

Institut Supérieur d'Agriculture de Bertoua (ISA)

Physiologie animale

Préparé et présenté Par :

M HAALAND NGUIMO N.

Chapitre 0 : introduction

Chapitre 1 les fondements généraux de la physiologie animale

Chapitre 2 : Physiologie cardiovasculaire

Chapitre 3 : physiologie de la digestion

Chapitre 4 : physiologie rénale

Chapitre 5 : physiologie de la respiration

Chapitre 6 : chaleur corporelle et régulation de la température

Chapitre 0 : Introduction : définition des concepts

La biologie est la science qui étudie le vivant. La zoologie est une branche de la biologie qui a pour objet l'étude scientifique de la vie animale. Un animal est un être vivant organisé, doué de sensibilité et qui (en général) peut se mouvoir (opposé aux végétaux). L'étude des animaux consiste à étudier les formes (morphologie) ou les fonctions (physiologie), d'une échelle globale à une échelle moléculaire, le comportement (éthologie), les associations (écologie), ou la répartition (zoogéographie).

Une étude anatomique de tous les êtres vivants montre qu'ils sont constitués d'une ou plusieurs cellules. Les organismes pluricellulaires sont constitués de cellules d'une grande diversité de formes et de fonctions. Toute seule, la cellule peut réaliser une multitude de tâches (digestion, respiration, déplacement, reproduction, etc.). Toutefois, dans le but de réaliser des tâches encore plus complexes, les cellules peuvent s'organiser entre elles et s'assembler afin de former des organismes pluricellulaires. En s'assemblant entre elles, les cellules forment des tissus qui, à leur tour, s'unissent pour former des organes. Plusieurs organes s'organisent de façon à créer un système. Un ensemble de systèmes peut ainsi assurer le fonctionnement de tout organisme vivant. On peut placer par ordre croissant de complexité ces éléments qu'on nomme **niveaux d'organisation**. Ces niveaux d'organisation vont de structures plus simples, comme des atomes et des molécules, à des structures plus complexes, comme l'organisme entier.

Voici les 7 niveaux d'organisation :

- L'atome,
- La molécule,
- La cellule,
- Les tissus : Ensemble de cellules dotées d'une structure et d'une fonction communes (exemples de tissus : le tissu épithéliaux ou épithélium, le tissu conjonctif, le tissu musculaire, le tissu nerveux).
- Les organes
- Les systèmes biologiques
- L'organisme

Un **système biologique** est un ensemble de cellules, de tissus et d'organes qui effectuent une ou plusieurs fonctions communes.

On regroupe tous les systèmes du corps humain en **3 grandes fonctions** :

- i- La fonction de **nutrition** : besoin de se nourrir et de respirer
 - Le système digestif
 - Le système respiratoire
 - Le système circulatoire
 - Le système lymphatique
 - Le système excréteur
- ii- La fonction de **relation** : besoin de maintenir son équilibre et d'interagir avec son environnement

- Le système nerveux
- Le système musculo-squelettique
- iii- La fonction de **reproduction** : besoin de se reproduire pour assurer la survie de l'espèce
- Le système reproducteur

Ce cours intitulé physiologie animale sera axé sur l'étude des grandes fonctions chez les animaux domestiques, avant d'y parvenir le point sera fait sur les fondements généraux de la physiologie animale, puis sur les concepts de morphométrie et d'allométrie.

Qu'est-ce qu'un animal domestique ? Quels sont les animaux domestiques ?

Un **animal domestique** est un animal élevé par l'Homme pour son bénéfice ou son plaisir.

La classification traditionnelle reposant sur la distinction vertébrés/invertébrés et définissant 5 classes de vertébrés (Mammifères, Oiseaux, Reptiles, Amphibiens et Poissons).

❖ Mammifères domestiques: ils appartiennent à 3 superordres:

- LES ONGULES: le cheval et l'âne) le bœuf - le mouton la chèvre les chameaux et les lamas
- LES CARNIVORES: le chien le chat
- LES GLIRES: le lapin le cobaye

❖ Les oiseaux domestiques: le coq, la pintade, le dindon le canard, l'oie le pigeon

Lexique

- VERTEBRES: Animaux qui possèdent une colonne vertébrale, il y a 4 classes: mammifères, oiseaux, amphibiens, poissons
- MAMMIFERE: Animal vertébré caractérisé par la présence de mamelles, d'une peau généralement couverte de poils, d'un cœur à 4 cavités, d'un encéphale relativement développé et d'une reproduction presque toujours vivipare (les nouveau-nés naissent développés et sans enveloppe)
- HERBIVORE: qui se nourrit d'herbe, exp: cheval, vache, mouton...
- OMNIVORE: qui se nourrit de substances animales ou végétales, exp: chien, homme
- RUMINANT: qui rumine, mammifère ongulé, herbivore et qui possède un rumen, exp: vache, mouton, chèvre
- CARNIVORE: ou carnassier, qui se nourrit de chair, exp: chien, chat
- RONGEUR: qui ronge, mammifère ayant des incisives à croissance continue, exp: rat - ONGULE: Animal dont les doigts se terminent par un sabot, exp: équidés, ruminants
- EQUIDE: Mammifère ongulé, strictement herbivore, qui possède un seul doigt à chaque patte, exp: cheval, âne, zèbre - BOVIN: Relatif à la vache, taureau, bœuf (grands ruminants)
- OVIN: Relatif au mouton, brebis, bélier
- CAPRIN: Relatif à la chèvre, bouc
- CAMELIN: Mammifère ruminant sans cornes, digitigrade (des animaux qui marchent sur leurs doigts), relatif au dromadaire, chameau, lama
- PRIMATE: Mammifère constituant le groupe animal le plus organisé, exp: homme, singe

- PERISSODACTYLES: Animaux ayant un nombre impair de doigts, exp: équidés (cheval, âne), rhinocéros
- ARTIODACTYLES: Animaux ayant un nombre pair de doigts, exp: ruminants
- TETRAPODES ou QUADRUPÈDES: Animaux ayant 4 membres

Qu'est-ce que la physiologie ?

La physiologie (du grec φύσις, phusis, la nature, et λόγος, logos, l'étude, la science) étudie le rôle, le fonctionnement et l'organisation mécanique, physique et biochimique des organismes vivants et de leurs composants (organes, tissus, cellules et organites cellulaires). La physiologie étudie également les interactions entre un organisme vivant et son environnement. Dans l'ensemble des disciplines biologiques, en définissant schématiquement des niveaux d'organisation, la physiologie est une discipline voisine de l'histologie, de la morphologie et de l'anatomie. La physiologie regroupe les processus qu'elle étudie en grandes fonctions cités plus haut. La physiologie comporte plusieurs subdivisions :

- Électrophysiologie
- Système nerveux
- Neurophysiologie
- Physiologie sensorielle
- Système reproducteur
- Système circulatoire
- Système respiratoire
- Système moteur, locomotions diverses
- Système digestif, alimentation et excrétion
- Thermorégulation

La physiologie des animaux domestiques constitue une physiologie comparée ; elle détermine les bornes communes des manifestations et des processus vitaux chez diverses espèces animales en prenant en considération les particularités morphologiques et fonctionnelles qui résultent de l'adaptation de chaque espèce à des conditions de vie déterminées.

Chapitre 1 : Les fondements généraux de la physiologie animale

1. Les compartiments liquidiens de l'organisme

1.1. 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.

1.2. Milieu intérieur

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

a- 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.

b- 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.

c- 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.

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

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 Na^+ est le cation le plus abondant. Les protéines annulent le Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} . Quant au Cl^- (100 mmol/L) et le HCO_3^- (25 mmol/L).
- ✓ Liquide interstitiel : Pas de protéines, diminution des cations et augmentation des anions.
- ✓ Milieu intracellulaire : le K^+ est le cation le plus abondant, les phosphates et les protéines sont les anions les plus abondants.

Tableau I : Résumé de la répartition des principaux ions dans les compartiments intraet extra-cellulaire

Compartiment extracellulaire

Compartiment intracellulaire	lymphe	Plasma
Na^+	Na^+	Na^+
Cl^-	Cl^-	Cl^-
K^+	K^+	K^+
Protéines		Protéines

2.1 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 gaz 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 l'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.

2.2. Principes physiologiques

➤ Le sérum physiologique

C'est essentiellement une solution saline qui permet de perfuser les organes et de les maintenir en vie. L'eau pur ne peut maintenir les organes en vie à cause du déséquilibre osmotique considérable qui s'établit entraînant la turgescence jusqu'à l'éclatement des cellules. Si on dissout le sel de cuisine (NaCl) dans de l'eau à raison de 1 pour 1000 pour les mammifères et 6,1 pour 1000 pour les grenouilles, on n'observe plus de turgescence. Si on associe au NaCl du KCl ou du CaCl, le résultat est meilleur, on peut aussi ajouter du bicarbonate de sodium (Ca.....) les résultats sont encore meilleurs si on ajoute aux trois chlorures (NaCl, NaP et CaCl) du glucose.

➤ La dialyse

La dialyse correspond à une diffusion passive de molécules à travers une membrane de dialyse. Cette dernière peut être assimilée à une surface percée de pores de tailles régulières. Elle se comporte vis à vis des solutés comme un tamis moléculaire : les molécules de taille inférieure aux pores passent à travers la membrane alors que les molécules de taille supérieure aux pores sont bloquées par la membrane.

On sépare un récipient par une membrane de dialyse, on obtient ainsi deux compartiments. On place dans un compartiment (1) une solution aqueuse contenant un soluté de taille inférieure aux pores de la membrane. On place dans l'autre compartiment (2) de l'eau distillée. Par diffusion passive, les molécules de soluté diffusent de (1) vers (2), c'est à dire du compartiment le plus concentré vers le compartiment le moins concentré (dans le sens des potentiels chimiques décroissants).

➤ L'osmose

L'osmose est un phénomène physique passif qui a lieu seulement si les solutions sont séparées par une membrane à perméabilité sélective. Seules les molécules d'eau traversent la membrane de la solution hypotonique (la plus diluée) vers la solution hypertonique (solution la plus concentrée) jusqu'à ce que les solutions soient isotoniques (de même concentrations). On rencontre l'osmose aussi bien pour la cellule vivante que pour la cellule morte. Si les deux milieux sont de même concentrations, aucun mouvement d'eau n'est observé : la cellule est en équilibre osmotique.

Chapitre 2 : PHYSIOLOGIE CARDIOVASCULAIRE

La **circulation sanguine** fournit aux cellules de l'organisme, par l'intermédiaire du sang, l'**oxygène et les substances** dont elles ont besoin pour survivre et jouer leur rôle dans le fonctionnement des organes. Pour ce faire, le sang emprunte deux circuits : le premier, appelé **circulation pulmonaire**, ou **petite circulation**, lui permet de se ré-oxygéner au contact des **alvéoles pulmonaires** ; le second, appelé **circulation systémique**, ou **grande circulation**, irrigue les organes en sang ré-oxygéné. Tous les échanges gazeux entre sang et organes s'effectuent par l'intermédiaire des capillaires, ramifications terminales de très petite taille des vaisseaux sanguins. La circulation sanguine activée par le cœur permet aux cellules de l'organisme d'assurer leur métabolisme et d'éliminer leurs déchets. La vie dépend de façon cruciale de la **constance des contractions du cœur** : un arrêt de trois minutes seulement entraîne des lésions irréversibles aboutissant à la mort cérébrale. Le cœur possède un **automatisme nerveux** permettant le fonctionnement **spontané du cœur** suivant une fréquence cardiaque. Cet automatisme est sous la dépendance du système nerveux **intrinsèque** du cœur.

1. Rappel sur l'appareil circulatoire

1.1. Les bases anatomiques

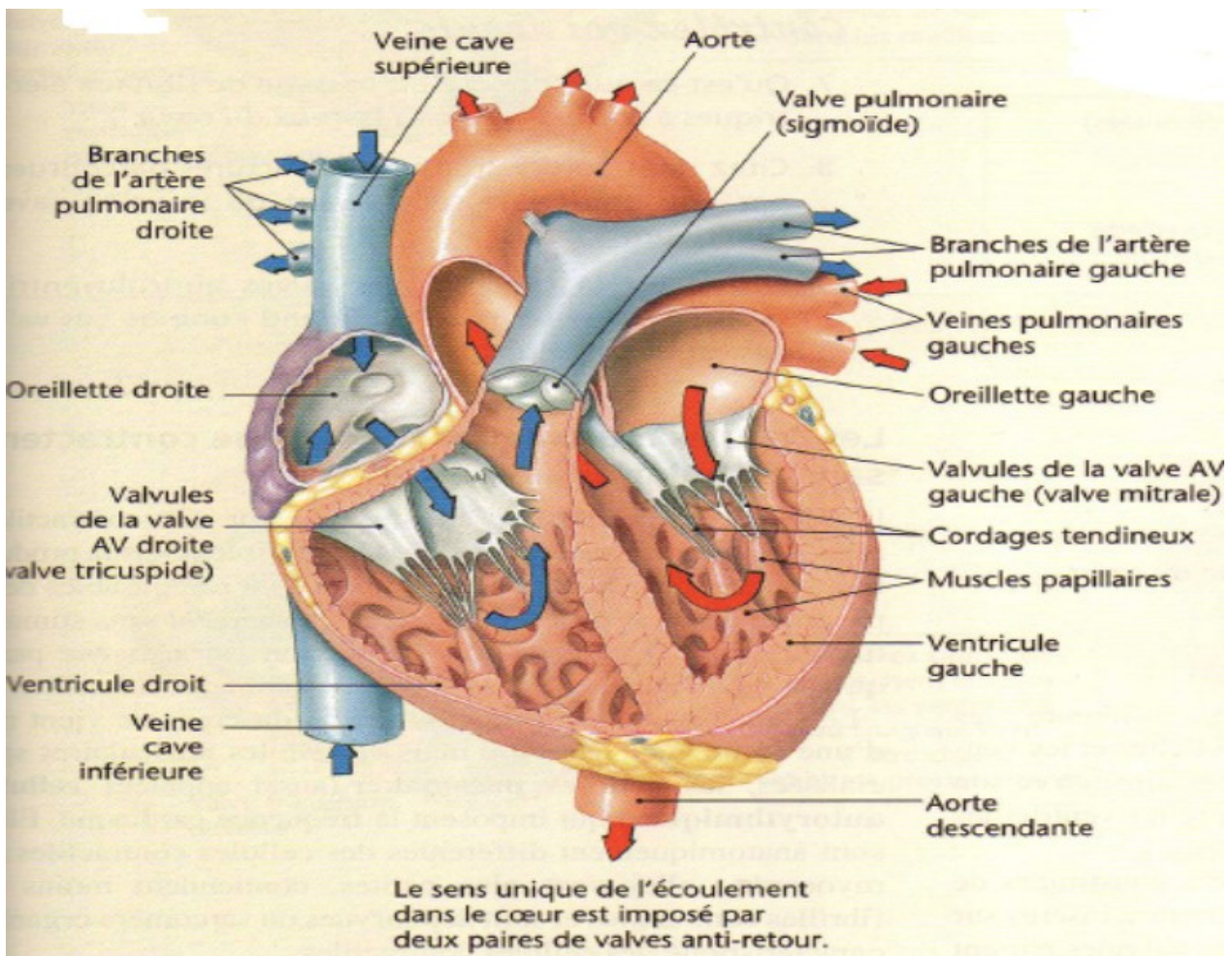
Le cœur est un muscle creux qui par sa contraction rythmique assure la progression du sang dans les vaisseaux : c'est une pompe. Il repose sur le diaphragme et est composé de quatre cavités. Il est divisé longitudinalement en deux parties indépendantes. Le cœur gauche est le plus puissant car il doit irriguer tout le corps.

Sa taille est fonction de l'espèce animale.

La taille et le poids du cœur sont proportionnels à la taille de l'animal, c'est à dire que plus l'animal est grand et plus la taille du cœur est grande et *vice versa* (tableau 5).

Tableau 5 : Relation entre la taille de l'animal et le poids du cœur

Espèce	Bovin	Chien	Chat	Girafe	Lapin	Cheval	Homme
Poids du cœur	2.5 kg	40-600g	10-20g	12.5 kg	10-15g	3.5kg	250 g



1.1.1. La paroi du cœur.

La paroi du cœur comprend de l'extérieur vers l'intérieur :

i) Le péricarde

Le cœur est recouvert d'une tunique membraneuse fibreuse appelée péricarde qui comprend deux feuillets. Un feuillet en regard du muscle cardiaque ou feuillet viscéral et un feuillet externe ou pariétal. Une mince pellicule péricardique remplit l'espace entre les deux feuillets et sert de lubrifiant entre le cœur et le sac qui l'enveloppe et soutient le cœur en amortissant les battements.

ii) Le myocarde

C'est le muscle cardiaque (figure 6). C'est un tissu musculaire composé de fibres organisées en réseau.

Il comporte des fibres musculaires striées formant un réseau anastomotique où les jonctions intercellulaires spécialisées constituent les stries scalariformes. Ce tissu est richement vascularisé, par des branches tributaires du réseau artériel coronaire.

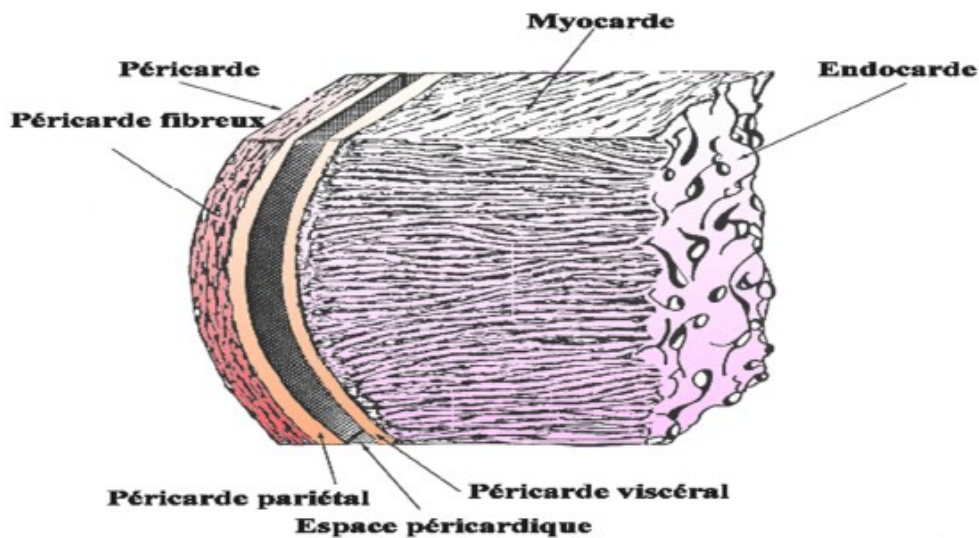
Le myocarde est constitué de 3 types de cellules ou myocytes :

- Les cellules musculaires myocardiques contractiles, majoritaires
- Les cellules nodales génératrices et conductrices du potentiel d'action

- Les cellules myocardiques endocrines

iii) L'endocarde

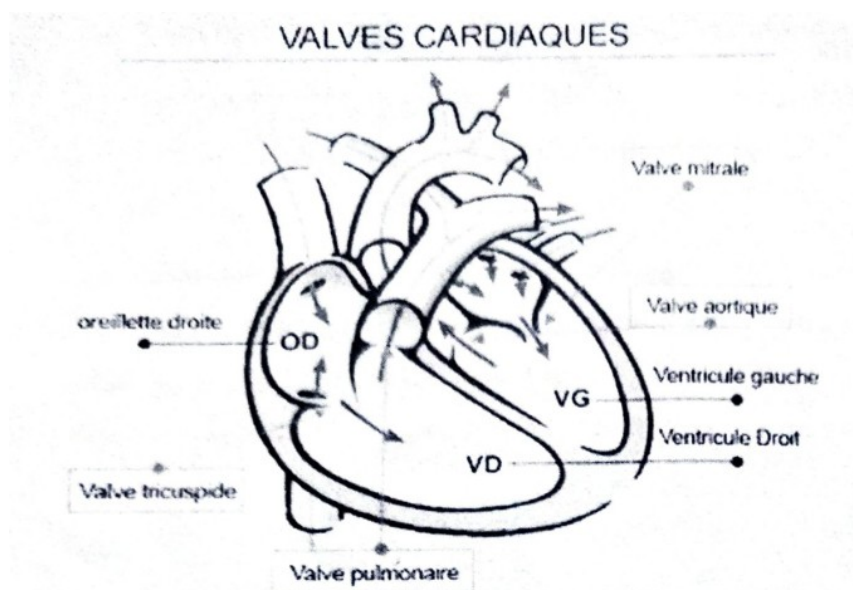
L'endocarde est un tissu très lisse, où passent les nerfs et les vaisseaux sanguins. L'endocarde tapisse l'ensemble des cavités internes du cœur et revêt les différentes faces ainsi que les cordages des valvules cardiaques. Il est séparé du myocarde sous-jacent par une couche sous-endocardique conjonctive contenant des nerfs, des petits vaisseaux sanguins ainsi que des cellules du tissu nodal.



1.1.2. Les valvules.

Les valvules forment une zone de transition entre oreillette et ventricule et entre ventricule et artère. C'est un ensemble conjonctif (comme une membrane). Elles ont une fonction de clapet. A partir de ces valvules partent des cordages fibreux ou tendineux. Ces cordages se rattachent à des muscles papillaires.

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



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

1.1.3. La circulation coronaire

Le cœur a son propre système de vascularisation qui forme une couronne autour du cœur. Les deux artères coronaires partent de la base de l'aorte. La gauche prend en charge 85% du débit sanguin irriguant le cœur et la droite, seulement 15%.

1.2. Révolution cardiaque.

Un **cycle cardiaque** ou battement cardiaque présente :

1. Une systole auriculaire : les 2 Oreillettes se contractent ; donc se produit un remplissage des Ventricules.

2. Une systole ventriculaire : les 2 Ventricules se contractent. Cette étape se fait en 2 étapes :

- Phase de mise en tension ou phase de contraction iso-volumétrique, qui commence par la fermeture des valvules auriculo-ventriculaires (1er bruit du cœur).

- Phase d'évacuation ou d'éjection ou phase de contraction isotonique. Les ventricules se vident. La quantité de sang éjecté par un ventricule est le volume systolique (les ventricules droit et gauche éjectent le même volume systolique).

3. Une diastole générale : les Oreillettes et les Ventricules sont relâchés.

1.2.1. Mise en évidence du fonctionnement cardiaque

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

Le corps et en particulier le liquide corporel est un bon conducteur électrique. Les variations de tension de l'ordre du millivolt (mv) liées à la dépolarisation et à la repolarisation des fibres musculaires cardiaques lors de la contraction peuvent être enregistrées après une amplification appropriée. Pour cet enregistrement, les électrodes sont placées à la surface du corps, au niveau de la peau.

1.2.2. Electrocardiogramme

Un électrocardiogramme (ECG) correspond à l'enregistrement de l'activité électrique du cœur, nécessaire à ses contractions. Pour cela, on dispose des électrodes au niveau des chevilles, des poignets et sur la poitrine des patients. L'examen est effectué dans un service de cardiologie.

1.2.2.1. Pratique de l'électrocardiogramme

L'électrocardiogramme fournit immédiatement des renseignements sur la santé du cœur. Il est utilisé pour différentes raisons :

- en prévention (bilan de santé, avant une opération chirurgicale lourde) ;
- en cas de douleur thoracique ;
- dans le cas de certaines maladies cardiovasculaires (infarctus du myocarde, hypertension artérielle...).

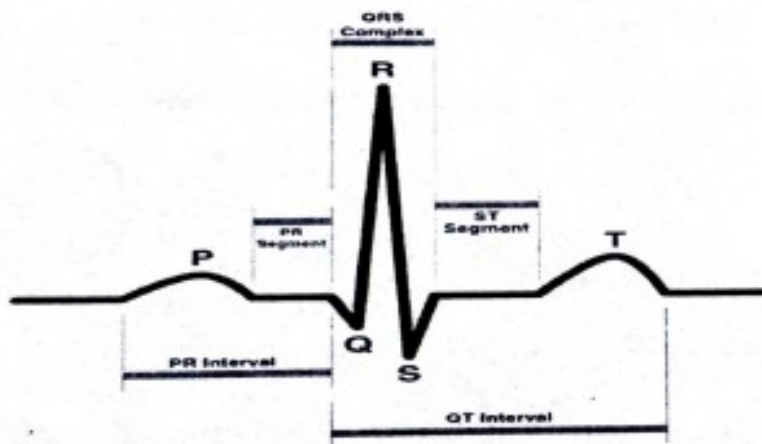
1.2.2.2. Déroulement de l'électrocardiogramme

Cet examen médical a l'avantage d'être non **invasif**, sans risque, non douloureux, et assez rapide, puisqu'une bonne dizaine de minutes suffisent pour obtenir le tracé et un diagnostic du médecin. Une dizaine d'électrodes sont placées sur le patient, au niveau des chevilles, des poignets, et six au niveau du torse. Le tracé apparaît alors sur une bande de papier et est immédiatement interprétable.

1.2.2.3. Lecture de l'électroencéphalogramme

Dans un tracé typique, on peut remarquer cinq ondes caractéristiques. On les appelle P, Q, R, S et T. L'illustration ci-dessous montre à quoi ressemble un électrocardiogramme normal :

- l'onde **P** marque la dépolarisation lors de la contraction des oreillettes ;
- l'intervalle **PR** indique le temps nécessaire à la transmission de l'influx électrique du nœud sinusal des oreillettes jusqu'aux muscles ventriculaires ;
- le complexe **QRS** marque la dépolarisation et la contraction ventriculaire ;
- l'intervalle **QT** correspond à la repolarisation ventriculaire globale ;
- l'onde **T** désigne la fin de la repolarisation ventriculaire.



1.2.3. Automatisme cardiaque.

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

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

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

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

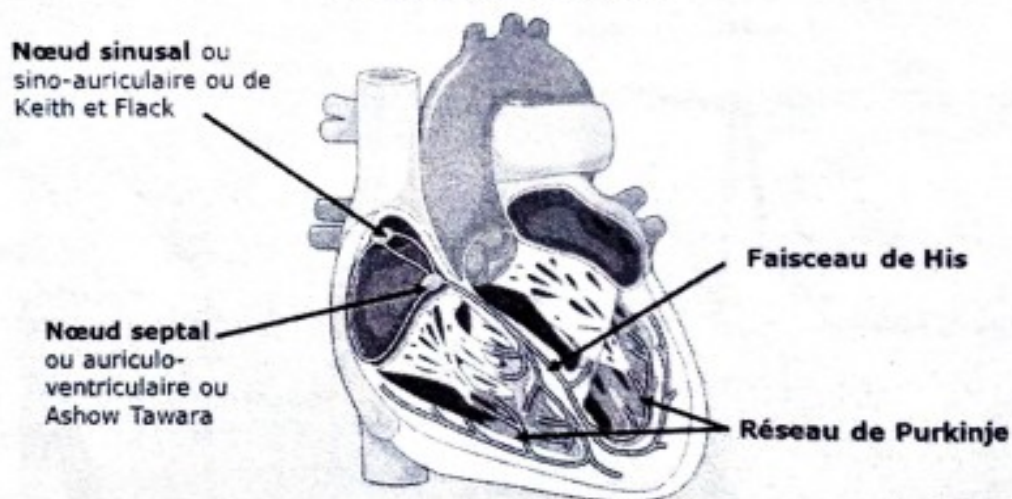
Cet influx continue par le **faisceau de Hiss**, dans la cloison inter-ventriculaire. Il se divise ensuite en deux branches qui se ramifient à la pointe des ventricules et donnent le **réseau de Purkinje**.

- Les **cellules nodales** possèdent plusieurs propriétés :

Ce sont des cellules **auto-excitables** car elles sont capables de se dépolariser spontanément et rythmiquement ce qui génère des potentiels d'action qui provoquent la contraction cellulaire.

- Ce sont des **cellules excitatrices** car elles sont capables de transmettre la dépolarisation aux cellulesmyocardiques striées avec lesquelles elles sont en contact et donc de les faire se contracter.

→ Le tissu nodal



La membrane de toutes les cellules est polarisée : c'est une différence de potentiel entre la face interne et la face extérieur de la membrane plasmique. Son origine est une répartition *inéga*le des ions positifs et négatifs entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Ceci est appelé le **potentiel de repos** ou la polarité membranaire.

Le maintien du potentiel de repos se fait grâce au transport passifs et actifs d'ions à travers la membrane : Transports passifs (exemple : Na^+ entrent par les canaux de fuite, et K^+ sort par les canaux de fuite) • Transports actifs (exemple la Pompe Na^+/K^+ ATPase dépendante fait sortir le Na^+ et entrer le K^+ , ce qui maintient le gradient de concentration).

Le potentiel d'action traduit une variation du potentiel de membrane : Avant le stimulus, la membrane plasmique est polarisée, la dépolarisation est due à l'ouverture des canaux du Na^+ qui entre rapidement dans la cellule. La repolarisation de la membrane est due à la fermeture des canaux de Na^+ et ouverture des canaux de K^+ pour le faire sortir, rétablissement des concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane, par intervention de la pompe Na^+/K^+ ATPase ce qui permet le retour du potentiel de repos qui est -90 mV .

1.2.4. Pression artérielle

La pression artérielle correspond à la pression du sang dans les artères. C'est aussi la force exercée par le sang sur la paroi de ces artères. La pression artérielle est souvent mesurée en millimètre de mercure (mm Hg).

Elle est généralement exprimée par 2 mesures : PAS et PAD : La pression artérielle systolique (PAS) : c'est la pression artérielle maximale au sommet de la phase d'éjection systolique. La pression artérielle diastolique (PAD) : c'est la pression artérielle minimale avant l'ouverture des valvules aortiques.

1.2.5. Débit cardiaque et Régulation de l'activité cardiaque

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

Pendant un exercice, le volume de sang allant vers les muscles augmente, celui allant vers le système digestif diminue.

La régulation se fait par :

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

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

***Contrôle extrinsèque** : Contrôle nerveux et hormonal :

Le système nerveux autonome régule l'activité du cœur, mais il ne la déclenche pas. Le contrôle nerveux s'effectue par 2 systèmes antagonistes :

Système sympathique : possède un effet cardio-accélérateur. Les fibres sympathiques libèrent un neurotransmetteur : la **noradrénaline**, qui à proximité des cellules du nœud sinusal,

augmente la fréquence de dépolarisation et provoquant ainsi l'augmentation du rythme cardiaque.

Système parasympathique : avec un effet cardio-modérateur: les fibres parasympathiques libèrent un neurotransmetteur : l'**acétylcholine** à proximité des cellules du nœud sinusal, qui ralentit la fréquence de dépolarisation de ces cellules, provoquant ainsi un ralentissement de la fréquence de dépolarisation.

RQ : lors de la régulation hormonale du cœur, l'**adrénaline** est activée par les glandes médullo-surrénales en condition de stress ce qui entrainera une accélération du rythme cardiaque.

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

1.3. La circulation

1.3.1. Grande circulation

Apporte l'oxygène et les nutriments aux cellules. Le sang quitte le ventricule gauche entre dans l'aorte et va se répartir dans tout l'organisme par le système artériel et les capillaires. Il est repris par le système veineux débouchant finalement dans la veine cave, celle-ci rejoignant l'oreillette droite. Le système porte collecte le sang au niveau des intestins, gagne le foie d'où le sang rejoint le cœur (oreillette droite).

C'est le système qui transporte tous les nutriments provenant de la digestion.

1.3.2. Petite circulation

Le sang revenant au cœur est chargé de CO_2 et d'autres déchets. Il va se purifier et s'oxygéner au niveau des poumons. Il quitte le ventricule droit par l'artère pulmonaire (cette artère transporte donc du sang veineux), va vers les poumons puis revient au cœur par les veines pulmonaires s'abouchant au niveau de l'oreillette gauche. Le cycle est donc bouclé.

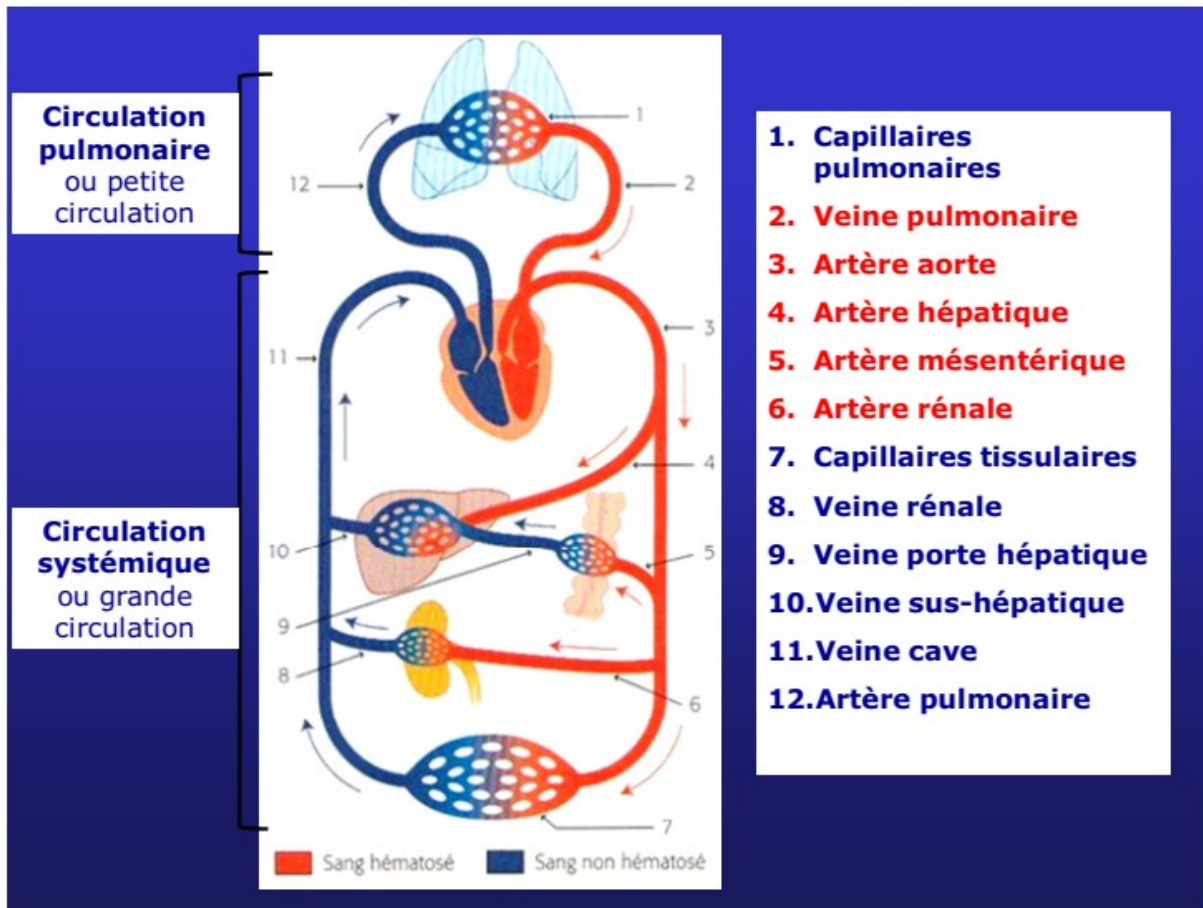


Figure 11: Les circulations systémique et pulmonaire

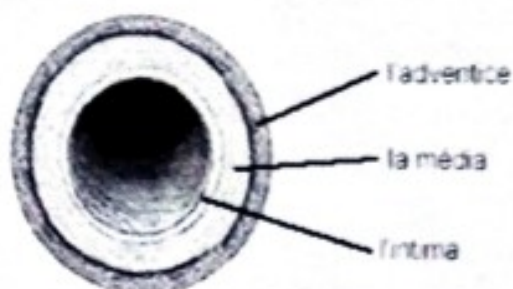
1.4. Physiologie des vaisseaux.

1.4.1. Caractères généraux.

1.4.1.1. Les artères.

Les artères sont constituées de trois couches (figure) :

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



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

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

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

1.4.1.2. Les veines.

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

L'intima forme des replis qui donneront des **valvules anti-reflux** → circulation en sens unique vers le cœur.

1.4.1.3. Les capillaires.

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

1.4.1.4. Les vaisseaux lymphatiques.

Le liquide interstitiel est drainé et filtré par les vaisseaux lymphatiques qui passent dans tous les organes. Ce liquide est *composé de liquide sanguin en excès*. Sa composition est comparable à celle du plasma. Les capillaires lymphatiques sont disposés en réseaux concentrés, puis en canaux et enfin en veines.

La lymphe est collectée par deux grands collecteurs :

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

NB : La lymphe rejoint ensuite la circulation sanguine.

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

1.4.2. Le rythme cardiaque

C'est le nombre ou la fréquence des battements cardiaques par unité de temps.

Le rythme cardiaque est influencé par l'espèce animale et la taille. En général, de petits animaux ont un rythme cardiaque plus élevé que les gros animaux. Ceci est lié à un taux métabolique plus élevé nécessité par une surface par unité de poids corporel plus élevée.

Dans une même espèce, le rythme cardiaque est influencé par :

L'âge (le cœur du jeune bat plus vite que celui du vieux) ;

Le sexe (le rythme cardiaque est plus élevé chez la femelle que chez le male à âge égal) ;

L'activité physique ;

L'état de santé (la maladie peut modifier la fréquence cardiaque) ;

La taille (à âge égal dans une même espèce, le sujet le plus petit a une fréquence cardiaque plus élevée.

L'émotion (la peur fait augmenter le rythme cardiaque)

- La **bradycardie** est une réduction du rythme cardiaque par rapport à la normale.
- La **tachycardie** est une accélération ou augmentation du rythme cardiaque
- L'**arythmie** est une irrégularité du rythme cardiaque

Le développement du cœur suite à la pratique sportive de haut niveau entraîne une réduction du rythme cardiaque, soit une sorte de bradycardie physiologique

On observe les valeurs suivantes :

- cheval : 36 pulsations / minutes
- hommes : 72
- bovin : 60-70
- mouton, chèvre : 70-80
- chien : 70-120
- chat : 110-130
- volaille : 200-400

CHAPITRE 4 : PHYSIOLOGIE DE LA DIGESTION

Une grande part des composants organiques des aliments est sous forme de grosses molécules qui doivent être fragmentées en éléments plus simples susceptibles de franchir les parois du tube digestif. On appelle digestion l'ensemble des mécanismes conduisant à cette fragmentation.

1. Données anatomiques de l'appareil digestif

1.1. La bouche

C'est la partie la plus antérieure du tube digestif. Elle est également appelée cavité buccale. C'est dans la bouche que les aliments sont reçus.

1.1.1. Les dents

Elles servent à saisir, couper, déchirer et broyer les aliments. La formule dentaire indique chez chaque espèce le nombre d'incisives, de canines, de prémolaires sur une moitié de la bouche.

Le tableau ci-dessous donne la formule dentaire chez quelques mammifères.

Formule dentaire de quelques animaux domestiques

	<i>Incisives</i>	<i>Canines</i>	<i>Prémolaires</i>	<i>Molaires</i>
<i>Chats</i>	3/3	1/1	3/2	1/1
<i>Chiens</i>	3/3	1/1	4/4	2/3
<i>Bovins</i>	0/4	0/0	3/3	3/3
<i>Ovins</i>	0/4	0/0	3/3	3/3
<i>Caprins</i>	0/4	0/0	3/3	3/3
<i>Chevaux</i>	3/3	1/1	3/3	3/3
<i>Porcins</i>	3/3	1/1	3/2	3/3
<i>Chameaux</i>	1/3	1/1	3/3	3/3

1.1.2. La langue

C'est un organe musculaire qui sert à malaxer les aliments dans la bouche. Chez certaines espèces, elle sert également à saisir et à apporter les aliments à la bouche. La surface supérieure de la langue est hérissée de nombreuses papilles.

1.1.3. Le pharynx

Localisé à l'arrière de la bouche, le pharynx est la voie de passage commune à l'air et aux aliments. Le pharynx s'ouvre dans la bouche par les cavités nasales, les trompes d'Eustache, le larynx et l'œsophage.

Pendant le passage des aliments dans le pharynx, les facteurs réflex et mécaniques, associés à la déglutition empêchent les aliments d'entrer dans le larynx.

1.1.4. Œsophage

C'est un tube musculéux qui va du pharynx jusqu'à l'estomac.

1.1.5. L'estomac

C'est un sac qui sert au stockage et au début de la digestion des aliments. L'estomac sécrète le suc gastrique et l'acide chlorhydrique (HCl). C'est le vrai estomac des monogastriques.

Chez les ruminants, en plus de ce vrai estomac appelé caillette, on distingue des estomacs antérieurs destinés à la fermentation bactérienne nécessaire pour la digestion du fourrage. Il s'agit du réseau, du feuillet et du rumen (grande panse).

1.1.6. L'intestin grêle

Il comprend trois parties : le duodénum, le jéjunum et l'iléon

Dans le duodénum débouchent les canaux pancréatique et cholédoque. C'est au niveau de l'intestin grêle qu'a lieu l'absorption de la plus grande partie des nutriments issus de la digestion.

1.1.7. Le gros intestin

Il est constitué du colon et du caecum. Le développement du gros intestin varie avec les espèces animales. C'est dans le gros intestin qu'a lieu la fermentation. Il se termine au niveau de l'anus. La fermentation ici sert à digérer ce que les monogastriques ne digèrent pas ou digèrent mal.

1.2. Fonctionnement de l'appareil digestif

Les aliments tels qu'ils sont ingérés, ne peuvent être utilisés par l'organisme. Ils doivent être dégradés en molécules plus simples, ce qui requiert divers processus physiques et chimiques. Une partie va être éliminée et l'autre résorbée.

Toutes ces transformations sont réglées par le système nerveux (synchronisateur) et le système hormonal (dépendant des conditions régnant dans chaque portion du tube digestif).

2. Processus généraux

Selon la composition de la majeure partie des aliments, on distingue plusieurs types d'appareil digestifs.

2.1. Herbivores

2.1.1. Polygastriques

Les polygastriques ont un estomac volumineux composé de plusieurs poches (la panse ou rumen, le réseau ou bonnet, le feuillet ou livret, la caillette). Ces animaux ingurgitent rapidement des aliments qui seront remaniés par la suite lors de la **rumination** puis passeront dans l'intestin grêle où les nutriments seront résorbés.

Exemple de polygastriques : ovins, bovins, camelin ...

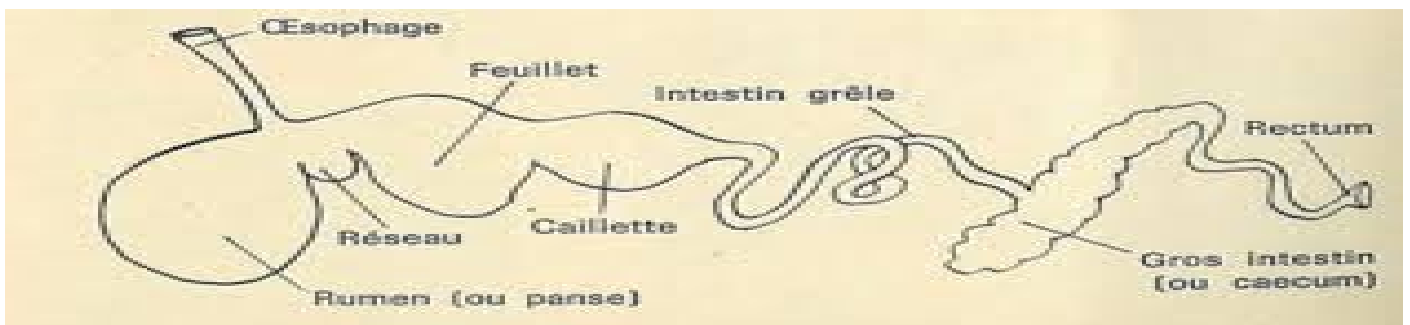
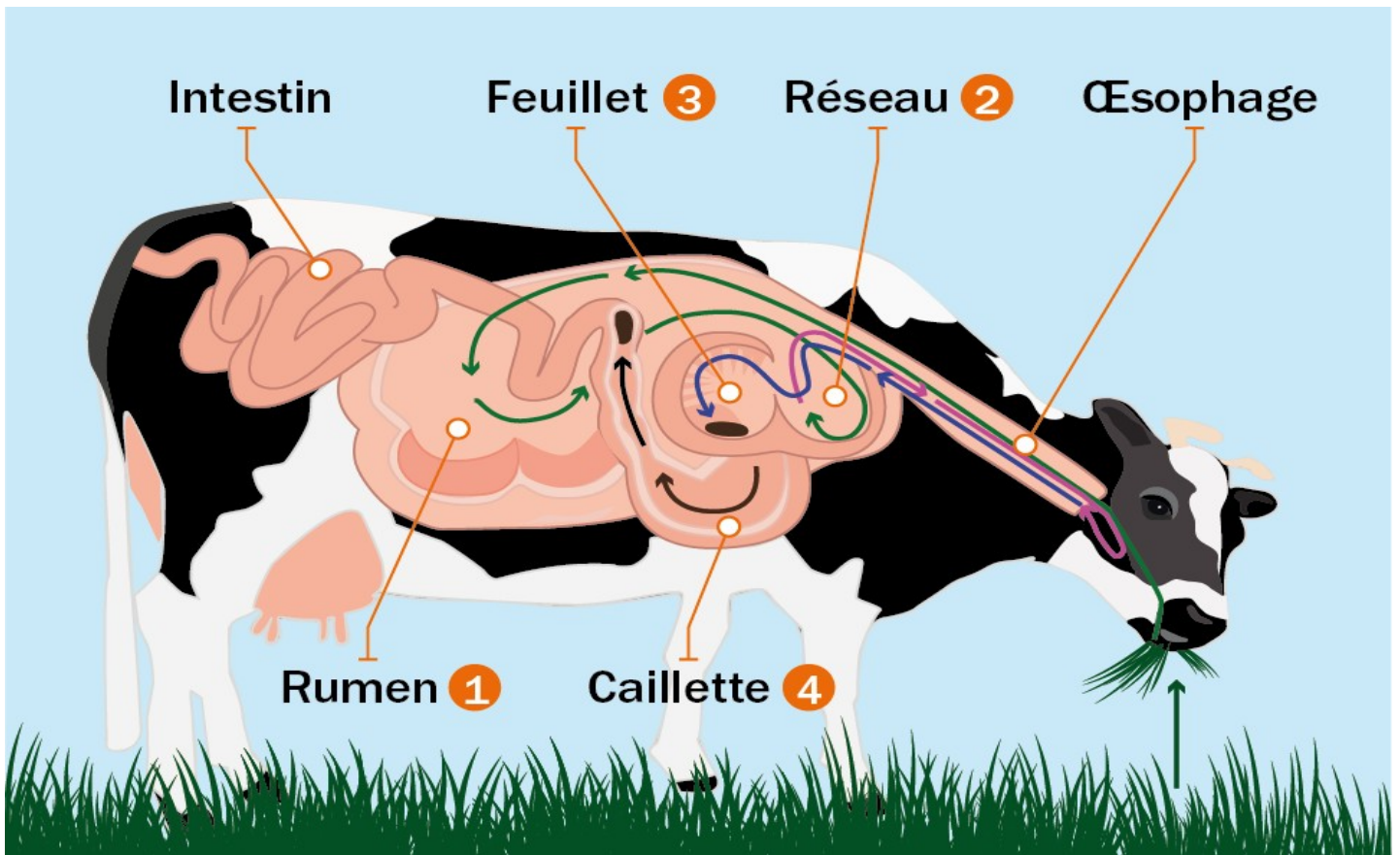


Figure : tube digestif d'un polygastrique

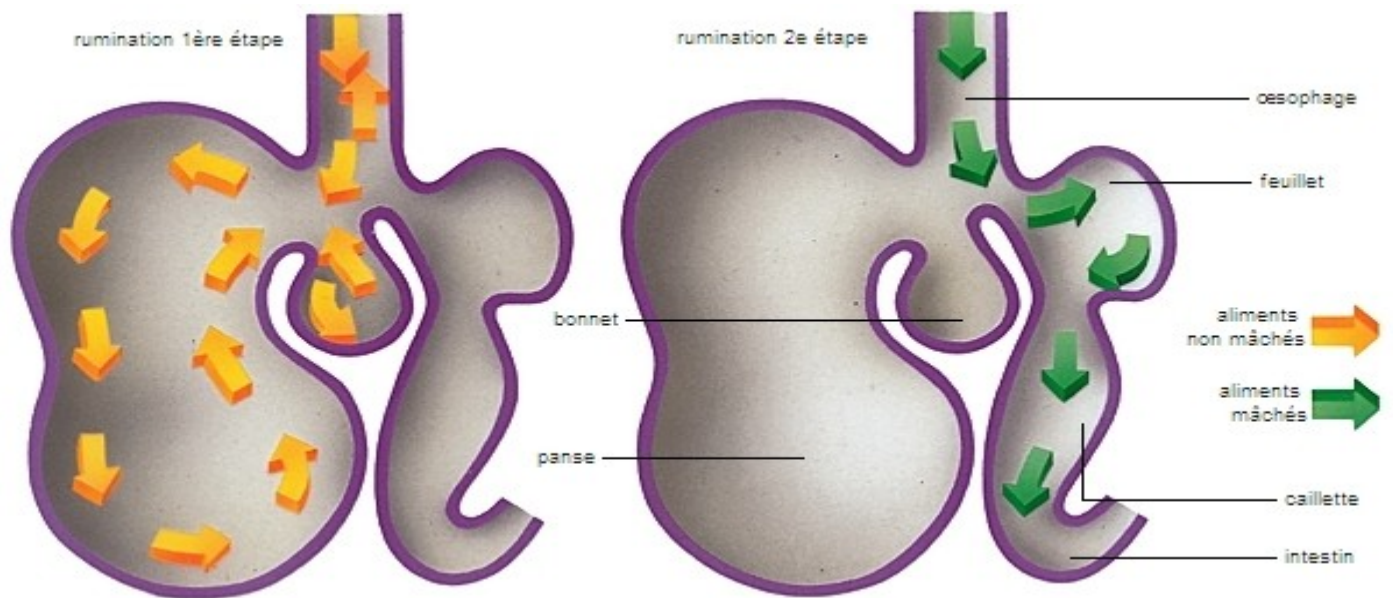


Figure : principe de la rumination

Principe de la rumination

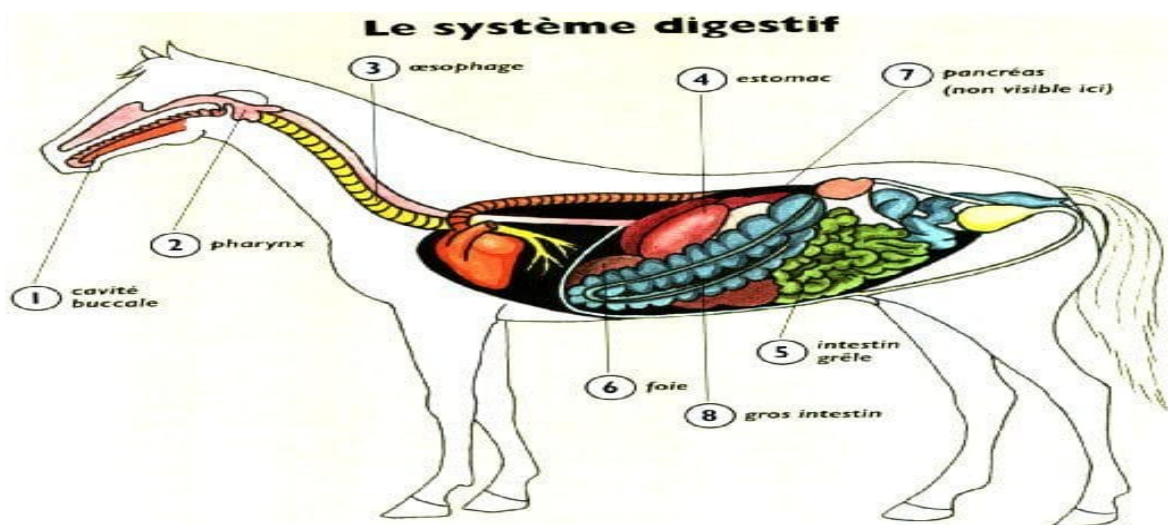
- Définition : la rumination c'est l'action de ramener dans la bouche, pour les mâcher, les aliments qui ont déjà séjourné dans la panse, ou rumen.
- Etape : Une fois broyés, les morceaux retournent dans la panse et commencent à être digérés grâce à l'action de micro-organismes. Cette bouillie passe ensuite par le bonnet qui va filtrer les morceaux trop gros et les remonter pour une nouvelle mastication.

2.1.2. Monogastrique

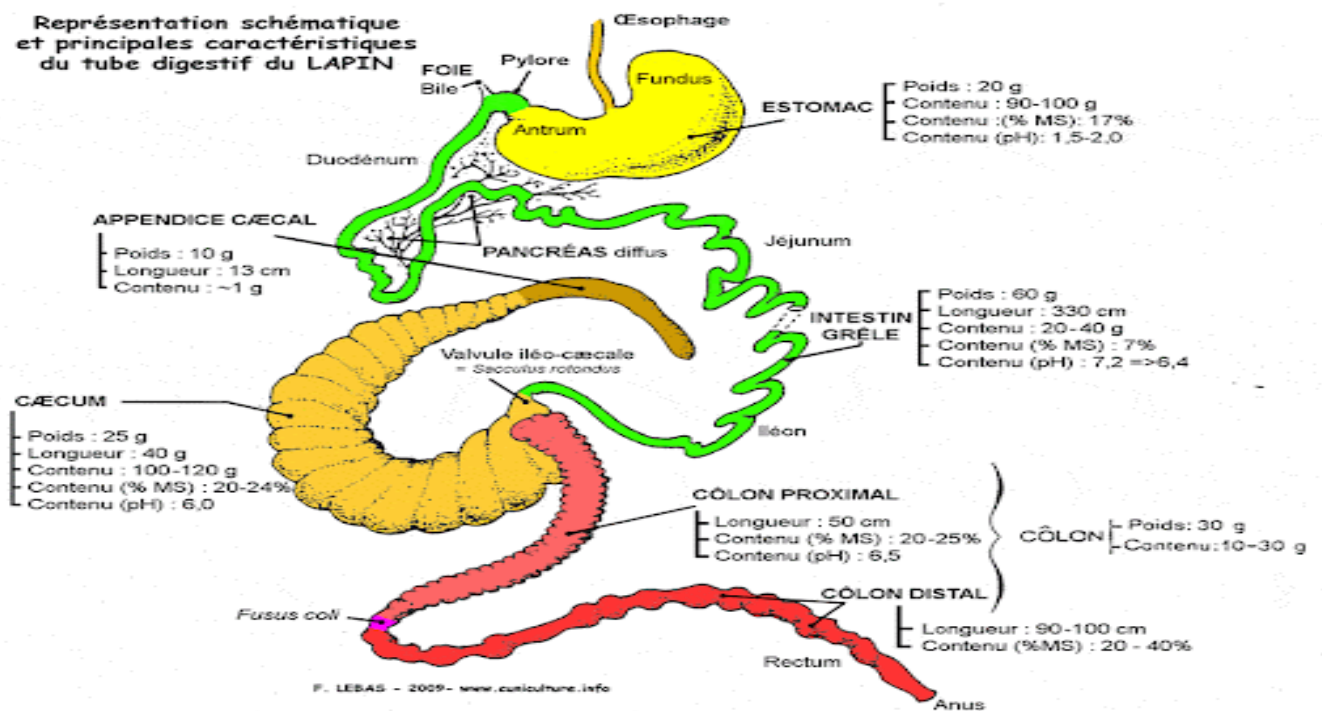
2.1.2.1. Herbivores

Chez les monogastriques, la fermentation se fait dans le gros intestin, c'est-à-dire après les portions intestinales à résorption maximale.

Exemple de monogastriques herbivores : cheval, lapin

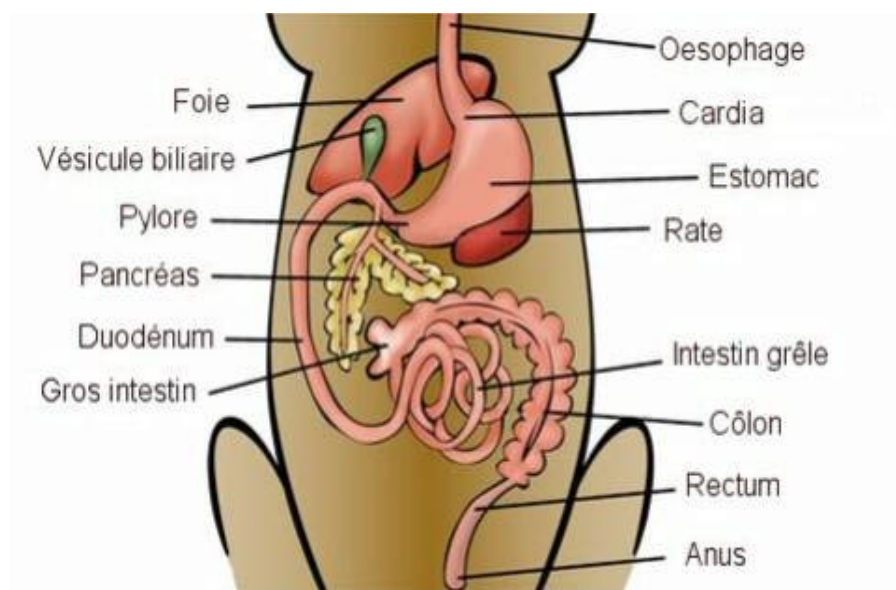


Représentation schématique et principales caractéristiques du tube digestif du LAPIN



2.2. Carnivores

Leur denture déchire les aliments, riches en principes nutritifs. Le tube digestif sera court, 4-6 fois la longueur de l'animal.



Tube digestif du chien

2.3. Omnivores

Leur tube digestif est intermédiaire entre celui des monogastriques et des carnivores.

L'appareil digestif du porc

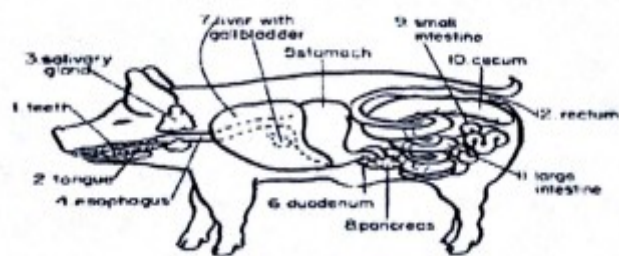
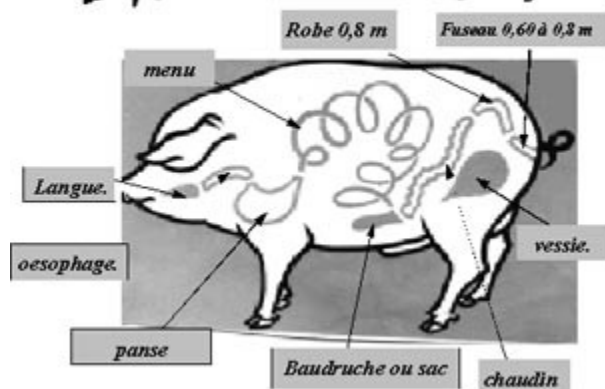
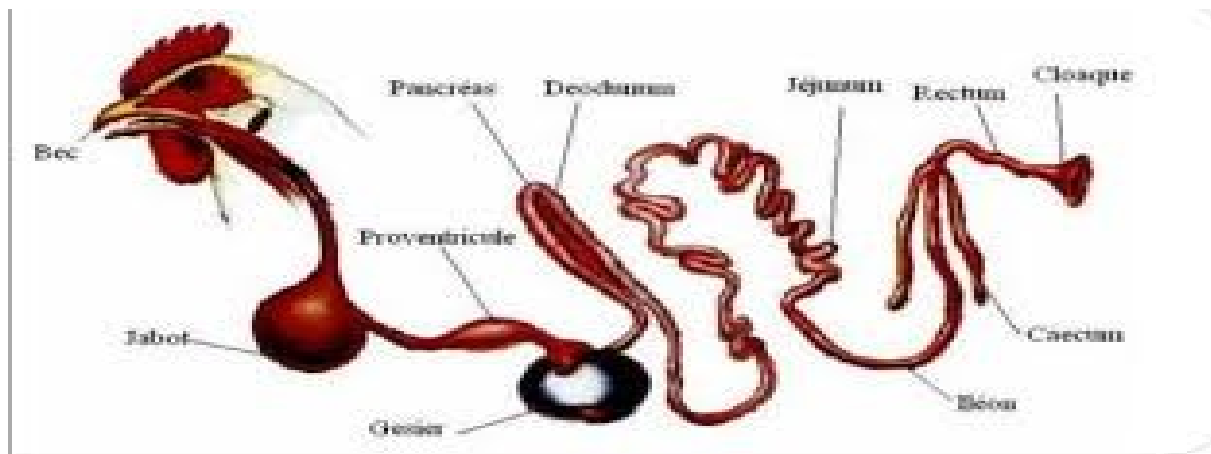


Figure : Schéma annoté de l'appareil digestif du porc

2.4. Oiseaux

Les réservoirs gastriques sont multiples (les aliments sont broyés dans le gésier) et l'intestin est très bref.



3. La digestion

Deux types de processus interviennent dans la digestion : Les processus physiques et chimiques.

3.1. Les processus physiques

Ils se rapportent à la division, à l'imbibition et au transport.

Motricité du tube digestif

La motricité du tube digestif est assurée par :

- des muscles Propre au tube digestif (interviennent dans la préhension, la mastication, la préparation à la déglutination et à la défécation) ou appartenant à d'autres appareils (diaphragme, muscle abdominaux).

- des nerfs. L'intestin possède sa mobilité propre (automatisme intestinal), le système nerveux n'intervenant qu'en tant que régulateur de celle-ci.

L'automatisme intestinal est dû aux muscles lisses et se manifeste par 3 types de mouvements principaux :

- Mouvements de segmentation (contraction des fibres circulaires départageant le contenu intestinal).
- Mouvements pendulaires (les anses intestinales se balancent à la façon d'un pendule).

- Mouvement péristaltiques (résultent de l'activité coordonnée des 2 sortes de fibres musculaires, en vue de faire avancer le bol alimentaire). Parfois, on rencontre des mouvements antipéristaltiques (gros intestin).

3.2. Processus chimiques

Les processus chimiques sont assurés par les diastases d'origine varié :

- sécrétions digestives (salive, sucs gastrique, pancréatique, intestinal)
- microorganismes : présents normalement ou accidentellement dans le tube digestif.

3.2.1. Sucs digestifs

Les sucs digestifs sont des hydrolases dont la sécrétion est provoquée par 2 types de mécanismes :

- mécanisme nerveux : les réflexes pouvant être simples (c'est-à-dire déclenchés par le contact des aliments avec certaines zones sensibles du tube digestif) ou conditionnés (résultat des préparatifs du repas ou de la perception (vue, odeur...) des aliments).
- mécanismes hormonaux : un stimulus initial libère une substance qui, par voie sanguine, va exciter les cellules glandulaires. La sécrétion s'établit lentement mais est plus durable que la sécrétion réflexe.

a) La salive

Liquide incolore, légèrement alcalin, résultant du mélange des produits de sécrétion des diverses glandes salivaires. La quantité varie selon la nature de l'aliment.

- ✓ Par son apport d'eau, la salive ramollit les aliments et dissout les substances sapides (rend donc la gustation possible).

Par son alcalinité, elle neutralise les acides formés par la fermentation au niveau du rumen.

Par la ptyaline, elle dédouble l'amidon en maltose chez l'homme, l'oie et le lapin. Cette action sera suivie de celle de l'amylase pancréatique.

Le suc gastrique

C'est un liquide incolore, inodore dont le PH varie entre 1 et 3 chez l'adulte. Sa sécrétion est régulée essentiellement par des mécanismes nerveux :

Le suc gastrique est composé de :

- ↓ La mucine tapisse la muqueuse stomacale et la protège contre l'attaque du suc gastrique.
- ↓ L'acide chlorhydrique Inhibe le développement des microorganismes apportés par les aliments ; Solubilise certains sels (phosphates, carbonates); Assure un pH favorable à l'action de la pepsine; Sa présence dans le duodénum stimule les sécrétions pancréatiques et biliaires.
- ↓ pepsine : catalyse l'hydrolyse des protides (insolubles dans l'eau) en polypeptides (soluble dans l'eau).
- ↓ présure : très importante chez le jeune, elle provoque la coagulation du lait, c'est-à-dire la précipitation des albumines (caséine) avec les globules gras du lait. Le lait pourra de la sorte être plus facilement digéré.

b) Le suc pancréatique

Le suc pancréatique est un liquide alcalin, incolore dont la sécrétion est réglée par :

- ✓ un mécanisme nerveux (peu important, lié à l'introduction d'aliment dans la bouche)
- ✓ mécanisme humoral (lorsque le chyme passe de l'estomac dans le duodénum, l'acidité provoque la sécrétion d'une hormone, **la sécrétine**, agissant sur le pancréas).

Parallèlement aux acides, les sels biliaires et les graisses agissent sur la production de sécrétine.

De par les enzymes qu'il contient, le suc pancréatique est la plus importante des sécrétions digestives. Il contient:

- ✓ l'amylase : assure la première phase de la dégradation des glucides (ou dans certaines espèces, continue l'action de la ptyaline). Elle dégrade l'amidon en maltose.
- ✓ Protéinase : trypsine ; elle dédouble les protéines en polypeptides et les nucléoprotéines en protéines et acides nucléiques. Le suc pancréatique renferme du trypsinogène se transformant en trypsine en présence d'entérokinase (secrétée par l'intestin grêle). L'optimum d'activité se situe entre le pH 7 et 9.
- ✓ Lipase : hydrolyse les lipides en glycérol et acide gras. Cette hydrolyse est facilitée par l'action émulsifiante des sels biliaires et l'action du bicarbonate contenu dans le suc pancréatique transformant une partie des gras en savons.

c) La bile

Liquide jaune verdâtre

- **Composition** : La bile contient de l'eau (dans certaines espèces, il y a concentration de la bile au niveau de la vésicule biliaire), des pigments biliaires (biliverdine, donnant la bilirubine par réduction), des sels biliaires (glycocholates et taurocholates de Na), du cholestérol et de la mucine.

- **Rôles de la bile**

- les sels biliaires émulsifient les matières grasses et stabilisent les émulsions ;
- la bile active la lipase pancréatique ;
- la bile est une voie d'élimination pour certaines substances élaborées par l'organisme et des pigments biliaires provenant de l'hémoglobine, cholestérol, lécithine et de certaines substances anormalement présentes : médicaments, produits toxiques.
- Pouvoir antiseptique indirect : l'absence de bile entraîne une mauvaise résorption des graisses qui vont dès lors enrober les autres constituants du chyle et le soustraire à l'action des diastases digestives. Les bactéries putréfiantes pourront alors se développer à loisir dans le gros intestin
- stimulant de la motricité intestinale

d) Suc intestinal

Il est constitué du suc duodénal et du suc intestinal proprement dit. Sa sécrétion résulte de l'action mécanique stimulante exercée par les substances alimentaires sur la muqueuse intestinale et de l'action humorale (sécrétine pour le duodéal, entérocrinine pour le suc intestinal).

Composition et rôle :

- Le suc intestinal renferme les enzymes qui terminent les dégradations alimentaires :
- peptidases transformant les peptides en acide aminés qui seront repris par le sang ;
 - maltase, invertase, lactase achèvent la transformation des glucides en hexoses passant également dans le sang ;
 - Lipase : rôle assez secondaire vu l'action prépondérante du pancréas ;
 - Polynucléotidase : dégrade les acides nucléiques en nucléotides.

3.2.2. Microorganismes

Stérile à la naissance, le tube digestif est rapidement envahi par une flore bactérienne très diversifiée. Ces bactéries s'y développent en puisant des ressources dans les aliments, mais laissent diffuser dans le milieu des produits utiles, indifférents ou nuisibles. L'importance des facteurs microbiens dépend de l'espèce animale et de l'alimentation.

a) l'espèce animale et en particulier de la capacité du tube digestif. Réduite chez les oiseaux, moyenne chez les carnivores et les omnivores, très importante chez les herbivores. Chez ceux-ci, on rencontre de vastes cuves de fermentation (rumen, cæcum, colon). Une preuve de l'importance de ces bactéries est apportée par la digestion de la cellulose chez les herbivores. Aucun suc digestif n'étant capable d'attaquer la cellulose, ce sont les enzymes bactériennes qui détruisent la gangue cellulosique des aliments.

1) Polygastriques : les conditions de développement y sont très bonnes pour les bactéries et les protozoaires, en effet :

- pH neutre, suite à la neutralisation des acides néoformés lors de la fermentation par la salive alcaline ;

- Vastes réservoirs contenant des aliments divisés par la mastication (1^{ère} et 2^{ème} mastication). Chez ceux-ci, on distingue dans le rumen une flore bactérienne. Celle-ci dégrade la cellulose et autres aliments. De plus, elle est capable de synthétiser des protéines à partir d'aliments azotés non protidiques (urée) et des vitamines.

- Une faune de protozoaire : ingèrent les bactéries et sont ensuite digérés. L'apport protéique de ces protozoaires est de meilleure qualité que celui des bactéries (valeur biologique).

Il y a à peu près 10^9 bactéries et 10^3 protozoaires /cc de liquide du rumen.

2) Monogastriques : chez eux, l'estomac et le début du duodénum sont acides et partant très pauvres en bactéries. Celles-ci jouent un rôle moins important que chez les herbivores. Ce rôle se limite essentiellement à des fermentations et putréfactions.

b) alimentation :

L'alimentation intervient par

- ses composants (les glucides favorisent les fermentations acides, les protides favorisent les putréfactions).

- les microorganismes qu'elle apporte.

N.B : la coprophagie peut être utile chez de nombreux animaux (lapins, poules). En effet, elle permet à ces animaux d'absorber des éléments surtout vitaminiques synthétisés par les bactéries du gros intestin, particulièrement dans le caecum (caecotrophie).

En résumé, on peut dire que les microorganismes :

- permettent la digestion d'aliments inattaquables eg. cellulose
- sont capables de synthétiser des protéines de haute valeur biologique (protozoaires) à partir d'azote non protidique eg. : urée
- synthétisent des vitamines (groupe B et K)

3.3. Absorption

C'est le passage des éléments de l'intestin à l'intérieur des cellules intestinales, puis dans le sang. Maximale dans l'intestin grêle, elle va en diminuant vers l'arrière (au niveau du gros intestin aura surtout lieu une résorption d'eau).

3.3.1. Les voies d'absorption

Les voies d'absorption varient suivant :

- les espèces. Chez les polygastriques, les acides gras à courte chaîne et le NH_3 synthétisés dans le rumen peuvent passer dans le sang au travers de la paroi du rumen ;
- les aliments. Glucides, acides aminés (protéines), sels, une fraction de lipide, passent dans le système porte (sang). Les graisses passent par la voie lymphatique (chylifères).

3.3.2. Conditions d'absorption

Pour être absorbé, un aliment doit subir une transformation en nutriments solubles:

- ✓ les glucides sont transformés en monosaccharides (hexoses);
- ✓ les lipides sont transformés en quelques mono ou diglycérides surtout glycérol et acides gras;
- ✓ les protéines en acides aminés;
- ✓ les nucléoprotéines en bases puriques et pyrimidiques;
- ✓ l'eau et vitamines restent tels quels.

Dans cette transformation, interviennent aussi des substances solubilisatrices tels les sels biliaires vis-à-vis des lipides.

3.3.3. Mécanisme de l'absorption

L'absorption résulte de phénomènes :

- physiques (passifs) : filtration, dialyse, osmose, diffusion.
- Biologiques (actifs) : activité propre des cellules épithéliales, mouvements des villosités.

Absorbés, les aliments auront des utilisations différentes (cf. nutrition).

3.4. Digestion par espèce animale

3.4.1. Actes préparatoires à la digestion

3.4.1.1. Mastication

Les mâchoires, en décrivant certains mouvements, vont broyer les aliments grâce à la présence des dents. Ces mouvements sont :

- écartement et rapprochement de la mâchoire inférieure ;
- propulsion et rétropropulsion ;
- diduction : mouvement de latéralité ;

La mastication diffère selon les espèces :

Chez les ruminants, on distingue 2 mastications :

- 1ère mastication ou mastication proprement dite, très rapide (30 à 90 mouvements par minute) et sommaire. Chez les bovins, elle dure plus ou moins 8 heures par jour invariablement.
- 2ème mastication ou mastication mérycique : assure un broyage plus poussé et une insalivation plus importante. Elle est plus lente que la première

Solipèdes : mastication très complète (on retrouve les 3 types de mouvements) assurant un écrasement des substances fibreuses et des grains.

Omnivores : plus ou moins rapide.

Carnivores : très rapide. Ils déchirent la viande et avalent de gros morceaux.

3.4.1.2. Insalivation

Varie selon les animaux et les aliments distribués :

Ruminants : un bovin secrète en moyenne 50kg de salive par jour, surtout lors de la rumination. De plus, la présence d'aliments grossiers au niveau du cardia stimule la sécrétion salivaire.

Cheval : la parotide secrète 70% des 30 kg de salive secrétées quotidiennement, sécrétion provoquée par la présence d'aliments dans la bouche ;

Chien : grande importance de la sécrétion psychologique (un peu aussi chez le porc).

3.4.1.3. Déglutition

C'est le passage du bol alimentaire de la bouche à l'estomac, par le pharynx et l'œsophage. Elle peut se diviser en 3 temps :

- temps buccal : la mastication est suspendue, le bol glisse vers le pharynx.
- Temps pharyngien : l'épiglotte bascule, le larynx et l'œsophage se soulèvent.
- Temps œsophagien : le bol alimentaire est poussé par une onde péristaltique parcourant l'œsophage.

N.B : Chez les oiseaux, les aliments sont pris avec le bec et par un mouvement de la tête, sont lancés dans le fond de la gorge de l'oiseau (par inertie). Là, ils descendent dans le jabot qui a un double rôle :

- rôle moteur et régulateur : assure un transit régulier des aliments vers l'estomac.
- rôle sécrétoire : ramollissement des aliments.

3.4.2. Digestion gastrique

3.4.2.1. Rumination

***Quelques particularités:**

Les aliments déglutis sont stockés dans le rumen puis régurgités afin de subir une deuxième mastication. Les réservoirs gastriques sont le siège de mouvements réguliers assurant le brassage des aliments.

Chez le jeune, les aliments liquides sont conduits directement dans le feuillet par la gouttière œsophagienne.

Chaque réservoir est le siège de mouvements propres. Tous ces mouvements sont coordonnés pour former un cycle de contraction parcourant régulièrement les 4 réservoirs. Le réseau se contracte en 1^{er} lieu. Il est suivi du sac dorsal (supérieur), du rumen puis au sac inférieur. Le feuillet et la caillette ont leurs contractions liées à celles du réseau.

Il y a environ 2 contractions par minute.

La rumination est l'acte par lequel les aliments sont régurgités (dire ramenés dans la cavité buccale), remastiqués et réinsalivés (mastication mérycique) et redéglutis.

Régurgitation

L'animal étend la tête sur l'encolure inspire profondément glotte fermée, ce qui crée un vide dans l'œsophage. Le cardia étant ouvert et situé sous le niveau des liquides du rumen, une fraction d'aliments et de liquide passe dans l'œsophage. Suit alors une onde antipéristaltique au niveau de l'œsophage, ramenant le tout dans la bouche (accompagné d'expiration supprimant le vide thoracique).

Déglutition

Elle se produit en une seule fois. La bouchée arrive dans le "Lac rumino-réticulaire" et se mélange au contenu.

3.4.2.2. Eructation

Les gaz résultant des fermentations microbiennes doivent être évacués. Ils le sont grâce à une contraction postéro-antérieure du sac dorsal du rumen, libérant l'orifice du cardia.

3.4.2.3. Transit des aliments dans les réservoirs gastriques

Les aliments séjournent dans le rumen-réseau et sont remastiqués jusqu'au moment où ils ont atteint un degré de broyage suffisant.

Mastication mérycique

Une bonne part des liquides est tout de suite déglutie. Les aliments grossiers sont alors mastiqués et divisés finement. En même temps, il y a une nouvelle insalivation. Cette mastication assure un transit plus rapide des aliments (car le passage vers le feuillet ne se fait que si les aliments sont finement divisés) et favorise l'action des microorganismes du rumen en augmentant la surface de contact.

Ce temps de séjour va donc varier selon la nature de l'aliment et se situe entre 30 et 70 heures. Du fait de leur plus grande densité, les aliments finement broyés vont occuper le fond du rumen-réseau et lors de la contraction du réseau, une "émulsion" (eau + fines particules) passera dans le feuillet.

Quant au passage feuillet-caillette, il s'effectue par les contractions du feuillet expulsant dans la caillette les parties fluides contenues entre ses lames.

L'eau va suivre un chemin variable selon le degré d'hydratation du contenu du rumen :

S'il est faible, l'eau s'arrête dans le rumen

S'il est élevé, l'eau passe rapidement dans le feuillet

Le lait, chez le jeune, va emprunter la gouttière œsophagienne, l'amenant directement dans le feuillet. La fermeture de cette gouttière est un phénomène réflexe disparaissant avec l'âge.

3.4.2.4. Motricité gastrique

Elle peut se décomposer en :

Innervation intrinsèque = automatisme lié à la présence de ganglions nerveux dans la paroi.

Innervation extrinsèque : vient du système nerveux neuro-végétatif. Celui-ci influence l'automatisme selon des processus réflexes. Ici aussi, le système parasympathique excite les contractions (en même temps, il ouvre le pylore = évacuation) et le système sympathique les inhibe (et ferme le pylore).

Il peut arriver que l'estomac ne se vide pas dans l'intestin, mais dans l'œsophage et la bouche : c'est le vomissement.

Ce phénomène est un peu compatible à la régurgitation lors de la rumination. Le cardia s'ouvre, l'animal amorce un mouvement inspiratoire, glotte fermée, la région pylorique se contracte, d'où passage des ingestats dans l'œsophage suit alors une onde antipéristaltique parcourant l'œsophage. Les **muscles abdominaux** participent également à ce processus.

NB : lors de la digestion des **oiseaux**, deux estomacs interviennent successivement :

Le ventricule succenturié secrète du suc gastrique n'intervenant qu'après concassage des grains, c'est-à-dire dans le duodénum.

Le **gésier**, organe très puissant va concasser les grains grâce aux pierres qu'il contient en permanence.

Ces graviers augmenteraient la digestibilité des grains de 10%.

L'ablation du gésier n'a cependant pas d'influence sur la digestibilité des aliments, si ceux-ci sont préalablement réduits en farine.

Lors de la digestion chez le **Jeune animal**, il faut distinguer mono et poly gastriques :

a) Monogastriques

Le pH stomacal est encore relativement élevé (4-6), si bien que la pepsine n'a que peu d'activité. Le dédoublement des protéines est assuré par la catheptase, protéinase agissant à pH proche de la neutralité.

Le suc gastrique contient de plus une diastase très importante : la présure (aussi appelée labferment ou caséase). Celle-ci transforme la caséinogène soluble du lait en caséinate de Ca insoluble, précipitant sous forme de caillot et englobant les globules gras.

Le liquide restant contient les matières minérales, le lactose, les globulines et la plupart des albumines : c'est le lactosérum.

Celui-ci est évacué rapidement dans le duodénum et le coagulum, devenu une masse réduite, est alors, facilement attaqué par les sucs digestifs.

b) Polygastriques

Deux particularités fondamentales sont à signaler :

Le lait passe directement dans le feuillet par la gouttière œsophagienne, si bien que le jeune ruminant se comporte pratiquement comme un monogastrique.

La fermeture de cette gouttière se fait de façon réflexe suite à l'ingestion du liquide. Ce réflexe disparaît avec l'âge : vers 3 ans il est devenu inexistant.

Le développement des réservoirs gastriques est différent de ce qu'il est chez l'adulte. Le rumen et le réseau s'accroissent à partir du sevrage, lorsque l'animal commence à ingérer des aliments solides, cellulosiques. Progressivement aussi, l'animal va acquérir une flore et une faune caractéristiques allant de pair avec le pouvoir de dégradation de la cellulose, l'apparition d'acides gras volatils, les synthèses protéiques et vitaminiques. A ce sujet, il est bon de souligner que seul le ruminant adulte est indépendant d'apports alimentaires en vitamines, le jeune quant à lui ayant besoin d'apports exogènes.

3.4.2.5. Digestion intestinale

➤ Les ruminants

Ils ont un intestin très long, doué des mouvements précédemment décrits.

➤ Le cheval

Le cheval est caractérisé par la présence d'un caecum volumineux au début du gros intestin. C'est à ce niveau que se déroulent les fermentations bactériennes importantes, en particulier la dégradation de la cellulose. Les acides gras sont résorbés sur place, mais les

nutriments libérés n'auront pas une résorption aussi importante que chez les bovins (où elle a lieu au niveau de l'intestin grêle).

➤ **Le porc :**

Les fermentations microbiennes ont lieu au niveau du gros intestin.

➤ **Les carnivores**

ont un intestin très court. Par suite du pH alcalin du contenu intestinal, les bactéries putréfiantes abondent (odeur nauséabonde des selles de chien).

➤ **Les oiseaux**

ont un intestin très court également. Les fermentations ont lieu dans les caeca où l'on trouve également une synthèse vitaminique (vit. B2 et B12). Vu la brièveté du gros intestin, ces vitamines ne sont que peu résorbées, ce qui explique la coprophagie naturelle de ces animaux.

➤ **Les lapins**

Le caecum est environ 10 fois plus volumineux que l'estomac et va dominer la physiologie digestive. Les aliments consommés passent rapidement dans l'estomac et l'intestin grêle, puis restent plusieurs heures dans le caecum. Là, au cours d'un cheminement particulier, l'aspect des aliments se transforme et apparaissent de petites boules muqueuses appelées crottes molles ou **caecotrophes**. Celles-ci sont ingérées par l'animal qui les prélève à leur sortie de l'anus, et une nouvelle digestion s'effectue au cours d'un second transit, différent du premier par le fait que ces aliments séjournent longtemps dans l'estomac et l'intestin grêle et, sans transiter par le caecum, se transforment graduellement en crottes dures.

Ce mode de **coprophagie** s'appelle "**caecotrophie**" et est bien particulier car le lapin ingère des aliments que son tube digestif confectionne spécialement à cet effet, à la différence des autres animaux coprophages. Ces crottes molles sont riches en acides aminés et en vitamine B.

Tableau : Durée totale du transit digestif chez quelques animaux domestiques

Espèce	Début de l'élimination	Fin de l'élimination
Bovins	24 heures	10 jours
Cheval	24 heures	5 jours
Porc	10-24 heures	80-90 heures

Chien	24 heures	48 heures
Oiseaux	4 heures	24 heures

Devoir : Etablir une différence nette du point de vu digestion entre un coprophage et un coecotrophe

3.4.5.6. Défécation

C'est un acte réflexe pouvant être retardé ou hâté par la volonté entraînant la vidange du rectum. Le stimulus de départ est la dilatation du rectum, du fait de son remplissage assuré par les contractions du colon. Le centre est lombaire. Les voies motrices appartiennent au système nerveux autonome :

- Le parasympathique : évacuateur (contracte le rectum, ouvre le sphincter)
- Le sympathique : rétenteur (relâche la paroi, contracte le sphincter).

3.5. Digestion par principe alimentaire

3.5.1. Glucides

Les glucides sont ingérés à l'état cru chez les animaux. Néanmoins, la cuisson influence la vitesse d'hydrolyse enzymatique.

➤ Monogastriques

La **digestion glucidique** se fait par voie enzymatique et l'absorption a lieu au niveau de l'intestin grêle. Les glucides ingérés peuvent se diviser en :

cellulose et composés voisins : ne sont pas attaqués par les enzymes. Seules les bactéries du caecum et du colon l'attaquent mais dans une faible mesure (25% chez le porc, 0,1% chez les carnivores). Cette cellulose constitue le ballast cellulosique.

Glucides dégradables :

Lactose : lors d'alimentation lactée. Il est transformé en acide lactique grâce à l'intervention des bactéries. C'est le seul cas où les bactéries jouent un rôle important dans la digestion des monogastriques.

Amidon : prédomine dans l'alimentation. Le principal nutriment glucidique sera donc le **glucose**.

La dégradation des glucides va aboutir au stade des monosaccharides qui seront résorbés au niveau de l'intestin grêle selon 2 processus :

- les sucres non utilisés par l'organisme diffusent simplement au travers de la paroi intestinale.
- Les sucres physiologiques (glucose, mannose, galactose) sont résorbés activement par le phénomène de phosphorylation.

Ce phénomène assure un ravitaillement rapide de l'organisme en glucide, ce qui est important, car les réserves glucidiques sont faibles (foie et muscles).

Les monosaccharides absorbés dans le tube digestif seront ingérés dans différentes réactions parmi lesquelles il faut citer :

- La transformation en glycogène : peu importante au point de vue quantitatif ;
- La transformation en lipides : très importante lors de l'engraissement ;
- La dégradation du glucose en CO₂ et H₂O donnant l'énergie indispensable au métabolisme cellulaire.

➤ Herbivores :

Le terme de la dégradation des **glucides et de la cellulose** est constitué par les **acides gras volatils** (acétique, propionique, butyriques), grâce aux bactéries contenues :

soit dans le rumen chez les ruminants

soit dans le caecum et le colon chez les non ruminants.

C'est chez les ruminants que les processus sont mieux connus.

La totalité des glucides et 80% de la cellulose sont dégradés dans le rumen, avec formation de :

- gaz
- méthane : 250 litres/jour chez la vache
- anhydride carbonique (CO₂) : 300 l/jour

Ces gaz sont évacués lors de l'éructation, donc perdus. Or, ces 250 litres de méthane représentent 5-8 % de l'énergie brute des aliments.

- acides organiques (acides gras volatils) :

- acide acétique $\text{CH}_3 - \text{COOH}$ 62-70 %
- acide propionique $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ 16-27 %
- acide butyrique $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ 6-11 %

La fermentation des fourrages donne principalement de l'acide acétique, celle des glucides simples produit surtout de l'acide propionique.

La digestion des glucides va donc se faire en 2 phases :

- production d'acides gras résorbés au niveau du rumen ;
- digestion de la population microbienne (polysaccharides).

Une partie est autolysée = source de glucides lors de manque dans la ration

Une partie est digérée par les enzymes gastriques et pancréatiques

Une partie est digérée par les protozoaires qui à leur tour seront digérés.

Quant à l'absorption des produits formés, elle varie en fonction de leur nature :

Le Rumen est perméable au glucose

Les acides gras sont résorbés, mais pas à la même vitesse. Celle-ci dépend du métabolisme de la paroi du rumen.

Ainsi, l'épithélium métabolise 27,5 % de l'acide butyrique, 7,5 % de l'acide propionique et 5 % de l'acide acétique.

De plus, cette absorption s'accélère quand le pH s'abaisse. Ces acides gras peuvent couvrir 40 % des besoins énergétiques des ruminants.

3.5.2. Les lipides

Les lipides sont ingérés à l'état libre (huiles, graisses) ou inclus dans les tissus. Ils vont être émulsionnés par les sels biliaires puis dégradés par la lipase pancréatique en acide gras + glycérol facilement résorbés et en mono, di et triglycérides se trouvant sous forme de très fines gouttelettes.

N.B : Les stérols ne sont résorbés que s'ils sont estérifiés (cholestérol).

Dans la cellule intestinale, les lipides sont transformés en phospholipides, puis passent dans le système lymphatique. Ces lipides sont transformés :

- au niveau du tissu adipeux : formation de graisses de réserve

- au niveau du foie : combustion énergétique

La résorption des lipides est cependant limitée, l'excès de lipides entraînant des troubles digestifs.

Quant à la digestibilité des lipides, elle dépend de la nature du composé dans lequel ils se trouvent (la cellulose protège les lipides contre l'attaque des sucs digestifs) et du point de fusion (s'il est inférieur à 50°, la digestibilité est très élevée).

3.5.3. Les protides

Sous l'action de la pepsine stomacale, ils sont dégradés en polypeptides, dégradés à leur tour en leurs acides aminés constitutifs, par la trypsine pancréatique. Cependant, ces enzymes restent inactifs vis-à-vis des scléroprotéines (collagène, élastine, kératine), qui constituent l'indigestible protéique. L'absorption intestinale des protéines se fait sous deux formes :

- le plus fréquemment sous forme d'acides aminés, traversant la barrière intestinale par simple diffusion et rejoignant le sang.
- chez le jeune animal, les globulines du colostrum passent telle quelles au travers de la paroi. Ces globulines sont très importantes car elles portent des anticorps.

La digestibilité des protides dépend :

- De la nature des protides, déterminée par le mode de liaison des acides aminés entre eux. Ainsi, la viande (100 %) est mieux digérée que la fibrine (95 %) et que l'ovalbumine (75 %), bien que renfermant les mêmes acides aminés. L'ultra mouture (broyage poussé) augmente la digestibilité de l'indigestible protéique. On peut dès lors utiliser les farines de corne, de sabot, ultramoulues dans l'alimentation animale.

- De la nature du chauffage

L'autoclave (et non la cuisson ordinaire) est défavorable pour les protides du lait, de la viande, du poisson ;

La farine de coton, les fourrages (la dessiccation ne doit donc pas être trop intense).

Le chauffage est favorable sur :

Le blanc d'œuf

Le soja, où elle détruit un principe antitrypsique.

L'indigestible glucidique :

Le taux de digestibilité de la ration et donc des protéides varie en raison inverse de l'encombrement, c'est-à-dire du ballast cellulosique. Ceci suite à l'attaque incomplète par les sucs digestifs, résultant de l'accélération du transit intestinal dû à la lignine. du type d'animal

Les ruminants bénéficient de la décomposition bactérienne de la cellulose, libérant une quantité plus grande de protéines.

3.5.4. Eau et matière minérales

Eau : reste telle quelle

Son absorption varie selon la portion du tube digestif :

- nulle au niveau de l'estomac digérant,
- assez important au niveau du rumen, réseau, feuillet
- importance dans l'intestin grêle et surtout le gros intestin (c'est de cette absorption que dépend la consistance des excréments).

Constituants minéraux : libérés lors de la dégradation des glucides, protéides et lipides en nutriments.

Ces constituants minéraux sont représentés par des sels de calcium, phosphore, magnésium et fer pour la plupart. Ces sels seront plus ou moins solubles selon leur nature et partant plus ou moins facilement résorbés (les chlorures, acétates, butyrates sont plus facilement résorbés que les nitrates, sulfates, phosphates par exemple.

Cependant, certains éléments constitutifs des matières organiques suivent le sort de celle-ci, par exemple le soufre contenu dans la cystéine.

Calcium : provenant des aliments mai aussi des sécrétions digestives :

Il forme des sels solubles en pH acide, insolubles en pH alcalin. Sa résorption aura donc lieu dans le duodénum et le début de l'intestin grêle.

Le calcium se combine aisément à divers éléments et en particulier :

Aux phosphates, en donnant des phosphates tricalciques insolubles.

Aux acides gras pour former des savons insolubles

A l'acide oxalique pour former des oxalates

L'excès de l'un ou l'autre de ces éléments va donc contrecarrer l'absorption du calcium.

Phosphore : son absorption est sensible aux mêmes facteurs que ceux qui régissent celle du calcium. Il faut souligner le rôle du rapport calcium/phosphore de l'alimentation dans l'absorption de ces deux éléments, de même que le rôle de la vitamine D.

Magnésium :

Absorbé surtout au niveau de l'intestin grêle.

Fer

Sous l'action de l'acide chlorhydrique gastrique, les sels ferriques (Fe^{+++}) passent à l'état ferreux (Fe^{++}). Ceux-ci sont plus stables et plus ionisables, onc plus résorbables.

3.6. Faim et soif

La sensation de faim est généralement associée à des contractions rythmiques de l'estomac (contractions de la faim), provoquant une augmentation de la pression interne de l'organe.

Ces **contractions seraient liées à la glycémie** car la diminution du glucose sanguin concorde avec leur apparition.

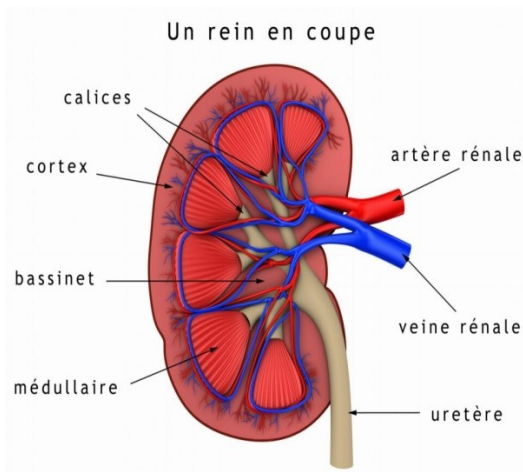
De plus, dans l'organisme, il y a vraisemblablement des substances qui peuvent modifier la composition chimique du sang et provoquer la **sensation de faim** par excitation des récepteurs appropriés, transmettant leurs informations à un centre hypothalamique.

Il faut encore distinguer l'appétit de la faim. Celle-ci est liée à une sensation de vacuité de l'estomac due à l'absence d'ingestion d'aliments. Par contre, l'appétit est le désir de manger : souvent chez les animaux, cet appétit présente un caractère de spécificité par exemple pour le sel.

La soif serait liée à une augmentation de la pression osmotique des cellules, suite au passage de l'eau intracellulaire dans les espaces interstitiels.

Dans tous les cas, elle traduit une diminution des réserves d'eau de l'organisme.

Il est bon de souligner qu'un animal supporte beaucoup plus longtemps la privation d'aliments que la privation d'eau.



rein d'un bœuf

b- La structure histologique

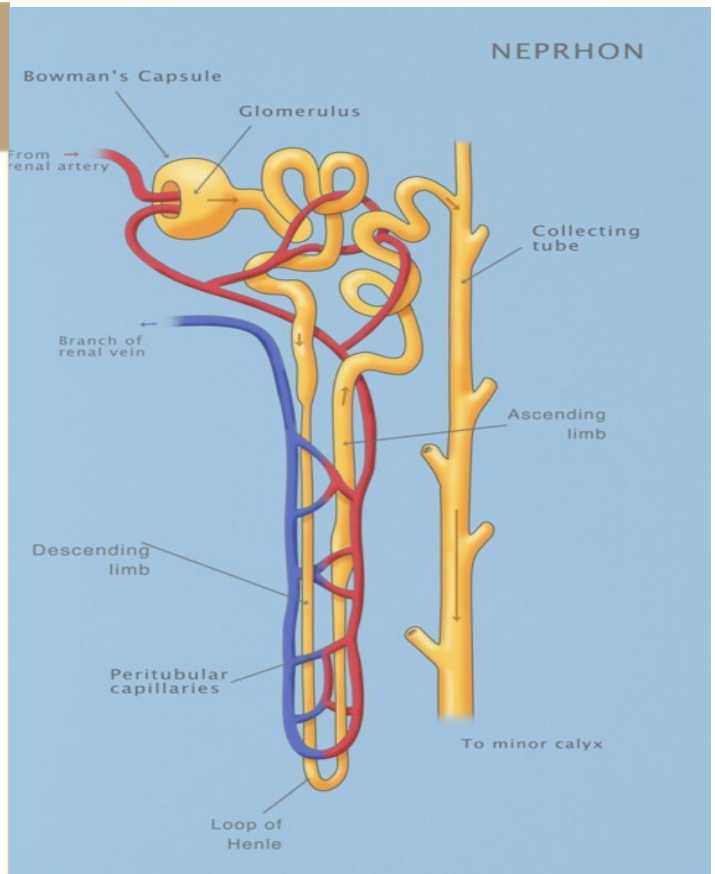
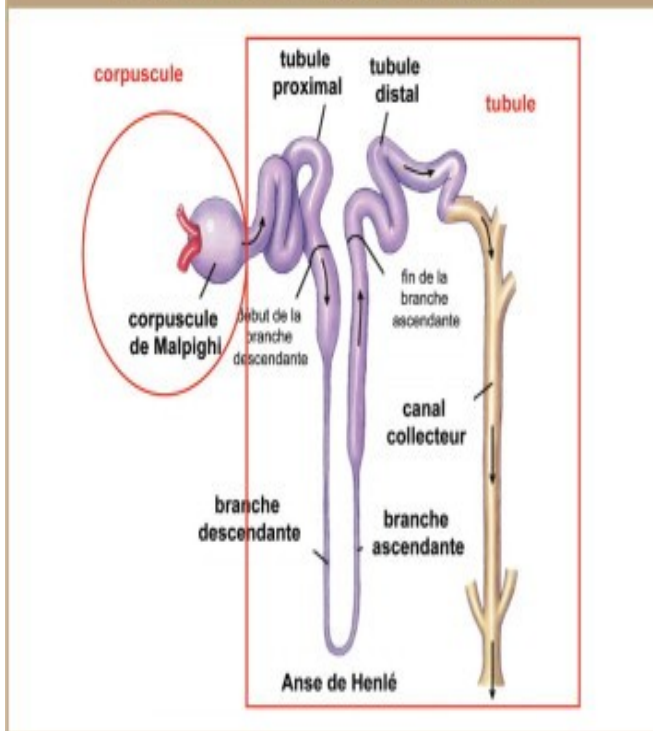
L'unité fonctionnelle de l'émonctoire (Ouverture artificielle ou naturelle destinée à évacuer les humeurs) rénal est le néphron. Le nombre de néphron varie considérablement avec l'espèce, tandis que ce nombre est relativement constant chez les individus d'une même espèce.

Tableau: Nombre approximatif de néphrons dans un rein chez quelques espèces

Espèces	Nombre de néphrons/rein
Bovin	4.000 000
Porc	1.250 000
Chien	45 000
Chat	190 000
Homme	1.000 000

Chaque néphron comporte une série de segments à structure et à fonction différente, logée dans des sections distinctes du parenchyme rénal, entourés de tissus conjonctifs peu abondants mais très vascularisés.

Figure 7 - Schéma d'un néphron avec le corpuscule de Malpighi et les différentes parties du tubule.



Le glomérule de Malpighi, les tubes contournés I et II sont localisés dans la zone corticale, tandis que l'anse de HENLE et le tube collecteur se trouvent dans la zone médullaire.

α) Le glomérule rénal ou glomérule de malpighi

Il est formé à partir d'un réseau artériel et d'une capsule du tube urinaire appelée Capsule de Bowman.

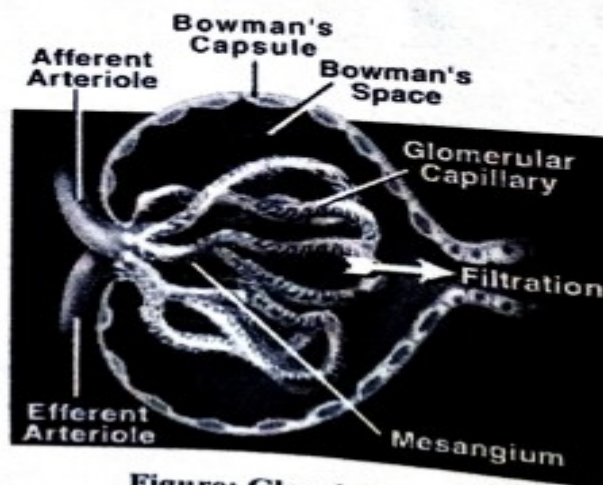


Figure: Glomérule rénal

β) Le tube urinaire

Faisant suite au glomérule de Malpighi, on distingue :

- ↳ Le segment proximal du tube contourné I
- ↳ L'anse de HENLE constitué de deux branches : Ascendante et descendante
- ↳ Le segment distant ou tube contourné II
- ↳ Le tube collecteur ou tube de BELLINI

2. Formation de l'urine

Plusieurs étapes sont impliquées dans la physiologie rénale:

Filtration glomérulaire: Première étape de la formation d'urine : transport du fluide du glomérule dans la capsule de Bowman pour former un filtrat iso osmotique.

Réabsorption tubulaire: Processus de retour du matériel filtré dans le sang (99% de ce qui est filtré) par l'implication de protéines de transport.

Sécrétion tubulaire: Matériel ajouté à la lumière du tubule rénal provenant du sang.

Excrétion: Perte de fluide du corps sous la forme d'urine.

2.1- Filtration glomérulaire

La première étape de l'élaboration de l'urine est la formation de l'ultrafiltrat glomérulaire(ou urine primitive) par la diffusion de l'eau et des constituants du plasma à travers une barrière appelée barrière de filtration glomérulaire, séparant le plasma dans le capillaire glomérulaire de la chambre urinaire.

La **barrière de filtration glomérulaire** est constituée de 3 couches :

- *une cellule endothéliale (côté sang) fenêtrée ;
- * une membrane basale glomérulaire constituée de substances amorphes (exemple le collagène de type 4, glycoprotéines,)
- *Des prolongements cytoplasmiques (pédicelles) des podocytes qui sont des cellules d'origine épithéliale qui reposent sur la membrane basale glomérulaire.

Les deux déterminants physiques de la filtration glomérulaire sont la perméabilité de la barrière glomérulaire et la force motrice de pression de part et d'autre de la barrière, suivant la relation (Loi de Starling). La filtration des substances dissoutes dépend de leur taille et de leur charge (une molécule diffusant d'autant mieux qu'elle est chargée positivement et qu'elle est

de petite taille), et des gradients de pression en présence.
Remarque : Les protéines filtrées sont pour l'essentiel réabsorbées dans le tubule rénal : leur concentration dans l'urine définitive est inférieure à 200 mg/L.

2.2. Traversée tubulaire

La formation de l'urine résulte de la succession de phénomènes d'échanges au contact d'épithéliums spécialisés. Les échanges réalisés par les voies trans-cellulaires et paracellulaires sont assurés par des systèmes de transport spécifique, fonctionnant grâce aux gradients chimiques ou électriques générés par l'activité de la $\text{Na}^+\text{-K}^+$ ATP ase, ou directement par l'hydrolyse de l'ATP.

Tout au long du néphron la majeure partie de la consommation d'oxygène du rein est dédiée à la réabsorption du sodium qui sert de « force motrice » à la réabsorption ou à la sécrétion d'autres électrolytes ou substances (acides aminés, glucose...).

A- Tube proximal

* Environ 2/3 de l'eau filtrée par le glomérule est réabsorbée pendant la traversée du tube proximal, soit près de 120 L/j.

* 2/3 du Na^+ filtré est également réabsorbé, ce qui définit le caractère iso-osmotique de la réabsorption hydro-sodée dans le tube proximal. Par conséquent, le fluide tubulaire est iso-osmotique au plasma à l'arrivée dans l'anse de Henlé.

* Le **glucose** est activement et entièrement réabsorbé à ce niveau sous réserve que la glycémie ne dépasse pas 10mmol/L (au-delà, la charge filtrée dépasse la capacité de réabsorption du glucose par le tube proximal, le transport du glucose étant saturable).

* Les **bicarbonates** sont également entièrement réabsorbés tant que leur concentration plasmatique est inférieure à 27 mmol par litre (transport saturable). Cette étape conditionne l'équilibre du bilan des acides réalisé dans le tube distal.

* Il est de même pour les acides aminés et d'autres acides organiques, en plus de l'acide urique qui se fait grâce à des transporteurs spécifiques

Remarques : La diffusion du Na^+ se fait par un mécanisme ACTIF (pompe Na^+/K^+ sur la membrane basolatérale).

B- Anse de Henlé

Dans ce segment du néphron, il existe réabsorption découplée du Na et de l'eau (réabsorption d'H₂O sans Na⁺ dans la branche descendante et réabsorption active de Na⁺ sans H₂O dans la branche ascendante). Ainsi à la fin de l'anse :

* 25 % supplémentaires de la charge filtrée en Na et en H₂O ont été réabsorbés.

* La partie large ascendante de ce segment est imperméable à l'eau. Le transport de NaCl est assuré dans l'anse large ascendante par un co-transport dont l'activité est couplée à celle d'autres canaux ioniques. L'activité de ce système génère un faible gradient électrique qui permet la réabsorption de calcium.

* Dans l'anse large ascendante de Henlé les cations divalents (Ca⁺² et Mg⁺²) sont réabsorbés par voie para-cellulaire.

C- Tube contourné distal

À l'entrée dans ce tube, le fluide tubulaire est isotonique au plasma. La réabsorption de sodium y est assurée par un co-transport NaCl, l'osmolarité du fluide tubulaire diminue pour atteindre ici sa valeur minimale, soit 60m Osm/L (le TCD est le segment dit de dilution).

Dans le tube distal le Ca⁺² est réabsorbé de façon active.

D- Canal collecteur

C'est dans cette partie du néphron que se fait l'ajustement final de l'excrétat urinaire aux entrées sous la dépendance de diverses influences hormonales. Ceci concerne la concentration de l'urine (bilan de l'eau), la sécrétion de potassium (bilan du K⁺), l'acidification de l'urine (bilan des H⁺), et la réabsorption de sodium (bilan du Na⁺).

* La réabsorption de sodium est assurée dans le tube collecteur par un canal sodium apical stimulé par l'aldostérone

* Une sécrétion de potassium est couplée à la réabsorption de sodium par ce canal sodique.

* L'ajustement de l'osmolalité finale de l'urine est sous la dépendance de l'hormone antidiurétique (ADH)

* C'est dans la partie distale du tubule que s'effectue l'ajustement de l'excrétion des ions H⁺ et donc la régulation de l'équilibre acido-basique. : par excrétion d'acides (sécrétion d'ions H⁺ dans le tube distal, acidification des phosphates) ; et par formation d'ammoniac

Le pH urinaire normal est acide, entre 5 et 6, mais peut varier de 4,5 à 8.

3. Substance à seuil

On appelle substances à seuil, toutes les substances propres ou étrangères à l'organisme qui, après leur filtration au niveau des glomérules de Malpighi, sont totalement résorbées par l'épithélium tubulaire tant que leur concentration dans l'ultrafiltrat ne dépasse pas une certaine valeur. Ce n'est que lorsque ce seuil est dépassé que la substance est éliminée dans l'urine.

Ex : glucose

Les substances sans seuil, quant à elles, sont éliminées dans l'urine proportionnellement à leur concentration sanguine.

Ex : urée

4. Contrôle du fonctionnement rénal

4.1. Nerveux

Intervient en contractant ou dilatant les vaisseaux.

4.2. Hormonal

-vasopressine : stimule la résorption de l'eau. L'absence de vasopressine entraîne le diabète insipide.

- **Minéralocorticoïdes** (Hormones sécrétées par la glande surrénale (située au-dessus du rein), agissant sur les échanges d'eau et d'ions dans l'organisme. Il s'agit essentiellement de l'aldostérone, qui contrôle les échanges de sodium et de potassium au niveau du rein): facilitent la résorption du Na^+ et l'élimination K^+ ce qui entraîne une diminution du volume urinaire

- **Parathormone** ou hormone parathyroïdienne (Hormone sécrétée par les glandes parathyroïdes) Dans les reins, la parathormone favorise la rétention du calcium et l'élimination du phosphore. Elle stimule également l'enzyme rénale qui transforme la vitamine D en vitamine active.

- **Adrénaline** :

- A faible dose, provoque une augmentation de la pression sanguine, entraînant une augmentation du volume urinaire = diurétique
- A forte dose elle provoque la vasoconstriction totale avec un volume d'urine plus important.

4.3. Physique

L'urine filtre jusqu'au moment où la pression de filtration = 0, cette diminution étant due à une augmentation de la pression capsulaire suite à l'urine déjà formée.

4.3.1. Evacuation de l'urine

Lorsque la pression d'urine dans la vessie = 150 mm Hg, il y a excitation des terminaisons sensibles ; l'influx atteint le centre lombo-sacré et la miction s'ensuit. Acte involontaire, qui peut devenir volontaire par dressage.

N.B : Chez les oiseaux, ni vessie, ni urètre. Les uretères débouchent directement au niveau du cloaque.

Beaucoup d'acide urique, étant donné que ce dernier représente à la fois le terme ultime du catabolisme des protéines et des nucléoprotéiques.

Chapitre 5 : Physiologie de la respiration

La respiration est l'ensemble des phénomènes de l'absorption, du transport et de l'élimination des substances gazeuses. Dans l'organisme, ces échanges gazeux portent en premier lieu sur l'oxygène (O₂) et le gaz carbonique (CO₂). L'oxygène est utilisé pour la combustion des principes nutritifs dans la cellule tandis que le CO₂ représente un produit final du métabolisme.

Grâce à sa fonction respiratoire, le sang joue le rôle d'élément de liaison entre les échanges gazeux dans les poumons et les échanges gazeux dans la cellule. Le rôle principal de la respiration est d'apporter de l'oxygène aux cellules et d'éliminer le gaz carbonique dégagé au cours de l'activité cellulaire. L'oxygène atmosphérique absorbé dans les poumons est transporté jusqu'aux diverses cellules où il va jouer un rôle essentiel dans les processus d'oxydation. La fonction respiratoire est intimement liée à la fonction circulatoire tant et si bien que toute action au niveau de l'appareil circulatoire entraîne des conséquences dans l'appareil respiratoire et vice versa.

1. Données anatomo-fonctionnelles

On peut subdiviser analytiquement (arbitrairement) l'appareil respiratoire en plusieurs parties (voies aérifères, poumons et plèvres, muscles respiratoires).

1.1. Les voies aérifères

Les voies aérifères commencent au niveau du crâne viscéral (partie où commencent les voies respiratoires et digestives). L'appareil respiratoire commence parallèlement au-dessus de l'appareil digestif par les narines (groin, museau naseau, selon les espèces).

La configuration du museau est variable selon les espèces. Chez le chien, la température des narines est un grand indicateur de l'état physiologique (les narines du chien sont toujours humides, signe de bonne santé). Cette forte vascularisation permet de maintenir et d'homogénéiser la température. Si l'air est très chaud, la muqueuse sera froide ; si l'air est très froid elle sera chaude ; si l'air est sec elle sera humide.

Les formations ciliaires retiennent les débris qui existent dans l'air. L'organisme produit aussi du mucus qui empêche les substances de pénétrer dans les poumons par les narines.

Fonctions des voies aërières:

- voie de passage
- purification par 2 mécanismes (cils et mucus)
- homogénéisation (Température, humidité de l'air).

Les deux moitiés de cette cavité se rencontrent dans la choane.

Au niveau du carrefour laryngo-pharyngé, on trouve l'épiglotte qui appartient au système respiratoire et digestif. Il a pour rôle d'empêcher le bol alimentaire d'entrer dans la trachée.

Après l'épiglotte on entre dans la trachée qui est un tube cartilagineux toujours ouvert. C'est un organe membrano-cartilagineux (muqueuse, couche cartilagineuse, séreuse). La muqueuse est du type pseudo stratifiée ciliée.

Les contractions les cils sont orientées vers l'extérieur pour faire sortir le crachât.

Tissu stratifié (toutes les cellules ne reposent pas par leur extrémité basale sur le membre basale).

Tissu pseudo stratifié (toutes les cellules reposent par leur extrémité basale sur la membrane basale).

Trachée = voie de purification et de passage de l'air.

1.2. La trachée, les bronches et les poumons

De la trachée, on aboutit aux bronches (2 bronches) chaque bronche pénètre dans un poumon et se subdivise en bronchioles (bronchioles terminales puis bronchioles respiratoires). Chaque bronchiole va se terminer par une petite coiffe de type myoépithéliale, membrane semi-perméable appelée alvéole. C'est la zone d'échange entre l'air extérieur et le sang (respiration externe). Le poumon est chargé d'assurer la fonction d'échange entre le sang et l'air atmosphérique. Autour des alvéoles, on a les éléments conjonctifs qui soutiennent et nourrissent les alvéoles. Les poumons sont entourés à l'extérieur par un organe à double paroi : la plèvre (Plèvre viscérale qui adhère aux poumons, plèvre pariétale). Entre les deux, il y a un espace remplie par un liquide inextensible (liquide pleurale). Ses plèvres proviennent d'un diverticule du péritoine. La plèvre a pour rôle de déterminer le degré de la dilation pulmonaire (amplitude de la dilatation pulmonaire)

1.3. Les muscles respiratoires

Dans les phénomènes mécaniques de la respiration, ce sont les processus de dilatation et de compressions actives de la cage thoracique qui jouent le rôle essentiel. Les modifications de forme de la cage thoracique sont sous la dépendance d'une série de muscles appelés muscles de la respiration ; le plus important est le diaphragme. Le rôle physiologique du diaphragme dans la ventilation pulmonaire est fondamental. Il est le plus volumineux et le plus important des muscles respiratoires : sa contraction, en créant une dépression dans la cavité thoracique, permet l'entrée d'air dans les voies respiratoires. Son relâchement permet à l'inverse l'expiration passive. Chaque contraction du diaphragme initie un cycle respiratoire. La fréquence de sa contraction définit la fréquence respiratoire. Il est possible de modifier volontairement sa fréquence de contraction.

Les muscles inspiratoires et expiratoires sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

Tableau: Muscles inspirateurs

Muscles	Rôle
M. intercostaux externes	Tirent les côtes vers l'avant et en dehors ; dilatation latérale de la cage thoracique
M. intercartilagineux externes	Tirent les côtes vers l'avant
M. transverse des côtes	Dilatation du thorax
M. sus-costaux	Soulèvement des côtes
M. petit dentelé antérieur	Soulèvement des côtes
M. scalène de la première côte	Immobilisation de la première côte et soulèvement des côtes
M. scalène supra-costal (sauf chez le cheval)	Soulèvement des côtes

Tableau 2: Muscles expirateurs

Muscle	Rôle
M. intercostaux internes	Tirent les côtes vers l'arrière et en dedans ; rétrécissement de la cage thoracique
M. intercartilagineux internes	Tirent les côtes vers l'arrière
M. triangulaire du sternum	Rétrécissement du thorax
M. petit dentelé postérieur	Traction des côtes en arrière
M. Intercostal commun	Immobilisation des côtes
M. oblique externe de l'abdomen	Augmentation de la pression intra-abdominale ; pousse les viscères abdominaux et le diaphragme vers l'avant
M. oblique interne de l'abdomen	-//-
M. transverse de l'abdomen	-//-
M. grand droit de l'abdomen	-//-

N.B : Ce ne sont pas toutes les alvéoles qui fonctionnent à la fois. Le nombre d'alvéoles fonctionnels est proportionnel à l'intensité de l'air absorbée.

2. Données physiologique ou fonctionnelles

2.1. Mécanisme de la ventilation pulmonaire

La ventilation pulmonaire se définit comme le processus rythmique d'augmentation et de rétrécissement du volume de la cage thoracique. Cette variation rythmique entraîne la variation du volume des poumons et détermine les mouvements respiratoires.

2.1.1. Les mouvements respiratoires

Les mouvements de l'inspiration entraînent une augmentation du volume de la cage thoracique (augmentation du vide dans cette cavité et dans la cavité alvéolaire ; ce qui facilite l'entrée de l'air dans les poumons et les alvéoles en particulier)

À l'opposé, les mouvements de l'expiration entraînent un processus inverse de l'inspiration. C'est-à-dire tout processus qui concoure à la diminution du volume de la cage thoracique facilitant la sortie d'air dans les poumons et les alvéoles pulmonaires.

2.1.2. Les types de respirations : costales, abdominales, mixtes

- caractérisent la zone ou les effets de la respiration sont les plus marqués
- sont caractéristiques des espèces et de l'état physiologique
- le type costale (les variations de la cage thoracique peuvent être suivies par l'observation des mouvements de la dernière côte) se rencontre surtout chez l'homme, le chien, le cheval.
- le type abdominal (les modifications de la paroi abdominale peuvent être observées dans la région du flanc, au-dessous du creux du flanc) est prédominant chez les ruminants
- le type mixte est rencontré chez le porc.

Les types de respiration aident à gérer la respiration (diagnostic et correction des facteurs)

2.1.3. Fréquence et amplitude respiratoire

- amplitude : définie le degré de soulèvement ou d'abaissement de la paroi thoracique (degré de dilatation ou de rétraction de la paroi thoracique) ; il permet de porter un jugement sur le processus respiratoire.

- Fréquence : s'intéresse au nombre de mouvements respiratoire par unité de temps.

Ce sont des éléments très important dans l'appréciation de la respiration.

L'unité de temps classiquement utilisé c'est la minute.

La fréquence des mouvements respiratoire varie avec l'âge, le sexe, la taille, le poids, l'état physiologique etc...

On constate que la fréquence respiratoire varie avec l'espèce animale:

- le cheval a 12 mouvements respiratoire/min,
- volaille, 70-100 mouvements respiratoire/min,
- moineau 300-400 mouvements respiratoires/min)
- souris, environ 600 mouvements respiratoire/min.

Lorsqu'on va de la plaine vers la montagne, il y a augmentation simultanée du rythme respiratoire et cardiaque car en altitude l'oxygène se raréfie et il faut un grand brassage d'air pour avoir la quantité d'O₂ nécessaire. Pour les sportifs, les muscles produisent plus de CO₂.

La capacité pulmonaire : quantité d'air absorbée au cours d'une respiration normale.

Les divers volumes de la capacité pulmonaire sont définis du point de vue physiologique comme suit :

- **l'air courant** correspond au volume d'air qui est échangé entre le poumon et l'air extérieur au cours d'une inspiration et d'une expiration normale (cheval 40000-60000ml ; bœuf 3500 ml ; chèvre 300 ml ; gros chien 300ml ; petit chien 100 ml ; Homme 500 ml).
- **L'air complémentaire** représente la quantité d'air qui peut être aspiré dans les poumons en plus de celle d'une inspiration normale, à la suite d'une inspiration forcée soudaine (par exemple à la suite d'une frayeur ou d'une douleur). Chez le cheval 10000-12000 ml ; Homme 2000 ml.
- **L'air de réserve** désigne la quantité d'air qui peut être expulsée, en plus de celle d'une expiration normale, au cours d'une expiration forcée (par exemple, à la suite d'une chute brutale). Elle est à peu près du même ordre de grandeur que l'air complémentaire (cheval 10 000-12 000 ml ; Homme 2000 ml).

- La **capacité vitale** est le volume d'air qui peut être échangé entre les poumons et le milieu extérieur par le jeu d'une inspiration et d'une expiration forcées. cheval 30 000 ml ; homme 3700 ml.
- L'**air résiduel** représente la quantité d'air qui ne peut être rejetée des poumons même après une expiration forcée. cheval 10 000-12 000 ml ; Homme 1250 ml.
- La capacité vitale plus l'air résiduel constituent la **capacité totale** ; elle atteint 40 000-42 000 ml chez le cheval ; 5000-6000 chez l'homme.
- L'air résiduel est lui-même divisé en **air de rétraction ou air de collapsus** et en **air minimal**.
- L'air de rétraction ou air de collapsus est le volume d'air qui peut être expulsé des poumons lorsque ceux-ci se rétractent sur eux-mêmes, à la suite d'un **collapsus** (faiblesse soudaine) ou d'un **pneumothorax** (Épanchement d'air dans la plèvre).
- L'**air minimal** correspond à l'air qui reste dans le parenchyme pulmonaire même après la rétraction maximale du tissu élastique après la mort de l'animal.

2.2. Processus physico-chimique d'échange des gaz respiratoires

2.2.1. Propriété fondamentale des gaz

a) Pression atmosphérique

La pression atmosphérique correspond à la pression au niveau de la mer. Elle est de 760 mm Hg. Cette pression diminue avec une augmentation d'altitude.

b) Pression partielle.

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

Au niveau de la mer, on :

- 21% d'O₂ ⇔ PO₂ = 158,8 mm Hg,
- 0,03% de CO₂ ⇔ PCO₂ = 0,23 mm Hg,
- 78,97% de N₂ ⇔ PN₂ = 601 mm Hg.

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

ventilation). Cette diffusion dépend de la solubilité des gaz dans un liquide. A l'équilibre, la pression partielle d'un gaz est équivalente dans l'air ou dans l'eau.

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

Remarque : le CO_2 est 23 fois plus soluble que l'oxygène.

2.2.2. Le mélange gazeux moléculaire.

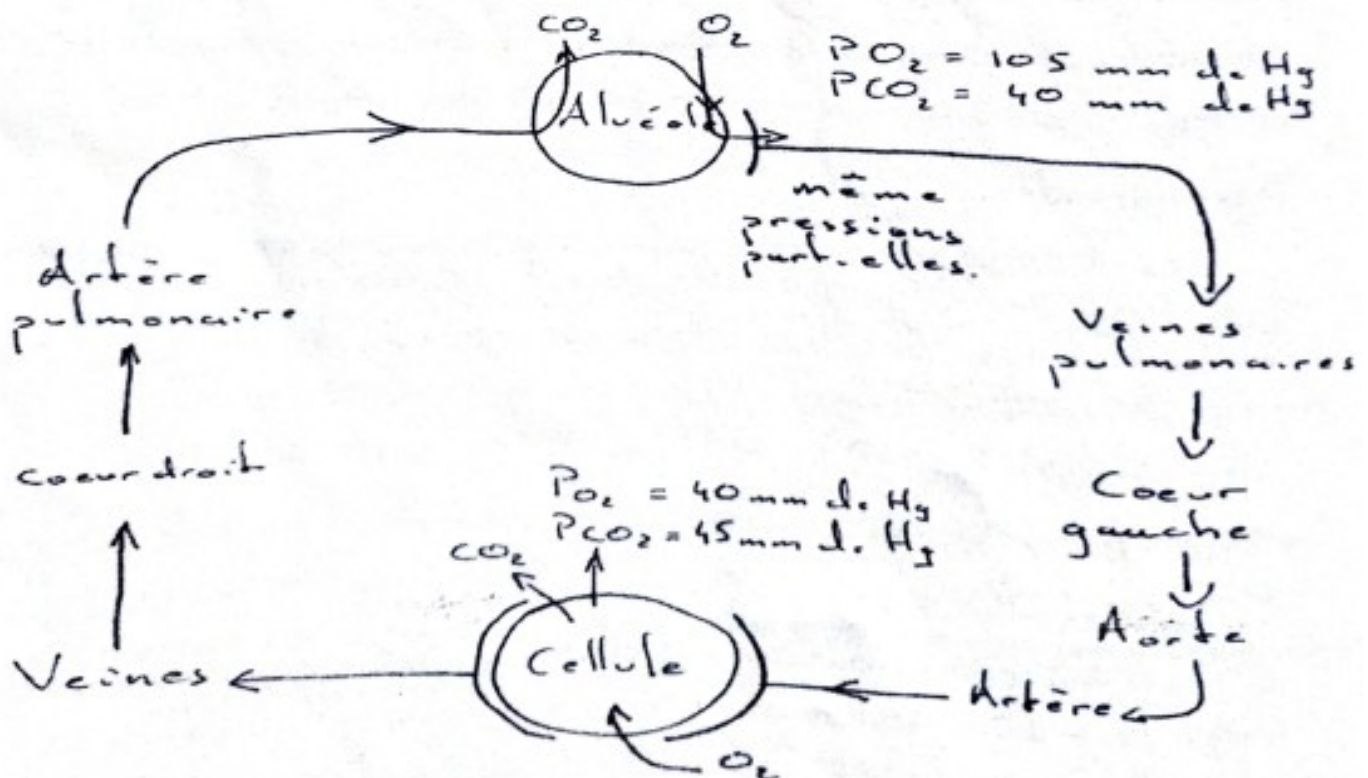
2.2.2.1. L'air inspiré.

C'est un mélange en O_2 , CO_2 et N_2 . Quand l'air arrive dans les voies respiratoires, il devient saturé en vapeur d'eau, ce qui entraîne une modification de la pression partielle de chacune des molécules de gaz.

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

2.2.2.2. L'air alvéolaire.

Le sang s'équilibre avec l'air alvéolaire qui contient : 14% d' O_2 ($\text{PO}_2=105\text{mm Hg}$), 5,5% de CO_2 ($\text{PCO}_2=40\text{mm Hg}$).



2.2.3. Transport de l'oxygène.

2.2.3.1. L'O₂ dissout.

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

2.2.3.2. L'O₂ combiné.

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

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

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

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

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

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

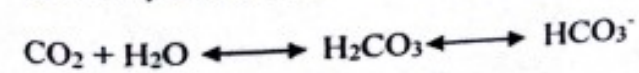
2.2.4. Transport du CO₂.

2.2.4.1. Le CO₂ dissout.

2,5 à 3mL de CO₂ sont dissous pour 100mL de sang. Un litre de sang contient 500mL de CO₂. Ce type de transport représente 10% du total de CO₂ transporté.

b / Transport combiné au CO₂

Le CO₂ peut se combiner à l'eau et donner l'acide carbonique



Dans les hématies, on a une enzyme, l'anhydrase carbonique, qui accélère la formation des ions HCO₃⁻. Ces ions vont diffuser dans le plasma en faisant rentrer des ions Cl⁻ dans les hématies. 60% du CO₂ est transporté sous cette forme.

- Combinaison avec l'hémoglobine.

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

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

La libération d'un proton donne une recombinaison de HCO_3^- puis une dissociation en $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ qui sera évacué.

2.2.5. Mécanisme de régulation de la respiration

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

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

2.2.5.1. Influence des stimuli chimiques.

Le rythme et l'amplitude des mouvements respiratoires sont réglés par des variations de paramètres sanguins (*pression partielle en CO_2 , O_2 et pH*). Ces paramètres sont perçus par des **chémo-récepteurs (récepteurs chimiques)**. Les chémo-récepteurs centraux (au niveau du bulbe) sont sensibles aux variations de pH du liquide céphalo-rachidien). Une augmentation de la concentration en CO_2 entraîne l'augmentation de la ventilation.

Les **barorécepteurs (Récepteurs de pression)**, au niveau de la crosse aortique et de la bifurcation carotidienne, sont sensibles à la pression partielle en CO_2 .

2.2.5.2. Autres influences.

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

Au niveau des bronchioles, les *muscles lisses* sont sensibles à la pression partielle en CO_2 : si la quantité de CO_2 augmente, les muscles lisses se relâchent en entraînant une broncho-dilatation et l'excès de CO_2 est expiré.

2.3. Particularités de la respiration

2.3.1. Particularités de la respiration chez la volaille

2.3.1.1. Particularités d'ordre anatomique

Présence des os pneumatiques lié aux poumons (communique avec l'appareil respiratoire et conférant une certaine légèreté à l'animal).

- Présence des sacs aériens rencontrés de part et d'autre de la colonne vertébrale. Ces sacs aériens communiquent avec l'appareil respiratoire.
- Absence de diaphragme.
- Les poumons sont rudimentaires ou portent de para bronches (système d'arborisation des bronches très peu développé).

2.3.1.2. Particularités d'ordre fonctionnelles

L'air arrivé aux bronches se dirige vers les sacs aériens et les os pneumatique \rightarrow légèreté

- les hématies possèdent de noyau
- pendant la respiration, la présence de poche d'air leur confère une légèreté la portion d'air respiratoire participe

2.3.2. Particularité de la respiration chez le fœtus

La circulation fœtale est totalement différente de celle qui est présente après la naissance. L'oxygénation de l'enfant est assurée par le placenta qui procède aussi à l'élimination des déchets de l'organisme du fœtus. Il existe donc des adaptations anatomiques permettant à celui-ci de croître.

Deux différences importantes

* Le canal artériel

Le canal artériel permet au sang oxygéné provenant du ventricule droit via l'artère pulmonaire de rejoindre l'aorte et de passer directement dans la circulation systémique. Une petite partie du sang se dirige tout de même vers les poumons afin de leur fournir l'apport nécessaire à leur croissance.

*Le foramen ovale

Cette communication entre les oreillettes permet au sang oxygéné de passer directement dans la circulation systémique tout en évitant les poumons.

Particularités des poumons fœtaux

Les poumons des fœtus sont remplis de liquide. Les capillaires pulmonaires sont en vasoconstriction. Donc, il y a une grande résistance pulmonaire et le sang sera dévié via le canal artériel et le foramen ovale. De plus, les poumons fœtaux n'ont pas de fonction respiratoire et seule une irrigation permettant leur croissance est requise.

- **Conséquence pratique**

A la naissance, les liens fœto-maternels sont rompus et l'apport d'oxygène au fœtus est supprimé. Par suite de la chute de la pression partielle d'O₂ et de l'augmentation de la pression partielle en CO₂ dans le sang du nouveau-né, la somme des excitations devient suffisante pour mettre en activité le centre respiratoire bulbaire ; le premier mouvement respiratoire est déclenché.

3. Respiration cutanée

La peau est non seulement le lieu d'une élimination d'eau sous forme de vapeur d'eau, mais aussi, à un degré très variable selon les espèces, le lieu d'une absorption d'oxygène et d'une excrétion de gaz carbonique. Chez les amphibiens, 60 à 80% du gaz carbonique est éliminé par cette voie tandis que l'absorption de l'oxygène se fait essentiellement par la voie pulmonaire. Chez l'homme, l'élimination cutanée du CO₂ ne représente que 1% de l'excrétion totale et l'absorption d'O₂ est encore plus faible. Chez les animaux domestiques, à pelage souvent épais, la respiration cutanée est encore bien moins importante.

Très répandu chez les amphibiens. Généralement, le CO₂ (80%) est rejeté par la peau mais l'O₂ est absorbée par la voie normale (par les poumons ou par les branchies) Il y a les A^s qui ont les 2 systèmes.

Exemple : Silures (le protoptère).

4. Quelques pathologies de la respiration

Elle peut être une affection des structures anatomique et physiologique. Cette affection peut être congénitale ou acquise ses affections peuvent être mécanique, chimique, biologique (facteurs éthologique).

La maladie peut être héréditaire, congénitales ou acquise (affection des structures d'ordre anatomique et physiologique).

Quelques exemples d'affection courante de l'appareil respiratoire

Nez : rhinite

Bronche : bronchite

Poumon : pneumonie

Plèvre : pleurite

Sinus : sinusite

Eupnée (ea) = respiration normale

Bradypnée = ralentissement de la fréquence respiratoire

Trachypnée = augmentation de la fréquence de respiration

Chapitre 6 : Chaleur corporelle et régulation de la température

La température corporelle est une variable physiologique essentielle car la vie organique dépend des réactions au cours desquelles l'énergie chimique est transformée en chaleur et que la vitesse de ces réactions dépend de la température.

Pour cette raison, le maintien d'une température corporelle relativement constante est une nécessité pour le fonctionnement optimal du cerveau complexe des mammifères et des oiseaux.

- Les mammifères et les oiseaux sont qualifiés d'homéothermes ou animaux de sang chaud.
- Les poïkilothermes sont les animaux dont la température corporelle varie avec la température ambiante : ce sont des animaux à sang froid (serpents, lézards)

1. La température corporelle

- Chaque espèce animale à sang chaud à une température corporelle moyenne constante.
- Les températures sont mesurées au niveau du rectum chez les animaux au repos. En effet, les conditions telles que ; l'exercice physique, le moment de la journée, la température ambiante, la digestion, la consommation d'eau peuvent influencer la température corporelle.

Tableau: Températures corporels chez quelques espèces domestiques

Espèces	Températures moyennes °C	Températures externes °C
Cheval	37,7	
Ane	37,4	37,2 - 38,8
Chameau	37,5	36,4 - 38,4
Bovin	38,4	34,2 - 40,7
Mouton	39,1	36,7 - 39,3
Chèvre	39,1	38,3 - 39,9
Porc	39,2	38,5 - 39,7
chien	38,9	38,7 - 39,8
Chat	38,6	37,5 - 39,9
Lapin	39,5	38,1 - 39,2
poule	41,7	38,6 - 40,1
		40,6 - 43

2. Les gradients de température

Les différentes parties du corps peuvent avoir les températures différentes à cause des différences des taux métaboliques, du flux sanguin ou de leur distance à partir de la surface du corps. **Exemple** le foie et le cerveau ont une température supérieure à celle du sang.

NB. La température rectale représente la température corporelle la plus stable parce qu'elle est plus équilibrée.

Les variations de la température corporelle au cours de la journée sont qualifiées de température diurne. Chez les animaux actifs, pendant la journée, la température corporelle est plus élevée dans l'après-midi que dans la matinée. On observe le phénomène inverse chez les animaux nocturnes. Chez un chameau privé d'eau, la température corporelle peut décroître à 34°C le matin et monter jusqu'à 44°C dans l'après-midi.

3. Réponses Physiologiques à L'élévation de la Température et au Refroidissement (Régulation thermique)

L'auto régulation de la température interne chez les animaux à sang chaud (homéothermes) est rendue possible par diverses dispositions anatomiques. Elle est réalisée grâce à l'entrée en jeu des mécanismes physiologiques complexes déclenchés par voies réflexes.

3.1. Lutte contre le refroidissement

Les homéothermes luttent contre la tendance à l'abaissement de leur température interne de deux façons:

1) En réduisant leurs **dépense calorifiques**. Pour limiter leurs dépenses calorifiques, les animaux se mettent en boule pour réduire la surface de leur corps exposée au froid.

D'autre part, il y a:

- *érection des poils (chair de poule) et l'accumulation de la graisse sous cutanée;*
- *vasoconstriction des vaisseaux périphériques;*

- La température critique est la température la plus basse atteinte avant que le mécanisme de génération de chaleur ne s'enclenche.
- 75% de l'énergie générée par la contraction musculaire est transformée en chaleur.
- Les réactions du métabolisme génératrices de chaleur sont également activées dans les autres organes que le muscle.
- C'est ainsi qu'il y a libération accrue d'épinéphrine (adrénaline) et de la norépiphrine (noradrénaline) qui servent de stimuli pour accroître le métabolisme de la graisse.
- Les effets cataboliques de ces deux hormones sont potentialisés par l'hormone thyroïdienne dont la sécrétion est accrue pendant la période froide.

3.2. Lutte contre l'élévation de la température

Les individus homéothermes luttent contre la tendance à l'élévation de la température interne de deux façons

a) *En réduisant la production calorifique*

La réduction de la production calorifique se fait en évitant au maximum tout exercice musculaire et en adoptant un régime alimentaire de faible valeur énergétique.

b) *En augmentant la déperdition calorifique*

La déperdition calorifique se fait par:

- a) la vasodilatation des vaisseaux périphériques;
- b) l'activation de l'évaporation de l'eau au niveau de la surface corporelle. En effet, la sécrétion de la sueur (transpiration) est un moyen efficace pour augmenter la quantité d'eau évaporée, donc la quantité de calories perdues.
- c) La polygnée thermique, les mammifères homéothermes dont les glandes sudoripares sont peu développées (chien, porc) réagissent à la chaleur
- d) - Soit par une évaporation au niveau des muqueuses des voies respiratoires
- e) - soit par des mouvements respiratoires rapides, peu profonds produisant une ventilation interne de la cavité buccale et du pharynx.
- f) - Soit en se roulant dans la boue, ce qui entraîne une augmentation de la déperdition calorifique au niveau de la peau.