



## **Polycopié pédagogique**

**Cours**

# **Physiologie Animale**



**Destiné aux étudiants de : 2<sup>ème</sup> Année LMD**

**Filière : Sciences Agronomiques**

**Spécialité : Production Végétale**

**Nom : ABAIDIA**

**Prénom : Abdelghafour**

**Grade : Maître de Conférences « B »**

**Année universitaire : 2021/2022**

## **AVANT-PROPOS**

Le présent document poursuivi par l'enseignement de la physiologie animale en deuxième année est de permettre aux étudiants de découvrir et de comprendre les mécanismes permettant le fonctionnement de l'organisme vivant dans son milieu.

Il vise à colliger les renseignements actuellement disponibles sur l'organisme vivant est à la recherche permanente de l'homéostasie (constance), de son milieu intérieur (pH, pression, température, viscosité, ... etc.) constance indispensable à sa survie. Cette homéostasie est permise grâce à la régulation précise de certaines fonctions appelées grandes fonctions (respiration, circulation, digestion, excrétion, etc.) qui constituent l'ossature du module de physiologie animale.

Ce module a été subdivisé en deux parties, l'une ayant trait à la physiologie des Invertébrés, l'autre à celle des Vertébrés.

**Semestre:** 3<sup>ème</sup> Semestre

**UE :** Unité d'Enseignement Fondamentale 1

**Matière 2:** Physiologie Animale

### **Objectifs de l'enseignement**

Au terme de cet enseignement, les étudiants auront acquis les notions de base de physiologie animale et des stratégies utilisées dans le monde animal pour répondre aux contraintes physiques et chimiques de l'environnement.

**Connaissances préalables recommandées** (*descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement – Maximum 2 lignes*).

*L'étudiant doit avoir des connaissances sur la physiologie cellulaire.*

### **Contenu de la matière**

#### **1. Les Invertébrés.**

- 1.1. Appareil circulatoire et circulation de la l'hémolymphe.
- 1.2. Respiration chez les Invertébrés.
- 1.3. Nutrition chez les Invertébrés.
- 1.4. L'excrétion chez les Invertébrés.
- 1.5. Système nerveux des Invertébrés.

#### **2. Les Vertébrés**

- 2.1. Physiologie des glandes endocrines
- 2.2. Les compartiments liquidiens de l'organisme
- 2.3. La respiration
- 2.4. La circulation sanguine
- 2.5. L'Excrétion rénale
- 2.6. La digestion
- 2.7. La thermorégulation

### **Mode d'évaluation**

Examen semestriel

**Références** (*Livres et photocopiés, sites internet, etc*) :

**1- Lamb J.F., 1990-** Manuel de physiologie. Ed. Elsevier Masson, Paris, 480p.

**2- Chevalet P. et Richard D., 1999-**La notion de régulation en physiologie. Ed. Nathan, Paris, 128p.

**3- Couée I., Fontaine-Poitou L. et Guillaume V., 2010-** Biologie et physiologie cellulaires et moléculaires : Transmission des savoirs et préparation aux concours. Ed. De Boeck.

**4- Gilles R., 2006-**Physiologie animale. Ed. De Boeck.

# Sommaire

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>01</b>
--------------------------	-----------

## **PARTIE I : Physiologie des Invertébrés**

<b>I.1. Appareil circulatoire et circulation de la l'hémolymphe .....</b>	<b>02</b>
I.1.1. Anatomie .....	05
I.1.1.1. Vaisseau dorsal .....	05
I.1.1.2. Diaphragmes et cœurs accessoires.....	05
I.1.1.3. Cellules péricardiales.....	06
I.1.2. L'hémolymphe.....	07
I.1.2.1. Composition chimique du plasma.....	07
I.1.2.2. Hémocytes.....	08
I.1.3. Circulation de l'hémolymphe .....	09
<b>I.2. Physiologie de la respiration chez les invertébrés .....</b>	<b>11</b>
I.2.1. Anatomie fonctionnelle du système respiratoire .....	11
I.2.2. Mécanique de la respiration.....	11
<b>I.3. Physiologie de la nutrition chez les Invertébrés. ....</b>	<b>12</b>
<b>I.4. Physiologie de L'excrétion chez les Invertébrés .....</b>	<b>13</b>
<b>I.5. Système nerveux des invertébrés.....</b>	<b>15</b>

## **PARTIE II : Physiologie des Vertébrés**

<b>II.1. Physiologie des glandes endocrines .....</b>	<b>17</b>
II.1.1. Définition d'une hormone .....	17
II.1.2. Fonctions du système endocrinien .....	17
II.1.3. Mode d'action des hormones.....	18
II.1.4. Biosynthèse, sécrétion et activation des hormones.....	19
II.1.5. Elimination et inactivation des hormones.....	20
II.1.6. Régulation des hormones.....	20
II.1.7. Rythmes endocriniens.....	20
II.1.8. Les principales glandes endocrines et leurs hormones.....	21
<b>II.2. Les compartiments liquidiens de l'organisme .....</b>	<b>25</b>
II.2.1. Définition des compartiments liquidiens.....	25
II.2.2. Composition biochimique des compartiments liquidiens .....	26
II.2.3. Les échange entre compartiments.....	27

II.2.4. Rôle du milieu intérieur.....	28
<b>II.3. Physiologie de la Respiration .....</b>	<b>31</b>
II.3.1. Anatomie fonctionnelle du système respiratoire .....	31
II.3.1.1. Les poumons .....	31
II.3.1.2. Les voies aériennes .....	31
II.3.1.3. La cage thoracique.....	31
II.3.2. Mécanique de la respiration.....	32
II.3.3. Quantification de la respiration.....	32
II.3.4. La ventilation pulmonaire.....	32
II.3.5. Échange de gaz dans les poumons.....	34
<b>II.4. Physiologie de la Circulation sanguine.....</b>	<b>35</b>
II.4.1. Le système circulatoire.....	36
II.4.2. La physiologie du cœur.....	38
<b>II.5. Physiologie de la Digestion .....</b>	<b>41</b>
II.5.1. Anatomie .....	41
II.5.2. Physiologie de la Digestion .....	42
II.5.3. La digestion des aliments .....	46
II.5.3.1. Digestion des glucides .....	46
II.5.3.2. Digestion des protéines .....	47
II.5.3.3. Digestion des lipides .....	47
<b>II.6. Physiologie de L'excrétion.....</b>	<b>48</b>
II.6.1. Anatomie de l'appareil urinaire.....	48
II.6.1.1. Les reins .....	48
II.6.1.2. Les voies urinaires.....	49
II.6.2. Fonctionnement de l'appareil urinaire .....	49
<b>II.7. La Thermorégulation .....</b>	<b>51</b>
II.7.1. Définition de la thermorégulation .....	51
II.7.2. Facteurs régulateurs de l'équilibre thermique.....	51
II.7.2.1. Production de chaleur : La thermogénèse.....	51
II.7.2.2. Pertes de chaleur : La thermolyse.....	52
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>54</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	

## Introduction

**La physiologie** est l'étude du fonctionnement des êtres vivants : comment il se maintient en vie, comment il survit à son environnement, pourquoi il possède tel fonctionnement, quels sont ses sens, comment les fonctions sont régulées ... à Le but d'un organisme est de pérenniser son espèce.

Les êtres vivants pluricellulaires ou métazoaires sont constitués de divers tissus, appareils, organes qui ont besoin de communiquer entre eux et le milieu environnemental. La communication est cruciale pour la vie de ces très pluricellulaires.

**L'anatomie** est étroitement liée aux fonctions biologiques d'un organisme, ainsi son étude est essentielle en physiologie. Pour beaucoup d'organismes, les modes de fonctionnement sont semblables, ainsi on peut établir des règles générales.

**Les organismes** ne peuvent survivre que dans certaines conditions environnementales. La plupart des organismes ont besoin d'aliments, d'oxygène, d'eau, une température permettant les réactions métaboliques et sous une pression acceptable.

Les animaux trouvent la plupart de leur énergie dans l'oxydation des nutriments. La quantité d'oxygène absorbée peut permettre des mesures du métabolisme. Certains organismes peuvent fabriquer de l'énergie sans oxygène ; c'est le métabolisme anaérobie. Cependant, comme presque tous les êtres vivants, l'énergie qu'ils fabriquent est sous forme d'ATP.

La vie animale ne peut exister que dans une gamme étroite de température. Il existe des animaux ectothermes qui libèrent peu de chaleur, et d'autres endothermes qui libèrent de la chaleur.

Ce document destiné aux étudiants de deuxième année LMD Sciences Agronomiques, se veut le plus simple possible, donner toutes les informations relatives et nécessaires pour une formation en sciences agronomiques de qualité.

## Partie I : Physiologie des Invertébrés

Les invertébrés regroupent tous les animaux qui n'ont pas de squelette d'os ou de cartilage. De ces animaux, les macros invertébrées sont ceux visibles à l'oeil nu. Les macros invertébrées benthiques vivent au fond des ruisseaux, rivières, lacs ou marais. Ce sont principalement des vers, des crustacés, des mollusques et des insectes. (MOISAN, 2010).

### I.1. Appareil circulatoire et circulation de la l'hémolymphe

En biologie, un système circulatoire est un système d'organes en circuit permettant le déplacement de fluides dans un organisme.

Le système circulatoire a pour rôle d'assurer le transport et l'échange interne des ressources (notamment les nutriments et le dioxygène) vers les cellules de l'organisme ainsi que de se charger de la collecte des déchets, par exemple du dioxyde de carbone.

L'expression « système circulatoire » est très souvent utilisée pour définir le système de la circulation sanguine, mais il existe aussi un système circulatoire de la sève chez les végétaux, ou encore un système circulatoire de l'hémolymphe chez les insectes.

Chez les Invertébrés, la circulation est ouverte : (sauf Annélides et Céphalopodes). On peut voir un cœur qui pompe l'hémolymphe et la déverse via une artère (entre endoderme et mésoderme), le volume de cette cavité peut représenter jusqu'à 40%, système circulatoire à basse pression.

Les Animaux ayant ce type n'ont pas la possibilité ou alors très réduite de modifier le sens de déplacement et de la vitesse de celle-ci. Répartition aléatoire normalement mais la petite taille des espèces peut permettre de dire que celle-ci est homogène.

Les abeilles sont des organismes complexes qui possèdent un système circulatoire (système ouvert dont l'hémolymphe est l'équivalent de notre sang), le système nerveux (siège de l'intégration des signaux des cinq sens), le système respiratoire (assurant les échanges gazeux) et le système digestif (permettant l'assimilation des aliments) (CLEMENT, 2015).

L'absence de système clos n'empêche pas d'avoir une activité métabolique importante.

Le système circulatoire va poser des limites notamment pour la locomotion qui est en général assez modérée.



---

**Le mode de respiration va modifier l'évolution de la circulation. Il en existe 3 types**

- ❖ Espèces à respiration tégumentaire
- ❖ Espèces à respiration branchiale ou pulmonaire
- ❖ Espèces à respiration trachéale

**Espèces à respiration tégumentaire**

Le système circulatoire est assez rudimentaire et le sens de circulation de l'hémolymphe est dépendant du mouvement de l'animal. Pas de gros vaisseaux, pas de cœur.

**Deux mécanismes principaux d'évolution**

- ❖ **Apparition d'un cœur primaire assurant la propulsion de l'hémolymphe.**  
L'activité de ce cœur primaire est limitée et l'on a l'apparition alors de cœurs accessoires qui l'aident.
- ❖ **Canalisation de l'hémolymphe** : dirige mieux vers tel ou tel partie du corps et cette canalisation est un réarrangement des lacunes.

Constitution de canaux transportant l'hémolymphe. La canalisation de l'hémolymphe débute à partir du cœur apparition d'une ou 2 artères.

**La canalisation à partir du cœur apparaît chez les espèces « plus évolués ».** Celle-ci complexifie la canalisation de l'hémolymphe. Le sens de circulation est précis, circuit particulier qui se développe et permet un retour plus rapide vers le cœur.

**Espèces à respiration trachéale** : (Myriapodes, Arachnides, Insectes)

L'apport direct des gaz par les réseaux trachéens ne fait pas avoir un rôle important de **l'hémolymphe qui se contente de transporter les nutriments.**

**Espèces à respiration branchiale ou pulmonaire:**

**Évolution de la structure du cœur chez les Vertébrés** : le cœur apparaît sous forme d'un tube relativement simple enveloppé dans le péricarde et prolongé par l'aorte ventrale.

Puis au cours de l'évolution embryonnaire, on a un changement du cœur pour aboutir à la formation de 4 cavités :

- **Le sinus veineux** (peu de fibres musculaires)
- **L'atrium** cavité plus volumineuse
- **Le ventricule** paroi épaisse (véritable partie)
- **Le bulbe cardiaque** (cône artérielle)

### A) Les Crustacés

**L'appareil circulatoire est un ensemble de conduits sans cœur chez ceux de petites tailles.** Les crustacés décapodes ont à l'apparition d'un cœur cas de l'écrevisse.

**Le système est ouvert.** Situation plus complexe que chez les Annélides. Un cœur d'où part 1 ou 2 vaisseaux, circulation de l'hémolymphe puis retourne vers le cœur via les conduits. **Le cœur est dit ostial car il possède plusieurs orifices** (ostioles) qui permettent son remplissage.

### B) Les Mollusques

Le cœur présent un nombre d'atrium variable mais contient un seul ventricule.

**Les Céphalopodes : La circulation est fermée. On parle de sang.** On suppose que les céphalopodes représentent les espèces les plus « évoluées ». 2 oreillettes, 1 ventricule. Cœurs branchiaux bien développés. **Les sinus ont disparu**, développement d'un **réseau de capillaire**, contrôle de la distribution de sang quantitativement. Dans le cas des Céphalopodes, le **cœur est composé de fibres musculaires striées** alors qu'il est composé de lisses chez les autres mollusques.

**Les Annélides : Système fermé**, organisation métamérique. 1 vaisseau ventral et un dorsal relié par des cœurs latéraux sur chaque côté des métamères près des cloisons. Le sang est au niveau dorsal et les contractions du corps entraînent la contractions des cœurs dorsaux et facilite le retour du sang vers le vaisseau ventral. La pression augmente et les pics de pression ont une valeur de moitié plus que celle existante au niveau dorsal. **Celui ventral ne se contracte pas.** L'augmentation de sa pression vient de l'apport de sang. **Mouvement donc passif qui fait circuler le sang dans les vaisseaux ventraux.**

L'appareil circulatoire des Insectes, très proche de celui des autres Arthropodes est largement ouvert. Un seul vaisseau bien défini, le vaisseau dorsal (auquel s'ajoutent toutefois des vaisseaux segmentaires chez les Dictyoptères) est présent; la circulation de l'hémolymphe s'effectue donc en grande partie dans la cavité corporelle ou hémocoèle. Les tissus et organes ne sont ainsi séparés de l'hémolymphe que par leur gaines conjonctives. Dépourvu de pigments respiratoires, le sang n'intervient guère dans la respiration; l'oxygène est amené aux cellules par le système trachéen.

Le rôle essentiel de l'hémocoèle est la distribution des métabolites, le transport des hormones. L'hémolymphe par ses hémocytes a pour fonction de débarrasser l'organisme des microorganismes, des parasites et particules solides. L'eau qu'elle contient peut être utilisée par les tissus en cas de dessiccation prolongée.

### **I.1.1. Anatomie**

L'hémolymphe circule dans le vaisseau dorsal grâce aux contractions du myocarde, avant de se répandre dans la cavité générale. Des adaptations anatomiques, diaphragmes et cœurs accessoires facilitent et règlent l'écoulement de l'hémolymphe qui, après avoir baigné les organes, doit retourner vers le cœur.

#### **I.1.1.1. Vaisseau dorsal**

Le vaisseau dorsal, l'organe le plus important sinon le seul responsable de la circulation sanguine court médio-dorsalement juste sous les tergites sur presque toute la longueur du corps. Il est généralement maintenu en place par des filaments suspenseurs attachés aux tergites et par le diaphragme dorsal. Le vaisseau dorsal peut être un simple tube comme chez les larves de Moustiques ou un organe plus différencié comme chez l'Abeille, il se divise en deux régions: à l'arrière, le cœur caractérisé par la présence d'ostioles et à l'avant, l'aorte toujours ouvert à son extrémité.

#### **I.1.1.2. Diaphragmes et cœurs accessoires**

La circulation du sang à l'intérieur de l'hémocoèle est contrôlée par la présence de diaphragmes bien développés dans l'abdomen. Ceux-ci consistent en une lame de cellules très aplaties entre deux couches extracellulaires épaisses de matériel fibreux.

Le diaphragme dorsal situé juste sous le cœur et le plus souvent soudé à lui, s'étend horizontalement et s'attache latéralement aux tergites. Il délimite un sinus péricardial. Il supporte des muscles aliformes disposés en éventail. Ces muscles d'origine tergale, se fixent au cœur ou se rejoignent médianement. Les fibres musculaires sont très longues, étroites et

ramifiées, avec de longs sarcomères. Certaines des fibres sont en connexion avec le myocarde par des disques intercalaires, ce qui indique une solidarité fonctionnelle.

Le diaphragme dorsal est souvent fenestré de telle sorte que le sinus péricardial communique plus ou moins largement avec le sinus périviscéral. Chez divers Insectes (Odonates, Orthoptères, Hyménoptères, Neuroptères, imagos de Mécoptères et Diptères inférieurs), un diaphragme ventral de même structure que le diaphragme dorsal passe au-dessus de la chaîne nerveuse ventrale et délimite un sinus périneural.

Des septums longitudinaux existent dans les pattes. Des structures pulsatiles indépendantes du cœur ont été décrites chez de très nombreux Insectes. Ce sont des vésicules percées parfois d'orifices latéraux dont le rôle est le même que celui des ostioles cardiaques. Le rythme de leurs contractions est indépendant du rythme cardiaque.

Ces cœurs accessoires facilitent la circulation du sang à l'intérieur des appendices et des ailes. De nombreux Insectes présentent des cœurs accessoires antennaires d'où part un vaisseau en direction de l'antenne. Des organes pulsatiles interviennent dans la circulation de l'hémolymphe à l'intérieur des pattes chez les Hémiptères, Diptères et Odonates. Des cœurs accessoires méso- et méta- tergaux maintiennent la circulation générale de l'hémolymphe dans le thorax et dans les ailes.

Des organes pulsatiles peuvent exister soit à la base des ailes, Soit à l'intérieur des nervures.

### **I.1.1.3. Cellules péricardiales**

Les cellules péricardiales, d'origine mésodermique sont généralement dispersées le long du vaisseau dorsal, sur le diaphragme dorsal ou sur les muscles aliformes. Elles sont logées dans le tissu adipeux chez les larves d'Odonates, sont groupées en guirlande chez les larves de Diptères.

Contrairement aux hémocytes, elles n'entrent jamais dans la circulation sanguine.

Les cellules péricardiales sont de grande taille, riches en vacuoles et en granules opaques. Leur membrane plasmique s'invagine et réalise un véritable réseau de canalicules.

Des jonctions du type desmosome relient les surfaces de deux cellules adjacentes. La fonction exacte des cellules péricardiales n'est pas réellement connue. Pouvant accumuler certains colorants comme le carminate d'ammonium, ces cellules ont été longtemps considérées comme ayant un rôle excréteur et donc comme des néphrocytes.

### **I.1.2. L'hémolymphe**

C'est le « sang » des insectes (et des arthropodes). L'hémolymphe a pour rôles d'apporter les nutriments aux organes qu'elle irrigue, d'emporter les déchets du métabolisme (qui sont évacués notamment via les tubes de Malpighi, d'assurer l'élimination des pathogènes et des intrus (immunité), de maintenir la turgescence des organes mous, de réparer l'étanchéité du tégument (cicatrisation) et de véhiculer les différentes hormones intervenant dans le développement et la reproduction, notamment. Elle assure l'homéostasie, c'est-à-dire le maintien de conditions constantes de pH et de la concentration en ions organiques, en acides aminés, en protéines, en acides nucléiques, en sucres et en lipides. Elle sert aussi de fluide thermique et, dans certains cas, joue des rôles bien particuliers.

Chez les insectes, elle ne joue pas de rôle respiratoire (sauf exceptions comme les larves de Diptères, vers rouges) et ne comporte pas de cellules analogues aux hématies des vertébrés. C'est un liquide clair à base d'eau qui n'a en général pas de couleur particulière mais peut être coloré ; dans ce cas, il donne sa couleur aux larves à tégument transparent. Les larves, possèdent souvent plus d'hémolymphe que les imagos celle-ci fait la moitié du poids d'un criquet.

#### **I.1.2.1. Composition chimique du plasma**

Le plasma présente tout un ensemble de particularités biochimiques encore peu marquées chez les Aptérygotes et les Paléoptères (Odonates et Ephéméroptères) mais qui se sont accusées au cours de l'évolution et sont particulièrement évidentes chez les larves de certains Coléoptères, celles des Lépidoptères et des Hyménoptères.

La pression osmotique chez les Insectes est généralement assez élevée et correspond à un abaissement cryoscopique de  $-0,5\text{ °C}$  à  $-1,1\text{ °C}$ . Généralement les Insectes sont capables de régler la pression osmotique de l'hémolymphe si bien que celle-ci reste constante même pendant la déshydratation ou la réhydratation de l'animal. Les variations souvent importantes de la pression osmotique au cours du développement postembryonnaire sont certainement à mettre en relation avec les modifications du métabolisme. Lors de l'hibernation de certains Insectes, une accumulation de glycérol provoque une forte élévation de la pression osmotique.

L'une des particularités de l'hémolymphe des Insectes concerne les effecteurs osmolaires. Dans la plupart des phylums, la pression osmotique des liquides corporels est assurée par des constituants inorganiques, avec prédominance des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . Cet état se trouve encore chez les Aptérygotes et chez la plupart des Exoptérygotes.

Mais chez les Endoptérygotes, les effecteurs osmotiques inorganiques tendent à être remplacés par des molécules organiques et la composition en cations devient très particulière. Chez les Mégaloptères, Neuroptères, Mécoptères et Diptères, l'ion  $\text{Na}^+$  reste encore le principal cation mais le taux en  $\text{Cl}^-$  est faible et cet anion est remplacé partiellement par des acides aminés et autres molécules organiques de petite taille.

L'importance des cations et des ions  $\text{Cl}^-$  déjà plus réduite chez les Trichoptères devient minime chez les Lépidoptères, Hyménoptères et nombreux Coléoptères du moins aux stades larvaires, et désormais ce sont des molécules organiques, en particulier des acides aminés libres qui ont le rôle principal comme effecteur osmotique. En même temps, on note une évolution dans les proportions relatives des cations. Chez les Aptérygotes et les Paléoptères, la teneur en sodium est élevée par rapport à celle du potassium, calcium et magnésium.

Chez les Lépidoptères et de nombreux Coléoptères à l'état larvaire, les ions  $\text{Na}^+$  sont en faible quantité et sont remplacés par les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ . Lors de la métamorphose, cette composition ionique spécialisée peut persister ou redevenir plus banale avec un retour à la prédominance du sodium.

#### **I.1.2.2. Hémocytes**

Les hémocytes des Insectes sont des cellules nucléées, Ils peuvent circuler avec le plasma, pénétrant dans les cavités corporelles et selon les cas, se déplaçant ou non à l'intérieur du cœur. Mais une partie plus ou moins importante des hémocytes reste immobile, adhérant de façon lâche à la surface des tissus et des organes.

Les hémocytes sont d'origine mésodermique et chez de nombreux Insectes, les diverses catégories hémocytaires sont déjà différenciées avant l'éclosion. De nombreux types hémocytaires ont été décrits avec des divergences notables selon les espèces étudiées et selon les auteurs, aussi une classification se révèle-t-elle ardue, d'autant plus qu'il faut tenir compte des variations morphologiques prises par les cellules selon les conditions d'observation.

Néanmoins, on peut considérer qu'il existe chez les Insectes trois types bien définis: les pro-hémocytes, les plasmotocytes et les granulocytes auxquels s'ajoutent selon les espèces un ou plusieurs types hémocytaires spécialisés. Les pro-hémocytes (ou proleucocytes) sont considérés comme des cellules souches circulantes car on les observe assez fréquemment en mitose. De petite taille, avec un grand noyau, ils ont d'ailleurs un aspect peu différencié: cytoplasme riche en ribosomes libres, réticulum endoplasmique peu développé,

mitochondries petites et peu nombreuses.

Les plasmatoctes sont très polymorphes, mais ils sont caractérisés par leur grand noyau rond ou ovoïde au centre d'un cytoplasme finement granuleux et basophile. Celui-ci est riche en ribosomes et en réticulum ergastoplasmique; les mitochondries y sont nombreuses et bien développées. Les plasmatoctes apparaissent comme des prohémoctes ayant acquis une certaine quantité de cytoplasme; d'ailleurs des formes de transition entre ces deux types sont assez fréquentes.

Les plasmatoctes sont activement amoeboïdes et sont doués de phagocytose. Les granulocytes sont des cellules compactes, polymorphes avec un noyau relativement petit dans un cytoplasme abondant qui renferme de nombreux granules remarquables. En microscopie électronique ces granules apparaissent comme des corps denses, limités par une membrane. Les granulocytes ne sont pas capables de phagocytose; ils interviendraient dans le métabolisme intermédiaire.

### **1.1.3. Circulation de l'hémolymphe**

La pression de l'hémolymphe est en général relativement peu élevée dans l'hémocoel. Chez les Insectes à cuticule rigide, elle correspond approximativement à la pression atmosphérique. Mais lorsque la cuticule est peu sclérotinisée, la contraction des muscles de la paroi du corps peut faire élever notablement la pression interne; chez les Odonates, à l'émergence, celle-ci peut atteindre 75 mm d'eau, assurant ainsi l'expansion des ailes.

La ventilation lors de la respiration peut entraîner également des variations appréciables de la pression. Le sang est aspiré par le cœur à travers les ostioles latéraux pendant la diastole car la pression cardiaque est alors moindre que celle de l'hémocoel. Le sang est ensuite propulsé vers l'avant par les ondes de contraction et ressort à l'extrémité antérieure de l'aorte (et éventuellement également au niveau des ostioles ventraux ou des vaisseaux segmentaires). Une partie du sang est ensuite pompée par les organes pulsatiles. Vers les antennes, le reste s'écoule vers l'arrière de l'animal, selon le gradient de pression: la sortie de l'hémolymphe par l'aorte entraîne une élévation de la pression dans la tête.

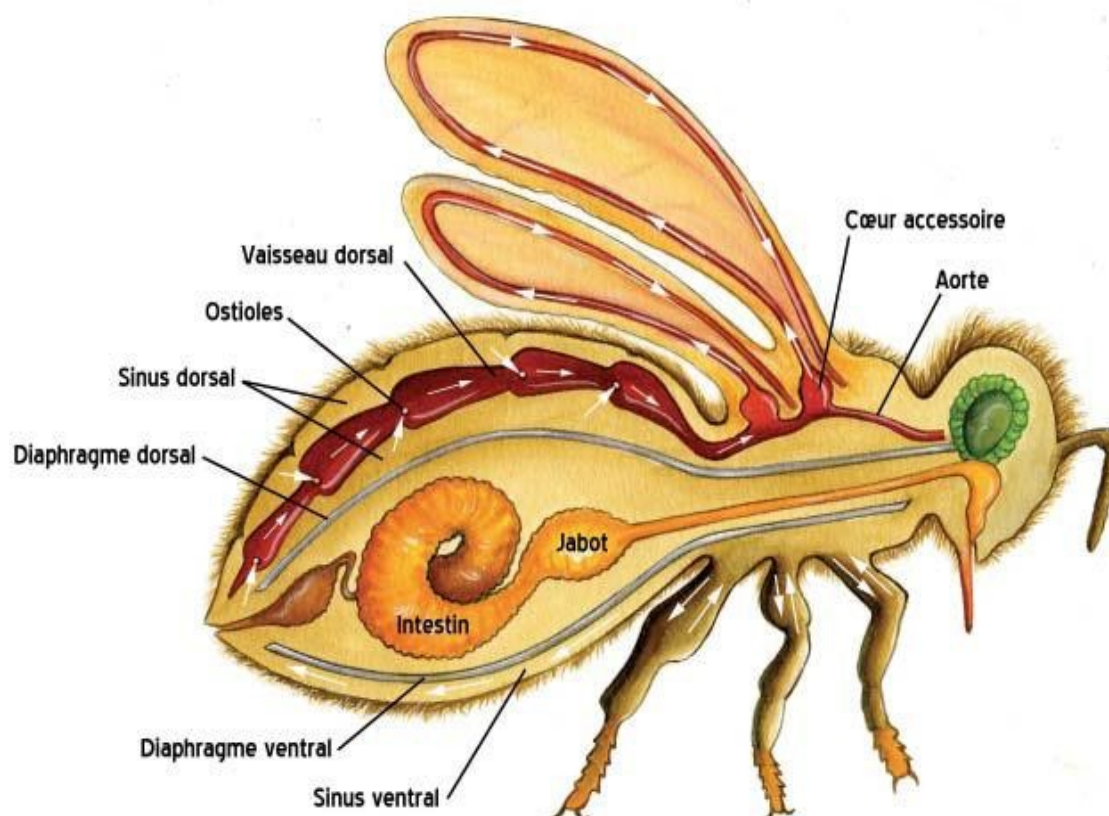
Chez de nombreux Insectes, la circulation du sang entre les muscles du vol dont le métabolisme est intense, est assurée par les organes pulsatiles méso- et méta-tergaux. La circulation du sang dans les ailes est bien définie: le sang entre par les nervures antérieures et sort par les nervures postérieures, des organes pulsatiles situés à la base des ailes aspirant l'hémolymphe.



De même, la circulation dans les pattes peut être facilitée par des organes pulsatiles, elle est également aidée par les mouvements des pattes. Elle est dirigée par la présence d'un septum longitudinal qui sépare la cavité en deux chenaux, l'un postérieur par où rentre le sang, l'autre antérieur pour l'écoulement vers le sinus périspinal.

Le flux de l'hémolymphe vers l'arrière dans l'abdomen est vraisemblablement facilité par les mouvements ondulatoires du diaphragme ventral, par les mouvements du tube digestif, par les mouvements respiratoires.

Cela assure une bonne irrigation autour de la chaîne nerveuse. Lors de la contraction des muscles aliformes, le diaphragme dorsal habituellement convexe s'aplatit, le volume du sinus péricardial augmente donc aux dépens du sinus périspinal si bien que le sang repasse dans le sinus péricardial pour être aspiré à nouveau par le cœur en diastole. La circulation de l'hémolymphe à travers le cœur, suivie à l'aide de fluorescéine se ferait en 3 à 6 mn chez les formes juvéniles et les imagos de *Pteronotus paraguayensis*.



**Figure 1.** Schéma simplifié du système circulatoire chez un insecte



## I.2. Physiologie de la respiration chez les invertébrés

Le système respiratoire des insectes est très particulier. En effet, il n'existe ni poumons ni globules rouges pour transporter l'oxygène et le dioxyde de carbone.

Le système respiratoire est formé de trachées qui s'ouvrent sur l'extérieur par des stigmates. Les troncs trachéens qui débouchent sur les stigmates se ramifient souvent en trois trachées (dorsale, viscérale, ventrale) de plus en plus étroites qui apportent l'oxygène au niveau cellulaire.

### I.2.1. Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

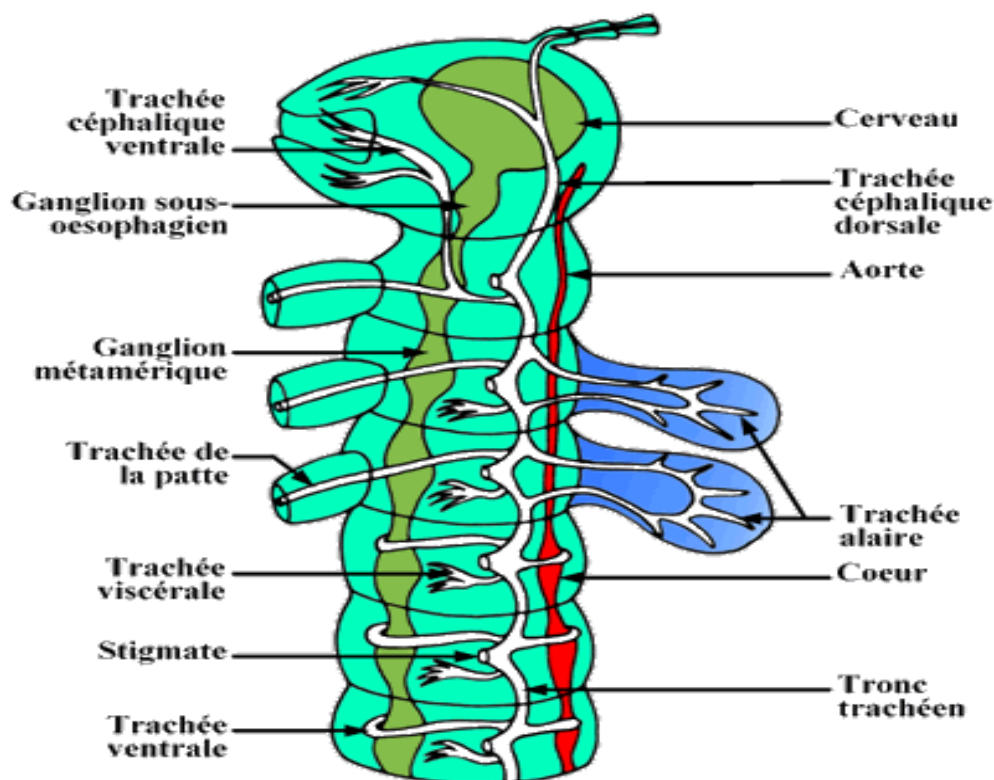


Figure 2. Système respiratoire chez les insectes (d'après J-P. Grillo)

### I.2.2. Mécanique de la respiration

La ventilation met en jeu les contractions des muscles de l'abdomen et du thorax.

Chez le criquet *Chistocerca sp*, la ventilation trachéolaire se déroule de la manière suivante : L'insecte inspire pendant 1/4 de seconde par les stigmates thoraciques et abdominaux 1 et 2. Les stigmates 3 à 8 sont fermés. Puis, il dilate son abdomen et ferme les stigmates qui ont permis l'inspiration.

Il se déroule alors une phase de compression d'une seconde où la pression interne augmente par suite des contractions musculaires. Finalement, il y a une expiration passive pendant une seconde par les stigmates 3 à 8. Au repos, ce criquet consomme 40 ml d'air par g et par h au repos et 500 ml en vol. Chez les abeilles, la consommation en vol atteint 400 fois celle au repos.

### **I.3. Physiologie de la nutrition chez les Invertébrés**

**Chez les Invertébrés**, sont en général simplement constitués par un parenchyme qui se nourrit par absorption des fluides ambiants; en d'autres termes, ils se nourrissent comme les végétaux; il en est de même de certains animaux parasites (Cestodes, Acanthocéphales, etc.). Le plus souvent, chez les Protozoaires, la masse gélatineuse qui les forme se creuse pour loger l'aliment, puis la cavité disparaît et l'excrément est rejeté cependant, chez la plupart, on distingue déjà une bouche et un anus.

Le système digestif occupe une grande partie de l'abdomen de l'abeille et s'étend dans la tête et le thorax par l'oesophage et les glandes annexes (hypopharyngiennes, thoraciques et labiales). L'abdomen est divisé en six segments tégumentaires nommés tergites en position dorsale et sternites en position ventrale. Ces segments sont reliés entre eux par une membrane qui permet l'extension de l'abdomen pour les mouvements respiratoires et le stockage alimentaire. Le tube digestif (TD) se compose de trois sections anatomiques qui sont l'intestin antérieur, l'intestin moyen et l'intestin postérieur (**GILLES, 2010**).

**Chez Les Cestodes**, sont privés de tube digestif; les Trématodes ont un tube digestif sans anus, la bouche formant le fond d'une ventouse; les Turbellariés de même, mais il n'y a jamais de ventouse; chez les Trématodes, le tube digestif s'étend d'une extrémité à l'autre du corps sans délimitation nette; l'appareil digestif des Rotateurs présente un anus dorsal et manque totalement chez les mâles; chez eux le tube digestif est recourbé en anse, la bouche entourée de tentacules ciliés, la surface interne de l'intestin garnie de cils vibratiles; l'anus dorsal est placé dans le voisinage de la bouche.

**Chez Arthropodes**, le tube digestif est rectiligne, la bouche située à la face inférieure de la tête et munie de pièces préhensiles et mandibulaires plus ou moins complexes, l'anus placé à l'extrémité postérieure du corps; pour la description détaillée de ces organes, nous renvoyons à Crustacés, Arachnides, Insectes; notons seulement que, parmi les annexes du tube digestif, le foie est particulièrement différencié chez les Crustacés, les Arachnides, les

glandes salivaires chez les Arachnides, de même, avec une plus grande complexité, chez les Insectes.

#### **I.4. Physiologie de L'excrétion chez les Invertébrés**

Le métabolisme animal produit des déchets (nous ne dégradons pas la totalité des molécules que nous ingérons) : dans le métabolisme azoté, production de résidus toxique (urée), il faut les éliminer.

Les organismes ne peuvent fonctionner que si on respecte des concentrations précises. Les organes excréteurs participent au maintien de concentrations ioniques, de la teneur en eau : **homéostasie**.

On définit la **sécrétion ou l'excrétion selon le lieu où l'on trouve la molécule**.

- Libération de la molécule dans le milieu extérieur : on parle d'excrétion **ou sécrétion exocrine**. (Excrétion fécale, salivaire).
- Libération de la molécule dans le milieu intérieur circulaire : **sécrétion endocrine**.
- Libération de la molécule dans le milieu interstitiel : **sécrétion paracrine** (facteurs de croissance, hormones) la molécule libérée agit sur d'autre cellule que celle émettrice.
- Libération dans le milieu interstitiel et agit sur la cellule émettrice : **sécrétion autocrine**.

**Certains animaux métazoaires, diploblastiques (Cnidaires) Triploblastiques (Echinodermes) n'ont pas de structures excrétrices.**

L'apparition du 3ème feuillet embryonnaire rend les cellules les plus profondes de l'organisme isolées du milieu extérieur. L'excrétion n'est efficace que couplée avec un système de conduction qu'est l'appareil circulatoire permettant la mise en relation de ces cellules avec l'extérieur.

Le développement de la fonction excrétrice est dépendant du développement de l'appareil circulatoire.

Chez les cœlomates les plus simples, les déchets s'accumulent dans la cavité interne (cœlome) drainage du milieu interne.

Chez les métazoaires comme les Arthropodes. Le cœlome a tendance à disparaître et le système excréteur va avoir tendance à se différencier du cœlome.

**Les structures excrétrices :** (Pas de structures excrétrices)

Absence de structure excrétrices Echinodermes et Cnidaires

- ❖ **La vacuole pulsatile** c'est la structure la plus simple on la trouve chez les protozoaires (paramécies, ...) et chez les spongiaires
- ❖ **Organes néphridiens :** il a des sous types
  - ✓ Les **protonéphridies** : ce sont des tubules, clos à une extrémité. On la trouve chez les Plathelminthes et les Rotifères.
  - ✓ Les **métanéphridies** : tubules ouverts aux 2 extrémités, on les trouve chez les Annélides.
  - ✓ Les **néphridies** : on les trouve chez les Mollusques.
- ❖ **Glande antennaire** (ou glande verte) : elle est chez les Crustacées.
- ❖ **Les branchies** : Poissons, Amphibiens (larvaire ou adulte) Entrent en jeu aussi pour l'absorption que pour l'excrétion.
- ❖ **La glande à sels:** on la trouve chez les Oiseaux et Reptiles marins, on peut la trouver chez les Reptiles des régions désertiques. Liquide riche en Cl et Na mais pauvre en eau.
- ❖ **Tube de Malpighi:** chez les Insectes.
- ❖ **L'épiderme:** pour les Amphibiens. Permet les échanges d'eau et de sels minéraux en plus de la respiration cutanée.
- ❖ **La vessie:** organe de stockage de l'urine mais aussi chez les Amphibiens et quelques Reptiles et Poissons il y a possibilité de modifier la concentration en substances de l'urine.

**En général, on ne connaît pas vraiment le rôle des structures excrétrices chez les Invertébrés.**

**Les déchets du métabolisme sont être expulsés régulièrement** de l'organisme dans un mécanisme dit d'**excrétion par rejet**.

Dans d'autres cas, l'**organisme stocke les déchets de façon soit temporaire ou définitive** (ou l'on parle alors d'**excrétion par accumulation**) Ces animaux ont une durée de vie courte, l'**accumulation** peut se faire dans des **structures particulières**, des **structures spécialisées (choragocytes)** chez les **Cnidaires**.

Pour un même animal, les **2 types d'excrétion peuvent exister**, accumulation dans l'œuf et après l'éclosion l'excrétion se fera par rejet.

## **I.5. Système nerveux des invertébrés**

Le système nerveux a pour fonction de produire, conduire et traiter des signaux nerveux, assurant ainsi une communication entre récepteurs sensoriels et effecteur par des faisceaux et des fibres nerveuses, les nerfs. Les informations sont traitées dans des centres nerveux.

### **I.5.1. Caractéristiques du système nerveux des invertébrés**

Les invertébrés ne possèdent pas de colonne vertébrale. Ainsi des ganglions sont éparpillés dans tout l'organisme.

Tous les invertébrés possèdent un système nerveux ventral, les centres nerveux constitués de plusieurs ganglions nerveux occupent une position ventrale dans le céphalothorax.

Les centres nerveux des invertébrés sont rattachés aux organes par des nerfs.

Le système nerveux est décentralisé : les ganglions contrôlent librement les fonctions de la partie à laquelle ils sont associés.

Les invertébrés ne disposent pas des cinq sens : la majorité bénéficie du sens du toucher.

### **I.5.2. Éléments constitutifs**

#### **a. Les neurones**

Un neurone est une cellule nerveuse dont la fonction est de conduire les messages nerveux. Il reçoit et transmet les messages d'une cellule à l'autre. Le corps cellulaire du neurone possède deux types de prolongements cytoplasmiques :

- ✓ Les dendrites, qui collectent les messages nerveux en provenance d'autres cellules ;
- ✓ L'axone est un type de fibre nerveuse qui conduit les messages émis par le neurone ;

- ✓ L'arborisation terminale du neurone transmet les messages à d'autres cellules. Les corps cellulaires des neurones sont localisés dans les ganglions.

### **b. Les synapses**

Les neurones établissent des relations soit avec d'autres neurones, par l'intermédiaire de synapses interneuronales, Soit avec des cellules réceptrices (synapse neurosensorielle), ainsi qu'avec des cellules effectrices (synapses neuroglandulaires, synapses neuromusculaires).

#### **I.5.3. Système nerveux de l'insecte : est constitué de :**

##### **❖ Cerveau**

Le cerveau des insectes est logé dans la tête, il entoure généralement l'oesophage. Le cerveau d'une abeille comprend environ 950 000 neurones, Une partie importante de ce cerveau est formée des lobes optiques reliés aux couches rétinienne des yeux composés. Le cerveau commande les mouvements et gère les relations entre l'abeille et son environnement. Le cerveau est formé de l'association des ganglions céphaliques.

Il est divisé en trois parties :

- Le protocérébron gère la partie supérieure et frontale de la tête, notamment la vision.
- Le deutocérébron représente le centre nerveux de l'olfaction.
- Le tritocérébron contrôle le labre (lèvre supérieure qui protège les pièces buccales) et les nerfs responsables de l'activité des glandes.

##### **❖ Chaînes nerveuses**

Les insectes ont une double chaîne ganglionnaire ventrale, située sous le tube digestif et constituée de ganglions qui innervent chaque segment du corps et agissent comme des cerveaux secondaires, sous la dépendance du cerveau proprement dit. Les segments thoraciques ont un ganglion placé de chaque côté du corps, donc une paire par segment. Cette disposition est également présente dans les huit premiers segments abdominaux<sup>11</sup>. Cette constitution peut varier, certaines blattes (blattaria) ont seulement six ganglions abdominaux. La mouche domestique (*Musca domestica*) a tous les ganglions fusionnés en un seul et celui-ci se retrouve dans le thorax.

Les ganglions thoraciques animent les pattes, les ailes et les muscles du thorax.

Les ganglions de l'abdomen contrôlent les mouvements de l'abdomen.

##### **❖ Organes sensoriels**

- ✓ Les photorécepteurs ;
- ✓ Les mécanorécepteurs ;
- ✓ Les chimiorécepteurs.

## Partie II : Physiologie des vertébrés

### II.1. Physiologie des glandes endocrines

Le **système endocrinien** est constitué de glandes disséminées dans l'organisme caractérisées par un réseau capillaire très riche. Les glandes endocrines sont l'**hypophyse** (TSH, FSH, LH, ACTH, MSH, GH, Prolactine), l'**épiphyse** (mélatonine), la **thyroïde** (T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, calcitonine), les **parathyroïdes** (parathormone) et les **surrénales** (cortisol, aldostérone, androgènes, adrénaline, noradrénaline). Certains organes renferment du tissu endocrinien, qui leur permet de jouer un rôle mixte, de glande endocrine et exocrine. Ces organes sont le **pancréas** (insuline et glucagon), les **gonades** (œstrogènes, progestérone, testostérone), le **rein** (rénine et angiotensine). En revanche, l'**hypothalamus** (GnRH, GHRH, CRH, ADH, Ocytocine), qui fait partie intégrante du système nerveux, sécrète aussi des hormones, par le biais de neurones hypothalamo-hypophysaires.

Enfin, des médiateurs chimiques sont sécrétés par des cellules spécifiques dans le **cœur**, l'**estomac**, l'**intestin**, la **prostate** ou le **placenta**.

Les systèmes nerveux et endocriniens coordonnent les fonctions de tous les systèmes du corps. Le système endocrinien libère des molécules dans la circulation sanguine. Le corps ne peut maintenir ses activités que si ces 2 systèmes sont en corrélation.

#### II.1.1. Définition d'une hormone

C'est une molécule chimique synthétisée puis sécrétée dans le sang par des cellules endocrines, transportée à distance du lieu de sécrétion, pénétrant dans les tissus, conduisant après sa liaison avec un récepteur spécifique chez les cellules cibles à une réponse cellulaire spécifique (comme la modification de l'expression de certains gènes ou enzymes).

#### II.1.2. Fonctions du système endocrinien

Les hormones interviennent dans plusieurs processus pour régler plusieurs aspects dans l'organisme :

- ✓ Maintenir la composition chimique du milieu interne (calcium, eau, sodium, ...)
- ✓ Pression artérielle et fonction cardiovasculaire ;
- ✓ Secrétions digestives ;
- ✓ Niveau général de l'activité métabolique cellulaire ;

- ✓ Thermogenèse ;
- ✓ Réponse au stress ;
- ✓ Croissance et développement ;
- ✓ Reproduction (grossesse, lactation, ..) ;
- ✓ Régularisation de certaines activités du système immunitaire

### II.1.3. Mode d'action des hormones

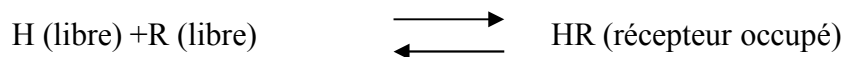
#### A) Notions de récepteurs

Une hormone (H) est une molécule de signalisation cellulaire d'une cellule vers une autre appelée cellule **cible**, à travers le sang (ou liquide interstitiel).

Pour qu'une cellule cible reconnaisse cette H, elle doit contenir des récepteurs spécifiques protéiques : ceci est appelé **reconnaissance moléculaire spécifique réversible** entre une protéine et l'H.

On peut classer les H selon leurs récepteurs en **2 familles** : Les H à récepteurs membranaires et H à récepteurs intracellulaires : Les récepteurs sont membranaires (protéines ou glycoprotéines) pour les grandes H qui ne peuvent pas franchir la membrane plasmique, mais ils sont intracellulaires pour les autres.

#### B) Les récepteurs membranaires



En général, l'interaction entre H et son récepteur protéique a pour conséquence de modifier la concentration d'une molécule appelée second messenger (car l'H est le premier message), qui peut être soit : AMPc, GMPC, IP3, DAG, Ca<sup>+2</sup>, et c'est le signal intracellulaire qui résulte de cette activation qui est responsable de l'effet physiologique final de cette H.

**Exemple** : L'Adrénaline au niveau de la cellule hépatique, a pour second messenger l'AMPc.

Le rôle du second messenger est l'amplification du signal hormonal, car la quantité du second messenger formée après signal hormonal est considérable par rapport à l'H, mais cette étape doit s'arrêter après transmission du message hormonal.



### C) Les récepteurs intracellulaires

Les hormones qui pénètrent dans les cellules cibles (exemple : les H stéroïdes) se trouvent au contact de leur récepteurs intracellulaires (nucléaires) qu'ils induisent et activent. Ce complexe HR est phosphorylé et présente une forte affinité pour l'ADN. La nouvelle cible est une séquence de l'ADN hormono-dépendante, qui a pour effet activation ou inhibition de la transcription.

#### II.1.4. Biosynthèse, sécrétion et activation des hormones

Les hormones peuvent circuler dans le sang (action endocrine), ou possèdent une action locale (action paracrine), ou une action autocrine. Elles peuvent être classées selon leur composition chimique en 4 classes : Stéroïdes, Amines, Peptides et Protéines, Eicosanoïdes (hormones à 20 atomes de carbones dérivées de l'acide arachidonique).

- ❖ Les amines dérivées d'acides aminés : Sont synthétisées à partir d'acide aminé spécifique.

**Exemple** : Les catécholamines comme la dopamine, l'Adrénaline et la Noradrénaline sont synthétisés à partir de la tyrosine.

- ❖ Les hormones peptidiques et protéiques: Sont synthétisée par traduction d'ARNm sur les ribosomes de R.E.R, généralement sous forme de pré-hormone ou pré-pro-hormone ; qui après leur clivage, donnent naissance à la forme active de l'H.

**Exemples** : La PTH est synthétisée sous forme de pré-pro-PTH de 115 acides aminés, mais la forme active de PTH contient uniquement 84 AA. La TRH est un tripeptide (directement synthétisé sous cette forme).

*Remarque* : Après biosynthèse, les H sont stockées dans des vésicules qui migrent vers la membrane plasmique, puis elles sont libérées par exocytose (en réponse à un signal de sécrétion).

- ❖ Les hormones stéroïdes : Elles sont synthétisées à partir du cholestérol après des étapes enzymatiques. Elles sont peu solubles dans l'eau et circulent au niveau du sang liées à des protéines de transport (non spécifique comme l'albumine, ou spécifique comme la transcortine pour le cortisol). Arrivées aux cellules cibles, les H stéroïdes pénètrent seules au niveau de la cellule.

### II.1.5. Elimination et inactivation des hormones

Généralement les H sont inactivées par le foie et éliminées par les reins après inactivation enzymatique, donc chaque hormone doit être rapidement éliminée après effet, et doit avoir une durée de vie plus ou moins brève. Cela permet aux glandes endocrines de régler la concentration des H. d'autres H sont transférées aux lysosomes cellulaires et sont dégradées (par un mécanisme d'internalisation du complexe HR exemple : L'insuline). On définit la durée de vie d'une H par sa demi-vie, qui varie d'une H à l'autre.

*Remarque : Certaines H peuvent être libérées dans l'urine, comme l'HCG, utilisée pour le dépistage de la grossesse.*

### II.1.6. Régulation des hormones

Toutes les sécrétions hormonales sont contrôlées et ajustées. Certaines hormones (du maintien de la composition chimique de l'organisme) sont régulées par les concentrations plasmatiques des molécules qu'elles règlent.

**Exemple :** l'insuline est régulée par la glycémie.

Pour de nombreuses H périphériques, la régulation se fait à travers des cascades de réactions de contrôle. En retour, ces hormones peuvent réguler les sécrétions endocrines supérieures (à un étage supérieur), ceci est appelé boucle de régulation ou rétrocontrôle.

*Remarque : Ce rétrocontrôle (en Anglais feed-back) peut être positif ou négatif.*

### II.1.7. Rythmes endocriniens

La sécrétion des H est **pulsatile**, selon un rythme spécifique pour chaque H. Il existe aussi un rythme saisonnier ou circannuel pour certaines H. Le plus anciennement connu des rythmes est celui du cortisol qui survient après 2h du matin et assure à l'organisme une préparation d'une glycémie normale pour les activités quotidiennes, ce rythme est appelé **circadien**, généré par des horloges biologiques qui sont modifiées par des facteurs externes (lumière, température, sommeil, nourriture,.....).

Ce rythme circadien est d'origine nerveuse appelée pacemaker endocrinien qui se trouve surtout au niveau du noyau supra chiasmatique (au niveau du système nerveux central).

### II.1.8. Les principales glandes endocrines et leurs hormones

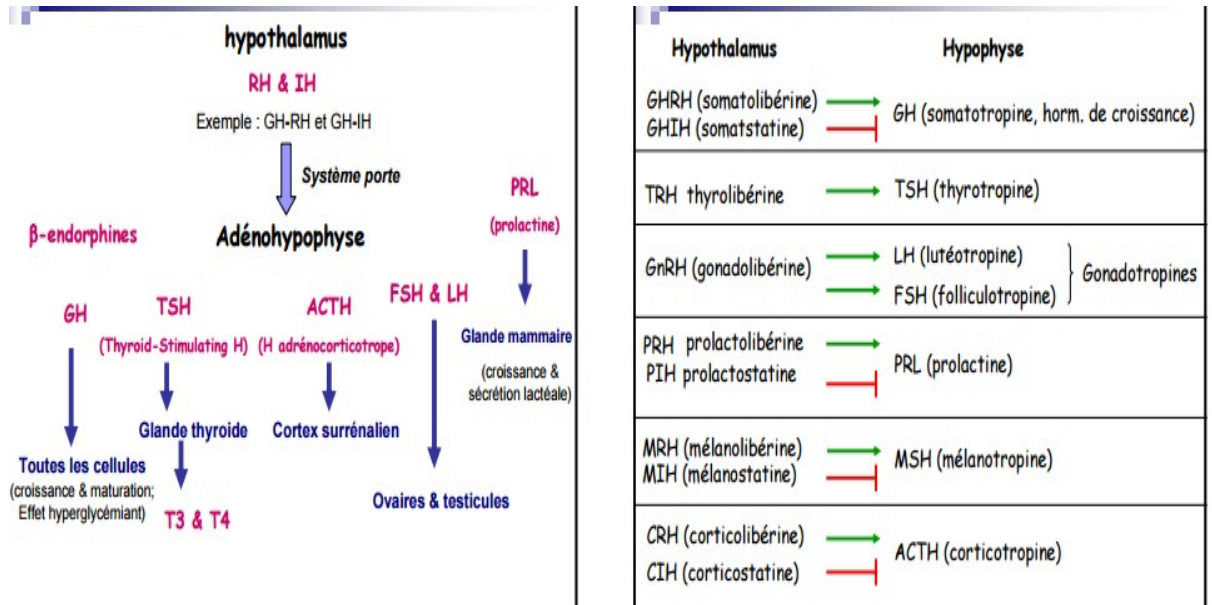


Figure 3. Hormones de l'adénohypophyse et contrôle

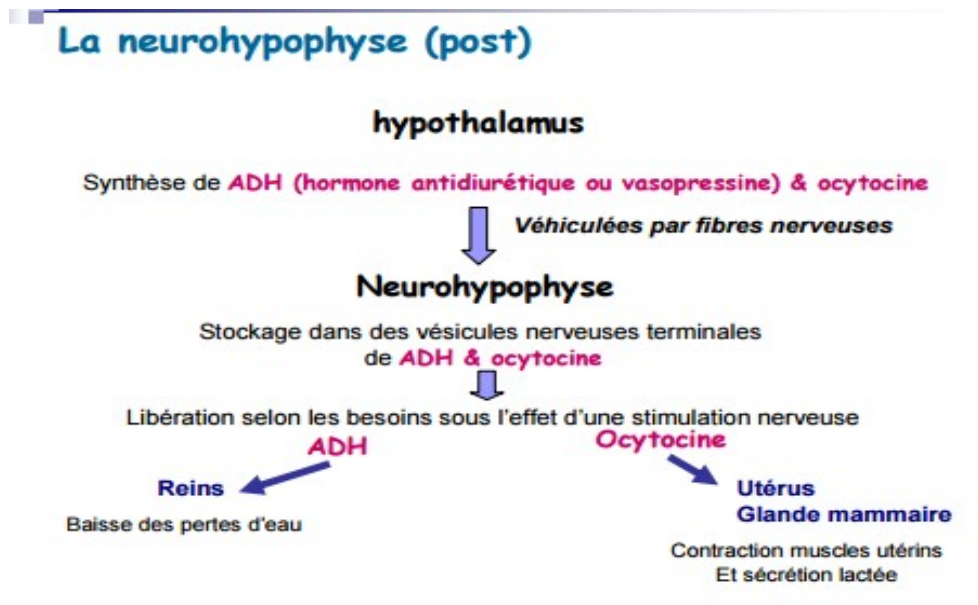


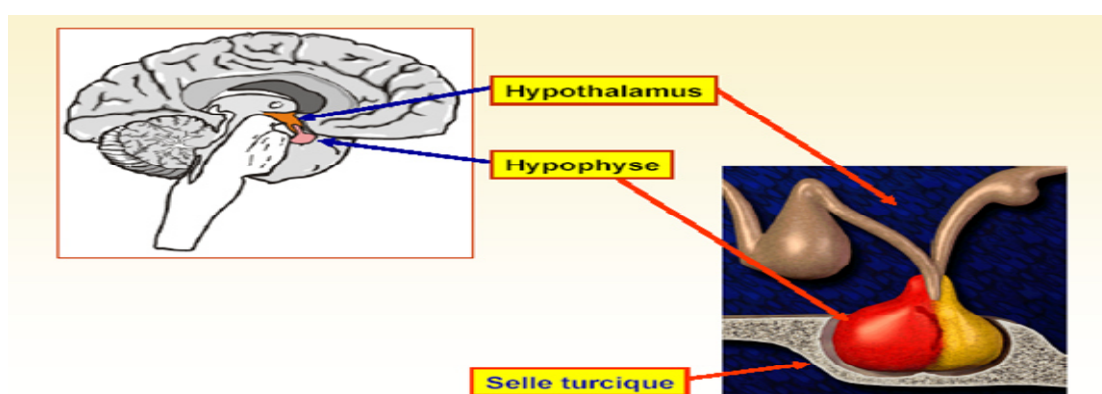
Figure 4. Hormones de la neuro-hypophyse

⇒ **Les glandes endocrines sont réparties dans l'ensemble de l'organisme, On distingue:**

- ✓ L'hypothalamus et l'hypophyse
- ✓ La thyroïde et les parathyroïdes
- ✓ Les surrénales
- ✓ Les gonades
- ✓ Le pancréas

❖ **L'axe hypothalamo-hypophysaire**

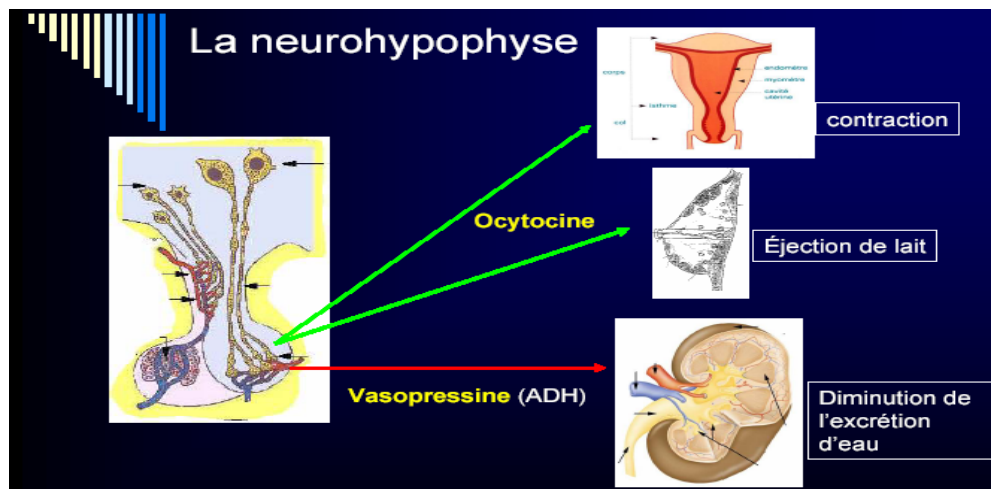
- **L'hypothalamus et l'hypophyse**



**Figure 5.** Présentation de l'hypothalamus et l'hypophyse

**Tableau N°01.** Les hormones neurohypophysaires et leurs effets

<b>Hormones</b>	1. <u>vasopressine</u> ( hormone antidiurétique, ADH) <b>ADH diminue la production d'urine par les reins</b> 2. <u>ocytocine</u>
<b>Principales fonctions</b>	1. <u>ADH</u> : stimule la réabsorption de l'eau par les reins Effet antidiurétique (diminution de la diurèse) Diabète insipide = anomalie caractérisée par une baisse importante de la sécrétion d'ADH 2. <u>ocytocine</u> : stimule la contraction de l'utérus durant l'accouchement ; stimule l'éjection du lait par les glandes mammaires lors de la lactation
<b>Lieu de synthèse</b>	Les noyaux supra-optiques et paraventriculaires situés dans l'hypothalamus. Les hormones sont transportées par les axones de ces cellules, liées à une protéine de transport appelée <u>neurophysine</u>



**Figure 6.** Les hormones neurohypophysaires et leurs effets

### ❖ Les hormones de l'adénohypophyse

- ✓ **Hormones de croissance (GH)** ; est une hormone anabolisante: stimule la croissance et la division cellulaire.
- ✓ **Prolactine (PRL)** ; Tissu sécréteur des seins : stimule la production de la sécrétion lactée en période de lactation.
- ✓ **Thyréostimuline (TSH)** ; Glande thyroïde : stimule la libération des hormones thyroïdiennes ( $T_3$  et  $T_4$ ).
- ✓ **Corticotrophine (ACTH)**, (Surrénales) ; stimule la libération des glucocorticoïdes.
- ✓ **Gonadotrophines (FSH et LH)** :
  - ↳ **Hormone Folliculo-Stimulante (FSH)** ; Agissent sur les gonades : Testicules et Ovaires: stimule la maturation du follicule ovarien et la production d'œstrogènes ; stimule la spermatogenèse.
  - ↳ **Hormone Lutéinsante (LH)** ; Ovaires et testicules : déclenche l'ovulation et la production d'œstrogènes et de progestérone, stimule la production de testostérone.

### ❖ Hypothalamus contrôle toutes les sécrétions de l'hypophyse

Hypothalamus sécrète des :

- ✓ **Hormones de libération** : Stimulent la sécrétion d'hormones par l'hypophyse.
- ✓ **Hormones d'inhibition** : Inhibent la sécrétion d'hormones par l'hypophyse

### ❖ **Quatre caractéristiques sont spécifiques du système hypothalamo-hypophysaire**

1- Contrôle l'activité de la thyroïde, corticosurrénale, de gonades. Il influence la croissance, le métabolisme, la lactation.

2- Le système nerveux central, via l'hypothalamus, stimule ou inhibe les sécrétions hypophysaires.

3- Deux hypophysés coexistent, possédant des vascularisations.

4- L'antéhypophyse est influencée par des hormones hypothalamiques acheminées par un système porte veineux, tandis que la posthypophyse sert de terminal aux axones de l'hypothalamus antérieur.

### ❖ **Ovaires**

#### ▪ **Fonction endocrine de l'ovaire**

Œstrogènes et progestérone (corps jaune et placenta pendant la grossesse)

↳ Œstrogènes ;

- Stimulent le développement et la croissance des organes reproducteurs ou sexuels.
- Acquisition des caractères sexuels secondaires féminins.
- Freinent la résorption osseuse.

↳ Progestérone ;

➤ A un rôle exclusif dans la préparation finale de l'utérus à la grossesse et des seins pour l'allaitement.

#### ▪ **Fonction endocrine du testicule**

Cellules de Leydig ⇒ androgènes (Testostérone)

↳ Testostérone

- Stimule la spermatogenèse par une action directe sur les tubes séminifères
- Stimule le développement des caractères sexuels secondaires masculins.
- Influence la croissance de la prostate et des vésicules séminales et favorise l'activité de ces structures.

## II.2. Les compartiments liquidiens de l'organisme

Un être vivant est composé de 100 miles milliards de cellules, qui composent 250 types cellulaires différents, et qui donnent 11 systèmes physiologiques : Circulatoire, Digestif Respiratoire, Urinaire, Squelettique, Musculaire, Tégumentaire, Immunitaire, Nerveux, Endocrinien et Reproducteur.

L'organisme humain est constitué de 60 % d'eau et 40 % de substance organique. L'eau totale de l'organisme est divisée en compartiments liquidiens (intracellulaire et extracellulaire).

La teneur en eau de l'organisme varie en fonction : de l'importance de la matière grasse, de l'âge (plus les tissus vieillissent plus ils se déshydratent), du sexe (50% du poids de la femme). La membrane cellulaire constitue la barrière entre ces compartiments et joue le rôle de filtre à travers lequel s'effectuent des mouvements hydrique et ioniques mais aussi des transports spécifiques.

L'homéostasie est la tendance de l'organisme à maintenir ses différentes constantes à des valeurs ne s'écartant pas de la normale.

### II.2.1. Définition des compartiments liquidiens

Un compartiment est un rassemblement de volumes qui contiennent des solutions de composition identique, et comme il contient de l'eau donc il est appelé liquidien. Les 2 compartiments liquidiens de l'organisme sont :

- **Le Liquide intracellulaire (LIC)** : 40 % du poids du corps, c'est l'ensemble du cytosol qui compose les cellules. Il est délimité par les membranes plasmiques.
- **Le Liquide extracellulaire (LEC)** : 20 % du poids du corps, qui peut être divisé en 2 parties : milieu intérieur et trans-cellulaire.
- **Milieu intérieur** : qui est le milieu de vie des cellules, c'est l'ensemble des liquides extracellulaires (plasma, lymphe, liquide interstitiel) dans lesquels baignent les cellules de l'organisme. Le milieu intérieur possède 02 caractéristiques :
  - ✓ **Caractères physico-chimiques stables** : La concentration. La pression osmotique. Le PH. La température. La charge électrique ;
  - ✓ **Caractère dynamique** : renouvellement permanent de son homogénéité.

Le milieu intérieur est constitué donc de **trois** compartiments liquidiens :

**1• Le liquide interstitiel** : C'est le liquide extracellulaire, dont la composition chimique est remarquablement constante, qui circule dans les espaces qui séparent certaines couches cellulaires ou tissulaires et dans lequel baignent toutes les cellules de l'organisme. Il ne contient pas de protéines.

**2• La lymphe canalisée** : C'est un liquide organique de couleur jaune pâle, constitué essentiellement d'eau. Elle circule dans le système lymphatique qui rejoint la circulation sanguine et présente la même composition biochimique que le liquide interstitiel.

**3• Le plasma** : C'est un liquide visqueux de couleur jaunâtre qui est composé essentiellement d'eau et de protéines et dans lequel les cellules sanguines (hématies, leucocytes et plaquettes) sont en suspension.

- **Liquide trans-cellulaire** : Liquide céphalo-rachidien (LCR), liquide de l'œil, articulaire, amniotique.

### II.2.2. Composition biochimique des compartiments liquidiens

Les compartiments liquidiens contiennent de l'eau dans laquelle se trouvent des ions inorganiques ou organiques, atomique ou moléculaire. Ils sont **électriquement neutres** (c'est-à-dire qu'il y a autant de charges positives que de charges négatives).

*Remarque : A pH physiologique les protéines sont chargées négativement.*

Les compartiments liquidiens diffèrent en composition ionique comme suit :

- ✓ Le Milieu EC : Le  $\text{Na}^+$  est le cation le plus abondant. Les protéines annulent le  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ . Quand au  $\text{Cl}^-$  (100 mmol/L) et le  $\text{HCO}_3^-$  (25 mmol/L).

- ✓ Liquide interstitiel : Pas de protéines, diminution des cations et augmentation des anions.

- ✓ Milieu intracellulaire : le  $\text{K}^+$  est le cation le plus abondant, les phosphates et les protéines sont les anions les plus abondants.



**Tableau N°02.** Résumé de la répartition des principaux ions dans les compartiments intra- et extra- cellulaire

Compartiment <b>intracellulaire</b>	lymphe	Plasma
Na <sup>+</sup>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>
Cl <sup>-</sup>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>
<b>K<sup>+</sup></b>	K <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>

### II.2.3. Les échanges entre compartiments

Les échanges entre compartiments sont permanents à travers les membranes. L'échange entre le plasma et l'eau interstitielle se fait à travers les membranes capillaires, quand aux échanges entre l'eau interstitielle et l'eau intracellulaire, elles se produisent à travers les membranes cellulaires.

✓ Les échanges entre **le plasma et le milieu extérieur** : L'homme prélève et rejette de l'eau, du sodium, du potassium et du phosphore à travers les organes d'échanges ; le bilan de ces échanges est normalement nul. Le volume plasmatique est en contact avec le milieu extérieur à travers la peau, le tube digestif, les voies respiratoires et les reins.

✓ Les échanges entre le **plasma et le liquide interstitiel** : Les capillaires sont des structures semi-perméables .Les échanges par diffusion sont permanents bidirectionnels et égaux pour les gazs du sang et les petites molécules.

Les échanges par filtration/réabsorption : ce sont les échanges principaux car ils peuvent varier et modifier les O2 volumes concernés.

✓ Les échanges entre **les compartiments extra et intra -cellulaires** se font par : Diffusion, Transfert facilité, Transfert actif ; Endocytose – exocytose. Pour l'eau l'échange se fait par Osmose. La diffusion d'une molécule dépend de la différence de concentration de part et d'autre de la membrane, de la perméabilité de la membrane, de la surface de la membrane et de son épaisseur.

✓ **La diffusion passive** : elle ne concerne que les petites molécules. Elle est transmembranaire pour les molécules lipophiles. Elle ne nécessite pas d'énergie, et se fait du compartiment le plus concentré vers le compartiment le moins concentré jusqu'à équilibre des

concentrations.

La diffusion passive de solutés chargés est due à une différence de potentiel entre les deux compartiments : des cations vers la solution riche en anions (et le contraire pour les anions) jusqu'à disparition de la différence de potentiel électrique.

✓ **La diffusion facilitée** : Concerne des molécules qui ne peuvent traverser spontanément la membrane, elle se fait à travers un **canal protéique** et ne nécessite pas d'énergie. Elle se fait du compartiment le plus concentré vers le compartiment le moins concentré. C'est un processus saturable.

✓ **Le transfert actif** : Il se fait contre un gradient de concentration et contre un gradient électrique. C'est un transfert de soluté à travers la membrane, depuis la solution la moins concentrée vers la solution la plus concentrée, pour compenser la diffusion passive et maintenir une différence de concentration (ou de potentiel).

Le mécanisme actif nécessitant une dépense d'énergie (hydrolyse de l'ATP) et des transporteurs membranaires spécifiques.

***Remarques** : Le transport actif peut concerner une seule molécule ou plusieurs molécules : Co-transport (ou symport), Contre-transport (ou antiport). Le transport peut être classé en actif primaire (exemple : la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase sur un pôle de la cellule fait sortir 3  $\text{Na}^+$  et fait entrer 2  $\text{K}^+$ ). Le transport actif secondaire (exemple : à l'autre pôle de la cellule, entrée d'ions  $\text{Na}^+$ ). Le transport actif tertiaire utilise le transport actif I et le Transport actif II.*

#### II.2.4. Rôle du milieu intérieur

Le milieu intérieur est l'intermédiaire, le lieu d'échanges entre le milieu extérieur et les cellules. Il permet d'apporter aux cellules de l'organisme les éléments indispensables à leur vie et prélevés dans le milieu extérieur ou provenant d'autres cellules éloignées et de débarrasser l'organisme de ses déchets métaboliques.

- ❖ **Rôle de l'eau** : En plus d'être le constituant principal des cellules ; l'eau remplit plusieurs fonctions :
- Participe aux réactions chimiques
  - Assure le transit et le transport d'un certain nombre de substances : nutriments, globules, anticorps et antigènes, hormones .....
  - Permet l'élimination des déchets métaboliques
  - Assure le maintien d'une température constante et homogène du corps.

❖ **Le bilan de l'eau** : Il est déterminé à partir de la différence entre les entrées et les sorties en eau de l'organisme (les apports et les éliminations d'eau). Sans apport d'eau l'organisme ne peut vivre plus de 3 jours.

➤ Les **entrées** sont dues à :

- ✓ L'eau de boisson = 50% des entrées ;
- ✓ L'eau contenue dans les aliments = 1/3 des entrées ;
- ✓ Le reste = eau produite par le catabolisme.

➤ Les **sorties** d'eau sont dues aux :

- ✓ Pertes urinaires (contrôlées par l'ADH) ;
- ✓ Pertes de transpiration, respiration.

***Remarque:** Si les entrées d'eau > sorties : une hyperhydratation (au cas contraire une déshydratation).*

#### ❖ **Bilan du NaCl**

Les **entrées** sont dues au NaCl contenu dans les aliments et la boisson + le sel ajouté. Les **sorties** sont dues au NaCl éliminé dans l'urine (surtout), et aux autres pertes de NaCl (sueur, ...).

***Remarque :** En cas des Entrées en sodium > Sorties, se produit une inflation (au cas contraire : une déplétion).*

Les variations de l'apport (ou de l'élimination) en NaCl (natrémie) entraînent des variations du capital sodé dans l'organisme, qui entraînent des variations du volume des LEC.

Ces variations de la natrémie entraînent des variations de l'osmolarité plasmatique puisque le Na est le principal support de cette osmolarité qui entraînent une stimulation ou une inhibition des osmorécepteurs ces derniers entraîne une variation du bilan hydrique.

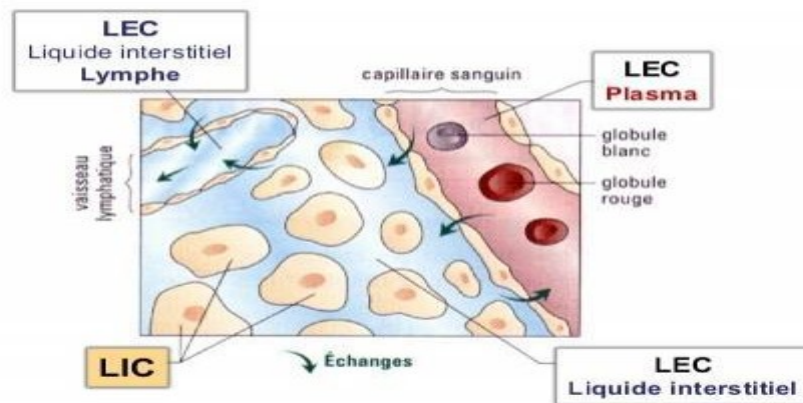


Figure 7. Compartiments liquidiens

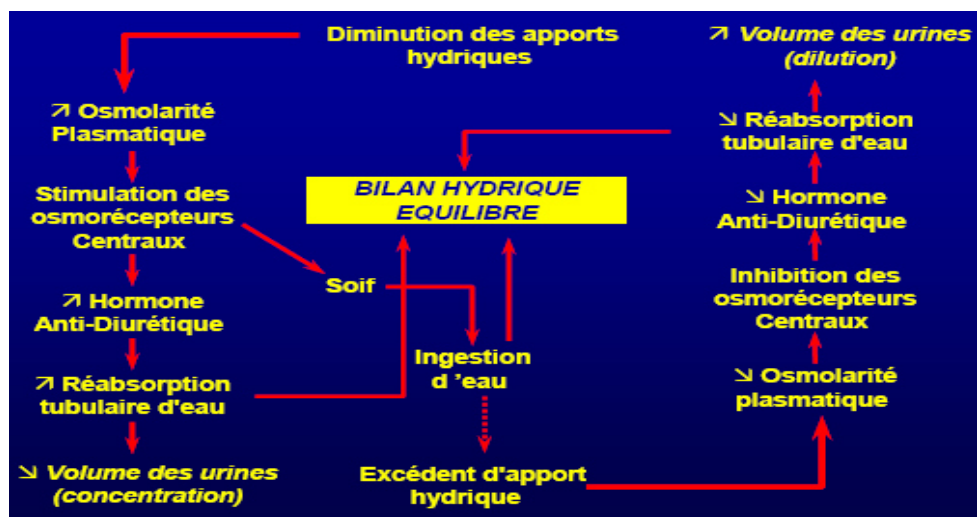


Figure 8. Régulation de l'eau

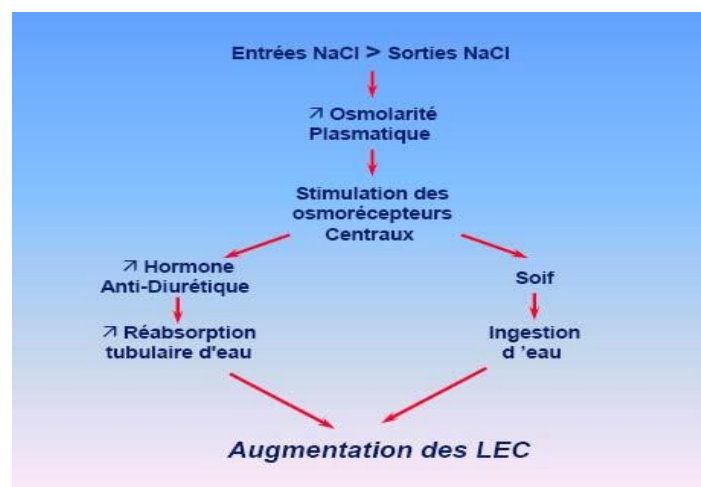


Figure 9. Régulation de NaCl

## II.3. Physiologie de la Respiration

Les animaux utilisent l'oxygène et produisent le gaz carbonique lors de la respiration cellulaire, qui a lieu au niveau des mitochondries. L'oxygène est prélevé de l'atmosphère, le gaz carbonique y est libéré. Ce chapitre retrace les événements de transport de l'oxygène et du gaz carbonique entre l'atmosphère et le sang d'une part, et entre le sang et les tissus d'autre part.

### II.3.1. Anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Le système respiratoire s'organise en un ensemble de structures qui rend possible les échanges gazeux entre le milieu extérieur et le sang. Il est constitué par les poumons, les voies aériennes aboutissant à ceux-ci et toutes les autres parties de la cage thoracique qui sont responsables des flux d'air dans les poumons.

**II.3.1.1. Les poumons :** au nombre de deux, sont des structures élastiques organisés en sacs et en tubes remplis d'air, et sont très richement vascularisés.

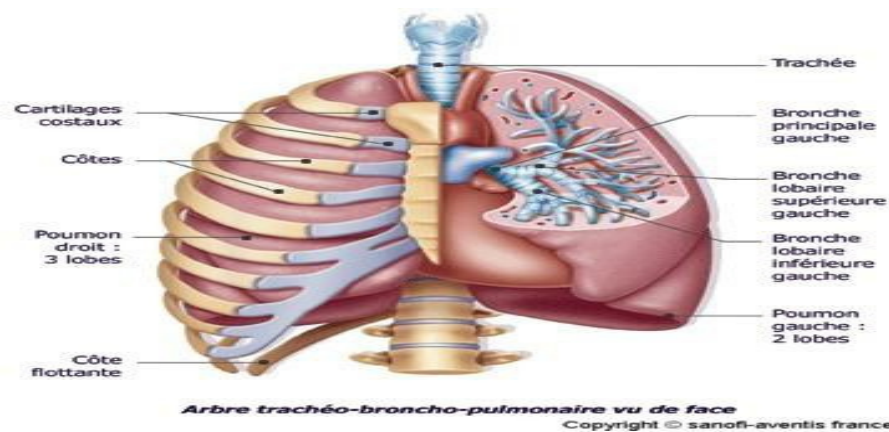
**On a deux poumons :** Le poumon droit fait de trois lobes et le poumon gauche de seulement deux. Les poumons sont enfermés dans la cage thoracique et sont formés d'unités appelées « lobules », chaque lobule est irrigué par une bronchiole.

Chaque lobule est aussi entouré d'alvéoles pulmonaires ; un alvéole étant une petite vésicule qui est très intriguée par des capillaires. La paroi de ces alvéoles est très mince (indispensable pour échange de gaz.)

**II.3.1.2. Les voies aériennes :** comportent les fosses nasales, le pharynx (carrefour entre les voies digestives et respiratoires), le larynx (siège de la phonation, il s'agit de lames élastiques vibrantes à l'origine des sons), la trachée artère (long conduit, maintenu ouvert par du cartilage, mais pas dans la partie arrière car il s'y trouve l'œsophage), la trachée artère se ramifie pour donner les bronches qui vont ensuite se ramifier pour donner les bronchioles.

**II.3.1.3. La cage thoracique:** qui est renfermant les poumons et le cœur. Il est limité à l'avant par le sternum, les 12 paires de côtes et **les muscles intercostaux.**

**Vers le bas, un large muscle squelettique appelé le diaphragme sépare.**



**Figure 10.** Les poumons

### II.3.2. Mécanique de la respiration

Le facteur déterminant de l'entrée et de la sortie de l'air des poumons (ventilation) est la différence de pression existant entre l'air atmosphérique et l'air alvéolaire ( $P_{atm} - P_{alv}$ ). L'air entrant les poumons est une inspiration, celui qui en sorte est une expiration.

Ce sont aussi les échanges d'oxygène et de dioxyde de carbone entre les alvéoles et les capillaires. Ainsi que l'étude du transport de ces gaz dans le sang. Et celle des échanges d'oxygène et de dioxyde de carbone entre le sang, les tissus et les poumons.

### II.3.3. Quantification de la respiration

La quantité d'air qui s'écoule ou ressort des poumons dépend directement :

- Du gradient de pression entre l'atmosphère et les poumons ( $P_{atm} - P_{alv}$ );
- De la résistance à l'écoulement d'air ( $R$ ) dans les voies respiratoires conductrices (inversement proportionnelle à leur rayon). On définit par débit respiratoire( $D$ ), la quantité d'air échangé par unité de temps entre l'atmosphère et les poumons. Ce débit est quantifié à partir de l'équation d'écoulement de masse :  $D = (P_{atm} - P_{alv}) / R$

### II.3.4. La ventilation pulmonaire

Il s'agit dans échanges d'aire entre l'atmosphère et les poumons au cours de l'inspiration et de l'expiration.

## A) Les volumes échangés

Ces volumes sont mesurables à partir d'un appareil appelé « spiromètre. » Il y a différents volumes correspondant à différentes activités.

- ❖ Le volume courant, il correspond au volume d'air inspiré ou expiré lors d'une respiration normale (environ 0,5L).
- ❖ Le volume de réserve expiratoire, c'est le volume expulsé lors d'une expiration forcée (environ 1,5L).
- ❖ Le volume de réserve inspiratoire, c'est le volume inspiré lors d'une inspiration forcée (environ 2,5L).

**1) Au cours de l'inspiration :** La cage thoracique se soulève grâce à des muscles inspireurs et en même temps, le diaphragme est tiré vers le bas donc le volume de la cage thoracique augmente.

La pression dans l'espace pleural diminue. Elle devient alors inférieure à la pression de l'air dans l'alvéole. Il en résulte une pression au niveau des pressions de l'alvéole : une suppression. Donc le volume alvéolaire augmente et l'alvéole se gonfle.

Si ce volume augmente, la pression alvéolaire diminue, cela signifie qu'elle devient inférieure à la pression atmosphérique, ce qui fait rentrer l'air dans les alvéoles pulmonaires.

L'inspiration est donc un phénomène actif, car il y a intervention de muscles respiratoires (côtes) et du diaphragme.

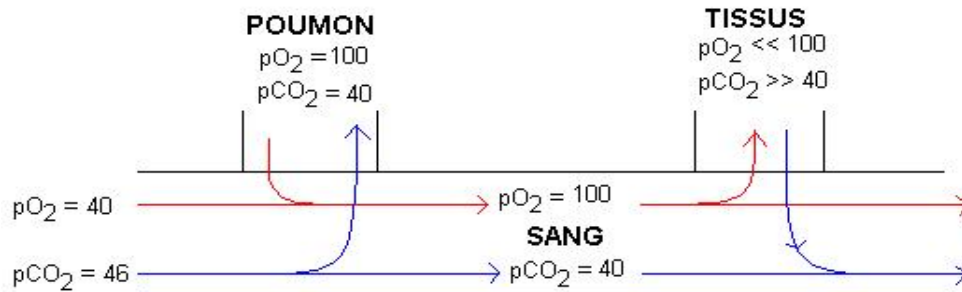
**2) Au cours de l'expiration :** Il se passe le phénomène inverse :

- ✓ Le volume de la cage thoracique va diminuer parce qu'elle, et les poumons, sont élastiques donc, après les avoir étirés à l'inspiration, ils retrouvent leur taille normale à l'expiration.

Ceci montre que, contrairement à l'inspiration, l'expiration est un phénomène passif, qui va engendrer des modifications de pressions.

### II.3.5. Échange de gaz dans les poumons

Il s'agit des échanges d'O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> entre les alvéoles et le sang. Ces échanges se font par diffusion et ce phénomène obéit à d'importantes des lois physiques.



**Figure 11.** Les échanges de gaz dans les poumons

Les poumons des oiseaux sont plus petits proportionnellement que ceux des mammifères. Ils sont aussi rigides, c'est-à-dire qu'ils ne changent pas de volume lors de la respiration. Selon les besoins en oxygène, il existe plusieurs types de respirations. L'air entre par le bec qui permet à l'air d'aller des narines vers la **glotte**.

L'air suit la **trachée** puis pénètre dans les deux bronches au niveau du **syrinx**. Les organes sont dupliqués latéralement. L'air passe ensuite par **les sacs pulmonaires** caudaux. La première expiration emmène l'air aux deux poumons, chacun en continuité d'un sac. À l'intérieur des poumons, **les bronches** se divisent en une multitude de petits canaux nommés parabronches de plus en plus petits. Les minuscules canaux finaux mesurent de 1 à 4 centimètres de long et 1 à 2 millimètres de diamètre et se nomment dorsobronchioles et ventrobronchioles analogue aux **alvéoles pulmonaires** des mammifères. Ils sont percés de très nombreux orifices de 0,1 millimètres de diamètre ouvrant sur des « chambres » unies entre elles par un réseau « capillaire aérien » de 3 à 10 micromètres entrelacé d'un réseau de capillaires sanguins entre lesquels ont lieu les échanges gazeux. La circulation sanguine dans les capillaires se fait à contre-courant de celle de l'air ce qui maximise les échanges gazeux mais aussi respiratoire.

L'air est ensuite inspiré par les sacs aériens antérieurs et expulsé. La présence de valves empêche l'air de revenir vers l'arrière.



## II.4. Physiologie de la Circulation sanguine

La circulation permet entre autre le transport de l'oxygène qui est devenu nécessaire suite à l'accroissement de taille des organismes. La diffusion ne se fait que pour des surfaces de quelques microns d'épaisseur. Le sang transporte :

- Les nutriments (produits de la digestion).
- L'oxygène.
- Les déchets (du métabolisme, comme le CO<sub>2</sub>).
- Les hormones (molécules servant de signaux).
- Des cellules (les globules rouges et cellules du système immunitaire).
- Les anticorps.
- La chaleur pour les animaux endothermes (transport de calories).

Les vertébrés sont caractérisés par un système circulatoire entièrement clos et les échanges gazeux entre l'organisme et l'extérieur. La lymphe, sang, circule dans des canaux. Il va s'opposer au système lacunaire chez les invertébrés (insectes). Le sang chez les vertébrés est considéré comme un tissu conjonctif dont la substance fondamentale est un liquide appelé plasma et les cellules sont de nature différente : globules rouges (hématies ou érythrocytes pour les échanges respiratoires), les globules blancs (leucocytes pour l'immunité) et les plaquettes sanguines (thrombocytes pour la coagulation du sang).

Le cœur des vertébrés est un muscles creux dont les contractions vont aspirer le sang en amont et le refouler en aval = rôle de pompe qui permet la circulation du sang. Du cœur, le sang est dirigé vers les organes par le réseau artériel. Des organes vers le cœur, on trouve le réseau veineux. La fonction métabolique du sang est d'amener l'O<sub>2</sub> et les nutriments puis de capter le CO<sub>2</sub> et les déchets pour les évacuer. On a une liaison dépendante avec l'appareil digestif (= nutriments), l'appareil excréteur (= dépôt de déchets) et l'appareil respiratoire (= échanges O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>). Pour l'appareil digestif et excréteur, les connections avec le sang sont de la même façon chez tous les vertébrés avec un système veineux. On a 2 modes de respirations aquatique et aérienne qui vont se succéder dans le temps ce qui ce entraîner des modifications importantes des structures et des modifications au niveau du cœur.

### II.4.1. Le système circulatoire

Le système circulatoire est **un circuit** qui permet la **circulation du sang** à travers les vaisseaux vers tous les **organes**. Il a pour rôle **d'assurer le transport et l'échange interne des nutriments et de l'oxygène** vers les cellules de l'organisme ainsi que de se charger de la collecte des déchets métaboliques (notamment le dioxyde de carbone et l'urée) qui quittent les cellules.

Il se compose d'un ensemble de vaisseaux (artères, artérioles, capillaires, veines, veinules et lymphatiques) répartis dans toutes les parties du corps sans exception pour y véhiculer le sang; sur le trajet de ces vaisseaux est intercalée une poche musculaire contractile spéciale, le cœur, destinée à propulser le sang nécessaire pour le faire répandre dans tous les organes.

Pour que le fonctionnement soit complet, d'autres organes jouent un rôle, il y a: **Le cœur**: qui comprend quatre cavités. Environ toutes les secondes, il se contracte et **propulse le sang dans les artères**. Puis il se relâche et, accueille le sang que ramènent les veines. Il doit toujours y avoir un débit sanguin régulier dans l'appareil circulatoire, qui doit apporter de l'oxygène et des nutriments à tous les tissus de l'organisme mais aussi éliminer tous les déchets.

#### ❖ L'appareil circulatoire est composé

- Du cœur qui sert de pompe
- Des vaisseaux sanguins qui servent au transport du sang.

#### ❖ Types de vaisseaux sanguins

- ✓ Les artères conduisent du sang qui part du cœur vers les organes; (*sauf l'artère pulmonaire*)
- ✓ Les veines conduisent du sang qui va vers le cœur; (*sauf les veines pulmonaires*)

ARTère = le sang pART du cœur

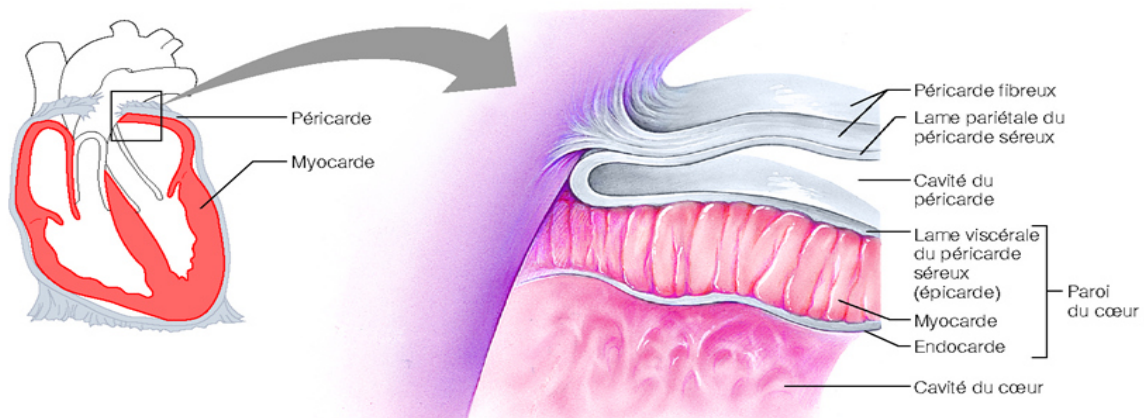
Veine = le sang va VErS le cœur

## ❖ Le cœur

- N'est pas plus gros que votre poing fermé.
- Est antérieur par rapport à la colonne vertébrale, et postérieur par rapport au sternum.
- Est partiellement recouvert par les poumons.
- Est placé obliquement dans le thorax et son apex (i.e. sa pointe) est orientée vers la hanche gauche et repose sur le diaphragme.

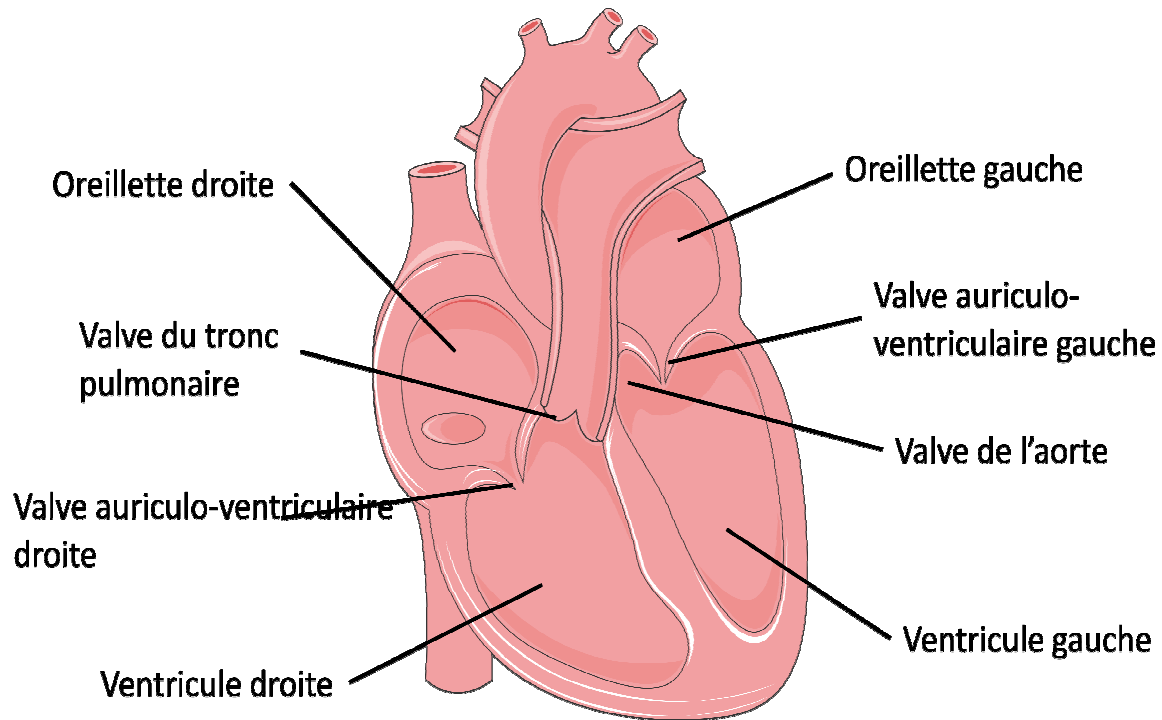
## ❖ L'anatomie du cœur : Est constitué de trois couches de tissus :

- Le péricarde : enveloppe externe du cœur.
- Le myocarde : le tissu musculaire du cœur.
- L'endocarde : enveloppe interne qui tapisse les cavités du cœur.



**Figure 12.** Les enveloppes du cœur (CABROL et VIALLE, 2003)

- Le cœur est divisé en deux parties distinctes (qui ne communiquent pas entre elles) :  
le cœur droit et le cœur gauche
- Chaque partie comprend une oreillette et un ventricule.
- L'oreillette droite communique avec le ventricule droit par une valve appelée valve auriculo-ventriculaire droite.
- Il en est de même pour la valve auriculo-ventriculaire gauche.



**Figure 13.** L'anatomie du cœur (CABROL et VIALLE, 2003)

#### II.4.2. La physiologie du cœur

- Le sang entre dans le cœur puis en ressort dans l'ensemble de l'organisme. Il revient et refait un autre tour dans le cœur pour en ressortir à nouveau. Le processus se répète ainsi pour tous les battements du cœur.
- Le cœur bat par lui-même sans avoir à recevoir d'influx nerveux. Il se contracte de lui-même et de façon spontanée.

#### ❖ Les vaisseaux sanguins

- Le sang circule dans l'organisme grâce aux vaisseaux sanguins.
- Il existe divers types de vaisseaux sanguins qui sont classifiés selon le type de sang qu'ils transportent, leur localisation et leurs fonctions:
  - ✓ Les artères
  - ✓ Les veines
  - ✓ Les capillaires

### A) Les artères

- Transportent le sang oxygéné du cœur aux organes.
- Sont situées en profondeur.
- Leur paroi est épaisse et élastique.
- Peuvent se dilater pour permettre le passage du sang lors de chaque contraction du myocarde.
- Le sang y circule donc jusqu'à ses plus petites ramifications qui sont appelées artérioles.

### B) Les veines

- En sortant des capillaires, le sang qui contient alors les déchets de la cellule prend le chemin des veinules qui sont de très petites ramifications des veines.
- Le sang se rend par la suite aux veines, qui le transportent vers le cœur.
- Les veines sont localisées beaucoup plus à la surface du corps que les artères.
- Le sang y circule plus lentement que dans les artères et d'une façon continue.
- La paroi des veines est beaucoup plus mince que celles des artères et est formée de façon à empêcher le sang de retourner en arrière (valvules).

### C) Les capillaires

- Sont de minuscules vaisseaux sanguins, 50 fois plus petits qu'un cheveu.
- Relient les artères et les veines ensemble.
- Le sang y circule très lentement, permettant les échanges entre le sang et les cellules.
- L'oxygène et les nutriments sont déversés dans la cellule tandis que les déchets de la cellule sont recueillis par le sang.

#### ❖ Le sang (CLAUDE JACQUILLAT, 1989)

- Tissu conjonctif complexe
- Assure le transport de l'oxygène et des substances nutritives (eau, sels, minéraux et vitamines;
- 5L / minute

- ❖ Globules Rouges
- ❖ Globules blancs
- ❖ Artère
- ❖ Plaquette

**❖ Plasma**

- 90 % d'eau
  - ┌ Sels minéraux
  - └ Protéines
    - ┌ Albumine
    - └ Globuline
    - └ Fibrinogène
  
- Ions
  - ┌ Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>
  - └ Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>
  - └ Cl

**❖ Globules rouges**

- Érythrocytes ou hématies
- 4 à 6 x10<sup>12</sup>/ L de sang
- Disque biconcave de 7 μmètre
- HB ⇔ Fer ⇔ fixation et transport d'O<sub>2</sub>

**❖ Les globules blancs**

- Leucocytes
- De 4 à 10 x 10<sup>9</sup> /L de sang

**❖ Plaquettes**

- Thrombocytes
- De 3 à 4 micromètres, 250 à 500 x10<sup>9</sup>
- Processus de la coagulation
- Empêcher l'hémorragie lors des effractions vasculaires
  - ✓ Physiologique
  - ✓ Pathologique

## II.5. Physiologie de la Digestion

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 transmembranaire.

### II.5.1. Anatomie

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.

## II.5.2. Physiologie de la Digestion

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  $\text{Ca}^{2+}$ .

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.

### ❖ Exploration de la mécanique digestive

#### 1. Bouche, Pharynx, Œsophage

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).

- **Mastication** : Les fonctions essentielles des dents sont 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.



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 est sous le *contrôle nerveux de la branche motrice*, 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 (à l'inhibition des muscles qui maintiennent la bouche fermée).

- **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 ( $\text{Na}^+$ ), ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ) ou de sécrétion ( $\text{K}^+$ ), pour aboutir à une salive définitive.

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

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.

➤ **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).

## 2. 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*.

### ▪ 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.

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

## 3. 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.

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-iléaux*, *iléo-gastrique* et *intestino-intestinal*.

Les stimuli sont chimiques et mécaniques ; les voies afférentes sont nombreuses (nerf splanchnique).

#### 4. 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.

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 parasymphatique par le nerf vague ; elle est orthosymphatique par le nerf splanchnique ; le reste est innervé par les nerfs pelviens (ou érecteurs) cholinergiques et par des nerfs hypogastriques adrénériques.

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 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.

### II.5.3. La digestion des aliments

#### II.5.3.1. Digestion des glucides

##### ➤ Monogastriques

- ✓ Adulte: Amidon ; Amylases,

Disaccharidases, Produit terminal: glucose.

- ✓ Jeune: Lactose ; Lactase,

Produit terminal: glucose et galactose

➤ **Polygastriques**

- ✓ Cellulose ;
- ✓ Cellulase microbienne
  - Produits terminaux: AGV ;
    - Acide Acétique
    - Acide butyrique
    - Acide propionique

**II.5.3.2. Digestion des protéines**

- Estomac
  - ✓ Digestion peptique (acide)
  - ✓ Endopeptidases (pepsine)
- Digestion intestinale
- Pancréas
  - ✓ Trypsine (endopeptidase) ; Production de peptones
  - ✓ Carboxypeptidases & aminopeptidases (exopeptidases)
  - ✓ Intestin (lumière puis bordure en brosse).
  - ✓ Carboxypeptidases, aminopeptidases (exopeptidases) et dipeptidases  
Production d'acides aminés

**II.5.3.3. Digestion des lipides : Ingestion de graisses**

- Digestion intestinale ;
  - ✓ **Pancréas:** lipase
  - ✓ **Bile:** acides biliaires
  - ✓ Production d'acides gras et de monoglycerides

## II.6. Physiologie de L'excrétion

### II.6.1. Anatomie de l'appareil urinaire

**Définition:** l'appareil urinaire comprend le rein et les voies urinaires. Il remplit la fonction d'excrétion de l'urine et participe à l'évacuation des déchets de l'organisme. Il régule la composition et le volume du sang

#### II.6.1.1. Les Reins

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.

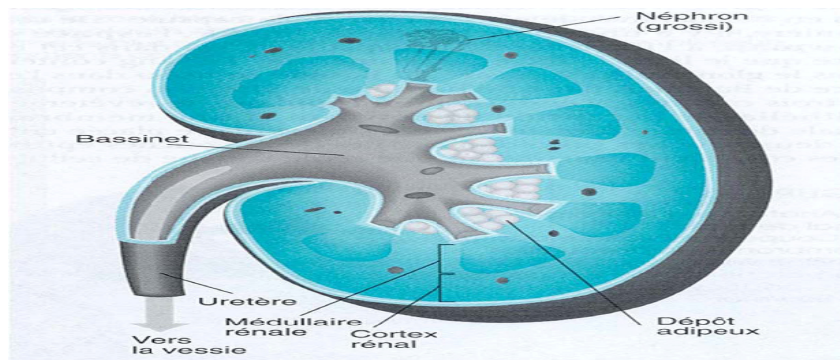
Les reins produisent **la rénine** et **l'érythropoïétine**. Elles stimulent la formation des hématies.

**Le système urinaire** se compose de différentes parties:

- ✓ Deux reins ==> fonction de filtration, sécrétion et réabsorption ;
- ✓ La vessie ==> fonction de réservoir ;
- ✓ Les uretères et l'urètre ==> fonction de conduction

Les reins filtrent le sang pour le débarrasser des déchets métaboliques. La formation de l'urine implique plusieurs étapes: une filtration glomérulaire, une réabsorption et une sécrétion dans les différents segments du tube urinaire.

L'urine, est ensuite déversée dans les calices et parvient ainsi au bassinnet. L'urine est transportée hors des reins par les uretères et amenée dans la vessie, avant d'être excrétée hors de l'organisme par l'urètre.



**Figure 14.** Anatomie d'un Rein

### II.6.1.2. Les voies urinaires

**A- Le bassinet** : Réservoir collectant l'urine filtrée par le rein

**B- Les 2 uretères** : Conduit à paroi élastique faisant progresser l'urine vers la vessie

**C- La vessie** : Poche élastique remplie d'urine (1,5 à 2 L)

**D- L'urètre** : conduit qui évacue l'urine vers l'extérieur. Il est fermé par le sphincter vésical.

### II.6.2. Fonctionnement de l'appareil urinaire

#### ❖ La vascularisation du rein

- ✓ L'artère rénale venue de l'aorte arrive au rein avec un sang non filtré
- ✓ Ce sang circule dans le rein et sort filtré par la veine rénale qui se jette dans la veine cave inférieure

#### Les reins: rôle essentiel dans l'épuration de l'organisme

#### ❖ L'élimination de l'urine : L'urine :

- ✓ Liquide jaune, acide, limpide
- ✓ L'urine est une solution salée d'urée + pigments biliaires

#### ❖ Structure et rôle du néphron ou tube urinifère

- ✓ Le néphron est l'unité fonctionnelle du rein. C'est le lieu de filtration du sang à partir duquel est produite l'urine ;
- ✓ Chaque rein contient plus d'1 million de néphrons qui ont un rôle capital dans le fonctionnement du rein (1600 L de sang et 180 L de plasma sont filtrés par jour par les néphrons du rein) ;

- ✓ Le néphron est constitué d'un glomérule et de tubules ondulés qui collectent l'urine et la transportent vers le bassinet

### ❖ Principales fonctions du rein

#### 1. Fonction exocrine du rein

- ✓ Maintien du volume et de la composition ionique des liquides de l'organisme (homéostasie) ;
- ✓ Excrétion des déchets métaboliques terminaux (urée, créatinine, acide urique, oxalate) ;
- ✓ Détoxification et élimination des toxines, médicaments et de leurs métabolites

#### 2. Fonction endocrine du rein

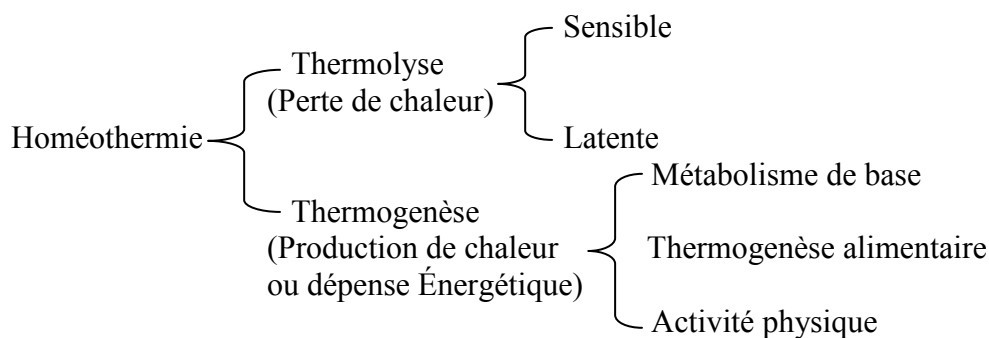
- ✓ Régulation de la pression artérielle (système rénine-angiotensine) ;
- ✓ Contrôle de l'érythropoïèse (érythropoïétine) ;
- ✓ Contrôle du métabolisme phospho calcique.

## II.7. La Thermorégulation

### II.7.1. Définition de la thermorégulation

**La thermorégulation** : du grec : thermos = chaleur et regylas = maintenir un équilibre (en adaptant des fonctions).

La thermorégulation est le mécanisme qui permet à un organisme de conserver une température interne constante. Elle met en jeu les processus de thermogénèse (production de chaleur) et de thermolyse (pertes de chaleur) qui s'équilibrent (figure 15).



**Figure 15.** Thermorégulation chez les oiseaux (LARBIER et LECLERCQ, 1992).



## II.7.2. Facteurs régulateurs de l'équilibre thermique

La température corporelle est une constante physiologique régulée (**GUENARD, 2001**), les animaux homéothermes ou endothermes possédant en effet, la capacité de réguler leur température centrale.

Chez les homéothermes, l'importance de l'activité thermorégulatrice nécessaire au maintien de leur température centrale constante, augmente quand la température ambiante se déplace vers des valeurs extrêmes (**ECKERT, 2004**).

La thermorégulation fait intervenir les mécanismes de thermogénèse (gain de chaleur) et ceux de thermolyse (perte de chaleur).

### II.7.2.1. Production de chaleur : La thermogénèse

Elle correspond à la production d'énergie calorique et est mesurée par calorimétrie directe ou indirecte. La thermogénèse de base correspond à la production calorique minimale enregistrée chez l'animal au repos, à jeun et dans les conditions de neutralité thermique (**TOUTAIN et COMBRISSE, 1990**). Lorsque l'animal est alimenté, il s'y greffe l'extrachaleur qui correspond à une production de chaleur supplémentaire liée aux activités de l'animal (ingestion, digestion, ...). De ce fait, cette fonction repose telle que définie par **GERAERT (1991)**, sur la chaleur produite par le métabolisme basal, l'activité physique et par l'effet thermogénique des aliments ou extra chaleur.

Selon **BERBIGIER (1988)** compartimente la production de chaleur comme suit :

- ✚ **Le métabolisme de base** : il correspond à la production de chaleur nécessaire à l'entretien des fonctions vitales. Il est approché par la mesure de la production de chaleur de l'animal au repos et à jeun. Cependant, des difficultés de son évaluation persistent, elles sont liées à la notion de jeun et l'effet de ce dernier sur le métabolisme énergétique de l'organisme.
- ✚ **Le métabolisme d'entretien** : il est atteint quand la quantité d'aliments ingérés permet le maintien du poids corporel de l'animal. Chez l'oiseau, l'énergie métabolisable ingérée est obtenue par différence entre l'énergie ingérée et celle excrétée.
- ✚ **La production de chaleur totale**: elle est définie comme la somme de la thermogénèse d'entretien et de l'extra-chaleur liée à la production. La production de chaleur totale, pour un animal au dessus de l'entretien est toujours inférieure à l'énergie métabolisable ingérée, la différence étant l'énergie nette de production.

### II.7.2.2. Pertes de chaleur : La thermolyse

La thermolyse consiste en l'ensemble des systèmes mis en jeu par les organismes homéothermes afin de dissiper le surplus de chaleur et de maintenir la température interne stable.

Selon **GIBERNEAU et BRABE (2007)**, la thermolyse s'effectue par deux voies :

- ✚ La voie non évaporative (dite sensible) qui regroupe : la conduction (quantitativement peu importante dans la plupart des cas), la convection et la radiation.
- ✚ La voie évaporative (dite insensible). Cette seconde voie qui correspond à l'évaporation d'eau, a une importance qui s'accroît dès que la température ambiante augmente.

La thermorégulation représente l'ensemble des processus permettant à l'homme de maintenir sa température interne dans des limites normales quel que soit son niveau métabolique ou la température du milieu ambiant.

- Elle repose sur un équilibre constant entre les apports et les pertes de chaleur.
- C'est l'hypothalamus qui est le centre de contrôle de la thermorégulation.

Les deux systèmes endocrinien et nerveux interviennent dans le maintien relativement constant du milieu intérieur (l'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.

### Homéostasie

#### ✓ **CLAUDE BERNARD (1833)**

Une des conditions de vie est la constance chimique du milieu intérieur.

#### ✓ **WALTER CANNON (1929)**

**Homéostasie** : conditions de relative stabilité interne maintenue par des systèmes de contrôles physiologiques.

### Maintien de l'homéostasie par :

- ⇒ Système endocrinien (hormonal) :
  - Sécrétion d'hormones dans le sang
  - Action lente, mais soutenue (durable)

- Action à distance

⇒ Système nerveux :

- Influx nerveux

- Action rapide, mais brève, action locale

## **Conclusion**

La physiologie animale s'intéresse aux mécanismes de fonctionnement des diverses fonctions vitales des organismes vivants du règne animal, ainsi qu'à leurs liens avec les structures organiques présentes à différents niveaux d'organisation.

Ce que l'on connaît sur la physiologie des organismes provient surtout d'expériences.

Le but de la physiologie est de comprendre comment fonctionnent ces organismes ; pour ce faire, on peut mesurer des variables nommées variables-clés en faisant varier des conditions expérimentales.

Le système nerveux des invertébrés est constitué d'un nombre réduit de neurones très spécialisés, tandis que le système nerveux des vertébrés est doté d'une multitude de neurones peu spécialisés. De ce fait, les neurones des invertébrés sont désignés à une tâche extrêmement réduite et unique.

---

## Références Bibliographiques

- BERNARD J.**, « l'hémostase », Ed. MASSON, coll. Abreges, 1983, 346 p.
- BERRONG S.L., et WASHBURN K.W., 1998.** Effects of genetic variation on total plasma protein, body weight gains, and body temperature responses to heat stress. *Poultry Science*. 77(3): 379-85.
- CABROL, R. VIALLE, H.** Guérin-Surville. Anatomie du coeur humain : 2003, 24 pages.
- CLAUDE JACQUILLAT.** Le Sang, PUF, coll. "Que sais-je?", 1989.
- CLEMENT H., 2015.** *Le traité Rustica de l'apiculture*. Rustica.
- ECKERT R., 2004.** Physiologie animale, mécanismes et adaptations. Edition De Boeck Université. 420 pages.  
Edition, Paris. 355 pages.
- GERAERT P.A., 1991.** Métabolisme énergétique du poulet de chair en climat chaud. *INRA Production Animale*. 4 (3): 257–267.
- GIBERNEAU M., et BRABE D., 2007.** Des fleurs « à sang chaud ». *Pour la Science*. 50-56.
- GILLES A., 2010.** « La biologie de l'abeille ». Thèse Doc. Ecole d'apiculture Sud-Luxembourg.
- GUENARD H., 2001.** Physiologie humaine (Tome 3). Rueil Malmaison: Editions Pradel. 320 pages.
- LARBIER M., et LECLERCQ B., 1992.** Nutrition et alimentation des volailles, INRA.
- MOISAN J., 2010.** « Guide d'identification des principaux macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds». Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 82 p.
- TOUTAIN P.L., et COMBRISSE H., 1990.** Thermorégulation et reproduction. *In*: Association pour l'étude de la reproduction animale. Influence de l'environnement sur la reproduction. Maisons-Alfort. 1-17.
- WALTER CANNON (1929),** Introduction du terme « Homéostasie »