

NEUROSCIENCES

comportements

sept. 2010

NEUROPHYSIOLOGIE

A - GENERALITES

Comme tout organisme vivant, l'Homme répond sans cesse aux sollicitations de l'environnement. Pour autant, ses réponses ne résultent pas d'un simple schéma du type « action-réaction ». Son état interne, son interprétation du monde environnant, son histoire, ses représentations, ses intentions influent tant sur les informations qu'il prélève que sur les réponses qu'il apporte.

Dans ce chapitre: nous allons nous intéresser à la première partie de la trilogie « entrées » (sensorielles) - « intégration » (perception) - « sorties » (réponses motrices) du fonctionnement du système nerveux (figure 1). Nous traiterons donc de l'organisation des systèmes sensoriels permettant à l'Homme de prélever des informations tout à de les acheminer jusqu'au cerveau. L'intégration des messages sensoriels sera également abordée et sera complétée dans le chapitre relatif aux bases neurophysiologiques de la cognition. De même, seront exposées les bases physiologiques de la motricité, laquelle constitue le support des réponses de l'individu aux sollicitations de l'environnement (« sortie » du système).

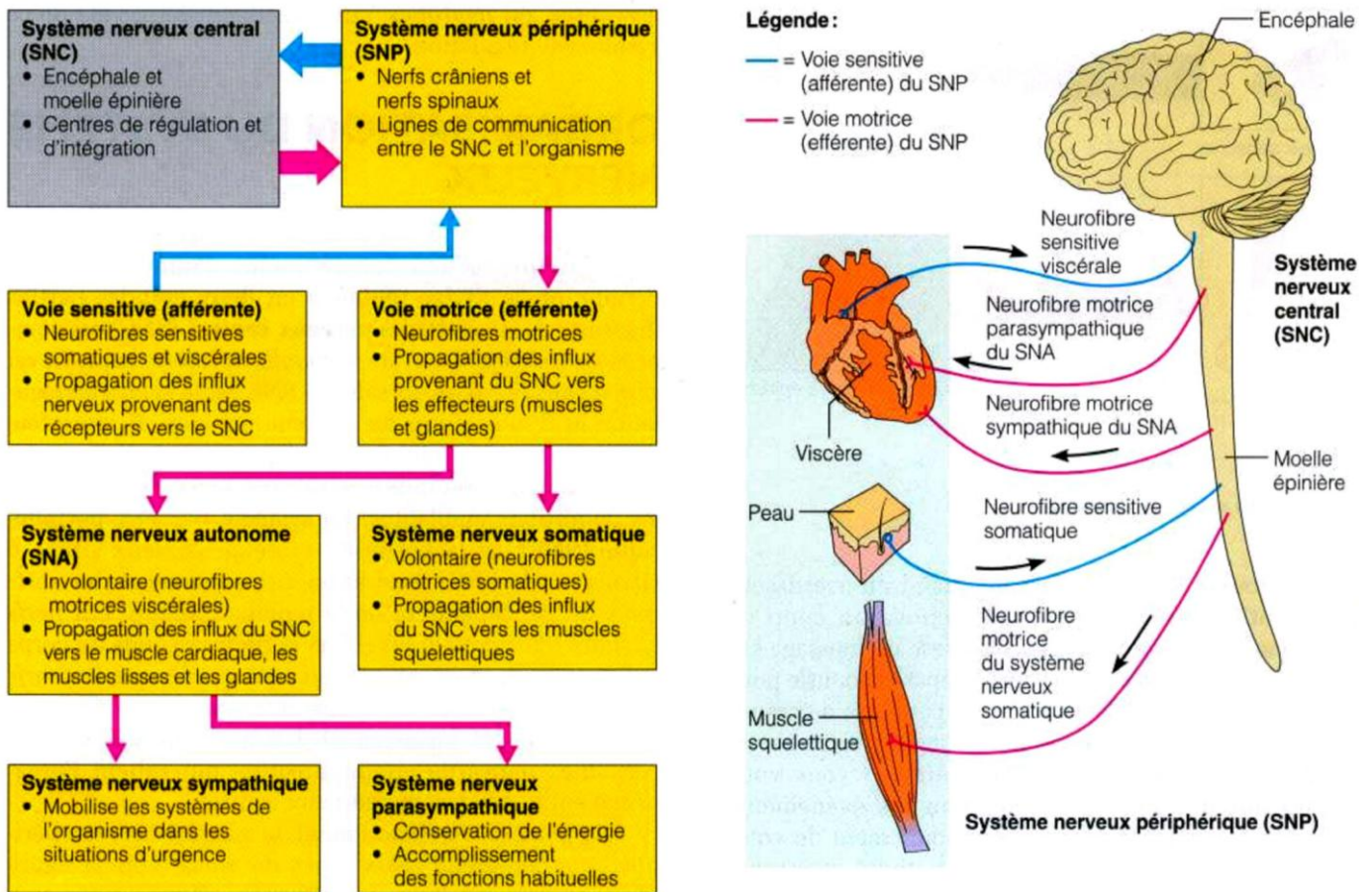


Figure 1 - Plan d'organisation générale du système nerveux

Le système nerveux est considéré comme un système de traitement de l'information : il est capable, grâce à ses constituants, en grande partie des neurones mais aussi des cellules gliales, de créer un signal électrique porteur d'information et de le transmettre aux organes cibles. C'est un système de communication qui permet de mettre l'organisme (milieu interne) en relation avec le monde extérieur pour s'y adapter (figure 2). Grâce à son système nerveux, chaque être humain est en mesure de percevoir toutes les sensations environnementales, de les interpréter et de les mémoriser, pour finalement pouvoir élaborer une réaction motrice coordonnée (voire sécrétoire) généralement adaptatives.

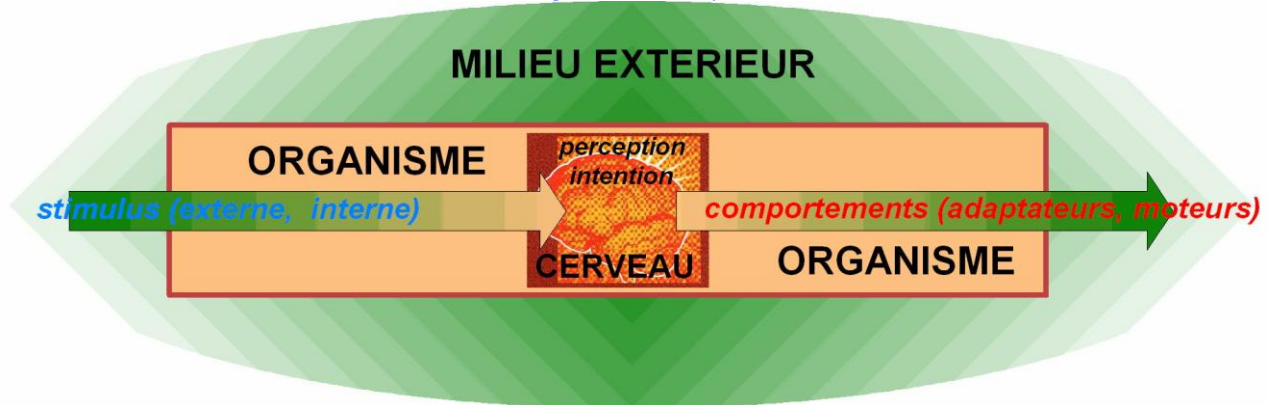


Figure 2 - Environnement et système nerveux.

Le système nerveux reçoit et achemine les informations provenant du milieu extérieur comme du milieu intérieur (organisme) ; les stimulus captés par les récepteurs y sont perçus et intégrés.. Le message centrifuge qu'il génère déclenche des réactions comportementales adaptatrices de l'organisme. Ainsi des interactions cellulaires complexes permettent au cerveau de traduire toutes les informations qu'il reçoit en comportement.

Il n'en demeure pas moins que l'intégrité d'un organisme vivant nécessite l'activité coordonnée des cellules qui le composent. Cette coordination est assurée par des mécanismes de communication intercellulaire impliquant soit des cellules d'un même tissu soit des cellules pouvant être très éloignées, appartenant à des tissus différents. La communication intercellulaire est assurée par deux grands systèmes : le système hormonal (communication humorale) et le système nerveux (privilégié ici), qui transmet l'information au moyen de prolongements cellulaires. Ces deux systèmes sont étroitement liés (contrôle hypothalamique des sécrétions hormonales) et la distinction entre les deux systèmes peut être arbitraire (neurons sécrétoires de l'hypothalamus : ADH, ocytocine).

«Nul ne peut espérer comprendre la neurologie sans une connaissance suffisante de l'anatomie du système nerveux, et de ce que nous entrevoyons de sa physiologie.» Pr. R. VILLEY

Ce chapitre a pour objectif de situer dans l'organisme les différentes parties du système nerveux et d'en définir globalement le rôle. Considérons schématiquement un organisme vivant tel que l'organisme humain (fig. 3). Il perçoit son environnement et s'y déplace. Sa vision, le contact des pieds sur le sol sont autant d'informations complexes qui seront traitées par le système nerveux. La course à pied est un exemple de comportement moteur initiée par le système nerveux mais exécutée par les effecteurs musculaires que sont les muscles striés squelettiques dont la plupart est solidaire d'os du squelette. Pour cette course, la réponse motrice requiert la mise en jeu coordonnée de plusieurs muscles effecteurs antagonistes qui interviennent sur les différents segments des membres de part et d'autre des articulations.



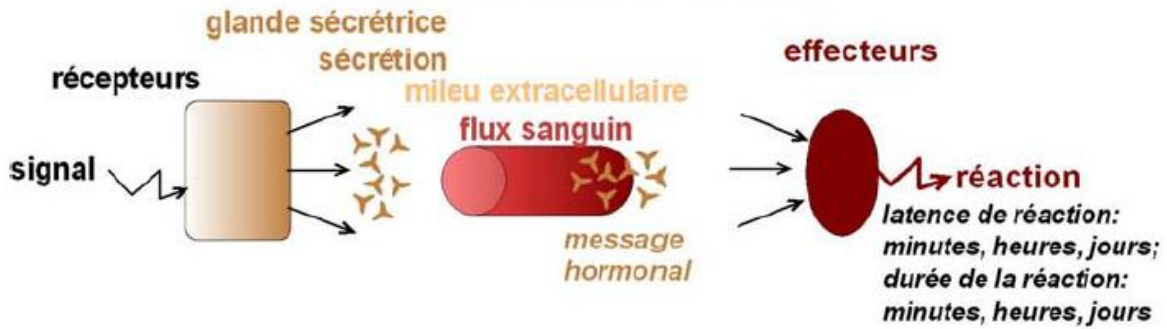
Fig.3 - Organisme humain se mouvant dans son environnement

Toutefois, une activité quelconque d'adaptation à l'environnement de l'organisme suppose la mise en activité, en plus du système neuro-musculaire, de tous les organes (cœur et vaisseaux sanguins, poumons et bronches, estomac, intestin et glandes digestives, reins uretères et vessie, etc...) regroupés en appareil ou système assurant une même fonction (système cardiovasculaire, respiratoire, appareil digestif, excréteur). Tous concourent à maintenir l'homéostasie du milieu intérieur et à s'adapter aux conditions du milieu extérieur. La régulation "harmonieuse" de leur fonctionnement se trouve sous le double contrôle de systèmes régulateurs (figure 4): 1. le système nerveux; 2. le système endocrinien

De tous les systèmes de transmission et d'intégration d'informations, le système nerveux est sans conteste le plus rapide, le plus précis et celui offrant le potentiel d'adaptabilité de réponse le plus large.

Les autres systèmes (système endocrinien) sont essentiellement basés sur l'émission de molécules dans l'organisme ; celles-ci diffusant simplement dans les liquides extracellulaires ou, au mieux, étant transportées par le flot sanguin vers des systèmes cibles (figure 4). Le temps de réponse de ces systèmes est donc relativement lent, allant de quelques minutes à plusieurs heures, voire jours, en fonction de la disponibilité des molécules-signal, de la vitesse de transport et de la distance entre le système émetteur et le système cible récepteur. Il sera aussi fonction du temps de réponse des systèmes récepteurs, une fois stimulés par les molécules appropriées.

SYSTEME ENDOCRINIEN



SYSTEME NERVEUX

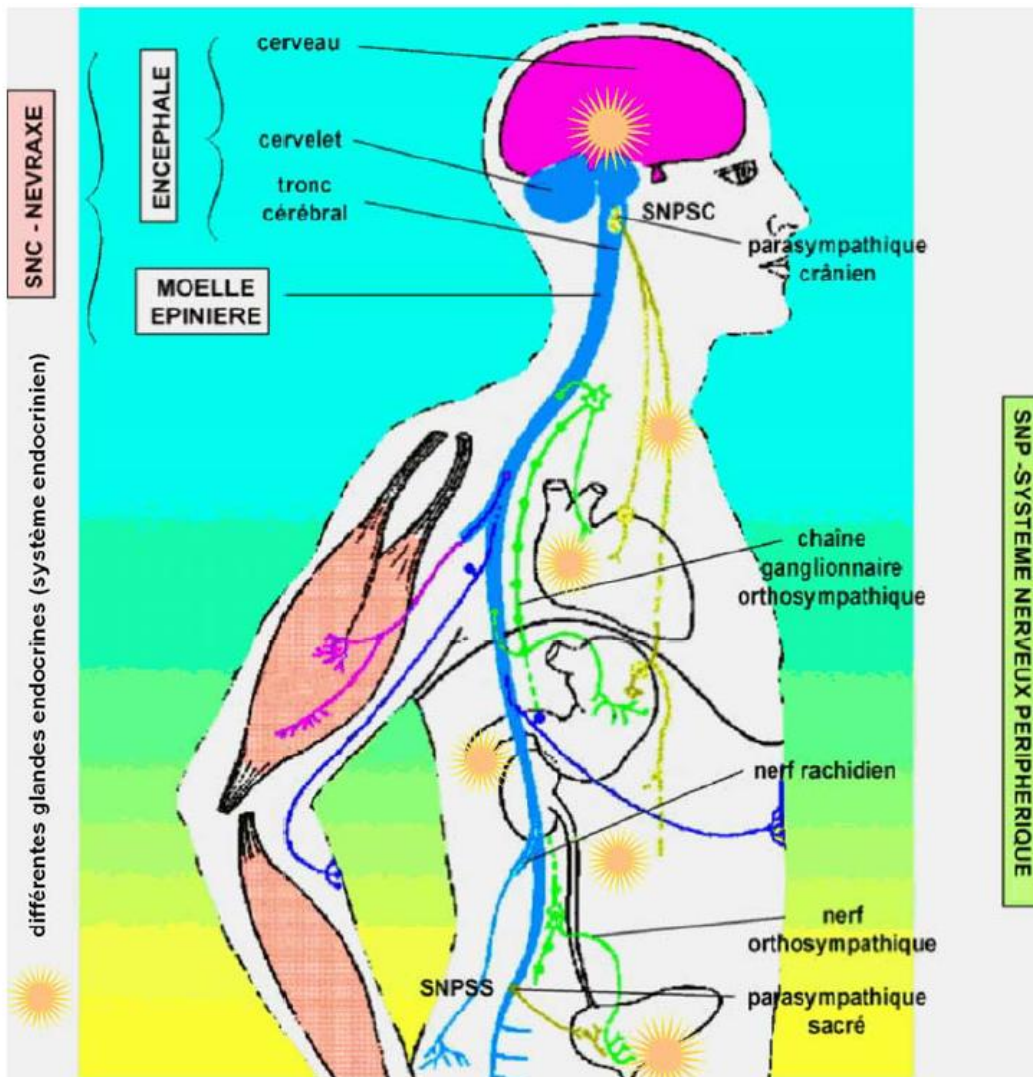
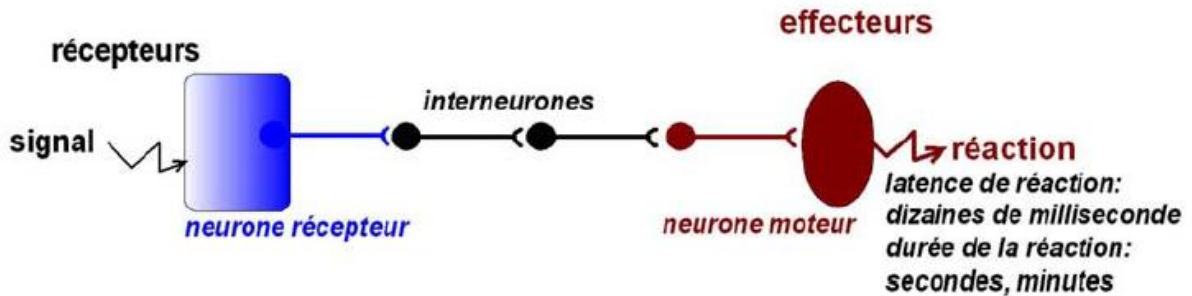


Figure 4 - Double système de contrôle de l'organisme: le système nerveux, le système endocrinien

Dans le système nerveux, les temps de réponse s'expriment en général en secondes ou fractions de seconde. Le message est ici essentiellement électrique, basé sur des variations biphasiques rapides du potentiel de membrane de cellules nerveuses organisées en réseaux

spécifiques. On distingue dans ce cadre des potentiels de jonction (potentiels locaux, d'amplitude graduable, non propagés) et des potentiels d'action (PA, potentiels propagés, d'amplitude fixe, obéissant à la loi du tout-ou-rien).

L'organisation des réseaux nerveux permet en général une extrême précision dans la transmission ; le système reliant directement un point d'émission à un point de réception via des cellules nerveuses servant de relais (interneurones) et associées entre elles par des jonctions synaptiques. Le passage du message nerveux au niveau de ces relais synaptiques implique dans la plupart des cas la transformation des signaux électriques (potentiels d'action) en signaux chimiques avec relargage de neurotransmetteurs dans les espaces extracellulaires que forment les jonctions entre les cellules. Ces jonctions synaptiques jouent un rôle capital dans l'évolution des performances nerveuses. L'augmentation de leur nombre entre des cellules nerveuses de plus en plus nombreuses, la diversification des types de neurotransmetteurs et les possibilités de modulation de l'importance des signaux nerveux existant à leur niveau peuvent rendre compte des énormes possibilités de traitement des informations que l'on retrouve au niveau du cerveau des mammifères les plus évolués.

En définitive, les deux systèmes de signalisation se complètent assez bien. Le système endocrinien, bien que plus lent, contrôle une multitude d'effets sur pratiquement tous les types cellulaires. Il intervient essentiellement dans la gestion de base de systèmes homéostatiques assurant le bon fonctionnement des cellules et ne nécessitant pas de réactions adaptatives très rapides (métabolisme, croissance, relations osmotiques, hydriques et ioniques...). Le système nerveux, par contre, est limité à des réactions extrêmement rapides n'intéressant que la musculature et certains systèmes de sécrétion. Il va donc intervenir dans la gestion rapide de réactions très spécifiques à des situations particulières permettant par exemple aux organismes de fuir, d'attaquer, de se reproduire ou de communiquer avec grande efficacité. Il est par ailleurs intéressant de remarquer ici que les deux systèmes sont loin d'être indépendants l'un de l'autre. Différentes hormones interviennent dans l'organisation fonctionnelle de différentes voies nerveuses et le système nerveux intervient largement dans le contrôle de la production de différentes hormones.

LES STRUCTURES DU SYSTEME NERVEUX

Chez l'homme, le système nerveux, bien que le plus petit des 11 systèmes du corps humain (pesants 2 kg soient environ 3 % de la masse corporelle totale), est pourtant le plus complexe. Il se compose de milliards de neurones et de cellules gliales qui forment un réseau serré et rigoureusement organisé. Les structures qui le constituent sont (figure 5) :

- l'encéphale, les nerfs crâniens et leurs ramifications.
- la moelle épinière, les nerfs spinaux et leurs ramifications.
- les ganglions, les plexus entériques et les récepteurs sensoriels.

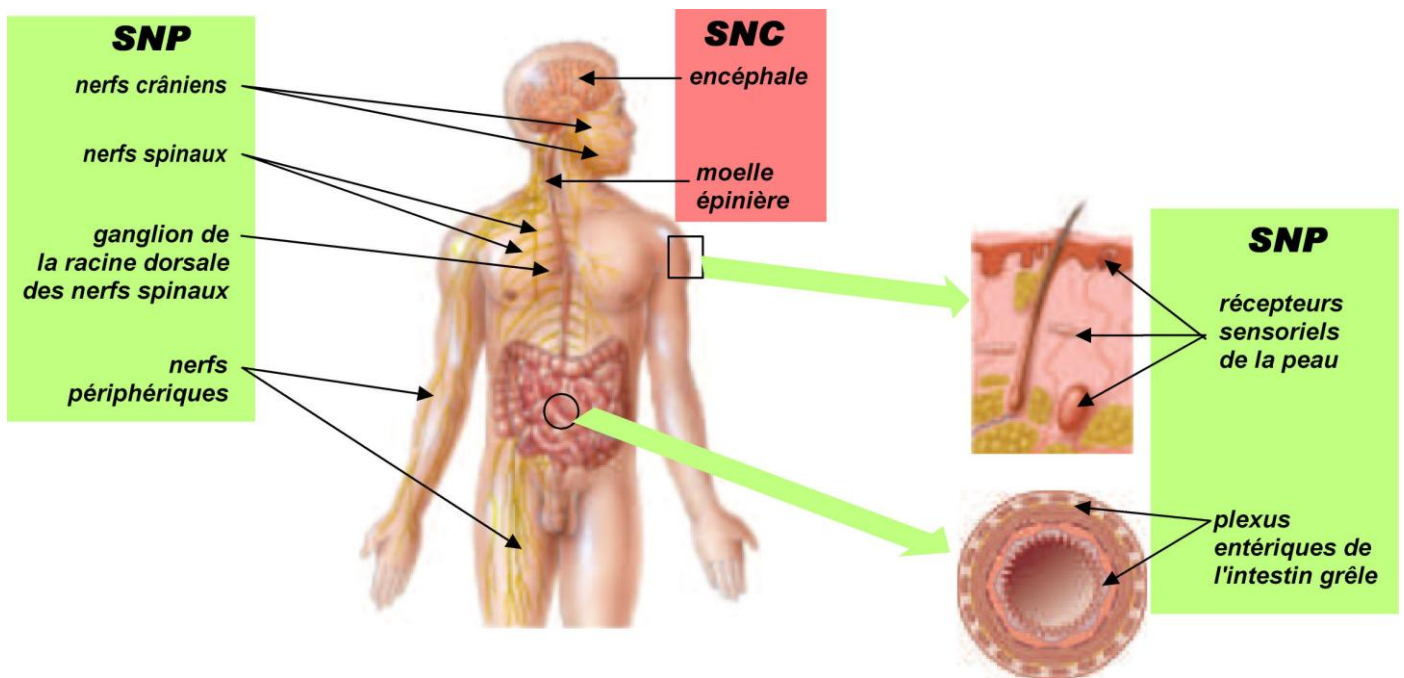


Figure 5 - Les principales structures du système nerveux

Le système nerveux comprend l'encéphale, les nerfs crâniens, la moelle épinière, les nerfs spinaux, les ganglions, les plexus entériques et les récepteurs sensoriels.

Le système nerveux est formé de deux sous-systèmes : le **système nerveux central (SNC)**, qui se compose de l'encéphale et de la moelle épinière, et le **système nerveux périphérique (SNP)**, qui comprend toutes les parties du système nerveux situées à l'extérieur du SNC.

Logé dans le crâne, l'encéphale contient environ 10¹¹ neurones. Le cerveau proprement dit est formé de **deux hémisphères** cérébraux, d'aspect plissés dont la **substance blanche**, interne, est recouverte d'un cortex cérébral gris, d'épaisseur variable. Trois sillons plus accentués (scissure de Sylvius, sillon de Rolando, sillon perpendiculaire) divisent chaque hémisphère en **quatre lobes** (frontal, temporal, pariétal, occipital) comprenant chacun un certain nombre de circonvolutions. Le cerveau est la partie la plus volumineuse de l'encéphale.

Le SNC intègre toutes sortes de messages sensoriels afférents (entrants). Il est en outre le siège des pensées, des émotions et des souvenirs. La plupart des influx nerveux qui provoquent la contraction des muscles et l'activité sécrétrice des glandes proviennent du SNC.

Le SNP comprend les nerfs crâniens et les nerfs spinaux de même que leurs ramifications respectives, ainsi que les ganglions et les récepteurs sensoriels. Le SNP se subdivise en trois parties : le système nerveux dit *somatique* (SNS), le système nerveux dit *autonome* (SNA) et le système nerveux entérique (SNE) (figure 6).

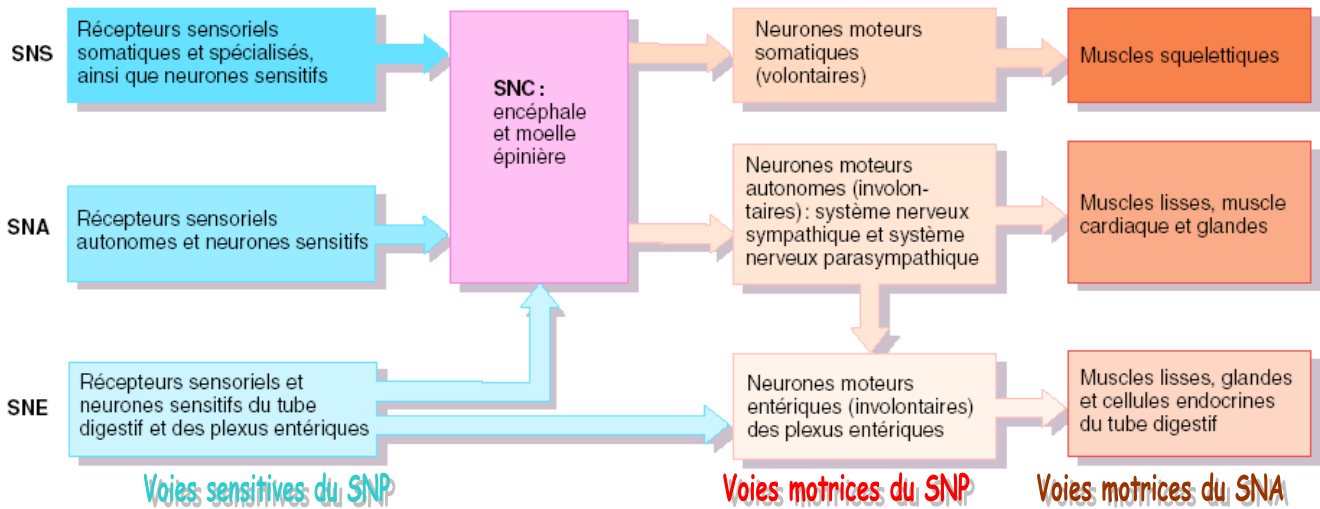


Figure 6 - L'organisation du système nerveux.

Notez que les effecteurs ne font pas partie intégrante du système nerveux. Les deux principaux sous-systèmes du système nerveux sont 1) le système nerveux central (SNC), composé de l'encéphale et de la moelle épinière, et 2) le système nerveux périphérique (SNP), composé de tous les tissus nerveux situés à l'extérieur du SNC. Le SNP se subdivise en système nerveux somatique (SNS), système nerveux autonome (SNA) et système nerveux entérique (SNE).

Le **système nerveux somatique (SNS)** se compose de deux types de neurones : 1) des neurones sensitifs qui transmettent au SNC l'information provenant des récepteurs sensoriels somatiques de la tête et de la peau ainsi que des propriocepteurs situés dans les articulations et les muscles, mais aussi l'information provenant des récepteurs sensoriels spécialisés de la vue, de l'ouïe, du goût et de l'odorat ; 2) des neurones moteurs qui acheminent les influx depuis le SNC jusqu'aux *muscles squelettiques* seulement. Étant donné que les réponses motrices ainsi produites peuvent être régies consciemment, l'activité de cette partie du SNP est dite *volontaire*.

Le **système nerveux autonome (SNA)** se compose aussi de deux types de neurones : 1) des neurones sensitifs qui transmettent au SNC l'information provenant des récepteurs sensoriels autonomes (situés principalement dans les vaisseaux sanguins et les viscères, tels l'estomac et les poumons) ; 2) des neurones moteurs qui transmettent les influx nerveux depuis le SNC jusqu'aux *muscles lisses*, au *muscle cardiaque* et aux *glandes*. Étant donné que, normalement, les réponses motrices produites par le SNA ne sont pas assujetties à une régulation consciente, l'activité de cette partie du SNP est dite *involontaire*. La partie motrice du SNA comprend deux subdivisions, le **système nerveux sympathique** et le **système nerveux parasympathique**. À quelques exceptions près, ces deux subdivisions innervent la plupart des effecteurs et elles ont habituellement des effets antagonistes l'une par rapport à l'autre. Ainsi, les neurones sympathiques augmentent la fréquence cardiaque, tandis que les neurones parasympathiques la diminuent. De manière générale, le système nerveux sympathique intervient dans l'activité physique et dans les actions d'urgence (réaction de lutte ou de fuite), alors que le système nerveux parasympathique intervient au cours du repos et de la digestion.

Le **système nerveux entérique (SNE)** constitue en quelque sorte « le cerveau de l'intestin ». Son activité est involontaire. Autrefois considéré comme une composante du SNA, le SNE comprend environ 100 millions de neurones, situés dans les plexus entériques, qui s'étendent sur presque toute la longueur du tube digestif. Un grand nombre des neurones des plexus entériques fonctionnent de manière relativement indépendante du SNA et du SNC ; ils communiquent néanmoins avec le SNC par l'intermédiaire de neurones sympathiques et parasympathiques. Les neurones sensitifs du SNE détectent les modifications de la valeur de facteurs contrôlés – tels que la valeur du pH – à la suite des changements chimiques qui se produisent dans le tube digestif, ainsi que l'étirement de ses parois à la suite de l'arrivée des aliments. Les neurones moteurs entériques régissent la contraction des muscles lisses (qui font avancer les aliments dans le tube digestif), les sécrétions des organes digestifs (notamment la sécrétion d'acide par l'estomac) et l'activité des cellules endocrines du tube digestif (qui sécrètent des hormones).

LES FONCTIONS DU SYSTÈME NERVEUX

Notre système nerveux s'acquiesse de tâches nombreuses et complexes. Il nous permet de percevoir différentes odeurs (sensations), de parler (langage) et de nous rappeler les événements (mémoire) ; il émet aussi les signaux qui déterminent les mouvements du corps et régule le fonctionnement des organes internes. Ces tâches se regroupent en trois fonctions fondamentales : la fonction sensorielle, la fonction intégrative et la fonction motrice.

• **La fonction sensorielle.** Les récepteurs sensoriels *détectent* les stimulus internes, par exemple l'augmentation de l'acidité du sang, et les stimulus externes, par exemple la chute d'une goutte de pluie sur le bras. Les **neurones sensitifs**, ou neurones afférents, transmettent l'information sensorielle à l'encéphale et à la moelle épinière par l'intermédiaire des nerfs crâniens et des nerfs spinaux.

• **La fonction intégrative.** Le système nerveux *intègre*, ou traite, l'information sensorielle. Pour ce faire, il analyse l'information et en emmagasine une partie, puis il décide des réponses à y apporter. L'une des principales fonctions intégratives du système nerveux est la **perception**, c'est-à-dire la prise de conscience de l'existence des stimulus sensoriels. La perception se forme dans le cerveau. La plupart des neurones qui contribuent à la fonction intégrative sont des **interneurones**, ou neurones d'association, soit des neurones à axone court qui communiquent avec des neurones avoisinants de l'encéphale ou de la moelle épinière. Les interneurones constituent l'immense majorité des neurones du corps humain.

• **La fonction motrice.** Une fois que l'information sensorielle est intégrée, le système nerveux peut y *répondre*, c'est-à-dire qu'il peut déterminer la réponse motrice à y apporter, par exemple une contraction musculaire ou une sécrétion glandulaire. Les neurones qui accomplissent cette fonction sont les **neurones moteurs**, aussi appelés neurones efférents ou encore motoneurones. Ils transmettent l'information provenant de l'encéphale vers la moelle épinière ou l'information provenant de l'encéphale et de la moelle épinière vers les

effecteurs (les muscles et certaines glandes) par l'intermédiaire des nerfs crâniens et des nerfs spinaux. En stimulant les effecteurs, les neurones moteurs déclenchent les contractions musculaires et les sécrétions glandulaires.

Tout organisme vivant est en interaction constante avec son environnement. Ces interactions lui permettent de réagir vis à vis des stimulations venant du monde extérieur et de l'organisme lui-même (pour maintenir par exemple la constance du milieu intérieur). Elles nécessitent la prise permanente d'informations et la circulation de messages entre les différentes cellules de l'organisme. Le système nerveux est, avec le système endocrinien, un des deux grands systèmes de communication intercellulaire. Certaines cellules du système nerveux se sont différenciées en récepteurs sensoriels, capables de coder les messages renseignant l'organisme sur les variations des paramètres physico-chimiques de l'environnement et du milieu intérieur. **Nous ne connaissons notre environnement tout comme notre propre corps qu'au travers de nos organes sensoriels.** La somme des impressions provenant des organes sensoriels entraîne une sensation, qui, interprétée en fonction de notre expérience, constitue la perception. **Les fonctions sensorielles permettent donc à chaque individu de recueillir des informations provenant du milieu extérieur et de son organisme lui permettant ainsi de s'adapter à toutes les situations environnementales.**

Selon le principe général du fonctionnement cérébral, l'information est traitée selon une séquence « entrée-intégration-sortie ». D'un point de vue fonctionnel, le système nerveux central reçoit et intègre toutes les afférences sensorielles (messages sensoriels en provenance des récepteurs). En retour, il émet un message efférent en direction des effecteurs (figure 7). Les différentes étapes du traitement de l'information sont :

- **1/ Réception et codage** des informations (stimulus) par l'intermédiaire de capteurs, les organes sens ou récepteurs sensoriels.
- **2/ Transmission** des signaux afférents codés par les fibres nerveuses sensorielles utilisant un processus électro-chimique (potentiel d'action)
- **3/ Réception, traitement** et intégration dans le système nerveux central des informations afférentes et émissions de messages effecteurs.
- **4/ Transmission** d'ordres moteurs codés par les fibres nerveuses motrices efférentes (ou le système végétatif)
- **5/ Production d'effets moteurs (actions et adaptations) et subjectifs** (sensations, pensées, affectivité, créativité... Mémorisation)

Ainsi, l'organisme humain fonctionne selon un principe « perception-réaction ». La réaction est le plus souvent motrice ; elle peut être aussi sécrétrice. Conscientes ou inconscientes, elles peuvent être réactionnelles ou intentionnelles. Dans la plupart des cas les réactions motrices sont adaptatrices.

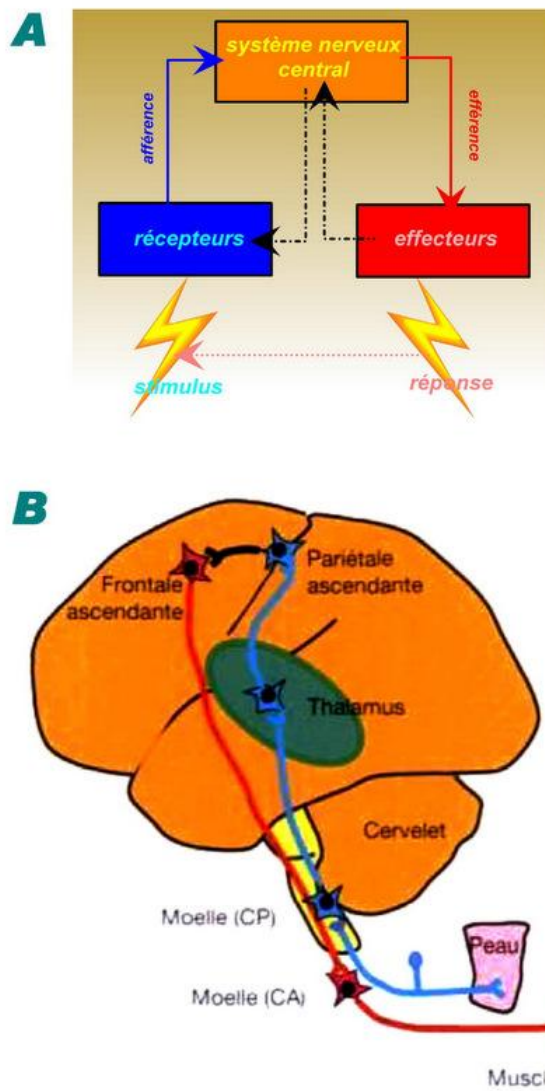


Figure 7 - Plan d'organisation fonctionnelle du système nerveux.