiformes et graciles**, premier relais des voies sensitives du système lemniscal

* - **La substance réticulée** (ou Substance réticulaire) [S.78]

Il s'agit d'une très longue bande de substance grise, disposée profondément en trois colonnes (médiane et para - médianes ou latérales), selon l'axe vertical du tronc cérébral. Elle est formée de nombreux petits neurones connectés entre eux réalisant un réseau plexiforme, d'où le nom de substance réticulée. Elle contient plusieurs noyaux particuliers, en situation médiane et para-médiane, dans la moelle allongée, le pont et le mésencéphale. On distingue ainsi:

* au niveau de la moelle allongée: les noyaux du raphé médians et para-médians et les noyaux giganto-cellulaires (ou magno - cellulaires).

* au niveau du pont: la continuation des noyaux du raphé

* au niveau du mésencéphale: la substance grise péri-aqueducale

Ces derniers noyaux sont impliqués dans la neurophysiologie de la douleur.

La partie supérieure de la substance réticulée atteint le thalamus au niveau de ses noyaux non-spécifiques, dont les implications physiologiques concernent la vie végétative, l'affectivité, la mémoire et l'éveil de l'activité corticale. Cette portion haute de la substance réticulée constitue le **Système réticulaire activateur ascendant** (SRAA). [S.79]

6.3.2.- La substance blanche

Elle constitue le corps du tronc cérébral. A ce niveau on retrouve les faisceaux ascendants sensitifs et les faisceaux descendants moteurs déjà étudiés au niveau de la moelle.

Elle contient, en plus, le **faisceau longitudinal médial** (anciennement bandelette longitudinale postérieure), qui constitue des voies d'association entre les noyaux des nerfs crâniens oculo-moteurs (III, IV, VI) et les noyaux du V, du VII et du XI. Elle reçoit de nombreuses collatérales du noyau vestibulaire et elle se prolonge en bas dans le faisceau vestibulo-spinal. Ce dispositif explique les relations physiologiques entre les troubles de l'équilibre et le nystagmus (mouvements automatiques et saccadés des globes oculaires).

6.4.- Systématisation du tronc cérébral

6.4.1.- Systématisation des voies de la sensibilité [S.80]

Dans le tronc cérébral, on retrouve les 3 grandes catégories de sensibilités.

6.4.1.1.- Les sensibilités du système lemniscal (qui constitue un *système d'informations*).

Elles sont formées d'axones qui partent des récepteurs spécialisés de la peau (sensibilité tactile fine ou épicrotique ou superficielle) et des récepteurs situés dans les capsules et ligaments articulaires (sensibilité proprioceptive consciente ou sens des positions ou sensibilité articulaire ou sensibilité profonde des cliniciens). Ce sont des fibres myélinisées de diamètre moyen et de conduction rapide. Elles montent dans la moelle, pénètrent dans la moelle allongée et font relais dans les noyaux gracile (ancien N. de GOLL) et cunéiforme (ancien N. de BURDACH). Après entrecroisement sur la ligne médiane (décussation sensitive), ces voies forment le lemnisque médial (ruban de Reil) qui

monte tout au long du tronc cérébral en arrière du faisceau pyramidal et atteint le thalamus, dernier relais avant le cortex du lobe pariétal.

6.4.1.2.- Les sensibilités du système extra – lemniscal

Ce sont des sensibilités peu spécifiques, de somatopie imprécise, lentes et polysynaptiques, qui constituent un *système d'alarme*.

Elles sont formées d'axones partant des terminaisons libres de la douleur et des corpuscules sensibles aux stimulations thermiques (sensibilité thermo-algésique) ainsi que des corpuscules de **MEISNER** de la peau (sensibilité tactile protopathique) (protopathique = avant la douleur). Ce sont des fibres fines, peu ou pas myélinisées, à vitesse de conduction lente. Ces sensibilités ont subi un entrecroisement dans la moelle et montent dans le tronc cérébral en position latérale par rapport au lemnisque médial. Elles forment le **faisceau spino-thalamique**. Ces fibres gagnent en partie le thalamus, *le reste aboutissant par de nombreuses collatérales à la substance réticulée (faisceau spino - réticulo - thalamique)*.

6.4.1.3.- Système spino – cérébelleux [S.81]

Il est formé par les sensibilités proprioceptives inconscientes ou voies spino-cérébelleuses. Elles traversent toute la moelle allongée pour gagner le cervelet par les pédoncules cérébelleux. Ce sont :

a - le faisceau spino-cérébelleux direct (ancien faisceau de Fleischig) qui transporte la sensibilité proprioceptive inconsciente du tronc et des membres inférieurs. Il gagne le cervelet par le pédoncule cérébelleux inférieur.

b - le faisceau spino-cérébelleux croisé (ancien faisceau de Gowers). Il transporte la sensibilité proprioceptive inconsciente des membres supérieurs et gagne le cervelet par les pédoncules cérébelleux supérieurs.

6.4.2.- -Systématisation des voies de la motricité [S.82]

6.4.2.1.- Le faisceau pyramidal

Après avoir traversé la capsule interne du cerveau, il descend dans le pédoncule cérébral dont il occupe les 3/5 moyens.

Dans la protubérance il est dissocié par des fibres horizontales à destinée cérébelleuse (fibres ponto-cérébelleuses).

Dans la moelle allongée, il se regroupe et constitue le relief des pyramides de la moelle allongée. Au tiers inférieur de la moelle allongée, il subit un entrecroisement sur la ligne médiane appelé **DECUSSATION PYRAMIDALE**.

Les 9/10ème des fibres motrices croisent ainsi la ligne médiane et vont descendre dans la moelle sous le nom de *faisceau pyramidal croisé*. 1/10ème des fibres ne subit pas la décussation et descend dans la moelle sous le nom de *faisceau pyramidal direct*.

6.4.2.2.- le faisceau géniculé

C'est une portion de la voie pyramidale. Il est donc formé d'axones de neurones moteurs centraux. Il descend dans le 1/5 interne du pédoncule cérébral et abandonne ses fibres, qui croisent toutes la ligne médiane, aux noyaux moteurs des nerfs crâniens. Ces derniers sont formés de motoneurons périphériques destinés aux muscles de la tête et du cou (muscles de la face, de la langue, du pharynx et du larynx).

(Application: Les syndromes alternes = La lésion du faisceau pyramidal par étiologie vasculaire, au dessus de la décussation entraîne une hémiplégié croisée et une atteinte homo - latérale d'un ou plusieurs nerfs crâniens, selon le niveau. Ex: Syndrome de Millard-Gubler- atteinte du VI et du VII). [S.83]

6.4.2.3. - Les voies extra-pyramidales : [S.84]

Elles sont nombreuses et polysynaptiques.

A - Les voies extra-pyramidales provenant des aires extra-pyramidales corticales du cerveau :

Elles constituent les faisceaux cortico-pontiques (faisceau fronto-pontique, pariéto-pontique et temporo-pontique), placés dans le 1/5 latéral du pédoncule cérébral. Ces voies s'articulent dans la protubérance avec des neurones ponto-cérébelleux qui dissocient les fibres du faisceau pyramidal.

B - Voies extra-pyramidales provenant des noyaux de substance grise du tronc cérébral, c'est à dire des noyaux supra-segmentaires. Ce sont :

*- *le faisceau rubro-spinal* (provenant du paléo-rubrum) et le faisceau central de la calotte (provenant du néo-rubrum)

*- *le faisceau olivo-spinal*, qui provient du noyau olivaire de la moelle allongée

* - *le faisceau vestibulo-spinal*, qui provient des noyaux vestibulaires

* - *le faisceau tecto-spinal*, qui provient des noyaux du toit du mésencéphale

* - *le faisceau réticulo-spinal médian et le faisceau réticulo-spinal latéral*, qui proviennent de la substance réticulée. Ils projettent leurs fibres sur les motoneurons alpha et gamma, pour réglage du tonus musculaire, dans les muscles axiaux et proximaux.

6.4.2.4.- La substance réticulée Organisation interne et Fonctions

a) – Organisation interne

La substance réticulée, spécialement abondante dans le tronc cérébral, n'est cependant qu'un segment du « système réticulaire », qui s'étend depuis la moelle épinière, dans le tronc cérébral, puis atteint le thalamus, et projette ses voies les plus hautes sur la face profonde du cortex du cerveau. Cette dernière portion constitue le *système réticulaire activateur ascendant* (SRAA) (éveil cortical).

Au niveau de la moelle épinière, elle est représentée par la lame VII de Rexed (lame des interneurons). Elle est appelée, à ce niveau, substance intermédiaire centrale. Système poly – synaptique très ancien, il est présent dès les vertébrés inférieurs. C'est une structure archéo-spinale. (in Bossy – Guérin. Neuro - anatomie Springer – Verlag p. 119).

b - Fonctions

Par ses neuro – transmetteurs, la réticulée assure la source et la régulation de l'énergie synaptique non spécifique, mais intervenant dans dans les systèmes moteurs, sensitifs, sensoriels et associatifs.

Au niveau du Tronc cérébral, les fonctions de la substance réticulée sont spécialement importantes dans les activités somatiques et végétatives:

* **Du point de vue moteur** la réticulée est un centre régulateur de l'activité motrice par modulation de la transmission synaptique.

Certains territoires de la réticulée (réticulée pontique) jouent un rôle de facilitation sur les voies motrices. D'autres territoires (réticulée de la moelle allongée) exercent une action inhibitrice sur les mêmes voies.

* **Du point de vue sensitif et sensoriel**, la substance réticulée est activatrice des perceptions. Elle joue ainsi le rôle d'un amplificateur. Les sensations sont ainsi amplifiées avant d'arriver au thalamus et au cortex.

* **Du point de vue de la transmission de la douleur**, la réticulée contient plusieurs noyaux qui assurent le contrôle supra-segmentaire de la douleur et dont l'action antalgique descendante est due à la sécrétion de sérotonine. Ces noyaux s'appellent, au niveau pontique et bulbaire, noyaux du raphé et para-médians, et au niveau du mésencéphale, substance grise péri-aqueducale (origine de la voie sérotonique descendante dont l'action est antalgique). Ces noyaux sont aussi décrits par leur nomenclature neuro-chimique de B1 à B9.

* **Du point de vue psychique**, elle assure la régulation et le contrôle gradué de la vigilance et du mécanisme du sommeil. Elle est aussi responsable des états comateux des traumatismes crâniens. Globalement elle joue un rôle important, par régulation des sensations douloureuses.

Noyaux et faisceaux dans la réticulée:

- 1 - Tractus tegmental central: faisceau dense de fibres d'association provenant du toit du mésencéphale et du noyau rouge, et atteignant le thalamus, d'une part, et l'olive d'autre part.
- 2 - Faisceau médian du télencéphale: voie réticulaire poly-synaptique qui relie le mésencéphale au lobe limbique et aux aires pré-frontales. Il véhicule des fibres noradrénergiques, dopaminergiques et sérotoninergiques. Il est donc ergotrope.
- 3 - Le locus ceruleus : situé en arrière du Tractus tegmental central. C'est un noyau adrenergique, projetant sur tout le système nerveux. Il est activateur dans les situations d'alerte et de vigilance.
- 4 - Les noyaux du raphé: agrégation de noyaux réticulaires, sur la ligne médiane, présents sur toute la hauteur du tronc cérébral. Ils produisent de la sérotonine (5-HT). Ils ont un rôle inhibiteur dans la transmission de la douleur, ainsi que les noyaux suivants.
- 5 - Les noyaux para-médians et magno-cellulaires, au niveau bulbaire.

6 - La substance grise péri-aqueducale, au niveau mésencéphalique.

6.4.3. – Systèmes d'association et des voies réflexes dans le tronc cérébral

Elles sont très nombreuses, concernant les activités somatiques et végétatives de tous les nerfs crâniens et surtout des nerfs crâniens sensoriels.

Pour la vision, ce sont :

- les réflexes d'accommodation à la lumière (contraction de l'iris = réflexe photomoteur)
- les réflexes d'accommodation à la distance (réglage des courbures du cristallin)
- les réflexes d'occlusion palpébrale à la menace
- les mouvements conjugués des deux yeux
- les mouvements conjugués de la tête et du cou

Pour l'audition :

Le réflexe ossiculaire des muscles tenseur du tympan et stapédien

Pour l'appareil vestibulaire

Le nystagmus rotatoire

Pour l'olfaction

Le faisceau mamillo – tegmental de Gudden (voies olfactives – substance réticulée)

Tous les autres nerfs crâniens sont aussi connectés sur des voies réflexes :

Le V, pour le réflexe d'éternuement

Le VII, pour le réflexe de succion du nourrisson.

Le IX, pour le réflexe de déglutition

Le X (noyau végétatif), pour les réflexes somatico – végétatifs, cardio – pulmonaires et digestifs.

6.4.4.- Applications cliniques

6.4.3.1.-Physio-pathologie sommaire au niveau du tronc cérébral:

Les étiologies les plus fréquentes, à ce niveau, sont dégénératives (donc diffuses), ou tumorales ou vasculaires (donc en foyer). Elles concernent les grandes voies sensitives et motrices, et les noyaux étagés des nerfs crâniens.

a) - La paralysie bulbaire progressive est une atteinte dégénérative diffuse des noyaux moteurs des nerfs crâniens, qui contiennent les motoneurons périphériques des muscles de la face, du larynx et du pharynx. Il s'agit donc d'une **paralysie périphérique**, se traduisant par des troubles de la parole (muscles péri-buccaux), de la phonation (larynx), et de la déglutition (pharynx). Ce sont des malades "bulbaires" proprement dits.

b) - *Les syndromes alternes* résultent de lésions focalisées du tronc cérébral (lésion artérielle - ramollissement), concernant, **à la fois**, le faisceau pyramidal (**atteinte centrale**: hémiparésie contro-latérale) et des noyaux moteurs périphériques, selon le niveau de la lésion (**atteinte périphérique** directe). Ex: syndrome de Millard-Gubler = hémiparésie croisée + paralysie homolatérale du VI et du VII

c) - Le syndrome pseudo-bulbaire n'a pas de niveau lésionnel "bulbaire" (ou moelle allongée). C'est une atteinte dégénérative bilatérale diffuse du *faisceau géniculé* (qui est une voie motrice centrale) au niveau cortical, ou dans la capsule interne, ou dans le mésencéphale. Mais son expression clinique concerne les territoires moteurs de la face, et

ses signes cliniques sont voisins de la paralysie bulbaire progressive, d'où son nom de S. pseudo-bulbaire.

d) – La souffrance aigüe du Mésencéphale, par engagement dans la tente du cervelet, provoque une tétraplégie avec rigidité de décérébration (lésion en dessous du noyau rouge = hypertonie des muscles anti – gravitaires – muscles des gouttières vertébrales avec attitude en opisthotonos).

6.4.3.2.- Rappel de la classification des Comas

- Coma I : Confusion

Patient éveillé, en état de torpeur. Lent à comprendre, à répondre. Peut exécuter avec retard des ordres simples. Désorientation temporo-spatiale. En bref, éveillé mais confus.

- Coma II : Stupeur

Apparence du sommeil. Ouvre les yeux à l'appel de son nom. Peut exécuter quelques ordres simples, et retombe en état de stupeur. En bref, sommeil apparent.

-Coma III : Coma moyen

Sommeil apparent profond. Réagit par grimace et grognements. Mouvements de défense aux stimulations douloureuses. Babinski possible. En bref, sommeil profond.

- Coma IV : Coma profond.

Aucune réaction aux stimulations. Disparition des réflexes (ostéo-tendineux, cutanés, pupillaires). Disparition du réflexe myotatique (chute des membres) ou rigidité de décérébration. Troubles respiratoires.

Notion de coma réactif: les trois premiers stades permettent de constater que le patient réagit soit à la voix (stade I), soit à la stimulation cutanée ou la secousse (stade II), soit à la stimulation douloureuse (stade III)). Le coma est dit "réactif".

Le stade IV est dit "aréactif".

7.- LE CERVELET

7.1.- Fonctions générales

Le cervelet est un centre nerveux régulateur de la fonction motrice, au sens large (mouvement + posture + équilibre).

Il reçoit des informations de tous les segments du névraxe (moelle épinière, tronc cérébral, cerveau). Il traite ces informations pour donner, aux programmes moteurs du mouvement, une organisation chronologique et somatotopique (organisation temporo-spatiale). Il assure ainsi la régulation :

- a) - des activités musculaires du mouvement volontaire global
- b) - des activités musculaires toniques de la posture
- c) - des activités musculaires réflexes du maintien de l'équilibre.

7.2.- Situation du cervelet

Il est placé dans la fosse crânienne postérieure ou fosse cérébelleuse de la boîte crânienne. Il est disposé sous une forte toile fibreuse dépendant de la dure-mère et appelée la tente du cervelet. Pour lui-même il est recouvert par les 3 méninges classiques. Il est entouré par l'espace sous-arachnoïdien contenant le liquide céphalo-rachidien. Autour du cervelet, cet espace constitue des cavités plus vastes appelées : **citernes**.

Dans cet espace étroit et rigide, les pathologies expansives (vasculaires, infectieuses et surtout, tumorales), ont un retentissement rapide sur le tronc cérébral.

7.3.- Développement et subdivision fonctionnelle (Phylogénèse)

Au cours de l'évolution des lignées animales on distingue l'apparition successive de 3 parties différentes au niveau du cervelet : archéocérébellum, paléocérébellum et néocérébellum.

a) - Archéocerebellum. Ce cervelet fait son apparition pour la première fois chez les poissons. L'archéocerebellum est formé d'un nodule médian accompagné de deux parties latérales appelées flocculus. L'ensemble constitue le *lobe flocculo-nodulaire*. Fonctionnellement il est en rapport avec les voies nerveuses de l'équilibration. Il est aussi présent et fonctionnel chez l'homme.

b) - Le paléocerebellum. Il se superpose progressivement au précédent chez les amphibiens, les reptiles et les oiseaux. Il comprend surtout la partie axiale du cervelet appelé *vermis*. Fonctionnellement le paléocerebellum est en connexion avec la moelle épinière et le tronc cérébral. Il participe aux régulations des activités musculaires de la posture (statique et dynamique), par adaptation du tonus musculaire. Il est aussi présent et actif chez l'homme.

c) - le néocerebellum. Il se superpose progressivement aux précédents (qui sont conservés et fonctionnels) chez les mammifères. Il est spécialement volumineux chez les primates et surtout chez l'homme.

Il est constitué par les *hémisphères cérébelleux*. Au plan fonctionnel, il assure la régulation des activités musculaires du mouvement volontaire global.

7.4. -Morphologie externe [S.85] [S.86]

Comme son nom l'indique c'est une sorte de petit cerveau qui est situé à la face postérieure du tronc cérébral. Il est en connexion avec la moelle allongée, le pont et le mésencéphale par l'intermédiaire des pédoncules cérébelleux inférieur, moyen et supérieur. Il est composé d'un lobe médian appelé *vermis* et de deux lobes latéraux très volumineux les *hémisphères cérébelleux* ou lobes cérébelleux. Il existe en plus un petit lobe antérieur à disposition transversale appelé *lobe flocculo-nodulaire*.

7.5.- Morphologie interne [S.87]

Le tissu nerveux du cervelet se présente sous 3 aspects:

- a) - **une substance grise périphérique, très plissée, appelée écorce cérébelleuse**
- b) - **une substance blanche, en situation profonde.**
- c) - **des noyaux gris centraux de substance grise.**

a) - **l'écorce du cervelet** : les cellules principales de l'écorce sont de grandes cellules en forme de poire, appelées cellules de Purkinje. Elles sont en relation synaptique avec les fibres nerveuses afférentes au cervelet et avec des cellules d'association.

b) - **la substance blanche** : elle contient les fibres nerveuses myélinisées. Certaines sont efférentes. Ce sont les axones des cellules de Purkinje. Elles se rendent aux noyaux gris du cervelet. D'autres fibres sont afférentes, elles viennent de toute la hauteur du névraxe, de la moelle épinière, du tronc cérébral et du cerveau. Elles s'articulent avec les dendrites des cellules de Purkinje.

c) - **les noyaux gris centraux** : ils sont au nombre de 4 de chaque côté de la ligne médiane:
 * **le noyau du toit ou noyau fastigial** appartient au système de l'archéocerebellum
 * **le globulus et l'embolus** sont des noyaux gris qui appartiennent au système du paléocerebellum.
 * **le noyau dentelé** (appelé aussi noyau denté) situé au milieu de chaque hémisphère cérébelleux, appartient au système du néocerebellum.

7.6.- Systématisation et fonctions du cervelet

7.6.1. - Systématisation de l'archéocerebellum (lobe flocculonodulaire) [S.88]

Cette portion du cervelet assure la régulation des mécanismes musculaires qui permettent le contrôle de l'équilibre. L'information sensorielle se rapportant à l'équilibre provient des plages cellulaires sensorielles de l'appareil vestibulaire (crête acoustique des canaux semi-circulaires et macules acoustiques du saccule et de l'utricule) (La lésion de ces appareils provoque une ataxie vestibulaire, avec signe de Romberg).

Les neurones qui font suite à ces corpuscules sensitifs voyagent dans le nerf vestibulaire (VIIIème paire des nerfs crâniens) qui pénètrent dans la moelle allongée pour atteindre le noyau vestibulaire.

Le noyau vestibulaire, situé dans les angles latéraux du 4^{ème} ventricule, est en fait constitué lui-même de plusieurs noyaux accolés. Les fibres nerveuses qui quittent ce noyau, pénètrent dans le cervelet par le pédoncule cérébelleux inférieur et atteignent le cortex du lobe flocculo-nodulaire. Les neurones suivants atteignent le noyau du toit (du toit du 4^{ème} ventricule) ou noyau fastigial, puis se réfléchissent à nouveau dans le pédoncule cérébelleux inférieur pour retourner au noyau vestibulaire. Le noyau vestibulaire donne alors dans la moelle deux voies extra-pyramidales, *le faisceau vestibulo-spinal direct* et *le faisceau vestibulo-spinal croisé*. Il est logique de penser que la destinée de ces fibres motrices extra-pyramidales concernent en définitive la modulation des activités musculaires qui sont impliquées dans le maintien de l'équilibre, très principalement les muscles axiaux (muscles spinaux), muscles des ceintures et des membres inférieurs. Ce système peut être appelé : **voie extra-pyramidale archéo - motrice**. (Notion d'ataxie cérébelleuse).

Physio-pathologie et séméiologie de l'archéo-cérébellum :

Oscillations à la station debout, tendance à la chute. Cette instabilité est aggravée par la position des pieds rapprochés (marche en « tandem » impossible).

Marche irrégulière avec jambes et bras écartés. La marche est ébrieuse, en zig - zag.

Essais de correction permanente de l'équilibre par les contractions des muscles antérieurs de jambe : signe de « la danse des tendons ».

7.6.2. - Systématisation du paléocerebellum. (Vermis) [S.89]

Cette portion correspond au vermis et à la partie adjacente des lobes latéraux. Le paléocerebellum assure la régulation des contractions musculaires qui concernent les activités posturales, statiques et dynamiques (c'est-à-dire, au cours du mouvement). Ce sont des activités motrices automatiques.

Les voies d'information périphériques, afférentes au cervelet, sont le *faisceau spino-cérébelleux direct* - anc. faisceau de Fleischig - (pour les membres inférieurs et le tronc) et le *faisceau spino - cérébelleux croisé* - anc. faisceau de Gowers – (pour les membres supérieurs).

Ces voies informent le cervelet de l'état du tonus musculaire périphérique. Elles apportent les informations proprioceptives nécessaires aux modulations du tonus musculaire dans l'exécution du mouvement normal (*support postural du mouvement*).

Le faisceau spino-cérébelleux direct pénètre dans le cervelet par le pédoncule cérébelleux inférieur et atteint le cortex cérébelleux de la région vermienne. Les neurones suivants se réfléchissent sur le globulus et l'embolus. Ils s'articulent à ce niveau avec des neurones efférents qui quittent le cervelet par le pédoncule cérébelleux supérieur et atteignent le noyau rouge (paléorubrum). Ce dernier donne naissance à une voie motrice extra-pyramidale (faisceau rubro-spinal) qui descend verticalement dans le tronc cérébral après croisement de la ligne médiane, puis dans la moelle épinière.

Le faisceau spino-cérébelleux croisé monte verticalement dans le tronc cérébral et pénètre dans le cervelet par le pédoncule cérébelleux supérieur, se réfléchit au niveau du cortex de la région vermienne, puis au niveau des noyaux gris centraux, globulus et embolus. Comme pour les précédents, les voies efférentes quittent le cervelet par le pédoncule cérébelleux supérieur et atteignent le paléo-rubrum, qui donne le faisceau rubro-spinal.

On peut formuler l'hypothèse que cette voie motrice extra-pyramidale est impliquée dans l'innervation des muscles qui participent au maintien du *support postural des segments*

de membres au cours du mouvement, c'est à dire très principalement aux groupes musculaires mono - articulaires.

En complément de ce système, il existe une seconde voie extra - pyramidale, concernant la motricité automatique, provenant du striatum, et se projetant sur les noyaux sous-opto-striés et sur la réticulée facilitante (réticulée pontique) qui donne dans la moelle le *faisceau réticulo-spinal médian*. Ce système peut être appelé : **voie extra – pyramidale paléomotrice**.

Physio - pathologie et séméiologie du paléocerebellum :

Hypotonie cérébelleuse avec troubles du tonus postural :

Il existe une inefficacité des muscles antagonistes du mouvement. L'hypotonie des antagonistes se traduit par l'amplitude des mouvements passifs (ballant des avant-bras, des mains, avec sensation de main de caoutchouc). Elle se recherche par la manœuvre de Stewart Holmes : flexion contrariée des avant-bras, contre forte résistance. Le relâchement soudain de la résistance entraîne une exagération de la flexion, et le patient se frappe la poitrine.

Perte des réflexes normaux de la posture : le patient ne décolle pas les talons du sol en s'accroupissant.

7.6.3.- Systématisation du néocerebellum. [S.90]

Ce système, constitué très principalement par les hémisphères cérébelleux, assure la régulation du déroulement du mouvement volontaire global. L'information du projet moteur provient de l'aire motrice supplémentaire et des aires motrices associatives (6, 5, 7, 21 et 22). L'ensemble de ces aires extra-pyramidales corticales donne les voies cortico-pontiques (faisceaux fronto-pontique, temporo-pontique, pariéto-pontique). Les axones de ces voies atteignent le pont et font synapse avec le corps cellulaire des neurones ponto-cérébelleux, à disposition transversale. Ces derniers pénètrent dans le néocerebellum par le pédoncule cérébelleux moyen et atteignent le cortex des hémisphères cérébelleux. Ils se réfléchissent sur le noyau dentelé. A ce stade, les fibres nerveuses quittent le cervelet par les pédoncules cérébelleux supérieurs et constituent deux boucles de rétro – action

a – Boucle de régulation du mouvement volontaire global :

Les fibres efférentes du cervelet retournent au cerveau par le pédoncule cérébelleux supérieur, les unes par trajet récurrent direct, les autres par réflexion sur le néo – rubrum. Elles font relai dans les noyaux moteurs du thalamus (noyaux latéro – ventraux antérieur et intermédiaire). Elles atteignent les petites cellules pyramidales de l'aire 4 du cortex cérébral, dont les axones descendent dans le névraxe à l'intérieur de la voie pyramidale.

Ces fibres se mêlent aux fibres pyramidales qui proviennent de l'aire 4 et traversent ainsi la capsule interne. Elles atteignent les noyaux réticulaires inhibiteurs de la moelle allongée. C'est la *voie cortico – réticulo – spinale à fonction inhibitrice*.

Ainsi, un foyer hémorragique dans la capsule interne ou un infarctus cortical, entraîne l'interruption des fibres motrices pyramidales (paralysie motrice) et des fibres cortico – réticulo - spinales (incluses dans le faisceau pyramidal). Ces dernières sont inhibitrices du réflexe myotatique et leur interruption est responsable de la spasticité. (Pierrot – Desilligny).

On voit ainsi que la structure de la voie pyramidale est hétérogène. Elle contient des fibres qui proviennent de cellules motrices différentes (grandes et petites cellules pyramidales).

Globalement, il existe là une boucle d'organisation préliminaire et de régulation du mouvement volontaire, dont l'activité (enregistrable en neuro - physiologie) précède le déroulement apparent du mouvement.

b – Boucle de régulation des activités musculaires cervico – faciales

Une seconde boucle se déroule uniquement au niveau du tronc cérébral, régulant les fonctions des muscles de la face, du voile du palais, du pharynx et même du diaphragme. Les fibres efférentes du néo – cervelet gagnent le néo – rubrum contra – latéral, puis l'olive de la moelle allongée (olive bulbaire), par le faisceau tegmental central (F. central de la calotte). Les fibres efférentes forment le faisceau olivo – cérébelleux qui fait retour au néo – cérébellum. Cet ensemble est appelé « triangle de Guillain – Mollaret ». Une lésion sur son trajet, derrière l'olive ou au niveau du faisceau central de la calotte (f. tegmental central) se traduit par des myoclonies du voile du palais (ex : Syndrome de Wallenberg).

Physio-pathologie et séméiologie du néocerebellum :

Troubles de l'exécution des mouvements volontaires globaux par perte de l'organisation temporo - spatiale du mouvement :

Troubles dans l'espace :

- dysmétrie** avec **hypermétrie** (test de l'index porté sur la pointe du nez).
- asynergie** : mauvaise coordination motrice. Le mouvement n'est plus lié. Il est décomposé. De plus, il existe une mauvaise répartition du tonus dans les muscles anti-gravitaires .

Troubles dans le temps :

- dyschronométrie** : retard à la mise en route et à l'arrêt du mouvement.
- adiadococinésie** : impossibilité de faire des mouvements associés rapides, en raison de la désynchronisation temporo - spatiale (épreuve « des marionnettes »).
- tremblement intentionnel** : Il est important dans la posture et dans le mouvement, avec majoration émotive. Il est absent au repos.

Pathologie générale du Cervelet : Qu'elle soit diffuse ou en foyer, la pathologie du Cervelet ne respecte pas étroitement les subdivisions systématiques décrites ci – dessus. La pathologie dégénérative ou expansive concerne la totalité de l'organe, par lésion directe ou compressive, mais on retrouve dans le syndrome global, les éléments déjà décrits. De ce fait, le syndrome cérébelleux se caractérise globalement par l'association des :

- troubles de l'équilibre
- troubles du tonus musculaire postural, avec hypotonie
- troubles de l'exécution du mouvement global

En conséquence, le patient cérébelleux a des gestes maladroits (il se cogne, laisse tomber les objets etc...). Il exécute difficilement les gestes fins et précis. Son écriture est irrégulière dans le sens horizontal (espace entre les mots) et dans le sens vertical (amplitude des lettres). Sa parole est aussi irrégulière, lente et accélérée, souvent explosive.

En considérant l'organisation de chacune des 3 parties du cervelet on voit que les fibres à destinée cérébelleuse décrivent pour chaque système une boucle particulière qui fait retour au névraxe. Il existe ainsi une boucle de régulation cérébelleuse archéo - motrice, paléo - motrice et néo - motrice.

Ces boucles assurent la régulation temporo - spatiale du mouvement, c'est à dire la programmation somatotopique et chronologique du recrutement des muscles nécessaires au mouvement, et la régulation de leur tonus.

La disposition en boucles des grandes voies nerveuses est une organisation très générale du Système nerveux central qui fonctionne comme un **système asservi**, (ou systèmes subordonnés les uns aux autres) c'est à dire, avec auto-contrôle et auto-régulation.

Les boucles cérébelleuses sont les plus complexes et les plus démonstratives, mais la boucle la plus élémentaire du système nerveux central est le réflexe myotatique (boucle gamma) dans la moelle épinière.

En bref, on voit que **le cervelet est un organe régulateur de la fonction motrice**, intégrant et traitant les informations qui lui proviennent soit de la moelle, soit du tronc cérébral, soit du cerveau.

8 -LE SYSTEME NERVEUX AUTONOME OU VEGETATIF

8.1. - Généralités

Chargé de l'innervation du milieu intérieur, son champ d'innervation concerne les viscères, les glandes exocrines et endocrines, et la vaso-motricité. Au plan moteur, il innerve donc toutes les fibres musculaires lisses. Au plan sensitif, il transmet la sensibilité viscérale, qui s'exprime par la sensation d'hyper - péristaltisme, la douleur par tension ou réplétion des viscères creux, par compression d'épanchement intra - péritonéal ou hypertrophie d'un viscère plein.

De nombreuses manifestations cérébro - spinales s'accompagnent de réactions végétatives (efforts physiques et sudation, traumatisme somatique et nausées, par exemple).

Il est composé de deux systèmes anatomiques aux réactions paraissant antagonistes, mais en fait complémentaires :

- partie sympathique: anciennement ortho-sympathique
- partie para - sympathique

D'une façon générale, et par référence à leur neuro - chimie, leur fonction réciproque peut être comprise ainsi :

la partie sympathique est ergotrope, c'est à dire qu'elle assume la dépense d'énergie.

la partie para - sympathique est trophotrope, c'est à dire animatrice de fonctions métaboliques, restauratrices d'énergie.

Il existe donc entre les deux parties, un équilibre variable selon les circonstances physiques ou psychologiques de l'existence. La perturbation grave de cet équilibre est responsable de désordres neuro - végétatifs dans le sens de l'hyper-sympathicotonie ou de l'hyper-parasympathicotonie (hyper-vagotonie).

8.2. - Structure anatomique générale du système nerveux végétatif [S.91]

Chacune des parties de ce système possède des centres, des voies et des ganglions nerveux.

8.2.1.- Les centres végétatifs :

Ce sont des noyaux gris situés dans la partie la plus profonde du névraxe.

a)- Centres cérébraux :

L'hypothalamus (déjà étudié dans le cerveau) est le cerveau végétatif. Il est en relation avec les parties profondes du cerveau (noyau dorso - médian du thalamus, lobe limbique, aires pré - frontales) et avec les noyaux para - sympathiques du tronc cérébral, par le faisceau médian du télencéphale. Il est aussi en relation neuro - endocrinienne avec les deux lobes de la glande hypophyse.

b)- Centres dans le tronc cérébral :

Dans la substance réticulée du tronc cérébral, se trouvent les noyaux étagés du **para - sympathique crânien**, dont le très important noyau cardio - pneumo - entérique qui est à l'origine du nerf vague (ou pneumogastrique).

c)- Centres médullaires cervico - thoraco - lombaires:

Dans la région centrale de la moelle se trouvent les noyaux étagés de la **partie sympathique**, disposés en deux colonnes parallèles : colonne intermedio - médiale et intermedio - latérale.

d)- Centres du renflement lombaire :

A ce niveau se trouve le noyau du **para - sympathique pelvien**.

8.2.2.- Les voies végétatives

a)- de la partie para - sympathique

Au niveau du tronc cérébral, les fibres des noyaux **du para - sympathique crânien** voyagent dans les nerfs crâniens pour atteindre les ganglions pré - viscéraux de la tête et du cou.

Au niveau du renflement lombaire, les fibres des noyaux du **para - sympathique pelvien** se rendent, par les troncs du plexus sacré, au ganglion pré- viscéral du bassin (ganglion hypogastrique).

b)- de la partie sympathique

Au niveau de la moelle épinière, les fibres des noyaux sympathiques se rendent aux ganglions de la chaîne sympathique latéro - vertébrale. Ce sont les *rameaux communicants blancs* (car myélinisés).

Les ganglions de la chaîne sympathique latéro - vertébrale donnent aux viscères et glandes de la tête, du cou, du thorax, de l'abdomen et du pelvis des rameaux sympathiques appelés nerfs splanchniques. Ils donnent en plus les *rameaux communicants gris*, qui retournent aux nerfs spinaux, pour être distribués dans les régions somatiques du corps (innervation artérielle des membres et des parois du tronc).

8.2.3.- Les ganglions végétatifs

a)- La chaîne sympathique latéro - vertébrale:

Située sur les flancs de la colonne vertébrale, elle est formée d'une série de ganglions étagés et connectés entre eux (sympathique cervical, thoracique, lombaire et sacré). C'est le lieu de transit obligé des fibres sympathiques vers les viscères et glandes de la tête et du cou, du thorax, de l'abdomen et du pelvis, ainsi que des fibres sympathiques vers les régions somatiques périphériques.

(Application: sympathectomie lombaire dans les déficits artériels des membres inférieurs)

b)- Les ganglions pré - viscéraux

Ils sont situés près des viscères. Leur rôle est de rassembler les fibres nerveuses sympathiques et para - sympathiques pour les distribuer conjointement aux viscères de proximité (Ex: les ganglions coeliaques - anciennement plexus solaire - distribuent leurs fibres aux viscères de l'abdomen supérieur : foie, estomac, rate).

8.3. - Systématisation du système nerveux végétatif

8.3.1.- partie para - sympathique :

Entre les noyaux d'origine et les ganglions pré - viscéraux, les fibres para - sympathiques voyagent à l'intérieur des nerfs cérébro - spinaux (les nerfs crâniens pour le para - sympathique crânien et les troncs du plexus sacré pour le para - sympathique pelvien).

8.3.2.- partie sympathique : [S.92] [S.93]

Les noyaux d'origine sont exclusivement médullaires, au niveau des deux colonnes intermedio - latérale et intermedio - médiale. Elles sont connectées entre elles par des cellules intercalées.

a)- fibres sympathiques motrices:

* Celles qui naissent de la colonne intermedio - latérale gagnent la chaîne sympathique latéro - vertébrale, où elles font synapse, puis retournent au nerf spinal par le rameau communicant gris. Elles sont responsables de la vaso - motricité des membres et des parois du tronc. Ainsi, on peut considérer que les ganglions de la chaîne latéro - vertébrale, sont les ganglions pré - viscéraux des artères des membres et du tronc. La sympathectomie chirurgicale vise à interrompre ces voies au niveau de la chaîne sympathique latéro - vertébrale.

* Celles qui naissent de la colonne intermedio - médiale traversent la chaîne sympathique latéro - vertébrale, puis elles forment les nerfs splanchniques qui atteignent les ganglions pré - viscéraux, où elles font synapse. Le neurone suivant atteint le viscère.

b)- fibres sympathiques sensibles:

Elles montent dans les nerfs splanchniques. Leur corps cellulaire est dans la chaîne latéro - vertébrale. Elles pénètrent dans le nerf spinal et sa racine dorsale. Dans le ganglion spinal, elles s'articulent avec un interneurone, lui - même connecté avec les voies sensibles cérébro - spinales. Il y a là, un point de convergence entre les sensibilités végétative et cérébro - spinale, explication de la douleur projetée. Le neurone suivant atteint la colonne sensitive végétative dans la moelle.

8.4. - Applications:

8.4.1. – Zones de Head [S.94]:

Comme pour les dermatomes sensitifs somatiques, il existe, superficiellement, des territoires végétatifs cutanés (vaso – motricité, glandes sudoripares et sébacées, muscles érecteurs des poils...) qui correspondent aux niveaux métamériques de l'innervation végétative des viscères profonds.

8.4.2.- Réflexes végétatifs

Cette disposition des voies végétatives met en évidence les points de convergence entre les grands systèmes:

1* dans le système sympathique, convergences possibles entre l'innervation végétative des territoires somatiques (membres et parois) et les territoires viscéraux, par les cellules intercalées entre les deux colonnes sympathiques médullaires, compte - tenu de la disposition segmentaire de l'ensemble. (intérêt en médecine physique : massage - réflexe)

2* convergence dans le ganglion spinal, entre les sensibilités végétatives et cérébro - spinales, expliquant le phénomène de la douleur projetée.

Exemples de réflexes végétatifs :

- Réflexe vaso – moteur : (Rougeur/Pâleur)
- Réflexe pilo – moteur : contraction des muscles érecteurs des poils (hérississement des poils)

- Réflexe sudoripare
- Réflexe salivaire

8.4.3 - Syndromes sympathiques

- Douleurs névritiques et Causalgie
- Troubles physiopathiques
- Ostéoporose aigue post - traumatique
- Syndrome de Raynaud

8.5. – Anatomie descriptive des chaînes sympathiques latéro – vertébrales. [S.95]

8.5.1. : Chaîne sympathique cervicale [S.96]

8.5.2. : Chaîne sympathique cervicale et plexus cardiaque [S.97]

8.5.3. : Chaîne sympathique thoracique et plexus abdominaux [S.98]

8.5.4. : Chaîne sympathique lombaire [S.99]

8.5.5. : Chaîne sympathique lombo – sacrée et plexus hypogastrique [S.100]

9 - Synthèses en Neuroanatomie fonctionnelle

Ce texte comporte trois parties :

- Approche de la cybernétique
- Applications en Neuro – physiologie et en Neuroanatomie fonctionnelle
- Applications en Rééducation fonctionnelle

A- APPROCHE DE LA CYBERNETIQUE

I - Généralités

a) - le sens du mot : du grec "kubernêsis", action de gouverner un vaisseau ; ou barrer, en compensant les déviations et les dérives pour rester sur la route programmée.

b) - Le créateur de cette discipline est Norbert Wiener. Le livre fondateur (1948) avait pour titre " La cybernétique ou le contrôle et la communication, chez l'animal et la machine ". Il s'agit de la démonstration du fonctionnement des structures complexes et inter - dépendantes. C'est une science nouvelle.

c) - son domaine :

1. Les sciences physiques

Physique fondamentale (l'atome)

Physique appliquée (les machines mécaniques et thermo - dynamiques)

Chimie (les molécules et les réactions chimiques)

Electricité et l'électro - mécanique

Electronique

Informatique

2. Les sciences de la nature

Biologie générale

Biologie végétale

Biologie animale, et principalement :

le Système nerveux et le système neuro - musculaire (Bio -cybernétique) ainsi

que les régulations hormonales .

3. Peut s'appliquer aux sciences humaines (?)

d) - Les buts de la cybernétique appliquée

Centraliser des informations et les organiser par INTEGRATION, pour les redistribuer sous une forme différente, adaptée aux situations extérieures (Ex. rôle de la substance grise dans le cerveau, le tronc cérébral, et la moelle épinière), et en contrôler la programmation. Il s'agit donc d'un traitement de l'information. De ce fait, il y a une forte analogie avec l'informatique.

En bref : Réception (sensitive ou sensorielle), Intégration, Programmation motrice, Contrôle du fonctionnement moteur par boucle de rétro - action.

Ex. Une base de données rassemble de multiples informations, dans un ordre aléatoire, mais peut les ré - organiser à volonté : tri selon les dates, les origines, les destinations, les thèmes etc...

La cybernétique étudie l'organisation fonctionnelle des systèmes complexes, en vue d'obtenir la meilleure performance possible.

II - Notion de SYSTEME

Un système est formé par un ENSEMBLE de structures élémentaires qui établissent des relations entre elles (Ex. une montre est un système, un groupe de neurones aussi, ex : les noyaux gris centraux). Ce sont des structures inter - connectées et intra - organisées. La variation d'un seul élément entraîne, si elle n'est pas compensée, la modification fonctionnelle de tout le système.

Le rôle d'un système est d'assurer des actions physiques mécaniques, électriques ou chimiques (ex. les neuro - transmetteurs). Ces actions s'enclenchent les unes les autres, et traitent des informations qui s'organisent et s'enchaînent les unes aux autres.

En Biologie, les systèmes sont, en permanence, en équilibre instable et oscillant (Ex. déséquilibres neuro - végétatifs).

L'action cybernétique peut aboutir à une variation programmée par le système, ou à une correction de variation aléatoire, assurant la stabilité relative et fluctuante du système (Ex. l'homéostasie)

B – APPLICATIONS EN NEURO - PHYSIOLOGIE

Exemple de système organisé : Le Système nerveux central

L'exemple de démonstration choisi ici est la **Fonction Motrice**, dont le résultat le plus apparent est le **MOUVEMENT**. Il s'agit donc de l'organisation du système NEURO - MUSCULAIRE. (SN Central + SN Périphérique + Muscle + Articulation + Segment osseux).

a) – Historique : L'organisation neurologique du mouvement est connue, dans ses grandes lignes, depuis le début du XXème siècle, grâce aux travaux de Sherrington. Cette organisation est hiérarchisée :

- à la base du système, se trouve la moelle épinière dans laquelle se déroule l'activité réflexe
- au dessus, le cervelet, dont les voies transitent par le tronc cérébral, assure l'organisation de l'activité motrice et la coordination musculaire nécessaire au mouvement.
- enfin, au sommet, se trouve le cerveau. Les noyaux gris centraux du cerveau (néocéphale) sont responsables des activités motrices automatiques. Le cortex du cerveau (néocéphale) est l'initiateur du mouvement volontaire.

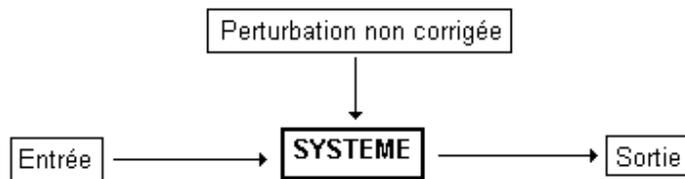
Cette hiérarchie fonctionnelle générale n'a pas été remise en cause par les découvertes ultérieures, mais la connaissance du fonctionnement des systèmes moteurs s'est approfondie.

Les travaux récents ont introduit des notions pluri - disciplinaires, adoptées par la neuro - physiologie. Elles concernent la cybernétique (organisation des voies neurologiques en boucles de rétro - action - feedback et feedforward - aboutissant à des organes comparateurs), ainsi que l'informatique (notion de programmes moteurs pré-établis ou *engrammes* (noyaux moteurs pluri - segmentaires de la moelle épinière) lancés par des instructions à type de macro-commande (mouvement d'enroulement global du membre supérieur).

On voit que les voies neurologiques ne sont pas rectilignes. Elles comportent des relais synaptiques, assurant transmission et orientation des influx. A part les axones des grandes cellules pyramidales de Betz de l'aire 4 (voie directe cortico-spinale), les autres voies motrices sont disposées en boucles rétrogrades remontant vers leur source (boucles de rétro - action: feed-back) ou atteignant des noyaux plus lointains situés en aval du trajet (boucles de feed - forward).

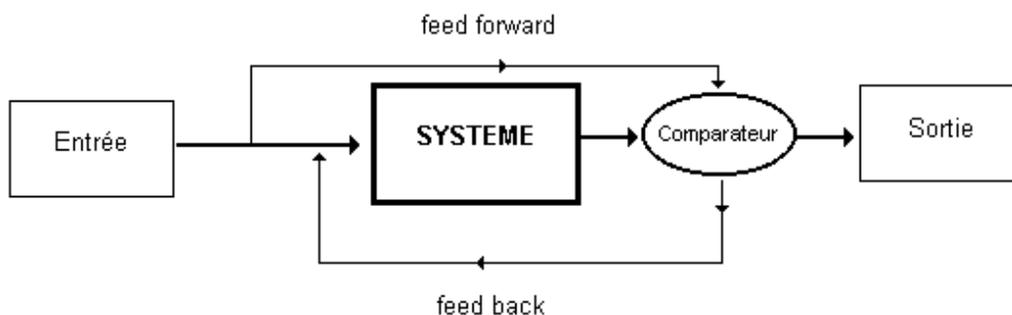
b) – Les boucles en général: Fonctions simples d'un système

1 - Boucle ouverte : Système non asservi



Dans ce cas, le signal de sortie est différent du signal d'entrée.

2 - Boucle fermée : Système asservi (ou système d'exécution soumis à un contrôle)



Boucle en feed - back (information rétrograde provenant du signal distal ou en aval).

En cas de perturbation des performances du système, un organe comparateur capable d'intégration (ex : noyau rouge ou noyau olivaire) envoie un signal rétrograde compensateur (feed-back) permettant une correction différentielle du signal d'entrée dans le système. Le signal d'entrée est ainsi modifié, de façon à compenser la perturbation intercurrente. Finalement, le signal de sortie, compensé, est conforme aux paramètres du signal d'entrée.

C – APPLICATIONS EN NEURO - ANATOMIE FONCTIONNELLE

1) Les conditions physiques du mouvement :

L'activité motrice du sujet, ou mouvement, se déroule dans le milieu extérieur. Le milieu extérieur est soumis à des forces permanentes ou aléatoires, mais tout mouvement nécessite d'abord un **appui**.

a) – **L'appui** : Pour le tronc et les membres inférieurs, il s'agit d'un appui au sol. Pour les membres supérieurs, il s'agit d'un appui à plusieurs niveaux : appui proximal sur le tronc, appui inter - segmentaire par les articulations intermédiaires et distales. Ex : le membre supérieur en mouvement est maintenu dans l'espace, malgré son propre poids.

b) – **La gravitation** : Force naturelle, permanente et incontournable. Toute la musculature, axiale ou dans les membres, lutte en permanence contre la gravitation. C'est le rôle de la musculature posturale. L'information provient de l'appui plantaire sur le sol et de la notion de poids du corps (extéroceptivité, baresthésie, proprioceptivité consciente (récepteurs articulaires) et inconsciente (fuseaux neuro - musculaires). Le traitement de l'information et la commande neurologique centrale se situent dans le paléencéphale du cerveau et le paléo - cervelet (Système paléo – moteur).

c) - Les forces aléatoires proviennent de l'environnement. Ce sont des poussées ou des déplacements par inertie (ascenseurs, autobus, projections accidentelles...etc...). Ces forces sont verticales ou horizontales (sagittales, transversales ou rotatoires) et mettent en jeu le maintien de l'équilibre par déplacement du centre de gravité hors du polygone de sustentation. L'information provient de l'appareil vestibulaire et le traitement central se fait dans l'archéo - cervelet (Système archéo – moteur).

d) – Sur l'appui fondamental, complété par les appuis inter – segmentaires, le déplacement volontaire et balistique du membre est conduit par les muscles à longue portée (muscles poly- articulaires). C'est le mouvement apparent (Système néo- moteur).

e) – A l'extrémité du membre, mobile ou stabilisé, les petits muscles distaux sont capables de mouvements sélectifs de précision (Faisceau pyramidal).

On voit que le mouvement normal nécessite toutes les étapes motrices décrites ci – dessus.

ORGANISATION DU MOUVEMENT NORMAL AU NIVEAU DE L'ENCEPHALE

<u>CERVEAU</u>	VOIES CENTRALES		FONCTION MOTRICE	ACTIONS MUSCULAIRES	<u>MOUVEMENT</u>
<u>Néencéphale</u>					
Aire motrice primaire (aire 4)	Faisceau pyramidal voie motrice cortico-spinale directe	→	Mouvement volontaire sélectif (précision)	Petits muscles de précision (la main)	
		CERVELET			
		<u>Néo-cérébellum</u>			
Aires motrices associatives (aires 6,5,7,21 et 22)	Faisceaux cortico-pontiques	Hémisphère cérébell. et noyau dentelé	Mouvement volontaire global	m. poly-articulaires (rôle balistique) chaînes cinétiques	
<u>Paléencéphale</u> Noyaux gris centraux	Voies extra-pyram. pallidales et sous opto-striées	Paléo-cérébellum Vermis, globulus et embolus	Motricité automat. anti-gravitaire du mouvement Posture	m. mono-articulaires (soutient inter – segmentaire) Couples antagonistes	<u>POSTURE</u>

<u>Archencéphale</u> Substance réticulée Noyau vestibulaire	Voies extra- Pyramidales du tronc cérébral	<u>Archéo- cérébellum</u> Noyau fastigial	Régulations toniques de l'équilibre	m. axiaux et des ceintures	<u>TONUS</u> EQUILIBRE
---	--	--	---	-------------------------------	----------------------------------

2) Le faisceau pyramidal : Structure et Fonctions

a – Concept morphologique

L'anatomie de la morphologie interne du cerveau décrit l'origine des axones pyramidaux, étalée sur toute la hauteur de l'aire 4, formant un large éventail dans le centre ovale de la substance blanche cérébrale. Après torsion, l'ensemble des axones moteurs se regroupe, formant alors un faisceau compact qui s'engage dans le bras postérieur de la capsule interne. Le faisceau, traversant la base du cerveau, s'engage dans le mésencéphale, occupant une large part des pédoncules cérébraux. Le faisceau est dissocié dans le pont, puis regroupé dans les pyramides de la moelle allongée. Au quart inférieur de la moelle allongée le faisceau se divise en faisceau pyramidal croisé et faisceau pyramidal direct. C'est le site de la décussation pyramidale.

Du point de vue morphologique, le terme de « faisceau pyramidal » est justifié.

b – Concept neuro - physiologique et fonctionnel :

L'étude cytologique de l'aire 4 (aire motrice primaire), montre qu'elle contient les grandes cellules pyramidales de Betz, dont les axones constituent la voie cortico-spinale directe. Mais l'aire 4 contient en plus grande quantité, des petites cellules pyramidales, comme les aires motrices associatives (6, 5, 7, 21, 22). Les axones moteurs de ces petites cellules motrices descendent *dans le faisceau pyramidal*. Certains atteignent la corne ventrale de la substance grise dans la moelle épinière. D'autres constituent la voie cortico – réticulo - spinale inhibitrice. Les axones restants, les plus nombreux, participent à la formation des grandes boucles de régulation motrice, à destinée cérébelleuse. Ces voies en boucles retournent au cortex moteur, dont les fibres efférentes descendent dans l'épaisseur du faisceau pyramidal.

En bref, la structure du faisceau pyramidal est hétérogène :

- Il existe 35000 grandes cellules pyramidales de Betz, dans l'aire 4, c'est à dire 2 à 3% des axones moteurs du faisceau pyramidal.
- Environ 60% des axones moteurs du faisceau proviennent des petites cellules pyramidales de l'aire 4.
- Environ 40%, proviennent des aires motrices associatives (6, 5, 7, 21, 22)
- Un autre contingent de fibres correspond aux connexions cortico - striatales (Circuit cortico - strié principal)

Dans ces conditions, le faisceau pyramidal peut être appelé « Voie Pyramidale ». Elle est la grande voie de la motricité volontaire et elle assure l'asservissement (au sens cybernétique), des structures motrices sous-jacentes, nécessaires à l'exécution du mouvement normal.

3) Nouvelle approche des fonctions musculaires

: Les fonctions musculaires peuvent être étudiées selon 3 niveaux conceptuels:

a) - **fonctions analytiques**. Elles découlent de l'anatomie morphologique. La fonction d'un muscle est déduite de sa position sur le squelette, du niveau de ses insertions proximales et distales, de sa direction et de son trajet. Sa contraction et le raccourcissement qui en résulte, mobilisent des segments squelettiques. C'est une fonction bio - mécanique de base, soumise aux lois physiques des leviers. C'est une fonction linéaire simple. Elle est enseignée dans les premières années des études anatomiques et il n'est pas possible de l'ignorer.

b) - **fonctions synthétiques.** Dans les faits réels de la fonction motrice, un muscle ne fonctionne jamais seul. Même dans le cas d'un mouvement distal sélectif très précis, il existe un concours de muscles voisins, intermédiaires et proximaux assurant en amont, le support et le déplacement des segments de membre. Il a été montré plus haut que les groupes musculaires recrutés dans l'exécution du mouvement fonctionnaient en chaînes musculaires cinétiques ouvertes ou fermées (muscles poly - articulaires) et en couples agonistes/antagonistes (muscles mono - articulaires) assurant la posture.

c) - **fonctions déduites de l'équipement histo - enzymatique des fibres musculaires**
(Techniques histo- chimiques)

Depuis les travaux de Burke et Engel, nous savons qu'il existe au moins deux types de fibres musculaires: les fibres de type I ou S (pour slow = lent) et des fibres de type II ou F (pour fast = rapide). Cette distinction est basée sur l'analyse histo - chimique des fibres et révèle l'importance de leur équipement en enzymes glycolytiques (ATPase et enzymes oxydatives). Les fibres I correspondent aux anciennes appellations de muscles rouges ou muscles lents, par référence à leur temps de contraction. Les fibres II correspondent aux anciennes appellations de muscles blancs ou muscles rapides. A l'intérieur du groupe II, il a été ultérieurement décrit deux sous-groupes: le groupe II A ou FR (pour résistant à la fatigue) et le groupe II B ou FF (pour rapide et fatigable). Ces deux derniers groupes sont départagés par leur contenu en enzymes glycolytiques et par leur temps de contraction.

La corrélation entre l'équipement histo - chimique de la fibre et sa fonction a été étudiée par Granit et ses collaborateurs (1956/1957) de la façon suivante:

- Les fibres I ou S sont à fonction tonique
- Les fibres II A ou FR sont à fonction posturale
- les fibres II B ou FF sont à fonction phasique

Chaque muscle squelettique contient deux ou trois catégories de fibres, en proportion variable, dispersées dans le corps musculaire. La structure et la fonction d'un muscle ne sont pas homogènes. Dans cette perspective, *la fonction principale d'un muscle est conditionnée par la prépondérance d'une ou deux populations de fibres musculaires dans l'ensemble de ses fibres.*

On peut regretter de ne pas disposer actuellement des données histo - chimiques pour tous les muscles de l'anatomie humaine.

L'hypothèse proposée ici, est que chacun des systèmes moteurs centraux archéo - moteur : (Tonus et équilibre), paléomoteur (motricité automatique posturale), néomoteur (direction du mouvement) , exposés plus haut, est responsable de la mise en oeuvre d'une population particulière d'unités motrices, concernant des fibres musculaires de même fonction, réparties dans des muscles différents.

Ceci modifie le concept de muscle, en tant qu'organe fonctionnel *individuel*, mais explique qu'un muscle puisse avoir plusieurs fonctions et qu'il puisse travailler en synergie dans des chaînes musculaires, recrutant des populations de fibres musculaires de même fonction, dans des muscles voisins mais différents. Ainsi, dans la flexion volontaire du coude, ce sont les fibres musculaires de même type qui sont stimulées conjointement dans le m.biceps et le m. brachio - radial (m. long supinateur). Au niveau central, les voies motrices responsables sont celles du système néo-moteur.

Les fibres I ou S (toniques) dépendent des systèmes myotatique et archéo-moteur, les fibres II A ou FR (posturales), du système paléo-moteur, et les fibres II B ou FF (phasiques), du système néo-moteur.

Puisque chaque muscle contient en quantité variable les trois populations de fibres, on comprend mieux ainsi leur parfaite adaptation tonico - posturale, aux variations constantes de la balistique du mouvement, ainsi que le concept de chaînes musculaires.

En bref, l'unité musculaire fonctionnelle n'est pas le muscle en tant qu'organe isolé, mais l'unité motrice en raison de sa spécificité histo - enzymatique.

D – APPLICATIONS EN REEDUCATION FONCTIONNELLE

La méthodologie en kinésithérapie décrit :

1- la kinésith. passive analytique, indispensable pour effectuer des bilans

2 - La kinésith. active analytique :

- libre
- aidée par pouliothérapie
- avec effort contre-résistance (manuelle, ou avec ressorts, ou avec poids).

Deux concepts sont ici importants : ce sont : ACTIVE et EFFORT

2- La kinésith. active globale.

Aux membres elle peut être ipsilatérale (côté des lésions) libre ou avec effort contre – résistance Elle correspond aux gestes réels de la vie courante et utilise les chaînes musculaires cinétiques (muscles poly-articulaires) ainsi que les groupements musculaires antagonistes (muscles mono – articulaires). Le support neuro - anatomique des chaînes cinétiques sont les noyaux moteurs pluri – segmentaires, dans les renflements médullaires.

4 – Rééducation neuro- musculaire proprioceptive

Il s'agit de la proprioceptivité inconsciente ou sensibilité musculaire à l'étirement, impliquant les fuseaux neuro - musculaires

Les techniques de rééducation neuro – musculaires proprioceptives (re – programmation neuro – motrice) (Bobath, Kabat Rood) entrent dans ce cadre là. Elles utilisent, à la fois, la notion de diffusion de l'influx nerveux par débordement d'énergie (nécessité de l'effort) pour obtenir l'inhibition des contractures centrales et la contraction de groupes musculaires à distance.

Ex : Le membre supérieur de l'hémiplégique, au stade de la spasticité : Le déficit fonctionnel a deux causes : la perte du mouvement volontaire et la contracture centrale des muscles paralysés. La préoccupation principale est la levée de la spasticité dans l'espoir ultérieur d'une récupération neuro - motrice (totale ou partielle).

5 – La kinésith. active globale contro – latérale (côté opposé à la lésion) avec effort contre résistance dans le membre sain.

Selon KABAT, le moyen le plus sûr de recruter le plus grand nombre d'unités motrices dans un ou plusieurs muscles à distance, est l'application de la résistance au mouvement volontaire. Les unités motrices responsables de l'effort contre résistance sont les unités motrices tonico – posturales et non les unités motrices phasiques. Dans l'effort important, il existe un débordement proportionné des influx tonico – posturaux dans des muscles voisins, et mêmes contro – latéraux. Les connections synaptiques entre les interneurons de la lame VII dans la moelle épinière, permettent la diffusion contro – latérale avec inhibition des mêmes muscles dans le membre spastique. En effet, dans le mouvement global normal, la posture contro - latérale est alternée avec celle du membre actif avec action inhibitrice dans les mêmes muscles du côté opposé (Exemples sportifs : les membres sup. dans le crawl, lancer du poids ou de javelot ou balancement automatique et alterné des membres sup. dans la marche).

L'hypothèse faite ici est que le débordement d'influx toniques par effort important, dans le membre sain, exerce une inhibition contro - latérale sur la contracture centrale du membre spastique.

Les données fondamentales de cette hypothèse, sont décrites dans le cours de Neuroanatomie fonctionnelle. Il appartient aux praticiens de rééducation fonctionnelle de faire la synthèse des données fondamentales et des techniques thérapeutiques.