Université Badji Mokhtar Annaba

Faculté des sciences

Département de biologie

Physiologie et Régulation des Grandes fonctions

RÉGULATIONS PHYSIOLOGIQUES

GÉNÉRALITÉS

Master I Ecophysiologie animale

Pr. Kamel KHELILI

RÉGULATIONS PHYSIOLOGIQUES
GÉNÉRALITÉS

PRTIE I : HOMEOSTASIE ET BOUCLE DE REGULATION

I- INTRODUCTION

II- HOMEOSTASIE

II.1) Notion d'homéostasie

II.2) Stress et homéostasie.

III- ORGANISATION D'UN SYSTÈME DE RÉGULATION

III.A .Organisation Générale

III.B- Boucle De Régulation

III.B.1- Système Réglé

III.B.2- Système Réglant

III.B.2- 1- Capteurs et Récepteurs

- Classification selon leur localisation anatomique
- Classification selon la nature du stimulus détecté
- Classification selon leur structure anatomique

III.B.2- 2- Transmetteur

III.B.2- 3- Centre d'intégration

III.B.2- 4- Effecteur

III.C. MECANISME DE REGULATION

III.C. 1. Mécanismes de rétro-inhibition

III.C. 2. Mécanismes de rétro-activation

IV- PERTURBATIONS, DYSRÉGULATION ET MALADIE

IV.1. Point de consigne modifié

IV.2. Système réglant modifié

IV.3. Système réglé modifié

V- MODEL DE LA RÉGULATION PHYSIOLOGIQUE (***LA GLYCÉMIE)***

V.1-INTRODUCTION

V.2-LA BOUCLE DE REGULATION DE LA GLYCEMIE

V.2.1- LE SYSTEME REGLE

V.2.2- LE SYSTEME REGLANT

V.2.2.1-LES CAPTEURS ET LE CENTRE D'INTEGRATION

V.2.2.2-LES EFFECTEURS

V.2.2.2.1- Le foie

V.2.2.2.2- Le pancréas

V.3-LA MISE EN JEU DU SYSTEME DE REGULATION

V.3.1-L'hyperglycémie

V.3.2-L'hypoglycémie

PARTIE II : RAPPEL SUR LE SYSTEME NERVEUX

V.- ORGANISATION DU SYSTEME NERVEUX
V.1-LE SYSTEME NERVEUX CENTRAL (SNC)
V.1.1- ENCEPHALE

- **V.1.1- CORTEX CEREBRAL**
- **V.1.2- DIENCEPHALE**

✓ V.1.2.1- Noyaux Basaux
✓ V.1.2.2- Thalamus
✓ V.1.2.3- Hypothalamus
✓ V.1.2.4- Epithalamus

- **V.1.3- TRONC CEREBRAL**

✓ V.1.3.1- Mesencephale
✓ V.1.3.2- Pont (= Protuberance)
✓ V1.3.3- Bulbe Rachidien

- **V.1.4- CERVELET**

✓ V.2.4.1- Fonctionnement Du Cervelet

- **V.1.5-** ***SYSTEMES DE L'ENCEPHALE***

✓ V.1.5.1- Systeme Limbique
✓ V.1.5.2- Formation Reticulaire (= Formation Reticulee)

V.2-MOELLE ÉPINIERE

- **V.2.1-*ANATOMIE LA MOELLE ÉPINIERE***
  - ✓ V.2.1.A-Substance Grise Et Racines Des Nerfs Spinaux
  - ✓ V.2.1.B-Substance Blanche

V.3-LE SYSTEME NERVEUX PERIPHERIQUE (SNP)

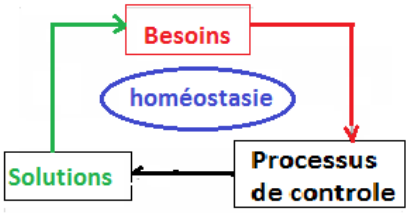
V.4.1-Le Système Somatique
V.4.2- Le Système Nerveux Autonome

- V.3.2.1. Définition
- V.3.2.2. Anatomie Du Système Nerveux Autonome
- V.3.2.3-Arcs Reflexes Viscéraux
- V.3.2.4-Les Principales Voies Nerveuses Périphériques
- V.3.2.5-Transmission Synaptique Du Système Nerveux Autonome
  - ✓ V.3.2.5.a-Transmission Synaptique Pre-Ganglionnaire
  - ✓ V.3.2.5.b-Transmission Synaptique Post- Ganglionnaire
- V.3.2.6- Régulation Central Du Systeme Nerveux Autonome
  - ✓ V.3.2.6.1- Hypothalamus
  - ✓ V.3.2.6.2- Cortex Cérébral

RÉGULATIONS PHYSIOLOGIQUES
GÉNÉRALITÉS

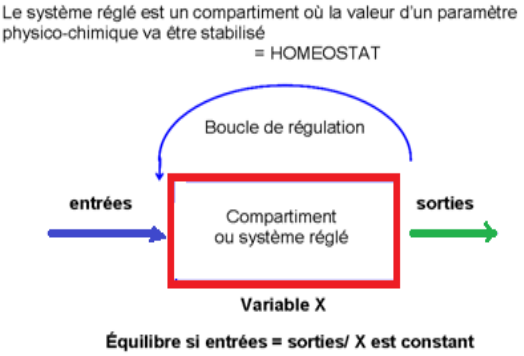
PRTIE I : HOMEOSTASIE ET BOUCLE DE REGULATION

I- INTRODUCTION



La physiologie est la science des fonctions du vivant. Le concept d'homéostasie, introduit par le physiologiste américain Cannon Bradford (*1871 – 1945*), est probablement le premier pas vers le développement d'une science des régulations. Claude Bernard avait déjà introduit la notion de milieu intérieur protégé d'un milieu extérieur très variable.

Les homéostasies désignent l'ensemble des processus de contrôle ajustant les réponses aux nécessités. Cette définition implique l'existence d'une boucle.



Par exemple, l'alimentation fait partie d'une boucle d'homéostasie : le besoin est d'assurer l'apport énergétique nécessaire à l'individu ; la présence de chyme dans l'intestin provoque la mise en jeu du processus de digestion. Les solutions sont de deux types, mécanique (motricité) et chimique (dégradation, absorption). Toutes les fonctions du vivant sont des homéostasies. La perte d'un processus de contrôle conduit à la mort de la fonction ou à sa dégénérescence.

II- HOMEOSTASIE

1) **Notion d'homéostasie :** (Du grec hómoios, « **similaire** », et stásis, « **stabilité**») : Capacité d'un système quelconque à conserver son équilibre de fonctionnement en dépit des contraintes extérieures.

Le maintien de l'intégrité et la stabilité de l'organisme repose sur le maintien de **l'homéostasie** (les systèmes de régulation des paramètres physico-chimiques du milieu intérieur) et sur celui de son **immunité microbienne** (le système immunitaire de lutte contre les infections microbiennes).

Tendance des organismes à maintenir une relative stabilité interne. « La constance du milieu intérieur est la condition d'une vie libre » **(Claude Bernard 1872)**. La survie des cellules est liée au maintien dans certaines limites de paramètre physico-chimiques: Température, Glycémie, pH, Salinité…

Les quelques millions d'espèces différentes de cellules qui constituent le corps, ont besoin de conditions relativement stables, pour vivre et assurer leur fonction afin de maintenir en vie l'ensemble du corps.

La maintenance de conditions stables pour les cellules est une fonction essentielle des organismes pluricellulaires. Les physiologistes appellent cette relative stabilité, H**oméostasie**: c'est l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques des milieux intra- et extracellulaire qui doit être régulé en compatibilité avec la physiologie de l'organisme.

Au début du XIX^{ème} siècle, un physiologiste américain a créé le terme **d'homéostasie** pour désigner sa capacité à maintenir une stabilité relativement constante du milieu interne malgré les fluctuations du milieu externe (de l'environnement).

Bradford Cannon au cours des années 1920 :

Les processus physiologiques coordonnés qui maintiennent l'équilibre dans l'organisme sont si complexes le **cerveau**, le **coeur**, les **poumons**, les **reins**, le **foie** et la **rate**, tous travaillant **coopérativement.**

L'homéostasie désignent un état **d'équilibre dynamique** dans lequel les conditions internes varient, mais toujours dans des limites relativement étroites. En général, on considère que **l'homéostasie** se **maintient** quand les **besoins de l'organisme sont satisfaits** et qu'il fonctionne bien.

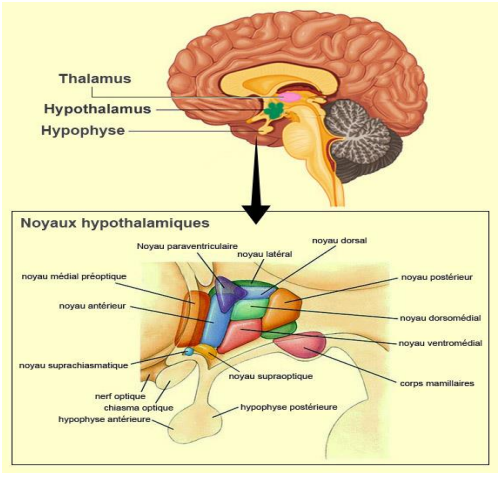
Mais le **maintien de l'homéostasie** est un processus beaucoup plus **complexe**. En effet presque **tous les systèmes contribuent à maintenir un milieu interne stable**.

Non seulement l'organisme doit **maintenir** à tout moment une concentration adéquate de nutriments dans le sang, mais il doit également **surveiller** et ajuster sans arrêt l'activité cardiaque et la pression artérielle afin que le sang puisse être acheminé à tous les tissus.

Par ailleurs, il doit éviter l'accumulation de déchets et assurer une régulation précise de la température du corps. Une large gamme de processus chimiques, thermiques et neurologiques agissent et interagissent de façon complexe dans l'organisme, certains ayant tendance à le rapprocher, d'autres à l'éloigner de son objectif ultime qui est l'homéostasie.

Les **réponses** homéostatiques du corps sont régulées par le **système nerveux** et le **système endocrine** agissant en **synergie** ou **indépendamment**.

Le système nerveux régule l'homéostasie en détectant les déviations par rapport aux normes "standard" puis en envoyant des messages sous la forme d'influx nerveux en direction des organes cible capables de s'opposer aux conséquences du stress.



Le système endocrine régule aussi **l'homéostasie**. Tandis que les influx nerveux entraînent des réactions rapides, les hormones provoquent des effets différés dans le temps mais qui se **prolongent longtemps** après la cessation du stimulus.

Le système nerveux et le système endocrinien assurent la majorité des communications, respectivement au moyen d'influx nerveux transmis par les nerfs et des hormones transportées par le sang.

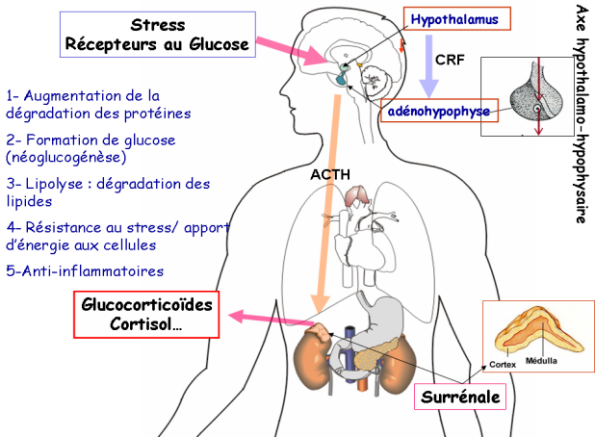
Chaque **homéostasie** comprend le plus souvent plusieurs régulations. Ces régulations peuvent être de **deux types** :

Grandeur réglée constante (régulateur), par exemple, la natrémie,

Grandeur réglée variable (asservissement : *Relation entre deux grandeurs physiques dont l'une impose ses variations à l'autre sans être influencée par elle*), par exemple, la locomotion.

Stress et homéostasie.

Dans tous les organismes, **l'homéostasie** est continuellement **perturbée** par le **stress**, n'importe quel stimulus susceptible de créer un **déséquilibre dans l'environnement intérieur**. Le **stress** peut venir de **l'extérieur** sous la forme de stimuli tels que la température chaude ou froide, le bruit, le manque d'oxygène etc… Il peut naître aussi à **l'intérieur** de l'organisme sous la forme par exemple d'une baisse de la glycémie, d'une augmentation de l'acidité du liquide extracellulaire, de la douleur, d'une toux etc…



La plupart des **stress de la vie courante** sont **modérés** si bien que la réaction des cellules de l'organisme suffisent généralement à rétablir rapidement l'équilibre du milieu intérieur. En revanche, une intoxication, une surexposition à des températures extrêmes, une sévère infection sont autant d'exemple de stress importants contre lesquels les processus homéostasiques peuvent ne pas suffire à maintenir l'équilibre du milieu intérieur. Heureusement, l'organisme dispose de ressources capables de s'opposer aux stress importants afin de rétablir l'équilibre du milieu intérieur.

III- ORGANISATION D'UN SYSTÈME DE RÉGULATION

A .Organisation générale

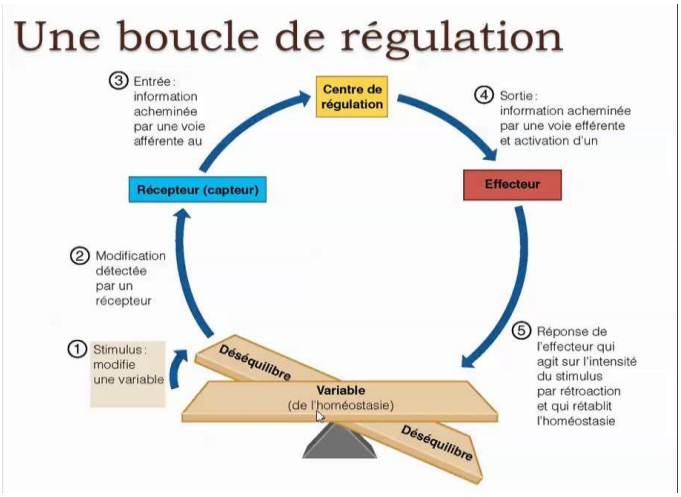
Certaines grandeurs réglées possèdent plusieurs systèmes réglants ou plusieurs effecteurs. Inversement, plusieurs grandeurs réglées peuvent agir sur le même effecteur.

La plupart des systèmes de régulation biologique sont redondants, avec en général **deux systèmes réglants.** L'un agit sur un effecteur **qui augmente la grandeur réglée**, l'autre **la diminuant**.

Dans la plupart des cas, l'opposition entre les deux systèmes réglants est nécessaire à une bonne régulation. La mise hors circuit de l'un des systèmes réglants entraîne une augmentation ou une diminution parfois importante de la grandeur réglée. Les régulations endocriniennes fournissent de nombreux exemples de cette dualité. L'hémostase n'est formée que de systèmes réglants opposés : procoagulant/anticoagulant, prohémostatique/antihémostatique.

B- BOUCLE DE REGULATION

Système associant un système réglant à un système réglé dans lequel la variable régulée est comparée à une valeur appelée point de consigne.



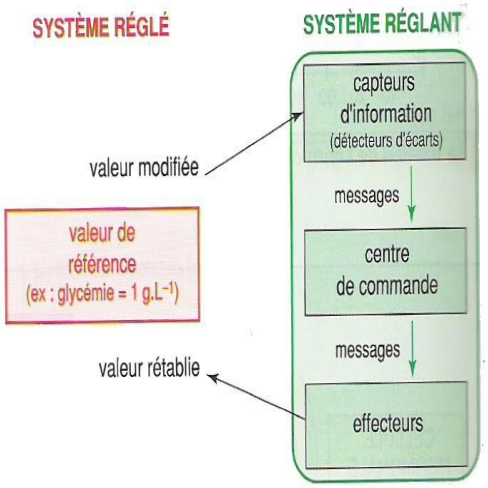
B.1- SYSTEME REGLE

L'état d'un système peut être décrit grâce à deux types de grandeurs : les grandeurs intensives et les grandeurs extensives. Ces grandeurs sont souvent utilisées et il est donc important de savoir les différencier

Les variables extensives sont proportionnelles à la **taille du système**. Elles ont dans leur dimension physique une **longueur L** (volume : L3, masse : L3 × densité, débit : L3T1, résistance : pression/débit, etc.). Elles sont additives lors de la réunion de deux systèmes de même nature et sont définies pour l'ensemble du système.

Les grandeurs intensives elles sont indépendantes de la quantité de matière du système et sont définies localement (pression, concentration, température).

Elles sont le **quotient** de grandeurs extensives (**force/surface**, **masse/volume**, **quantité de chaleur/volume**). La plupart des grandeurs réglées sont intensives (**glycémie**, **calcémie**, **kaliémie**, **pH**, **pression artérielle**, **température centrale**…). Certaines paraissent extensives (masse corporelle, volémie, autorégulation des débits locaux) mais sont en fait réglées par des grandeurs intensives. La volémie (grandeur extensive), considérée comme réglée, fait par exemple varier la tension (grandeur intensive) des oreillettes, qui est en fait la grandeur réglée.



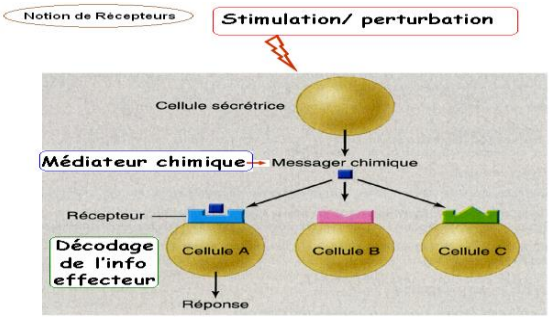
Ainsi, pour déterminer **si une grandeur est extensive ou intensive,** on peut considérer que l'on **réunit deux systèmes identiques** (ou que l'on multiplie par deux la taille d'un système homogène) : **les grandeurs** qui ont **doublé** sont des grandeurs **extensives** et celles qui n'ont pas changé sont des grandeurs intensives.

Le système réglé comprend tous les éléments définissant la grandeur réglée :

- ✓ **Ions Na^+** (importance dans l'hydratation de l'organisme) (**natrémie**) : 135 - 145 mmol/l
- ✓ **Ions Ca^{2+}** (coagulation sanguine et la minéralisation des os) (**calcémie**) : 2,2 - 2,6 mmol/l
- ✓ **Ions K^+** (contraction musculaire, ainsi l'automatisme cardiaque) (**kaliémie**) **:** 3,5 - 4,5 mmol/l
- ✓ Glycémie **:** 5 mmol/l
- ✓ Circulation sanguine (pression artérielle …)
- ✓ Rythme cardiaque (debit cardiaque…)
- ✓ Rythme respiratoire **(**débit ventilatoire…..)
- ✓ Faim, soif (facteurs psychologiques

B.2- SYSTEME REGLANT

Il agit en permanence sur le système réglé, afin de maintenir la grandeur réglée aussi proche que possible de la valeur de consigne. Il comporte schématiquement les parties suivants : récepteurs, centre d'intégration; transmetteurs, effecteurs.



1- CAPTEURS ET RECEPTEURS

Il s'agit essentiellement d'un capteur dont le rôle consiste à surveiller **l'environnement** et à réagir aux **changements**, ou **stimulus**, en envoyant des informations (entrée) au second élément, qui est le **centre de régulation**. Ces informations vont du récepteur au centre de régulation en suivant **la voie afférente** (influx nerveux, hormones,….)

Biologiquement, les capteurs sont des **structures cellulaires ou subcellulaires** qui **transforment** la **grandeur réglée** en un **signal utilisable (biologique)**. En biologie, les capteurs ont été confondus avec les récepteurs. Ils font, en général, partie d'une chaîne de transmission de l'information. Les capteurs forment donc une variété particulière de récepteurs chargés **de transformer la grandeur réglée en un signal biologique**.

Les récepteurs sensoriels permettent à l'organisme de recueillir les informations sous toutes ses formes et de réagir aux perturbations de l'environnement (stimulus) qu'ils soient externes ou internes.

Les récepteurs sensoriels s'activent dès qu'un stimulus entre en contact avec certaines parties du corps : l'énergie de départ est alors transformée en énergie électrique (transduction sensorielle) qui active les cellules nerveuses afférentes.

Les récepteurs des grandeurs réglées sont de plusieurs types (la liste suivante n'est pas exhaustive) :

Classification selon leur localisation anatomique

1. Les extérocepteurs sont localisés en surface du corps et sont sensibles aux modifications du milieu extérieur : l'information est **consciente**. *Ils sont situés au niveau cutané ou dans des organes proches : ce sont les **mécanorécepteurs** (toucher, pression), les **thermorécepteurs**, les **nocicepteurs**, les récepteurs des **organes des sens**…*

2. **Les intérocepteurs (**viscérocepteurs) sont des récepteurs internes et réagissent aux stimulations du milieu intérieur : leur information est en général **inconsciente**. *Ce sont les **barorécepteurs** (pression sanguine), les **chémorécepteurs**, les **osmorécepteurs**, les **thermorécepteurs**, les **nocicepteurs**… : ils peuvent provoquer des réactions conscientes comme la faim, la soif, la douleur…*

3. **Les propriocepteurs** sont également des récepteurs internes et informent le cerveau de nos **mouvements** et de notre **position** dans l'espace : l'information est **inconsciente**. *Ils sont périphériques musculo-squelettiques, cutanés et centraux comme les récepteurs vestibulaires: ils participent à la sensibilité dite statique (statesthésie) et la sensibilité cinétique (kinesthésie).*

Classification selon la nature du stimulus détecté

A / Stimulus physique

Le stimulus détecté peut être :

1. mécanique (mécanorécepteurs) : Les mécanorécepteurs sont sensibles au toucher proprement dit, à la pression, aux vibrations ou à une position relative ou une vitesse de déplacement. Déformation par des facteurs mécaniques**.(** R. du toucher; R. de l'audition; R. vestibulaires ; Baréc : pression artérielle;

2. photonique (photorécepteurs) : stimulation par l'énergie lumineuse.

3. thermique (thermorécepteurs) : stimulation par les changements de température

B/ Stimulus chimique : Chimiorécepteurs. Sont stimulés par les produits chimiques :

- Chimiorécepteurs de l'olfaction ou de l'odorat; Récepteurs du goût;
- Chimiorécepteurs internes : - CO2 -, osmorécepteurs - pression osmotique) ;

C/ Les nocicepteurs transmettent une sensation douloureuse au cerveau.

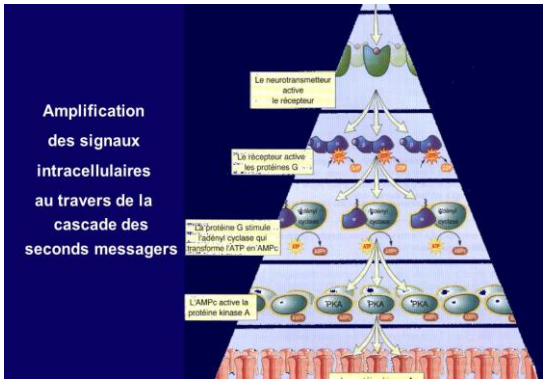
Classification selon leur structure anatomique

Les récepteurs dit simples sont constitués par :(Les terminaisons nerveuses libres et les organes terminaux encapsulés).

Les récepteurs complexes, constitués par les organes sensoriels: (œil,olfaction ;audition ; goût.

2- TRANSMETTEUR

C'est le maillon intermédiaire entre le capteur ; centre d'intégration et l'effecteur ; il ***amplifie*** et ***module*** le signal.



A. La fonction d'amplification peut être cellulaire et/ou structurale multicellulaire :

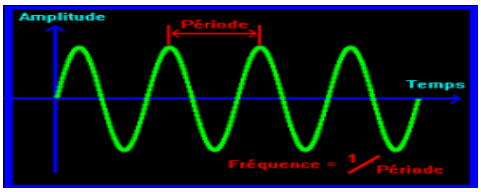
Amplification cellulaire : un seul récepteur activé peut démultiplier son effet en mettant en jeu, au cours de cascades de réactions, une multiplicité de molécules actives. L'activation d'un récepteur couplé à des protéines Gαs libère successivement plusieurs sous-unités αs qui, en se couplant au GTP, réactivent plusieurs adénylyl cyclases, qui, à leur tour, donnent plusieurs AMPc.

Base structurale : l'organisation cellulaire fait qu'une seule cellule peut en activer plusieurs autres. Un neurone peut faire synapse avec de nombreux autres, qui peuvent chacun avoir la même possibilité.

B. La modulation peut se faire en :

Amplitude : le signal initial peut être intégré (sommé), dérivé ou proportionnel au signal capté.

Fréquence : le signal capté est transformé en un train de potentiels (tensorécepteurs et chémorécepteurs carotidiens, par exemple) dont la fréquence peut subir des modifications temporelles.

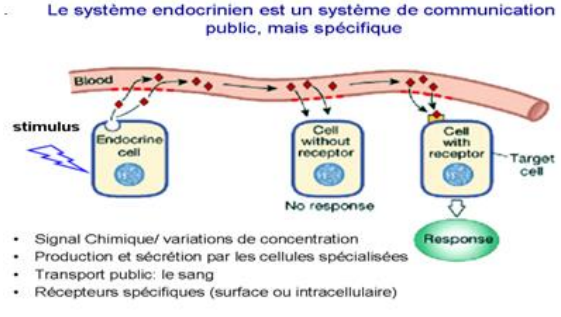


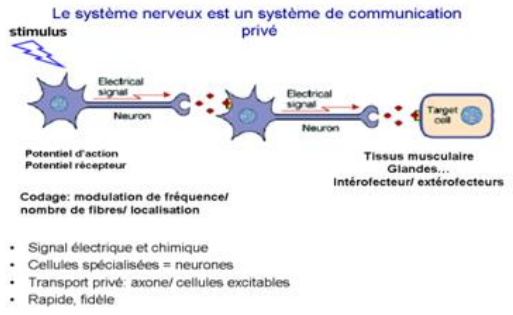
Au niveau tissulaire, le transmetteur est :

- **nerveux** (câblé, rapide) ;
- **hormona**l (diffus, lent) ;
- **immunologique** (± diffus, ± lent).

Au niveau cellulaire, les régulations peuvent être

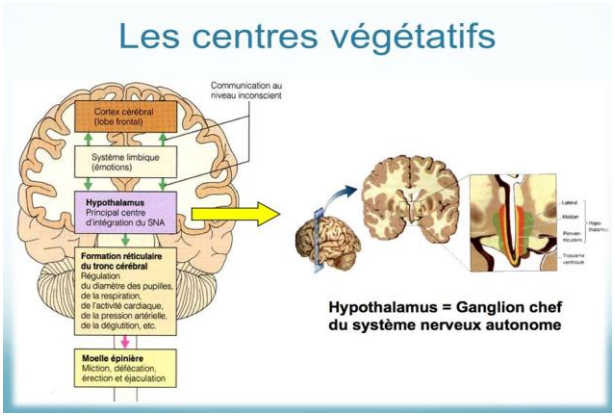
- très rapides (court terme) car les éléments de la régulation sont juxtaposés (régulation de Ca++, par ex),
- lents, (long terme) car les éléments de la régulation impliquent une réponse génomique plus lente (ARN).





3- CENTRE D'INTEGRATION

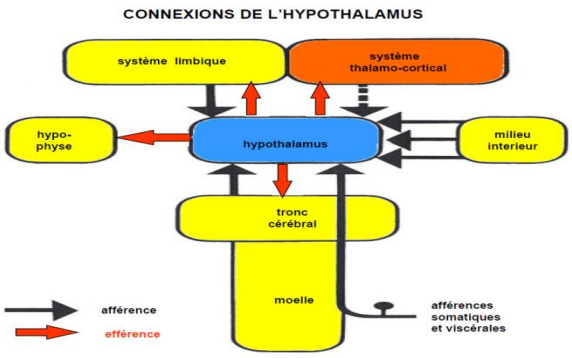
Il fixe la valeur de référence où la variable doit être maintenue, analyse les données qu'il reçoit et détermine la réaction appropriée.



C'est lui qui analyse les données et les mets en rapport avec la/les valeur(s) de référence(s) et qui détermine la réponse à apporter. Ce signal (influx nerveux, hormones…) va utiliser la voie efférente afin de rejoindre l'effecteur

L'hypothalamus est une structure indispensable à la vie, située dans le cerveau.

C'est un système intégrateur qui va recevoir, à la fois, des afférences neuronales, notamment du cortex, des afférences endocriniennes, notamment de la périphérie (venant des glandes endocrines) ainsi que des afférences métaboliques (exemple : la glycémie donne des informations à l'hypothalamus qui répond par une augmentation ou une diminution de la sensation de faim). Outre ces stimuli internes, on va avoir également des stimuli externes avec notamment le rôle de l'environnement. Par exemple, l'hypothalamus reçoit un signal directement de la notion nuit/jour. C'est grâce à ce signal qu'on a la régulation du rythme circadien donc la régulation du rythme biologique au cours du nycthémère.

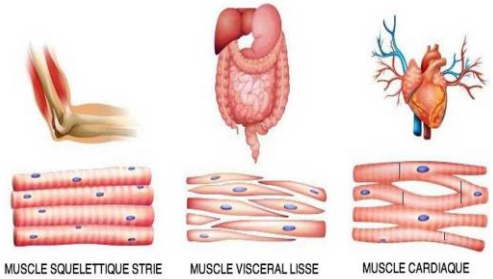


4- EFFECTEUR

Grâce auquel le centre de régulation produit une réponse (sortie) au stimulus. Pour aller du centre de régulation à l'effecteur, l'information suit **la voie efférente**. La réponse produit alors une **rétro-action** qui agit sur le stimulus; elle peut avoir pour effet de **le réduire** (**rétro-inhibition)** de sorte que tout le mécanisme de régulation cesse son activité, ou elle peut le **renforcer (rétro-activation**) de sorte que la réaction se poursuit avec une intensité croissante.

Il traduit le message codé qu'il reçoit du centre d'intégration en une action capable de rectifier la valeur de la grandeur réglée.

Comme son nom l'indique, il **effectue** la tâche qui lui a été signalée. L'effecteur modifie un débit volumique, massique ou d'information. Ces variations de débit, en sortie du système réglant, vont se sommer avec celles non contrôlées provenant de l'extérieur du système.



Les organes et tissus effecteurs :

Les muscles striés qui contrôlent les mouvements squelettiques, système effecteur d'asservissements complexes (marche, écriture, poursuite oculaire d'un objet mouvant, etc.), le myocarde, les muscles diaphragmatiques ;

Les muscles lisses des vaisseaux, des bronches, du tube digestif, qui contrôlent la résistance à l'écoulement, assurant ainsi, éventuellement, un déplacement (tube digestif) ;

Les **épithéliums rénaux, digestif**, etc., qui contrôlent les transports de substances ;

Les **cellules à activité métabolique** prédominante (hépatocyte, adipocyte), qui interviennent dans le contrôle du transport et le stockage des substrats énergétiques ;

Les **cellules réservoirs**, qui stockent un élément particulier, et en contrôlent la libération dans le sang (potassium de toutes les cellules, calcium de l'os, tampons d'ions H+ des cellules, iode de la thyroïde…) ;

Les **cellules de défense** anti-infectieuses et immunitaires, effecteurs du maintien et de l'intégrité du moi biologique (rejet de tout ce qui est étranger) ;

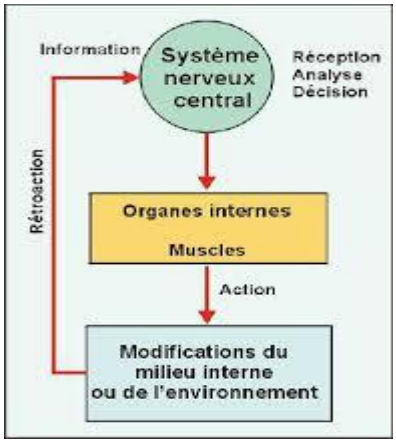
Les **cellules du SNC**, qui contrôlent le comportement, la mémoire, etc.

Mécanisme de la régulation

Les régulations physiologiques se font, en général, en **rétroaction *négative***. La variation dans un sens de la grandeur réglée entraîne une variation dans l'autre sens de la grandeur réglante. Il existe néanmoins quelques exemples de **rétroaction *positive*** (œstrogènes/LH, qui se termine par l'ovulation, augmentation de la perméabilité au Na+ des membranes excitables, qui se termine par le potentiel d'action).

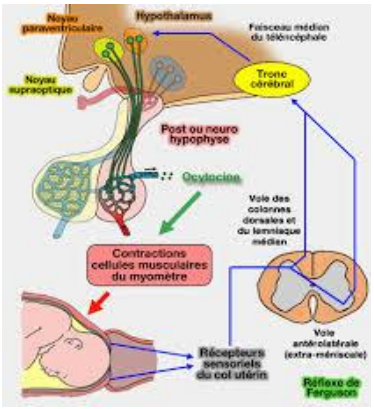
1) Mécanismes de rétro-inhibition

La majorité des mécanismes de régulation de l'homéostasie sont des **mécanismes de rétro-inhibition,** c'est-à-dire des systèmes qui, par leur réponse, mettent fin au stimulus de départ ou réduisent son intensité. La régulation de la **température corporelle** par **l'hypothalamus** est une des nombreuses voies par lesquelles le **système nerveux assure la stabilité du milieu interne**. Le réflexe de retrait est un mécanisme de régulation nerveux qui assure un retrait rapide de la main en présence d'un stimulus douloureux. **Le système endocrinien joue également un rôle important dans le maintien de l'homéostasie**. Ainsi, la glycémie (taux de glucose dans le sang) est réglée par un mécanisme de rétro-inhibition faisant intervenir les hormones pancréatiques.

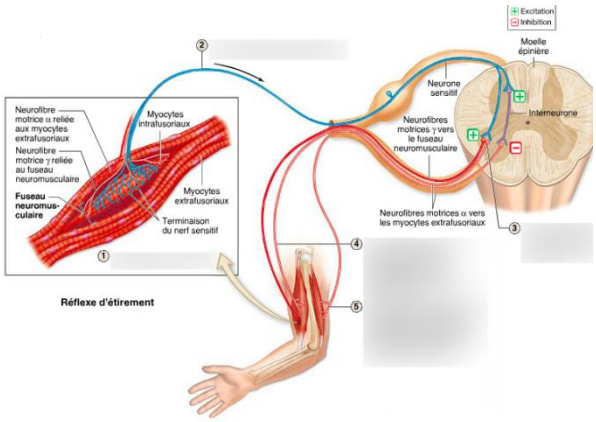


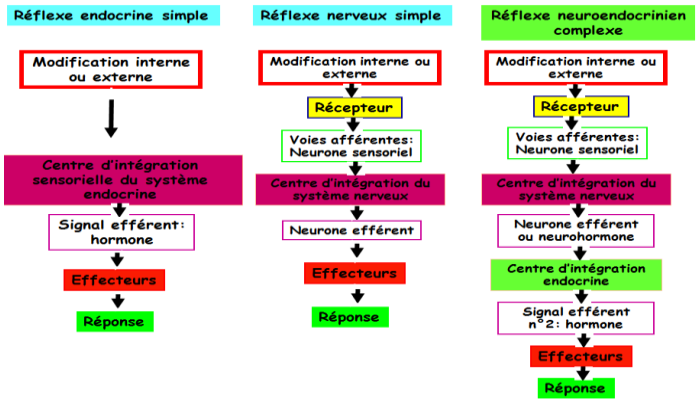
2) Mécanismes de rétro-activation

Les mécanismes de rétro-activation amplifient ou font augmenter le stimulus de départ, ce qui entraîne un accroissement de l'activité (sortie). On parle de «rétro-activation » parce que le **changement produit** va dans **la même direction que la fluctuation initiale**, de sorte que la variable s'éloigne de plus en plus de sa valeur de départ. les mécanismes de rétro-activation régissent habituellement des phénomènes peu fréquents qui ne nécessitent pas d'ajustements continus.



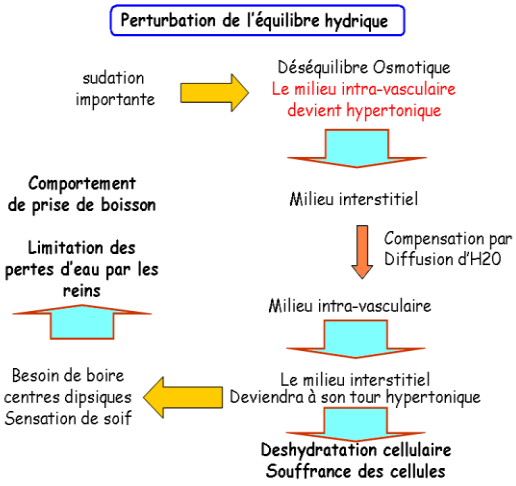
En général, ils n'assurent habituellement pas le maintien de l'homéostasie de l'organisme. Cependant, il y a au moins deux exemples qui font intervenir de tels mécanismes: la **coagulation du sang** et l'augmentation de la force et de la fréquence des **contractions du muscle utérin au cours de l'accouchement**.





IV- PERTURBATIONS ET MALADIE

Les régulations n'existent que parce qu'il y a des perturbations (ex. *Perturbation de l'équilibre hydrique).*

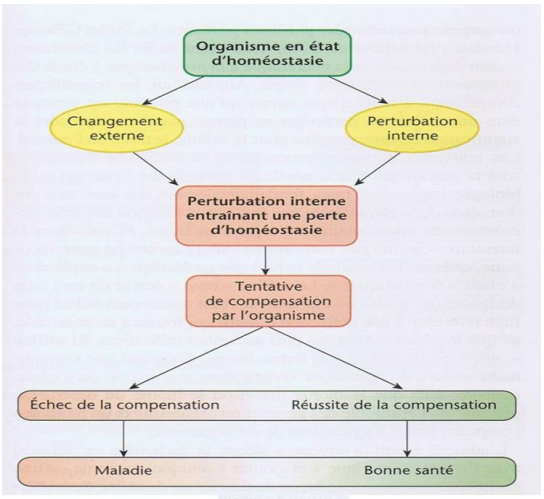


Les perturbations des grandeurs réglées activent transitoirement la boucle de régulation. Les perturbations physiologiques portent, en général, sur l'entrée du ***système réglé***, déséquilibrant la grandeur réglée. Avaler un pot de confiture est une perturbation pour la régulation de la glycémie, boire un litre d'eau, une perturbation pour la volémie, etc. Les maladies sont des dys-régulations qui peuvent porter sur n'importe quelle partie de la boucle de régulation.

1/ Système réglé modifié

Les caractéristiques du système réglé peuvent être altérées par la **maladie** : une perte **d'élastance** des artères va tendre à augmenter la pression artérielle ; une diminution du **nombre des globules rouges** par unité de volume (anémie) va réduire le pouvoir tampon du sang, etc.

La concentration en O2 (et donc la concentration en hémoglobine) est normalement réglée à 0,20 l d'O2/l de sang artériel. En altitude, certaines personnes règlent à 0,25 l d'O2/l de sang artériel, ce qui nécessite d'augmenter d'autant la concentration en hémoglobine (polyglobulie pathologique d'altitude).



L'homéostasie.

2/ Système réglant modifié

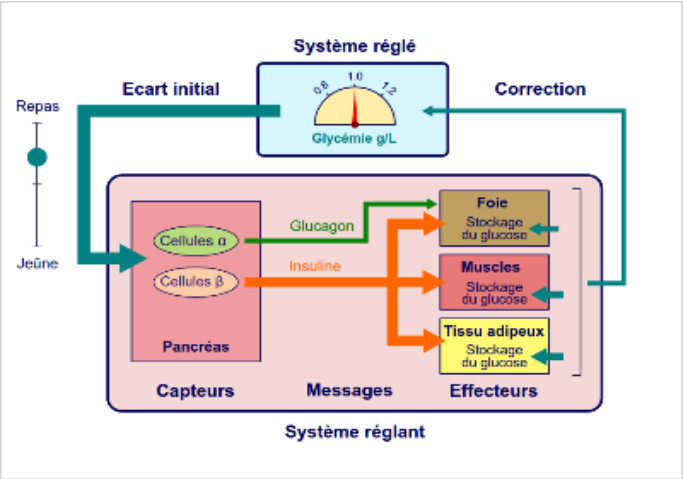
Les ***récepteurs*** peuvent disparaître fonctionnellement par internalisation, par exemple, les récepteurs à l'acétylcholine du muscle qui disparaissent dans la myasthénie.

Le ***transmetteur*** peut être lésé : par exemple, destruction d'un circuit neuronal par un accident vasculaire, par dégénérescence ou par infection, disparition des cellules produisant l'insuline dans le diabète, etc.

L'*effecteur* peut être lésé : les muscles sont détruits par la maladie, le poumon peut devenir fonctionnellement insuffisant par infection, de même le rein, le coeur…

V- MODEL DE LA RÉGULATION PHYSIOLOGIQUE
LA GLYCÉMIE

V.1-INTRODUCTION



Origine du glucose sanguin

En période inter-prandiale ou en situation de demande d'énergie (stress, effort), le glucose emmagasiné sous forme de glycogène doit être libéré. Ce dernier est alors dégradé dans le foie sous l'action d'une phosphorylase afin de fournir l'apport énergétique nécessaire. Le glucose obtenu passe alors dans le sang.

En période de jeûne, si la concentration plasmatique de glucose n'est pas suffisante, des voies métaboliques annexes, comme la **néoglucogénèse**, permettent la synthèse de glucose, à partir de substrats non glucidiques : glycérol, acides aminés et lactate issu de la glycolyse anaérobie.

V.2- LA BOUCLE DE REGULATION DE LA GLYCEMIE

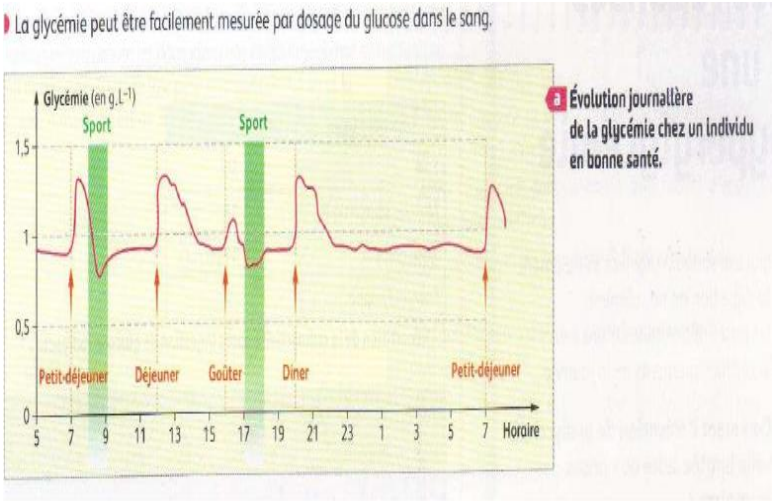
V.2.1- LE SYSTEME REGLE (La glycémie, une variable régulée)

C'est la concentration du glucose dans le sang, exprimée en mmol/l (aujourd'hui en g/)l. C'est l'une des constantes chimiques les plus importantes de l'organisme.

Chez l'adulte normal le taux varie à jeun entre 4,11 mmol/l (0,75g/l) et 5,89 mmol/l (1,05g/l).

Ce taux augmente normalement après la prise alimentaire, pouvant atteindre 8,9 mmol (1,6g/l) et revient progressivement à la normale grâce à la mise en jeu de mécanismes régulateurs hormonaux qui assurent la stabilité de la glycémie.

L'intégrité de ce système est importante puisque le glucose est le substrat énergétique directement et rapidement utilisable par les cellules pour couvrir les besoins métaboliques. Il représente même le seul substrat énergétique pour les, les hématies et la rétine.



Malgré la variation en intensité des activités de l'organisme, et malgré la prise alimentaire discontinue ; la glycémie pour une personne normale varie dans des limites très étroites.

Les prises alimentaires provoquent une hausse modérée de la glycémie (+ 0,2 à + 0,3 g/l)

Le sport est associé à une baisse légère de la glycémie (- 0,2 g/l)

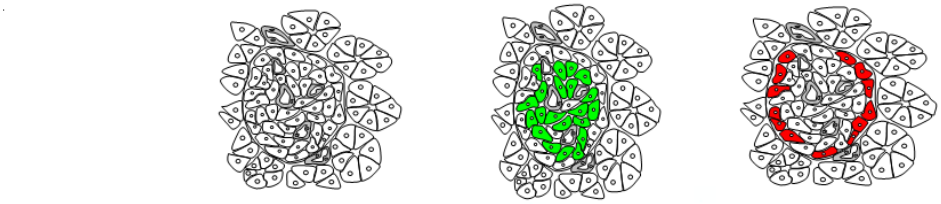
La glycémie varie tout au long de la journée et fluctue modérément autour d'une valeur proche de 1 g/l. Cette valeur définit la constante physiologique qu'est la glycémie.

V.2.2- LE SYSTEME REGLANT

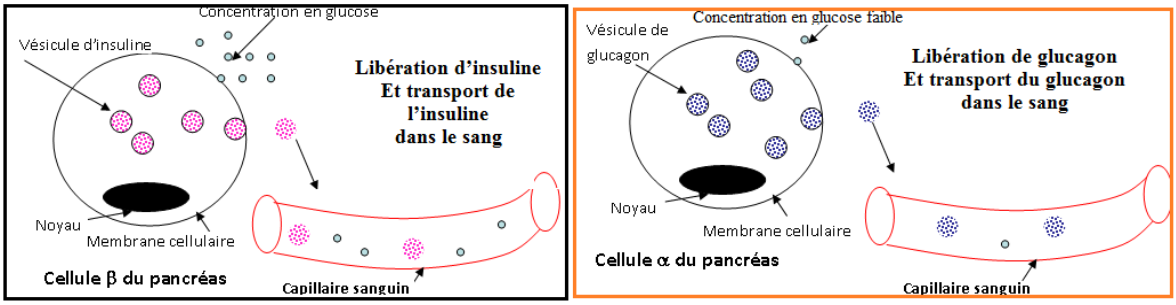
Le système réglant comporte d'une part des capteurs enregistrant les écarts de la glycémie par rapport à 1 g / l et d'autre part l'ensemble des organes et mécanismes qui sont amenés à réagir pour corriger ces écarts.

V.2.2.1- RECEPTEUR ET CENTRE D'INTEGRATION

- **Les cellules α et β des îlots de Langerhans** sont directement sensibles aux variations de la glycémie et constitue donc le détecteur d'écart. Ces mêmes cellules constituent également le système de commande de la régulation en adaptant leur sécrétion hormonale à la situation : ainsi, suite à un repas, la sécrétion d'insuline est augmentée, celle de glucagon freinée ou supprimée.

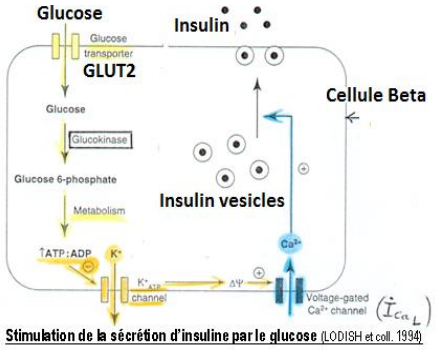


Exemple de repérage des cellules β et des cellules α par technique d'immunofluorescence (anticorps anti-insuline avec pigment **vert** et anticorps anti-glucagon avec pigment **rouge**)-



A. Les cellules β des ilôts de Langerhans du pancréas :

La sécrétion de l'insuline est déclenchée par différents signaux:



Stimulation de la sécrétion d'insuline par le glucose (LODISH et coll. 1994)

1. signal = taux de glucose : c'est le stimulus primaire. Le capteur de la glycémie serait la glucokinase de la cellule.

2. signal = GIP : Le GIP, libéré avant la prise alimentaire (**phénomène d'anticipation**) conduit à l'activation de la PKA intracellulaire qui stimule la sécrétion d'insuline en catalysant la phosphorylation des canaux K^+_{ATP} et I_{CaL}.

3. Signal = système nerveux parasympathique : en période post-prandiale la stimulation du nerf X conduit à l'exocytose de l'insuline.

B. Les cellules α des ilôts de Langerhans du pancréas

Sécrétion du glucagon, taux basal. Les cellules sont surtout sensibles à la diminution de la glycémie.

C. Les cellules de l'hypothalamus : Ce capteur intervient dans les mécanismes de contrôle de la prise alimentaire (aspects comportementaux). Il s'agit d'un capteur relai : le signal passe d'abord par l'hypothalamus, puis par les cellules du pancréas.

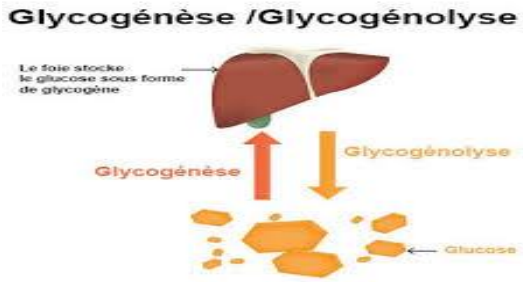
V.2.2.2-LES EFFECTEURS

Nature des effecteurs :

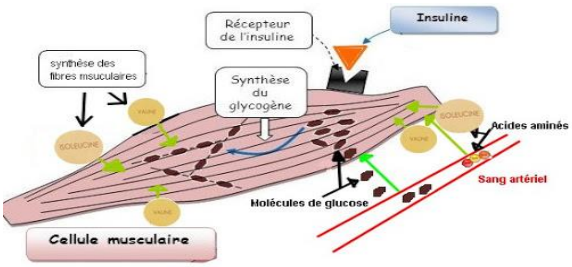
Foie : impliqué dans maintien de la glycémie.

Muscles et tissu adipeux : impliqués dans l'utilisation périphérique du glucose.

V.2.2.2.1- Le foie

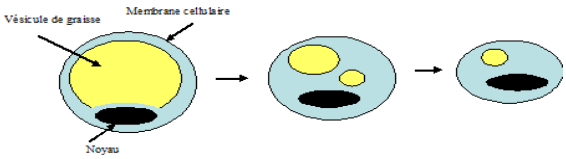


Cet organe exerce la fonction **glycogénique**, jouant ainsi un rôle important dans le maintien de la **glycémie**, qui nécessite un apport continu de glucose par les veines sus-hépatiques. Cet apport est issu de la glycogénolyse, le glycogène se renouvelant en permanence. Cette fonction fut découverte par Claude Bernard (1863). Les cellules hépatiques, dans des conditions standards, sont susceptibles de pouvoir stocker jusqu' à 6% de leur volume en glycogène, ce qui représente environ 100g (et jusqu' à 400g dans le muscle). La glycogénogénèse est augmentée notamment par le glucose et l'insuline. Dans le cas d'une hypoglycémie, la phosphorylase hépatique dégrade le glycogène sous l'action du glucagon et des catécholamines (adrénaline..). Le cortisol à plus long terme active les facteurs de transcription des gènes de la néoglucogénèse dans le foie. Mais c'est aussi au niveau hépatique qu'est réalisée la synthèse de lipides à partir du glucose en excès.



Les muscles sont également capables de stocker sous forme de glycogène du glucose prélevés dans le sang (ce stock peut représenter jusqu'à 1 % de la masse musculaire).

Le tissu adipeux est capable de transformer le glucose en lipides, et peut donc lui aussi prélever du glucose sanguin et l'immobiliser sous forme de graisse.

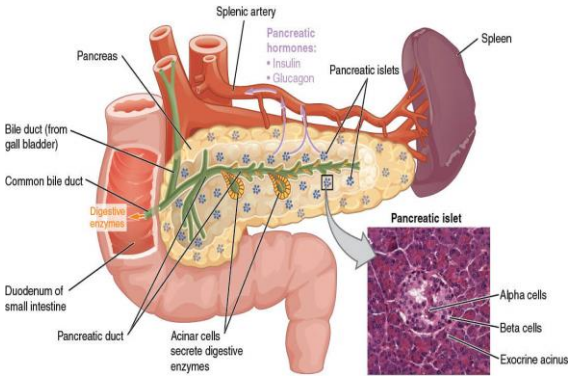


L'ensemble de ces mécanismes tend à s'opposer à une hausse excessive de la glycémie, suite à un repas par exemple.

V.2.2.2.2- Le pancréas

Le pancréas est une glande double :

C'est une glande digestive qui déverse dans le duodénum des enzymes digestives secrétées par des cellules glandulaires groupées en acinus.



C'est aussi une glande hormonale (ou endocrine) qui sécrète dans le sang des hormones susceptibles de faire varier la glycémie. Ces hormones sont produites par des cellules endocrines regroupées en petits îlots disséminée entre les acini : **les îlots de Langerhans.**

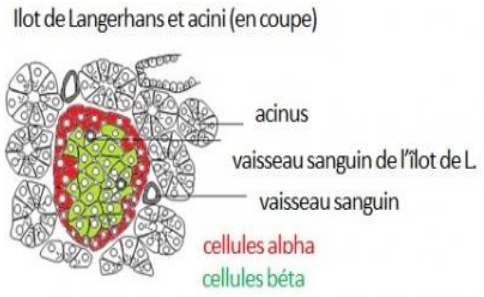
Le pancréas est relié au tube digestif par le canal pancréatique, qui déverse le suc pancréatique dans une région de l'intestin grêle appelée duodénum. Le pancréas est donc une glande digestive. Le tissu pancréatique apparaît constitué de deux structures entremêlées :

Les cellules les plus abondantes sont regroupées en nombreuses petites sphères ou acinus, pourvue chacune d'un petit canal qui se jette dans le canal pancréatique.

D'autres cellules cent fois moins abondantes que les précédentes forment des amas, les **îlots de langerhans** , qui sont bien irrigués par le sang mais totalement dépourvu de canaux excréteurs. Les cellules des îlots de Langerhans secrètent deux hormones dans le sang. Le pancréas est donc une glande endocrine. Le pancréas est capable de modifier la valeur de la glycémie par l'intermédiaire d'hormones.

- Si la glycémie est trop basse, il peut la faire augmenter en produisant du **glucagon** ;
- Au contraire, la glycémie augmente, il produit de **l'insuline** pour la faire diminuer.

LES ILOTS DE LANGERHANS



L'observation précise de ces îlots révèle l'existence de deux populations cellulaires :

Les cellules alpha à la périphérie des îlots et les cellules beta au centre. Ces cellules alpha et beta sont des capteurs de la glycémie. En fonction des variations de ce paramètre, elles émettent des hormones, qui tendent à ramener la glycémie à une valeur normale.

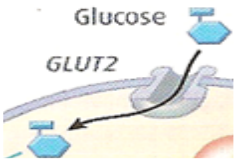
Les cellules beta sont spécialisées dans la production **d'insuline** : Sa libération dans le sang est stimulée par une hausse de la glycémie. L'augmentation de la teneur sanguine de cette hormone déclenche normalement une baisse de la glycémie : On dit qu'elle est **hypoglycémiante**.

Les cellules alpha produisent une autre hormone, le **glucagon** : Sa sécrétion est déclenchée par une baisse de la glycémie. À l'inverse de l'insuline, cette hormone a un effet **hyperglycémiant**

V.3-LA MISE EN JEU DU SYSTEME DE REGULATION

V.3.1-L'hyperglycémie

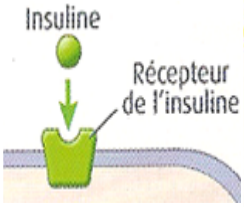
Dans le cas d'une hyperglycémie (aprés un repas), la glycémie est élevée (> 1,2g/L). Le glucose circule dans tous les vaisseaux dont ceux en contact avec le pancréas. Au niveau des ilots de Langerhans, il pénètre dans les cellules grâce à un canal **GLUT2.**



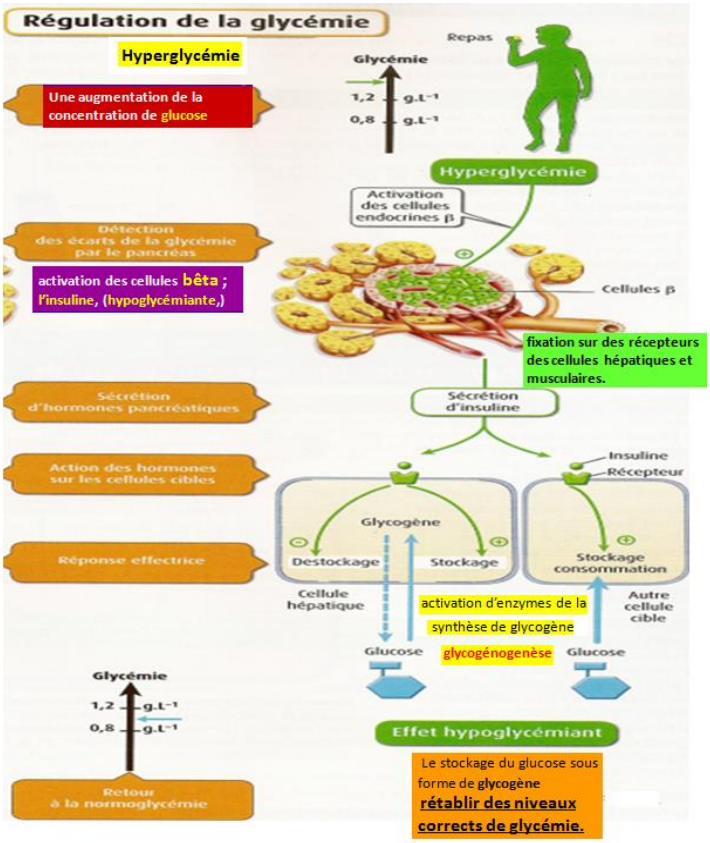
- Dans les **cellules α,** il **inhibe la synthèse et la libération de glucagon.**

- Dans les **cellules β**, il active la **synthèse et la libération d'insuline** dans le sang.

L'insuline circule dans le sang jusqu'à ses cellules cibles : Les cellules **hépatiques** (cellules du foie) et autres cellules (**myocytes**, **adipocytes**…). A ce niveau elle se fixe à des **récepteurs** spécifiques (forme complémentaire) enchâssé dans la membrane plasmique



Cette fixation a deux actions opposées :



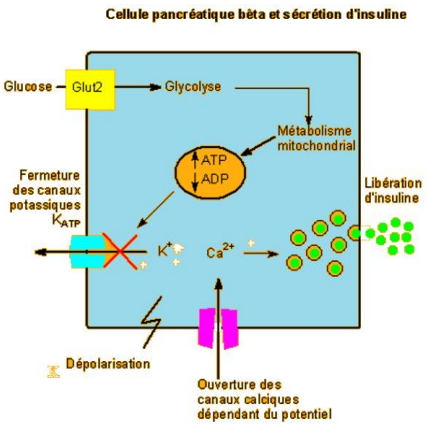
Elle **active** la **glycogénogénèse** : **du glycogène** est synthétisé à partir du glucose grâce à une enzyme ; **glycogène synthétase**.

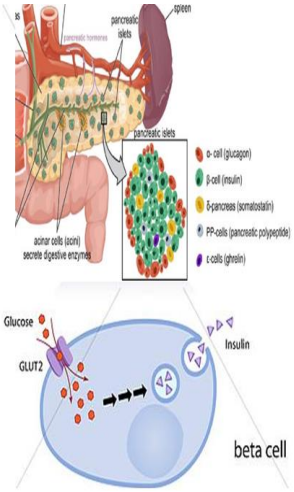
Elle **inhibe** la **glycogénolyse**.

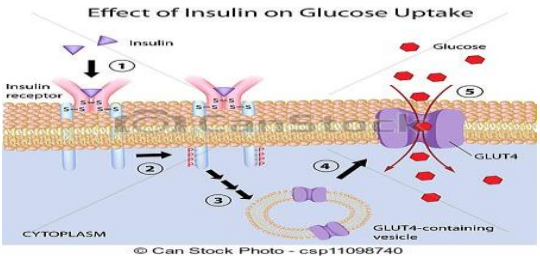
Ainsi, du glucose est stocké sous forme de glycogène dans les hépatocytes et autres cellules. De ce fait, la glycémie diminue. **L'insuline est donc une hormone hypoglycémiante.**

• En post-prandial

Il existe, dans les conditions normales, un équilibre permanent entre la mise en réserve du glucose non utilisé, et la mobilisation des réserves glycogéniques à l'occasion d'une situation demandeuse d'énergie. Lorsque la glycémie s'élève, les cellules β des îlots sécrète une hormone hypoglycémiante, **l'insuline**, qui en favorisant l'entrée du glucose dans les cellules, abaisse la glycémie. Elle permet aussi le stockage du glucose sous forme de glycogène dans le foie et le muscle, et sa transformation en triglycérides dans le tissu adipeux. Les cellules de ces tissus possèdent au niveau de leur membrane des récepteurs spécifiques sur lesquels se fixe l'insuline, déclenchant alors une cascade de phosphorylations, permettant l'activation de transporteurs du glucose (GLUT) à l'intérieur de la cellule.

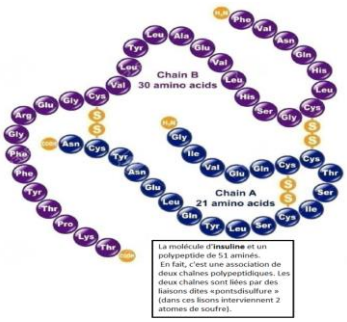






L' insuline

• Structure et biosynthèse



Cette hormone de nature protéique, est formée de 2 chaînes de polypeptides (de 21 et 30 acides aminés) reliées entre elles par des ponts disulfures. Elle est sécrétée selon le principe de la synthèse des protéines :

Formation dans le réticulum endoplasmique rugueux d' une préprohormone dépourvue d' activité ;

Dégradation en proinsuline

Captation de la proinsuline par l' appareil de Golgi avec seconde dégradation de la molécule et formation de deux molécules distinctes, insuline et peptide C ;

La molécule finale est l' insuline active, transportée dans les vésicules de sécrétion et libérée par exocytose (mécanisme calcium-dépendant).

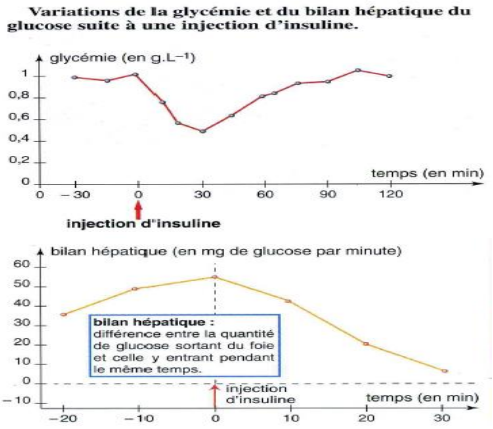
• Mode d' action de l' insuline

Une fois sécrétée, elle est libérée directement dans le sang et parvient au système porte pour atteindre le foie qui en conserve environ 50% (le reste est détruit par des enzymes), qui se lient aux récepteurs spécifiques des membranes des cellules cibles.

Cette fixation entraîne une modification de la structure quaternaire des récepteurs avec pour conséquence :

♦♦ Une augmentation de la perméabilité membranaire (suite à l' activation des transporteurs de glucose), et l' entrée du glucose dans la cellule ;

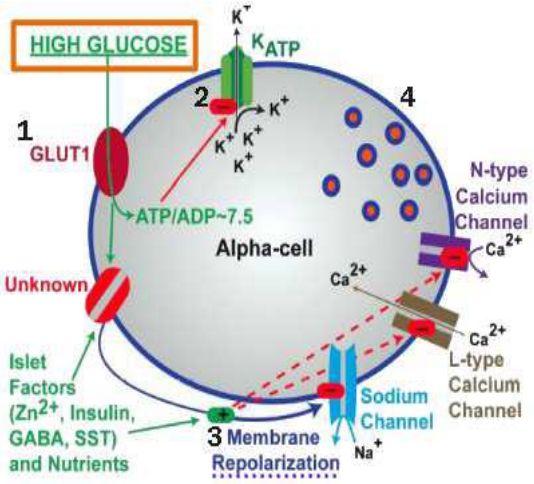
♦♦ Une activation de certaines enzymes.



L'aptitude à transporter le glucose au travers de la membrane plasmique est une caractéristique commune à quasiment tous les types de cellules, de la simple bactérie à la cellule neuronale hautement spécialisée.

Il existe 2 types de transport du glucose.

a. Transport facilité (érythrocyte ; cerveau) : Il est assuré par des membres de la famille des **transporteurs GLUT** qui forment un pore au travers de la membrane (uniport). Certains oses entrent *via* ce type de pore par **diffusion passive** (ce type de transport s'effectue dans le sens du gradient de concentration ou gradient électrochimique).



1) Absorption de glucose par le **GLUT-1 dans la cellule α**

2) **inhibition du canal K+ATP *(car le rapport [ATP]/[ADP] reste le même) et*** empêche la sortie de K+ → **<u>Depolarisation</u>**

3) **Activation** d'un intermédiaire peu connu, hypothèses :

· **insuline** ***(on pense que la c β*** *inactive la c α)*

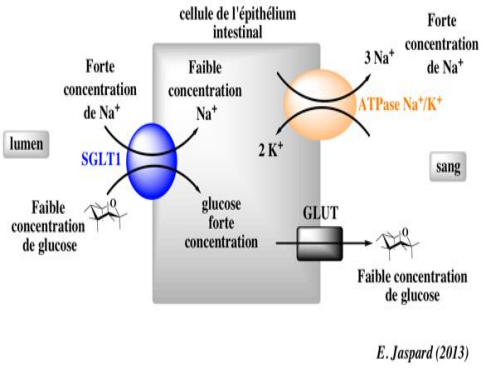
· Zn2+, *GABA, somatostatine*

→ **REPOLARISATION** de cellule α

4) Inhibition des canaux CCVD – Na+ VD – Ca2+→ **pas d'exocytose de glucagon**

b. Transport actif secondaire (tube contourné proximal; cellule entérocyte)

S'effectue *via* les symports [Na^+ / glucose] ("*Sodium/Glucose Co-Transporter*" - SGLT1 et SGLT2).



Rôle de l'insuline et transporteur GLUT4

Dans une cellule non stimulée ou quand la concentration en insuline est faible, le transporteur insulino-dépendant du glucose GLUT4 est localisé dans des vésicules de stockage des cellules **hépatiques et musculaires**

Quand le niveau **de glucose circulant est élevé**, **l'insuline** est libérée et elle facilite la mobilisation du glucose via une augmentation de la synthèse et de la translocation de GLUT4 des compartiments endosomiques vers la membrane plasmique.

En conséquence, **l'absorption du glucose augmente.**

➢ Captage du glucose par **Glut2**

➢Phosphorylation par la **glucoKinase**

➢**glycolyse-Cycle de Krebs**

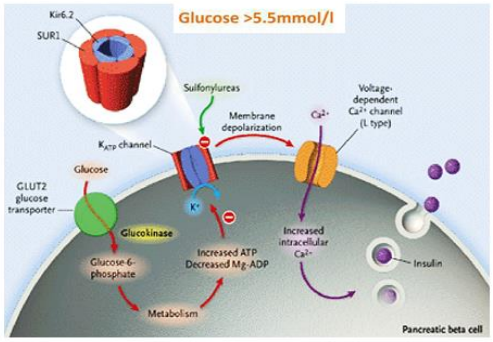
➢Augmentation du rapport **ATP/ADP**

➢Inhibition-fermeture des canaux K⁺-ATP dépendants

➢**Dépolarisation** membranaire

➢**Stimulation** des canaux Ca^{2+} voltage-dépendants

➢**Exocytose de l'Insuline.**



Glucose <5mmol/l

Lors d'une hypoglycémie ([Glucose] < 5mM)

1) Faible activité de la glucokinase

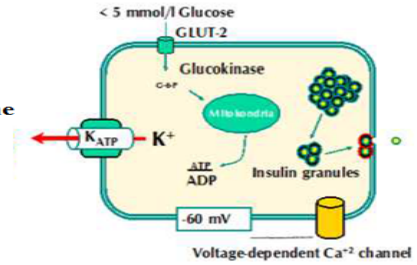
2) Faible formation d'ATP ⟶ Le rapport [ATP]/[ADP] ↓

3) Le canal K+ dépendant de l'ATP fonctionne : sortie de K+

4) HYPERPOLARISATION

5) Inhibition des CCVD (canaux calciques voltage dépendant)

6) Inhibition de la sécrétion d'insuline



La transformation de nombreuses petites molécules de **glucose** en une macromolécule de **glycogène** est catalysée par une enzyme : **la glycogène synthase**.

Cette réaction est appelée la **glycogénogénèse**.

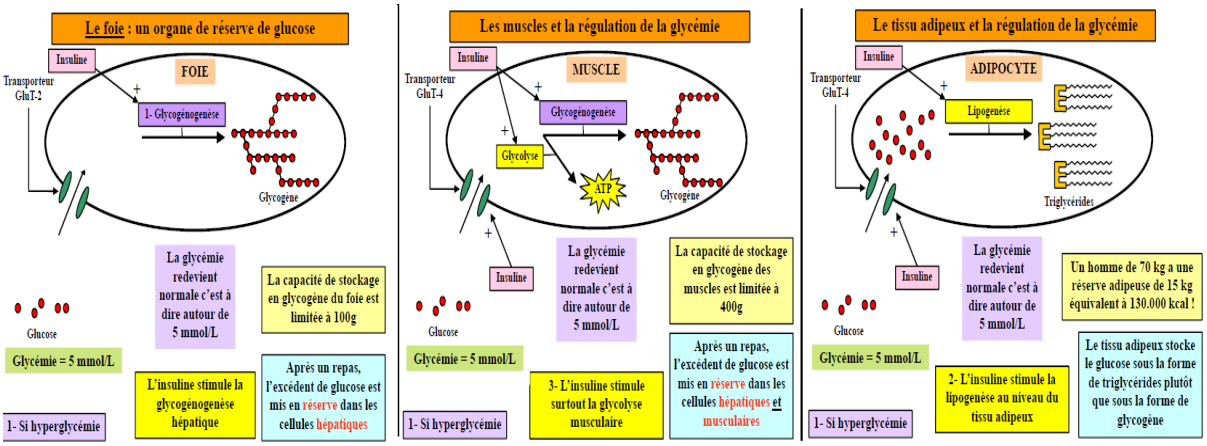
$$n\,(C_6H_{12}O_6) \xrightarrow[\text{Glycogène synthétase}]{\text{Glycogenèse}} (C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O$$

• **Effets métaboliques**

♦♦ Sur le métabolisme des glucides : L'insuline augmente l'utilisation cellulaire du glucose et favorise sa mise en réserve sous forme de glycogène. Elle va donc stimuler la glycogénogénèse. Elle inhibe par ailleurs la néoglucogénèse afin d' éviter les hyperglycémies. Elle favorise enfin la synthèse d' acides gras à partir du glucose et donc stimule la lipogénèse.

♦♦ Effets sur le métabolisme des lipides **:** Elle diminue l'utilisation des lipides (lipolyse) comme substrat énergétique, favorisant ainsi la lipogénèse. Au niveau du tissu adipeux, elle entrave l'action de la lipase responsable de la mobilisation des acides gras, favorisant ainsi le stockage des lipides sous forme de triglycérides.

♦♦ Effets sur le métabolisme des protides : Elle stimule la synthèse protéique et inhibe la protéolyse. Donc elle empêche la néoglucogénèse.



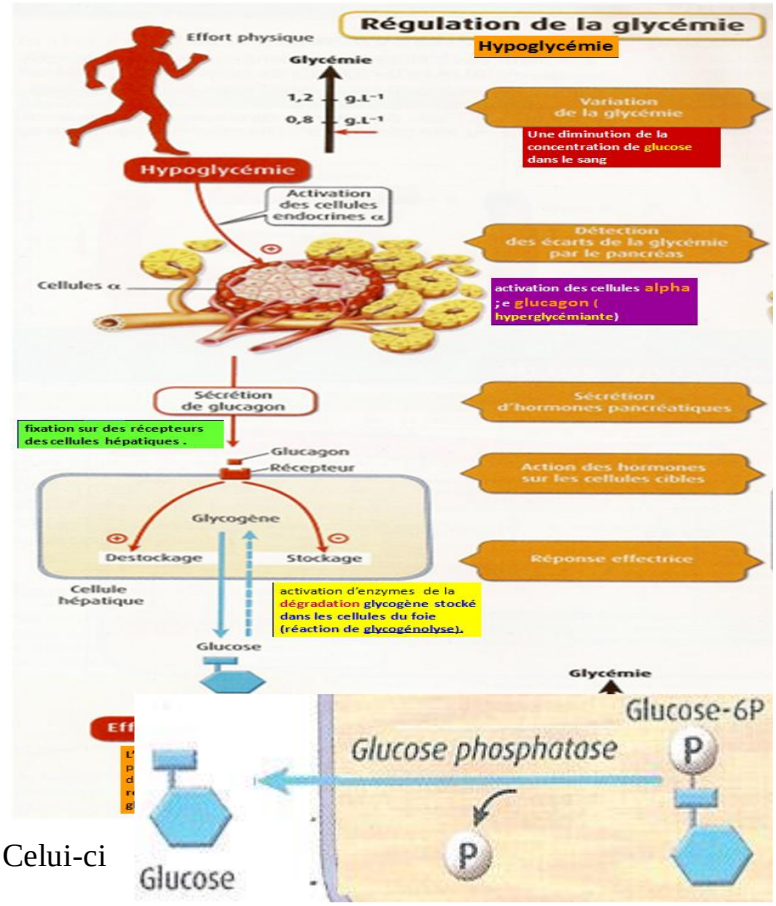
V.3.2-L'hypoglycémie

Dans le cas d'une hypoglycémie (après jeun ou effort physique), la glycémie est faible (<0,8g/L).

Peu de glucose circule dans le sang donc peu pénètre dans les cellules pancréatiques.

Le glucagon est ainsi synthétisé et libéré sans inhibition par les cellules α et la libération d'insuline n'est pas activée. (C'est un mécanisme par défaut).

Le glucagon circule dans le sang jusqu'aux cellules hépatiques sur lesquelles il se lie à des récepteurs spécifiques (pas de récepteurs sur d'autres cellules). Cette fixation a deux actions opposées:



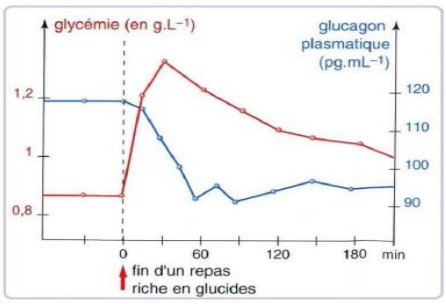
- Elle **active** la **glycogénolyse** : cette réaction est catalysée par une enzyme, **glycogène phosphorylase**, qui hydrolyse les liaisons glucidiques du glycogène et ajoute un groupement phosphate au glucose. Celui-ci est ensuite libéré après déphosphorylation.

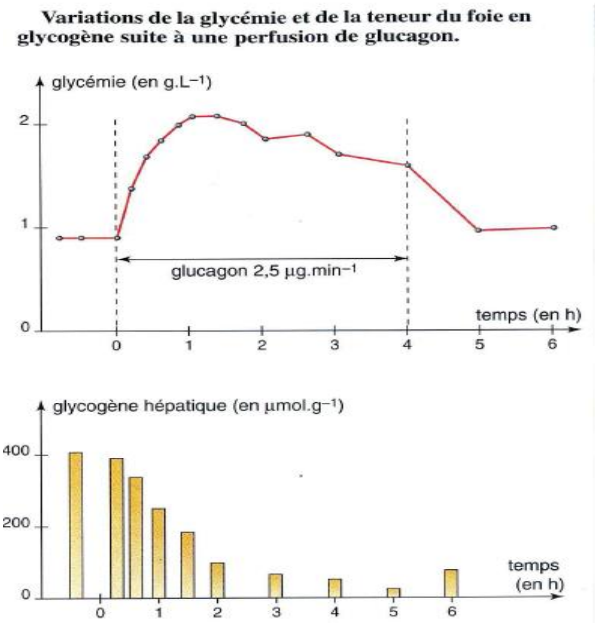
- Elle **inhibe la glycogénogénèse,** Le glucose est ensuite libéré dans le sang, la glycémie augmente.

Le glucagon est une hormone hyperglycémiante.

En période de jeûne

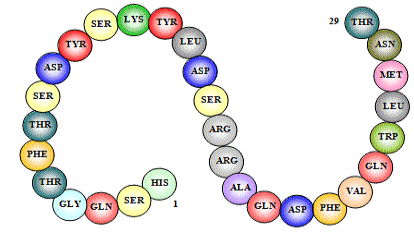
L'hypoglycémie est perçue par les **cellules α** des îlots de Langerhans qui sécrètent alors une hormone **hyperglycémiante**, le **glucagon** pour permettre la **glycogénolyse** et la libération de glucose par **le foie** d'une part, et la **lipolyse adipocytaire** d' autre part. L'hypoglycémie également détectée par l'hypothalamus, entraîne l' activation du système nerveux sympathique avec libération de noradrénaline, et celle de la médullosurrénale qui sécrète alors adrénaline et noradrénaline.





Le glucagon

C'est une hormone hyperglycémiante.



La molécule du **glucagon** est une molécule relativement simple.
un polypeptide de 29 acides aminés (une seule chaîne).

• Structure et biosynthèse

Cette hormone de nature polypeptidique (29 aides aminés) est sécrétée par les cellules α des îlots de Langerhans. Sa synthèse est réalisée selon le même principe que pour l'insuline : un ARNm code pour le pro-glucagon. Celui-ci est ensuite scindé en cas d' hypoglycémie en plusieurs peptides, dont le glucagon, forme biologiquement active.

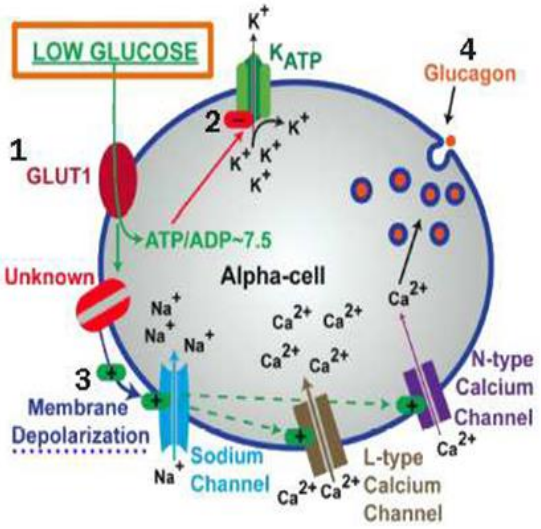
1) Absorption de glucose par GLUT-1 dans la cellule α

2) inhibition du canal K+ATP *(car le rapport [ATP]/[ADP] reste le même) et* empêche la sortie de K+ → DEPOLARISATION

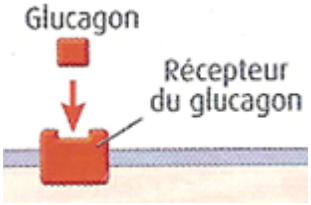
3) Activation d'un intermédiaire peu connu→ maintien de la DEPOLARISATION

4) Ouverture CCVD – ouverture canaux Na+ voltage dépendant – ouverture d'autres canaux Ca2+ *(dans cet ordre)*

→ ↑ [Ca2+ IC] Exocytose de glucagon



• Mode d'action



Une fois sécrété par les **cellules α**, le glucagon est transporté par le sang jusqu' à la circulation porte qui l'amène au foie. Il se fixe sur des récepteurs spécifiques des cellules cibles, ce qui provoque l'activation de protéines kinases AMPc dépendantes d'où cascade de phosphorylations activatrices d'enzymes.

La sécrétion de glucagon est **contrôlée par la glycémie basse**, le **taux d'insuline**, certains **acides aminés** (alanine, glycine, asparagine) et par **l'effort physique**. Sa demi-vie est courte (moins de 6 minutes) et il est détruit par les hépatocytes et les cellules rénales.

Ce sont les cellules du foie (**cellules hépatiques**) qui **libèrent du glucose** dans la circulation sanguine : Il provient essentiellement de la **glycogénolyse** :

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O \xrightarrow[\text{Glycogène phosphorylase}]{\text{Glycogénolyse}} n\,(C_6H_{12}O_6)$$

Les cellules hépatiques sont les seules cellules effectrices dans ce cas.

Les cellules musculaires dégradent le glycogène mais elles ne possèdent pas l'enzyme qui permet la libération du glucose dans le sang: le glucose sert uniquement pour couvrir leurs propres besoins.

• Effets métaboliques

Le glucagon agit tout comme l'insuline, au niveau glucidique, lipidique et protidique.

Au niveau glucidique il augmente la glycogénolyse hépatique, en stimulant la phosphorylase kinase. La glycogène synthase est inactivée ce qui inhibe la glycogénogénèse. Il inhibe également la glycolyse (inhibition de la phosphofructokinase). Il favorise la néoglucogénèse (par activation de la fructose 1-6 diphosphatase).

Au niveau lipidique, il active la triglycéride lipase (dans les hépatocytes et les adipocytes) et augmente la cétogénèse du fait de la quantité d' acides gras circulants augmentée : en effet la synthèse des triglycérides est inhibée et les acides gras ne sont pas consommés pour leur formation.

u niveau protidique, il augmente la captation des acides aminés par le foie, favorisant la néoglucogénèse à partir de ces molécules.

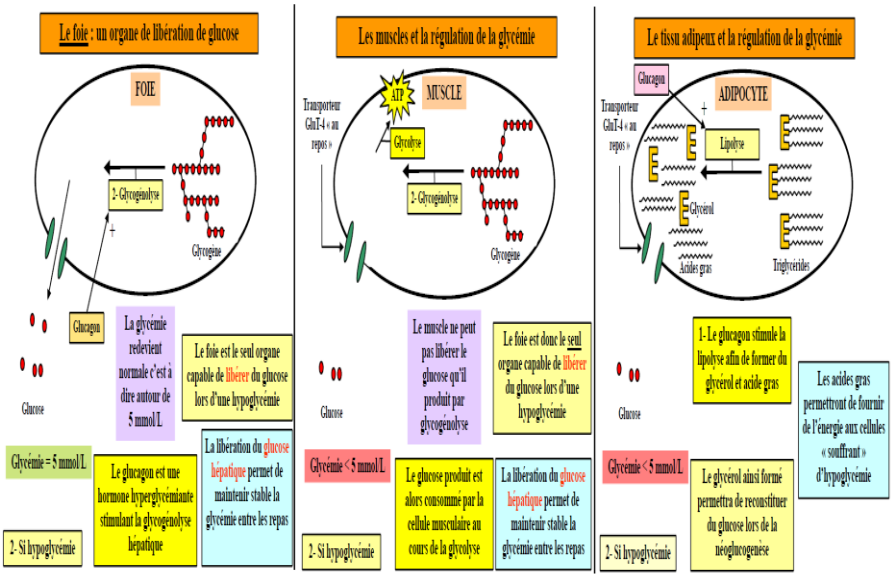
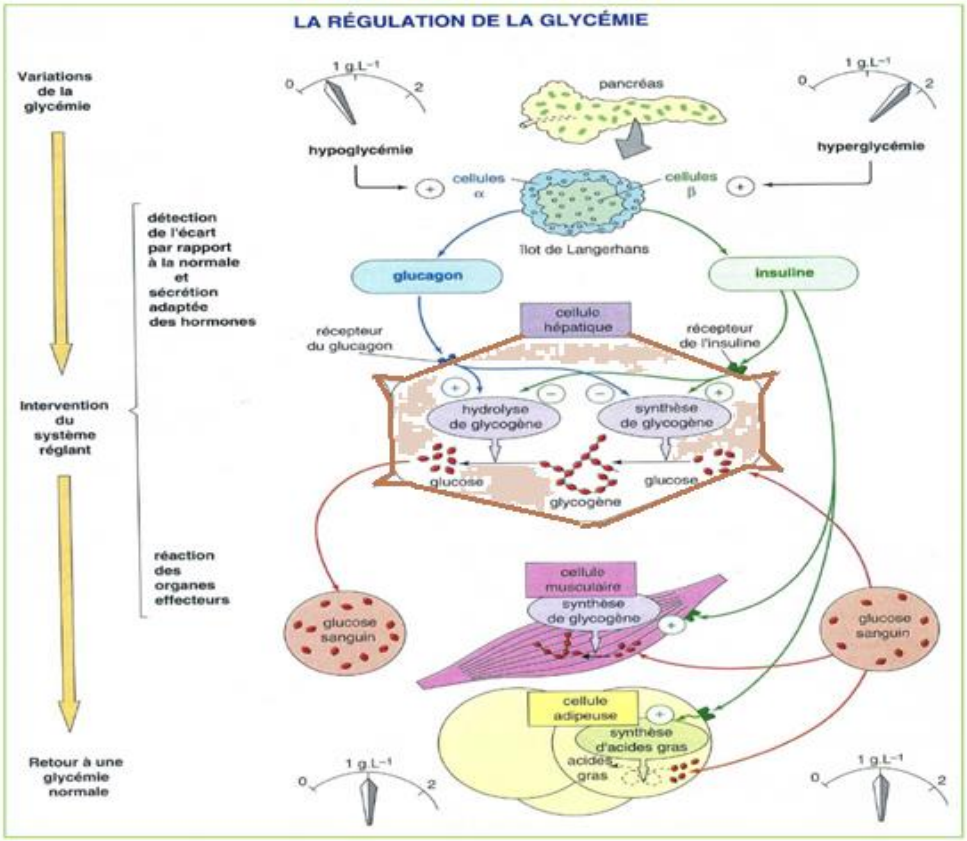


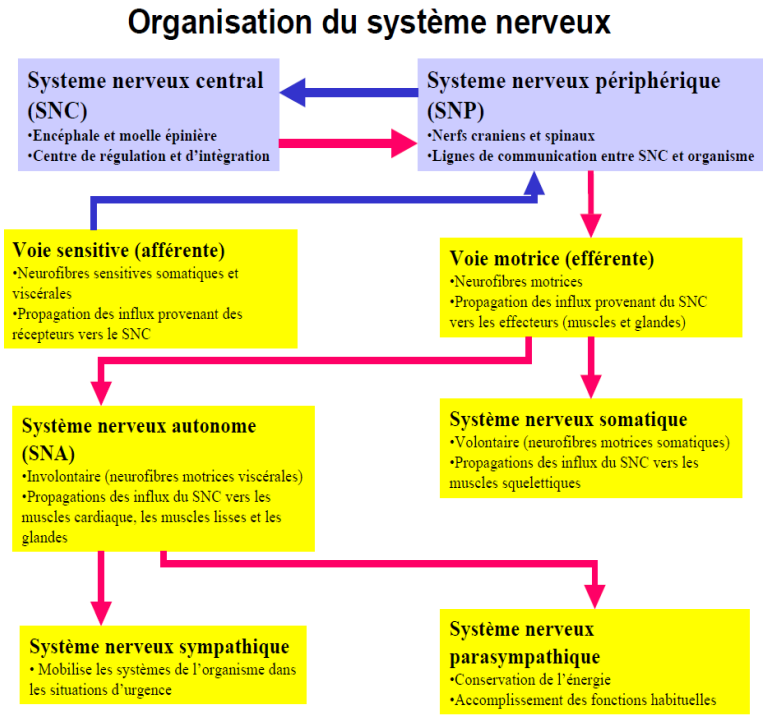
Schéma - bilan



PARTIE II : RAPPEL SUR LE SYSTEME NERVEUX

V- ORGANISATION DU SYSTEME NERVEUX

Le système nerveux est un système d'une importance capitale pour la survie de l'organisme et le maintien de son **homéostasie**. Il contrôle ou assure, de manière directe ou indirecte, toutes les **fonctions vitales** d'un organisme et tous les messages sensoriels.



Deux parties:

Le SNC : cerveau + moelle épinière

Le SNP : neurones afférents (sensoriels) et neurones effèrents :

- **groupe somatomoteur** contrôle les muscles squelettiques
- **groupe autonome** contrôle les muscles lisses et cardiaques, les glandes exocrines, certaines endocrines et certains tissus adipeux:

Système sympathique

Système parasympathique

Les cellules du système nerveux

Le neurone est l'unité fonctionnelle du système nerveux

Système nerveux composé de deux types de cellules :

Cellules nerveuses ou neurones :

Chaque neurone est formé :

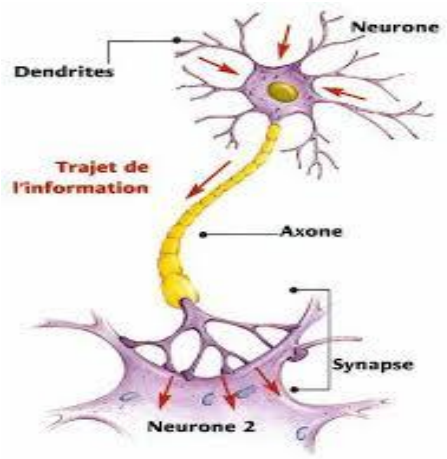
D'un corps cellulaire

De prolongements fins

Axone, unique, il peut être très long

Dendrites, ramifiées, généralement courtes.

Les neurones transportent et transmettent l'information sous forme d'impulsions électriques.



On estime à 10 milliards le nombre de neurones dans le seul cerveau humain. Le système nerveux contient environ 100 milliards de neurones

Caractéristiques des neurones :

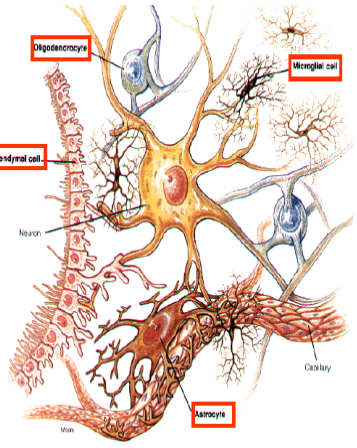
- Ne se reproduisent pas (sauf rares exceptions)
- Grand longévité
- Cellules excitables
- Métabolisme (5% du poids corporel, 20% de la consommation d'énergie)
- **Cellules gliales** (soutiennent et participent au fonctionnement du SNC)

La névroglie

Cellules gliales (soutiennent et participent au fonctionnement du SNC). Dans le système nerveux central, l'ensemble des cellules étroitement associées aux neurones constituent la névroglie.

- Taille plus petite que les neurones
- Occupent environ la moitié du volume total su SNC.
- Comblent les espaces entre les neurones.
- Assurent aux neurones un soutien structural et métabolique

- Soutien
- Régulation de la composition du milieu cérébral
- Phagocytose des cellules mortes et des corps étrangers
- Gaine de myéline (oligodendrocytes et cellules de Schwann)
- Contrairement aux neurones, ces cellules peuvent se reproduire activement.



4 types cellulaires de glie dans le SNC

•**Astrocytes** : névroglie astrocytaire

Cerveau et moelle- Maintien d'un environnement chimique adéquat pour la fonction des neurones

• **Oligodendrocytes** : oligodendroglie Autour des axones

Cellules de Schwann : névroglie périphérique

Myélinisation des axones- importance pour la propagation des PA

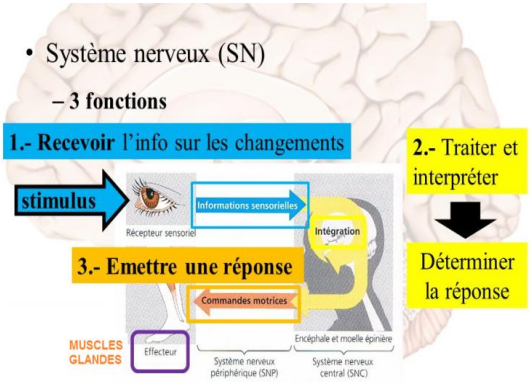
• **Microglie :** Cellules de défense : microglie

• **Névroglie épendymaire :** Cellules qui tapissent le système ventriculaire dans le SNC.

V.1-LE SYSTEME NERVEUX CENTRAL (SNC)

V.1.1- <u>ENCÉPHALE</u>

L'**encéphale** est constitué principalement :



V.1.1.1- CORTEX CÉRÉBRAL

Le cortex cérébral (ou écorce cérébrale), d'origine prosencéphalique, désigne la substance grise périphérique des hémisphères cérébraux. Il se compose de trois couches (pour l'archi- et le paléo-cortex) à six couches (pour le néocortex) renfermant différentes classes de neurones, d'interneurones et de cellules gliales. Il fournit les facultés : La perception, la communication,la mémorisation, le jugement et l'accomplissement des mouvements volontaires.

Le **cortex cérébral** est constitué de **substance grise.**

On a <u>3 types d'aires fonctionnelles</u> :

- les **aires motrices** contrôlent la *fonction motrice volontaire*,
- les **aires sensitives** permettent *les perceptions sensorielles somatiques et autonomes*,
- les **aires associatives** *intègrent* (= traitent) *les diverses informations sensorielles* (messages) afin d'envoyer des commandes motrices aux effecteurs musculaires et glandulaires.

La surface des hémisphères cérébraux est parcourue de saillies de tissu appelées *gyrus* ou *circonvolutions*.

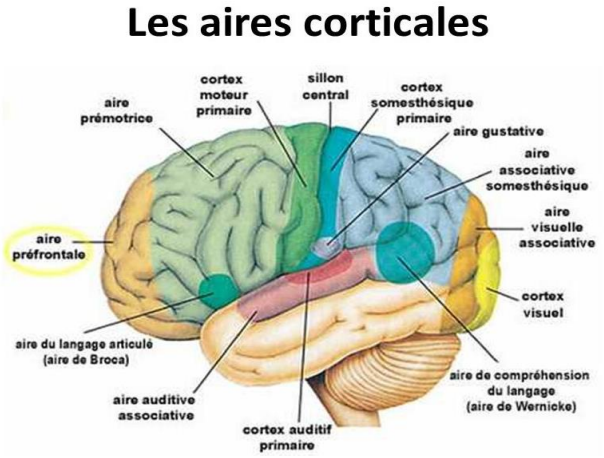
<u>2 gyrus</u> sont importants de part et d'autre de la **scissure de Rolando** ou **sillon central de l'hémisphère cérébral** :

- à l'avant, le **gyrus pré-central** ou **circonvolution frontale ascendante**,

- à l'arrière, le **gyrus post-central** ou **circonvolution pariétale ascendante**.

AIRES FONCTIONNELLES DU CORTEX CEREBRAL

1-AIRES MOTRICES



Les aires du cortex contrôlant les **fonctions motrices** sont situées dans la *partie postérieure des 2 lobes frontaux*.

1-Aire motrice primaire* ou *aire motrice somatique

Elle est située dans le **gyrus pré-central** (= **circonvolution frontale ascendante**).

Les gros neurones de ce gyrus (= *neurones pyramidaux*) contrôlent les **mouvements volontaires des muscles squelettiques**. Chaque partie du corps est projetée dans une zone du *gyrus pré-central de l'aire motrice primaire de chaque hémisphère*.

La *motricité est croisée* :
Le gyrus gauche régit les muscles situés du côté droit du corps.
Le gyrus droit régit les muscles situés du côté gauche.

2-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 (= elle est active au niveau des 2 hémisphères, mais il y a une dominance cérébrale de l'hémisphère gauche en général).

Aires sensitives

Les aires reliées à la *conscience des sensations* sont situées dans les **lobes** :

- **pariétaux** : faces latérales et supérieures du cortex,
- **temporaux** : faces latérales en dessous de la zone pariétale du cortex,
- **occipitaux** : faces postérieures à la base du cortex.

1-Aire somesthésique primaire

Elle se trouve dans le **gyrus post-central**.

Les neurones de ce gyrus permettent la **perception** des **sensations tactiles**, des **sensations thermiques** et des **sensations nociceptives** (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 stimulus (= régions du corps). 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 : La *perception des différents stimulus* est donc aussi *croisée*.

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

2-Aire pariétale postérieure

Elle est située à l'arrière de l'aire somesthésique primaire.

C'est l'aire associative tactile : sa fonction est d'*intégrer* et d'*analyser les différentes informations somesthésiques* qui sont acheminées par l'intermédiaire de l'aire somesthésique primaire.

Ces informations sont alors traduites en perceptions de taille et de texture.

(Ex. : quand une personne met la main dans la poche, l'aire pariétale postérieure "consulte" ses souvenirs d'expériences sensorielles et identifie les objets comme des clés ou des pièces de monnaie sans avoir à les regarder).

3-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*.

Aire visuelle associative : Elle entoure l'aire visuelle primaire et communique avec elle.

Son rôle est d'*interpréter les stimulus visuels d'après les expériences visuelles antérieures*.

C'est grâce à elle que *les personnes peuvent reconnaître un visage ou un objet*.

4-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* (= cochléaires) 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**, c.a.d. d'interpréter le stimulus sonore comme étant des paroles ou de la musique ou un coup de tonnerre ou un bruit, etc.

Cortex préfrontal : Il est situé dans la partie antérieure (= en avant et en bas) du **lobe frontal**.

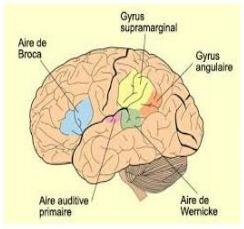
Ses rôles sont multiples et importants :

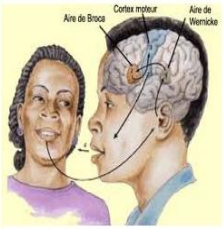
Il est relié à l'**intellect**, à la **cognition** (capacités d'**apprentissage**) et à la **personnalité**

Durant l'enfance, la *croissance du cortex préfrontal est progressive et lente*. (Les facultés qu'il contrôle se développent très progressivement chez l'enfant, en interaction avec les rétroactivations et les rétro-inhibitions provenant du milieu social).

Il intervient aussi sur l'*humeur* : il est relié au **système limbique** qui est le *siège des émotions*.

5-Aires associatives du langage





Les régions du cortex associées au langage sont situées dans les 2 hémisphères.

Aire de Wernicke : Elle est présente dans la partie postérieure du lobe temporal d'un hémisphère (= en général le gauche). Ses rôles sont :

De participer avec les aires préfrontales à la *compréhension du langage écrit et parlé*.

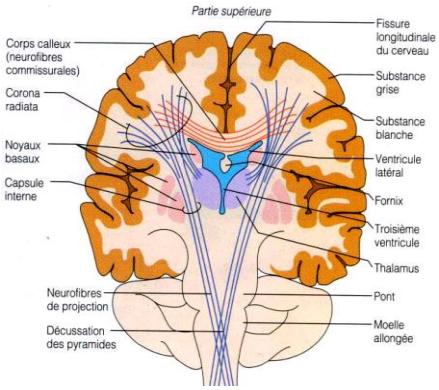
Aires du langage affectif : Elles sont situées dans l'hémisphère opposé à l'aire motrice du langage et à l'aire de Wernicke, c.a.d. en général dans l'hémisphère droit.

Leurs rôles sont de *contrôler les aspects non verbaux et émotionnels du langage* :

De faire que *le rythme, le ton de la voix ou les gestes associés expriment les émotions* pendant qu'une personne parle.

De *comprendre le contenu émotionnel de ce qui est entendu* par les gens qui écoutent la personne.

SUBSTANCE BLANCHE CÉRÉBRALE



Elle est composée surtout de *neurofibres myélinisées* regroupées en faisceaux (= les gaines de myéline sont blanches). On a <u>3 types</u> de neurofibres (axones de neurones) :

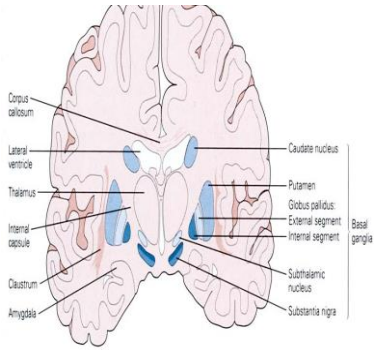
Neurofibres commissurales : Elles *relient les aires homologues des 2 hémisphères* et permettent leur coordination. Elles sont regroupées en **commissures**. La plus grosse des *commissures* est le **corps calleux**, situé au-dessus des ventricules latéraux).

Neurofibres associatives : Elles forment les **faisceaux d'association** qui *transmettent les influx nerveux à l'intérieur d'un même hémisphère*.

V.1.1.2.- DIENCÉPHALE

Il est composé des structures suivantes présentes sous les 2 hémisphères :

V.1.1.2.1- NOYAUX BASAUX



Au centre de la substance blanche cérébrale de chaque hémisphère se trouve un groupe de *noyaux sous-corticaux* :

Les **noyaux basaux** ou **noyaux gris centraux**.

Les *noyaux basaux* sont constitués d'un amas de corps cellulaires de neurones. On a principalement :

Le **noyau caudé**,

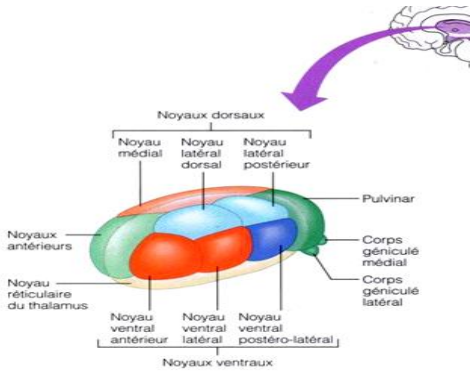
Le noyau lenticulaire (le *putamen* et le *globus pallidus)*

Le **corps strié** ou **striatum** est l'*association des noyaux lenticulaire et caudé*.

Les <u>principaux rôles</u> des **noyaux basaux** sont :

- ***contrôle*** de l'***intensité*** et de l'***arrêt précis*** des ***mouvements volontaires***,
- ***blocage*** des ***mouvements indésirables*** : *inhibition des mouvements antagonistes* ou *superflus*,
- ***coordination*** des ***mouvements*** avec la ***posture***,
- ***régulation*** du ***tonus musculaire***.

V.1.1.2.2- THALAMUS

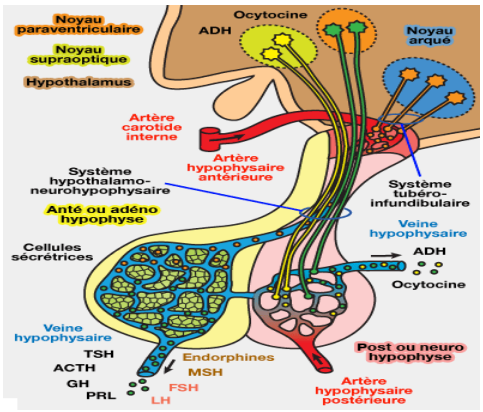


Il regroupe de *nombreux noyaux aux fonctions spécifiques*. La quasi-totalité des ***influx nerveux sensitifs*** *(= **afférents**) envoyés au cortex cérébral passent par les noyaux thalamiques*.

Le **thalamus** constitue la **porte d'entrée du cortex cérébral**. Il joue un <u>rôle</u> dans la ***sensibilité***.

V.1.1.2. 3 - HYPOTHALAMUS

L'hypothalamus est la première structure dans la gestion des besoins et des émotions. Il pilote l'hypophyse (système hormonal) et le système nerveux autonome. Il reçoit des projections du système limbique et en renvoie aussi. L'hypothalamus est constitué d'une multitude de noyaux organisés dans plusieurs régions. Il est le centre pilote du maintien de l'homéostasie (équilibre de l'organisme). Généralement, ses noyaux vont par paires impliquées dans un même comportement mais dans des sens inverses. L'hypothalamus contient deux types de cellules : les neurones (connectés avec le système nerveux autonome et les structures du système limbique ; actions rapides) et les cellules neurosécrétrices (régulent les sécrétions de l'hypophyse qui va elle même stimuler d'autres glandes ; action plutôt lente). L'hypothalamus exerce donc son action par deux voies : neuronale (immédiate) et humorale (plus lente).



Constitué de cellules neurosectrétoires regroupés en deux systèmes :

Système Magnocellulaire: N. supra-otique et N. para-ventriculaire sécrètent l'ocytocine et l'ADH.

Système Parvo-cellulaire: Plusieurs noyaux : N. Arqué, les noyaux de l'aire pré-optique

L'**hypothalamus** *contrôle les* **fonctions des centres autonomes du SNA** qui sont situés dans le **tronc cérébral** et la **moelle épinière**

Régulation des réactions émotionnelles et du comportement

Il contient les noyaux associés à la **perception** du *plaisir*, de la *peur*, de la *colère* ainsi que les noyaux reliés aux *rythmes* et aux *pulsions biologiques* (ex. : la pulsion sexuelle).

Il constitue le centre du **système limbique** (= **partie émotionnelle du cerveau**).

Régulation de la température corporelle

L'**hypothalamus** contient le **thermostat** de l'organisme et maintient une température corporelle (du milieu interne) constante aux environs de 37 °C.

Régulation de l'apport alimentaire

L'**hypothalamus** régit l'apport alimentaire en agissant sur la **sensation de faim et de satiété**.

Régulation de l'équilibre hydrique et de la soif

Les **osmorécepteurs** sensibles aux *variations de la concentration de l'ion Na^+ dans la sang* (= *natrémie*). Lorsque la *natrémie augmente*, les *osmorécepteurs* stimulent les neurones hypothalamiques du *centre de la soif* et sécrétion d'ADH.

Régulation du cycle veille-sommeil

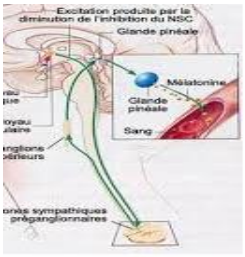
L'**hypothalamus** participe à la régulation du **cycle veille-sommeil** :

Son **noyau supra-chiasmatique** qui est l'*horloge biologique de l'organisme*, règle le cycle du sommeil en réponse aux informations relatives à la clarté ou à l'obscurité (voies visuelles).

Régulation du fonctionnement endocrinien

L'**hypothalamus** est le **centre de contrôle du système endocrinien** :

Il régit la sécrétion des hormones par l'***adénohypophyse*** en produisant des **hormones de libération.**
Ses noyaux supra-optiques (= ***lobe postérieur***) produisent l'**ADH** (= **hormone antidiurétique**).
Ses noyaux para-ventriculaires (= ***lobe postérieur***) produisent l'**ocytocine**.

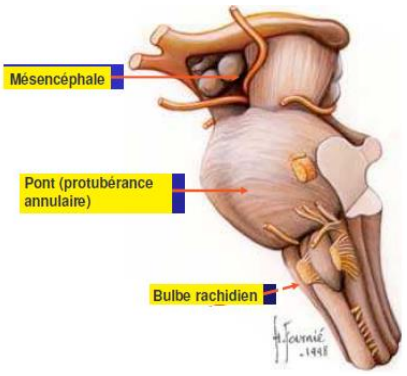


V.1.1.2.4- EPITHALAMUS

C'est la *partie postérieure du diencéphale*. Il contient la **glande pinéale**.

Celle-ci sécrète l'hormone **mélatonine** qui en association avec les **noyaux hypothalamiques** participe à la *régulation du cycle veille - sommeil* et *de l'humeur*.

V.1.2- TRONC CÉRÉBRAL



Il est composé de haut en bas :
- du **mésencéphale**,
- du **pont** (= **protubérance annulaire**),
- du **bulbe rachidien**.

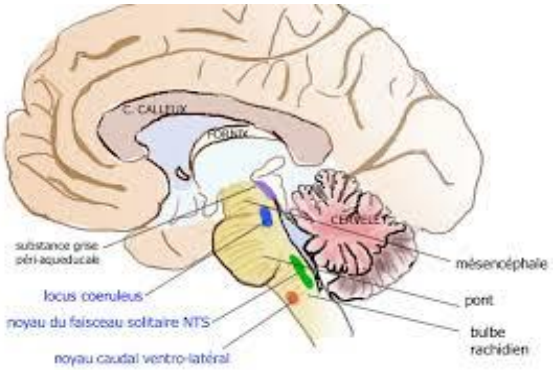
Les centres du tronc cérébral produisent les ***comportements automatiques*** nécessaires à la ***survie***.

V.1.2.1- MÉSENCÉPHALE

On trouve **<u>plusieurs noyaux</u>** :
Les **noyaux** des **nerfs crâniens** : **oculo-moteurs (III)** et **trochléaires (IV)**.
Les **colliculus** (= **tubercules quadrijumeaux**) :
Les **colliculus supérieurs** commandent les ***réflexes visuels* :**
Ils coordonnent les mouvements (= involontaires) de la tête et des yeux quand nous détectons le déplacement inattendu d'un objet.
Les **colliculus inférieurs** :
Relient les récepteurs auditifs de l'oreille et l'aire auditive du cortex.
Contrôlent les *réponses réflexes au son* (déplacement involontaire de la tête en direction d'un bruit inattendu).
La **substance noire** riche en mélanine dont les neurones libèrent surtout de la *dopamine*.
Elle est reliée aux noyaux basaux des hémisphères cérébraux.
(La maladie de Parkinson est provoquée par la dégénérescence des neurones de la substance noire les noyaux basaux approvisionnés en dopamine et qui ne le sont plus deviennent hyperactifs).

V.1.2.2- PONT (= PROTUBERANCE ANNULAIRE)

Contient les **noyaux** des **nerfs crâniens** :
- **nerfs trijumeaux (V)**,
- **nerfs abducens (VI)**,
- **nerfs faciaux (VII)**.



V.1.2.3- BULBE RACHIDIEN

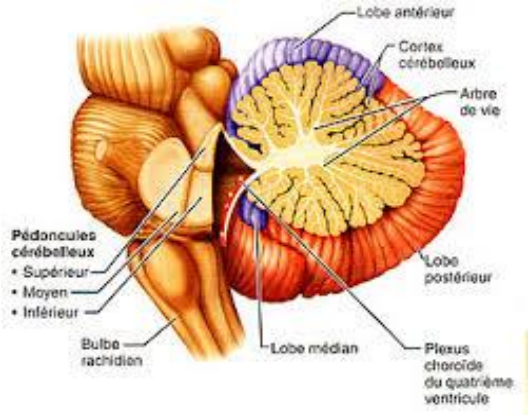
C'est la partie inférieure du tronc cérébral.
Il est relié à la moelle épinière.
Contient les **noyaux** des **nerfs crâniens** :

- **nerfs hypoglosses (XII)**,
- **nerfs glosso-pharyngiens (IX)**,
- **nerfs vagues (X)**,
- **nerfs accessoires (XI)** en partie.

Rôle principal du **bulbe rachidien** :
En interaction avec l'**hypothalamus**, **il** participe au **maintien de l'homéostasie**.
Il regroupe les *centres réflexes autonomes* suivants :(Centre cardiovasculaire; Centres respiratoires)

- Autres centres : Contrôlent le **vomissement**, la **déglutition**, la **salivation**, la **toux** et l'**éternuement**.

V.1.3- CERVELET



Il est situé à l'*arrière* du **pont** et du **bulbe rachidien**.
Il est séparé des *lobes occipitaux* des **hémisphères cérébraux** par la *fissure transverse* du cerveau.

V.1.3.1- Fonctionnement du Cervelet

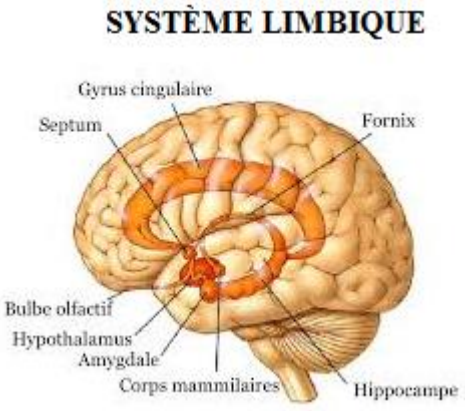
Il synchronise les contractions des muscles squelettiques de manière à produire des mouvements coordonnés, comme ceux qui sont accomplis pour conduire une voiture, dactylographier un texte et jouer d'un instrument de musique.

En collaboration avec les **noyaux gris centraux**, les <u>principaux rôles</u> du **cervelet** sont :
- **contrôle** de l'**intensité** et de l'**arrêt précis** des **mouvements volontaires**,
- **blocage** des **mouvements indésirables** : inhibition des mouvements antagonistes ou superflus,
- **coordination** des **mouvements** avec la **posture**,
- **régulation** du **tonus musculaire**.

V.1.4- SYSTÈMES DE L'ENCÉPHALE

Ce sont des *réseaux de* **neurones** *et de* **noyaux** *qui participent à la même tâche* alors qu'ils sont *présents dans plusieurs parties de l'***encéphale**. On trouve <u>2 systèmes</u> dans l'encéphale :

V.1.4.1- SYSTÈME LIMBIQUE



Il est situé sur la face médiane des hémisphères cérébraux et dans le diencéphale.
Il encercle le **sommet** du **tronc cérébral**.

<u>Rôles du *système limbique*</u> :
C'est le **cerveau émotionnel** ou **affectif**.
Il intervient aussi dans la *mémorisation d'informations*.
(= L'**hippocampe** et le **corps amygdaloïde** participent à la conversion de données nouvelles en souvenirs durables).

V.1.4.2- FORMATION RÉTICULAIRE

Elle s'étend à travers le **bulbe rachidien**, le **pont** et le **mésencéphale**.

Rôles de la **formation réticulaire** :

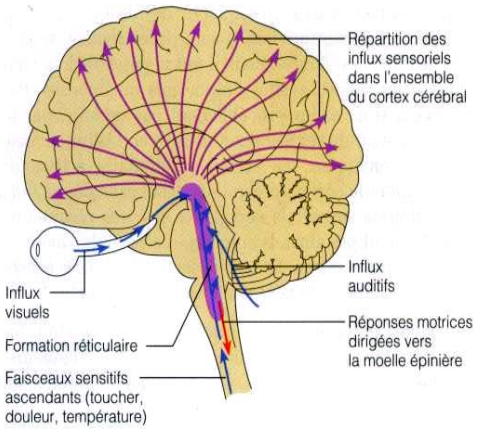
Elle assure la **vigilance du cortex cérébral** et **filtre les stimuli répétitifs** (= **système réticulaire activateur ascendant**) :

Certains neurones réticulaires envoient de manière continue des influx nerveux au cortex cérébral.

Maintien du cortex cérébral en état de veille (Le système réticulaire ascendant est inactif durant le sommeil profond, l'anesthésie générale ou le coma dû à une lésion de cette région).

Le système réticulaire *amortit les signaux répétitifs, familiers ou faibles*, mais il *laisse parvenir à la conscience les influx inhabituels, importants ou intenses*. (Ex. : on n'est pas vraiment dérangé par le ronronnement du réfrigérateur, mais quand celui-ci cesse, on le remarque).

Le *système réticulaire activateur ascendant* et le cortex cérébral négligent environ 99 % des stimuli sensoriels enregistrés par les récepteurs.

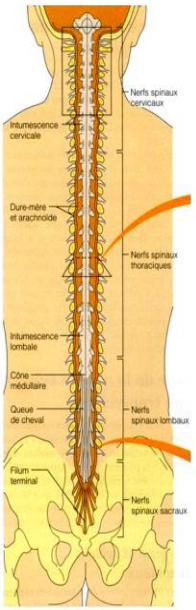


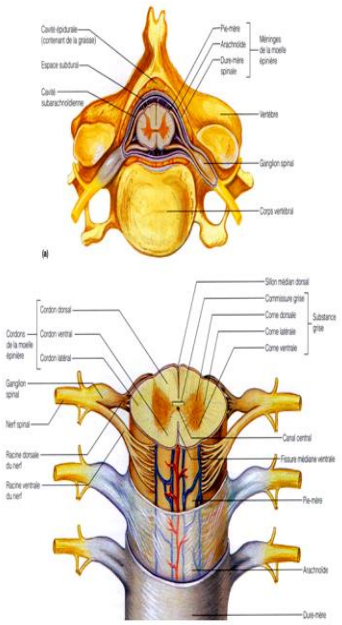
Elle participe à la **régulation de l'activité des muscles squelettiques** (partie inférieure de la formation réticulée) : certains noyaux moteurs contribuent à régir les *muscles squelettiques* des membres.

V.1.2- MOELLE ÉPINIÈRE

V.1.2.1- *ANATOMIE LA MOELLE ÉPINIÈRE*

Elle est présente dans la colonne vertébrale et s'étend de l'extrémité inférieure du bulbe rachidien jusqu'à la 1ère ou la 2ème vertèbre lombale (= L1 ou L2).





31 paires de nerfs rachidiens (= **nerfs spinaux**) naissent dans la moelle épinière et à partir de ***2 racines*** (= ***ventrale*** et ***dorsale***) émergent de la colonne vertébrale (= par les foramens intervertébraux de la colonne vertébrale) pour rejoindre les parties du corps qu'elles desservent.

La **moelle épinière** est segmentée : *chaque segment médullaire est rattaché à une paire de nerfs rachidiens.*

Dans sa partie inférieure, la moelle épinière se termine par le **cône médullaire** :

L'ensemble des racines situées à l'extrémité inférieure du canal vertébral, *en dessous du cône médullaire* est appelé **queue de cheval**.

(A ce niveau, les ***racines*** des **nerfs spinaux lombaux** et **sacraux** s'infléchissent et parcourent une certaine distance dans le canal vertébral avant d'en sortir par l'intermédiaire de leur foramen intervertébral. La **ponction lombaire** ou prélèvement de **LCR** se fait dans la ***cavité sous-arachnoïdienne*** de la **région lombaire** à partir de **L3** car on ne peut alors atteindre la moelle épinière à ce niveau).

V.1.2.2- ANATOMIE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE EN COUPE TRANSVERSALE

La **substance grise** est enveloppée par la **substance blanche**.

V.1.2.2.a-SUBSTANCE GRISE ET RACINES DES NERFS SPINAUX

En coupe transversale, elle a une forme de papillon. On distingue :

2 projections postérieures: les **cornes dorsales** ou **postérieures**.

2 projections antérieures: les **cornes ventrales** ou **antérieures**.

2 projections sur les côtés : les **cornes latérales** dans les segments thoraciques et lombaux supérieurs de la moelle épinière.

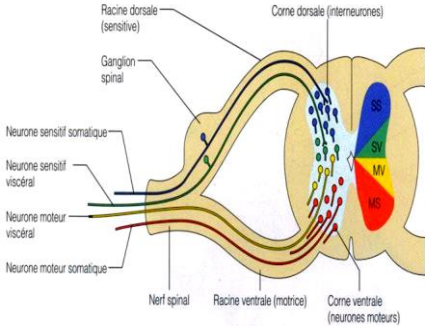
La substance grise de la moelle épinière peut être subdivisée selon le rôle joué par ses neurones dans l'**innervation des régions somatiques et viscérales** de l'organisme :

La **zone sensitive somatique** : **SS**

La **zone sensitive viscérale** (autonome) : **SV**

La **zone motrice viscérale** : **MV**

La **zone motrice somatique** : **MS**



V.1.2.2 b-SUBSTANCE BLANCHE

Elle est constituée surtout d'**axones myélinisés** nombreux (= qui donnent la couleur blanche à cette région de la moelle épinière).

En coupe transversale, on distingue :

- le **cordon dorsal**,
- le **cordon latéral**,
- le **cordon ventral**,

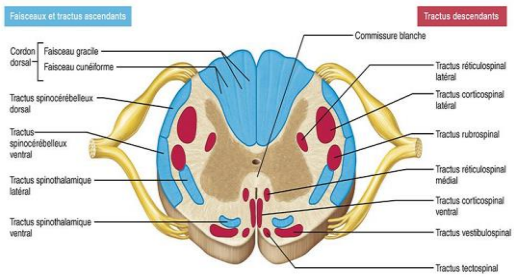


Figure Coupe transversale montrant les principaux faisceaux et tractus ascendants (sensitifs) et tractus descendants (moteurs) de la moelle épinière.

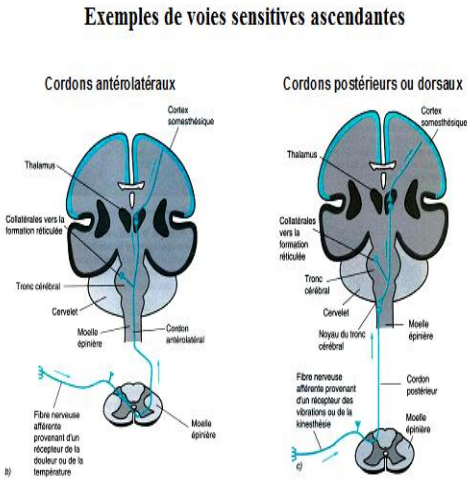
Dans la substance blanche, de part et d'autre de la moelle épinière.

Chaque cordon contient quelques **faisceaux** et **tractus**.

Chacun de ceux-ci est composé d'**axones** (= **neurofibres**) ayant la *même destination* et une *fonction identique*.

En général, les noms des faisceaux et tractus indiquent leur origine et leur destination.

Les *faisceaux et tractus de la moelle épinière* appartiennent à des *voies multineuronales* qui relient, *dans les 2 sens*, l'encéphale à la périphérie du corps (= récepteurs et muscles).



Les **voies ascendantes et descendantes** présentent les caractéristiques générales suivantes :

Les neurofibres de la plupart des voies **passent d'un côté du SNC à l'autre** (= croisent la ligne médiane) *en un point spécifique* de leur trajectoire (= ***décussation***).

La *relation entre la périphérie et l'encéphale se fait généralement par 2 ou 3 neurones* qui établissent des jonctions synaptiques.

Tous les *faisceaux et tractus vont* **par paires** :

Un membre de la paire se trouve dans un **cordon** situé du côté gauche de la moelle épinière.

L'autre membre se trouve dans un **cordon** situé du côté droit de la moelle épinière.

Faisceaux et tractus ascendants (sensitifs)

Les **faisceaux et tractus ascendants** transportent les **influx sensitifs vers l'encéphale** au moyen de *3 neurones consécutifs* unis par des synapses :

- neurone de 1er ordre,
- neurone de 2ème ordre,
- neurone de 3ème ordre.

Tractus descendants (moteurs)

2 groupes de tractus moteurs transportent les **influx efférents moteurs des aires motrices du cerveau à la moelle épinière** :

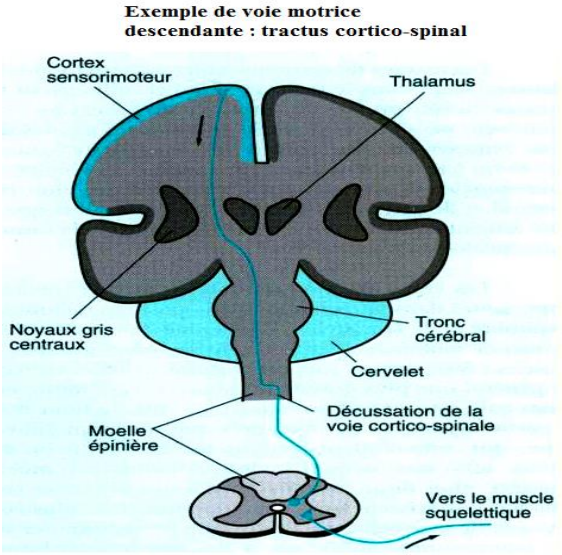
Les *tractus de la voie motrice principale*,

Les *tractus de la voie motrice secondaire*.

Les voies motrices sont composées de 2 neurones :

Le **neurone moteur supérieur**.

Le **neurone moteur inférieur**.



Les **tractus de la voie motrice principale** (**faisceaux pyramidaux**) acheminent les **commandes motrices** permettant la *contraction des muscles squelettiques* et la *régulation des mouvements volontaires* :

Ce sont les **tractus corticaux-spinaux**.

Ils conduisent les influx nerveux vers les **muscles squelettiques des membres inférieurs et supérieurs**.

Les **tractus de la voie motrice secondaire** (**faisceaux extrapyramidaux**) *acheminent les influx nerveux* vers les muscles squelettiques *à partir de plusieurs noyaux moteurs du tronc cérébral*.

Principaux rôles des *tractus descendants de la voie motrice secondaire* :

Contrôlent la *contraction semi-volontaire* ou *réflexe* des muscles de la tête et du tronc qui permet le maintien de l'équilibre et de la posture.

Contrôlent les mouvements de la tête, du cou et des yeux permettant de suivre les objets placés dans le champ visuel (*réflexes visuels* nécessaires à la *survie*).

V.2-LE SYSTEME NERVEUX PERIPHERIQUE (SNP)

Le système nerveux périphérique désigne les parties du système nerveux qui sont à l'extérieur du système nerveux central, c'est-à-dire celles qui sont à l'extérieur du cerveau et de la moelle épinière.

Ainsi, le système nerveux périphérique comprend des nerfs et des ganglions :

Les ganglions

Un ganglion nerveux est un amas de cellules nerveuses (essentiellement des corps cellulaires) situés en dehors du névraxe.

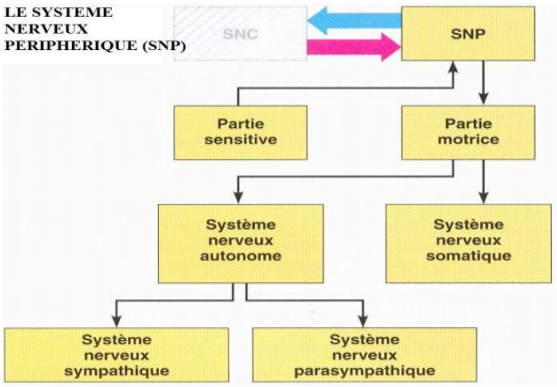
Les nerfs qui relient la tête, le visage, les yeux, le nez, les muscles et les oreilles au cerveau (nerfs crâniens)

Les nerfs qui relient la moelle épinière au reste de l'organisme, comprenant les 31 paires de nerfs spinaux

Deux sous –systèmes assurant des fonctions bien distinctes :

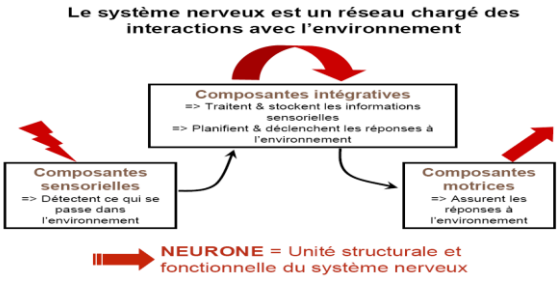
Le système nerveux somatique (ou volontaire)

Le système nerveux végétatif (ou autonome)

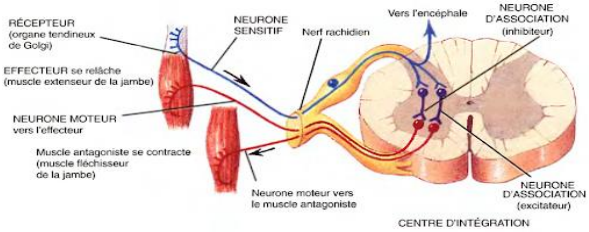


V.2.1-Le système somatique

Le système nerveux somatique (ou volontaire) : SN « cérébro-spinal » ou SN de la vie de relation. Le système nerveux somatique est la partie du système nerveux périphérique qui commande les mouvements et la position du corps et permet de percevoir par la peau diverses sensations (toucher, chaleur, douleur) et de découvrir par les autres organes des sens le milieu environnant (vision, audition, olfaction).



L'organisme communique avec son environnement par l'intermédiaire de son système nerveux somatique :



La partie sensorielle reçoit et décode l'information en provenance de l'environnement ;

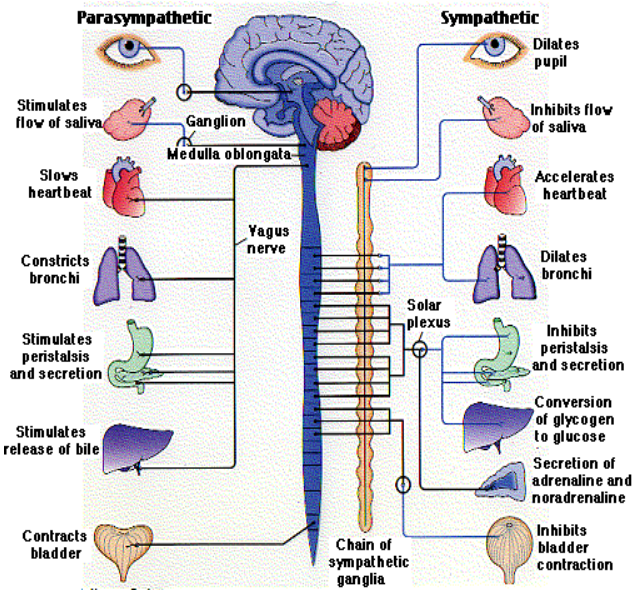
La partie motrice assure les possibilités de déplacement dans l'environnement ou d'action sur lui. Les phénomènes qui occupent le système nerveux somatique sont, pour la plupart, soumis au contrôle conscient et volontaire.

Il innerve les muscles striés squelettiques dont l'excitation se traduit par une contraction.

V.2.2- SISTEME NERVEUX ATONOME

V.2.2.1. Définition

Le système nerveux autonome (SNA) ou Végétatif(ou involontaire) dénomination donnée par Langley au début du 20ème siècle. Il intervient de manière assez différente du système somatique. Il est composé par l'ensemble des neurones qui innervent de toutes les formations effectrices de l'être vivant, coeur - poumon - vaisseaux - muscles lisses - oeil - glandes endocrines etc. Il règle la circulation, la digestion, le métabolisme, les sécrétions, la température du corps, la reproduction et il coordonne toutes ces fonctions vitales. Permet le maintien de l'homéostasie



« Le système nerveux végétatif ou autonome contrôle le « monde intérieur » (en association avec le système endocrinien). Son activité est indépendante du contrôle volontaire et fonctionne de façon

autonome. Il accorde les fonctions des organes internes aux besoins de l'organisme. Le contrôle par voie nerveuse permet une adaptation très rapide tandis que le système endocrinien règle l'état des fonctions à long terme. »

Pratiquement, il contrôle:

La contraction/relaxation des muscles lisses (vaisseaux et viscères)

Les sécrétions exocrines (endocrines)

L'activité cardiaque

Le métabolisme énergétique

Le système immunitaire

V.2.2.2. ANATOMIE DU SYSTÈME NERVEUX AUTONOME

D'un point de vue fonctionnel, on peut reconnaître deux sous-systèmes dans le SN. Autonome :

- **Système nerveux parasympathique**
- **Système nerveux (ortho) sympathique**

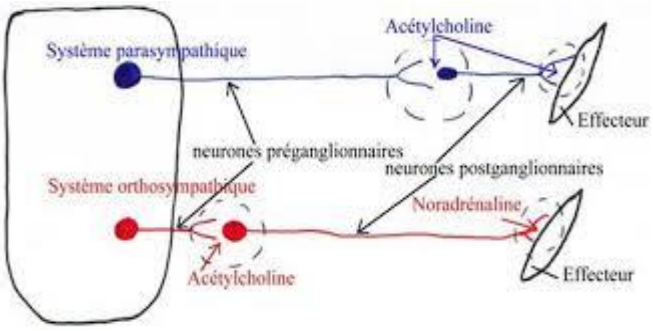
Les systèmes nerveux sympathique et parasympathique se distinguent par :

Leurs lieux d'origine :

Ainsi, sur le plan anatomique, on remarque que les corps cellulaires du **neurone pré-ganglionnaire *sympathique*** sont localisés dans la partie intermédio-latérale de la **moelle épinière**, en particulier dans les segments **C8D1 à L1 L2,** on parle de localisation **Thoraco-lombaire**. Les relais **post-ganglionnaires** s'effectuent au niveau des **ganglions sympathiques**, situés à proximité de la moelle épinière et dont l'ensemble forme la chaîne de ganglions sympathiques. Ces relais se situent à distance de l'organe innervé et font donc appel à des neurones de grande longueur.

Dans le système ***parasympathique***, le corps cellulaire du neurone **pré-ganglionnaire** se situe dans le **tronc cérébral** et au niveau des segments **S2 à S4.** On parle de localisation ***Cranio-Sacrée***. Les neurones **pré-ganglionaires** sont de grande taille et font relais avec les neurones **post-ganglionnaires**, situés à proximité de **l'organe** innervé.

<u>La longueur de leur neurofibres</u> :



Système nerveux parasympathique :

- axones **pré-ganglionnaires longs**,
- axones **post-ganglionnaires courts**.

Système nerveux sympathique :

- axones **pré-ganglionnaires courts**,
- axones **post-ganglionnaires longs.**

La situation de leurs ganglions :

Les ganglions autonomes parasympathiques sont situés **dans les organes viscéraux** (effecteurs) ou dans leur proximité immédiate.

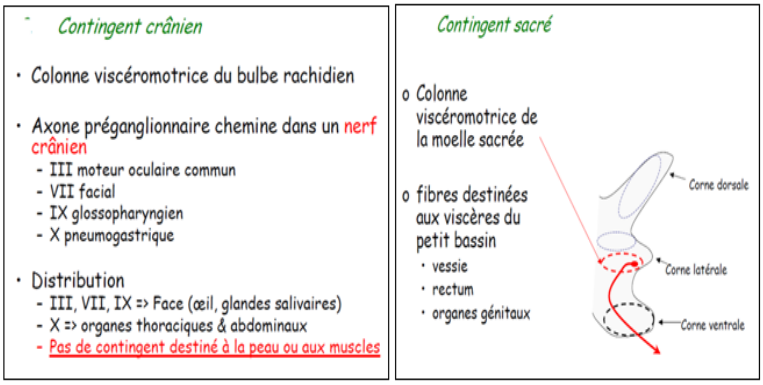
Les ganglions autonomes sympathiques se trouvent **à proximité de la moelle épinière**.

A - SYSTÈME NERVEUX PARASYMPATHIQUE (CRANIO-SACRAL)

1-Neurofibres d'origine crânienne

- Nerfs oculo-moteurs (III)
- Nerfs faciaux (VII)
- Nerfs glosso-pharyngiens (IX)
- Nerfs vagues (X)

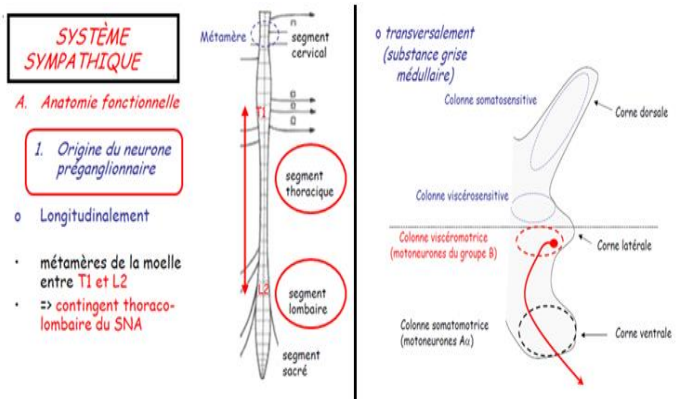
2-Neurofibres d'origine sacrale



B- SYSTÈME NERVEUX SYMPATHIQUE (THORACO-LOMBAL)

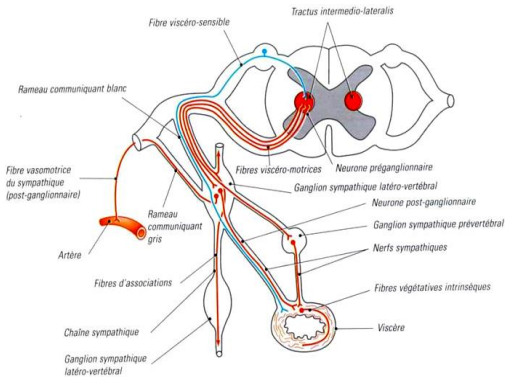
On trouve <u>23 ganglions autonomes sympathiques</u> dans chacun des **2 troncs sympathiques** présents de part et d'autre de la colonne vertébrale :

- **3** ganglions sympathiques **cervicaux**,
- **11** ganglions sympathiques **thoraciques**,
- **4** ganglions sympathiques **lombaires**,
- **4** ganglions sympathiques **sacraux**,
- **1** ganglion sympathique **coccygien**.



Quand un *axone pré-ganglionnaire* a atteint un *ganglion d'un tronc sympathique*, il emprunte l'une des <u>3 voies suivantes</u> :

- Voies avec synapses dans un ganglion du tronc sympathique
- Voies avec synapses dans un ganglion pre-vertebral
- Voies avec synapses dans la medulla surrénale



V.2.2.3-ARCS RÉFLEXES VISCÉRAUX

Les **réflexes autonomes** (= **arcs réflexes viscéraux**) sont à l'origine des mécanismes de régulation physiologique reliés au ***maintien de l'homéostasie***.

Les **arcs réflexes viscéraux** comprennent les *mêmes éléments que les arcs réflexes somatiques* :

Un **récepteur** qui capte les changements chimiques, l'étirement et l'irritation des viscères (stimulus souvent inconscients).

<u>a / Un neurone sensitif viscéral</u> : Il conduit les influx sensitifs provenant d'un viscère (muscle lisse ou glande).

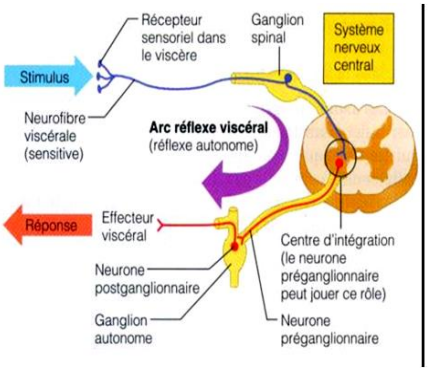
<u>b/ Un centre d'intégration</u> situé dans la *substance* ***grise de la moelle épinière***.

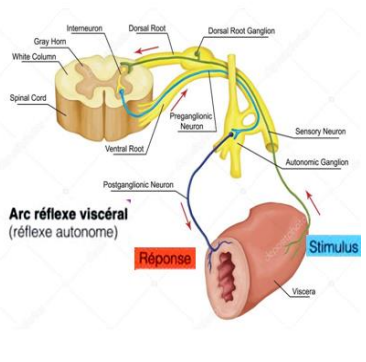
<u>c/ 2 neurones moteurs :</u>

- **1 neurone pré-ganglionnaire**,
- **1 neurone post-ganglionnaire**.

d/ Un effecteur viscéral : muscle lisse ou glande.

*NB : La **douleur projetée** prend **naissance dans les viscères** mais est **perçue en périphérie du corps**.*





Explication du phénomène :

*Les neurofibres afférentes nociceptives **viscérales** empruntent les mêmes voies que les neurofibres nociceptives **somatiques**.*

(Ex. : une crise cardiaque peut produire une douleur qui irradie jusque dans la partie supérieure de la paroi thoracique et dans le bras gauche.

Le cœur et les régions de projection des douleurs du myocarde sont innervés par les mêmes segments de la moelle épinière (= T_1 à T_5) ⇒ les aires somesthésiques du cerveau déduisent que les influx douloureux proviennent de la voie somatique qui est la plus utilisée).

V.2.2.4-Les principales voies nerveuses périphériques

a / Les voies afférentes (ou de la sensibilité végétative)

Les **récepteurs** sont situés dans la paroi des organes. Ils enregistrent l'état fonctionnel de ces organes ou la composition du milieu intérieur.

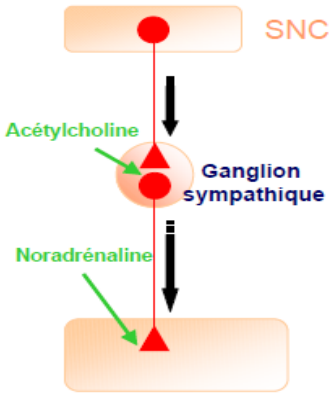
Le **corps cellulaire** du neurone sensitif est situé dans un **ganglion sensitif**.

Il est relié au récepteur périphérique par des dendrites et au centre nerveux du tronc cérébral ou de la moelle épinière par un axone.

b/ Les voies efférentes du système nerveux autonome

1. Le système (ortho) sympathique

Les centres orthosympathiques sont situés au niveau de la moelle épinière entre le segment thoracique(D1) et le 3e segment lombaire(L2).



Les voies nerveuses (ortho) sympathiques sont composées de deux neurones successifs :

- **le premier neurone cholinergique** Les corps cellulaires des neurones pré-ganglionnaires sont localisés dans la corne latérale de la moelle épinière (couche VII de Rexed). Les axones empreintes la racine ventrale et se prolongent jusqu'aux ganglions de la chaine para-vertébrale par le rameau communicant blanc. Ils font relais avec les neurones post ganglionnaires qui se prolongent, par le rameau communicant gris, jusqu'aux tissus cibles.

- **Le second neurone adrénergique** dont le corps cellulaire se situe dans les ganglions sympathiques qui constituent les relais entre les deux neurones

Certains neurones pré ganglionnaires se terminent dans un ganglion n'appartenant pas à la chaine para-vertébrale comme:

Ganglion coeliaque: Les fibres post ganglionnaires innervent le foie, estomac, rein, l'intestin grêle.

Ganglion mésentérique sup. Les fibres innervent le gros intestin.

Ganglion mésentérique inf. Les fibres innervent le gros intestin, la vessie, les organes génitaux

Ganglion cervical (sup, moyen, inf) dont les fibres innervent le noyau oculomoteur(III), les glandes lacrymales et salivaires le noyau du nerf facial (VII) et le noyau du nerf glosso-pharyngien(XII).

la glande médullo-surrénale est une glande mixte: à la fois un ganglion végétatif,(reçoit des axones des neurones pré-ganglionnaires) et elle secrète des hormones qui passent directement dans le sang.

Activation du sympathique :

Le système sympathique est **ergotrope**, Le rôle principal du **système nerveux sympathique** est de préparer l'organisme à faire face aux situations d'urgence (la **fuite** ou à la **lutte**)

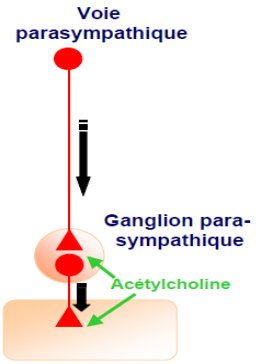
Son activité se manifeste quand nous sommes ***excités***, ***effrayés*** *ou* ***menacés*** :

- La fréquence cardiaque augmente,
- La respiration devient rapide et profonde,
- Les pupilles se dilatent.

Il intervient aussi au cours d'une ***activité physique intense*** :

- Constriction des vaisseaux sanguins des viscères (= sauf ceux du cœur) et de la peau,
- Dilatation des vaisseaux du cœur (coronaires) et des muscles squelettiques ⇒ ↑ de leur irrigation,
- Dilatation des bronchioles pulmonaires ⇒ ↑ de la ventilation ⇒ ↑ de l'apport d O_2 aux cellules,
- Libération de glucose dans le sang par le foie ⇒ fourniture d'un surcroît d'énergie aux cellules.

2. Le système parasympathique



- Les centres parasympathiques comportent 2 contingents:

- **Contingent céphalique** situé dans le tronc cérébral. Il innerve l'essentiel des organes (cœur, bronches, tube digestif, rein, gros intestin) à partir du nerf X (vague ou pneumogastrique).

- **Contingent sacré** situé dans la moelle sacrée. Il innerve la vessie, le rectum, les organes génitaux.

Les voies nerveuses parasympathiques sont composées de deux neurones cholinergiques successifs :

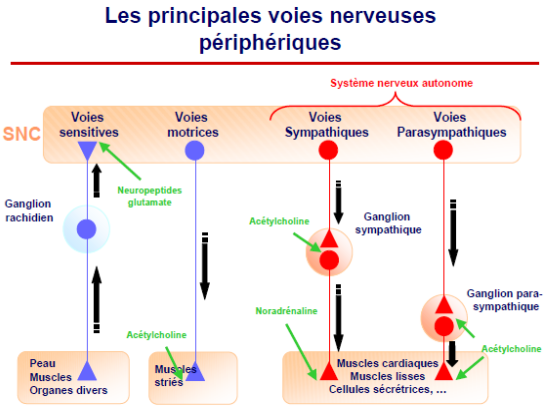
Le premier neurone cholinergique dont Les corps cellulaires des neurones pré-ganglionnaires sont situés dans le pont (nerfs craniens (III, VII, IX, X); ou la corne ventrale de la **moelle épinière** sacrés (racines S2, S3, S4) et leurs axones se prolongent directement jusqu'a **l'organe cible**.

A ce niveau, ils font relais avec des neurones post-ganglionnaires situés dans des plexus nerveux localisés à la surface ou dans l'organe innervé (plexus de Meissner, plexus mésentérique, plexus sacrée).

<u>Le second neurone cholinergique</u> dont le corps cellulaire se situe dans les ganglions parasympathiques qui constituent les relais entre les deux neurones. Ces ganglions sont souvent inclus dans l'organe innervé. Ce deuxième neurone est donc très court.

Activation du parasympathique : Le système parasympathique est **trophotrope**, c'est-à-dire animateur de fonctions métaboliques, restauratrices d'énergie (restauration de l'individu …et de l'espèce), maintenir les **activités corporelles** à leurs **niveaux de base.**

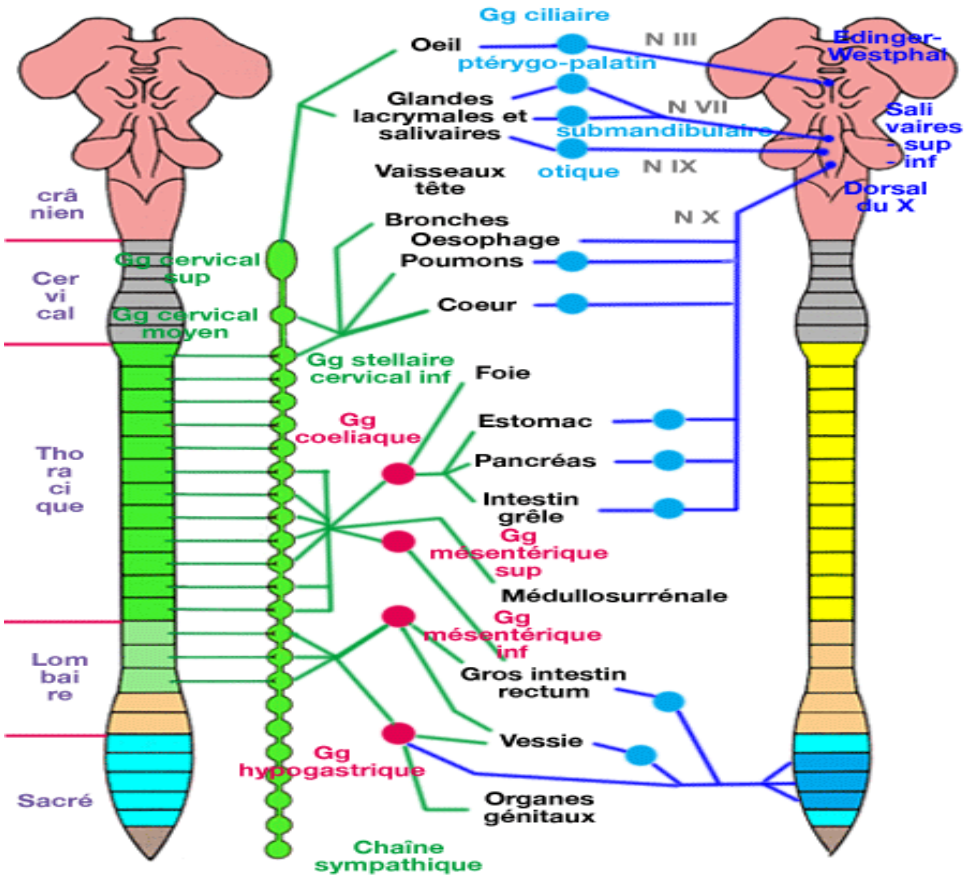
Il est donc actif dans les situations neutres et est associé au **repos** et à la **digestion**.



Les **effets parasympathiques** les plus importants sont :

- la constriction des pupilles,
- la sécrétion glandulaire,
- l'accroissement de la motilité gastro-intestinale,
- les mécanismes musculaires menant à l'élimination des matières fécales et de l'urine.

*(Ex. : après un repas, le **système parasympathique favorise la digestion** et **diminue** aussi la **fréquence cardiaque**).*



V.2.2.5-TRANSMISSION SYNAPTIQUE DU SYSTEME NERVEUX AUTONOME

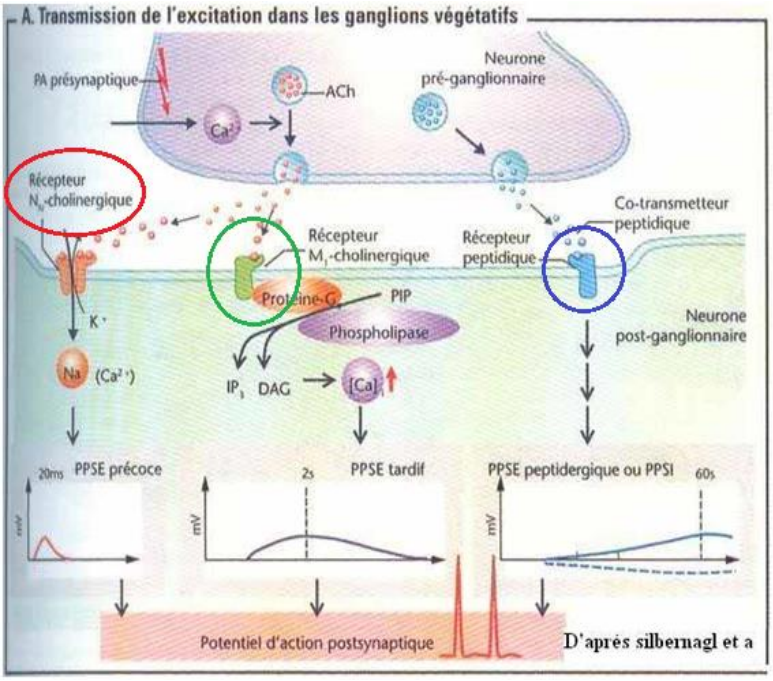
V.2.2.5.a-TRANSMISSION SYNAPTIQUE PRE-GANGLIONNAIRE

1- Rappels.

Au niveau des fibres pré-ganglionnaires, le neurotransmetteur est **l'acétyl-choline**; ces fibres sont dites cholinergiques.

- synthèse, stockage, libération.

- **La synthèse** s'effectue dans le cytoplasme de l'extrémité nerveuse. L'acétylcoenzyme (Ac-CoA) se forme dans les mitochondries. Son groupement **acétyl** se fixe sur la **choline** grâce à la **choline-acétyl- transférase**. Cette enzyme est synthétisée dans le soma de la cellule nerveuse et transportée le long de l'axoplasme jusqu'à la terminaison nerveuse. La choline est captée du milieu extra cellulaire au moyen d'un transporteur.



Après l'étape de la libération, le NT se fixe sur les récepteurs des neurones post ganglionnaires engendrant une dépolarisation avec apparition d'un PPSE puis d'un PA propagé.

Cependant cette transmission est rendu complexe par la présence d'inter-neurones dopaminergiques agissant sur les récepteurs post ganglionnaires..

2-Types de récepteurs impliqués dans la Transmission Synaptique

On distingue 4 types de récepteurs possibles au niveau post ganglionnaires.

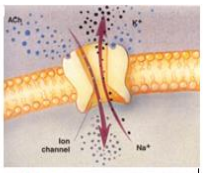
- **les récepteurs cholinergiques** de type nicotiniques (Nn)
- **les récepteurs cholinergiques** de types muscariniques (M1).
- **les récepteurs peptidergiques**.

3- Aspects électro-physiologiques.

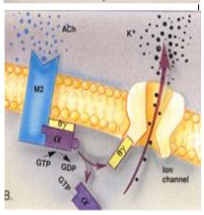
4 types de potentiels peuvent être enregistrés au niveau des fibres post ganglionnaires.

- **PPSE rapide** du à l'action de **l'Ach** sur les récepteurs de type **nicotiniques**
- **PPSE lent** du à l'action de **l'Ach** sur les récepteurs **muscariniques**.
- **PPSE très lent** (plusieurs ms) engendrées par la libération de neuro-modulateurs //ou indépendamment de l'Ach par la terminaison pré-ganglionnaires.

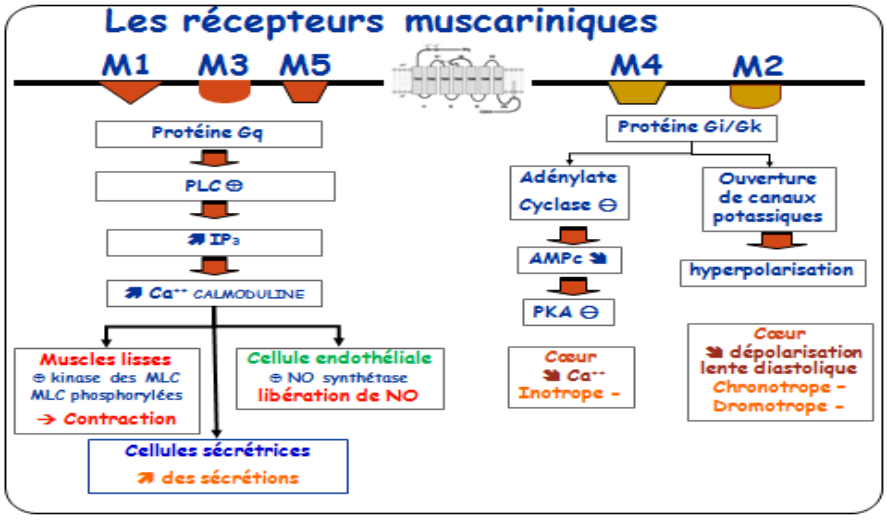
Les R Ach N sont localisés au niveau des ganglions autonomes (transduction du signal entre neurone pré et postggl.



Les RACh M interviennent dans la transduction des signaux émis par les cellules postggl (actions des nerfs parasympathique).
• Ces récepteurs sont aussi impliqués dans l'innervation sympathique des glandes sudoripares.



- **PPSI** du à l'action du SIF sur les récepteurs post ganglionnaires (dopaminergiques)



V.2.2.5.b-TRANSMISSION SYNAPTIQUE POST- GANGLIONNAIRE

A- fibres post ganglionnaires parasympathiques.

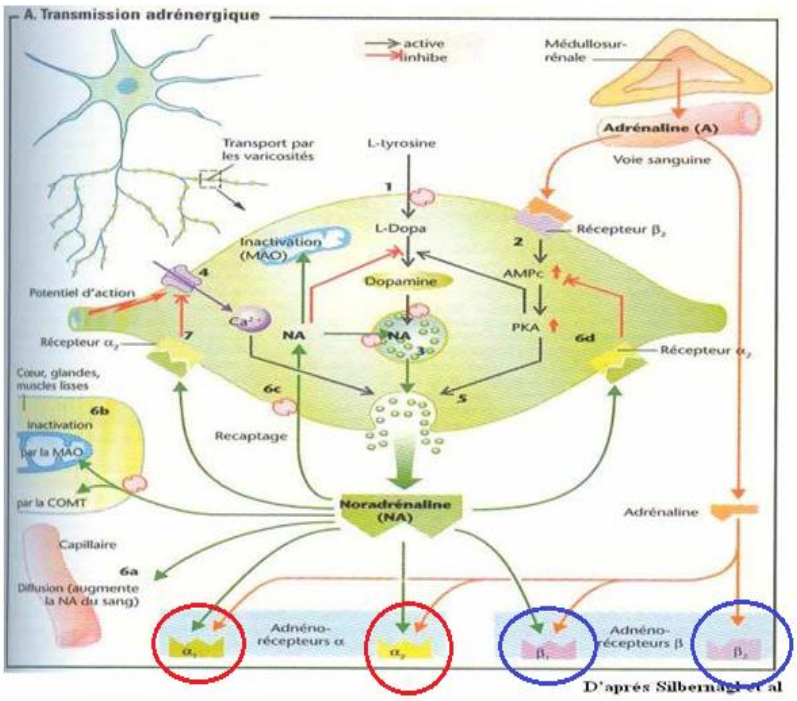
Au niveau de l'effecteur, les récepteurs sont de type muscariniques.

L'action de l'Ach est mimée par la pilocarpine (parasympathomimétique) et bloquée par l'atropine (parasympatholytique).

Au total, dans le SNV de type parasympathique, le médiateur pré et post ganglionnaires est l'Ach.

B-fibres post ganglionnaires orthosympathiques

Diverses expériences ont montré que le NT impliqué est surtout la **noradrénaline** sauf au niveau de la médullosurrénale ou le NT principal est **l'adrénaline**.



1- cycle des NM adrénaline et noradrénaline

Synthèse: L'extrémité de la fibre nerveuses. Les fibres nerveuses amyéliniques sympathiques sont boursouflées par des varicosités qui établissent des contacts synaptiques avec l'organe cible et sont le lieu de synthèse et d'accumulation de la NA

Stockage: vésicules pré-synaptiques.

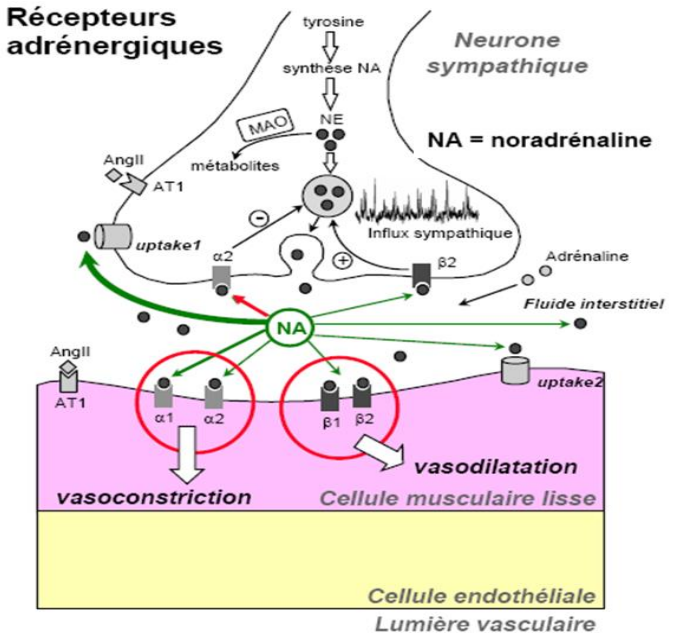
Inactivation: par diffusion, dégradation (grâce aux enzymes COMT (catécol-o- éthyltransférase) et à la MAO (mono-amine-oxydase), recaptage.

3- types de récepteurs

On distingue 2 types principaux de récepteurs post ganglionnaires

- les récepteurs de type **alpha**: alpha1 et alpha2

- les récepteurs de type **béta**: béta1 et béta2



L'alpha 1 récepteur se rencontre entre autres:

Dans le SNC, dans les glandes salivaires et le foie (ou ils augmentent la glycogenolyse)

L' alpha 2 récepteur se rencontre :

dans le SNC, dans les glandes salivaires(ou ils diminuent la sécrétion) ,dans le pancréas (ou ils diminuent la sécrétion d'insuline)

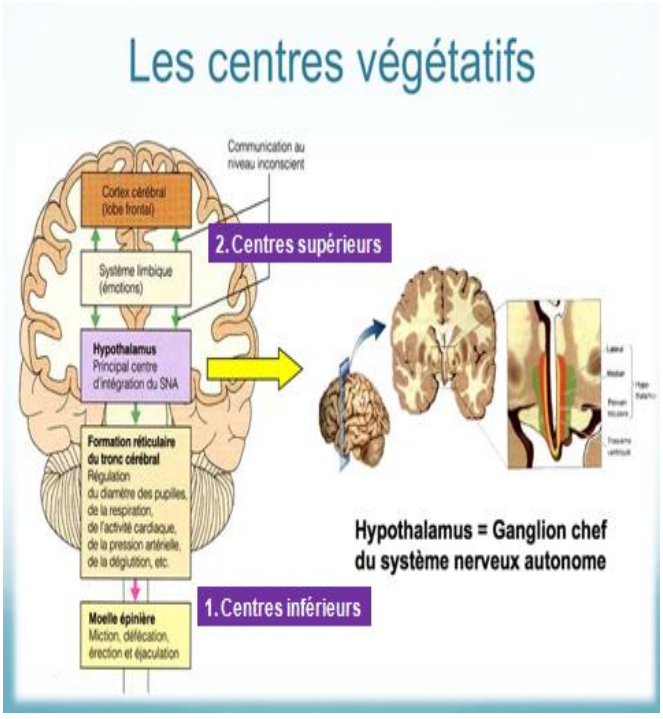
Dans les reins, l'augmentation de la libération de la rénine se fait par l'intermédiaire des **béta 1** récepteurs.

L'activité **des béta2** récepteurs adrénergiques dans les muscles et les bronches aboutit à une **dilatation** des vaisseaux musculaires et des bronchioles.

L'action intracellulaire de l'adrénaline s'effectue grâce à un second messager, l'AMPc.

V.2.2.6- RÉGULATION CENTRAL DU SYSTÈME NERVEUX AUTONOME

Bien que le SNA soit autonome et involontaire, son activité est néanmoins soumise à une **régulation**.



Cette régulation se fait à 3 niveaux dans le système nerveux central (tronc cérébral et moelle épinière):

Bien que l'**hypothalamus** contrôle la régulation du **SNA**, c'est néanmoins la **formation réticulaire** du **tronc cérébral** qui exerce l'influence la plus directe sur les fonctions autonomes.

Exemples :

a-Certains neurones moteurs du **bulbe rachidien** régissent de manière réflexe :

- la **fréquence cardiaque** et le **diamètre des vaisseaux sanguins** (= centre cardiovasculaire),
- la **fréquence** et l'**automatisme respiratoires** (= centres respiratoires).

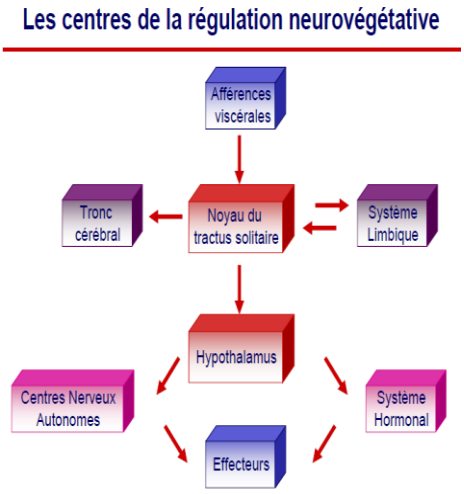
b-La **protubérance annulaire (= pont)** contient aussi des centres respiratoires qui interagissent avec ceux du bulbe rachidien.

c-Certains centres du **mésencéphale** participent à la régulation du **diamètre des pupilles**.

d-Des neurones moteurs de la **moelle épinière** régissent certaines **activités gastro-intestinales**, d'autres commandent les **réflexes de défécation** et de **miction**.

Les influx sensitifs qui provoquent ces **réflexes autonomes** sont surtout amenés au tronc cérébral par l'intermédiaire de neurofibres afférentes du nerf vague.

V.2.2.6.1- HYPOTHALAMUS



L'**hypothalamus** est le principal centre d'intégration du SNA.

Ses noyaux agissent par l'intermédiaire de relais situés dans la formation réticulaire.

La formation réticulaire influe à son tour sur les neurones moteurs pré-ganglionnaires du SNA situés dans le tronc cérébral et la moelle épinière.

L'**hypothalamus** contient des centres qui :

a-Coordonnent :

- l'activité cardiaque et endocrinienne,
- la pression artérielle,
- la température corporelle,
- l'équilibre hydrique.

b-Contrôlent :

- diverses émotions : la colère et le plaisir,
- les pulsions biologiques : la soif, la faim et le désir sexuel.

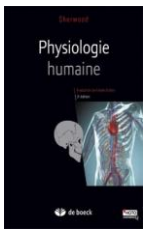
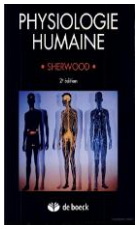
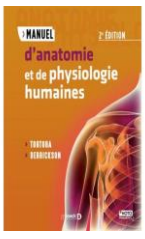
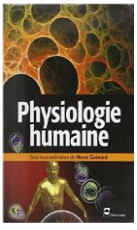
*(En effet, l'**hypothalamus** appartient au **système limbique** qui est la partie émotionnelle du cerveau.*

*C'est la réaction émotionnelle engendrée par le **système limbique** vis à vis du danger et d'une situation génératrice d'anxiété qui signale à l'hypothalamus de régler le **SNA sympathique en mode "lutte ou fuite"**).*

V.2.2.6.2- CORTEX CÉRÉBRAL

Les **centres corticaux** (ex. : **cortex préfrontal**) influent sur le fonctionnement autonome par l'intermédiaire de connexions avec le **système limbique.**

Exemples : le rythme cardiaque peut s'accélérer sous le coup de la colère, le réflexe de salivation peut être provoqué par la simple pensée d'un aliment appétissant.

BIBLIOGRAPHIE

http://www.neur-one.fr
http://webapps.fundp.ac.be/umdb/histohuma/histohuma/index.php
http://www.histo-moleculaire.com
http://perso.univ-rennes1.fr/francois.tiaho
http://www.brainconnection.com/topics/?main=gal/nervous-system
http://www.anatomie-humaine.com/neuroa/plan.html
Système Nerveux Vegetatif (Autonome) Dr Aïssani S.
Clba Collection of Médical Illustration, Vol. I. « Nervous System », Ciba, Summit NJ, 1972.
Dadoune J.-P. - Histologie - Médecine-Sciences Flammarion, Paris, 462 p., 1990
Grassé P.-P - Traité de zoologie : anatomie, systématique biologie - Tome XVI, Fascicule IV, Masson, Paris, 1077 p., 1972
Pritchard T.-C., Alloway K.-D. - Neurosciences médicales - De Boeck Université, Bruxelles, 526 p., 2002
Bossy J. - Anatomie clinique - Springer-Verlag, Paris, 475 p., 1990
Nadeau E. - Neurosciences médicales - Elsevier, Issy-les-Moulineaux, 569 p., 2006
Felten D.-L., Jozefowicz R.-F. - Atlas de neurosciences de Netter - Masson, Paris, 306 p., 2006
Marieb E. N. - Anatomie et physiologie humaines - De Boeck Université, Saint-Laurent, 1054 p., 1993
Rosenzweig M.R., Leiman A.L., Breedlove S.M. - Psychobiologie - DeBoeck Université, Bruxelles, 849 p., 1998
Purves D., etal. - Neurosciences - De Boeck, 800 p., 2003
Kolb B., Whishaw I. - Cerveau et comportement - De Boeck Université, Bruxelles, 1013 p., 2008
Bear M.F., Connors B.W., Paradiso M.A. - Neurosciences : à la découverte du cerveau - Editions Pradel, 881 p, 2007
Tortora G. J., Grabowski S. R. - Principes d'anatomie et de physiologie - DeBoeck Université, Bruxelles, 1121 p., 2001
Marc Maillet. Histologie des organes : PCEM 2. Collection Academic Press 1980.
J-P Dadoune. Histologie. Flammarion 1990.
Georges Grignon. PCEM d'Histologie. Edition Ellipses 1997.
Physiologie Humaine Appliquée : Claude Martin Ed Arnette 2006
Physiologie Humaine H Guenard , Ed : Wolters Kluwer 2009
Physiologie Humaine DU Silverton Pearson éducation 2007
Guénard, H. ; Physiologie Humaine | Somabec Éditeur : PRADEL : 2009 ISBN : 9782913996762
Physiologie humaine - Sherwood Lauralee - Librairie Eyrolles
Silverthorn, Dee Unglaub ; Physiologie humaine ; 4e éds ; Editeur : Pearson ;2007 ; ISBN : 978-2-7440-7227-7
Gerard Tortora, Bryan Derrickson Manuel d'anatomie et de physiologie humaines ; Editeur : De boeck
Clba Collection of Médical Illustration, Vol. I. « Nervous System », Ciba, Summit NJ, 1972.)
Boutillier B. et Outrequin G. , Anatomie : Neuroanatomie fonctionnelle
Fix J.M. Neuro-anatomie, De Boeck University
Joly J. et Boujard D. Biologie pour psychologues, Dunod
Wilkinson J.L. (1992) Neuroanatomy for Medical Students Butterworth, Heinemann Ltd ed. London
Bossy J. (1990) Neuroanatomie, Springer-Verlag France ed. Paris
Cambier J., Masson M., Dehen H. Neurologie, 6ème édition, Masson, Paris, 1990
Kolb B., Whishaw I.Q., Human Neuropsychology, 3rd edition, Freeman and Company, New York, 1990
Thompson R.F., The Brain - A Neuroscience Primer, second edition, Freeman and Company, New York, 1993
Nolte J. (1988) The Human Brain, Mosby Year Book, St. Louis