

Physiologie Animale

N2P2

Sommaire du cours de Physiologie Animale

P1 : Homéostasie.

P2 : Régulation de la calcémie.

P7 : Le système nerveux central.

P18 : Le système nerveux végétatif.

P21 : La digestion.

P42 : Circulation.

P52 : Respiration.

P55 : Les échanges gazeux.

P58 : L'excrétion.

P64 : L'appareil génital mâle.

P69 : L'appareil génital femelle.

P76 : Le problème hypothalamo-hypophysaire.

P83 : Absorption digestive.

Notion d'homéostasie.

L'homéostasie est la faculté que possède un organisme de maintenir les équilibres de son milieu intérieur de façon stable et indépendante des fluctuations du milieu extérieur.

- Détecter les changements intérieurs ou extérieurs, par le versant sensoriel (ou afférent) permet l'acquisition des informations.
- L'intégration de ces informations (par le système nerveux central) se fait sur plusieurs niveaux : - niveau réflexe (moelle épinière) - niveau supérieur (système nerveux supraspinal).
- Déclencher les réponses adaptées : c'est le rôle du versant moteur :
 - le système nerveux somatique agit uniquement sur les muscles squelettiques
 - le système nerveux végétatif (ou autonome) agit sur les muscles lisses, cœur et glandes.
 - le système endocrinien.

Remarque : certaines cellules endocriniennes sont sensibles et n'ont pas besoin du système nerveux.

Régulation de la calcémie.

La calcémie est la concentration de calcium plasmique (100 mg/L). Ce calcium est un constituant fondamental. Le calcium :

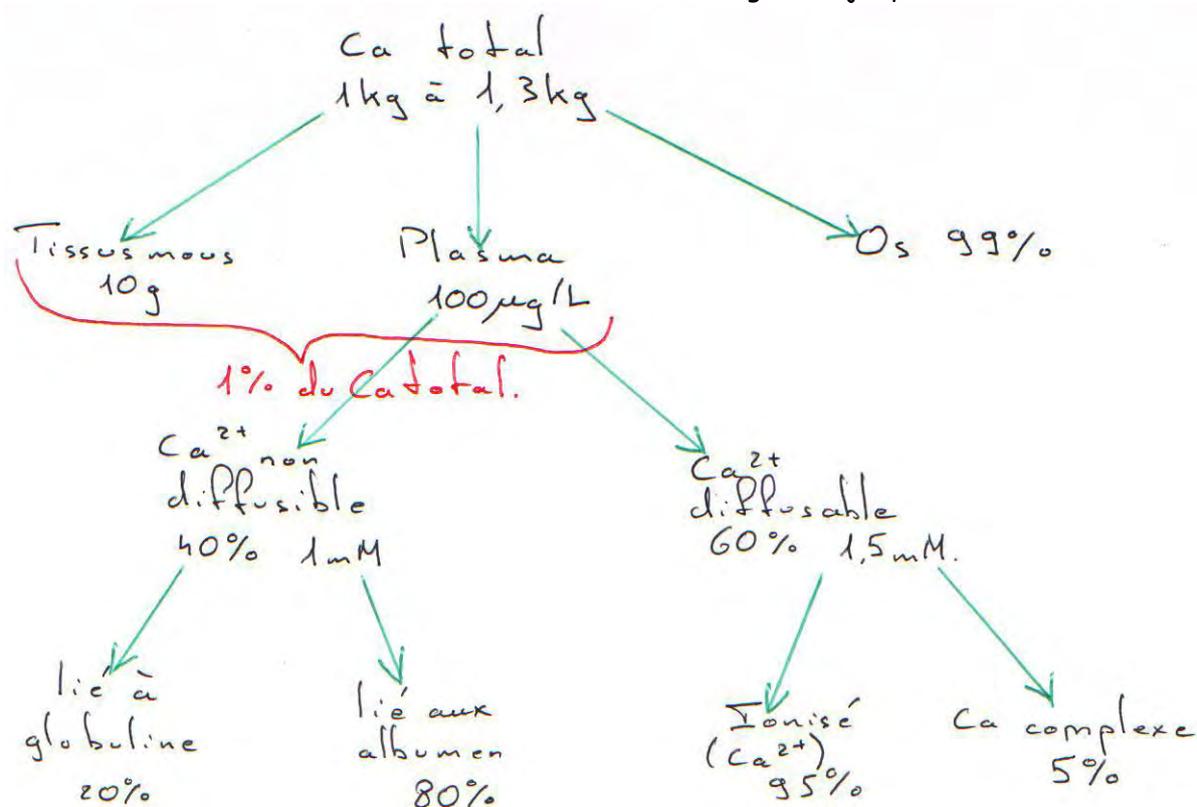
- assure la rigidité du squelette en formant la partie rigide des os en participant à la formation de l'hydroxyapatite,
- agit sous forme ionisée (Ca^{2+}) dans plusieurs fonctions (contractions musculaires, transmission synaptique, coagulation sanguine),
- a un rôle de second messenger dans les cellules.

La régulation du calcium est stricte, et sa valeur n'est modifiée qu'autour de 3% par rapport à la valeur moyenne. On trouve trois hormones de régulation :

- la parathormone (PTH),
- la vitamine D2 activée,
- la calcitonine.

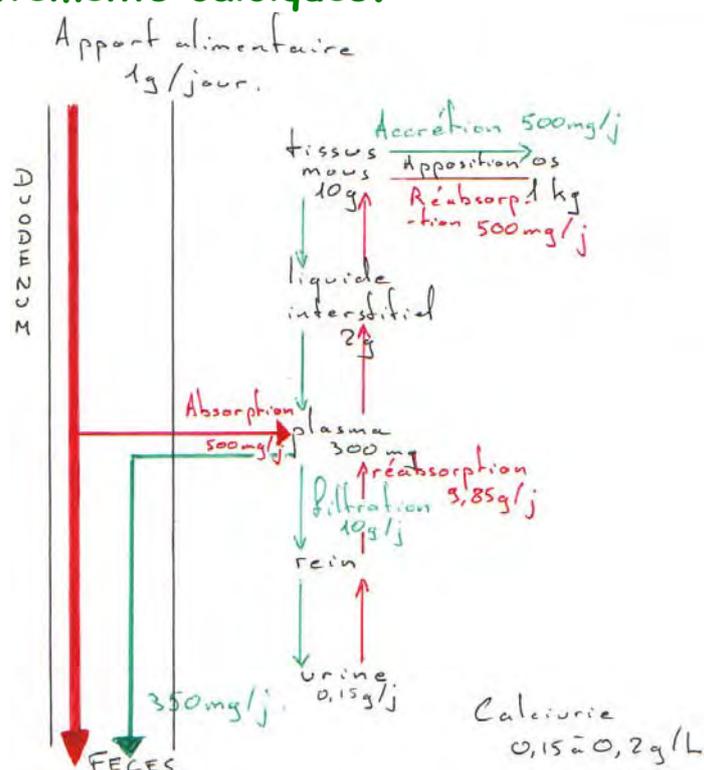
I\ Distribution du calcium dans l'organisme.

Dans le cytoplasme, la concentration en Ca est de $0,1 \mu\text{M}$. Ce calcium est stocké dans les membranes cellulaires, dans le réticulum endoplasmique et dans les mitochondries. Sous l'influence de certains stimuli, la concentration de calcium augmente jusqu'à 100 fois.



Distribution du Ca dans l'organisme.

II\ Les mouvements calciques.



On a trois organes qui sont soumis à la régulation hormonale : le tissu inerte, le tube digestif et les reins.

III\ La parathormone (PTH).

A\ Synthèse.

La parathormone est synthétisée et sécrétée par quatre petites glandes de la thyroïde, la parathyroïde dont le poids total est de 120 mg.

La parathormone a une courte durée de vie (inférieure à 20 minutes).

Après une ablation totale de cette glande, si l'on réinjecte des extraits parathyroïdiens, on assiste à une augmentation de la calcémie. **La PTH est une hormone hypercalcémiant.**

C'est une protéine ayant deux précurseurs : la préproparathormone et la proparathormone.

La synthèse de PTH dépend de la calcémie :

- quand la calcémie est inférieure à $120 \mu\text{g/L}$, la synthèse de PTH augmente,
- quand la calcémie est supérieure à $100 \mu\text{g/L}$, la synthèse de PTH diminue.

Remarque : le niveau de PTH est toujours proche du niveau normal.

La glande parathyroïde sécrète la PTH qui va réguler la calcémie. Cette dernière va exercer un rétrocontrôle (ou feedback) sur la sécrétion de PTH.

B\ Effets.

Dans le sang, la parathormone se fixe sur les récepteurs membranaires des cellules cibles.

- *Au niveau des os* : en augmentant, la parathormone va permettre la résorption de Calcium.
 - *Au niveau des reins* : une augmentation de la réabsorption calcique sur les tubules rénaux entraîne une diminution de l'excrétion rénale
 - La stimulation enzymatique rénale est à l'origine du passage de la vitamine D3 en calcitriol. $Vmd3 \rightarrow$ Calcitriol
- └── PARATHORMONE.
- *Au niveau du duodénum*, la parathormone favorise l'absorption.

C\ Effets d'un déséquilibre.

- Carences en PTH : on obtient une tétanie à cause d'une hyperexcitabilité neuromusculaire. On peut avoir des spasmes pharyngés qui provoquent l'asphyxie.
- Excès en PTH : C'est une super sécrétion de parathormone qui entraîne donc une grande décalcification osseuse (\rightarrow ostéomalacie) et parfois une augmentation de la calciurie.

IV\ La vitamine D3 (calciférol).

A\ Synthèse.

Chez les mammifères, la synthèse de la vitamine D3 a lieu dans les tissus cutanés profonds, à partir d'un précurseur thyroïdien (7-déhydrocholestérol)

Grâce aux UV, le 7-déhydrocholestérol donne de la vitamine D3 non active. Cette dernière est transportée vers le foie par la vitamine D3 binding protéine. Dans le foie, elle subit une première hydroxydation (\rightarrow 25(OH)-D3 = calcidiol). Le calcidiol subit une seconde hydroxydation dans le rein, régulée par la parathormone, et donne le 1,25(OH)D3 (ou calcitriol).

B\ Effets.

- L'activation de la réabsorption osseuse entraîne une augmentation de la calcémie.
- L'intestin favorise l'absorption de calcium grâce à la perméabilité des tubules intestinaux.
- L'hormone qui active le transport intracellulaire du calcium pour la synthèse d'une protéine est la binding protéine (entérocyte) : **c'est une hormone hypercalcémiant.**

C\ Effets d'un déséquilibre.

Une carence en vitamine D3 entraînera chez les enfants du rachitisme et de l'ostéomalacie chez l'adulte.

Si la quantité de vitamine D3 diminue, on a alors une diminution de la calcémie qui entraîne une augmentation de sécrétion de parathormone, qui rétablira la calcémie en puisant dans le calcium osseux.

Un excès de vitamine D3 entraîne une augmentation de la calcémie et, par conséquent, des dépôts de calcium au niveau des reins.

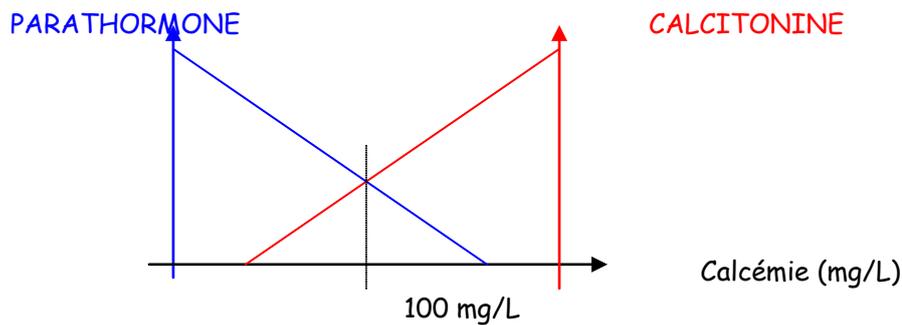
V\ Calcitonine.

A\ Synthèse.

La calcitonine est une hormone sécrétée par les cellules parafolliculaires (cellules de la thyroïde) et, de moindre part, par la parathyroïde et le thymus.

Cette hormone est un *polypeptide de 32 acides aminés* dont la durée de vie est inférieure à 15 minutes. Son précurseur est composé de 136 acides aminés.

La calcitonine a un rôle hypocalcémiant.



B\ Effets.

Au niveau des os : la calcitonine diminue l'accrétion osseuse et favorise la résorption.

Au niveau des reins : elle augmente l'excrétion urinaire de calcium par inhibition de la résorption intestinale.

C\ Effets d'un déséquilibre.

Elle ne provoque aucun effet durable. C'est une hormone surtout utilisée en traitement de l'ostéoporose.

VI\ Autres hormones.

A\ Les hormones thyroïdiennes.

Elles agissent sur le remaniement osseux dans les deux sens bien leur action sur la résorption soit plus importante (hypercalcémique).

B\ Les œstrogènes.

Ils sont hypocalcémiant à court terme. Ils diminuent la sensibilité de l'os à la parathormone : ils *augmentent donc la rétention osseuse*.

C\ Les glucocorticoïdes.

Ils ont un rôle hypocalcémiant par leur diminution :

- de l'absorption osseuse
- des résorptions osseuses et rénales.

Quand ils sont sécrétés en excès, ils entraînent une ostéoporose.

D\ L'hormone de croissance.

Pas de rôle prépondérant.

Le système nerveux autonome, Système neurovégétatif et système viscéral.

Le système nerveux autonome contrôle les fonctions organiques internes (nutrition et maintien de l'homéostasie). C'est un système qui échappe le plus souvent au contrôle de la volonté. Il s'oppose au système somatique (relations avec l'extérieur).

I\ Organisation générale du système nerveux autonome.

Il innerve principalement les organes internes. Les neurones sensoriels du système nerveux autonome transmettent les informations venant des fonctions viscérales vers le système nerveux central. Les motoneurones innervent les muscles lisses des viscères (muscle cardiaque et glandes).

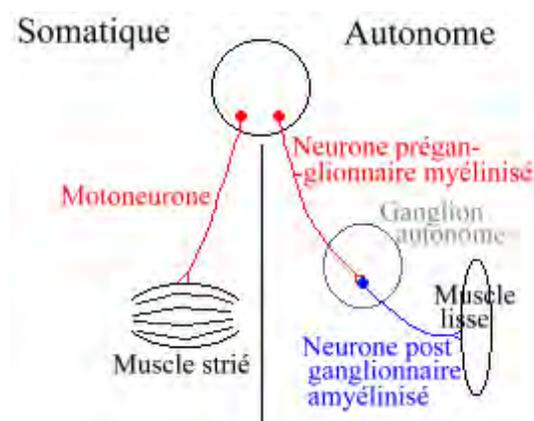
Cet ensemble se divise en deux sous-systèmes :

- le système orthosympathique,
- le système parasympathique.

Le système orthosympathique est principalement impliqué dans les relations dites d'alerte (à court terme).

Le système parasympathique agit plutôt dans les conditions normales (durables).

A\ Organisation comparée des systèmes moteurs somatiques et autonomes.



B\ Organisation comparée des systèmes orthosympathique et parasympathique.

Ils se différencient par trois critères :

- Origine des neurones pré-ganglionnaires.
- Position des ganglions.
- Neurotransmetteurs agissant sur les organes effecteurs et récepteurs.

1\ Le système orthosympathique.

Les corps cellulaires préganglionnaires se situent près de la moelle épinière thoracique et lombaire.

On a une chaîne ganglionnaire paravertébrale. Elle est composée de trois ganglions : cœliaque, mésentérique supérieur et inférieur.

Les neurones post-ganglionnaires quittent ces ganglions pour aller innerver les organes internes.

Cas particulier de la glande médullo-surrénale.

Elle est innervée par le système orthosympathique et correspond, elle-même, à un ganglion orthosympathique. Elle permet la libération d'Adrénaline et de Noradrénaline.

2\ Le système parasympathique.

Les centres nerveux sont localisés à l'extérieur du neuraxe. Les ganglions sont situés près ou dans les viscères : le premier neurone est long alors que le second est très court. Dans ce cas, on a une disposition transmétamérique.

Le système parasympathique possède trois territoires :

- Le territoire céphalique : les fibres préganglionnaires empruntent au début le trajet des nerfs crâniens pour s'individualiser et finalement rejoindre les viscères. Par exemple, le troisième nerf est le nerf moteur oculaire commun qui innerve la pupille.

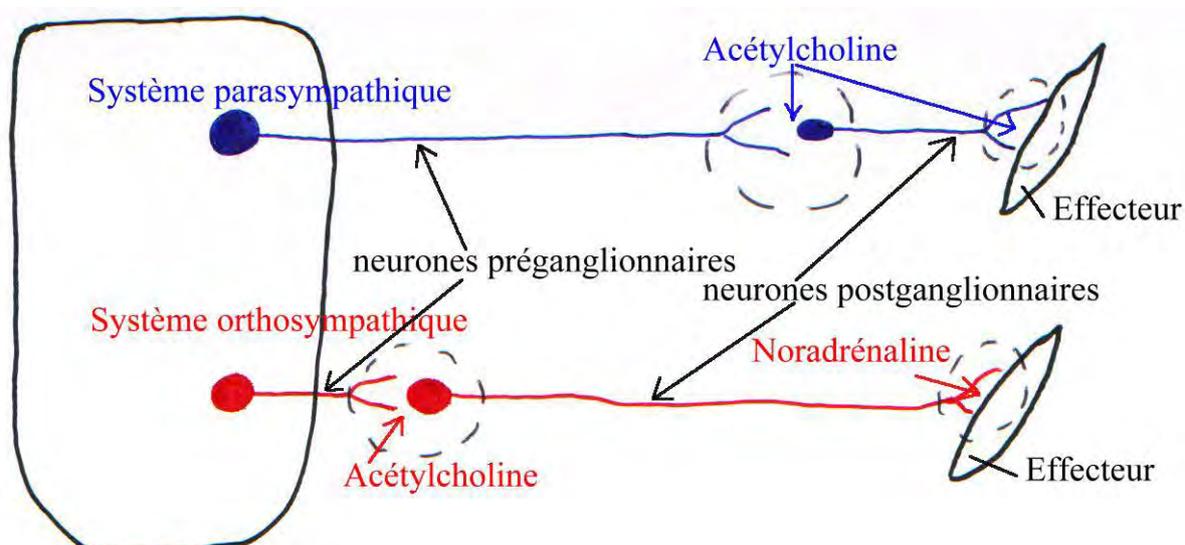
- Le territoire cervico-thoraco-abdominal : il est innervé par un nerf parasympathique important, le nerf vague (ou pneumogastrique).

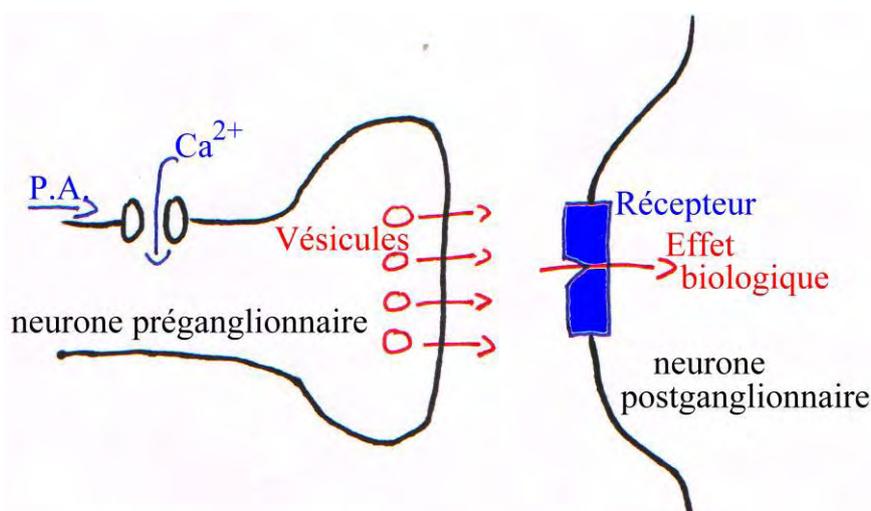
- Le territoire pelvien : les fibres parasympathiques suivent en partie les nerfs rachidiens pour s'en séparer et innerver les viscères qu'elles commandent.

- le contingent supérieur innerve la vessie, l'utérus, le rectum et le colon.
- Le contingent inférieur innerve les organes génitaux externes.

Remarque : certains organes sont innervés par les deux systèmes à la fois. Le foie et les vaisseaux sanguins le sont seulement par le système orthosympathique.

C\ Les neurotransmetteurs.





- Les récepteurs à Acétylcholine : ce sont des récepteurs nicotiniques, agonistes à l'acétylcholine avec la nicotine et situés sur le neurone postérieur.
- Les récepteurs muscariniques : la muscarine est agoniste de l'acétylcholine. On les trouve sur le muscle final innervé par le système parasympathique.
- Les récepteurs $\alpha_{1,2}$ noradrénergiques et $\beta_{1,2}$ noradrénergiques : ils sont situés sur les muscles innervés par le système orthosympathique.

Au niveau d'une même cellule, on peut trouver tous les types de récepteurs.

II\ Intégration des systèmes autonomes.

L'intégration s'effectue sur plusieurs niveaux :

- Le niveau réflexe : les nerfs afférents vont s'articuler sur les nerfs moteurs par l'intermédiaire d'un interneurone. On a donc un arc réflexe viscéro-viscéral (on peut aussi trouver des arcs somato-viscéraux). De nombreuses fonctions autonomes sont contrôlées par des réflexes : digestion, pression artérielle, sudation.
- Le niveau supérieur : l'hypothalamus est le régulateur essentiel des neurones ... mais aussi externes en contrôlant ainsi le fonctionnement du système nerveux autonome.

En général, les systèmes orthosympathique et parasympathique ont des effets opposés.

- Le système orthosympathique intervient dans la réponse au stress par une accélération du rythme cardiaque, de la pression artérielle et par la mobilisation des réserves énergétiques : il prépare l'organisme à l'action.
- Le système parasympathique permet le maintien des ressources corporelles (diminution du rythme cardiaque et de la pression artérielle). Il favorise la digestion. → ce système prépare le corps à la relaxation et au repos.

Le système nerveux central.

I\ Organisation du système nerveux.

Il est globalement bilatéral et symétrique et est composé en deux parties :

- *Le système nerveux central* se trouve dans les structures osseuses et est formé par la moelle épinière et par l'encéphale.
- *Le système nerveux périphérique* est formé de ganglions et de nerfs. Ces nerfs contiennent des faisceaux de fibres reliées à la base de l'encéphale par les douze paires de nerfs crâniens et à la moelle épinière par les 31 paires de nerfs rachidiens (ou spinaux).

Les fibres allant de la périphérie vers le système nerveux central sont appelées *fibres sensorielles afférentes*.

Les fibres transportant l'information du système nerveux central vers les effecteurs de la périphérie sont les *nerfs moteurs efférents*.

On subdivise le système nerveux périphérique en deux composantes :

- *Le système nerveux périphérique somatique* reçoit des fibres sensorielles en provenance d'organes sensoriels variés : de la peau, des muscles, des articulations. Il regroupe aussi les *fibres motrices primaires* (principalement) des muscles.
- *Le système nerveux périphérique autonome* (ou végétatif) : ses fibres innervent les muscles lisses, le cœur et les glandes.

Le système nerveux périphérique fournit l'information au système nerveux central et exécute les commandes motrices de celui-ci.

A\ Les grandes subdivisions du système nerveux central.

Le système nerveux central est découpé en 7 parties principales.

1\ La moelle épinière.

Les neurones sensoriels des nerfs rachidiens arrivent à la moelle épinière par les racines dorsales (31 paires de nerfs rachidiens) où leur corps cellulaire se situe dans les ganglions rachidiens (ou spinaux) de la racine dorsale.

Les neurones quittent la moelle épinière par la racine ventrale et leur corps cellulaire se situe dans la moelle épinière.

La moelle se subdivise en plusieurs parties et elle est limitée au niveau de la première vertèbre lombaire.

Toutes les fibres nerveuses myélinisées se situent à l'extérieure de la moelle et forment la substance blanche.

La substance blanche est constituée de fibres de deux types :

- *Les fibres sensorielles afférentes* qui se regroupent en faisceaux (voies). Ce sont des voies ascendantes qui amènent les informations de la périphérie vers le cerveau.

- Les fibres motrices sont descendantes et regroupées en voies descendantes. Elles transportent les commandes motrices issues du cerveau par les neurones moteurs.

2\ Le myélocéphale (bulbe rachidien).

Il contient de nombreux noyaux et faisceaux. On y trouve les centres nerveux responsables des fonctions autonomes (ou végétatives) qui contrôlent les rythmes cardiaque, pulmonaire et même la digestion.

3 et 4\ Le métencéphale.

Il est constitué de deux structures : **le pont et le cervelet.**

- Le pont contient le centre des fonctions autonomes (et les noyaux moteurs).
- Le cervelet est relié au système nerveux central par les pédoncules cérébelleux. Il a un rôle dans la coordination de la fonction motrice et de l'équilibre.

5\ Le mésencéphale.

Il contrôle le mouvement des yeux et de la motricité générale. C'est un centre de relais des informations visuelles et auditives. C'est un centre qui permet aux mal-voyants de faire certaines activités.

Remarque : le mésencéphale plus le pont plus le bulbe donne le tronc cérébral. C'est à ce niveau qu'arrivent les 12 paires de nerfs crâniens. Ces nerfs transmettent les informations motrices et sensorielles de la tête et du cou et les informations sensori-motrices qui viennent du système nerveux périphérique autonome.

Liste des douze nerfs crâniens :

- 1 : olfactif (sensoriel)
- 2 : optique
- 3 : oculomoteur
- 4 : trochléaire
- 5 : trijumeau
- 6 : abducens
- 7 : facial
- 8 : vestibulochochléaire
- 9 : glosso-pharyngien (mixte)
- 10 : vague ou pneumogastrique (mixte)
- 11 : spinal
- 12 : hypoglosse.

Les formations réticulées, au niveau du tronc cérébral forment un ventre où se situe la vigilance qui caractérise le niveau d'éveil, du sommeil, de l'attention de l'individu.

6\ Le diencephale.

Le diencephale comprend deux structures :

- Le *thalamus* est constitué de nombreux noyaux de relais qui traitent la plupart des informations sensorielles qui atteignent le *cortex cérébral*.

- L'*hypothalamus* contient de nombreux noyaux relais qui régulent le système nerveux périphérique autonome et la sécrétion d'hormones grâce à l'*hypophyse*.

A cause de ces fonctions, l'*hypothalamus* intervient dans un grand nombre de fonctions de l'organisme (dans presque toutes).

7\ Le télencéphale.

Il est principalement constitué du *cortex cérébral* (la substance grise de l'encéphale) et de la *substance blanche* sous jacente à ce complexe. On distingue différentes parties :

- *Le striatum* : il fait parti d'un ensemble de centres nerveux, de noyaux gris qui jouent un rôle dans la régulation des mouvements. Le striatum contient deux parties, les *noyaux codés* et le *putamen*.

- *L'hippocampe* ; il jouerait un rôle dans la mémoire.

- *L'amygdale* joue un rôle dans l'émotivité et coordonne les systèmes nerveux et endocriniens.

Remarque : L'*hippocampe* et l'*amygdale* forment le *système limbique*.

8\ Le cortex cérébral.

Le cortex cérébral s'est développé chez les primates et s'est énormément plissé chez l'homme. On y observe des sillons (scissures plus ou moins profondes) qui délimitent des *circonvolutions* (ou *gyrus*) *cingulaires*. Ces sillons délimitent quatre lobes cérébraux : le lobe *occipital*, le lobe *pariétal*, le lobe *frontal* et le lobe *temporal*.

Remarque : Le lobe limbique : les neurones forment un circuit complexe et participent à la motivation, à la mémoire et aux émotions.

Les lobes sont divisés en *aires fonctionnelles* qui seront impliquées dans le traitement des informations sensorielles ou des activités motrices.

• Les aires corticales primaires :

- sensorielles : elles reçoivent les informations sensorielles après quelques relais et sont consacrées au traitement initial de l'information (visuelle, auditive, somesthésique). Ces aires se situent au niveau du sillon de Rolando.

- Motrices (une aire motrice dans chaque hémisphère) : elles contiennent des neurones qui vont directement agir sur les motoneurones de la moelle épinière, donc sur le mouvement. Ces aires se situent en avant du sillon de Rolando.

• Les aires corticales d'ordre supérieur :

- sensorielles : elles reçoivent les informations des aires primaires correspondantes et vont intégrer et traiter ces informations sur un aspect plus complexe dans les lobes *temporaux* et *pariétaux*.

- Motrices : elles sont dans le lobe *frontal*, en avant des aires motrices primaires et envoient à ces aires motrices primaires des informations élaborées nécessaires à l'exécution d'un acte moteur.

• **Les aires corticales d'association :**

Elles sont en majeure partie dans le cortex et entourent les aires d'ordre supérieur.

- sensorielles : elles intègrent les informations des différents systèmes sensoriels. Elles permettent des perceptions complexes. Elles se situent *dans les lobes temporaux et pariétaux*.

- Motrices : elles sont dans le lobe frontal et jouent un rôle dans la *planification des mouvements volontaires*.

- Limbique : elle est consacrée à la motivation à la mémoire et aux émotions.

→ Les aires primaires du cortex sont consacrées à la réception et à la perception sensorielle. Elles se projettent sur les aires d'ordre supérieur qui se connectent avec les aires d'association, elles-même connectées avec les aires motrices (action sur les motoneurons, donc sur le mouvement) → d'où un lien entre sensation et action.

B\ Organisation en systèmes fonctionnels.

1\ Conduite simple

Les aires associatives ont besoin d'informations visuelles, sur la forme, la dimension, la texture et le mouvement de l'objet mais aussi d'informations somesthésiques comme la position des membres dans l'espace.

Ces différentes informations permettent alors d'agir en fonction de la trajectoire.

Les informations sensorielles vont planifier les différentes commandes motrices, qui sont transmises au système moteur primaire qui va coordonner les muscles pour un mouvement fin de la main et du bras et réguler la posture du corps pour pouvoir maintenir l'acte moteur.

Pour initier un mouvement, il faut l'intervention des systèmes de motivation (*système limbique*) qui sont capables d'intégrer de nombreuses informations sur l'état intérieur de l'organisme en fonction desquelles ils influencent le système moteur (somatique et autonome).

2\ Organisation des systèmes fonctionnels.

L'organisation suit quatre principes.

a\ Chaque système comprend des centres relais organisés en voies afférentes (sensorielles) et efférentes (motrices). On a une organisation hiérarchique ou séquentielle. Les neurones se relaient au niveau d'hyper structures du système nerveux central : noyaux de relais (moelle épinière plus encéphale).

Au niveau des noyaux de relais, l'information commence à être intégrée.

Remarque : les interneurons vont permettre une modification de l'information.

b\ Les voies distinctes parallèles.

Les systèmes sensoriels (visuels) possèdent des voies séparées différentes et parallèles pour traiter les textures, formes, tailles, couleurs afin de définir des mouvements adéquats.

On a la même chose pour le système moteur qui permet un contrôle précis des mouvements ou de la posture.

c\ Organisation topographique.

L'arrangement spatial des cellules réceptrices sensorielles est préservé tout au long des voies sensorielles.

Pour le système somesthésique, deux cellules vont se projeter au niveau du thalamus, puis au niveau du lobe cortical.

La carte topographique du corps est réalisée selon les différents niveaux de traitement jusqu'au cortex : c'est la **somatotopie** (organisation en système).

La plupart des systèmes fonctionnels croisent la ligne médiane du corps.

d\ Croisement de la ligne médiane.

Toutes les voies sont symétriques par rapport à la ligne médiane du corps et presque toutes la croisent vers le côté opposé (centre latéral) à différents niveaux → c'est la **décussation**.

L'information sur un côté sera traitée par l'hémisphère opposé. Les mouvements volontaires prennent naissance du côté opposé à leur côté d'action.

II\ Les systèmes sensoriels.

Ils sont issus des organes sensoriels de la périphérie. On a d'abord la sensation puis la perception des informations au niveau cortical.

A\ Principes généraux.

1\ Principales modalités sensorielles.

- vision
- audition
- olfaction
- gustation
- somesthésie
- équilibrage

Chaque modalité comporte des sous modalités. Avec la gustation, on trouve comme sous modalités les sensations de sucré, de salée, d'amer et d'acide.

2\ Organisation des systèmes sensoriels.

Dans chaque système sensoriel, la sensation apparaît quand les facteurs environnementaux stimulent les cellules correspondantes à une modalité. Les cellules nerveuses, spécialisées, sont appelées récepteurs sensoriels.

Modalité	Stimulus	Type de récepteur
Vision	Lumière	Photorécepteur
Audition (équilibration)	Ondes de pression	Mécanorécepteur
Gustation et Olfaction	Chimique	Chémorécepteur
Somesthésique	Mécanique Thermique Chimique	Mécanorécepteur Thermorécepteur Chémorécepteur

a\ Codage de l'information.

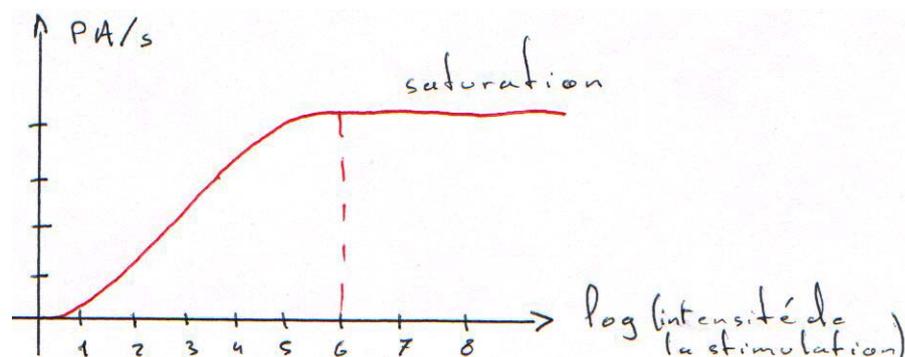
Quelque soit la modalité, le sens, une stimulation va provoquer une variation de différence de potentiel transmembranaire du récepteur (potentiel de récepteur). La première étape de codage du stimulus est appelée *transduction sensorielle*.

On a alors la génération d'un ou plusieurs potentiels d'action qui se propage(nt) sur la première fibre sensorielle (fibre primaire).

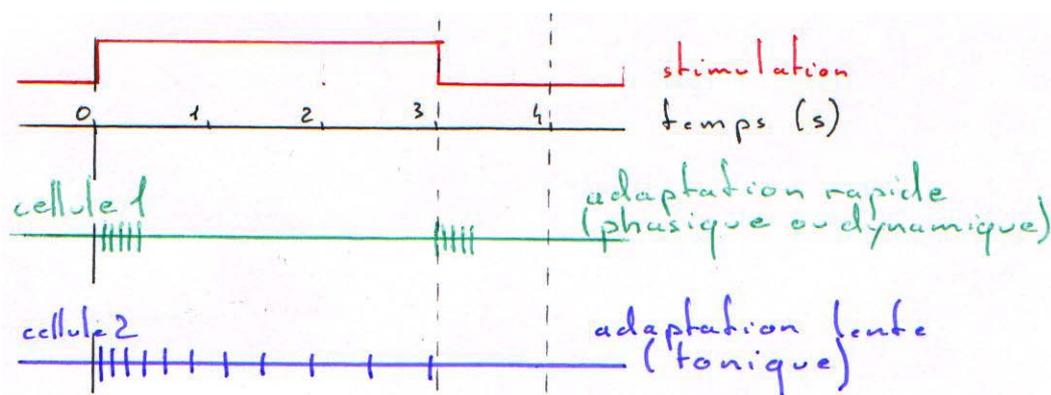
b\ Codage des paramètres de stimulation.

La stimulation est codée en fonction de son intensité, de sa durée et de sa localisation.

- L'intensité est liée à la fréquence de décharge des potentiels d'action.



- La durée : les récepteurs s'adaptent tous à une stimulation prolongée (l'adaptation sera lente ou rapide).



- localisation : chaque cellule peut être activée par un espace sensoriel (ou champ de réception). La taille de ces champs est proportionnelle : plus ils sont petits plus la résolution sera grande.

Les neurones sensoriels primaires convergent vers un second neurone sensoriel (neurone sensoriel secondaire). Ce dernier donne la somme de réception des deux neurones primaires. Les champs ne sont pas tous homogènes.

Les champs hétérogènes vont inhiber le neurone de deuxième ordre.

Plus les champs sont grands, plus ils sont complexes.

Toutes les voies sensorielles préservent les relations spatiales de ces récepteurs.

Somatotopie → Somesthésie. Rétinotopie → Vision. Tonotopie → Audition.

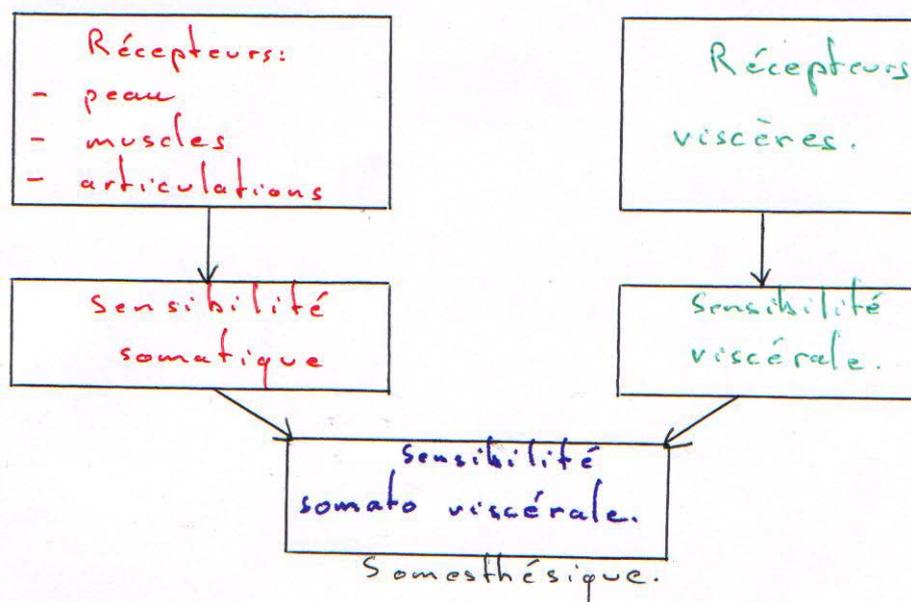
c\ Les organes des voies sensorielles.

Les informations sont codées puis véhiculées par les voies sensorielles pour atteindre le cortex primaire, aux modalités correspondantes à leur origine. Dans les aires primaires, on a un niveau important de la perception de la stimulation. Ces informations seront mémorisées et pourront participer au contrôle des mouvements, dans le maintien de l'éveil, dans la formation d'une image corporelle.

B\ Le système somesthésique.

Il se distingue des autres systèmes sensoriels car il est distribué dans l'ensemble de l'organisme alors que les autres sont regroupés dans des organes sensoriels.

1\ Les récepteurs.



Modalités	Récepteurs	Sensibilité
Toucher	Mécanorécepteur	Pression Toucher Vibration
Proprioception	Propriocepteur - muscles - articulations - tendons	Position relative des membres
Thermique	Thermorécepteur	Froid Chaud
Douleur	Nocirécepteur	Température Stimulation mécanique Stimulation chimique

2\ Les voies de projection principales.

On a deux voies principales et parallèles qui transmettent la sensibilité somesthésique.

a\ La voie des colonnes dorsales (lemnisciales).

Elles transportent les informations tactiles, proprioceptives (informations sur la position du corps et des membres dans l'espace) du système somesthésique. Les informations transitent par trois relais : un au niveau du bulbe rachidien, un autre au niveau du thalamus et le dernier au niveau du cortex cérébral.

b\ Les faisceaux antérolatéraux (système spinothalamique).

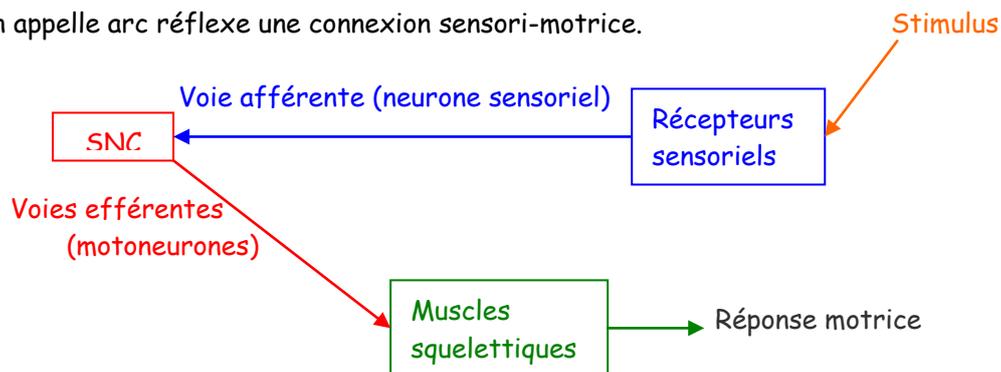
Ces faisceaux transportent l'information thermique et nociréceptive vers le second relais du thalamus puis vers le troisième relais au niveau de l'aire somesthésique primaire.

III\ Le système moteur.

Ils s'organisent sur plusieurs niveaux.

A\ Les activités réflexes (au niveau de la moelle épinière).

On appelle arc réflexe une connexion sensori-motrice.



On a deux types de réflexes :

- **Monosynaptique** : c'est un réflexe rapide (réflexe myotatique) qui entraîne la contraction d'un muscle à son propre étirement. Le récepteur sensoriel se situe dans le muscle (il est intrinsèque). On a alors un contrôle fin de la longueur du muscle.
- **Polysynaptique** : l'information passe par deux ou plusieurs synapses. Il a un rôle de protection. C'est un **réflexe ipsilatéral** de flexion dont le récepteur est *extrinsèque* (à l'extérieur du muscle).

Les réflexes sont sans arrêt contrôlés par les structures supra-spinales qui agissent sur les motoneurones ou par l'intermédiaire des interneurones de la moelle épinière.

B\ Les activités posturales.

Les activités posturales permettent de lutter contre les effets de la gravité afin de maintenir l'équilibre du corps. Elles ont une activité permanente par le tonus musculaire.

Le réflexe myotatique occupe une place prépondérante au niveau du tronc cérébral.

1\ Les formations réticulées bulbaires et pontiques.

Le niveau du tonus musculaire dépend de l'équilibre des influx excitateurs et inhibiteurs.

Ces formations réticulées reçoivent de nombreuses informations sensorielles en provenance d'autres neurones. Elles jouent un rôle important au niveau de la vigilance (activité excitatrice) et entraînent alors une augmentation du tonus musculaire.

Une activité inhibitrice entraînera, elle, une diminution de ce tonus musculaire.

2\ Les noyaux vestibulaires bulbaires.

Ils contrôlent l'activité posturale par une action excitatrice au niveau des motoneurones. Ils interviennent pendant les ajustements posturaux de compensation (quand le déséquilibre est déjà établi). Les informations sont en provenance des récepteurs sensoriels à l'équilibration (*labyrinthe ou vestibule*).

Les noyaux vestibulaires bulbaires sont capables de réagir à un changement de position par rapport au tronc ou de position dans l'espace.

C\ Les mouvements volontaires.

Un acte moteur conscient est commandé à partir des aires corticales motrices.

1\ Les aires corticales motrices.

a\ Les aires motrices primaires.

Tous les muscles y sont représentés. Ces aires sont organisées de façon somatotopique (la représentation est fonction des muscles).

Si l'on stimule un point, on a une contraction du muscle correspondant opposé.

Cette aire motrice est donc associée à l'exécution des mouvements.

b\ Les aires motrices d'ordre supérieur.

On distingue l'aire prémotrice (ou cortex prémoteur) et l'aire motrice supérieure (**AMS**).

Elles sont aussi organisées de façon somatotopique mais moins fine. Si l'on stimule l'aire prémotrice, on peut obtenir la contraction de tout un membre.

→ Les arcs moteurs sont plus ou moins complexes. Les deux premières aires interviennent dans la programmation d'un mouvement. L'aire motrice supérieure est nécessaire pour concevoir et appréhender ce mouvement.

2\ Les voies motrices principales.

On a deux grands systèmes parallèles qui vont transmettre les commandes des aires motrices.

a\ Le système direct.

Il est constitué de deux voies principales :

- **Cortico-bulbaire** : elle contrôle la motricité volontaire des muscles de la face.
- **Cortico-spinale (voie pyramidale)** : elle contrôle la motricité volontaire de tous les autres muscles du corps. Elle est divisée en deux faisceaux cortico-spinaux, latéral et ventral.

b\ Le système indirect.

Il existe un système indirect, la **voie cortico-rubro-spinale**, qui effectue un relais au niveau du noyau gris, dans le mésencéphale. Il sert à affiner le mouvement.

3\ Contrôle des mouvements volontaires.

Ce contrôle s'effectue à partir de trois sources d'informations :

- *voie sensorielle* : informations permanentes sur la position du corps et des muscles
- *informations venant du cervelet*
- *informations venant des noyaux gris.*

a\ Les informations sensorielles.

Ces informations viennent directement des récepteurs sensoriels ou des aires corticales sensorielles primaires d'ordre supérieur et associatif.

Le cortex pariétal postérieur est une grande source d'informations.

→ On a donc une adaptation des commandes motrices en fonction des circonstances.

b\ Les informations du cervelet.

Le cervelet régule aussi l'exécution des mouvements pendant qu'il y a lieu. Il reçoit de nombreux afférents, de la moelle épinière et du cortex moteur : il reçoit la copie du programme moteur donné par les aires motrices.

Le cervelet recueille aussi des informations sensorielles somesthésiques et du labyrinthe.

On a trois grandes régions du cervelet.

α\ Le cervelet spinal.

Il est constitué du *vermis* et des *hémisphères intermédiaires*. Il reçoit les informations sensorielles (somesthésiques) et *supervise* les postures (cf. l'exécution des mouvements volontaires).

Il *compare* les commandes motrices avec les résultats de l'exécution de l'acte moteur et peut *éventuellement modifier* cette commande.

L'action se fait par :

- voie directe : du cervelet vers le tronc cérébral (la moelle épinière).
- voie plus longue : du cervelet vers le cortex cérébral moteur puis à la moelle épinière.

β\ Le cervelet cérébral.

Il est constitué par la *zone latérale des hémisphères*. Cette zone établit surtout des relations avec le cortex cérébral moteur (relations bilatérales) lors de la programmation.

γ\ Le cervelet vestibulaire.

Il correspond au *lobe flocculo-nodulaire*. Il reçoit les informations du labyrinthe et visuelles. Il est *impliqué dans toutes les réactions posturales* ainsi que dans les mouvements conjugués de la tête et des yeux. Il est aussi *organisé somatopiquement*.

c\ Le noyau gris de la base.

Il comprend trois gros noyaux : le *noyau coudé*, le *putamen* (ces deux structures forment le télencéphale) et le *pallidum*.

Ces noyaux sont reliés entre eux et à d'autres structures comme le *subthalamus* (qui appartient au diencéphale) et à une *substance noire* (qui fait parti du mésencéphale).

Ces structures font intervenir de nombreux neurones transmetteurs. Elles sembleraient sélectionner les mouvements les plus adaptés dans une condition donnée.

La maladie de Parkinson (lenteur et pauvreté des mouvements) est le problème d'une voie allant de la *substance noire* au *striatum* (avec, comme neurotransmetteur : la **dopamine**).

La maladie de Huntington entraîne un excès de mouvements imprévisibles à cause de la dégénérescence des cellules du *striatum*.

LA DIGESTION

I\ INTRODUCTION

Les cellules de l'organisme ont besoin de nutriments : glucides, lipides, protéines, vitamines, sels minéraux et eau ; ces nutriments existent dans nos aliments, mais sous une forme complexe, incapables de traverser les membranes cellulaires.

La digestion a donc pour rôle de simplifier le bol alimentaire, l'amenant progressivement vers des formes physiques et chimiques, compatibles avec leur absorption digestive et leur transfert dans le système de distribution cellulaire : le sang et la lymphe. Ce rôle est assuré par le tube digestif dont le fonctionnement peut se résumer par :

- Une activité mécanique : aspiration, mastication, déglutition, brassage, remplissage et vidange.
- Une activité chimique et biochimique, surtout enzymatique, faisant intervenir des sucs élaborés par des cellules ou des glandes.

La température, l'osmolarité, le pH du bol alimentaire, la dimension des particules, leur liposolubilité et leur hydrosolubilité seront amenés progressivement par le travail des différents segments du système digestif à des caractéristiques favorables au passage trans-membranaire.

II\ ANATOMIE

A\ Structure générale

Le système digestif comprend le tube digestif dont les éléments sont la bouche, le pharynx, l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle, le côlon, le rectum et les glandes annexes, comme les glandes salivaires, la vésicule biliaire et certaines parties du foie et du pancréas.

On peut assimiler le tube digestif à un conduit de calibre variable, traversant le corps de la bouche à l'anus, sa longueur est d'environ 5m, sa lumière est en continuité avec le milieu extérieur, si bien que son contenu ne fait pas partie intégrante de l'organisme : c'est l'exemple des bactéries très présentes dans la partie terminale de l'intestin où elles sont inoffensives et même utiles mais, si elles pénètrent dans l'organisme, elles deviennent rapidement pathogènes, c'est ce qui se passe lors des crises d'appendicite.

L'anatomie de chaque segment du tube digestif sera détaillée lors de l'étude des différentes étapes de la digestion.

B\ histologie.

L'histologie du tube digestif est identique sur toute sa longueur. En allant de l'extérieur vers la lumière du tube digestif, on rencontre :

- une **séreuse** qui enveloppe le tube,
- une 1ère couche de **muscles lisses orientée longitudinalement**,
- une 2ème couche de **muscles lisses circulaires**,
- une 3ème couche appelée « **muscularis mucosae** » ou pour être plus explicite "la musculaire de la muqueuse" ; elle est constituée de fibres circulaires et de fibres longitudinales ; elle se situe exactement entre la sous-muqueuse (qui est au contact de la couche de muscles lisses circulaires) et la muqueuse.
- la **muqueuse** est la couche cellulaire au contact de la lumière ; c'est là que se trouvent les *glandes exocrines* qui déversent les produits de leur sécrétion dans la lumière et les *villosités épithéliales* chargées de l'absorption des nutriments. C'est une couche plissée qui accroît la surface de contact avec le bol alimentaire.

La *sous-muqueuse* est un tissu conjonctif qui contient quelques cellules glandulaires exocrines mais surtout *les vaisseaux sanguins et lymphatiques* qui draineront les nutriments absorbés.

SE = séreuse

CML = couche de muscles lisses

< ---- > PLEXUS 1

CMC = couche de muscles circulaires

SM = sous-muqueuse

MM = musculaire de la muqueuse

< ---- > PLEXUS 2

M = muqueuse

Voir figure p26.

La surface du tube digestif n'est pas lisse, mais finement plissée, surtout au niveau de l'intestin grêle (100 à 150m²).

Tous ces muscles sont formés de faisceaux de myofibrilles *anastomosées*, c'est-à-dire dont les membranes fusionnent par endroits pour former "**les nexus**", zones de contact privilégié où la résistance électrique est moindre favorisant ainsi la dépolarisation. Ces fibres lisses sont formées de myosine (1 filament épais par fibre) entourée d'actine (environ 15 filaments fins par fibre), dont le glissement provoque la contraction de la fibre ; le principe de la contraction est le même que celui du muscle strié (avec intervention de Ca²⁺, de l'ATP pour donner de l'énergie), mais la réponse du muscle à l'excitation est plus longue et la contraction est plus soutenue.

Les contractions de ces muscles peuvent être localisées (*activité segmentaire*), servant au brassage des aliments ou propagées (*péristaltisme*) assurant ainsi le transit du bol alimentaire le long du tube digestif.

C\ Commande neuro-humorale de l'activité sécrétoire et motrice

Les activités motrice et sécrétoire du tube digestif sont sous un double contrôle nerveux et endocrinien. L'activité sécrétoire est à la fois exocrine et endocrine.

Les *glandes exocrines* sont situées dans la paroi même du tube digestif mais aussi à

distance du tube digestif : glandes salivaires, foie, pancréas ; leur production est déversée dans la lumière du tube digestif par des canaux plus ou moins longs.

Les glandes endocrines sont situées dans la muqueuse du tube digestif ; elles sécrètent trois principales hormones :

- la *gastrine* (estomac),
- la *sécrétine* et la *cholécystokinine* (première portion du grêle) qui sont drainées *directement par le sang* (voie veineuse) et redistribuées (voie artérielle au tube digestif dont elles peuvent affecter la motilité et la sécrétion, même en des portions parfois éloignées de leur point d'origine (lieu de sécrétion).

Les activités motrices et sécrétoires du tube digestif sont commandées :

- d'une part et en grande partie, par son propre système nerveux local (*intrapariétal*) ; il s'agit des plexus, qualifiés d'intrinsèques ou intra-muraux,
- d'autre part, par des voies nerveuses longues du système végétatif qui peuvent, soit se connecter sur les plexus, soit innover directement le tube digestif.

Autrement dit, la commande nerveuse sur les systèmes sécrétoire et moteur est essentiellement locale, c'est-à-dire intrapariétale grâce aux plexus intramuraux. Elle peut aussi dépendre du système nerveux végétatif qui va agir directement ou indirectement. Il existe des réflexes :

- courts qui relient les récepteurs aux effecteurs par les plexus
- longs qui relient les récepteurs au système nerveux central ---> plexus ---> neurones ---> effecteurs.

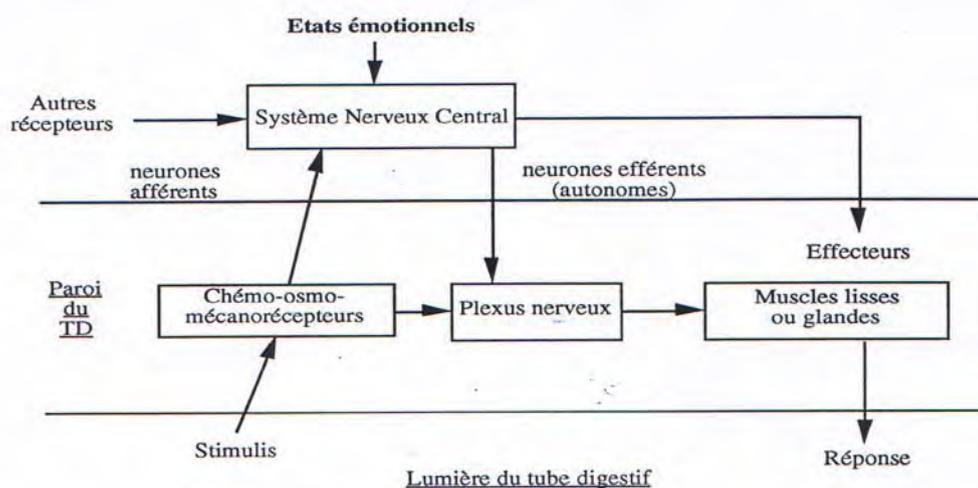
1\ Régulation nerveuse : les plexus.

Les plexus sont faits de corps neuroniques, avec leurs prolongements axoniques et dendritiques, et des terminaisons nerveuses des fibres longues, ortho et parasympathiques.

- le **plexus myentérique** (ou *d'Auerbach*), situé entre la couche musculaire circulaire et la couche musculaire longitudinale
- le **plexus sous-muqueux** (ou *de Meissner*) situé entre la muqueuse et la couche musculaire circulaire.

Ces plexus existent tout le long du tube digestif, de l'œsophage à l'anus ; leurs neurones se relaient entre eux par des synapses à l'intérieur d'un même plexus. Le plexus myentérique a des rapports plus étroits avec la musculature du tube digestif que le plexus sous muqueux qui aurait un rôle dans les activités sécrétoires et régulatrices du tube digestif et, à un moindre degré, motrices.

Les fibres du système nerveux végétatif, ortho et parasympathiques pénètrent dans la paroi du tube digestif et font synapse avec les neurones du plexus ; leurs actions s'exercent donc en grande partie par l'intermédiaire des plexus, mais parfois ces fibres court-circuitent les plexus et se terminent directement sur les muscles ou les glandes du tube digestif. C'est en partie le cas pour le *nerf vague* (X ou pneumogastrique), dont les fibres se distribuent aux parois de l'estomac, de l'intestin grêle et du côlon. Parmi ces fibres, certaines sont afférentes et d'autres efférentes.

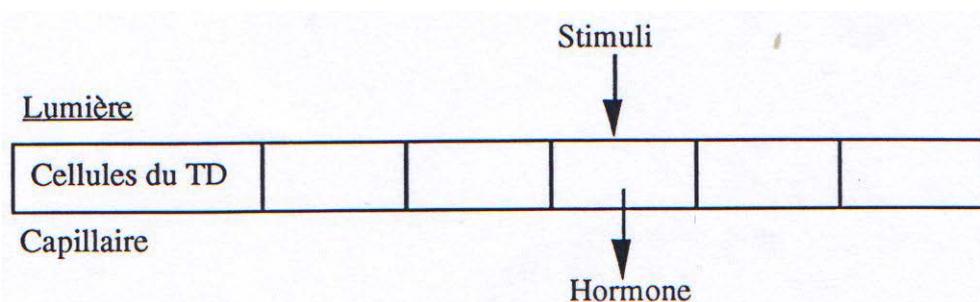


Le contact entre les fibres nerveuses et les fibres musculaires se fait sans structure différenciée de type plaque motrice, mais *par simple contiguïté* ; la cellule nerveuse sécrète son médiateur au voisinage de la membrane musculaire sur laquelle il arrive par diffusion pour se fixer sur son récepteur spécifique. Il y a les *neuromédiateurs classiques*, l'acétylcholine et la noradrénaline mais aussi d'autres substances comme la *sérotonine*, l'*histamine* ou les *prostaglandines*, qui peuvent avoir des actions directes ou indirectes, activatrices ou inhibitrices.

2\ Régulation hormonale

- A l'inverse de ce que l'on observe pour les éléments endocriniens (gonades, surrénales, hypophyse, thyroïde), les cellules qui sécrètent les hormones du TD sont des *cellules isolées* à travers tout l'épithélium de l'estomac et de l'intestin grêle ; c'est-à-dire *qu'elles ne sont pas groupées en petits organes ou glandes*.

- La stimulation a lieu au niveau de la lumière du TD, la sécrétion se fait au niveau des capillaires c'est-à-dire de l'autre côté de la cellule cible.



- On retrouve certaines hormones en petites quantités également dans la lumière du TD (rôle paracrine des hormones).

- Une douzaine d'hormones sont considérées comme des hormones gastro-intestinales, seules trois le sont réellement : **Sécrétine** - **CCK** - **Gastrine**.

Les autres substances sont des hormones que l'on appelle *candidats* :

- Bombésine - **GIP** (Peptide Inhibiteur Gastrique) - Motiline - Somatostatine - **VIP** (Peptide Vaso-actif Intestinal) - Villikinine - Entéroglucagon.

3\ Schéma général du contrôle du tube digestif

Les muscles lisses et les glandes exocrines du tube digestif sont sous trois influences directes :

- 1-l'innervation extrinsèque.
- 2-l'innervation intrinsèque.
- 3-les hormones issues des propres parois du tube digestif.

Quant aux glandes endocrines responsables de l'élaboration et de la mise en circulation des facteurs hormonaux, elles sont aussi sous l'influence des commandes précédentes, mais elles répondent aussi aux changements de la composition et du volume du contenu du tube digestif.

Les récepteurs locaux sont sensibles aux *caractéristiques chimiques du contenu du tube digestif et à la tension pariéale*. Ces informations peuvent être transmises, soit aux plexus, soit aux centres supérieurs. Dans le premier cas, on a un *réflexe dit court*, à base de l'autorégulation digestive mais il n'échappe pas au contrôle supérieur, surtout lorsque le réflexe court est mis en jeu par des récepteurs situés loin du tube digestif (vue, odeur des aliments).

III\ PHYSIOLOGIE.

A\ Digestion.

1\ Généralités.

a\ Mécanismes généraux des sécrétions digestives.

Grâce à ses glandes à mucus, le tube digestif sécrète un film lubrifiant et protecteur contre l'agression mécanique et chimique des aliments. Ce film contient :

* des *glycoprotéines*, ou *mucopolysaccharides*, sécrétées par des *glandes superficielles*, ou par les *glandes supérieures des cryptes* ; elles participent à l'ajustement du pH, grâce à leur pouvoir tampon, leur sécrétion est permanente mais accélérée par le contact alimentaire.

* des *sucs sécrétés* par des glandes très diverses ; ces sucs contiennent d'une façon générale :

- des *bicarbonates* d'origine plasmatique (pour une faible part) mais surtout synthétisés.
- des *électrolytes* qui viennent aussi du plasma en concentration variable, du fait des mécanismes de sécrétions et de réabsorption.
- des *protéines enzymatiques* synthétisées de façon classique par les cellules.

Ces sécrétions sont sous le double contrôle neuroendocrinien avec une innervation végétative qui agit directement sur les cellules sécrétrices mais aussi sur les glandes endocrines qui libèrent des hormones régulatrices (activatrices ou inhibitrices) de la sécrétion des sucs. Leur libération peut se faire sous l'action du SNV mais aussi sous l'effet des *actions mécanique et chimique des aliments*, ce dernier facteur étant prépondérant.

Il y a une inter-relation fonctionnelle constante, nerveuse et hormonale ; les deux systèmes peuvent se potentialiser mutuellement, ou s'autoréguler, en formant des boucles de

rétro-inhibition ou feed-back.

Exemples :

- la stimulation du nerf vague sensibilise la glande de l'estomac à l'action de la gastrine.
- la sécrétion de gastrine active les cellules stomacales sécrétant l'HCl ; les ions H⁺ libérés abaissent le pH qui inhibe la sécrétion de gastrine.

b\ Conditions générales des hydrolyses enzymatiques

Le bol alimentaire va subir des modifications physiques et chimiques.

- fragmentation par la mastication.
- ramollissement, dissolution et dispersion par l'eau.
- action acide du suc gastrique.
- action des nombreuses enzymes qui scindent les molécules.

Ces réactions enzymatiques ont une vitesse qui dépend de la température (en fait peu d'augmentation car elle est uniforme dans le tube digestif) et surtout du pH spécifique à chaque enzyme : pepsine -> pH acide - trypsine -> pH neutre.

Les enzymes protéolytiques sont livrées par la glande sous forme de précurseurs inactifs : pepsinogène, trypsinogène, etc. qui sont activés par amputation d'un segment qui masque le site actif de l'enzyme ; ces amputations sont réalisées par des protéases, appelées kinases, plus ou moins spécifiques et qui nécessitent souvent la présence de l'ion Ca²⁺.

Les lipases n'agissent que lorsque le substrat est en émulsion fine et stable, d'où la présence d'agents émulsifiants tels que les sels biliaires.

Enfin, il y a des enzymes digestives endo-cellulaires qui n'agissent que lorsque le substrat pénètre dans la cellule, ou lorsque la cellule est desquamée, libérant ainsi son enzyme dans le tube digestif.

c\ Méthodes générales de l'exploration de la fonction digestive

α\ Exploration de la mécanique digestive

On peut suivre les variations de la pression endo-cavitaire des différents segments. Elles sont le reflet du tonus pariétal et des contractions rythmiques. On utilise des sondes ouvertes, des sondes à ballonnets, des jauges de contrainte ou des capsules radio-émétrices.

On peut aussi mesurer les activités électriques du tube digestif à l'aide d'électrodes qui mesurent des potentiels d'actions. Le transit peut être apprécié sur toute la longueur du tube digestif grâce à des colorants ou des traceurs radioactifs que le sujet ingère et dont on suit l'élimination en fonction du temps.

La radiographie et la radio-cinématographie permettent, grâce à l'ingestion de produits radiopaques, plusieurs possibilités :

- visualiser les dimensions et la forme des cavités digestives ; déceler à leurs niveaux d'éventuelles anomalies : sténoses, stases, ulcères, tumeurs, etc.
- analyser les mouvements et mesurer les temps intermédiaires de transit (oesophagien, stomacal, etc.)

β\ Exploration des sécrétions digestives et de leur régulation

On peut recueillir les différents sucs digestifs par des *fistules temporaires* ou *chroniques* chez l'animal. Chez l'Homme, on utilise en général une sonde placée par voie naturelle (tubage gastrique ou duodéal). On peut ainsi recueillir des sucs digestifs et en préciser les principales caractéristiques physico-chimiques : volume, pH, viscosité, électrolytes, etc. On peut également mesurer *in vitro*, sur des substrats adéquats, les activités enzymatiques de ces sucs digestifs.

En ce qui concerne les hormones, on utilise des techniques de radio-immunologie qui permettent de doser, dans le sang et dans les tissus, de très petites quantités d'hormones (nano ou picogrammes).

Le principe de ces dosages sera détaillé au cours d'autres enseignements, on peut ainsi doser la gastrine, la sécrétine ou la cholécystokinine.

γ\ Mesure du coefficient d'utilisation digestive (CUD)

Des méthodes permettent d'évaluer les possibilités digestives et surtout d'absorption digestive d'un individu. On peut doser dans le sang certains aminoacides mais la méthode la plus utilisée consiste à doser l'azote dans l'ingéré (aliments) et dans les excréments (urine et fèces) afin de connaître par différence, l'azote retenu par l'organisme ; on peut ainsi déterminer certains coefficients, comme le CUD, le CEP, etc.

1\ Bouche - Pharynx - Oesophage

L'extrémité orale constitue un organe de préhension grâce à ses muscles (joues, lèvres, langue) ; les aliments solides vont être l'objet, dans la bouche, d'actions mécaniques (mastication) et chimique (insalivation).

α\ Mastication

Les fonctions essentielles des dents sont de mordre et de mastiquer pour prélever et réduire cette bouchée en fragments assez petits pour être déglutis. La pression exercée par les dents est très grande ; pression des incisives : 10 à 25 kg ; des molaires environ 100 kg.

La mastication prolongée est une caractéristique de l'Homme. De nombreux animaux (chat, chien) avalent sans mâcher ; l'action essentielle de la mastication est de réduire la taille des morceaux pour éviter des accidents.

La contraction des muscles masticateurs (temporal, masseter) est sous le *contrôle nerveux de la branche motrice du trijumeau (nerf crânien n°5)*, dont l'origine serait un centre masticateur dans le bulbe rachidien. La mastication peut être volontaire mais aussi *déclenchée par un mécanisme réflexe* avec, comme point de départ, des récepteurs situés dans la bouche (un animal décortiqué conserve la mastication quand un aliment est placé dans sa bouche).

En plus du contrôle volontaire (nerfs somatiques) des muscles squelettiques de la bouche et de la mâchoire, les mouvements rythmiques de la mastication sont déclenchés de façon réflexe par la pression des aliments sur les gencives, les dents, le palais et la langue (→inhibition

des muscles qui maintiennent la bouche fermée).

b\ Salivation

Trois paires de glandes exocrines sécrètent la salive (chez l'Homme, environ 1 à 2 litres /24 H) ; ce sont les glandes parotides, sous maxillaires et sublinguales.

La salive *parotidienne* est fluide (riche en eau) ; les 2 autres salives sont plus visqueuses (mucus). La salive contient 99 % d'eau, des sels minéraux et des protéines (1 %).

Les protéines les plus caractéristiques sont :

- les *mucines* qui, mélangées à l'eau, forment le mucus qui imbibe et lubrifie le bol alimentaire : glycoprotéines, mucopolysaccharides.
- la *ptyaline* c'est une amylase qui dégrade les polysaccharides en disaccharides ; ce travail commence dans la bouche et se poursuit dans l'estomac, tant que le pH acide n'inhibe pas cette enzyme.

La composition de la salive varie en fonction du débit de sécrétion et du stimulus qui est à l'origine de la salivation ; il y aura une sécrétion primaire assurée par les acinus et remaniée au cours de son écoulement par des phénomènes de réabsorption (Na^+), (CO_3H^-) ou de sécrétion (K^+), pour aboutir à une salive définitive.

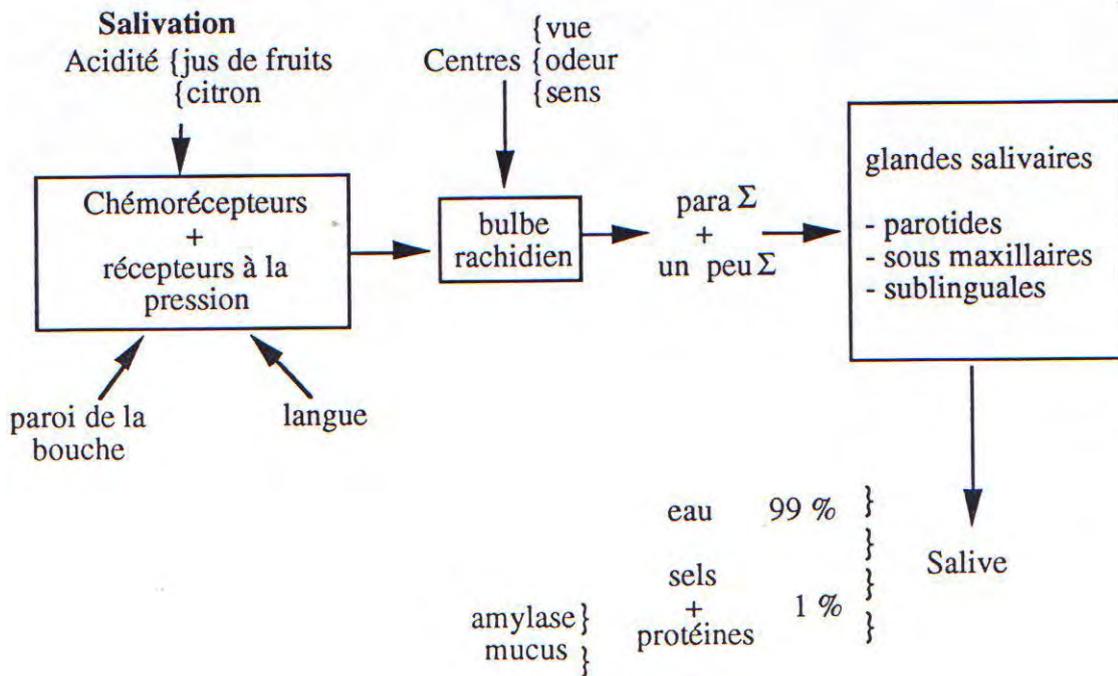
La sécrétion salivaire est permanente mais son débit varie selon les circonstances.

Les glandes salivaires reçoivent une *double innervation végétative*: ortho-sympathique (adrénergique) et parasympathique (cholinergique) et, contrairement au cas général, **il n'y a pas antagonisme entre les deux systèmes** ; ils sont tous les deux activateurs, le parasympathique étant, et de loin, le plus actif.

La boucle réflexe comprend une stimulation des récepteurs buccaux (chimio-récepteurs et mécano-récepteurs), un cheminement par des fibres jusqu'aux centres bulbaires d'intégration puis retour par d'autres fibres jusqu'aux effecteurs. Les fibres cholinergiques agiraient surtout au niveau de la sécrétion primaire (production d'eau et d'électrolytes) et les fibres adrénérergiques agiraient plutôt sur les cellules des canaux excréteurs (K^+ , CO_3H^-).

Les stimulus les plus efficaces sont les solutions acides diluées (jus de citron : 7 - 8 ml/min) ; le point de départ peut aussi être extra-buccal (œsophage, vue, odeur, sons). Ces réflexes sont très conditionnables ; c'est le réflexe classique de Pavlov ; par exemple l'expression « l'eau à la bouche ».

Il n'y a pas de commande hormonale spécifique de la salivation, mais certaines hormones peuvent avoir une action, comme l'ADH et l'aldostérone. L'ADH réduit le débit ; l'aldostérone augmente la réabsorption du Na^+ et la sécrétion du K^+ .



Les rôles de la salive sont donc multiples :

- commencer l'hydrolyse de certains glucides.
- humecter la bouche (indispensable à l'élocution).
- solubiliser les substances chimiques qui peuvent ainsi stimuler les papilles gustatives.
- enrober le bol alimentaire de mucus pour permettre sa déglutition.

c\ Déglutition

C'est un acte réflexe complexe qui est provoqué lorsque le bol alimentaire poussé par la langue est propulsé dans l'estomac. Il existe des récepteurs mécaniques du pharynx qui envoient des influx sensitifs vers le centre bulbaire de la déglutition. Ce centre coordonne les mouvements de la déglutition en envoyant à son tour des influx moteurs vers les effecteurs, constitués par les 25 muscles du pharynx, du larynx et de l'œsophage. Une fois amorcée, la déglutition ne peut plus être arrêtée ; c'est le type de réflexe du tout ou rien, coordonné, automatique, programmé par les connections synaptiques.

On distingue classiquement trois temps dans ce réflexe de déglutition:

- le temps buccal : Il est assuré par la langue, sous *contrôle volontaire* : il permet de propulser par ses mouvements, le bol vers le pharynx.
- le temps pharyngien : La langue obture l'orifice buccal pour empêcher le retour dans la bouche ; il y a fermeture des fosses nasales par le voile du palais, fermeture des voies respiratoires par la glotte, puis par l'épiglotte, empêchant ainsi toute fausse route du bol, ouverture du sphincter œsophagien supérieur et passage des aliments
- le temps œsophagien : Dans l'œsophage, le bol est poussé vers l'estomac par une onde péristaltique qui se propage de proche en proche (2 à 4 cm/s) Elle est commandée au début par le système nerveux végétatif puis, en fin de parcours, par les plexus. Plusieurs ondes peuvent être nécessaires pour vider l'œsophage (bol trop gros) ; elles sont puissantes et permettent le passage contre la pesanteur (tête en bas).

Note : pendant la grossesse, la pression abdominale augmente : le contenu stomacal est en parti refoulé ; l'œsophage est irrité par le suc gastrique : -> pyrosis.

La déglutition des aliments solides ou pâteux dure 1-2 secondes dans la bouche, moins de 1 seconde dans le pharynx, 3-5 secondes dans l'œsophage. La déglutition des liquides est plus rapide ; on peut aussi déglutir de l'air jusqu'à 500 mL, dont la plus grande partie ne dépasse pas l'œsophage, car il est expulsé par éructation, mais il peut aussi arriver dans l'estomac (100 mL), puis dans l'intestin.

1 \ Digestion dans l'estomac

L'estomac est un réservoir qui sécrète un acide fort, l'HCl et plusieurs enzymes. La digestion stomacale consiste en un *morcellement du bol alimentaire en molécules*, ou ensemble de molécules, encore trop important pour être absorbé : on parle du *chyme stomacal*.

a \ Digestion mécanique

L'estomac est une poche très plissée, d'un volume moyen de 50 mL à vide et qui se déplisse lors du remplissage (1,5 L) ; sa structure est décrite dans le paragraphe précédant de l'anatomie. C'est au niveau de l'estomac que les plexus sont les plus nombreux (coup de poing) et les fibres orthosympathique et parasymphathique assurent la liaison avec l'axe cérébro-spinal.

Il y a une activité électrique de base, sous forme d'ondes, qui provoque des contractions musculaires lentes qui vont du cardia au pylore.

La première bouchée déglutie arrête cette activité et l'estomac reste immobile pendant 30 à 60 minutes après le début du repas ; les aliments ingérés se disposent en couches successives.

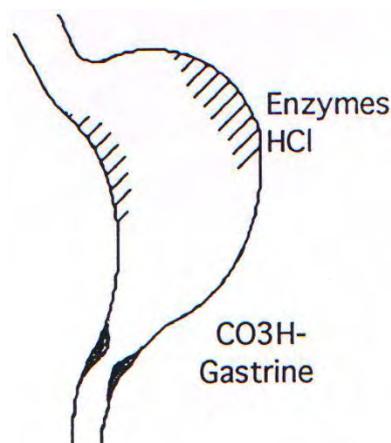
Après ce délai, les ondes reprennent, mélangent les aliments et les sucs ; elles poussent le bol vers le pylore dont le sphincter est fermé ; le bol reflue vers le cardia et ce brassage continue jusqu'à ce que le chyme réponde aux critères de pH et de granulométrie. L'estomac se vide par petites éjaculations successives et le temps d'évacuation peut aller de 20 mn pour les liquides, à 5-6 heures pour les repas normaux à 12, 18 et même 24 heures pour les grandes "bouffes". Ces mouvements sont régulés par réflexes courts (plexus) et par réflexes longs (SNV) : les stimuli sont thermiques, mécaniques et chimiques. La stimulation du nerf vague renforce l'activité gastrique et le système orthosympathique la diminue. Ces actions sont complétées par l'intervention de diverses hormones : la gastrine les augmente ; le glucagon, la sécrétine et le VIP les diminuent.

b \ Suc gastrique

Sur le plan sécrétoire, on distingue deux parties fonctionnellement distinctes dans l'estomac :

- **la muqueuse de la poche principale** (fundus) qui *élabore les enzymes* (cellules principales) et dont les **cellules pariétales**, ou bordantes, *sécrètent les ions H⁺*.

- **la région antro-pylorique** (antre ou antrum), dont les glandes donnent des *sécrétions alcalines riches en bicarbonates*. La gastrine y est aussi *sécrétée*.



α \ Composition

Le suc gastrique est sécrété de façon permanente (environ 2 litres/24 h) ; il augmente au cours des repas ; c'est un liquide incolore, visqueux et acide ; il contient du mucus, des électrolytes (H^+ , Cl , Na^+ , K^+ , CO_3H^- , des enzymes, surtout des pepsines et une glycoprotéine le facteur intrinsèque de Castle, qui est nécessaire à l'absorption de la vitamine B 12).

1- l'HCl :

C'est un acide fort, totalement dissocié dans la lumière gastrique. On ne connaît pas le mécanisme moléculaire précis de sa sécrétion par les cellules pariétales. L'ion H^+ peut être produit par oxydo-réduction (pompe rédox) ou par dissociation de l'eau. Sa production et sa libération par le pôle muqueux de la cellule sont des mécanismes actifs consommateurs d'énergie (ATP). L'ion OH^- (dans le cas de la dissociation de l'eau) est neutralisé dans la cellule pariétale par les bicarbonates formés à partir du CO_2 sanguin qui, sous l'action de l'anhydrase carbonique, forment des ions HCO_3^- rejetés dans le plasma au pôle séreux de la cellule pariétale. L'ion Cl^- se déplace, du pôle séreux au pôle muqueux, par un phénomène actif, contre un gradient électrochimique. C'est finalement de l'HCl qui est déversé dans la lumière amenant le pH au voisinage de 1.

2-les protéines enzymatiques gastriques :

Ce sont des protéases, lipases et uréases. Leur synthèse est classique : réticulum endothélial, appareil de Golgi.

Pour les protéases, seule la pepsine a une activité digestive importante ; elle est sécrétée sous forme de pepsinogène ; l'amputation du fragment inhibiteur est induite par l'HCl et se poursuit par l'action de la pepsine

La lipase n'agit que sur des acides gras à chaîne courte. Le rôle de l'uréase est inconnu.

Remarque : Chez les ruminants, la présure est une peptidase qui agit sur la caséine du lait ; chez l'homme, ce rôle est joué par la pepsine.

β \ Actions

Grâce à l'HCl, le suc gastrique "cuit" les aliments ; il dissout la cellulose et les fibres conjonctives des faisceaux musculaires des viandes qui se fragmentent. Son action protéolytique est due aux pepsines. Ce sont des endopeptidases qui agissent à pH 1-3, 5, surtout sur la

fonction amine d'acides aminés aromatiques (phénylalanine, tyrosine) ; elles digèrent donc incomplètement les protéines.

Le suc gastrique stimule les chimio-récepteurs et inhibe la sécrétion de gastrine.

Remarque : La digestion gastrique n'est pas indispensable ; certains individus, privés partiellement ou totalement d'estomac (ulcères, cancer, nécessitant une gastrectomie) digèrent des aliments fragmentés et supplémentés en vitamine B 12.

γ\ Régulation de la sécrétion (gastrine, CCK)

Les productions d'acides et d'enzymes sont sous un double contrôle : nerveux et hormonal.

On distingue :

•La phase céphalique : Au cours de cette phase, la sécrétion s'accroît avant que les aliments n'aient atteint l'estomac. C'est par la voie vagale, dont les fibres parasympathiques servent de relais entre l'estomac et les centres nerveux supérieurs, que se réalise cette sécrétion psychique qui peut être déclenchée par la vue, l'odeur, le goût et le souvenir d'un aliment. Ce suc d'amorce est important ; il accueille les aliments et commence la digestion des protéines en peptides qui deviennent à leur tour des stimulateurs de la sécrétion gastrique.

•La phase gastrique : L'arrivée des aliments dans l'estomac déclenche la sécrétion gastrique d'HCl et d'enzymes. Cette sécrétion est due à la gastrine produite par les cellules de la muqueuse de l'antrum. Le stimulus le plus puissant de la sécrétion de gastrine est la présence de protéines alimentaires dans l'estomac mais les protéines intactes sont moins efficaces que les fragments peptidiques et que certains acides aminés. La stimulation mécanique de l'antrum déclenche aussi la sécrétion de gastrine ainsi que la stimulation du nerf vague.

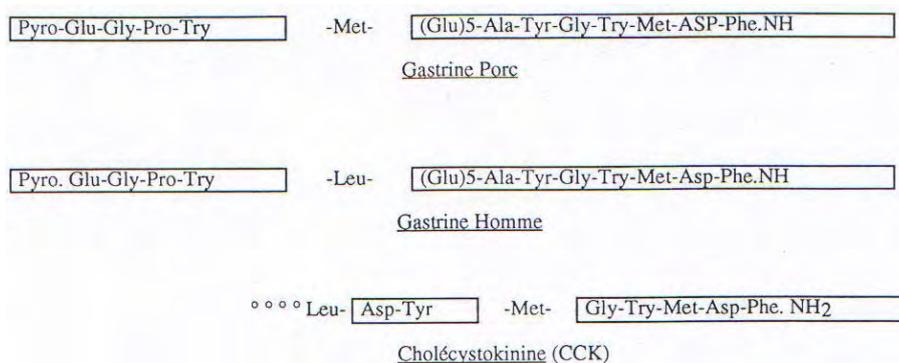
Remarque : L'alcool, la caféine, le cola sont de forts stimulateurs de cette sécrétion. Leur prise est souhaitable avant le repas ; elle est néfaste en dehors des repas (acidité en augmentation). L'anesthésie de la muqueuse antrale supprime la sécrétion de gastrine il s'agit donc de réflexes locaux qui stimulent les cellules à gastrine, par contre, ces cellules sont inhibées par les ions H⁺, la sécrétine, le glucagon et la somatostatine.

LA GASTRINE :

C'est un peptide de 17 acides aminés, dont les 5 derniers sont responsables de ses effets. Elle possède de nombreux sites d'action tout le long du tube digestif.

En terme de biologie moléculaire, on peut voir les homologues de certaines séquences de la gastrine humaine et de celle du porc. Elles ne diffèrent entre elles que par un seul acide aminé.

On peut comparer aussi avec une autre hormone, la cholécystokinine qui possède la même séquence terminale d'acides aminés ; mais elle est moins efficace que la gastrine car l'efficacité dépend aussi de l'autre partie de la molécule qui est différente entre les 2 hormones et qui est responsable de l'affinité pour le site récepteur.



Les actions cellulaires de la gastrine consistent surtout à stimuler la sécrétion d'HCl par les cellules pariétales. Ces cellules ont au moins trois types de récepteurs : gastrine, histamine et ACh. La gastrine stimule aussi la sécrétion de pepsine et celle des enzymes pancréatiques ; elle favorise le développement et la régénération de la muqueuse gastrique ; elle renforce la motricité du sphincter oesophagien inférieur et celle de l'antrum.

Les facteurs qui inhibent la sécrétion acide de l'estomac sont les mêmes que ceux qui inhibent la sécrétion de gastrine ; ce sont surtout les peptides hormonaux produits par la muqueuse de l'intestin grêle et par le pancréas : sécrétine, glucagon, G.I.P et V.I.P.

Cette phase d'inhibition de la sécrétion gastrique est souvent qualifiée de *phase intestinale*.

1\ Digestion dans l'intestin grêle

L'intestin grêle reçoit le chyme gastrique et les sucs pancréatique, biliaire et intestinal ; il est le siège de la majeure partie de la digestion enzymatique.

a\ Digestion mécanique

Il y a deux types de contractions.

- **les contractions segmentaires** : Elles apparaissent sur un segment de 2 à 3 cm, disparaissent et réapparaissent sur le segment voisin. Ce type de mouvements favorise le brassage des aliments mais n'est pas propulsif.

- **les contractions propulsives** : Elles sont dues aux muscles circulaires qui se contractent en amont et se relâchent en aval, formant ainsi un anneau de contraction qui pousse en avant le bol alimentaire. La régulation de cette motricité se fait par voie réflexe : ce sont les réflexes gastro-iléal, iléo-gastrique et intestino-intestinal. Les stimuli sont chimiques et mécaniques ; les voies afférentes sont nombreuses (nerf splanchnique) ; les centres sont médullaires qui envoient par les voies adrénergiques ou cholinergiques des réponses activatrices ou inhibitrices.

Deux hormones renforcent la motricité du grêle : la gastrine et la cholécystokinine.

b\ Suc pancréatique

Le suc pancréatique est élaboré par le pancréas exocrine ; il est déversé par un canal dans le duodénum. Pour l'emplacement du pancréas, voir le schéma du tube digestif ; de même pour la

structure du pancréas qui est constitué de lobules regroupant des acini exocrines, s'ouvrant sur des canalicules excréteurs, qui confluent vers le canal principal, ou **de Wirsung**, abouché au duodénum par l'**ampoule de Vater** ; cette ampoule est contrôlée par le **sphincter d'Oddi**. Il y a aussi un ou plusieurs canaux accessoires, dits **de Santorini**. Enfin, parmi les lobules, de place en place se trouvent des amas de cellules endocrines, formant les **îlots de Langerhans**.

α\ Composition

Le suc pancréatique est sécrété au taux moyen de 1 à 2 litres /24 h. C'est un liquide incolore muqueux, pH 8,5 ; il contient des électrolytes : Na⁺ ; K⁺ ; Cl⁻ et CO₃H⁻, sécrétés par les cellules canaliculaires, des protéines enzymatiques dont une amylase ou 1-4 glucosidase qui hydrolyse les disaccharides en sucres simples, une lipase qui libère des acides gras et des monoglycérides à partir des triglycérides émulsionnés et des phospholipases dont la phospholipase A, des pro-enzymes inactives activées sous l'action de la trypsine, elle-même y compris :

- le trypsinogène activé en trypsine dans le duodénum par l'entérokinase. C'est une endopeptidase qui hydrolyse à pH alcalin certains acides aminés basiques (lysine, arginine).

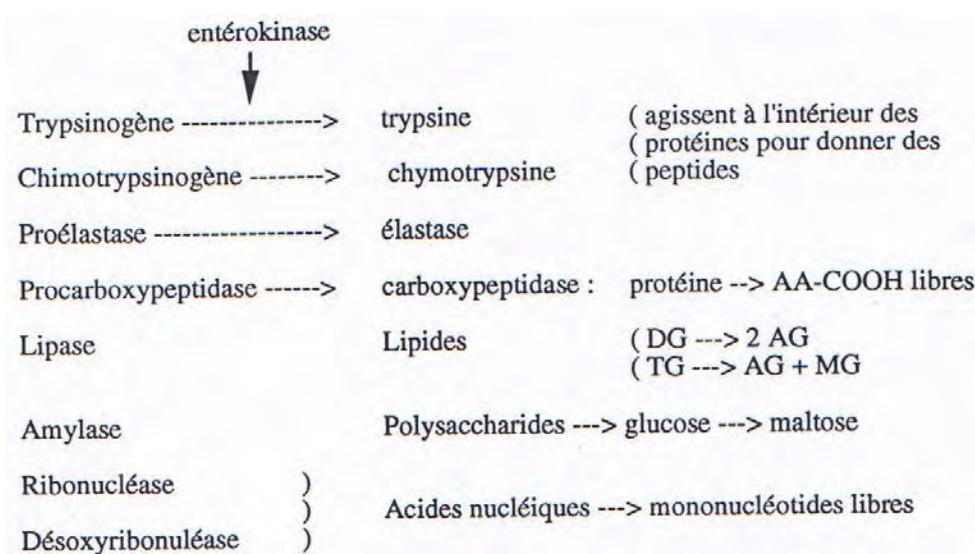
- le chymotrypsinogène donnera la chymotrypsine, endopeptidase qui hydrolyse les liaisons d'acides aminés aromatiques (phénylalanine, tyrosine).

- La proélastase donne l'élastase, une endopeptidase active sur les liaisons des acides aminés courts (glycocolle, alanine).

- la procarboxypeptidase, activée en carboxypeptidase, qui libère l'acide aminé C-terminal de la protéine.

La ribonucléase et la désoxyribonucléase ; ce sont des estérases des acides nucléiques qui les transforment en mononucléotides libres.

Toute cette partie organique du suc pancréatique est sécrétée par les cellules acineuses.



β\ Régulation de la sécrétion

La régulation de la sécrétion pancréatique est à la fois nerveuse et hormonale. Les

sécrétions électrolytiques et protéiques, bien que simultanées, ont chacune leur propre régulation.

- **Régulation nerveuse** : Le pancréas est innervé par le nerf pneumo gastrique, cholinergique, et le nerf splanchnique, adrénérgique. Les stimulus de départ sont la vue, le goût, l'odeur et le contact des aliments.

- **Régulation hormonale** : il y a intervention de la sécrétine, de la cholécystokinine et de la gastrine.

• **SECRETINE** :

C'est à partir des travaux de Bayliss et Starling sur la sécrétine, en 1902, qu'a été dégagée la notion d'hormone ; elle a été isolée en 1961 et séquencée en 1969. C'est un peptide de 27 acides aminés dont les principales actions sont :

- stimuler la sécrétion de la pepsine gastrique.
- inhiber celle de l'HCl.
- stimuler les sécrétions biliaire et intestinale.
- stimuler la sécrétion pancréatique, surtout celle des bicarbonates mais très peu celle des enzymes

La sécrétion de sécrétine est stimulée par les fibres cholinergiques (nerf vague), les peptides, quelques acides aminés et acides gras et surtout par les ions H⁺.

• **CHOLECYSTOKININE = PANCREOZYMININE** :

On a longtemps cru, de 1928 à 1964, qu'il s'agissait de deux hormones différentes, alors que c'est un principe actif unique, un peptide dont les actions sont les suivantes :

- augmentation de la sécrétion biliaire (action cholagogue),
- potentialise l'action de la sécrétine sur le pancréas,
- augmente la sécrétion du pancréas surtout celle d'enzymes,
- augmente la sécrétion d'HCl et d'enzymes par l'estomac (comme la gastrine).

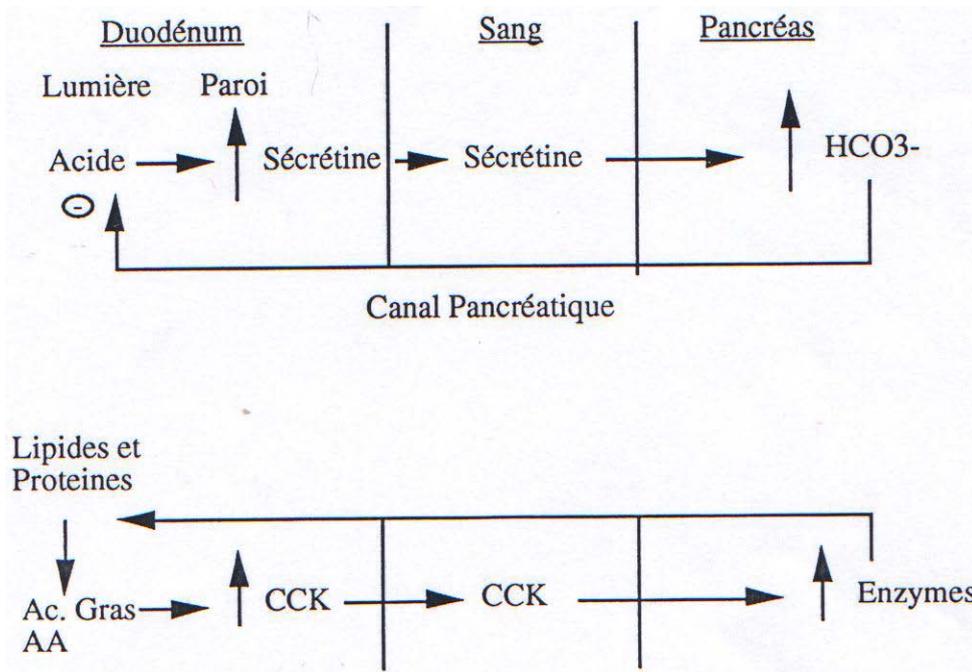
La CCK a les mêmes facteurs d'activation que la sécrétine.

• **GASTRINE** (cf. pages précédentes).

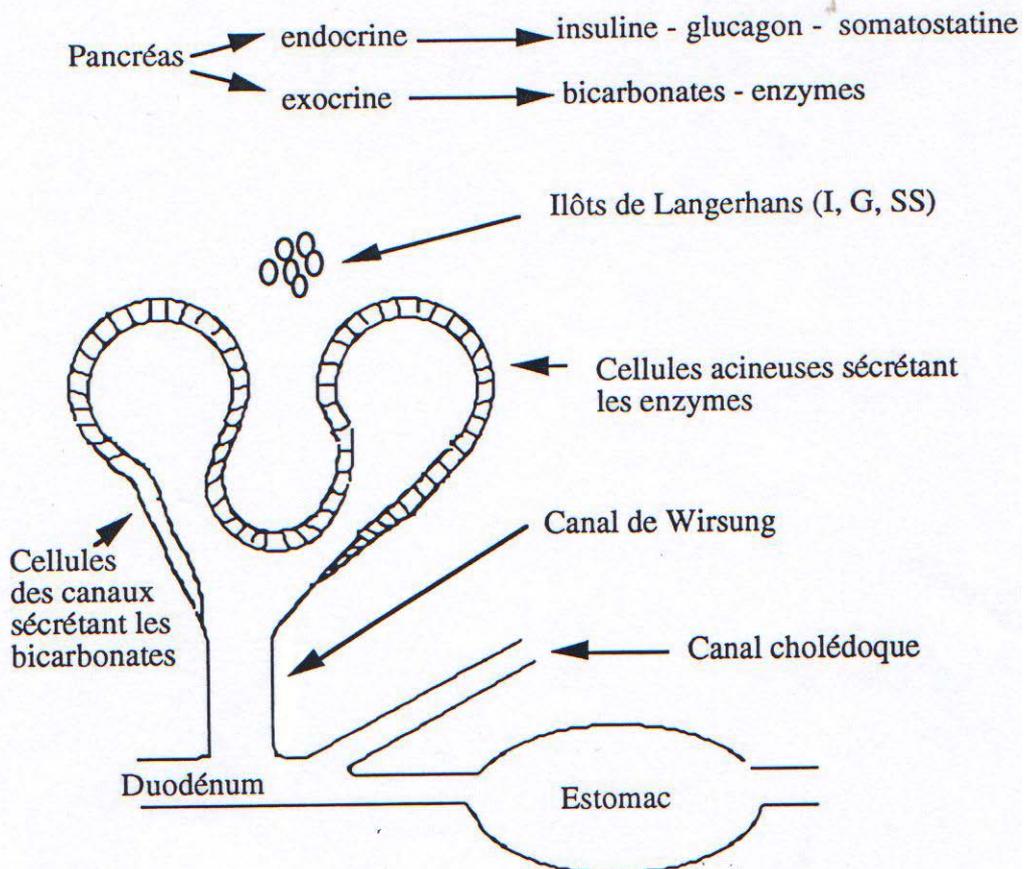
En résumé, la sécrétion pancréatique est sous la dépendance :

- **d'une phase céphalique** : *réflexe* par voie vagale,
- **d'une phase gastrique** par la gastrine,
- **d'une phase intestinale** avec la sécrétine et la cholécystokinine.

L'action du pancréas est déterminante, car les bicarbonates amènent le pH à une valeur moins agressive pour la muqueuse (plus propice aux activités enzymatiques qui attaquent tous les types de nutriments), l'amylase pancréatique prend le relais de l'amylase salivaire ; la lipase digère les lipides et les protéases hydrolysent plus avant les protéines.



SCHEMA

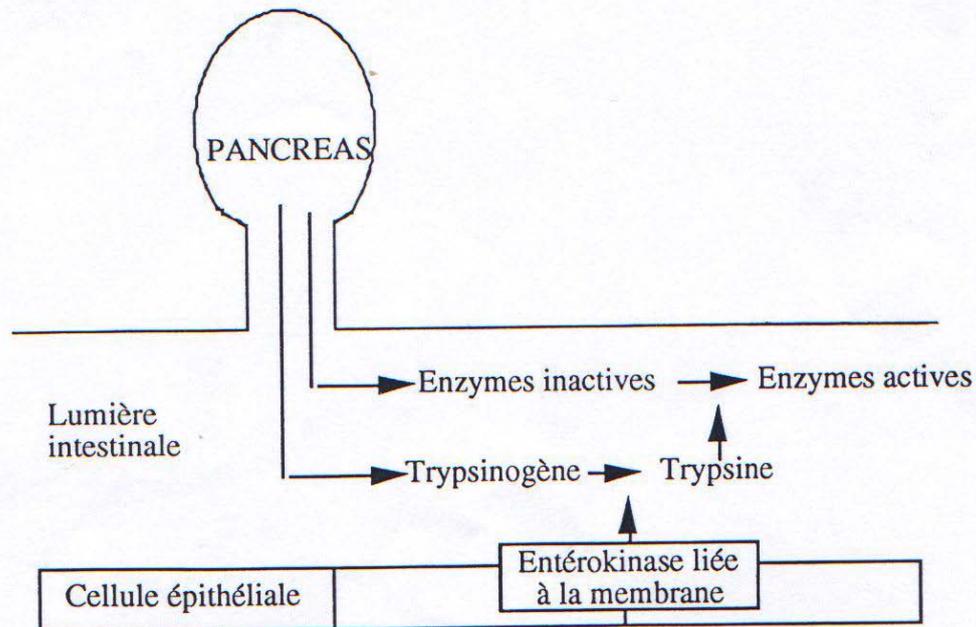


Comme la quantité de bicarbonates sécrétés par le pancréas est contrôlée de façon réflexe par la quantité d'acide qui pénètre dans le duodénum en provenance de l'estomac, la quantité de HCO_3^- sécrétée par le pancréas est approximativement normalement égale à la quantité d'acide sécrétée par l'estomac. Ceci signifie que les HCO_3^- libérés dans le sang sont normalement égaux à la quantité d'acide libérée dans le sang par le pancréas. (Diarrhée = perte

d' HCO_3^- = accumulation d'acide dans le sang ; idem vomissements ; donc alcaliniser le sang).

Plusieurs enzymes cependant sont sécrétées sous forme actives (lipase - amylase) mais ont besoin d'ions et de sels biliaires pour avoir une activité maximale.

SCHEMA



Plusieurs enzymes cependant sont sécrétées sous forme actives (lipase - amylase) mais ont besoin d'ions et de sels biliaires pour avoir une activité maximale.

c\ Bile (Foie)

La sécrétion biliaire est sécrétée au taux de 0,5l /24 h. La bile est sécrétée par le foie ; puis elle est excrétée par les voies biliaires dans le duodénum.

α\ Composition

La bile est un liquide jaune, ambré, qui verdit par oxydation, ; elle est constituée de plusieurs éléments:

- soluté aqueux d'ions : Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , CO_3H^- .
- substances organiques : pigments, protéines, mucus ;
- lipides comme les sels biliaires (70 %), les lécithines (25 %) et le cholestérol (5%).

Parmi les pigments, il faut citer la *bilirubine*, fabriquée par le foie à partir de l'hème de l'hémoglobine issue de la lyse des vieilles hématies. Le cholestérol et les lécithines émulsifient les lipides.

Les sels biliaires sont importants sur le plan physiologique : ils sont synthétisés à partir des acides taurocholique et glycocholique, qui sont fabriqués par le foie, à partir des acides cholique et désoxycholique, qui ont une partie hydrophile et qui sont conjugués à deux acides aminés, la taurine et le glycolle, pour être encore plus hydrophiles. Les sels biliaires jouent le rôle de détergents qui, par la formation de micelles, solubilisent les lipides dans l'eau ; ils sont en partie réabsorbés par l'intestin et reviennent au foie par la veine-porte ; ils sont ensuite

réutilisés grâce au cycle ENTERO-HEPATIQUE.

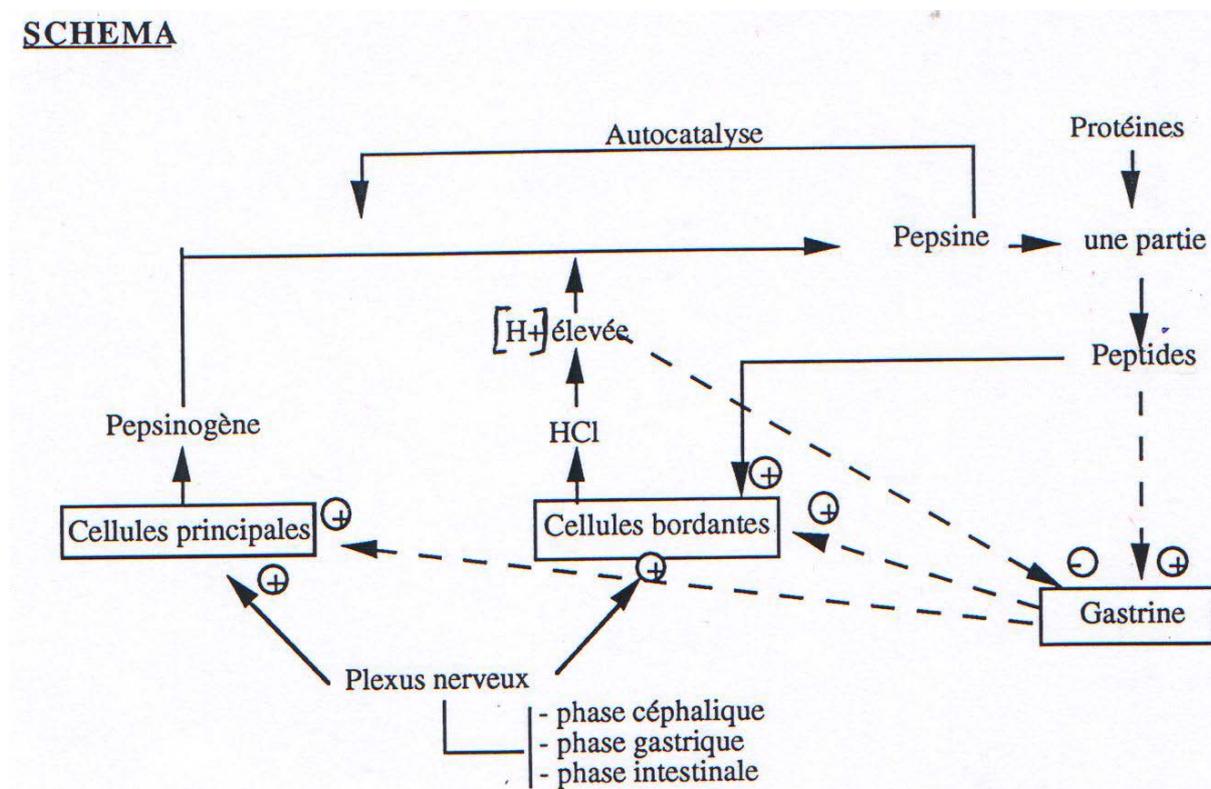
β\ Régulation de la sécrétion

L'influence du SNV est peu importante ; les crises de foie d'origine psychique sont douteuses ; ce sont surtout les hormones : gastrine, sécrétine et cholécystokinine qui stimulent la vidange de la vésicule biliaire.

γ\ Rôle

Grâce aux bicarbonates, la bile participe à la neutralisation du chyme gastrique ; grâce aux sels biliaires, elle permet l'émulsion stable des lipides alimentaires (cholestérol, vitamines liposolubles [A, D, E, K] et lipides) permettant leur absorption. Les sels biliaires augmentent la motricité colique et favorisent la défécation.

SCHEMA



d\ Suc intestinal

α\ Composition

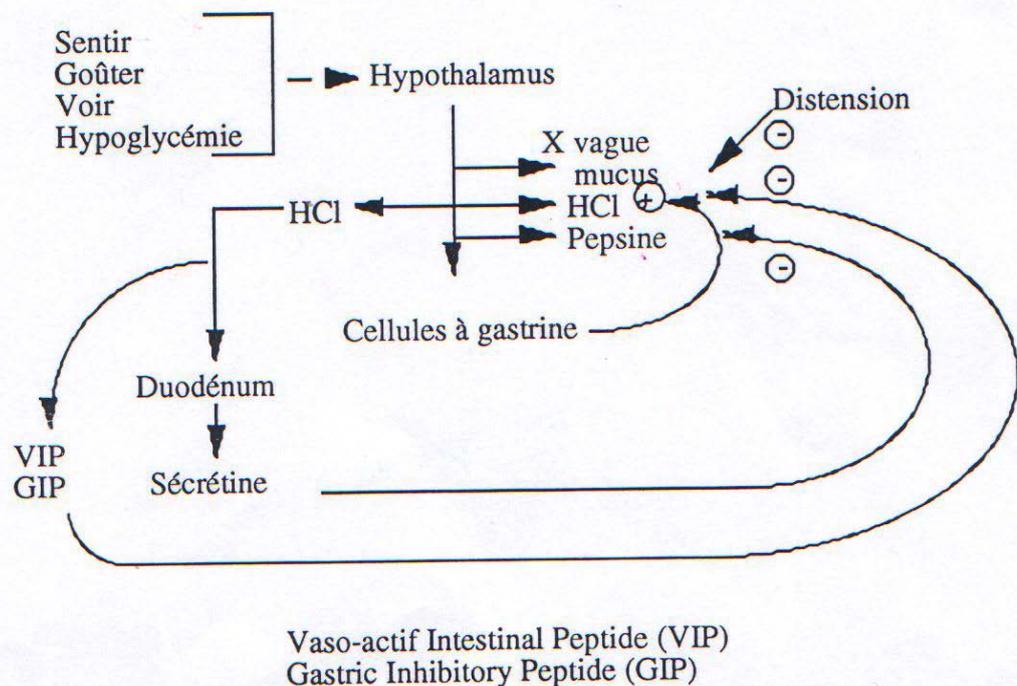
La muqueuse duodénale sécrète du mucus et des bicarbonates (surtout par les *glandes de Brünner*), dont le rôle est de protéger la muqueuse et de neutraliser le pH. La muqueuse est très plissée, avec de nombreuses villosités recouvertes d'une couche unicellulaire d'entérocytes, dont le pôle apical est hérissé de microvillosités donnant l'aspect d'une bordure en brosse.

L'activité enzymatique du suc intestinal vient des enzymes libérées par la rupture des cellules desquamées (200 g/24 h). Entre les villosités, s'ouvrent des cryptes, les *glandes de Lieberkuhn*, dont la paroi est constituée de divers types de cellules :

- cellules à gastrine (Cellules G) ;
- cellules à sécrétine (Cellules S) ;
- cellules à cholécystokinine (Cellules I) ;
- cellules à somatostatine (Cellules D) ;
- cellules à entéroglucagon (Cellules E) ;
- ainsi que d'autres cellules qui sécrèteraient d'autres peptides hormonaux.

Le suc intestinal contient des électrolytes, du mucus et peu d'enzymes, sauf l'entérokinase qui active le trypsinogène.

SCHEMA



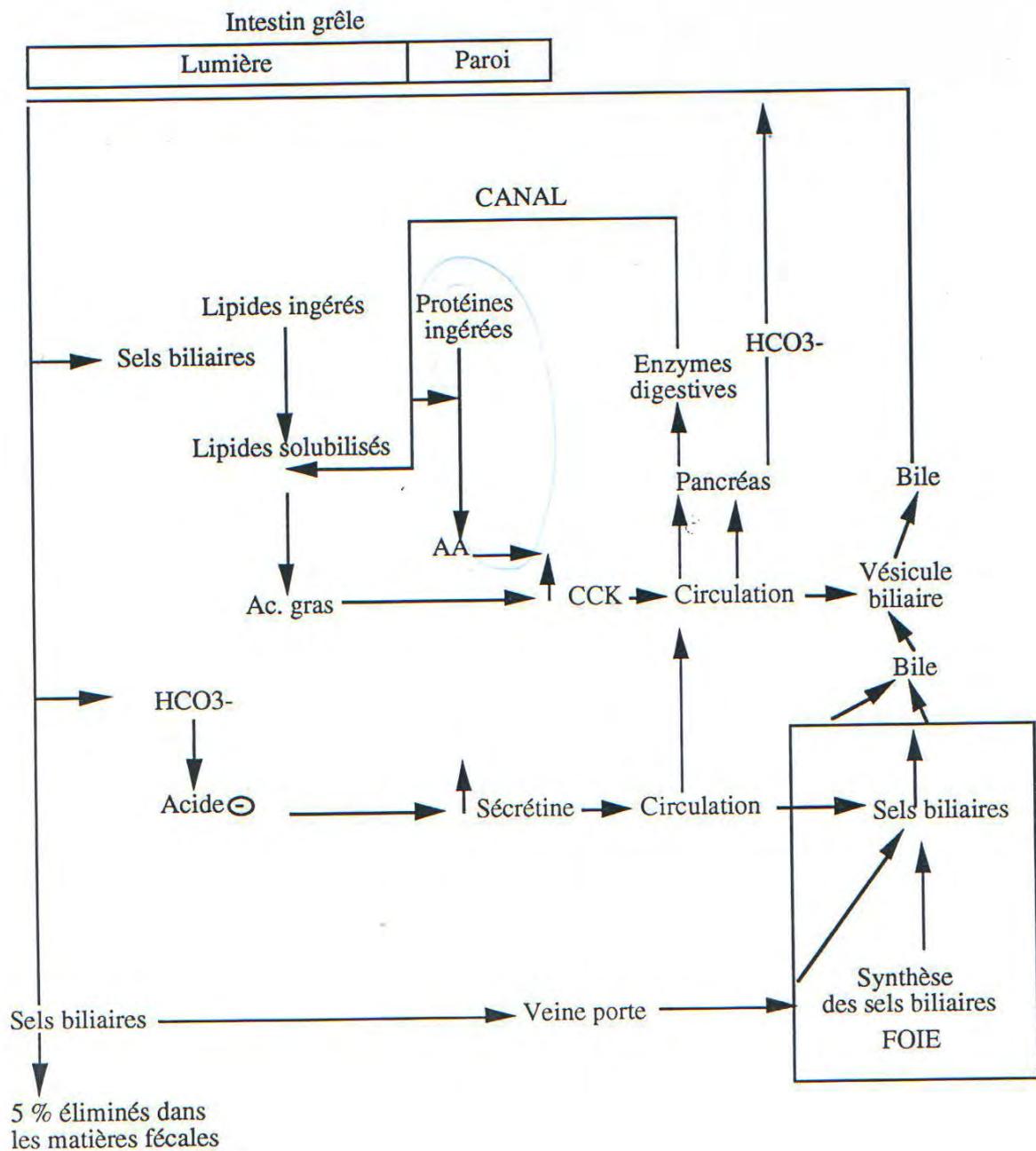
β\ Régulation de la sécrétion

La sécrétion du suc intestinal est dépendante du SNV. La gastrine déclenche la sécrétion duodénale. La régulation de l'excrétion d'eau et des électrolytes est sous la dépendance, en partie, du système AMPc - adénylate cyclase ; c'est par ce biais qu'interviennent le VIP, la sécrétine et les prostaglandines.

γ\ Activité digestive de la muqueuse intestinale

L'activité digestive de la muqueuse intestinale consiste en une série d'hydrolyses, de plus en plus poussées, par des osidases (lactase, maltase, saccharase) et par des peptidases pour donner des oses et des acides aminés. Ces molécules simples (oses ou diosides, acides aminés ou peptides, acides gras ou monoglycérides, eau et électrolytes) ont des tailles et des caractéristiques physico-chimiques compatibles avec l'absorption intestinale.

SCHEMA



3\ « Digestion » dans le gros intestin (côlon)

Du fait de l'absorption digestive, le côlon reçoit seulement un mélange encore liquide, qui correspond aux résidus alimentaires (fibres de cellulose) et aux cellules intestinales desquamées.

a\ Motricité colique et défécation

Le côlon comprend 3 segments le côlon ascendant droit, le côlon transverse, et le côlon descendant gauche ; puis il débouche dans le rectum par le côlon sigmoïde.

L'innervation du côlon droit et des 2/3 du côlon transverse est parasympathique par le nerf vague ; elle est orthosympathique par le nerf splanchnique ; le reste est innervé par les nerfs pelviens (ou érecteurs) cholinergiques et par des nerfs hypogastriques adrénergiques.

Les mouvements de segmentation sont très lents et non propulsifs ; ils permettent au bol de séjourner dans le côlon, de 18 à 24 h, pour que les bactéries se multiplient. Deux à trois fois par jour, la motricité s'accroît pour donner des contractions en masse, dans le côlon ascendant et dans le côlon transverse, poussant ainsi le bol vers le côlon descendant, dont les *mouvements péristaltiques* amènent les fèces au rectum. La distension du rectum sous l'effet des fèces déclenche le *réflexe de défécation*.

Ce réflexe de la défécation est surtout le fait des plexus locaux. La réponse est une contraction de la musculature rectale avec relâchement du sphincter anal et accélération du péristaltisme du côlon pelvien. La défécation est momentanément aidée par une augmentation de la pression abdominale, obtenue par la contraction des muscles du thorax et de l'abdomen, après une profonde inspiration et fermeture de la glotte. La défécation est un réflexe conditionnable (le journal) et sujet à des croyances (si on ne va pas à la selle une fois par jour, on s'intoxique par les bactéries qui prolifèrent).

Remarque : on a relaté le cas d'un sujet qui a passé un an sans aller à la selle, sans pathologie, sauf un inconfort évident (environ 25 à 30 kg de selles, au lieu des 150 g/j habituels).

b\ Phénomènes chimiques dans le côlon

La muqueuse du côlon est lisse; sa surface est creusée de cryptes; il y a peu de villosités, mais de nombreuses cellules à mucus ; sécrétion aqueuse peu abondante, alcaline car riche en bicarbonates ; absence d'enzymes digestifs. Du mucus et les bicarbonates enrobent les selles, dont le pH de surface est neutralisé ; les selles liquides ou molles sont mal neutralisées et irritantes pour les muqueuses.

Le système cholinergique renforce la sécrétion colique et le système adrénergique la réduit.

Le côlon est surtout un lieu où se parfait la réabsorption de l'eau et des électrolytes.

Circulation.

I\ Introduction.

La circulation sert au maintien de l'homéostasie. C'est le sang, phase circulante du milieu interne, qui va en déterminer le réglage.

La circulation a un rôle dans :

- la *nutrition* (distribution des nutriments),
- le *transport des gaz respiratoires* (O₂ et CO₂),
- l'*élimination des déchets*,
- le *transport des informations* (hormones),
- l'*équilibre* de la température,
- la *défense* de l'organisme.

Le sang est distribué par le cœur vers les vaisseaux. L'ensemble du sang, des vaisseaux et du cœur forment l'appareil cardio-vasculaire.

Remarque : la circulation lymphatique est un système de drainage qui participe à la défense de l'organisme. Elle fonctionne sans pompe mais avec les vaisseaux. La lymphe rejoindra la circulation sanguine.

Le système cardio-vasculaire est clos (pas de contact direct entre le sang et les cellules). Il se ramifie en *artères* (1/5 du volume sanguin), *veines* (2/3 du volume sanguin) et *capillaires* qui relient les artères aux veines et assurent les échanges entre le sang et les tissus.

A\ La grande circulation (ou générale).

Elle permet l'irrigation des différents organes et des tissus. Le cœur gauche propulse le sang dans l'aorte, dans les artères, les artérioles, les capillaires, les veinules puis les veines qui ramènent le sang au cœur droit.

Le système est exclusivement composé de sang veineux. Il récupère le sang du tube digestif vers le foie où il est épuré. Il rejoint la grande circulation par la *veine sus-hépatique* au niveau de la *veine cave*.

B\ La petite circulation (ou pulmonaire).

Elle se charge des échanges entre l'air alvéolaire et le sang. Ce dernier est ramené (au cœur gauche) par *quatre veines pulmonaires*.

II\ Physiologie cardiaque.

A\ Anatomie.

Le cœur est un muscle creux qui par sa contraction rythmique assure la progression du sang dans les vaisseaux : *c'est une pompe*.

Il repose sur le diaphragme et est composé de quatre cavités.

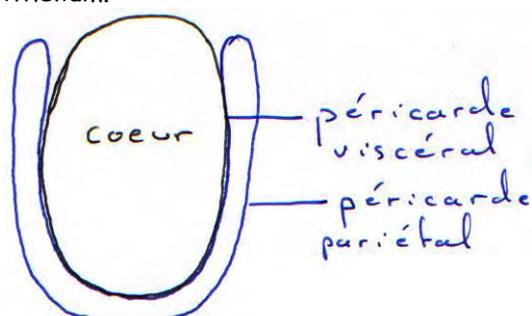
Il est divisé longitudinalement en deux parties indépendantes. Le cœur gauche est le plus puissant car il doit irriguer tout le corps.

On trouve la *cloison inter-auriculaire* entre les oreillettes et la *cloison inter-ventriculaire* entre les ventricules.

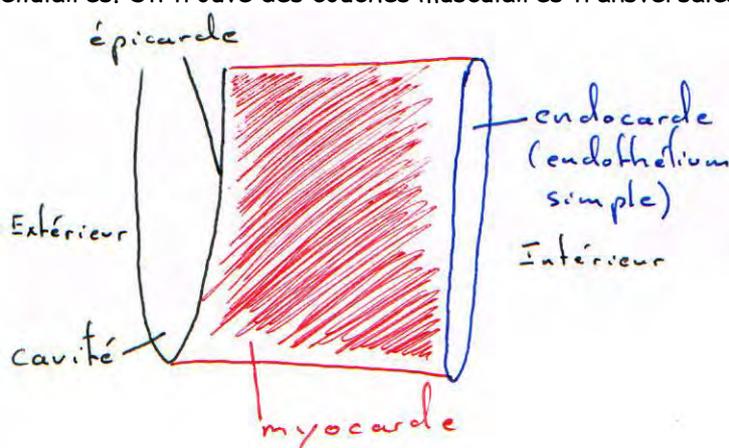
Pendant le développement embryonnaire, il existe une communication entre les oreillettes.

1\ La paroi du cœur.

Le cœur est enfermé dans un sac protecteur : le **péricarde**. Celui-ci est formé de deux feuillets séparés par une cavité. Le premier feuillet, externe, permet l'attachement au diaphragme : **péricarde pariétal**. Le deuxième feuillet, interne, est appelé **péricarde viscéral** ou **épicaarde**, c'est un simple épithélium.



Le **myocarde** : il forme la paroi des ventricules et des oreillettes. Il est composé de plusieurs couches cellulaires. On trouve des couches musculaires transversales et obliques.

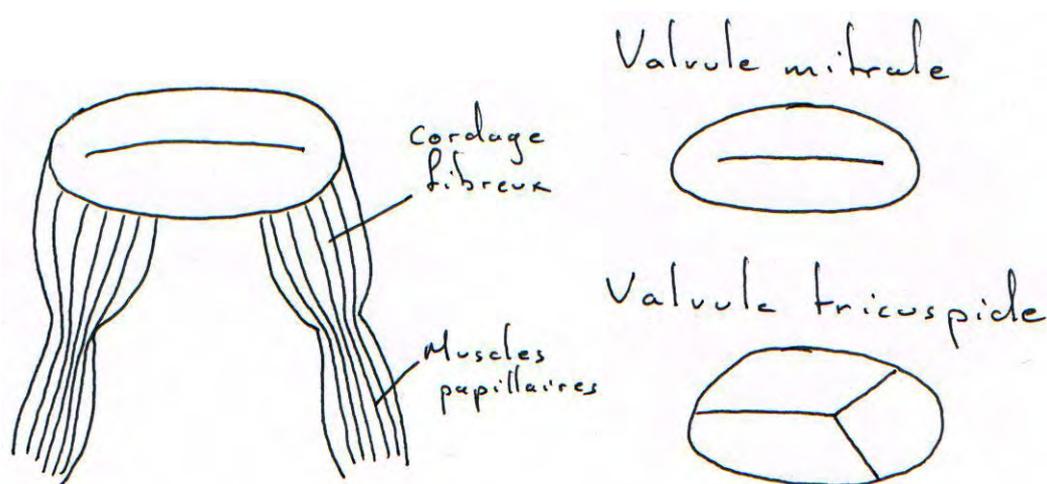


2\ Les valvules.

Les valvules forment une zone de transition entre oreillette et ventricule et entre ventricule et artère. C'est un ensemble conjonctif (comme une membrane). Elles ont une fonction de clapet.

A partir de ces valvules partent des cordages fibreux ou tendineux. Ces cordages se rattachent à des muscles papillaires.

La valvule auriculo-ventriculaire du cœur gauche est appelée **valvule mitrale**. La valvule du cœur droit est appelée **valvule tricuspide**.



Les valvules **sigmoïdes** ou **semi-lunaires**, situées au niveau du départ des artères résistent à de fortes pressions. Elles permettent d'éviter le retour du sang. Quand elles ne peuvent pas se fermer, on parle du « souffle au cœur ».

3\ La circulation coronaire.

Le cœur a son propre système de vascularisation qui forme une couronne autour du cœur. Les deux artères coronaires partent de la base de l'aorte. La gauche prend en charge 85% du débit sanguin irriguant le cœur et la droite, seulement 15%. Le sang revient par des veines qui se jettent dans le sinus veineux qui rejoint le cœur au niveau de l'oreillette droite.

B\ Révolution cardiaque.

La révolution cardiaque comprend tous les phénomènes à partir du début d'une contraction cardiaque jusqu'au début de la suivante. Cette révolution peut être divisée en **quatre phases**.

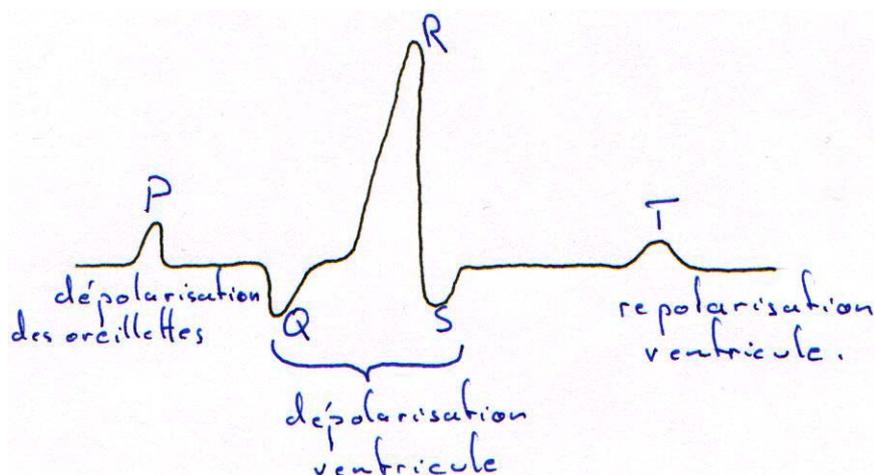
- 1 : remplissage des ventricules (droit et gauche) ; cœur relâché : **diastole**.
- 2 : les ventricules se contractent ; début de la **systole**.
- 3 : éjection du sang.
- 4 : relâchement ventriculaire : **diastole**.

→ Le cœur est relativement « fainéant » car il se repose plus qu'il ne travail.

1\ Mise en évidence du fonctionnement cardiaque.

Il existe des signes externes de l'activité cardiaque : le pouls, les bruits du cœur (les bruits sourds sont dus aux valvules auriculo-ventriculaire « toum », les bruits secs sont dus aux valvules sigmoïdes « ta »).

Un électroencéphalogramme permet d'analyser l'activité électrique du cœur : il se dégage une onde particulière.



2\ Automatisation cardiaque.

Un cœur séparé de son organisme et convenablement perfusé peut se contracter pendant des heures : le cœur a son propre fonctionnement : on parle d'activité intrinsèque. Cet automatisme est régulé par le système neurovégétatif.

A l'intérieur, le **tissu nodal** est responsable de l'activité cardiaque. Il est représenté par 1% des cellules cardiaques. Elles sont situées dans les parois du cœur.

Ce tissu prend son départ au niveau de l'oreillette droite (le **nœud sino-auriculaire** ou **nœud sinusal** ou **nœud de Keith et Flack**). Il initie la fréquence cardiaque : le **pacemaker** (100 battements par minute).

L'influx nerveux part ensuite au fond de l'oreillette par une jonction en **arc ventriculaire** jusqu'au **nœud auriculo-ventriculaire** ou **nœud de Aschoff Tawara**.

Cet influx continue par le **faisceau de His**, dans la cloison inter-ventriculaire. Il se divise ensuite en deux branches qui se ramifient à la pointe des ventricules et donnent le **réseau de Purkinje**.

C\ Débit cardiaque et régulation.

1\ Débit cardiaque, définition.

Le débit cardiaque est volume de sang pompé par chaque ventricule par unité de temps. Il dépend donc de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique (exprimé en L/min).

$$\rightarrow Dc = Fc \times Vs \quad (\rightarrow 5L/min = 70 \text{ bpm} \times 70 \text{ mL/min}).$$

Pour les calculs, on considère essentiellement le volume du ventricule gauche.

750 mL iront vers le cerveau, 250 mL vers le cœur, 1,1 L vers les reins et 1,2 L vers les muscles. Pendant un exercice, le volume de sang allant vers les muscles augmente, celui allant vers le système digestif diminue.

2\ Régulation.

On a trois types de régulation : *Intrinsèque*, *Extrinsèque* et *Hormonale*.

α \ Régulation intrinsèque.

Elle concerne le cœur. Il adapte son débit au retour veineux : *une augmentation de sang veineux entraîne une élévation de sang éjecté* (amplification du travail cardiaque).

Loi de Starling : *plus le muscle est étiré, plus le travail cardiaque est important.*

β \ Régulation extrinsèque.

Le système neurovégétatif module l'activité du cœur en fonction de l'activité générale de l'organisme.

- Système cardio-moderateur (système parasympathique). Le médiateur est l'**acétylcholine**. Il implique le *nerf vague* dont la stimulation va **diminuer** la fréquence cardiaque au niveau du *nœud auriculo-ventriculaire*.
- Système cardio-accélérateur (système orthosympathique). Le médiateur est la **noradrénaline**. Toutes les stimulations du système orthosympathique vont **accélérer** la fréquence cardiaque.

γ \ Régulation hormonale.

L'**adrénaline** sera activée par les *glandes médullo-surrénales* en condition de stress. Son effet sera une **accélération** du rythme cardiaque.

Les *hormones thyroïdiennes* sont aussi capables d'*augmenter* la fréquence cardiaque.

δ \ Autres facteurs.

L'**hypothermie** fait *ralentir* le rythme cardiaque alors que la *fièvre* l'*augmente*.

III \ Physiologie des vaisseaux.

A \ Caractères généraux.

1 \ Les artères.

Les artères sont constituées de trois couches :

- l'intima : *endothélium*
- la média : formée de *fibres élastiques* et de *fibres musculaires lisses*
- l'adventice : formée de *fibres élastiques* et de *fibres conjonctives*.



Selon le type d'artère, on a une variation des fibres musculaires et élastiques.

Plus les fibres sont grosses, plus le nombre de fibres élastiques augmente
 Plus les fibres sont petites, plus le nombre de fibres musculaires augmente.

→ Ces variations mettent en évidence la vasomotricité qui régule le débit sanguin pour un organe donné.

2\ Les veines.

Elles contiennent les mêmes couches que les artères mais les parois sont beaucoup plus minces. Leur média comporte beaucoup moins de fibres élastiques et musculaires → la média est moins développée dans les veines que dans les artères.

L'intima forme des replis qui donneront des **valvules anti-reflux** → *circulation en sens unique vers le cœur*. Ces valvules seront surtout présentes dans les membres inférieurs.

3\ Les capillaires.

Ils sont formés d'une paroi mince (une seule couche de cellules endothéliales). La circulation sanguine, dans ces vaisseaux, est à faible vitesse afin de permettre les échanges entre les deux compartiments. *Les échanges sont faits par diffusion.*

4\ Les vaisseaux lymphatiques.

Le liquide interstitiel est drainé et filtré par les vaisseaux lymphatiques qui passent dans tous les organes. Ce liquide est composé de liquide sanguin en excès. Sa composition est comparable à celle du plasma (ni hématies ni plaquettes). Les capillaires lymphatiques sont disposés en réseaux concentrés, puis en canaux et enfin en veine. La lymphe est collectée par deux grands collecteurs :

- la grande veine lymphatique : elle recueille le liquide interstitiel venant de la tête, du cou et des membres supérieurs. Elle se jette ensuite dans la veine sous-clavière droite.
- le canal thoracique : il collecte le liquide interstitiel de tout le reste du corps. Il se jette finalement dans la veine sous-clavière gauche.

La lymphe rejoint ensuite la circulation sanguine.

Remarque : les canaux lymphatiques au niveau de l'intestin sont appelés les **canaux chylifères**.

B\ Fonctionnement du système circulatoire.

1\ Définition, systèmes basse pression et haute pression.

L'écoulement du sang se fait toujours d'une région de haute pression vers une région de basse pression.

- Système haute pression. Il est composé du **cœur gauche**, de l'**aorte** et des **artères systémiques**. La pression est de 100 mm de Hg. On a donc un écoulement rapide du sang vers les organes. Ce système rassemble 20% de la masse sanguine. Il permet de faire face à des variations locales de débit.
- Le système basse pression. Il est composé du **cœur droit**, de la **circulation pulmonaire**, des **veines systémiques** et des **capillaires**. La pression est de 15 mm de

Hg. Ce système comprend 80% de la masse sanguine. Il sert aux échanges avec les organes.

2\ Circulation dans un système à haute pression.

α\ Notion de débit et de pression.

Haute pression : Assure un transport rapide du sang vers les organes.

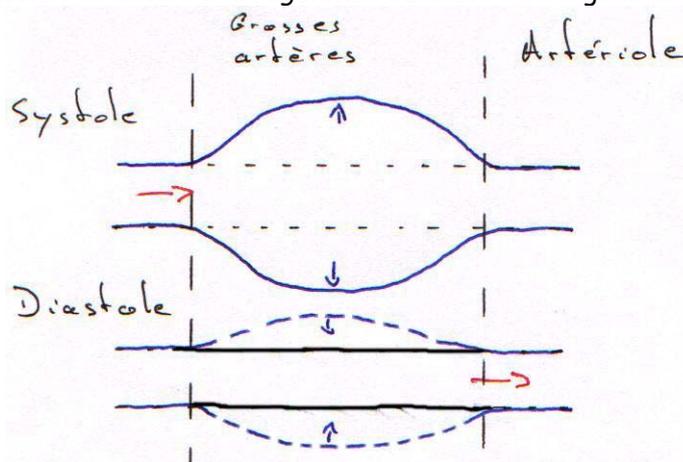
L'écoulement du sang est fonction du débit et des résistances à l'écoulement de ce sang (viscosité et diamètre des vaisseaux).

Débit : C'est la variation de pression entre deux points et de la résistance à l'écoulement

$$\rightarrow Q = \delta P / R$$

β\ Élasticité.

L'élasticité est une caractéristique importante des grosses artères : elles renferment beaucoup de fibres élastiques (plus que de musculaires). L'élasticité sert à *amortir l'amplitude des variations de pression* : elle sert à la *régulation du débit* à un organe donné.



Le flux discontinu à la sortie du cœur se transforme en un flux continu grâce à l'élasticité des artères.

La tension maximale pendant la systole est comprise entre 110 et 140 mm de Hg.

La tension minimale pendant la diastole est comprise entre 60 et 80 mm de Hg.

La différence entre ces deux valeurs donne la **tension différentielle**.

γ\ La vasomotricité.

La vasomotricité s'intéresse aux artères moyennes et aux artérioles (elles possèdent plus de fibres musculaires que de fibres élastiques).

Cette vasomotricité est contrôlée de deux façons :

- **contrôle local** qui s'exerce sur les fibres musculaires lisses de la paroi des artérioles, déclenché par une diminution locale de la pression artérielle qui entraîne une réduction du débit des capillaires et des taux d'oxygène. On a alors une contraction réflexe des artérioles.

Le contrôle local est dû aux concentrations en O₂, CO₂ et autres métabolites : c'est une auto-régulation du débit sanguin vers les organes.

- **voie nerveuse**. L'activité des fibres du système orthosympathique va activer la contraction des artérioles. La fixation de la noradrénaline sur les récepteurs α et β

adrénergiques entraîne deux résultats différents : quand le récepteur α est activé, on a une vasoconstriction et une vasodilatation si le récepteur β est activé.

Ce double contrôle intègre les variations au niveau global de l'organisme.

Remarque : les hormones : l'angiotensine permet la vasoconstriction. L'ANF (Facteur Atrial natriurétique) produit par le cœur est un vasodilatateur.

δ\ La pression artérielle et sa régulation.

$P = Dc \times R$ (pression = débit cardiaque \times résistances)

Cette pression est ajustée en permanence. Elle est dépendante de l'efficacité du cœur, du volume sanguin et du calibre des vaisseaux (vasomotricité).

La pression est régulée en permanence et de façon immédiate par la régulation nerveuse. Sur un plus long terme, on a une régulation hormonale.

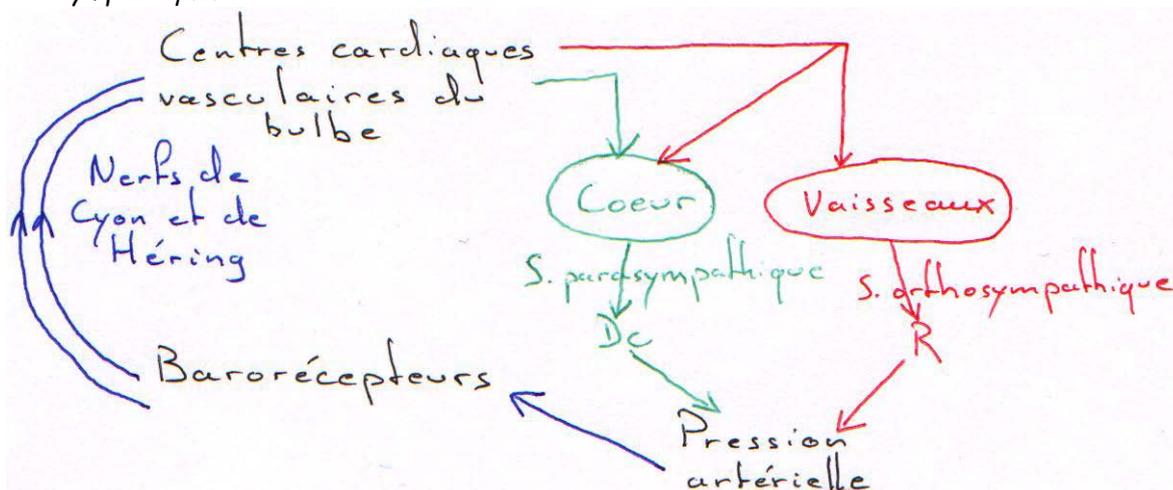
- Régulation nerveuse.

Dans les parois du sinus veineux et de l'aorte, on trouve des récepteurs sensibles aux changements de pression. Ils sont dans des zones barosensibles dans la crosse aortique et la bifurcation carotidienne : ce sont les barorécepteurs.

L'information remonte au bulbe par des voies afférentes sensibles représentées par les nerfs de Cyon et de Hering.

Ces voies ont toujours un rôle de « frein » sur l'activité cardio-vasculaire.

Quand les centres cardio-vasculaires sont informés, ils envoient les informations au cœur et aux vaisseaux par les fibres efférentes du système parasympathique et du système orthosympathique.



Une diminution de la pression artérielle entraîne une augmentation de la stimulation du système parasympathique (qui va accélérer la fréquence cardiaque) et une diminution de l'activité du système orthosympathique (qui diminuera son action vaso-constrictrice).

- Régulation hormonale.

Pour réguler le volume sanguin, on trouve des volo-récepteurs (sensibles au volume).

L'intervention d'hormone joue sur la volémie :

- **L'ADH** (vasopressive ou anti-diurétique) est sécrétée par la *post-hypophyse*. Elle est libérée après une stimulation des récepteurs. Elle va compenser le volume sanguin avec le volume urinaire.
- **L'ANF**.
- **La Rénine**, sécrétée par le *rein*, elle permet de transformer l'**angiotensine** pour être activée. Quand elle est active, elle entraîne une *vasoconstriction des artérioles* qui va modifier la pression artérielle. La Rénine peut provoquer la sécrétion d'**aldostérone** par le *complexe surrénalien*.

Une diminution de l'activité du système parasympathique entraîne une diminution de l'inhibition cardiaque qui permet l'augmentation de la fréquence cardiaque.

L'accroissement de l'activité du système orthosympathique entraîne une augmentation de la pression cardiaque.

3\ Circulation dans le système à basse pression.

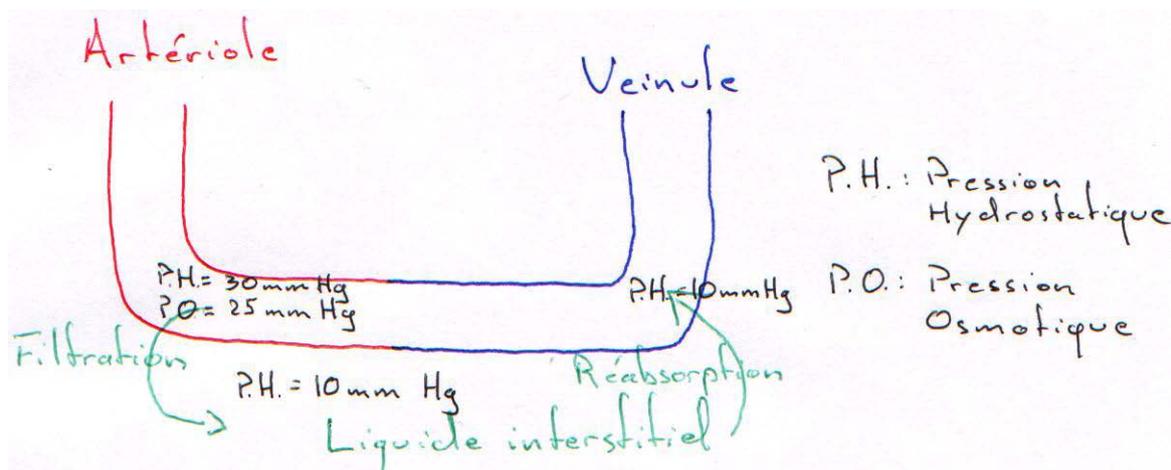
α\ Au niveau des capillaires.

Ce sont les segments spécialisés dans les échanges entre les tissus et le sang. Leur paroi permet la filtration des nutriments, de l'oxygène et des hormones vers le liquide interstitiel ainsi que de réabsorber les produits du métabolisme (CO_2 , déchets azotés).

Le réseau de capillaires forme un entrelacement de 50 km de long. Toutefois, *tous les capillaires ne sont pas fonctionnels en même temps*. Dans un organe au repos, le sang circule dans 5% des capillaires. La modulation du passage sanguin est due à des **sphincters pré-capillaires**. Ils sont situés à la terminaison des artérioles. Ils contrôlent l'adaptation des échanges en fonction des cellules. La distance entre les cellules et le capillaire est de 100 μm .

Deux forces jouent un rôle dans les échanges :

- la variation de la **pression hydrostatique** (mouvements d'eau).
- la variation de **pression osmotique**.



90% du liquide interstitiel filtré est réabsorbé. Les 10% restant sont pris en charge par la circulation lymphatique.

β\ Au niveau des vaisseaux lymphatiques.

Deux litres par jour de liquide interstitiel sont pris par les vaisseaux lymphatiques (les 10%). La lymphe rejoint ensuite la circulation veineuse.

γ\ La circulation veineuse.

Elle collecte le sang des capillaires pour le ramener au cœur droit. C'est elle qui maintient la réserve sanguine, disponible en cas de nécessité.

Il n'y a pas de fibre musculaire pour ramener le sang au cœur. C'est l'activité du cœur (aspiration quand il se contracte) qui fait remonter le sang.

Les mouvements respiratoires entraînent une compression du diaphragme qui va comprimer les veines et faire remonter le sang au cœur par aspiration.

L'activité contractile des muscles fait aussi remonter le sang vers le cœur.

Les valvules anti-reflux facilitent la remontée de ce sang.

→ Ce sont tous des facteurs extérieurs aux vaisseaux.

La respiration.

I\ Introduction.

Le but de la respiration est d'amener l'oxygène à toutes les cellules de l'organisme en fonction de leurs besoins et de prendre en charge le CO₂ rejeté.

L'oxygène sert au processus d'oxydation au niveau des mitochondries.

II\ L'appareil respiratoire.

Cet appareil respiratoire est composé des voies aériennes qui relient l'air atmosphérique à l'air alvéolaire des poumons.

A\ Les voies aériennes.

Du milieu extérieur, l'oxygène passe dans le *tractus respiratoire* par les *fosses nasales*, le *pharynx*, le *larynx* (début de la trachée), la *trachée* et les *bronches* (primaires qui se ramifient en *bronchioles* avec des fibres musculaires).

Ces voies ont un rôle *conducteur* mais servent aussi à *réchauffer*, *hydrater* et *dépoussiérer* l'air. Cette dernière fonction est prise en charge par des *cellules sécrétrices* dont le *mucus* piège les différentes particules. On a aussi des *cellules ciliées* qui déplacent ces particules vers le pharynx.

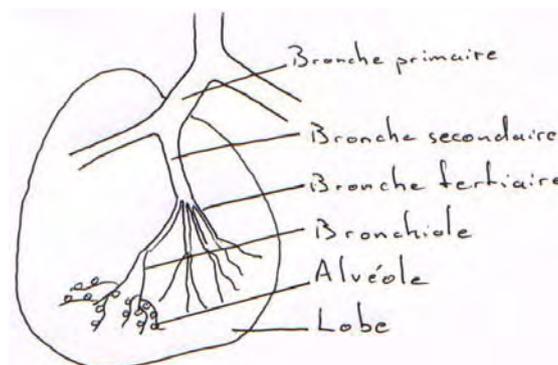
B\ Les poumons.

Les poumons sont limités ventralement par le diaphragme. Ils sont divisés en lobes (3 à droite et 2 à gauche). Ils sont enveloppés par un *feuillet viscéral* contre les poumons et par un *feuillet pariétal* qui tapisse la paroi thoracique.

Entre les deux feuillets se situe la *cavité pleurale* qui est remplie d'un liquide qui joue un rôle protecteur.

Dans un lobe de poumon, on trouve :

- une bronche primaire,
- des bronches secondaires,
- des bronches tertiaires et
- des bronchioles à l'extrémité desquelles on trouve les sacs alvéolaires.



On parle d'arbre bronchique.

La paroi des alvéoles est fine (une couche de cellules épithéliales) et très vascularisée.

Les cellules de la paroi sont des **pneumocytes**. On distingue deux groupes de pneumocytes : les *primaires* et les *secondaires* qui sécrètent un liquide (**le surfactant**), mélange de phospholipides (90%) et de protéines (10%), qui va former un film à la surface des alvéoles. Ce sont des *substances tensioactives*. Ce liquide évite aux alvéoles de se replier sur elles-mêmes et facilite les échanges entre les deux compartiments.

Le gaz se diffuse à travers la paroi dont la surface totale est très importante (300 millions d'alvéoles par poumon), autour de 70 m² par poumon.

III\ Mécanique respiratoire et ventilation.

Le but de cette respiratoire est d'assurer la ventilation des parties profondes des poumons afin de renouveler l'air.

La ventilation correspond aux mouvements d'air à l'intérieur et à l'extérieur des poumons (inspiration et expiration).

Le renouvellement de l'air est dépendant des différences de pression entre l'air extérieur (atmosphérique) et l'air intra-alvéolaire.

Inspiration : La pression est de 760 mm de Hg dans les poumons (plus faible que la pression atmosphérique).

Expiration : la pression des poumons est supérieure à la pression atmosphérique et l'air est expulsé.

A\ Inspiration.

L'inspiration est un *phénomène actif*. La variation de volume est due aux mouvements de la cage thoracique. Les *muscles intercostaux externes* se contractent et les *muscles relevant les côtes* se contractent. On a ainsi une augmentation du volume de la cage thoracique sur un plan horizontal.

Le *diaphragme* se contracte, donc s'abaisse. Le volume augmente sur un plan vertical.

Les poumons suivent passivement les mouvements de la cage thoracique car ils sont solidaires de la cage thoracique.

B\ Expiration.

L'expiration est un *phénomène passif*. Les muscles contractés se relâchent et le diaphragme remonte. Le volume de la cage thoracique diminue. Les poumons reprennent leur volume initial.

Grâce à la différence de pression, l'air est expiré.

Remarque : les expirations forcées sont des phénomènes actifs qui demandent la contraction des *muscles intercostaux internes* et des *muscles abdominaux*.

Cette mécanique peut être étudiée par un spiromètre (appareil qui permet aussi la détection de l'asthme).

Quand 500 mL d'air rentrent, seuls 350 mL pénètrent dans les alvéoles. L'air en surplus reste dans les voies aériennes qui sont dites « espace respiratoire morte ».

On a 7,5 L d'air inspiré par minute et 450 L inspiré par heure.

IV\ Régulation de la respiration.

La succession de cycles respiratoires permet de déterminer un *automatisme ventilatoire*. Il est dû à des *neurones situés dans le bulbe* qui constituent les centres respiratoires (inspirateur et expirateur). Ces nerfs (moteurs et phréniques) innervent les muscles respiratoires (diaphragme et intercostaux).

Les stimuli sensitifs partent des poumons, passent par le nerf vague et vont informer les centres respiratoires sur l'état d'inflation.

A\ Influence des stimuli chimiques.

Le rythme et l'amplitude des mouvements respiratoires sont réglés par des variations de paramètres sanguins (*pression partielle en CO₂, O₂ et pH*).

Ces paramètres sont perçus par des **chémorécepteurs**. Les chémorécepteurs centraux (au niveau du bulbe) sont sensibles aux variations de pH du liquide céphalo-rachidien.

Une augmentation de la concentration en CO₂ entraîne l'augmentation de la ventilation.

Les **barorécepteurs**, au niveau de la crosse aortique et de la bifurcation carotidienne, sont sensibles à la pression partielle en CO₂.

→ L'augmentation de la pression partielle en CO₂ ou la diminution de celle en O₂ entraîne l'augmentation de la ventilation.

B\ Autres influences.

- Etat d'activité (sommeil, exercices physiques, repos ...)
- Volonté
- Emotions
- Toux
- Eternuements
- Douleurs.

Au niveau des bronchioles, les **muscles lisses** sont sensibles à la pression partielle en CO₂ : si la quantité de CO₂ augmente, les muscles lisses se relâchent en entraînant une broncho-dilatation et l'excès de CO₂ est expiré.

Les échanges gazeux.

I\ Propriété fondamentale des gaz.

A\ Pression atmosphérique.

La pression atmosphérique correspond à la pression au niveau de la mer.
760 mm Hg \Leftrightarrow 1013 hPa. Cette pression diminue avec une augmentation d'altitude.

B\ Pression partielle.

La pression partielle est la pression exercée par les molécules d'un gaz donné dans un mélange de gaz.

Au niveau de la mer, on :

- 21% d'O₂ \Leftrightarrow P_{O₂} = 158,8 mm Hg,
- 0,03% de CO₂ \Leftrightarrow P_{CO₂} = 0,23 mm Hg,
- 78,97% de N₂ \Leftrightarrow P_{N₂} = 601 mm Hg.

La diffusion des gaz respiratoires est effective seulement si les gradients de pression partielle en O₂ et CO₂ sont maintenus de part et d'autre de la surface d'échange. Ceci est possible grâce au renouvellement permanent du sang (par le cœur) et de l'air alvéolaire (par la ventilation).

Cette diffusion dépend de la solubilité des gaz dans un liquide.

A l'équilibre, la pression partielle d'un gaz est équivalente dans l'air ou dans l'eau.

Loi de Henry : la quantité de gaz qui se dissout dans un liquide est directement proportionnelle à la pression partielle du gaz et de son coefficient de solubilité (à température constante). Si la température augmente, la quantité de gaz dissout diminue.

Remarque : le CO₂ est 23 fois plus soluble que l'oxygène.

II\ Le mélange gazeux moléculaire.

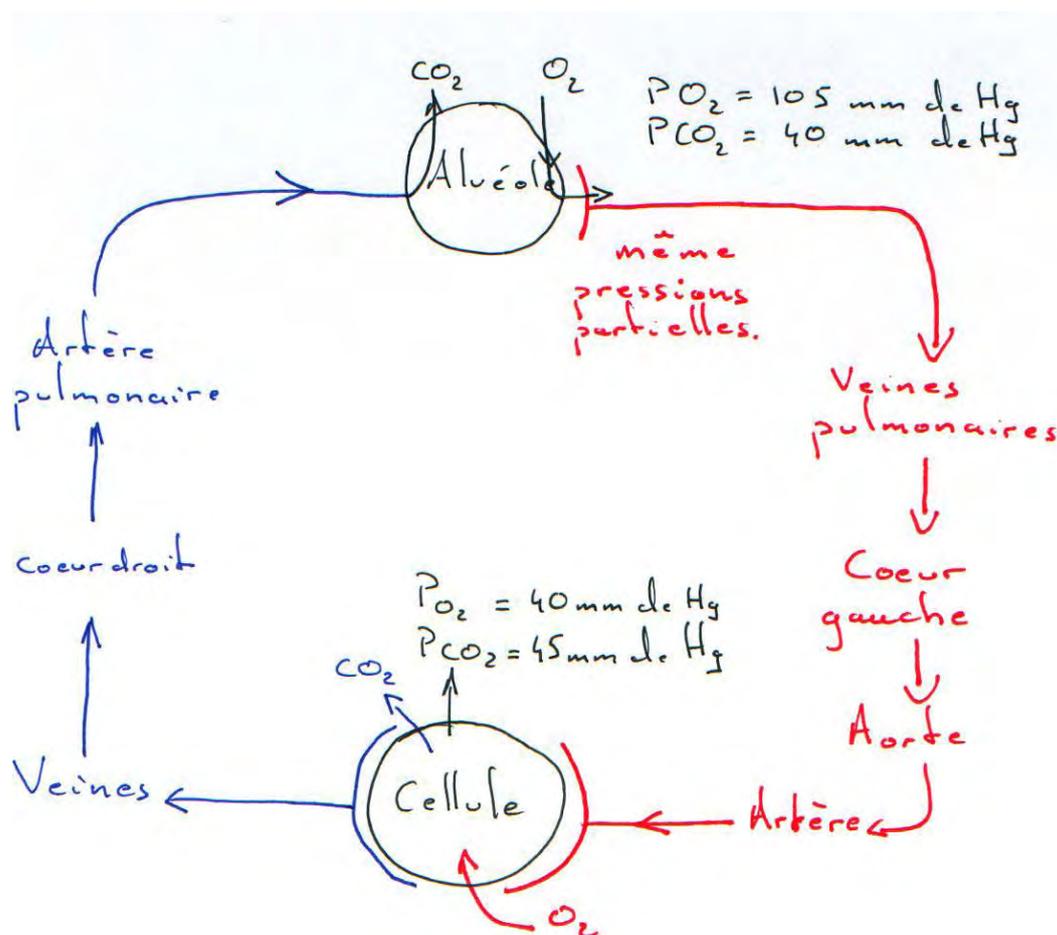
A\ L'air inspiré.

C'est un mélange en O₂, CO₂ et N₂. Quand l'air arrive dans les voies respiratoires, il devient saturé en vapeur d'eau, ce qui entraîne une modification de la pression partielle de chacune des molécules de gaz.

La pression intra-pleurale joue un rôle dans l'inspiration. Elle diminue pendant l'inspiration et permet à l'air de rentrer dans les poumons (elle augmente quand l'air est expiré).

B\ L'air alvéolaire.

Le sang s'équilibre avec l'air alvéolaire qui contient : 14% d'O₂ (P_{O₂}=105mm Hg), 5,5% de CO₂ (P_{CO₂}=40mm Hg).



III\ Transport de l'oxygène.

A\ L'O₂ dissout.

0,3 mL d'O₂ est dissout pour 100 mL de sang. C'est insuffisant pour couvrir les besoins cellulaires (20 mL d'O₂ sont nécessaires pour 100 mL de sang).

B\ L'O₂ combiné.

L'O₂ se combine à l'**hémoglobine** de façon réversible en fonction de la pression partielle en O₂ à un niveau donné.

L'hémoglobine : C'est une protéine des hématies, constituée de quatre sous-unités, chacune formée d'une chaîne polypeptidique (la **globine**) à laquelle est fixé un hème (Fe²⁺) qui fixe l'O₂. Chaque molécule d'hémoglobine peut fixer quatre molécules d'O₂.

Quand l'O₂ est fixé, on parle d'**oxyhémoglobine**.

On a à peu près 15g d'hémoglobine pour 100mL de sang et 1g d'hémoglobine fixe 1,39mL d'O₂.

La pression partielle en O₂ est le principal facteur de fixation de l'O₂. L'affinité de l'hémoglobine est élevée au niveau alvéolaire pour l'O₂ : on parle d'**hémoglobine saturée** (à 90%).

Au niveau cellulaire, le pourcentage de saturation est de 75% : il y aura, à ce niveau, libération d'O₂ plus facile pour qu'il puisse rentrer dans la cellule.

Le 2,3 diphosphoglycérate est un glucide produit par les hématies.

IV\ Transport du CO_2 .

A\ Le CO_2 dissout.

2,5 à 3mL de CO_2 sont dissous pour 100mL de sang. Un litre de sang contient 500mL de CO_2 . Ce type de transport représente 10% du total de CO_2 transporté.

B\ Transport combiné du CO_2 .

- Le CO_2 peut se combiner à l'eau et donner de l'acide carbonique.



Dans les hématies, on a une enzyme, l'anhydrase carbonique, qui accélère la formation des ions HCO_3^- . Ces ions vont diffuser dans le plasma en faisant rentrer des ions Cl^- dans les hématies. → 60% du CO_2 est transporté sous cette forme.

- Combinaison avec l'hémoglobine.

L'hémoglobine peut fixer et libérer le CO_2 au niveau des globines, on parle alors de **carbamino-hémoglobine**.

Au niveau des tissus, la libération de CO_2 entraîne une *diminution du pH* qui tend à dissocier l' O_2 de l'hémoglobine.

La libération d'un proton donne une recombinaison de HCO_3^- puis une dissociation en $H_2O + CO_2$ qui sera évacué.

L'excrétion.

I\ Introduction.

Les reins font parti du système excréteur. Leur rôle est le *maintien de l'homéostasie* par régulation du volume et de la composition du milieu intérieur : **contrôle de l'équilibre hydrominéral et acido-basique**.

Les reins assurent l'épuration du sang en éliminant les déchets métaboliques qui seront excrétés par le système urinaire.

Les reins produisent la **rénine** et l'**érythropoïétine**. Elles stimulent la formation des hématies.

II\ Anatomie.

A\ Appareil urinaire.

Les reins sont disposés en position rétro-péritonéale. A cause du foie, le rein droit est plus bas que le rein gauche.

Le rein est entouré d'une *gaine conjonctive (capsule rénale)*.

La zone externe est la *zone corticale* ou *cortex*.

La zone interne est la *zone médullaire* ou *medulla*.

Dans la medulla, on a des *structures pyramidales* (les **pyramides de Malpighi**), au nombre d'une quinzaine, à l'extrémité desquelles se trouvent les *pores urinaires* qui débouchent dans un tube (le **petit calice**). On a autant de *petits calices* que de *pyramides*. Ils se regroupent par 5 pour former les **grands calices** (3 *grands calices*). Ils débouchent sur le **bassinnet** (point de départ de l'**uretère**). On y trouve la *veine* et l'*artère rénale*. Toutes ces formations sont présentes au niveau du *repli du hile*.

Ces voies urinaires sont constituées des *calices*, du *bassinnet*, des *uretères* et de la *vessie*. La paroi des uretères est composée de trois couches :

- La muqueuse : elle sécrète le *mucus* qui a un rôle contre l'acidité de l'urine.
- La couche musculaire : elle est formée de *fibres circulaires* et *longitudinales* qui permettent les mouvements péristaltiques.
- Les tissus conjonctifs et adipeux.

La vessie a une position différente chez les hommes ou chez les femmes. Elle est constituée de quatre couches :

- Une muqueuse,
- Une sous-muqueuse,
- Des muscles lisses très puissants : le détrusor. On trouve les muscles longitudinaux et circulaires qui forment un *sphincter interne*. On a aussi un *sphincter externe* constitué de fibres musculaires striées.
- Une séreuse dans la partie supérieure de la vessie (essentiellement).

Le volume de cette vessie est 300 mL mais elle est extensible.

La *miction* est la vidange de la vessie, sous le double *contrôle nerveux* du *système végétatif* (réflexe) et du *système nerveux central* (volontaire). Pour l'activité réflexe, les récepteurs à

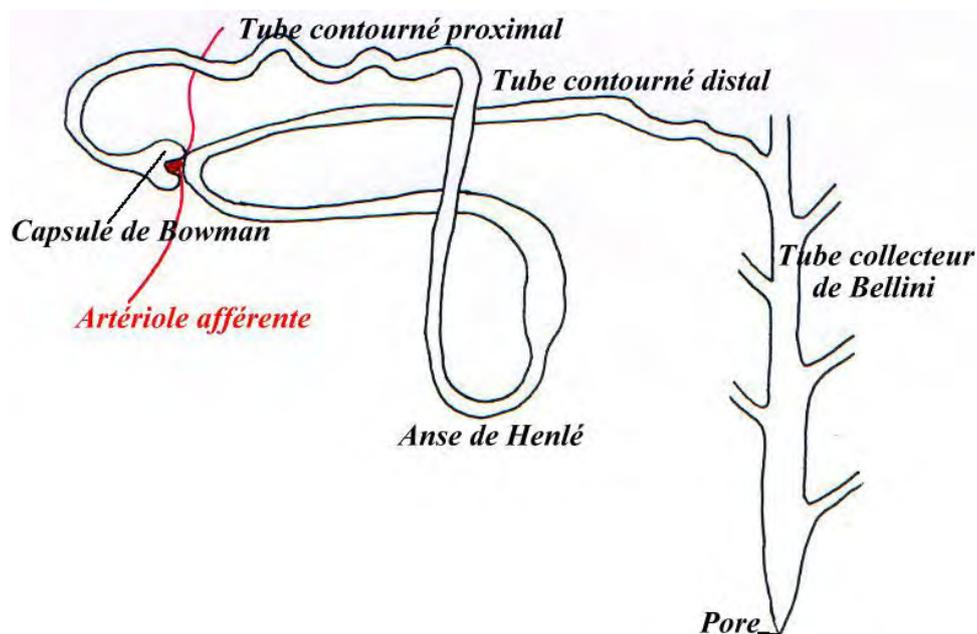
l'élongation active le système *parasympathique* qui va entraîner la contraction de la vessie et le relâchement du sphincter interne. Le système nerveux central agit sur le sphincter externe.

L'urètre transporte l'urine à l'extérieur du corps. Elle prend son départ à la base de la vessie, au niveau du **trigone**. L'urètre est différent selon le sexe de l'individu. Chez l'homme, c'est un conduit urogénital de 20 cm et chez la femme, c'est un conduit exclusivement urinaire de 4 cm de long.

B\ Les néphrons.

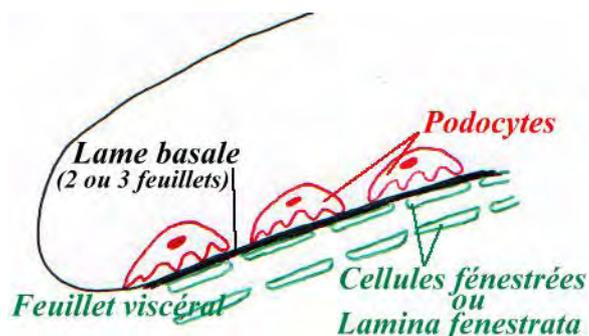
Le néphron est l'*unité structurale et fonctionnelle* du rein. On trouve plus d'un million de néphrons par rein, chez l'homme. Ils se juxtaposent entre eux pour former les *pyramides*. On a deux types de néphrons :

- les néphrons corticaux : ils sont courts et situés au niveau du cortex,
- les néphrons juxtamédullaires : ils descendent profondément jusqu'à la médulla.



1\ La capsule de Bowman.

C'est elle qui compose le segment initial du néphron. Elle est formée d'une *double paroi* à cellules aplaties (feuillet viscéral et feuillet pariétal).

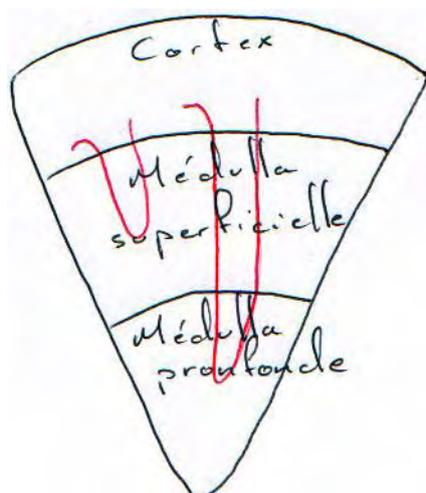


Dans la concavité de la capsule de Bowman arrive l'artériole afférente qui se capillarise en un **floculus** ou **glomérule de Malpighy**. (capsule de Bowman + flocules = corpuscule de Malpighy)

2\ Le tube contourné proximal.

Il est caractérisé par des *cellules en brosse* (grande capacité de réabsorption).

3\ L'anse de Henlé.



C'est un tube en « U » avec une branche descendante grêle et une ascendante grêle qui s'élargit ensuite.

Les néphrons peuvent être profonds ou superficiels. Il se forme alors un *gradient cortico-papillaire*.

La *branche descendante de Henlé* est relativement *impermeable au sodium* et *perméable à l'eau*. C'est l'inverse pour la *branche ascendante*.

4\ Le tube contourné distal.

Ce tube fait parti de l'*appareil juxtaglomérulaire*. Il est formé de l'*artériole afférente*, l'*artériole efférente* et de la **pars maculata**.

Ce tube est l'*appareil producteur de rénine*. Le facteur déterminant de la rénine est la diminution de la concentration en sodium du sang.

5\ Le tube collecteur de Bellini.

Ce tube traverse totalement la pyramide, il reçoit d'autres tubes collecteurs. Il débouche dans le petit calice correspondant, au niveau d'un pore urinaire.

Le long de son trajet dans le tubule, l'urine subit des modifications de concentrations à cause des échanges entre tubule, tissu interstitiel et vaisseaux sanguins.

C\ Irrigation.

1\ Irrigation générale.

Les deux artères rénales sont issues de l'aorte. Après ramifications successives, on arrive aux *artères radiées*. Le circuit veineux : on passe des *veines radiées* aux *veines rénales* puis à la *veine cave inférieure*. 1800 litres de sang passent tous les jours dans la circulation générale.

2\ Irrigation du néphron.

De l'artère radiée part l'artériole afférente qui se résout en *capillaires fenestrés* dans la capsule de Bowman.

Le sang repart par l'artériole efférente puis se capillarise autour des tubules. Au niveau de l'anse de Henlé, il existe un *réseau artério-veineux* : le **vasa-recta**.

Le *système porte artériel* permet une augmentation de la filtration. Le *système artério-veineux* permet, lui, la réabsorption.

III\ Physiologie de l'urine.

A\ Généralités sur l'élaboration de l'urine.

L'urine est une solution aqueuse avec des substances minérales et organiques. La densité de l'urine peut passer de 0,002 à 0,03 afin de réguler la **volémie**.

Cette composition est le résultat de trois étapes fonctionnelles fondamentales (filtration, réabsorption et sécrétion).

La **filtration** comprend le passage d'eau et de composés du sang vers le tubule.

La **réabsorption** comprend du tubule vers le sang.

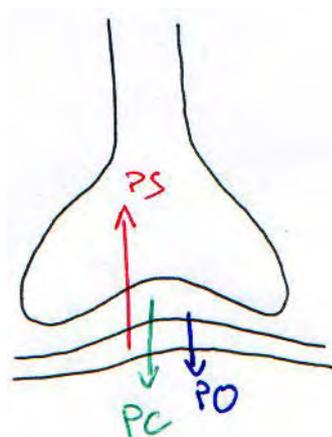
La **sécrétion** est le passage direct du sang vers le tubule sans filtration ou de la cellule rénale vers l'urine.

Suivant l'intensité de chacun des processus, une substance se trouvera à une concentration plus ou moins grande dans l'urine. Des mécanismes homéostatiques fins régulent ces trois étapes.

B\ La filtration.

Sur 1800 litres de sang, passent par jour : 180 litres d'eau, 180g de glucose, 154g d'urée et 630g de sodium.

Le filtrat est isotonique au plasma (300 milliosmol par litre).



La force motrice principale est la pression sanguine (50 à 60 mm de Hg).

Deux forces s'opposent à ce passage :

- la *pression oncotique* : pression due aux protéines qui ne peuvent sortir des capillaires (20 à 25 mm de Hg)

- la *pression capsulaire* (10 à 15 mm de Hg).

$$\rightarrow PF = PS - (PO + PC) = 10 \text{ à } 20 \text{ mm de Hg.}$$

C\ Réabsorption.

C'est le passage des éléments du *filtrat vers le sang*. Cette réabsorption a lieu dans la région du *tube contourné proximal*.

Sont réabsorbés : 85% de l'eau, 85% du sodium, 98% du potassium et 100% du glucose.

1\ Le transport actif.

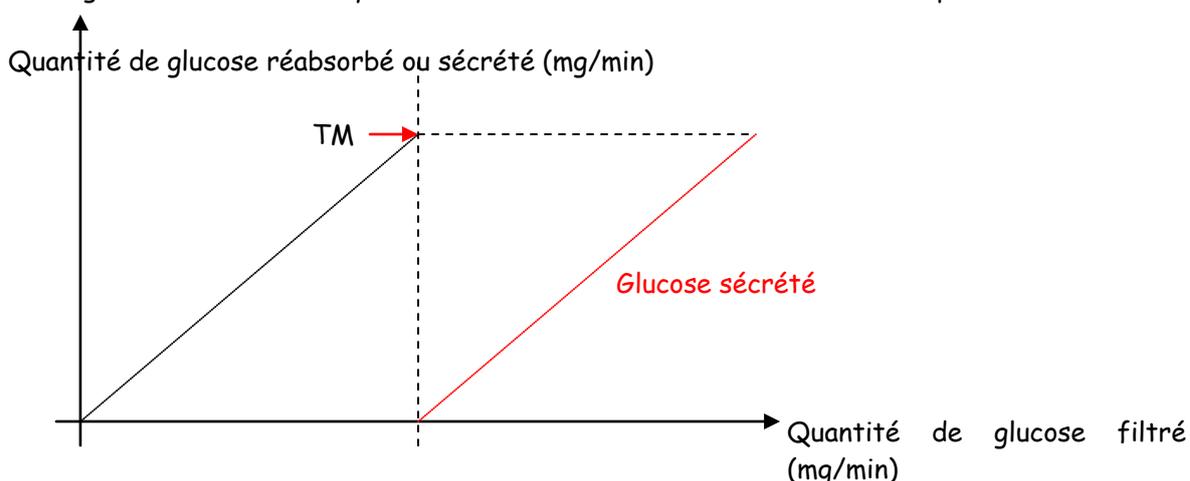
Ce type de transport nécessite un transporteur, de l'O₂, de l'ATP. C'est un *transport saturable*.

2\ Le transport passif.

Il suit les lois de l'*osmose* (cas du sodium, de l'urée).

3\ Exemple du glucose.

Le glucose subit un *transport actif saturable* : on obtient alors un transport maximal.



4\ Exemple du sodium.

Une partie du sodium passe dans le liquide interstitiel au niveau de la Anse de Henlé. Dans la branche descendante, l'eau sort car il y a beaucoup de sodium. Dans la branche ascendante, le sodium sort. → Il s'établit dans le liquide interstitiel, un gradient osmotique entre la pression corticale et la pression médullaire qui peut aller de 300 milliosmol à 1000 milliosmol (et même 1400 milliosmol sous l'influence régulatrice de l'aldostérone).

Ce sont les *néphrons à anse longue* qui sont responsables de ce phénomène.

5\ Le cas de l'eau.

L'eau permet la régulation de la volémie (ou équilibre hydrominéral). Il y a réabsorption obligatoire de 85% d'eau au niveau de *tube contourné proximal* mais il reste 10 à 15% d'eau réabsorbée de façon facultative en fonction de l'équilibre hydrominéral. → l'urine est plus ou moins diluée.

Au niveau du tube contourné distal et du tube collecteur de Bellini, il y a réabsorption d'eau à cause de l'ADH et de la nature anatomique (*gradient cortico-papillaire*).

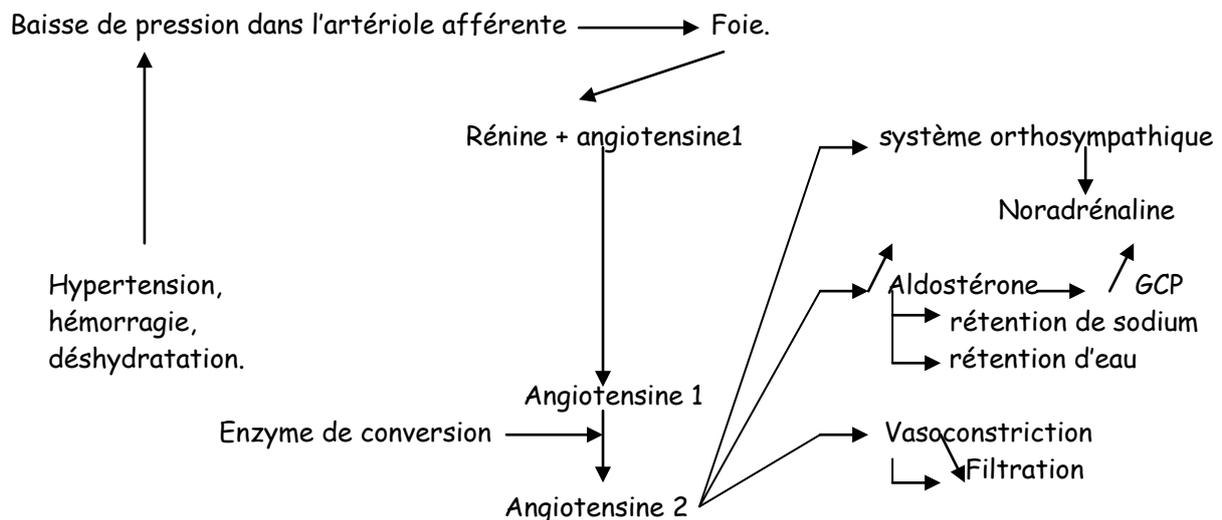
Dans les conditions normales, 1,5 litres d'urine. Dans des conditions anormales, sous l'influence de récepteurs à l'osmorégularité et à la volémie, la **posthypophyse** diminue sa sécrétion d'ADH pour *perméabiliser* les parois du tube contourné distal et du tube collecteur de Bellini à l'eau. L'eau sort grâce au gradient cortico-papillaire.

D\ Sécrétion.

La sécrétion correspond au *passage direct* d'une molécule du sang vers le tubule ou des cellules sécrétrices vers le tubule. Fonction exogène : médicaments... ; fonction endogène : H⁺, K⁺, acide urique...

Le système Rénine - Angiotensine.

La rénine est sécrétée quand la pression diminue dans l'artériole afférente.



Ce système permet la récupération de l'eau : il a un rôle récupérateur.

Physiologie de l'appareil génital femelle.

I\ Anatomie.

A\ Les ovaires.

Les ovaires sont situés dans la *cavité pelvienne*. Ils sont recouverts par le pavillon de la trompe utérine et sont maintenus dans leur position par différents ligaments. Les ovaires sont composés de trois couches :

- *couche externe* : **épithélium**
- *couche dense* : tissu conjonctif : **albuginée**
- *zone corticale* où se trouvent les différents **follicules ovariens** (à différents stades de croissance).

De la puberté à la ménopause, on a libération d'ovocytes et des sécrétions hormonales nécessaires à la fécondation et à l'implantation de l'œuf.

1\ Ovogenèse.

Chez l'embryon, il y a colonisation des gonades primitives par les *cellules germinales primordiales*.

On a ensuite une phase de *multiplication* : les *ovogonies* se multiplient et donnent des *ovocytes I* (diploïdes).

La première division de la méiose *s'arrête jusqu'à la puberté* en cours de *prophase 1*.

Après la puberté, l'ovocyte I complète sa première division méiotique. On alors deux cellules (un *globule polaire* et un *ovocyte II*). La seconde division méiotique débute et *s'arrête en métaphase 2*.

La division reprendra s'il y a fécondation.

A la fin de la méiose, on obtient un *deuxième globule polaire* et un *ovule*.

2\ Le cycle ovulatoire.

Les cycles se succèdent tous les 28 jours. A chaque fois, un ovocyte est libéré.

L'ovocyte est entouré de cellules : **follicules primordiaux**. Au stade fœtal, on a 500 000 follicules primordiaux par ovaires. Ils sont tous localisés dans le *cortex ovarien*.

Pendant la période allant de la puberté jusqu'à la ménopause, on a une *dégénérescence* des follicules : **l'atrésie**. Finalement, seuls 400 à 500 ovocytes se développent.

Pour ceux qui se développent, on a :

- Première phase : La phase folliculaire (qui conduit à l'ovulation).

Un follicule se développe ; les cellules folliculaires s'étendent et donnent la **granulosa**. Il y a formation d'une *thèque interne* et d'une *externe*. Ces deux théques sont séparées par une *membrane basale*.

La thèque externe est très vascularisée. Les cellules de la granulosa sécrètent un liquide qui donnera l'**antrum**.

La corona radiata : elle est au contact entre la thèque interne et les cellules de la granulosa grâce au **cumulus oophorus**. Ce cumulus suit l'ovocyte quand il est libéré.

Le *follicule mature* ou *follicule de Graaf*. L'ovulation a lieu à J+14 par la rupture du follicule, grâce à différentes enzymes. L'ovocyte est expulsé grâce aux hormones hypophysaires

- Seconde phase : La phase lutéale.

Mise en place d'une glande endocrine temporaire : le **corps jaune**. Il se met en place avec ce qui reste du follicule.

Les cellules de la granulosa donnent les **cellules lutéales** dont la sécrétion de *progestérone* est sous la dépendance des hormones hypophysaires (LH).

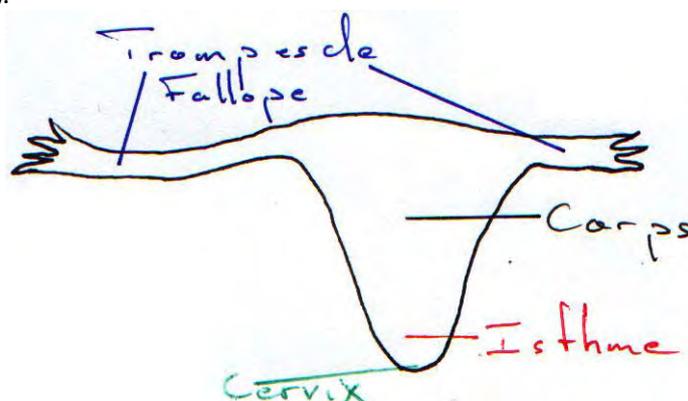
S'il n'y a pas fécondation, le corps jaune dégénère (en une dizaine de jours) : c'est la *lutéolyse*. Le corps jaune donnera alors le **corps albicans**. C'est à ce moment que la menstruation commence.

S'il y a fécondation, le corps jaune persiste et reste actif pendant plusieurs semaines grâce aux hormones produites par le placenta : on parle de *corps jaune gestatif*.

B\ Les voies génitales.

1\ L'utérus.

L'utérus est un organe musculaire creux dont la partie principale est appelée le corps. Ce dernier reçoit les **trompes de Fallope**. La partie cylindrique (ou **isthme**) est en continuité avec le *col utérin* (ou **cervix**).



L'utérus est constitué de trois épaisseurs :

- à l'extérieur : la **séreuse**,
- une couche musculaire épaisse : le **myomètre**,
- une muqueuse : l'**endomètre** qui voit épaisseur, vascularisation et rythme de sécrétion modifiés pendant tout le cycle menstruel.

Pendant le cycle, on a trois phases distinctes (trois utérus) :

- jours 1 à 4 : *phase menstruelle*
- jours 5 à 14 : *phase proliférative* : reconstitution de l'endomètre grâce aux *œstrogènes*.
- Jours 15 à 28 : *phase sécrétoire* : les cellules se multiplient, les glandes augmentent en épaisseur et en longueur → l'endomètre est très vascularisé (à partir du 20^{ème} jour).

2\ Le vagin.

Le vagin est un conduit *musculo-membraneux*. Il commence au niveau du cervix et se termine à l'extérieur.

Il est composé de trois couches : une *séreuse*, une *muscleuse* et une *muqueuse*.

Le cycle vaginal est caractérisé par la présence de cellules desquamées dans la première partie du cycle.

II\ Fonctions endocrines de l'ovaire.

A\ Les hormones stéroïdes ovariennes.

Les principales hormones sécrétées sont la progestérone et les œstrogènes (œstradiol, œstrone). L'ovaire est capable de fabriquer des hormones androgènes (mâles) en faible quantité.

1\ Taux au cours du cycle.

Pendant la phase 1, les œstrogènes augmentent progressivement jusqu'au 14^{ème} jour. Il y a un *pic avant l'ovulation*. Le taux diminue mais il y a un *second pic faible* vers le 20^{ème} jour.

La progestérone apparaît après l'ovulation. Son taux est maximal juste avant les règles. S'il n'y a pas fécondation, le taux va diminuer. S'il y a fécondation, le taux reste constant.

2\ Synthèse.

Le précurseur de toutes les hormones stéroïdes est le **cholestérol**.

Ce cholestérol est métabolisé en prégnénolone qui a deux possibilités de suite :

- la **prégnénolone** donne directement la progestérone,
- il sert à la formation d'œstrogènes à partir d'hormones mâles.

Ces hormones sont dans le follicule et leur formation débute quand l'antrum se forme. Ce sont les cellules de la thèque interne qui élaborent les précurseurs des œstrogènes à partir de cholestérol, sous l'influence de LH.

La transformation des hormones androgènes en œstrogènes est réalisée par une enzyme (*aromatase*) synthétisée par les *cellules de la granulosa*, sous l'influence de FSH.

La *progestérone* est synthétisée par la *granulosa* (quand les cellules de la granulosa ont donné les *cellules lutéales*) et par les cellules de la *thèque interne*.

Ces hormones sont sécrétées puis éliminées dans les urines.

3\ Transport et action des hormones sexuelles.

Les hormones sont véhiculées par le sang et liées à des transporteurs (protéines). Parmi ces transporteurs, on a :

- la **SBP** : *Stéroïde Binding Protéine*. Elle lie essentiellement les œstrogènes mais peut aussi transporter la testostérone et la progestérone.
- La **CBG** : *Corticostéroïde Binding Globuline*.
- La **transcortine** : elle se lie essentiellement à la *progestérone*.

Ces hormones ont un rôle essentiellement sur le tractus génital.

α\ Les œstrogènes.

Les œstrogènes ont un *effet prolifératif* et leur action a lieu au niveau de l'*endomètre utérin* pour une *augmentation de son épaisseur* et pour la *croissance des glandes utérines*.

Au niveau du col de l'utérus leur action entraîne l'apparition de *glaires cervicales*.

Au niveau du vagin, leur action permet une *prolifération* de l'épithélium.

Au niveau des ovaires, les œstrogènes *stimulent la croissance folliculaire*.

Au niveau des glandes mammaires, ils agissent sur les *canaux galactophores*.

Action métabolique : ils agissent sur la *rétenion d'eau et de sodium*. Ils ont aussi un effet protecteur contre l'artériosclérose.

β\ La progestérone.

La progestérone intervient dans la différenciation cellulaire.

Au niveau de l'endomètre utérin, elle est responsable de la *dentelle endométriale*. Elle rend la muqueuse utérine apte à la nidation et au maintien de la gestation.

Au niveau du col utérin, elle est responsable du *durcissement de la glaire cervicale* qui empêche alors l'entrée des spermatozoïdes.

Au niveau des glandes mammaires, elle *augmente la croissance des ascini*.

L'action thermogénique de la progestérone entraîne une augmentation de 0,5°C après l'ovulation.

B\ Les cybernines ovariennes.

Les cybernines sont des polypeptides sécrétés par l'ovaire et qui modulent l'activité de ces ovaires. Leur intervention est locale et de longue durée (pendant toutes les étapes de formation du follicule :

- La **OMI** (Inhibiteur de la Maturation de l'Ovocyte) : elle serait sécrétée par les cellules de la *granulosa*. La libération de l'ovocyte permet la *reprise de la méiose* car il n'est plus sous l'influence de l'OMI.
- La **FSH-BI** : elle *inhibe la fixation de la FSH*. S'il n'y a pas de fixation de FSH, le follicule dégénère.
- La **LI** : c'est un inhibiteur de la *lutéinisation*
- L'**inhibine** : elle permet la régulation de l'axe hypothalamo-hypophysaire. L'inhibine est produite par les cellules de la *granulosa (cellules lutéales)* et va agir sur l'hypophyse pour *inhiber la sécrétion de FSH*. Elle agit aussi sur l'ovaire pour assurer une *diminution de la production de progestérone*.

C\ Contrôle hypothalamo-hypophysaire.

L'activité ovarienne est dépendante de l'activité hypophysaire (pour FSH et LH).

Le taux de FSH : il augmente pendant la phase folliculaire puis donne un pic synchrone avec la LH pendant l'ovulation.

Le taux de LH : le pic principal précède de 40 heures l'ovulation et permet la sécrétion de progestérone.

La FSH agit sur la croissance des follicules et sur la production d'œstradiol.

Les hormones ovariennes exercent des *rétrocontrôles négatifs* sur la production de LH ou de FSH : la progestérone a un *rétrocontrôle négatif* sur la LH. Les œstrogènes ont deux types de

rétrocontrôle : rétrocontrôle négatif sur la production de FSH ; au cours de la maturation, quand l'œstradiol dépasse la concentration de 200 pg/mL, le rétrocontrôle est inversé, donc positif sur FSH et essentiellement sur LH.

Le GnRH : elle est synthétisée au niveau du *noyau arqué de l'hypothalamus*. Sa sécrétion est pulsatile (2 ou 3 coups par heure) et elle est répercutée sur les hormones hypophysaires.

La pulsabilité est constante pendant la phase folliculaire et diminue pendant la phase suivante.

III\ Gestation.

A\ Fécondation.

Après expulsion du follicule, l'ovocyte II pénètre dans la trompe de Fallope, vers l'utérus. Lors de l'accouplement, il y a *libération d'ocytocine* qui favorise la progression de l'ovocyte en augmentant les contractions tubaires et utérines.

Les contractions favorisent la progression des zoïdes. Seulement 1% de ces zoïdes franchit les glaires cervicales (mucus sécrété par le cervix). Ces glaires permettent de « décapier » les zoïdes et de leur faire acquérir leur pouvoir fécondant.

Un zoïde va pénétrer dans l'ovule par lyse de la *membrane pellucide*, grâce à des sécrétions enzymatiques. Cette piqûre spermatique entraîne la réactivation de l'ovocyte qui sécrètera des enzymes empêchant la polyspermie. Il y a ensuite achèvement de la méiose.

B\ Implantation.

C'est à l'état de blastocyste que l'œuf parvient au contact, dans la cavité utérine. La période de vie libre est de sept jours. Cet œuf se fixera ensuite dans la paroi utérine.

L'utérus est très réceptif. Le corps jaune est au maximum de son développement. La muqueuse utérine est très développée et vascularisée. Le myomètre est inhibé par la progestérone.

Grâce à des enzymes protéolytiques, le blastocyste érode la muqueuse utérine : c'est l'implantation interstitielle.

C\ Formation du placenta.

La paroi extra embryonnaire (**trophoblaste**) prend naissance au contact de la muqueuse utérine, du placenta.

Les cellules prolifèrent : on a alors un **syncytiotrophoblaste**. Ce dernier s'enfonce dans la muqueuse et forme des villosités choriales qui parviennent au niveau des capillaires maternels. Ce syncytiotrophoblaste détruit la paroi. Il se forme alors de *grandes lacunes de sang* où ont lieu les échanges entre le fœtus et la mère.

→ c'est un *placenta hémochorial*.

D\ La fonction du placenta.

Le placenta a deux grands rôles : nourricier et endocrine.

1\ Fonction nourricière.

Deux types de circulation s'établissent dans le placenta : une circulation *fœto-placentaire* et *utéro-placentaire*. Ces deux circulations sont séparées par la barrière placentaire.

α\ Circulation fœto-placentaire.

Cette circulation passe par le *cordon ombilical*. Elle comprend deux artères et une veine. L'ensemble est relié par des capillaires. Le sang du fœtus passe par le placenta (renouvellement). Ce placenta constitue la seule interface entre la mère et le fœtus.

β\ Circulation utéro-placentaire.

Le sang arrive par la branche artérielle utérine. Il va se répandre dans les lacunes qui sont entre les villosités. Il est ensuite repris par la veine utérine. La surface choriale est divisée en lobules présentant eux-même des villosités plongeant dans les lacunes. C'est la *surface choriale* qui formera la barrière placentaire. Celle-ci s'amincit pendant les quatre premiers mois, pour atteindre et garder une épaisseur de quatre microns.

Cette barrière est imperméable mais sélective : échanges surtout d'O₂ vers l'embryon (l'hémoglobine fœtale est plus affine pour l'oxygène que l'hémoglobine maternelle), de nutriments, de déchets, de médicaments, d'anticorps et d'hormones.

2\ Fonction endocrine.

La placenta se comporte comme une usine hormonale qui relie l'hypophyse aux ovaires. Le placenta sécrète une hormone, l'**HCG** (hormone gonadotrophine chorionique), qui remplace la LH. Cette HCG maintiendra le corps jaune ovarien dès la cinquième semaine. C'est le placenta qui sécrète la progestérone jusqu'à la fin. Il sécrète aussi les oestrogènes.

→ *Le placenta est une usine à hormones.*

IV\ La parturition (accouchement).

Pendant la gestation, l'embryon a un mode de vie aquatique.

L'élément le plus important : un « vieux » placenta entraîne l'arrêt fonctionnel du corps jaune de gestation : il y a alors diminution de sécrétion de progestérone (n'y a plus d'inhibition du myomètre) : *l'activité utérine reprend*. Les contractions engagent le fœtus dans le col utérin qui va se dilater. Un réflexe se met en place et entraîne la sécrétion, par la post-hypophyse, de *l'ocytocine* qui intensifiera les contractions utérines. L'utérus sécrète en même temps de la *prostaglandine* qui augmente l'histolyse du placenta et du corps jaune résiduel.

En même, il y a production de **relaxine** qui dilatera les ligaments de la ceinture pelvienne et ramollira les muscles utérins.

L'accouchement a lieu en deux temps.

Cinq minutes entre les contractions : c'est le moment.

La poche des eaux se rompt et le col de l'utérus s'efface ; le fœtus s'engage, aidé par les contractions volontaires de la mère. L'expulsion est rapide, on coupe le cordon ombilical.

V\ Lactation.

A\ Les glandes mammaires.

Les glandes mammaires sont formées par les **ascini** et des **tissus adipeux**. Les ascini sont des glandes qui aboutissent dans les **canaux galactophores**. Ces derniers sont entourés de capillaires sanguins et par des cellules musculaires qui permettent l'*extrusion* du lait.

B\ Composition du lait.

Les trois premiers jours, c'est le **colostrum** qui est riche en anticorps.

Le lait est riche en protides (15g), en lipides (34g), et en glucides (67g). On y trouve aussi des sels minéraux (2 g/L), des anticorps et des vitamines.

C\ Mécanismes de sécrétion.

Pendant la gestation, le corps jaune et la placenta produisent de la progestérone. Cette hormone va agir au niveau des seins en inhibant la sécrétion de lait. Le placenta produit l'**HCG** et l'**HCP** qui vont entraîner une *multiplication des ascini* et donc, augmenter la production de lait. Ce lait ne sortira pas car il y a inhibition par la **progestérone**. Au moment de la parturition, la quantité de progestérone diminue brusquement et *l'inhibition de sécrétion est levée*.

L'hypophyse produit la **prolactine (PRL)** qui stimule la synthèse de lait. La **succion** entraîne un réflexe qui agit sur l'**hypophyse postérieure** : il y a sécrétion d'**ocytocine** qui agira sur les cellules musculaires des seins → il y a alors *extrusion*.

D\ Maintient de la lactation.

La lactation peut durer des années (si l'enfant continue à téter, il y a production de lait) : c'est un **réflexe tacto-hypothalamohypophysaire** qui entraîne *l'inhibition des neurones à GnRH* et le maintient en **aménorrhée** (pas de règle). Ce réflexe entretient une **hyperprolactidémie** qui maintient l'aménorrhée par inhibition de LH.

L'appareil reproducteur mâle.

I\ Différenciation sexuelle.

A\ Différenciation à partir du génome.

Chez les animaux supérieurs, la différenciation sexuelle est fonction du code génétique.
Chez les poissons, cette différenciation est fonction des conditions extérieures (température, ...).

B\ Le sexe gonadique.

Pendant la vie embryonnaire, il n'y a pas de différenciation sexuelle avant la sixième semaine : on a alors un *appareil indifférencié*.

Chez le mâle, la différenciation entraîne la formation de *tubes séminifères* dans les *gonades*. En même temps on a la différenciation des canaux de Müller et de Wolf. Le canal de Müller donne la trompe utérine chez la femelle et dégénère chez le mâle. Le canal de Wolf donne les *canaux déférents* qui dégénèreront chez la femelle.

Au départ, la différenciation sexuelle est féminine. Le mâle a besoin de testostérone et des testicules pour synthétiser des hormones anti-müllériennes.

C\ Le sexe somatique.

Il correspond à la mise en place des structures internes puis des caractères sexuels secondaires qui en découlent.

Du sexe génétique, on passe au sexe gonadique, avec la mise en place des organes sexuels, puis, au sexe somatique avec l'apparition des caractères sexuels secondaires et enfin au sexe légal.

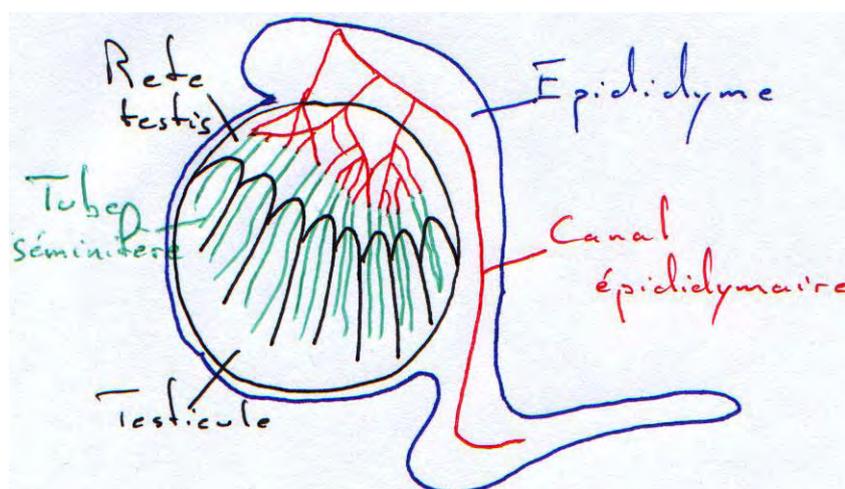
II\ Anatomie.

A\ Les testicules.

Les testicules ont une double fonction:

- fonction endocrine: production d'hormones du genre de la *testostérone*.
- fonction exocrine: production de *spermatozoïdes*.

Les testicules sont coiffés par l'**épididyme**. Leur partie inférieure est fixée à la paroi du **scrotum**. Elles sont enfermées dans une *capsule riche en tissu conjonctif* et en *structures musculaires*. Ces différentes parties composent l'**albuginée** qui formera des cloisons dites interlobulaires.



Les tubes séminifères se terminent par les tubes droits qui se jettent dans le **Rete testis**. Après les tubes droits, on a les canaux efférents qui vont jusqu'à la tête de l'épididyme.

- Irrigation.

L'artère testiculaire est issue de l'artère spermatique. Elle forme des circonvolutions autour des testicules tout comme les veines. Ces dernières se mettent sur les artères et donne un système à contre-courant qui permet une circulation inverse afin de refroidir les spermatozoïdes.

- les différents types cellulaires.

On trouve des *cellules allongées* : les *cellules somatiques* ou **cellules de Sertoli** qui ont un rôle nourricier et qui sont capables de synthétiser de l'**inhibine**.

Les *cellules de la lignée germinale* : elles donneront les **spermatogonies**, les **spermatocytes 1 et 2** et les **spermatides**.

A l'extérieur, on a un liquide interstitiel conjonctif lâche qui renferme les **cellules de Leydig**. Ces cellules sont responsables de la fonction endocrine des testicules.

- Spermatogenèse.

La multiplication des *cellules germinales primordiales* permet la formation des spermatogonies qui restent au repos jusqu'à la puberté. La spermatogenèse commence à cette étape. La spermatogenèse va de la périphérie vers la lumière des tubes séminifères et se fait de façon synchrone entre les différentes cellules.

La spermatogenèse est composée de trois phases

- phase de multiplication : elle donne les **spermatocytes d'ordre 1** par mitoses.

- phase de maturation : les spermatocytes 1 subissent la première division de la méiose et donnent des **spermatocytes d'ordre 2**. Ces derniers vont subir la seconde division méiotique et donner des **spermatides** (haploïdes).

- phase de différenciation : elle permet la formation des spermatozoïdes → c'est le début de la **spermiogenèse** qui mettra en place le **flagelle**, la **pièce intermédiaire** et l'**acrosome** (dans la tête des spermatozoïdes).

B\ Les voies génitales.

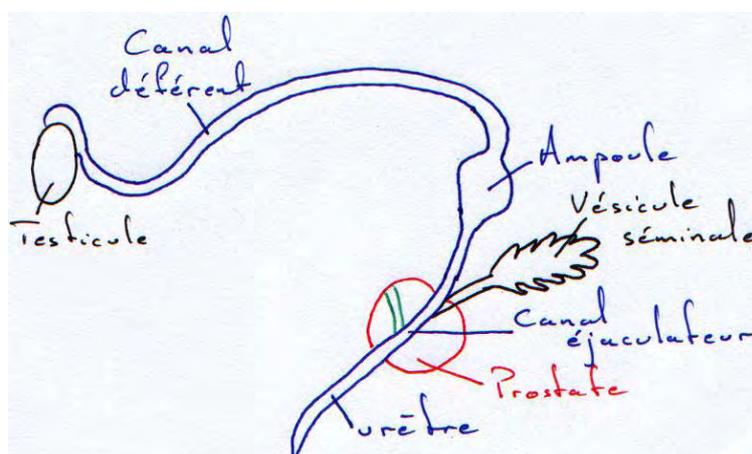
Les voies génitales assurent le transport des spermatozoïdes.

Au départ, on a les *canaux spermiques* (les tubes droits + le Rete testis). On a ensuite les *canaux efférents* qui forment la tête de l'épididyme. Le canal suivant est le *canal épидидymaire* qui se trouve dans le corps de l'épididyme. On trouve enfin le *canal déférent* dans la queue de l'épididyme.

La maturation des spermatozoïdes est réalisée dans le canal épидидymaire qui ne permet qu'un transit lent et qui est donc un "lieu de stockage".

Remarque : les spermatozoïdes ne sont féconds que lorsqu'ils sont dans les trompes utérines.

Le canal déférent s'élargit et donne l'*ampoule déférente* qui se déverse dans un canal qui reçoit les conduits des glandes annexes. Après connexion, ce canal rentre en contact avec le *canal éjaculateur*. Ce dernier va pénétrer dans la *prostate* puis communiquer avec l'*urètre*.



C\ Les glandes annexes.

1\ Les vésicules séminales.

Les vésicules séminales forment un "suc" qui participe à la formation du liquide séminal. Elles sécrètent aussi du *fructose* et de la *prostaglandine*.

2\ La prostate.

La prostate entoure l'urètre. Ses *sécrétions alcalines* vont neutraliser l'acidité du liquide séminal. Se sont des sécrétions de faible volume *riches en zinc* (le zinc a un pouvoir bactéricide).

3\ Les glandes de Cooper.

Les glandes de Cooper, ou *bulbo-urétrales*, se situent de chaque côté de l'urètre et débouchent dans ce conduit à l'entrée du pénis. Elles sécrètent un *fluide alcalin* afin de neutraliser l'acidité au niveau de l'urètre.

4\ Les glandes de Tyson ou prépuçsiales.

Ces glandes n'ont pas de rôle défini chez l'homme. En revanche, chez les animaux, elles sont des sources de phéromones.

D\ Le pénis.

Le pénis est formé d'organes érectiles:

- les *corps spongieux* se trouvent autour de l'urètre.
- les *corps caverneux* se trouvent de part et d'autre des corps spongieux.

Ces corps sont enfermés dans des enveloppes riches en fibres musculaires et élastiques.

Les aréoles sont des cavités qui se remplissent de sang. Quand ce dernier y arrive, il y a un gonflement qui est limité par les enveloppes : c'est la rigidité du pénis.

La vascularisation du pénis est très complexe. Les vaisseaux sont très contractiles.

L'érection est un *phénomène vasomoteur*, sous contrôle du *système parasymphatique*. Elle est due à une *vasodilatation des artères érectiles*.

La *fermeture de la circulation veineuse* permet qu'il y ait plus de sang entrant que sortant. La fermeture se fait par contraction des fibres musculaires au niveau des organes érectiles et par contraction des fibres musculaires lisses de la paroi des aréoles. Tous ces phénomènes entraînent une augmentation de la pression.

L'éjaculation : toutes les glandes annexes rejettent leur contenu dans l'urètre. La contraction des muscles par le *système orthosymphatique* entraîne l'expulsion du sperme. On trouve 300 millions de spermatozoïdes par éjaculation normale.

III\ Fonction endocrine des testicules.

A\ Production des hormones androgènes.

Ces hormones stéroïdes sont produites à partir de cholestérol. L'hormone principale est la testostérone. On trouve aussi l'*androstène-dione* et la *DHEA* (DiHydroEpiAndrostérone).

B\ Transport et effets des hormones.

Le transport des hormones est assuré par différentes protéines. On retrouve la **SBP** (Stéroïd Binding Protéine) qui transporte la **testostérone**. Cette dernière sera éliminée dans les urines sous forme libre ou sous forme conjuguée.

Les effets de la testostérone sont visibles au niveau de la différenciation sexuelle, sur la spermatogenèse (caractères sexuels primaires avant la puberté), et par les caractères secondaires (à partir de la puberté).

Les androgènes agissent sur les organes génitaux externes et sur les glandes annexes, sur la croissance et sur le métabolisme (ce sont des *anabolisants*).

IV\ Régulation des sécrétions testiculaires.

Le taux de sécrétion testiculaire est faible jusqu'à la puberté. Il commence à augmenter après l'activation de l'hypothalamus qui sécrète de plus en plus de **GnRH**. Donc, de plus en plus de **FSH** et de **LH** sont synthétisés par l'hypophyse.

La LH stimule les *cellules de Leydig* qui synthétisent la testostérone.

La FSH stimule les *cellules de Sertoli* qui produisent les protéines liant les androgènes (Androgène Binding Protéine). Elle favorise aussi la spermatogenèse au niveau des tubes séminifères.

Les rétrocontrôles:

- La **testostérone** exerce un *rétrocontrôle négatif* sur l'hypothalamus (GnRH) et sur l'hypophyse (LH).

- L'**inhibine** (synthétisée par les *cellules de Sertoli*) exerce un *rétrocontrôle négatif* sur la production de FSH et diminue ainsi la spermatogenèse.

Le problème hypothalamo-hypophysaire.

L'hypothalamus contrôle le système endocrinien par l'hypophyse (glande pituitaire). Ces deux structures constituent l'axe hypothalamo-hypophysaire.

I\ Organisation anatomique de l'axe hypothalamo-hypophysaire.

A\ L'hypophyse.

C'est une petite glande de 0,6 gramme chez l'Homme. Elle est suspendue à l'hypothalamus par la tige pituitaire. Elle se situe dans une petite cavité osseuse (selle turcique) de l'os sphénoïde (à la base du crâne).

Cette hypophyse comporte deux parties d'origine embryologique différente :

- L'adénohypophyse (ou antéhypophyse) : elle est en position antérieure de l'hypophyse. Son origine embryologique est ectodermique ; elle provient d'un ectoderme non différencié.
- La neurohypophyse (ou posthypophyse) : elle est d'origine neurodermique.

1\ L'adénohypophyse.

Elle est constituée de différents types cellulaires sécréteurs. Chaque type sécrète des hormones différentes : c'est une glande pluri-endocrinienne). L'activité sécrétrice est contrôlée par les neurones hypothalamiques.

2\ La neurohypophyse.

Elle ne contient aucune cellule glandulaire. Elle contient des faisceaux d'axones dont les terminaisons libèrent des neurosécrétions.

B\ L'hypothalamus.

Il est constitué par de nombreux noyaux.

Au niveau de l'hypothalamus antérieur, on trouve les noyaux : para-ventriculaire, supra-optique, pré-optique et supra-chiasmatique.

Au niveau de l'hypothalamus médian, on trouve le noyau arqué et le noyau tubéro-latéral.

Le contrôle est direct au niveau de la neurohypophyse où les neurones qui sont issus de l'hypothalamus libèrent des neurosécrétions dans la circulation générale (grâce à la vascularisation) : on parle alors de neuro-hormones.

Le contrôle indirect a lieu au niveau de l'adénohypophyse où d'autres neurones hypothalamiques libèrent des sécrétions régulatrices mais dans le système porte adénohypophysaire.

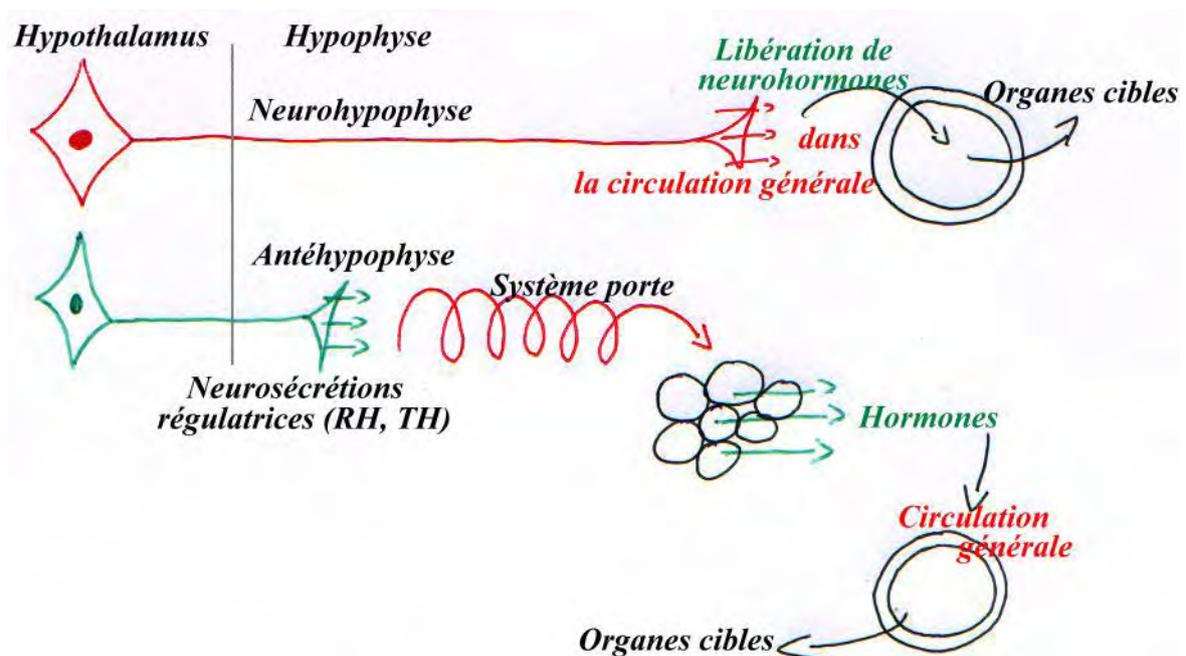
- RH : releasing hormone (=libérine)
- IN : inhibiting hormone (=inhibine).

Ces neurosécrétions libérées dans ce système contrôlent la synthèse et la libération de véritables hormones sécrétées par les cellules glandulaires de l'adénohypophyse.

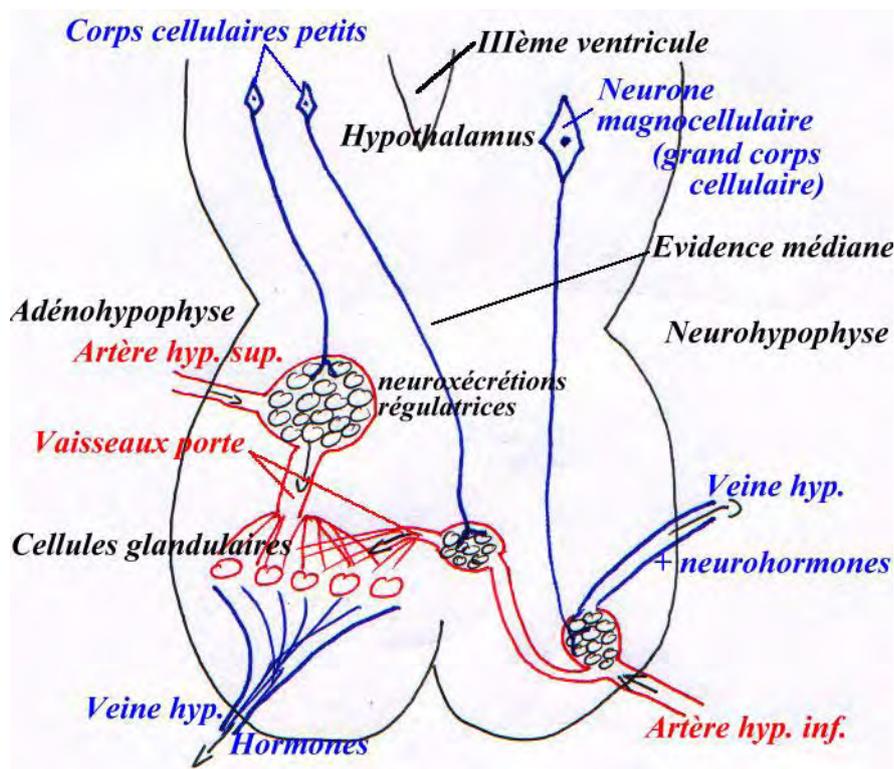
- C'est un système neuroendocrinien.

C\ Notions importantes en neuroendocrinologie.

Neurosécrétions : certaines cellules fonctionnent soit comme un neurone, soit comme des cellules endocriniennes (ex : neurones hypothalamiques). L'information électrique est transformée en information hormonale.



Système porte : un système porte est une liaison vasculaire particulière, constituée de vaisseaux situés entre deux systèmes capillaires. Dans l'adénohypophyse, il permet aux neurosécrétions d'atteindre rapidement les cellules glandulaires sans être dilués.



II\ La neurohypophyse.

A\ Les neurohormones neurohypophysaires.

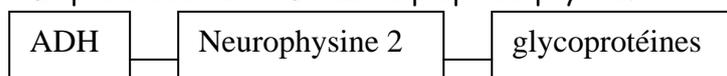
Il existe deux types de neurohormones neurohypophysaires :

- ADH : Hormone AntiDiurétique.
- L'OT : Ocytocine.

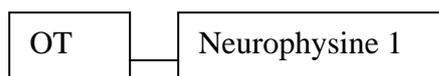
Ces deux hormones sont très proches chimiquement ; elles contiennent neuf acides aminés et diffèrent par deux d'entre eux.

Les précurseurs de ces hormones sont synthétisés dans des gros neurones, au niveau des noyaux para-ventriculaire et supra-optique.

Le précurseur de l'ADH est la proressophysine.



Le précurseur de l'OT :



Le clivage s'effectue dans les axones et les hormones sont libérées dans les terminaisons axoniques.

1\ Rôle de l'ADH.

L'ADH a deux organes cibles :

- Le rein : elle la réabsorption en eau en augmentant la perméabilité à l'eau au niveau des tubes collecteurs.
- Les vaisseaux : elle entraîne une vasoconstriction (resserrement des vaisseaux).

2\ Rôle de l'OT.

Elle a deux organes cibles :

- Les glandes mammaires où elle permet l'éjection du lait en autorisant la contraction des cellules myo-épithéliales de ces glandes.
- L'utérus : pendant l'accouchement, elle agit sur la contraction du muscle lisse de l'utérus (myomètre) pour expulser le bébé.

B\ Contrôle des sécrétions.

1\ L'ADH.

Le contrôle de l'ADH se fait directement sur l'hypothalamus grâce aux osmorécepteurs (sensibles à la pression osmotique) où une baisse de la pression osmotique entraîne une diminution de la sécrétion d'ADH pour compenser une diminution de cette pression osmotique. Le contrôle est aussi assuré par l'intermédiaire du système cardiovasculaire, où, des volorécepteurs (récepteurs à la volémie) enregistrent les changements de pression. Ils se situent au niveau des oreillettes et des gros troncs veineux.

Une hausse de la volémie entraîne une diminution d'ADH. Une diminution de volémie entraîne, elle, une augmentation de sécrétion d'ADH.

D'autres facteurs comme, la chaleur, les émotions, la nicotine, peuvent accroître la sécrétion d'ADH. Le froid et l'alcool entraînent, eux, une réduction de la libération d'ADH.

2\ L'ocytocine.

La régulation de l'ocytocine est prise en charge par deux réflexes :

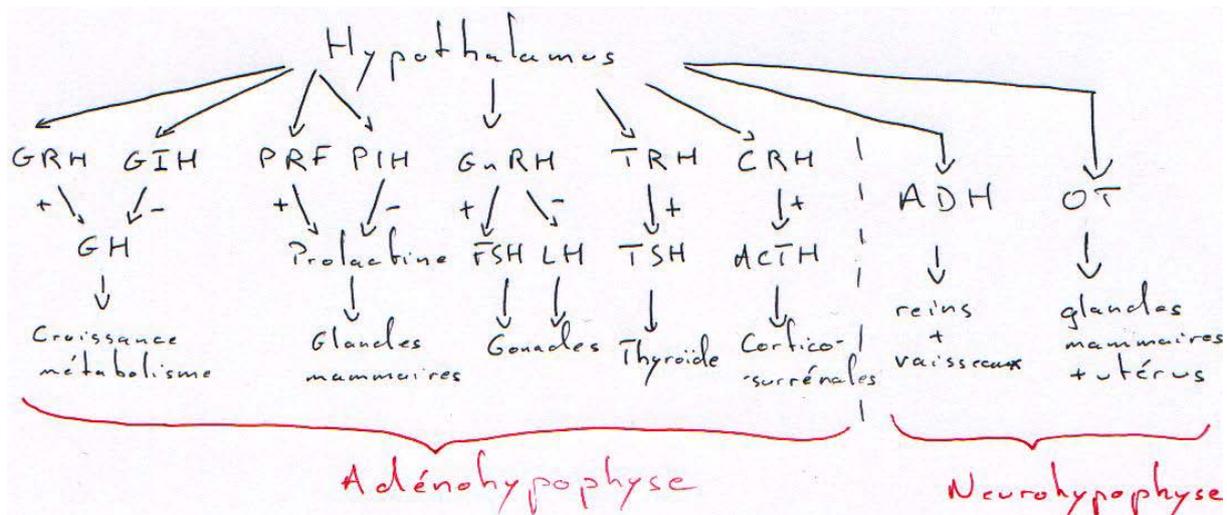
- réflexe d'éjection du lait : pendant la tétée, des mécanorécepteurs sont stimulés par afférence sensorielle (système nerveux central) → hypothalamus → ocytocine → circulation générale → glandes mammaires → éjection du lait.
- Réflexe de contraction de l'utérus : la dilatation du col utérin (stimulus) est enregistrée par des mécanorécepteurs → système nerveux central → hypothalamus → ocytocine → circulation générale → myomètre → augmentation des contractions utérines → expulsion du bébé.

III\ L'adénohypophyse.

Les hormones sont libérées par les cellules glandulaires de l'hypophyse. Ces hormones sont de type peptidique.

Ces neurohormones sont sécrétées au niveau des neurones parvo-cellulaires, dans les noyaux arqué, pré-optique, tubérolatéral, suprachiasmatique et para-ventriculaire (sert aux deux hypophyses).

Les neuropeptides régulent la sécrétion d'hormones.



A) L'hormone de croissance.

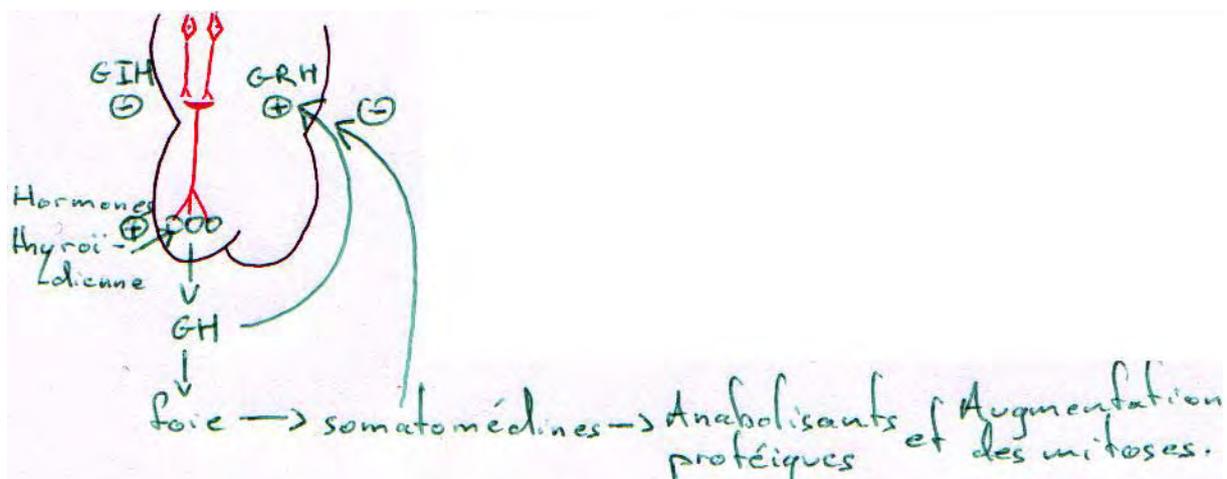
L'hormone de croissance (GH ou somatotrope STH) est une protéine. Elle agit sur la croissance, avant la soudure des cartilages de conjugaison. Elle accroît le nombre de mitoses osseuses et cartilagineuses. Un déficit en cette hormone provoque le nanisme. Un excès entraîne une acromégalie.

Cette hormone a une action sur le métabolisme glucidique : elle est hyperglycémiant. Elle a aussi une action lipolytique, et un effet anabolisant avec les protéines.

Les contrôles :

- inhibiteur : GIH (somatostatine et SRIF)
- activateur : GRH (somatocrinine ou somatolibérine)

Les glucocorticoïdes, les hormones thyroïdiennes, les hypoglycémie et une augmentation du taux d'acides aminés vont avoir un effet régulateur sur cette hormone.



Les traumatismes (douleurs, froid, sommeil, exercice et jeune) vont avoir un effet de contrôle.

B\ La prolactine (P ou PRL).

C'est une protéine qui a pour organe cible les glandes mammaires. Elle agit sur les cellules sécrétrices du lait en permettant leur multiplication.

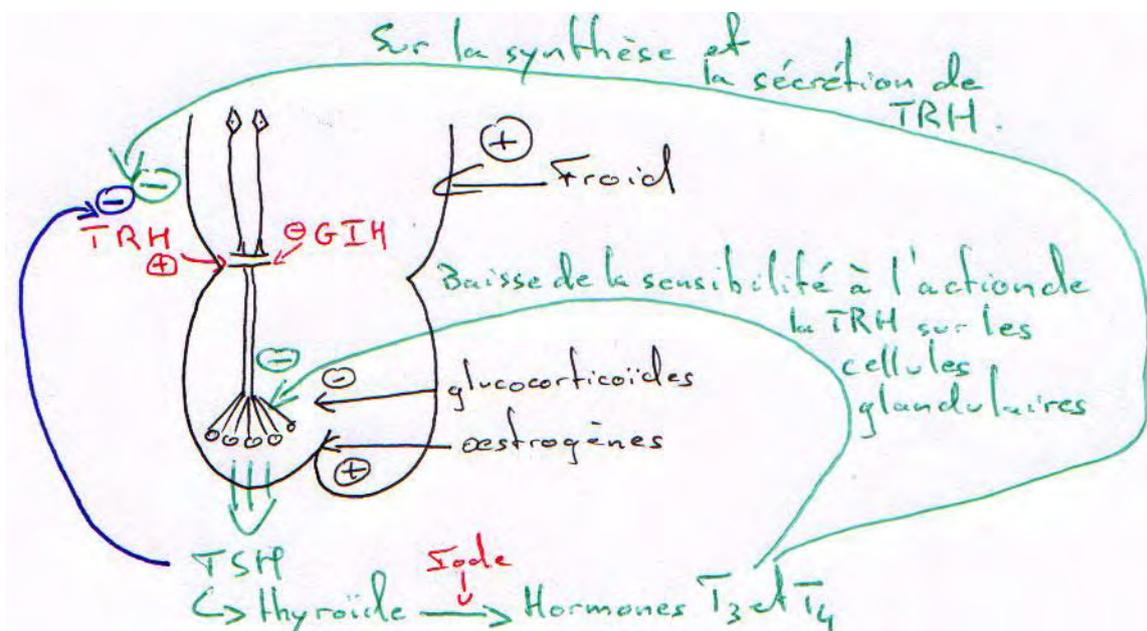
Elle favorise la synthèse des substances nutritives du lait :

- Activateurs (stimulants) : PRF, TRH, OT et deux réflexes (tétée et stimulation du col utérin).
- Inhibiteurs : PIH et dopamine.

C\ Les hormones gonadotrophes.

FSH, LH. Comme stimulant, on trouve le GnRH.

D\ La TSH (glycoprotéine).

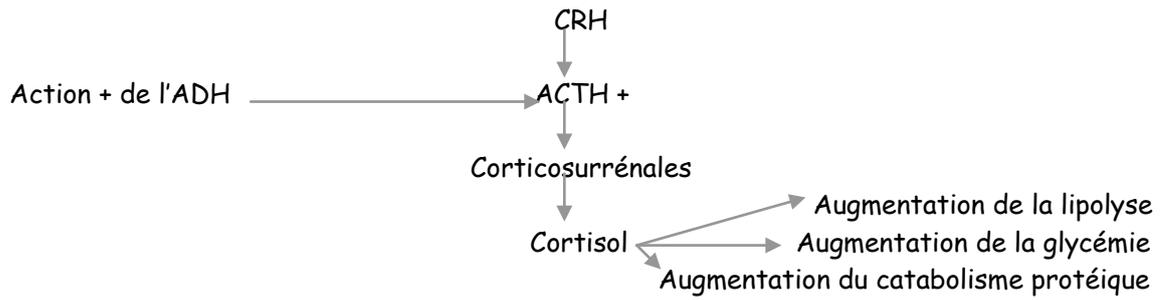


Les hormones T₃ et T₄ agissent sur les organes et tissus (sur le métabolisme cellulaire). Ces hormones augmentent la glycogénolyse (hépatique et musculaire), la lipolyse. Elles ont un effet anabolisant vis-à-vis des protéines. Elles permettent aussi une augmentation de la thermogénèse.

E\ L'ACTH (fonction corticotrope).

L'ACTH provoque la libération d'une substance hormonale (le cortisol) par les corticosurrénales, pendant le stress.





Pendant le stress, le système orthosympathique mis en place de suite, innerve la glande médullosurrénale qui va synthétiser de la noradrénaline et de l'adrénaline.

Le système limbique (qui régit les émotions) de certaines fonctions endocrines est bloqué par les émotions.

Absorption digestive.

I\ Introduction.

A\ Généralités.

- L'absorption a lieu tout au long du tube digestif.
 - Au niveau de la bouche, on a l'absorption perlinguale.
 - L'alcool passe dès l'estomac.
 - Au niveau de l'anus, il y a aussi absorption (suppositoires).
- L'absorption est faible : autour de 100 mg.

Au niveau intestinal, la quantité d'absorption digestive est de 1 kg. La digestion n'a de sens que si les nutriments peuvent être mis à la disposition des cellules de l'organisme grâce à un système d'absorption : la cellule intestinale. Le système de transport est composé par le sang et la lymphe.

B\ Dispositif absorbant.

L'intestin grêle a une longueur de 3 mètres et un diamètre de 4 cm. Ces dimensions donnent une surface de $0,35 \text{ m}^2$ (surface faible). Les valvules conniventes permettent de tripler la surface (1 m^2). Les villosités permettent de passer à 10 m^2 ($\times 10$) et les microvillosités font passer cette surface à 200 m^2 ($\times 20$). → Finalement, la surface d'échange est multipliée par 600.

Le sang chargé de nutriments remonte vers le foie (pour les glucides et protéides) par les capillaires puis les veinules et enfin par les veines : c'est un système porte (1L/min). Après un repas, le débit passe à deux litres par minute.

Les chylifères permettent le transport des lipides. Ils se jettent dans le canal thoracique, dans la sous-clavière puis dans la veine cave (sang). Le débit est de 2 à 3 mL par minute.

II\ Les glucides.

A\ Introduction.

Les glucides représentent entre 55 et 60% de notre apport énergétique quotidien.

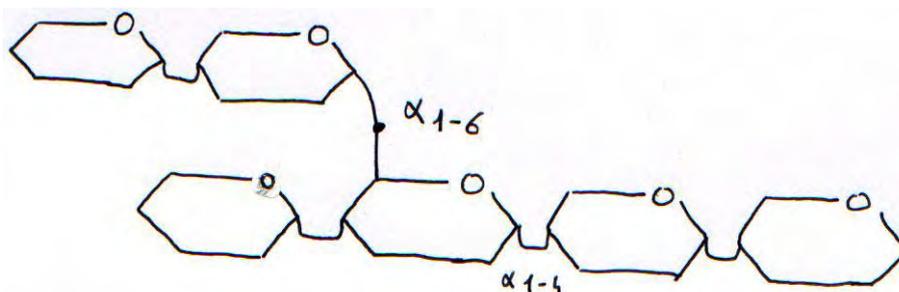
- Amidon : 50% des apports.
- Saccharose : 30%.
- Lactose et fructose : 20%.

Les polysaccharides complexes seront digérés par la cellulose.

B\ Digestion.

1\ Digestion intraluminale.

Cette partie de la digestion a lieu dans la lumière du tube digestif et permet l'hydrolyse des polysaccharides (amidon).

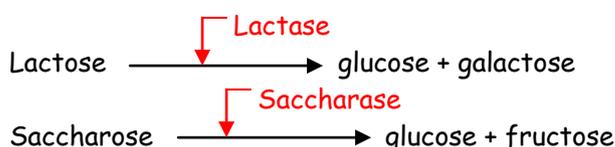


L'amylase est d'origine pancréatique et salivaire. Cette enzyme coupe les liaisons $\alpha 1 \rightarrow 4$.

La digestion par l'amylase donne :

- - maltose 40%
 - - maltotriose 25%
 - - oligosaccharides 5%
- } 70% de malto-oligo-saccharides.
- 30% de dextrine

2\ Digestion des oligo et disaccharides.



Ces enzymes sont sur les bordures des cellules épithéliales.

L' α -glucosidase donne la glucoamylase et l' α -dextrinase sucrase.

3\ Absorption.

On a deux systèmes de transport : transport transcellulaire (glucose galactose) et diffusion paracellulaire.

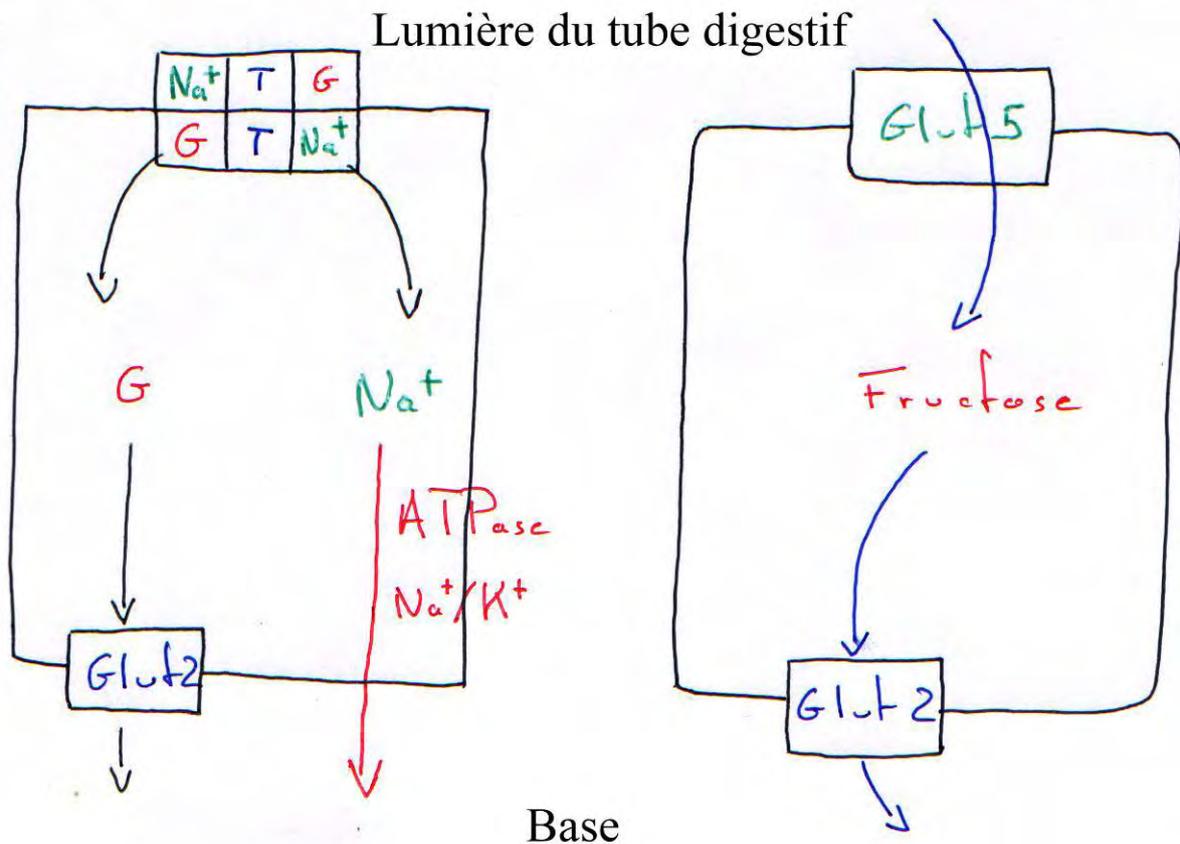
L'absorption du glucose et du galactose est réalisée par l'intermédiaire d'une combinaison ternaire ; monosaccharide, transporteur Na^+ , avec nécessité de fournir de l'énergie.

L'affinité du transporteur pour le sucre augmente avec la concentration en Na^+ . Quand cette concentration est grande (ce qui est le cas dans la lumière du tube digestif), le transporteur fixe intensément le sucre. Le complexe ternaire passe sur la phase cytosolique. Le milieu étant faible Na^+ , il y a libération de sodium. Le milieu en est ensuite appauvri grâce à une ATPase NaK qui consomme de l'énergie.

Le glucose intracellulaire sort de la cellule par diffusion facilitée grâce à un second transporteur (Glut 2).

Le cas du fructose.

Le transport facilité est indépendant de la concentration en sodium. Le transporteur sur la face apicale est le Glut 5, celui de la face basale est le Glut 2.



La diffusion paracellulaire prend en charge 20% des sucres. C'est une diffusion passive sans apport d'énergie. Le passage se fait selon le gradient de concentration.

D\ Le devenir des sucres.

Veine porte → Foie → glycogène.

Estomac → Duodénum → Jéjunum → Ilion → Colon

100% des sucres ont été absorbés

Les sucres qui n'auront pas été absorbés serviront de source d'énergie aux bactéries qui produisent des acides gras volatils et des gaz (H_2 , CO_2 , CH_4).

III\ Les protides.

A\ Introduction.

On trouve deux types de protides : les protides d'origine exogène et les protides d'origine endogène.

1\ Les protéines exogènes.

Elles représentent 10 à 15% de notre apport énergétique quotidien. On ingère 1g de protide par kg (de masse corporelle) et par jour.

Les protéines végétales sont moins bien digestibles que les protéines animales, du fait qu'elles sont engagées dans des polymères ligneux qui les protègent.

La cuisson des aliments entraîne une modification de leur structure.

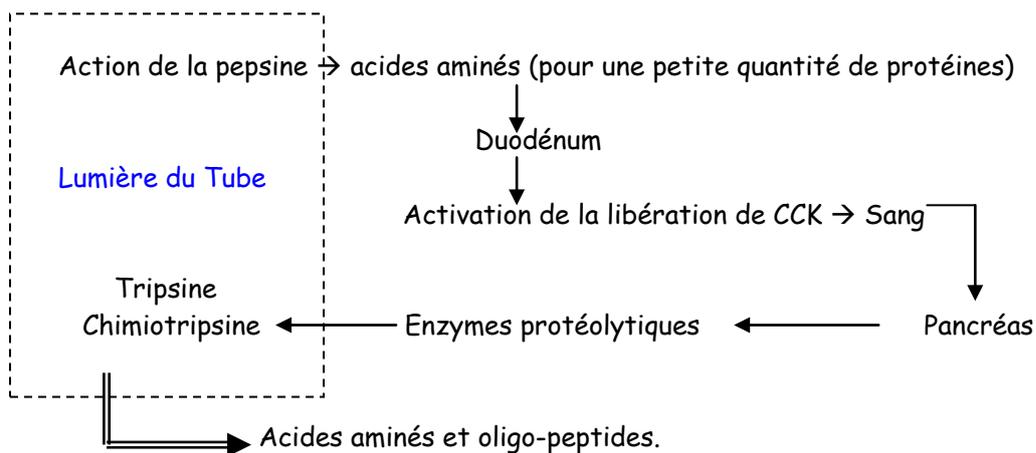
2\ Les protéines endogènes.

Ce sont les glycoprotéines enzymatiques (salivaire, gastrique, ...). On en absorbe 20 à 30g par jour. Les protéines de la bile représentent 10 g par jour et les cellules desquamées apportent 30g par jour de protides.

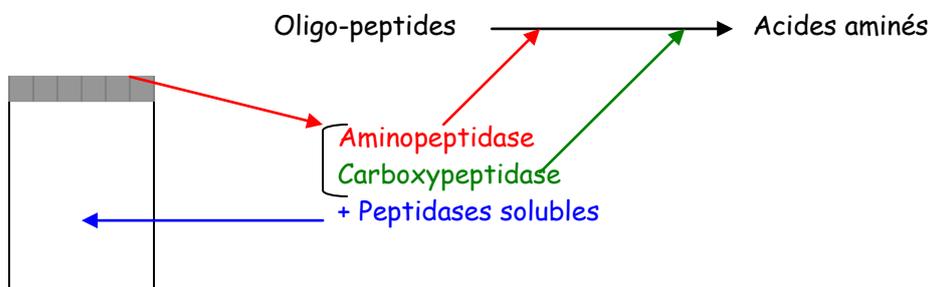
Avec un apport de 60g de protéines exogènes et 60g de protéines endogènes, un sujet de 60kg excrète entre 6 et 12g de protides. On a alors une absorption comprise entre 90 et 95%.

B\ Digestion.

1\ Digestion intraluminal.



2\ Digestion entérocytaire (au niveau des cellules intestinales).



C\ Absorption.

1\ Absorption des acides aminés.

Le transport des acides aminés se fait grâce à des transporteurs. Certains seront Na-dépendants, d'autres seront indépendants.

2\ Les oligo-peptides.

Les dipeptides et les tripeptides sont transportés à travers la membrane par mécanisme Na⁺ indépendant mais H⁺ dépendant, ce qui coûte de l'énergie (avec la pompe Na/K).

D\ Le devenir des acides aminés.

Ils passent au niveau du sang et vont au foie pour servir à la synthèse protéique ou pour être dirigé vers d'autres organes comme les muscles.

IV\ Les lipides.

A\ Introduction.

Il existe des lipides exogènes (30% de l'apport énergétique quotidien). 80 à 90% sont des triglycérides, 10 à 20% sont des phospholipides ou du cholestérol. On trouve aussi des vitamines liposolubles. Parmi les acides gras essentiels, on trouve l'acide linoléique et l'acide arachidonique.

Parmi les lipides endogènes, on trouve les lipides biliaries, les lipides provenant des cellules desquamées et des bactéries détruites.

Il n'y a pas de limite à l'absorption des glucides et des protéides. Les lipides, eux, en ont une. Quand la dose de lipides est supérieure à 300g/j, ils provoquent des stéatorrhées (diarrhées).

B\ Digestion.

1\ Généralités.

L'agitation mécanique et les sels biliaries réduisent la taille des grosses gouttelettes lipidiques. Cette première action permet une meilleure attaque de la lipase pancréatique. Les résidus de l'action de cette dernière enzyme sont des acides gras, des monoglycérides, des diglycérides et du glycérol.

Ensuite, les sels biliaries, les acides gras, les monoglycérides et les diglycérides forment des particules hydrosolubles : les micelles qui permettent de passer dans la phase aqueuse.

Les sels biliaries sont formés d'une molécule de cholestérol (non polaire), de plusieurs radicaux hydroxyles et d'une chaîne carbonée avec un radical carboxyle terminal. Le côté non-polaire du cycle stéroïde se dissout à la surface de la gouttelette lipidique non polaire et laisse la face polaire exposée à la surface. Comme les radicaux ionisés sont en surface, les petites gouttelettes ne peuvent pas se reformer en grosses gouttelettes.

2\ Digestion gastrique.

L'action de la lipase linguale permet la digestion lipidique en milieu acide, en l'absence de sels biliaires : elle permet l'hydrolyse de 10 à 30% des lipides au niveau stomacal.

3\ Digestion intestinale.

T6 → lipase.

PL → phospholipase A2.

Cholestérol → cholestérol estérase.

Même schéma que pour les protéines.

Dans le duodénum et le jéjunum, les sels biliaires sont ionisés car le pH est supérieur au pKa : l'absorption est impossible.

Dans l'iléon, le milieu est de moins en moins alcalin (le pH diminue) : les sels biliaires ne sont plus ionisés et pourront être absorbés. → C'est le cycle entérohépatique des sels biliaires (95% d'entre eux sont réabsorbés).