

PHYSIOLOGIE

SYSTEME NERVEUX

Plan du cours

- **Présentation du système nerveux**
- **Organisation générale du système nerveux**
- **Physiologie neuronale**
- **Système nerveux central**
- **Système nerveux périphérique**
- **Système nerveux autonome**

NEUROPHYSIOLOGIE

1. Présentation du système nerveux

Le système nerveux est un système fort complexe qui tient sous sa dépendance toutes les fonctions de l'organisme. Il assure la réception, l'intégration et la transmission des informations provenant de l'environnement et de l'organisme lui-même. Il est composé de centre nerveux et de voies nerveuses. Il peut être considéré comme une suite de cellules nerveuses traversées par un signal. Ces cellules nerveuses se répartissent en élément récepteur et élément effecteur.

1.1.Principales fonctions du système nerveux

Le système nerveux constitue une unité spécialisée qui contrôle, règle et coordonne toutes les fonctions de l'organisme, en assurant trois fonctions essentielles :

- **Une fonction sensorielle** : permettant la détection et la réception des stimuli provenant de l'environnement et de l'organisme, la transformation de ces stimuli en signal nerveux et la conduction de ce dernier vers le centre d'intégration.
- **Une fonction d'intégration** : permettant l'analyse et l'interprétation des informations sensorielles afférentes et la détermination de l'action à entreprendre.
- **Une fonction motrice** : fournissant une réponse adaptée aux organes effecteurs.

2. Organisation générale du système nerveux

Selon des considérations anatomiques et physiologiques, on peut subdiviser le système nerveux en :

➤ **Système nerveux central SNC : partie intégratrice**

Ou névraxe, formé de la moelle épinière, logée dans le canal vertébral et de l'encéphale, logé dans la cavité crânienne et comprenant le tronc cérébral, le cervelet et le cerveau.

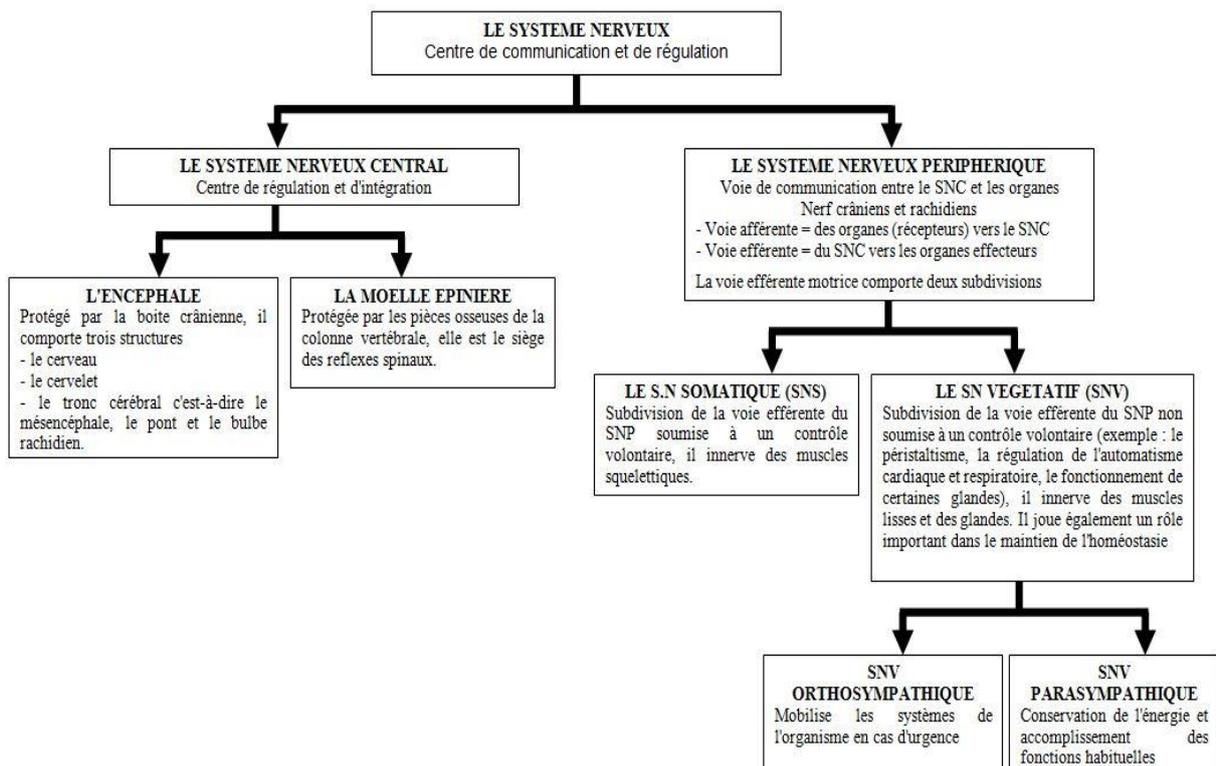
C'est le centre de régulation et d'intégration du système nerveux. Il gère la vie de relation avec le milieu extérieur, analyse et interprète les informations sensorielles reçues, les trie et les compare afin d'élaborer une réponse motrice.

NEUROPHYSIOLOGIE

➤ Système nerveux périphérique SNP : partie réceptrice et effectrice

Formé des nerfs crâniens émergeant du tronc cérébral, des nerfs rachidiens émergeant de la moelle épinière et des ganglions. Ces nerfs sont de véritables lignes de communication qui relient l'ensemble du corps au SNC. Il comprend deux subdivisions fonctionnelles :

- **Le système nerveux somatique** : subdivision de la voie efférente du SNP soumise au contrôle volontaire et assure l'innervation des muscles striés squelettiques.
- **Le système nerveux autonome** : subdivision de la voie efférente du SNP non soumise au contrôle volontaire. Contrôlant les viscères, les vaisseaux sanguins et les glandes.



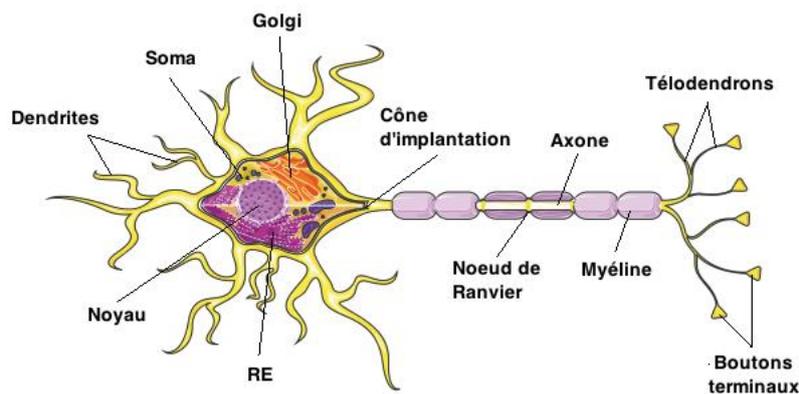
NEUROPHYSIOLOGIE

3. Physiologie neuronale

Le tissu nerveux est essentiellement formé de deux types de cellules, les neurones et les cellules gliales.

3.1. Le neurone est l'unité structurale et fonctionnelle du système nerveux. C'est une cellule hautement différenciée et spécialisée dans la conduction de l'influx nerveux. Le neurone est constitué d'un corps cellulaire d'où partent des prolongements de deux types : les dendrites et l'axone qui constituent les fibres nerveuses entourées ou non d'une gaine de protection qu'on appelle la gaine de myéline (substance blanchâtre grasseuse).

On estime que le système nerveux humain compte environ 100 milliards de neurones !



3.1.1. Types de neurones

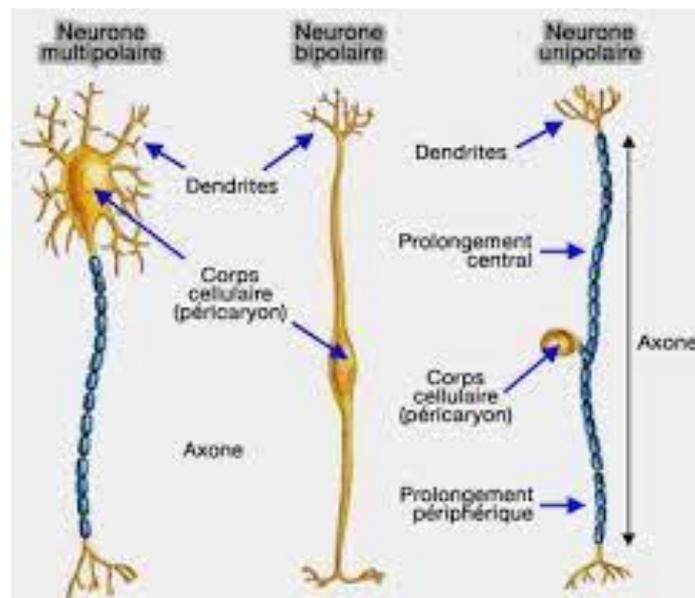
➤ **Classification structurale**

Multipolaire : plusieurs prolongements (dans l'encéphale)

Bipolaire : un corps cellulaire, une dendrite et un axone (rétine et oreille interne)

Unipolaire : la dendrite et l'axone sont dans le prolongement l'un de l'autre (moelle épinière)

NEUROPHYSIOLOGIE



➤ Classification fonctionnelle

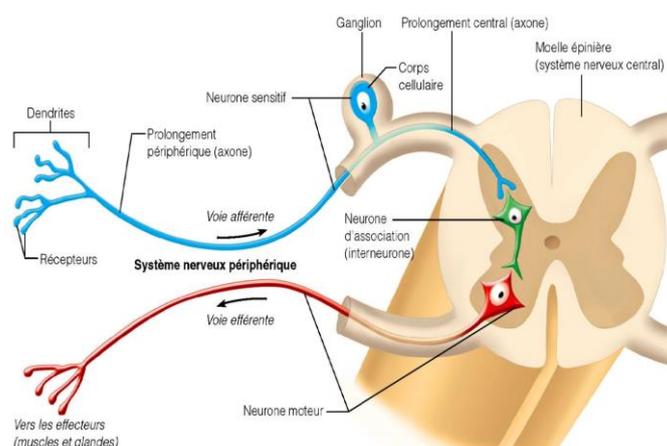
Les neurones sensitifs : conduisent les influx nerveux jusqu'au SNC.

- Sensitifs somatiques : conduisent les influx qui proviennent des récepteurs de la peau, des os, des muscles et des articulations.
- Sensitifs viscéraux : conduisent les influx qui proviennent des viscères.

➤ **Les neurones moteurs** : conduisent les influx en provenance du SNC.

- Somatiques moteurs : innervent les muscles squelettiques.
- Viscéraux moteurs : innervent le muscle cardiaque, les muscles lisses vasculaires et les glandes.

➤ **Les neurones d'association** (interneurones) : conduisent les influx des neurones sensoriels aux neurones moteurs.



NEUROPHYSIOLOGIE

3.2. Cellules gliales

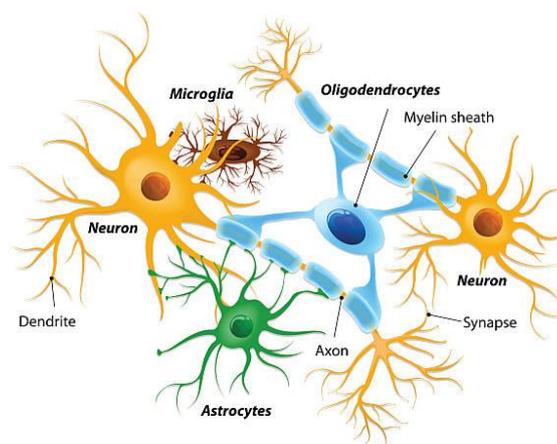
Les cellules gliales forment un tissu étroitement associé aux neurones. Ce sont des cellules de soutien et d'enveloppement du système nerveux central. Elles assurent les fonctions d'un tissu conjonctif (soutien, échange et nutrition). Dans le système nerveux central, on distingue quatre types de cellules gliales :

- **Les astrocytes** : ont un rôle de nutrition et possèdent de nombreux dendrites qui partent dans tous les sens. Ils envoient des prolongements vers les vaisseaux sanguins afin de permettre les échanges.
- **Les oligodendrocytes** : on les trouve dans le système nerveux central. Ils fabriquent la myéline et sont animés d'un mouvement rythmique.
- **Les microgliocytes** : ce sont les macrophages du tissu nerveux, ils détruisent les déchets. Ils se déplacent selon leurs besoins pour se rendre là où les débris cellulaires sont à éliminer.
- **Les épendymocytes** : cellules épithéliales qui forment le revêtement des ventricules cérébraux et du canal de l'épendyme.

Dans le Système Nerveux Périphérique, on rencontre deux types de cellules gliales :

- les cellules de Schwann (ou neurolemmocytes)
- les cellules satellites

NEURONS AND NEUROGLIAL CELLS



NEUROPHYSIOLOGIE

3.3. Nerfs

Les nerfs sont formés d'axones de neurones moteurs et de neurones sensitifs. Certains nerfs ne contiennent que des fibres sensibles. Les nerfs rachidiens comptent environ 600 000 fibres nerveuses. Le corps cellulaire se situe dans et/ou près du système nerveux central.

3.4. Propriétés physiologiques des neurones

- **Excitabilité** : c'est la capacité de réagir à un stimulus et de le convertir en signal nerveux
- **Conductibilité** : c'est la capacité de propager et de transmettre cet influx nerveux à d'autres neurones, à un muscle ou à une glande

3.5. Transmission de l'influx nerveux

Comme dans toutes les cellules de l'organisme, la membrane du neurone est polarisée, positivement à l'extérieur et négativement à l'intérieur. Cette polarisation est due à l'existence d'un gradient de concentration de sodium et de potassium de part et d'autre de la membrane plasmique. Au repos, ce gradient de concentration est maintenu grâce à la pompe Na-K-ATPase et crée un **potentiel de repos** de -70 mV.

Les modifications momentanées de la perméabilité de la membrane neuronale à certains ions, va permettre les échanges entre les deux côtés de la membrane et engendrer donc une **dépolarisation**. Si la dépolarisation est suffisamment importante, pour se propager le long de l'axone, on parle ainsi d'un **potentiel d'action** : vague de **dépolarisation** qui se propage. La dépolarisation qui se transmet le long de l'axone est appelée **influx nerveux**.

3.6. Potentiel d'action

C'est une propriété des cellules excitables qui consiste en une dépolarisation rapide suivie d'une repolarisation de la membrane. Le potentiel d'action se décrit en quatre phases :

- **Dépolarisation (montée du PA)**

Suite à une stimulation, les canaux **sodium voltage dépendant** s'ouvrent rapidement aboutissant à un courant entrant de Sodium. Le potentiel de la membrane tend vers le potentiel de l'équilibre du Na (+65 mV) mais ne l'atteint pas.

NEUROPHYSIOLOGIE

- **Repolarisation**

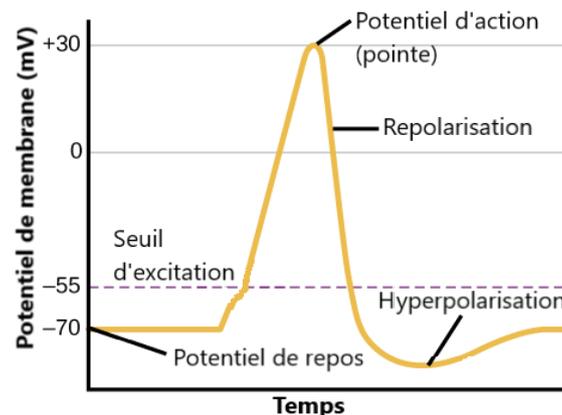
Les canaux Na se referment et canaux **potassium voltage dépendants** s'ouvrent à leur tour, aboutissant à un courant sortant de K. Le potentiel de membrane se rétablit.

- **Hyperpolarisation**

La conductance du K reste élevée un certain temps, ce qui donne une hyperpositivité de la MP à l'extérieur et une hypernégativité à l'intérieur, le potentiel de membrane passe en dessous de la valeur de base (-75mV).

- **Potentiel de repos**

La pompe Na-K-ATPase intervient pour rétablir la situation en rejetant le Na à l'extérieur et en faisant entrer le Na⁺. Le potentiel d'action se propage et atteint d'autres canaux voltage-dépendants, l'onde de dépolarisation se déplace donc le long du neurone. Cette dépolarisation est le support matériel de l'influx nerveux.



3.7. Lois du potentiel d'action

- **Seuil** : c'est la valeur minimale ou liminaire de la stimulation en dessous de laquelle aucun potentiel d'action ne peut être démarré.
- **Loi de tout ou rien** : dès que le seuil est atteint, la réponse est complète et maximale quelque soit l'intensité de la stimulation
- **Sommation** :

-**Temporelle** : une stimulation inférieure au seuil (infraliminaire) peut provoquer une réponse si elle intervient immédiatement après une autre stimulation infraliminaire

-**Spatiale** : deux stimulations infraliminaires appliquées en même temps à proximité l'une de l'autre peuvent provoquer une réponse.

NEUROPHYSIOLOGIE

3.8. Périodes réfractaires

- **Période réfractaire absolue**

C'est la période pendant laquelle aucun autre potentiel d'action ne peut démarrer quelque soit l'intensité de la stimulation. Elle correspond au moment où les canaux sodium sont fermés et coïncide avec presque la totalité du PA.

- **Période réfractaire relative**

Elle commence à la fin de la période réfractaire absolue et continue jusqu'à ce que le potentiel de membrane retourne à son niveau de repos. C'est la période pendant laquelle les potentiels d'action peuvent démarrer mais nécessitent une stimulation plus importante qu'habituellement.

Remarque : ce sont ces périodes réfractaires qui expliquent le sens de la propagation de l'influx nerveux, la dépolarisation ne peut pas revenir en arrière puisque car la membrane cellulaire n'est plus excitable au niveau de la zone traversée.

3.9. Propagation de l'influx nerveux

- **Conduction de proche en proche**

Dans les fibres non myélinisées, la dépolarisation est progressive, chaque canal sodique atteint par le PA s'ouvre et contribue à la propagation de l'influx nerveux.

- **Conduction saltatoire**

Dans les fibres myélinisées, la propagation de l'influx nerveux se fait par la génération de PA à chaque nœud de Ranvier (par saut). Le PA au niveau de chaque nœud crée une dépolarisation qui atteint le nœud suivant. La conduction est alors beaucoup plus rapide et elle est dite saltatoire.

3.10. Transmission neuromusculaire et synaptique

La transmission de l'influx nerveux véhiculé par un neurone jusqu'à un autre neurone, ou une cellule effectrice (muscle, glande, viscère) a lieu au niveau de structures spécialisées appelées **synapses**. Ces dernières correspondent à la mise en contact d'une part d'une terminaison axonale d'un neurone et d'autre part d'une zone dite « active » de la cellule cible. Pour les neurones, la zone active est située sur leur soma et leurs dendrites.

NEUROPHYSIOLOGIE

Il existe deux types de synapses :

Synapse électrique correspond à l'accolement de deux neurones par des jonctions Gap. L'influx nerveux passe directement d'un neurone à l'autre. Ce type de synapse n'existe pas chez les mammifères.

Synapse chimique

Elle est constituée de trois éléments :

Membrane présynaptique, très riche en vésicules contenant le neurotransmetteur.

Fente synaptique, est l'espace entre les deux MP des deux cellules connectées

Membrane postsynaptique, possédant des protéines réceptrices des neurotransmetteurs.

Les synapses chimiques sont **unidirectionnelles**, l'influx nerveux passe toujours de l'élément présynaptique à l'élément post synaptique. Elles sont fatigables, c'est-à-dire que les stimulations répétées entraînent la diminution progressive de la réponse postsynaptique.

3.11. Fonctionnement d'une synapse chimique

L'arrivée du PA au niveau de la terminaison axonale provoque l'ouverture des canaux calcium voltage dépendants présents à ce niveau. Les ions Calcium pénètrent alors à l'intérieur du neurone présynaptique et provoquent l'exocytose du contenu des vésicules contenant le neurotransmetteur dans la fente synaptique. Ce sont donc les canaux calcium qui transforment le signal électrique en signal chimique.

Le neurotransmetteur diffuse à travers la fente synaptique et se combine avec le **récepteur de la membrane cellulaire post-synaptique**, provoquant une modification de sa perméabilité à certains ions et de son potentiel de membrane.

Les **neurotransmetteurs inhibiteurs** provoquent l'ouverture des canaux Cl. Les ions Cl pénètrent à l'intérieur de la cellule et hyperpolarisent la membrane post-synaptique.

Les **neurotrausmetteurs stimulateurs** provoquent l'ouverture des canaux Na aboutissant à un courant entrant de Na dépolarisant la membrane post-synaptique et créant ainsi un PA et une réponse cellulaire (contraction musculaire, sécrétion hormonale ...).

Enfin le neurotransmetteur subit une dégradation ou une recapture.

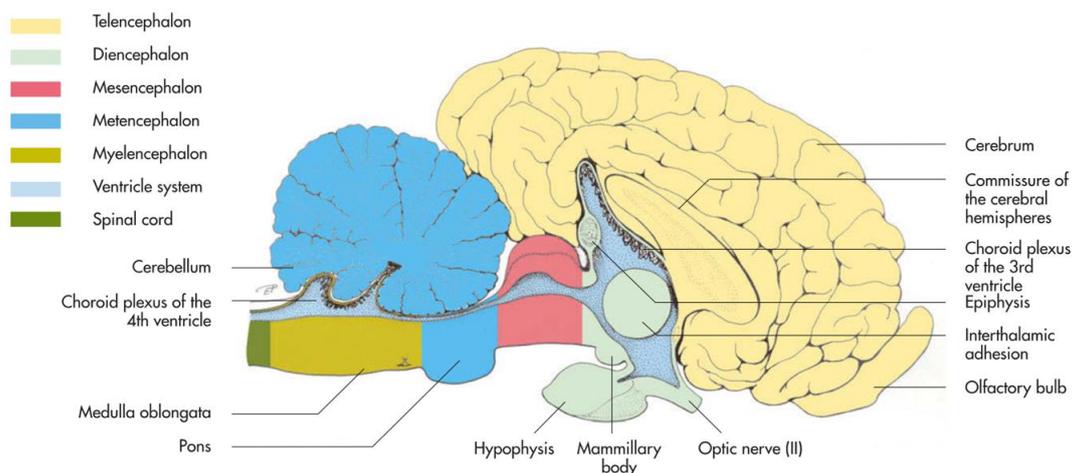
NEUROPHYSIOLOGIE

4. Système nerveux central

4.1. Encéphale

L'encéphale est situé dans la cavité crânienne et est séparé de cette dernière par les méninges. Il comprend trois parties :

- **Le cerveau**, en avant, constitué de deux hémisphères cérébraux droit et gauche
- **Le cervelet**, en arrière.
- **Le tronc cérébral** formé de :
 - Bulbe rachidien.
 - Pont de Varole ou protubérance annulaire.
 - Mésencéphale ou cerveau moyen.
 - Diencephale ou cerveau intermédiaire



Etudions l'une après l'autre les formations encéphaliques :

- **Télencéphale**

Le cerveau est également appelé télencéphale, constitué des deux hémisphères cérébraux droit et gauche réunis par le corps calleux. Chaque hémisphère présente de nombreux plis dont les plus profonds et les plus constants s'appellent sillons ou scissures. Sur chaque hémisphère, les sillons divisent le cortex cérébral en quatre lobes assurant des fonctions différentes :

-Le lobe frontal : contrôle volontaire des muscles squelettiques, personnalité, processus intellectuels, communication verbale.

NEUROPHYSIOLOGIE

- **Le lobe pariétal** : sensations cutanées et musculaires, compréhension et élaboration des mots.
- **Le lobe temporal** : interprétation des sensations auditives, mémoire auditive et visuelle.
- **Le lobe occipital** : vision consciente, intégration des mouvements aux stimuli visuels, interprétation des stimuli visuels en les comparant aux expériences visuelles passées.

- **Diencéphale**

Il comprend :

- **Le thalamus** : un organe pair situé juste au-dessous du ventricule latéral. Véritable carrefour de traitement des informations sensibles et de leur projection vers les aires corticales. Il assure le relais de tous les influx sensoriels, sauf ceux de l'odorat, vers le cortex cérébral.

- **L'hypothalamus** : impliqué dans de nombreuses régulations de la vie végétative notamment la régulation de l'activité cardio-vasculaire, la régulation de la température corporelle, l'équilibre hydroélectrolytique, les activités gastro intestinales et la faim, la soif, les dépenses énergétiques, le sommeil et l'état de veille, la réponse sexuelle, les émotions et le contrôle des fonctions endocrines par la stimulation de l'hypophyse.

-**L'épithalamus (épiphyse)**, d'où émerge la glande pinéale qui secrète la mélatonine, hormone influençant le cycle nyctéméral et jouant un rôle dans le déclenchement de la puberté.

-**La neurohypophyse**, responsable de la sécrétion de deux neurohormones, l'ADH et l'ocytocine. L'adénohypophyse n'est pas incluse dans le SNC.

- **Mésencéphale.**

Le mésencéphale, ou cerveau moyen, est un court segment du tronc cérébral, situé entre le diencéphale et le pont. Il comprend les deux colliculi rostraux et les deux colliculi caudaux, respectivement impliqués dans le traitement des informations visuelles et auditives.

- **Métencéphale.**

Le métencéphale comprend :

Le pont : composé de fibres nerveuses qui relaient les influx nerveux d'une région à une autre de l'encéphale. De nombreux nerfs crâniens prennent naissance à ce niveau. Le centre

NEUROPHYSIOLOGIE

apneustique et le centre pneumotaxique, impliqués dans la régulation de la fréquence respiratoire, sont situés dans le pont.

Le cervelet : constitué de deux hémisphères. Il est responsable de l'équilibre, de la posture et de la coordination motrice. Il est également responsable de la régulation involontaire des contractions des muscles squelettiques en réponse aux stimuli provenant des propriocepteurs des muscles, des tendons, des articulations et des organes sensoriels. La fonction du cervelet est exclusivement motrice.

- **Myélocéphale- la moelle allongée**

La moelle allongée (bulbe rachidien) est rattachée à la moelle épinière et constitue la partie la plus volumineuse du tronc cérébral. Ce dernier est constitué principalement de faisceaux de substance blanche qui relient la moelle épinière et l'encéphale. Les trois régions qui contrôlent les fonctions autonomes sont : le centre cardiaque, d'où partent des fibres inhibitrices et accélératrices qui innervent le cœur ; le centre vasomoteur, qui est responsable de la contraction des muscles lisses des artérioles ; et les centres respiratoires, qui contrôlent la fréquence et l'amplitude de la respiration.

4.2. Latéralisation fonctionnelle des hémisphères cérébraux

Bien que les deux hémisphères cérébraux soient impliqués dans presque toutes les activités, il existe néanmoins une répartition des fonctions entre eux. En effet, il y a une **latéralisation fonctionnelle**. Chacun est doté de facultés dont l'autre est dépourvu et l'un ou l'autre domine dans l'accomplissement de chacune des tâches.

La dominance cérébrale est la prépondérance d'un hémisphère par rapport au langage.

Chez 90 % des gens, **l'hémisphère gauche** dit "dominant" c'est-à-dire qu'il exerce plus de maîtrise sur les capacités du langage, les capacités mathématiques et logiques. **L'hémisphère droit** intervient dans les capacités spatio-visuelles, l'intuition, l'émotion, l'appréciation de l'art et de la musique. Il contrôle le pôle créatif et intuitif d'un individu. (La plupart des gens dont l'hémisphère gauche est dominant sont droitiers).

Chez les 10 % restants de la population, les rôles des hémisphères sont inversés ou égaux. La plupart des gens dont l'hémisphère droit est dominant sont gauchers. Les gauchers dont les fonctions corticales sont bilatérales, sont **ambidextres** (se servent aussi habilement de la main gauche que de la main droite).

NEUROPHYSIOLOGIE

4.3. Les aires corticales

Une aire corticale est une zone du cortex cérébral (substance grise) ayant une fonction particulière. Selon une carte cérébrale établie par l'anatomiste Allemand **BRODMAN**, l'organisation cellulaire du cortex cérébral change à travers les différentes régions de ce dernier délimitant ainsi des aires corticales distinctes au niveau fonctionnel. Chaque région ayant la même organisation cellulaire a été désignée par un numéro allant de 1 à 52. Chacune de ces régions assure une fonction particulière. Les aires corticales sont le siège de l'ensemble des fonctions mentales : la parole, la mémorisation, le raisonnement, l'émotivité, la conscience, l'interprétation des sensations, la communication et l'accomplissement des mouvements volontaires. On distingue trois types d'aires fonctionnelles :

4.3.1. Les aires motrices

Elles sont situées dans la partie postérieure des deux lobes frontaux.

- **Aire motrice primaire ou somatique**

Elle est située dans le gyrus pré-central (circonvolution frontale ascendante). Elle contrôle les mouvements volontaires des muscles squelettiques. Chaque partie du corps est projetée dans une zone de l'aire motrice primaire de chaque hémisphère. La motricité est croisée, le gyrus gauche régit les muscles situés du côté droit du corps et vice versa.

L'**homoncule moteur** est la représentation graphique des régions du gyrus qui contrôlent les mouvements volontaires des différentes parties du corps.

- **Aire motrice du langage ou aire de Broca**

Cette aire est un centre moteur du langage qui contrôle les muscles de la langue, de la gorge et des lèvres associés à l'articulation (active au niveau des deux hémisphères, mais il y a une dominance cérébrale de l'hémisphère gauche).

4.3.2. Aires sensibles

Elles sont situées dans les lobes pariétaux, temporaux et occipitaux. Elles permettent les perceptions sensorielles somatiques et autonomes. On distingue :

NEUROPHYSIOLOGIE

- **Aire somesthésique primaire**

Les neurones de cette aire permettent la perception des sensations tactiles, des sensations thermiques et des sensations douloureuses en provenance des récepteurs sensoriels somatiques de la peau et des muscles squelettiques. De plus, ces neurones sont capables de localiser la provenance des stimuli. C'est la discrimination spatiale.

Comme pour l'aire motrice primaire, le corps est représenté à l'envers dans l'aire somesthésique primaire. De même, l'hémisphère droit reçoit les informations sensorielles issues du côté gauche du corps et vice versa.

L'**homoncule somesthésique (sensitif)** est la représentation graphique des parties de l'aire somesthésique qui contrôlent les perceptions sensorielles des différentes régions du corps.

- **Aire pariétale postérieure**

Elle est située à l'arrière de l'aire somesthésique primaire. C'est l'aire associative tactile : sa fonction est de traiter et d'analyser les différentes informations sensorielles qui sont acheminées par l'intermédiaire de l'aire somesthésique primaire. Ces informations sont alors traduites en perceptions de taille et de texture.

- **Aires visuelles**

Aire visuelle primaire : elle est située à l'extrémité postérieure du lobe occipital. Elle reçoit l'information visuelle en provenance de la rétine. La perception des stimuli visuels est croisée : la partie droite du champ visuel est représentée dans l'aire visuelle gauche et la partie gauche du champ visuel dans l'aire visuelle droite.

Aire visuelle associative : Elle entoure l'aire visuelle primaire et communique avec elle. Son rôle est d'interpréter les stimuli visuels d'après les expériences visuelles antérieures. C'est grâce à elle qu'on peut reconnaître un visage ou un objet.

- **Aires auditives**

Aire auditive primaire : elle est située dans la partie supérieure du lobe temporal. Son rôle est de percevoir la hauteur, l'intensité et le rythme des sons captés par les récepteurs auditifs de l'oreille interne.

Aire auditive associative : elle est située derrière l'aire auditive primaire. Elle permet de définir la nature de l'information auditive, d'interpréter le stimulus sonore comme étant des paroles ou de la musique ou un coup de tonnerre ou un bruit (les souvenirs des sons sont stockés dans l'aire auditive associative).

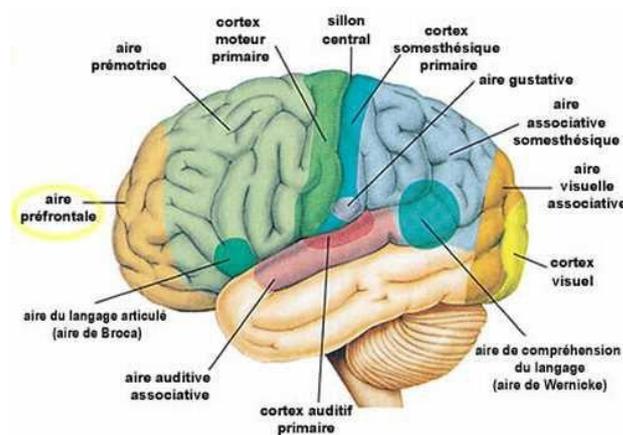
NEUROPHYSIOLOGIE

4.3.3. Aires associatives

Elles intègrent et traitent les diverses informations sensorielles reçues afin d'envoyer des commandes motrices aux effecteurs musculaires et glandulaires. D'une manière générale, une aire associative est située à proximité de l'aire primaire qui lui correspond. L'aire somesthésique primaire et chacune des aires sensibles primaires sont situées près des aires associatives avec lesquelles elles communiquent.

- **Cortex préfrontal**

Il est situé dans la partie antérieure du lobe frontal, ses rôles sont multiples et importants : Il est relié à l'intellect, aux capacités d'apprentissage et à la personnalité (Il permet la production des idées abstraites, le jugement, le raisonnement, la persévérance, l'anticipation, l'altruisme et la conscience). Il intervient aussi sur l'humeur : il est relié au **système limbique** qui est le siège des émotions.



NEUROPHYSIOLOGIE

4.2. Moelle épinière

La moelle épinière est un long cylindre de tissu nerveux logé dans le canal vertébral, qu'elle n'occupe pas entièrement. Elle fait suite au tronc cérébral et donne implantation aux nerfs spinaux de chaque côté par une double rangée de racines, dorsales (sensitives) et ventrales (motrices). Elle s'étend du foramen magnum à la région sacrale ou lombaire. Elle est blanchâtre, ferme et un peu élastique.

Sur une coupe transversale de la moelle épinière, on constate l'existence d'un long et étroit canal central appelé **canal de l'épendyme**, rempli de liquide céphalorachidien et logé dans une masse de **substance grise** en forme de papillon, elle-même complètement entourée de la **substance blanche**. La moelle épinière a deux fonctions principales, elle constitue un :

- Lien entre l'encéphale et tous les organes reliés aux nerfs rachidiens. Elle reçoit les informations en provenance des récepteurs périphériques (douleur, position des membres...), elle les renvoie vers le cerveau où ces informations seront intégrées. Elle reçoit également les informations du cerveau (ordre de mouvement...) et les envoie vers les effecteurs (muscles)
- Centre d'intégration de certaines fonctions réflexes simples : l'information venant de la périphérie génère une réponse ne passant pas par le cerveau.

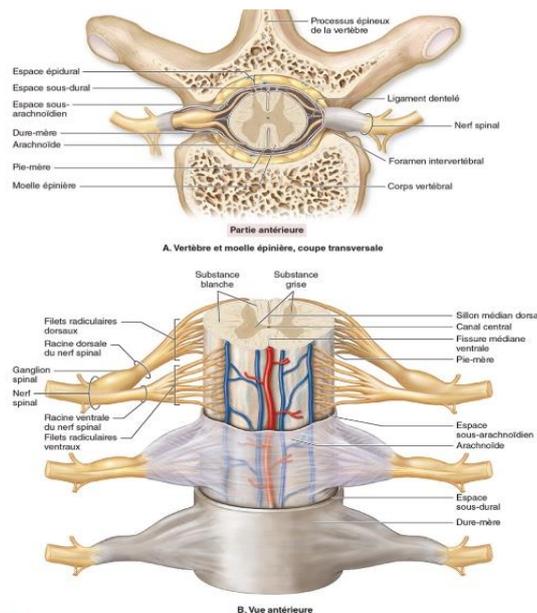


FIGURE 14.2

Méninges spinales et structure de la moelle épinière
 A. La coupe transversale de la moelle épinière illustre le lien qui unit les feuillets méningés et les points de repère superficiels de la moelle épinière et de la colonne vertébrale. B. Cette vue antérieure présente la moelle épinière et les méninges.

NEUROPHYSIOLOGIE

4.2.1. Réflexes médullaires

Un réflexe est une réaction motrice inconsciente, involontaire, stéréotypée survenant en réponse à une stimulation. Elle permet l'adaptation de l'organisme mais manque de finesse et de précision. Les caractères physiologiques de cette réponse sont liés à une structure élémentaire fondamentale qui est l'arc réflexe.

4.2.2. Organisation de l'arc réflexe

C'est le support anatomique dont l'intégrité est obligatoire pour toute activité réflexe. L'arc réflexe le plus simple comprend :

- **Versant afférent** : constitué d'un récepteur sensoriel, pouvant être musculaire ou cutané, sur lequel agit une stimulation. Ce récepteur informe les fibres sensibles afférentes, qui véhiculent l'information sensitive jusqu'à la moelle épinière.
- **Centre réflexe** : constitué par la moelle épinière, centre d'intégration où il existe des contacts synaptiques plus ou moins complexes entre le versant afférent et le versant efférent
- **Versant efférent** : comprend les motoneurons alpha qui innervent le muscle effecteur (fléchisseur ou extenseur).

4.2.3. Classification des réflexes

Les réflexes sont généralement classés en :

4.2.3.1. Réflexes d'étirement

Ils sont obtenus par stimulation des récepteurs musculaires appelés récepteurs proprioceptifs qui sont représentés par les fuseaux neuromusculaires. Il y a deux sous-groupes :

- **Réflexes phasiques**

Ce sont les réflexes tendineux. Ils consistent en une secousse brusque et brève en réponse à une élévation brusque et brève du tendon (le réflexe rotulien : au niveau de genou).

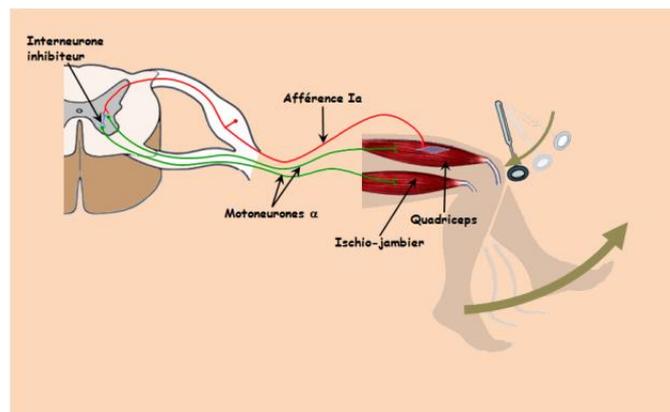
- **Réflexes myotatiques**

C'est une contraction réflexe d'un muscle en réponse à son propre étirement dont le but est de maintenir le muscle à une longueur déterminée. C'est un réflexe proprioceptif monosynaptique présent au niveau de tous les muscles de l'organisme mais surtout au niveau des **muscles**

NEUROPHYSIOLOGIE

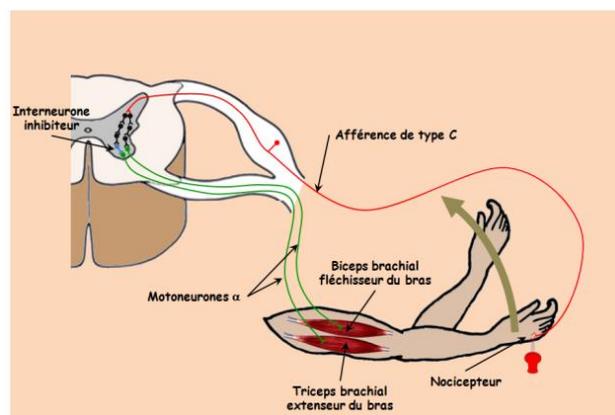
extenseurs (quadriceps, gastrocnémiens...) puisqu'ils sont antigravidiques. Le réflexe myotatique a une finalité posturale.

L'étirement du muscle extenseur suite à une stimulation du tendon fait intervenir le fuseau neuromusculaire qui capte cette stimulation. Cette dernière est acheminée par le neurone sensitif vers la moelle épinière via la racine dorsale. Au niveau de la moelle épinière, le neurone sensitif fait synapse d'une part avec un neurone moteur stimulateur innervant le muscle extenseur lui-même et provoquant sa contraction réflexe. Et d'autre part avec un interneurone faisant synapse avec un autre neurone moteur inhibiteur innervant le muscle fléchisseur et entraînant son relâchement.



4.2.3.2. Les réflexes de flexion

Ce sont des réactions de défense ou de retrait affectant les muscles fléchisseurs en réponse à des stimulations généralement douloureuses dites nociceptives (la peau) et se traduisent par un mouvement de flexion ipsilatéral. Ce sont des réflexes poly synaptiques faisant intervenir plusieurs interneurons médullaires.



NEUROPHYSIOLOGIE

4.3. Protections du système nerveux central

Etudions maintenant les différents moyens de protection du SNC

4.3.1. Méninges

Le système nerveux central (cerveau et moelle épinière) est entièrement recouvert de trois couches protectrices de tissu conjonctif appelées méninges, nous distinguons de l'extérieur vers l'intérieur :

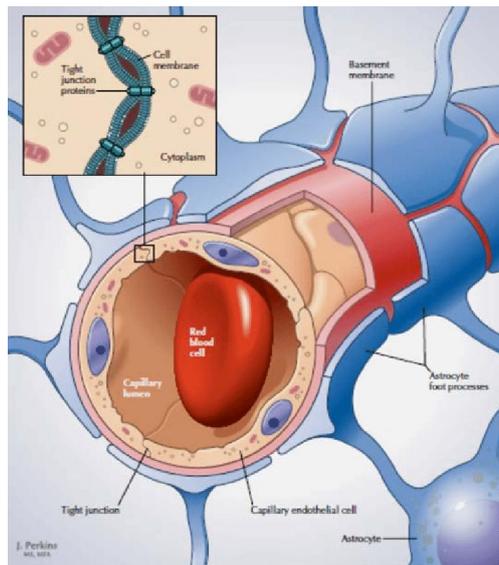
- **La dure –mère**, enveloppe conjonctive épaisse, résistante et adhérente à la paroi du crâne, mais séparée de celle du canal vertébral par l'espace épidural.
- **L'arachnoïde**, faite de réseau conjonctif lâche et avasculaire. Sa face externe est séparée de la dure-mère par la cavité sous-durale
- **La pie-mère**, constituée d'un tapis de cellules gliales. Entre l'arachnoïde et la pie -mère se trouve l'espace sous-arachnoïdien occupé par le liquide cérébro-spinal (liquide céphalo-rachidien ou L.C.R).

4.3.2. Barrière hémato-encéphalique.

La séparation entre le sang et l'encéphale est assurée à la fois par les cellules endothéliales et les cellules gliales. Les capillaires cérébraux sont de type continu, contrairement aux capillaires fenêtrés rencontrés dans les autres organes. Les jonctions serrées entre les cellules endothéliales rendent le passage de substances du plasma sanguin vers le liquide extracellulaire de l'encéphale très sélectif. Seuls les composés de structure lipophile, ainsi que H₂O, O₂, CO₂, et le glucose peuvent traverser facilement la BHE.

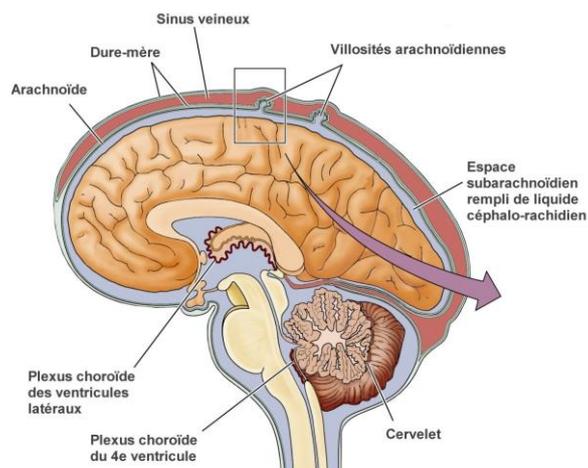
Les ions inorganiques traversent cette barrière beaucoup plus lentement et le passage d'autres substances, comme les grosses protéines, les lipides, certaines toxines et la plupart des antibiotiques, est restreint.

NEUROPHYSIOLOGIE



4.3.3. Liquide céphalorachidien

Le liquide céphalorachidien est un liquide clair, transparent et limpide. Il est produit continuellement par le transport actif de substances à partir du plasma sanguin par les plexus choroïdes et s'écoule dans l'espace sous-arachnoïdien par des ouvertures au niveau du 4^e ventricule. Il baigne le SNC et remplit l'espace sous arachnoïdien, les ventricules cérébraux et le canal de l'épendyme. Il joue un rôle très important dans la protection mécanique en amortissant les chocs et dans la collecte des produits du métabolisme du tissu nerveux. Il est réabsorbé par le sang au niveau des villosités arachnoïdiennes.



NEUROPHYSIOLOGIE

5. Système nerveux périphérique

Le système nerveux périphérique est constitué par l'ensemble des formations nerveuses situées hors du système nerveux central. Les nerfs en forment la partie la plus caractéristique et la plus étendue, ils unissent le système nerveux central à toutes les autres parties de l'organisme.

Selon leurs fonctions, on reconnaît deux ordres de nerfs :

- **Nerfs crâniens**
- **Nerfs spinaux**

5.1. Nerfs crâniens

Les nerfs crâniens naissent de l'encéphale et, à l'exception des nerfs olfactifs, sont attachés au tronc cérébral. Ils sont disposés symétriquement par paires, on en compte 12 paires. On reconnaît trois groupes de nerfs crâniens : nerfs sensitifs, nerfs moteurs, nerfs mixtes.

Nerf	Type	Fibres	Fonction
I Olfactif	Sensitif	Afférent	Véhicule les influx nerveux provenant de l'épithélium olfactif
II Optique	Sensitif	Afférent	Véhicule les influx nerveux provenant de récepteurs oculaires
III Oculomoteur	Moteur	Efférent	Innervent le muscle squelettique qui déplace le globe oculaire, le muscle élévateur de la paupière, et les muscles lisses contacteurs de la pupille
		Afférent	Transmet l'information des récepteurs musculaires
IV Trochléaire	Moteur	Efférent	Innervent le muscle squelettique qui déplace le globe oculaire vers le bas et latéralement.
		Afférent	Transmet l'information des récepteurs musculaires
V Trijumeau	Mixte	Efférent	Innervent les muscles squelettiques de la mastication

NEUROPHYSIOLOGIE

		Afférent	Transmet l'information des récepteurs cutanés des muscles squelettiques de la face de la bouche et du nez
VI Abducteur	Moteur	Efférent	Innervent les muscles squelettiques qui déplacent le globe oculaire latéralement
		Afférent	Transmet l'information des récepteurs musculaires
VII Facial	Mixte	Efférent	Innervent les muscles squelettiques de l'expression faciale et de la déglutition, innervent le nez, le palais, les glandes lacrymales et salivaires.
		Afférent	Transmet l'information provenant des papilles gustatives de la partie antérieure de la langue
VIII Vestibulo-cochléaire	Sensitif	Afférent	Transmet l'information des récepteurs de l'oreille interne
IX Glossopharyngien	Mixte	Efférent	Innervent les muscles squelettiques de la déglutition et de la glande parotide
		Afférent	Transmet l'information provenant des papilles gustatives de la partie postérieure de la langue et de la peau du conduit auditif
X Vague	Mixte	Efférent	Innervent les muscles squelettiques du pharynx du larynx les muscles lisses et les glandes du thorax et de l'abdomen
		Afférent	Transmet l'information des récepteurs du thorax et de l'abdomen
XI Accessoire	Moteur	Efférent	Innervent les muscles squelettiques du cou
XII Hypoglosse	Moteur	Efférent	Innervent les muscles squelettiques de la langue

5.2. Nerfs spinaux

Anciennement appelés « **les nerfs rachidiens** », ils sont portés en paires symétriques par la moelle épinière. Comme les vertèbres, on les classe en :

NEUROPHYSIOLOGIE

- Nerfs spinaux cervicaux
- Nerfs spinaux thoraciques
- Nerfs spinaux lombaires
- Nerfs spinaux sacraux
- Nerfs spinaux coccygiens

Chacun d'eux prend naissance par deux racines, l'une dorsale, sensitive et pourvue d'un ganglion, l'autre ventrale et motrice.

D'un point de vue fonctionnel, le système nerveux périphérique comprend deux voies :

Voie sensitive ou afférente : constituée de fibres nerveuses afférentes somatiques et viscérales qui transportent les influx nerveux provenant des récepteurs sensoriels vers le SNC.

Voie motrice ou efférentes : constituée de fibres nerveuses motrices qui véhiculent les réponses motrices élaborées par le SNC vers les organes effecteurs. La voie motrice peut être subdivisée en deux entités distinctes :

- **Le système nerveux cérébrospinal ou somatique**
- **Le système nerveux végétatif ou autonome**

5.2.1. Le système nerveux cérébrospinal

Ou somato-moteur, il assure l'innervation des muscles striés squelettiques. Il est ainsi soumis à une commande **volontaire**.

Les corps cellulaires des motoneurons de ce système sont situés dans le SNC (moelle épinière) et leur axones s'étendent dans les nerfs rachidiens (sans relais synaptique) jusqu'aux muscles squelettiques qu'ils desservent formant la plaque motrice. Le neurotransmetteur de la jonction neuromusculaire dans ce système est l'**acétylcholine** et son récepteur est dit **nicotinique**.

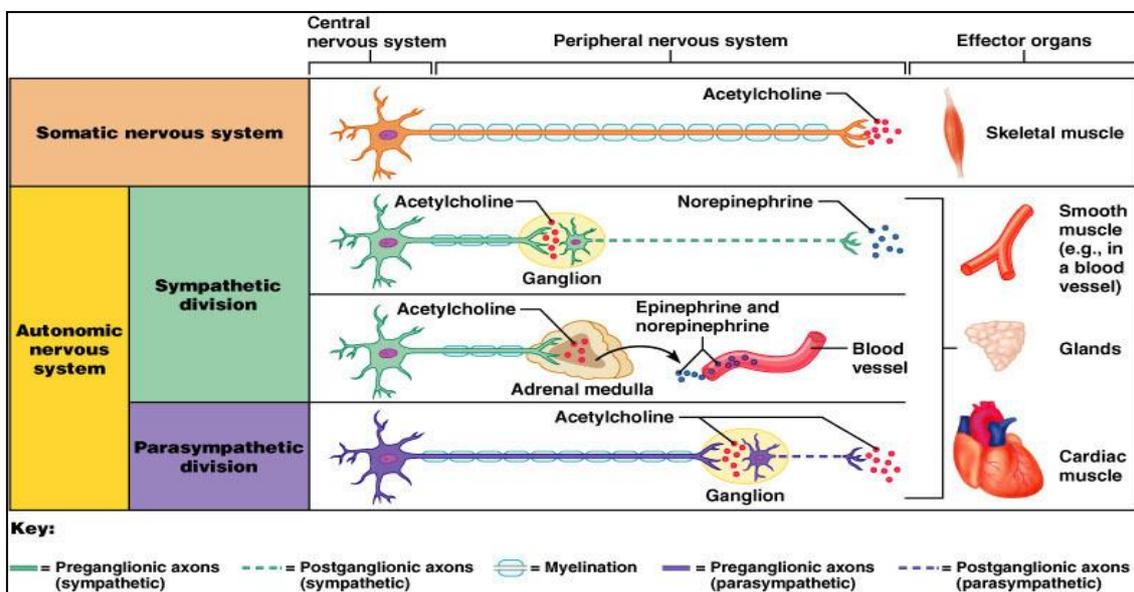
5.2.2. Le système nerveux végétatif

Ou système nerveux autonome, il assure l'innervation des viscères (cœur, tractus digestif, tissus glandulaires...), des muscles lisses, des vaisseaux et de divers éléments cutanés (glandes sudoripares, muscles pilomoteurs). Sa commande est **involontaire** mais elle est influencée par la fonction du SNC (le tronc cérébral, l'hypothalamus)

NEUROPHYSIOLOGIE

La partie périphérique du SNV est **bi-neuronale**, ainsi le neurone émanant de la moelle épinière dit neurone préganglionnaire rejoint un ganglion où il établit un contact synaptique avec un second neurone dit postganglionnaire qui gagne les cellules effectrices. Le neurone préganglionnaire est myélinisé, le neurone post ganglionnaire est non myélinisé.

Pour le SNV, le neuro transmetteur des synapses ganglionnaires est également l'acétylcholine et leurs récepteurs sont également nicotiques. Cependant, les neurotransmetteurs des neurones post-ganglionnaires sont l'**adrénaline** et la **noradrénaline** et leur récepteur est dit **adrénergique**.



5.2.2.1. Organisation anatomique et fonctionnelle du système nerveux végétatif

Le système nerveux végétatif est classiquement divisé en deux grands systèmes qui se distinguent sur le plan anatomique et fonctionnel, ces deux systèmes sont :

- le système orthosympathique (système sympathique)
- le système parasympathique.

La majorité des viscères reçoivent une double innervation à l'exception des glandes sudoripares, des muscles pilomoteurs et de nombreux vaisseaux dont l'innervation est exclusivement sympathique.

A ces deux systèmes vient s'ajouter le **système nerveux entérique** qui regroupe l'ensemble des plexus nerveux du tractus gastro-intestinal.

NEUROPHYSIOLOGIE

Schématiquement, le système sympathique est plutôt **excitateur**, il est mis en jeu dans les situations d'urgence (fuite) ou de stress (physiologique ou émotionnel). Le système parasympathique agit de manière antagoniste par rapport au système nerveux sympathique, il est responsable de l'accomplissement des fonctions habituelles de l'organisme de la conservation de l'énergie en favorisant les fonctions métaboliques.

Ces deux systèmes assurent un **rôle moteur** pour certains organes qui seraient paralysés sans eux, c'est le cas de la vessie. Ils jouent également un **rôle modulateur** du fonctionnement de certains organes autonomes tels que le cœur et l'intestin.

Les fonctions de ces deux systèmes paraissent antagonistes mais elles sont en effet complémentaires. Leurs rôles peuvent être :

Opposés : le SNA sympathique augmente la fréquence cardiaque et le SNA parasympathique la diminue

Distincts : les vaisseaux sanguins reçoivent une innervation purement sympathique

Complémentaires : le parasympathique est responsable de l'érection et le sympathique de l'éjaculation

➤ **Système nerveux sympathique**

Les corps cellulaires des neurones pré-ganglionnaires sympathiques sont situés dans la corne latérale de la **moelle épinière thoraco-lombaire**. Ces neurones moteurs émergent de la racine ventrale de la moelle épinière et gagnent **la chaîne ganglionnaire para-vertébrale** par un rameau communicant blanc (neurones pré-ganglionnaires myélinisés). Au niveau des ganglions, les neurones pré-ganglionnaires établissent un relais synaptique avec des neurones post-ganglionnaires non myélinisés qui rejoignent les nerfs spinaux via un rameau communicant gris. Les neurones post-ganglionnaires se prolongent jusqu'aux organes cibles. Le neurotransmetteur des neurones pré-ganglionnaires sympathiques est l'acétylcholine qui agit sur un récepteur nicotinique.

Le neurotransmetteur des neurones postganglionnaires sympathiques est la noradrénaline qui agit sur les cellules cibles via des récepteurs adrénergiques dont il existe quatre **α_1 , α_2 , β_1 , β_2** . L'adrénaline et la noradrénaline peuvent activer les récepteurs **α_1 , α_2 , β_1** mais seule l'adrénaline peut activer les récepteurs **β_2** .

NEUROPHYSIOLOGIE

Remarque 1 : certains neurones pré-ganglionnaires sympathiques traversent la chaîne ganglionnaire paravertébrale et gagnent un ganglion plus volumineux, il s'agit en particulier :

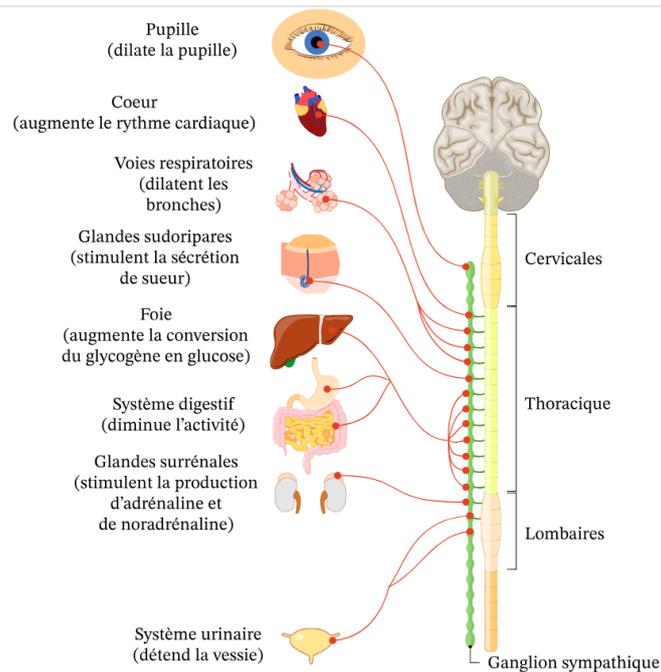
-Du ganglion cœliaque dont les fibres post-ganglionnaires innervent le foie, l'estomac, l'intestin grêle et le rein.

-Du ganglion mésentérique crânial qui innerve le gros intestin

-Du ganglion mésentérique caudal, qui innerve le gros intestin et les organes génitaux

Remarque 2 : la glande médullosurrénale représente un cas particulier, les neurones pré-ganglionnaires se terminent directement sur les cellules chromaffines qui produisent la noradrénaline et l'adrénaline. Ces cellules représentent donc l'équivalent des neurones postganglionnaires.

Remarque 3 : les glandes sudoripares et certains vaisseaux sanguins constituent une exception à cette règle, ces cellules effectrices sont activées par l'acétylcholine via des récepteurs muscariniques



➤ **Système nerveux parasympathique**

Les corps cellulaires des neurones pré-ganglionnaires parasympathiques sont situés dans le SNC, plus précisément dans le **tronc cérébral** et dans la **moelle épinière sacrale**.

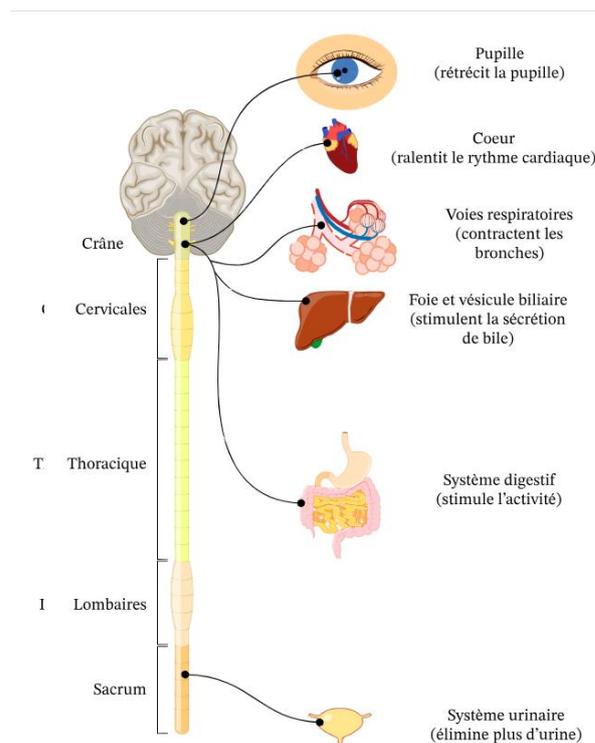
NEUROPHYSIOLOGIE

Les fibres pré-ganglionnaires parasympathiques d'origine crânienne quittent le système nerveux central (SNC) par les nerfs crâniens III, VII, IX et X.

Les fibres parasympathiques pré-ganglionnaires d'origine sacrée quittent la moelle épinière par les nerfs pelviens et innervent le gros intestin, la vessie et les organes génitaux.

Le neurotransmetteur des neurones pré-ganglionnaires parasympathiques est l'acétylcholine qui agit sur un récepteur nicotinique.

Contrairement au système sympathique, les neurones pré-ganglionnaires du système parasympathique établissent un relais synaptique à proximité des organes effecteurs (voire dans la paroi de l'organe), les neurones postganglionnaire parasympathiques sont donc très courts. Le neurotransmetteur des neurones postganglionnaires parasympathiques est l'acétylcholine qui agit sur les cellules cibles via des récepteurs **muscariniques**



NEUROPHYSIOLOGIE

Caractéristiques	Sympathique	Parasympathique
Origine du nerf préganglionnaire	Noyaux dans les segments thoraco-lombaires de la moelle	Noyaux dans le tronc cérébral et dans la moelle épinière sacrale
Axone du nerf préganglionnaire	Court myélinisé	Long myélinisé
Neurotransmetteur dans le ganglion	Acétylcholine	Acétylcholine
Type du récepteur	Nicotinique	Nicotinique
Ganglion	Para vertébral	Dans l'organe
Axone du nerf postganglionnaire	Long non myélinisé	Court non myélinisé
Organe effecteur	Muscle lisse Muscle cardiaque glandes	Muscle lisse Muscle cardiaque glandes
Neurotransmetteur dans l'organe effecteur	Noradrénaline sauf les glandes sudoripares	Acétylcholine
Type du récepteur dans l'organe effecteur	α_1 , α_2 , β_1 , β_2	Muscarinique

5.2.2.2. Différents types de récepteurs dans le système nerveux autonome**➤ Récepteurs adrénergiques****Récepteurs α_1**

Ils sont localisés sur le muscle lisse (sauf le muscle lisse bronchique), ils produisent une stimulation. Ils sont sensibles à la noradrénaline et à l'adrénaline mais seule la noradrénaline est présente en concentrations assez élevées pour stimuler les récepteurs α .

Récepteurs α_2

Ils sont localisés dans les terminaisons nerveuses présynaptiques, les plaquettes, les cellules adipeuses et le muscle lisse. Ils produisent souvent une inhibition.

Récepteurs β_1

Ils sont localisés dans le cœur, ils produisent une stimulation. Ils sont sensibles à la fois à la noradrénaline et à l'adrénaline et sont plus sensibles que les récepteurs α .

NEUROPHYSIOLOGIE

Récepteurs β_2

Ils sont localisés sur le muscle lisse vasculaire, le muscle lisse bronchique et dans le tractus gastro-intestinal. Ils produisent un relâchement. Ils sont plus sensibles à l'adrénaline qu'à la noradrénaline et sont plus sensibles à l'adrénaline que les récepteurs α .

Remarque : quand de petites quantités d'adrénaline sont émises par la médullo-surrénale, il se produit une vasodilatation (récepteur β). Quand de grandes quantités d'adrénaline sont émises par la médullosurrénale, il se produit une vasoconstriction (récepteur α).

➤ **Récepteurs cholinergiques**

Récepteurs nicotiques

Ils sont localisés dans les ganglions du SNA et à la jonction neuromusculaire. Les récepteurs de ces deux localisations sont similaires mais non identiques. Ils sont activés par l'acétylcholine ou la nicotine. Ils produisent une stimulation.

Récepteurs muscariniques

Ils sont localisés dans le cœur, le muscle lisse (sauf le muscle lisse vasculaire) et les glandes. Ils sont activés par l'ACh ou la muscarine. Ils sont inhibiteurs pour le cœur et stimulateurs pour le muscle lisse et les glandes. L'atropine bloque les récepteurs muscariniques de l'ACh.

Actions du système nerveux autonome sur les différents organes

Organe	Action sympathique	récepteur	Action parasympathique
Cœur	-Augmentation de la fréquence et de la contractilité	β_1 β_1	-Diminution de la fréquence et de la contractilité
Muscle lisse vasculaire	-Vasoconstriction cutanée et splanchnique -Vasodilatation musculaire	α_1 β_2	
Bronchioles	-Relâchement du muscle lisse bronchiolaire	β_2	-Contraction du muscle lisse bronchiolaire
Tonus gastro-intestinal	-Diminution de la motricité	α_2, β_2 α_1	-Augmentation de la motilité

NEUROPHYSIOLOGIE

	-Contraction des sphincters		-Relâchement des sphincters
foie	Glycogénolyse	$\alpha 1, \beta 2$	
Rein	-Sécrétion de la rénine	$\beta 1$	
Vessie	-Relachement de la paroi -Contraction des sphincters	$\beta 2$ $\alpha 1$	-Contraction de la paroi -Relâchement du sphincter
Organes génitaux masculins	-Ejaculation	$\alpha 1$	Erection
Cellules adipeuses	-Lipolyse	$\alpha 2, \beta 1$	
Glandes sudoripares	-Augmentation de la transpiration	<u>Muscariniques</u> <u>sympathiques</u> <u>cholinergiques</u>	
Œil	Mydriase	$\alpha 1$	Myosis
Glandes salivaires	Diminution de la salivation	$\alpha 1$	-Stimule la sécrétion -Stimule la sécrétion enzymatique

NEUROPHYSIOLOGIE