

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°
>> Cours <<

Chapitre 1

Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé

COURS COMPLET RÉDIGÉ

Objectifs : extraits du programme

Savoirs visés	Capacités exigibles
SV-A-1 Regards sur un organisme Métazoaire : un Bovidé (BCPST 1)	
Les vaches appartiennent au groupe des Métazoaires et à la famille des Bovidés. Les différents appareils de l'organisme sont reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. La compartimentation de l'appareil digestif permet l'ingestion d'aliments (hétérotrophie), leur simplification en nutriments et leur absorption, ainsi que l'égestion de la matière non absorbée. Le microbiote du rumen par son action joue un rôle majeur dans l'origine des nutriments utilisés par la vache. Les nutriments sont distribués dans l'ensemble de l'organisme par l'appareil circulatoire et entrent ainsi dans le métabolisme cellulaire. L'appareil respiratoire assure les échanges gazeux liés au métabolisme énergétique aérobie. L'appareil excréteur élimine les déchets azotés et contribue à l'équilibre hydrominéral de l'organisme.	- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une vache au sein d'une classification phylogénétique des Métazoaires. - Construire un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition. - Argumenter la complémentarité et la coopération fonctionnelle des différents appareils. - Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien.
Précisions et limites : <i>Les caractéristiques anatomo-physiologiques liées à l'adaptation au milieu aérien sont présentées succinctement pour les appareils respiratoire, excréteur, reproducteur et pour des organes liés à la fonction de relation. Les composition et contribution du microbiote de la vache sont limitées à celui du rumen. Le fonctionnement du néphron n'est pas au programme.</i>	
L'appareil reproducteur est le lieu de production des gamètes (méiose et différenciation) et de sécrétion	- Repérer au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des

d'hormones. C'est également le lieu de la fécondation et de la gestation dans l'organisme maternel. La reproduction sexuée est un processus conservatoire et diversificateur. Elle génère des individus qui sont de la même espèce que les parents, mais dont la diversité permet la sélection.	génotypes.
Précisions et limites : <i>La sélection artificielle sera illustrée à partir d'un seul exemple, sans traiter la diversité des modes de sélection. L'existence d'un contrôle hormonal de la reproduction est seulement mentionnée pour la production des gamètes et la gestation.</i>	
L'organisme est en interaction avec son environnement biotique et abiotique. La vache est incluse dans différents systèmes de relations intraspécifiques et interspécifiques (dont les relations avec l'être humain responsable de la domestication des animaux d'élevage). Les relations interspécifiques avec les microorganismes définissent l'organisme comme un holobionte.	- Différencier et illustrer les différents types de relations interspécifiques impliquant la vache.
La survie individuelle des organismes dépend de leur perception du milieu et de leur capacité de réaction et/ou de leurs systèmes de protection. Les informations perçues par les récepteurs sensoriels sont intégrées au niveau du système nerveux central qui élabore des réponses. Le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus met en jeu son squelette et les muscles striés associés. Le tégument joue un rôle d'isolant thermique et de barrière contre les agents pathogènes et les parasites. Face aux variations d'origine interne ou externe, les interrelations entre fonctions permettent une réponse de l'organisme. Une boucle de régulation permet le retour à une valeur de consigne d'un paramètre physiologique suite à la détection de ses variations par des récepteurs, au traitement et à l'intégration de l'information conduisant à une réponse coordonnée liée à des effets sur des organes cibles (effecteurs).	- Identifier les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme.
Précisions et limites : <i>Aucune description d'aire sensorielle spécialisée n'est exigible. On remobilise le concept de boucle de régulation abordé en spécialité SVT de terminale, à partir d'un seul exemple (régulation de la glycémie, mais sans développer les mécanismes cellulaires et moléculaires).</i>	
→ chapitre 1 bis (Plans d'organisation des Métazoaires et grandes fonctions en lien avec le milieu) Le fonctionnement de tous les Métazoaires repose sur les mêmes grandes fonctions réalisées par des structures similaires ou non suivant les taxons. Des structures réalisant la même fonction dans deux organismes différents peuvent être homologues ou convergentes. Des convergences marquent l'adaptation des organismes à leur milieu et leur mode de vie.	→ TP SV A1-A2-A3-A4-A5 - Réaliser l'observation morphologique et la dissection : • d'un Vertébré Mammifère Rongeur (la souris) ; • d'un Vertébré Téléostéen ; • d'un Arthropode Hexapode (le criquet) ; • d'un Mollusque Bivalve (la moule). - Utiliser des caractéristiques morphologiques et anatomiques pour déterminer la position systématique de l'animal. - Mettre en lien les structures morphologiques et anatomiques observées sur les Métazoaires disséqués avec les fonctions de relation, nutrition (s.l.) et reproduction. - Comparer l'organisation morphologique et anatomique des différents Métazoaires étudiés. - Identifier des organes homologues ou convergents.

	- Identifier sur des coupes histologiques et légender sur des clichés de microscopie électronique les principaux tissus des appareils respiratoire, digestif et du tégument. - Formuler des hypothèses concernant les adaptations morpho-anatomiques au milieu de vie.
Précisions et limites : On se limite aux fonctions dont les structures associées sont observables en travaux pratiques. Pour les dissections de Métazoaires citées, seuls sont au programme les appareils suivants : • Souris : appareils cardiovasculaire, respiratoire, digestif, uro-génital. • Vertébré Téléostéen : appareils digestifs, cardiovasculaire, respiratoire et reproducteur. • Arthropode Hexapode : appareils digestif (pièces buccales incluses) et respiratoire (système trachéen). • Mollusque Bivalve : appareils respiratoire et reproducteur. À l'échelle microscopique, l'étude de l'adaptation au milieu et au mode de vie est centrée sur l'appareil respiratoire et le tégument. Pour l'appareil digestif, seules les coupes histologiques de l'intestin de Mammifère sont au programme.	
Liens : Organisation fonctionnelle des appareils respiratoires et relation au milieu (SV-B-1) Organisation fonctionnelle de l'intestin de Mammifère (SV-C-1) Approvisionnement en matière organique des organismes hétérotrophes (SV-E-1) Catabolisme des nutriments (SV-E-2) Brassages génétiques et diversification des génomes (SV-F-4) Gamétogenèse et fécondation chez les Mammifères (SV-G-3) Relations structure – fonction des organes de l'appareil cardio-vasculaire (SV-I-1) Boucle de régulation (pression artérielle) et adaptation à l'exercice physique (SV-I-1) Modalités des communications intercellulaires (SV-I-2) Relations interspécifiques dans un écosystème (SV-J-2-2) Interactions trophiques dans les écosystèmes (SV-J-2-3) Utilisation de l'arbre phylogénétique des Eucaryotes (SV-K-2-2)	

Introduction

On appelle **Vache** une adulte femelle (ayant eu au moins un petit) de l'espèce **Bos taurus**. **Bos taurus** est une espèce domestique de Bovidé* que l'être humain élève essentiellement pour son lait et sa viande, dérivant par sélection de l'Auroch sauvage. Au sein de cette espèce, il est d'usage en français de donner des noms différents aux individus en fonction de leur sexe / de leur âge / de leur état reproducteur :

Les mots pour désigner les représentants de l'espèce **Bos taurus** :

- **Vache** : individu femelle adulte ayant déjà vêlé*. Âge : souvent plus de 2 ans.
 - **Génisse** (= **vachette**) : jeune individu femelle considéré comme adulte mais n'ayant pas encore vêlé. Âge : souvent entre 6 mois et deux ans.
 - **Taureau** : individu mâle adulte non castré. Âge : souvent plus de 2 ans.
 - **Taurillon** : jeune individu mâle adulte non castré. Âge : souvent entre six mois et 2 ans.
 - **Bœuf** : individu mâle adulte castré. Âge : souvent plus de 6 mois.
 - **Veau** : individu jeune. Âge : souvent moins de 6 mois.
- Tous les représentants de l'espèce **Bos taurus** peuvent être désignés par le terme générique « **Bovins** ».

* Le **vêlage** désigne, en zootechnie, la **parturition** (= mise bas) chez les Bovins.

La **Vache** est un être vivant et, à ce titre, interagit avec son environnement. Il s'agit en l'occurrence d'un organisme pluricellulaire (= composé de nombreuses cellules) (revoir chapitre 1 : grand IV). Comme tout organisme, il exerce trois grandes familles de fonctions : les fonctions de nutrition, les fonctions de relation, les fonctions de reproduction.

*Que sont les Bovidés [Bovidae] ?

Les **Bovidés [Bovidae]** sont une famille de Mammifères 'artiodactyles' (nombre pair de doigts par pied, avec sabot) caractérisés par :

- Un estomac à plusieurs poches (fondamentalement quatre poches),
- Un sabot à deux doigts,
- Une paire de cornes creuses et persistantes,
- Une mâchoire supérieure sans incisives ni canines.

Au-delà des Bovinae (Vaches, Bisons, Buffles...), on y trouve les Caprinés (Chèvres, Mouflons...) et les diverses sous-familles d'Antilopes au sens large.

Comment l'étude de la Vache nous permet-elle de comprendre les grandes fonctions réalisées par un organisme animal et la manière dont l'organisme interagit avec son environnement ?

I. La Vache, un système biologique

- Il s'agit, dans cette **partie**, de proposer une **vue d'ensemble de la Vache** envisagée comme **exemple d'être vivant** en employant des **éclairages complémentaires** (thermodynamique, physiologique, taxonomique, écologique, agronomique / technologique).

Capacités exigibles

- ✓ **Identifier** les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une Vache au sein d'une classification phylogénétique des Métazoaires.
- ✓ **Construire** un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition.
- ✓ **Argumenter** la complémentarité et la coopération fonctionnelle des différents appareils.
- ✓ **Mettre en relation** l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation au milieu aérien.
- ✓ **Différencier** et illustrer les différents types de relations interspécifiques impliquant la Vache.

Notons que **d'autres éclairages complémentaires** (biochimique, génétique, évolutif, ontogénétique...) sont aussi **possibles** et même **nécessaires** pour appréhender **complètement** la notion d'être vivant : un **panorama** des **points communs** entre tous les **êtres vivants** est donné dans le **grand I du chapitre 0** (Les êtres vivants et leur étude) auquel vous devrez **vous reporter** et dont nous rappelons **ci-dessous** le **plan** :

I. Les caractéristiques du vivant	1
A. L'unité du vivant : éléments d'une définition du vivant	1
1. L'unité constitutive : une même composition chimique	1
2. L'unité structurale de base : la cellule	1
3. L'unité thermodynamique et métabolique	1
a. Activité, variabilité et stabilité des systèmes biologiques	1
b. Le métabolisme	2
4. L'unité physiologique : les grandes fonctions du vivant	2
a. Les fonctions de relation	2
b. Les fonctions de nutrition	2
c. Les fonctions de reproduction	3
5. L'unité génétique	3
a. L'ADN, support universel de l'information génétique	3
b. Des mécanismes d'expression et de régulation semblables	3
c. Une information héréditaire	3
d. Une information présentant une certaine variabilité	3
α. Les recombinaisons (= réassociations) génétiques	3
β. La production de nouveauté génétique : mutation au sens le plus large	4
6. L'unité reproductive et ontogénétique	4
a. La reproduction, un fondement de la nature du vivant	4
b. Une édification de l'organisme par le développement	4
7. L'unité de certains plans d'organisation	5
B. La diversité, une autre caractéristique du vivant	5
1. La biodiversité : une diversité biologique envisagée à trois échelles	5
2. Une diversité spécifique classée par les systématiciens	6
C. Une unité et une diversité du vivant expliquées par l'évolution	6
D. Les niveaux d'organisation du vivant et les propriétés émergentes	7
1. Les niveaux d'organisation du vivant	7
a. Les niveaux de base	7
b. Les niveaux écologiques	7
2. La notion d'émergence	8
a. Approche intuitive	8
b. Conceptualisation	9
E. La relation structure-fonction	9

A. Un être vivant (= organisme) (approche thermodynamique et physiologique)

1. Un être vivant (= organisme) : une tentative de définition

- Rappelons la définition d'**être vivant** que nous avons construite dans le **chapitre 0** : il s'agit d'une **entité matérielle dont l'unité de base est la cellule, capable d'échanger de la matière et de l'énergie avec son environnement (= système thermodynamique ouvert) et de se reproduire seul ou avec un partenaire, transmettant une information héréditaire (codée par de l'ADN) à sa descendance**.

2. La cellule eucaryote comme unité fondamentale

- La **cellule** est la **plus petite unité de structure et de fonctionnement d'un être vivant** (voir le chapitre 1 sur la cellule eucaryote).
- Chez la **Vache**, on trouve des **cellules eucaryotes**, c'est-à-dire des **cellules compartimentées dont l'ADN est enfermé dans un noyau et dont les compartiments présentent une spécialisation fonctionnelle**. On trouve aussi un peu de **matériel génétique** dans certains autres compartiments (mitochondries, plastides).

3. Des niveaux d'organisation

- On peut **étudier les êtres vivants** à différentes **échelles** hiérarchiques et imbriquées.

a. Les niveaux de base

- Si l'on prend le cas typique d'un **organisme pluricellulaire**, on peut ainsi étudier les **niveaux** suivants :
 - **Atome** : **très petite unité qui compose tout matériau constituée de protons, de neutrons et d'électrons**. Ordre de grandeur : 10^{-10} m (= 0,1 nm = 1 ångström = 1 Å)
 - **Molécule** : **ensemble d'atomes liés entre eux par des liaisons covalentes**. Ordre de grandeur : 10^{-9} m (1 nm).
 - **Compartiment cellulaire** : **portion de liquide située dans une cellule et séparée du reste de la cellule par une membrane. Un ou plusieurs compartiments** peuvent former un **petit organe cellulaire spécialisé dans une fonction** qu'on appelle **organite**. Ordre de grandeur : 10^{-6} m (1 µm).
 - **Cellule** : **unité structurale et fonctionnelle de base d'un être vivant, comprenant une information génétique, un cytoplasme et une membrane**.

Taille moyenne d'une cellule animale typique : **10 µm**

- **Tissu** : **ensemble de cellules de même type, présentant la même structure générale et la même fonction**. Exemple : tissu épithélial.
- **Organe** : **assemblage organisé de plusieurs tissus dans un ensemble fonctionnel qui assure une ou des fonctions précises au sein de l'organisme**. Exemple : cœur.
- **Système** ou **Appareil** : **ensemble d'organes coopérant dans la réalisation d'une grande fonction dans l'organisme**. Exemple : appareil cardiovasculaire

> Certains auteurs font une **distinction fort subtile entre système et appareil** chez les Animaux : un **appareil** serait constitué d'**organes bien individualisés** (appareil digestif, appareil reproducteur...) alors qu'un **système** serait **constitué de tissus semblables mais à répartition diffuse** (système nerveux, système immunitaire).

> La frontière entre les deux est toutefois parfois tellement ténue que cette distinction paraît peu utile et peu pertinente (ex. appareil circulatoire : le cœur est bien individualisé mais les vaisseaux sont omniprésents dans toutes les structures biologiques).

- **Organisme** ou **individu** : **ensemble autonome de cellules qui croît, entretient des relations avec son environnement, se reproduit seul ou avec un semblable, échange de la matière et de l'énergie avec son environnement, maintient un fonctionnement et une organisation stables à courte échelle de temps, et meurt.**

b. Les niveaux écologiques

- L'**écologie** est la **science qui étudie les relations des organismes vivants entre eux et avec leur milieu de vie** (du gr. oikos, maison, habitat).

Il ne faut pas confondre « écologie » et « écologisme » (même si le premier mot est très souvent employé, surtout de nos jours, dans le sens du second) : l'écologie est une science, l'écologisme est un courant (politique, philosophique, éthique...) militant.

- On peut donc étudier les organismes vivants ou leurs interactions à des échelles **supérieures à celle de l'organisme**. Les **niveaux écologiques** les plus classiques sont les suivants :
 - **Individu**.
 - **Population** : **ensemble des individus d'une même espèce qui vivent dans un lieu donné**. Exemple : toutes les Vaches d'une prairie.
 - **Peuplement, guildes, cohorte** : **ensemble des individus d'un même groupe taxonomique qui vivent dans un lieu donné**. Exemple : tous les Mammifères d'une prairie.
 - **Biocénose** ou **communauté** : **ensemble de toutes les populations qui vivent dans un lieu donné**. Exemple : tous les êtres vivants d'une prairie.
 - **Écosystème** : **ensemble fonctionnel comprenant les êtres vivants qui vivent dans un lieu donné (biocénose) et le milieu physico-chimique dans lequel ils vivent (biotope), ainsi que toutes les interactions existant entre ces entités**. Exemple : une prairie.
 - **Paysage** : **ensemble d'écosystèmes plus ou moins différents mais interconnectés où l'homme exerce une influence variable (de nulle à très forte)**. Ex. le sud de Cesson-Sévigné.
 - **Biome** : **ensembles de paysages en lien avec un climat particulier, notamment caractérisés par leur type de végétation prédominant** Exemples : toundra, forêt caducifoliée, désert... Les biomes peuvent être regroupés en **zones biogéographiques** ou **écozones**.
 - **Biosphère** : **ensemble de tous les êtres vivants de la planète, et de tous les milieux qu'ils habitent**.

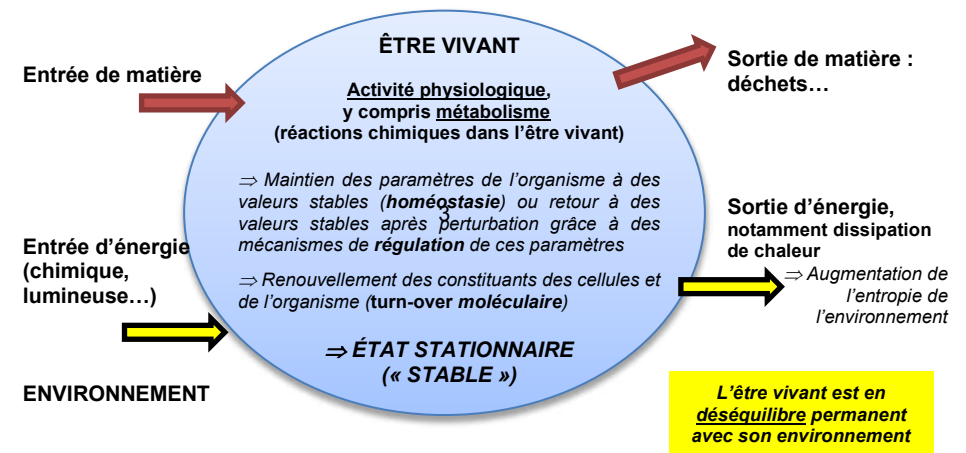
4. Un système thermodynamique ouvert, c'est-à-dire qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement

a. Activité, variabilité et stabilité des systèmes biologiques

- Les êtres vivants sont des **entités autonomes** capables de **capter et d'influencer leur environnement** (minéral ou vivant : congénères, individus d'autres espèces...), d'**échanger** avec lui de la **matière** et de l'**énergie** et de **se reproduire** en produisant des **individus semblables** (figure 1).
- Toutes ces **activités** supposent :
 - Le **maintien des caractéristiques physico-chimiques** des **cellules** et des **organismes** (par exemple : concentrations en éléments divers d'un compartiment, température interne, quantité d'eau dans l'organisme...) à des **valeurs stables** compatibles avec un fonctionnement efficace de la cellule ou de l'organisme. On désigne le **maintien à des valeurs stables des paramètres physiologiques** de

l'organisme ou d'une cellule par le terme **homéostasie** (du gr. homoios, même, et stasis, stabilité). Cela suppose une **régulation** des paramètres en question.

- La **modification** possible de ces paramètres face à une situation d'**urgence**, une situation **atypique** ou des **variations cycliques** du fonctionnement interne ou de l'environnement, autorisant des **fluctuations de l'activité biologique**. Certaines **substances** peuvent être provisoirement **stockées** puis **mobilisées** ultérieurement.
- La **permanence d'un ordre structural** : les structures biologiques sont hautement **ordonnées** et **organisées**, ce qui semble s'opposer au second principe de la thermodynamique (**principe d'entropie** ou **principe de CARNOT**) qui stipule que **l'entropie (en simplifié : le désordre) de l'univers ne peut qu'augmenter ou rester stable**. En réalité, **les systèmes biologiques évoluent loin de l'équilibre thermodynamique et maintiennent une organisation apparemment stable (état stationnaire)** au prix d'une **dépense importante d'énergie** qui **augmente** considérablement l'**entropie de l'environnement** tout en maintenant ainsi leur **faible entropie** : ce sont donc des **systèmes dissipatifs**, c'est-à-dire **dissipant de l'énergie vers l'extérieur**. Ils ne sont **nullement en équilibre** avec leur environnement. On dit qu'ils sont dans un **état stationnaire de non-équilibre**. **L'entretien des déséquilibres est nécessaire à la vie : la cessation des activités physiologiques (la mort) consiste justement en une mise à l'équilibre d'un organisme avec son environnement et/ou entre ses compartiments.**



▲ FIGURE 1. **Les êtres vivants, des systèmes thermodynamiques ouverts (= qui échangent de la matière et de l'énergie avec leur environnement).** Voir le texte.

Notons que l'énergie dont il est question peut parfois être sous forme d'**énergie chimique** contenue dans la **matière** : l'entrée et la sortie de matière et d'énergie sont alors confondues. Les quantités de matière et d'énergie dans un organisme sont **globalement stables** à court et moyen terme (on exclut ici les phénomènes de croissance), de même que l'**organisation de l'être vivant**... alors que cette matière est sans cesse **transformée** et que le maintien de cette organisation et les activités physiologiques demandent une **grande quantité d'énergie**. Cela suppose l'**acquisition régulière de matière et d'énergie de l'environnement**, leur **transformation** (notamment via les **réactions métaboliques**) et l'expulsion de **déchets**. Le **maintien de « l'ordre »** dans l'organisme et son fonctionnement imposent une **dissipation d'énergie** sous forme principalement de **chaleur**, laquelle augmente le « désordre » (entropie) de l'environnement.

- Les êtres vivants et les cellules sont donc des **systèmes thermodynamiques** à la fois **ouverts** – qui **échantent de la matière et de l'énergie avec l'environnement** – et apparemment **stables**, perdurant à un **haut degré d'organisation** (figure 1).
- Cette dualité est possible moyennant une **dépense d'énergie** assurant le **renouvellement régulier des constituants** (**turn-over moléculaire**) et leur **auto-organisation** qui s'accompagne d'une nécessaire **dissipation d'énergie et de matière dans leur environnement**.

b. Le métabolisme

- Le **métabolisme** est *l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans un être vivant (ou dans une cellule)*, lui permettant d'assurer l'ensemble de ses fonctions. On note de nombreux **points communs** dans cette activité métabolique entre les organismes :
 - L'intervention de **protéines catalytiques** nommées **enzymes** qui **accélèrent** la grande majorité des **réactions chimiques** et les rendent **possibles** mais aussi **contrôlables** dans les conditions biologiques.
 - L'intervention de **ribosomes** (structures présentant une **activité catalytique**) dans la **synthèse de protéines**.
 - L'emploi de **dispositifs hautement conservés** dans le monde vivant permettent la **libération d'énergie utilisable par les cellules** (notamment utilisation d'ATP, de coenzymes d'oxydoréduction et de gradients électrochimiques).

5. L'unité physiologique : les grandes fonctions du vivant

- On appelle **physiologie** (du gr. *phusis*, nature, racine utilisée pour désigner le fonctionnement) *l'étude du fonctionnement des organismes vivants*. Les êtres vivants sont capables de **capter et d'influencer leur environnement**, d'**échanger** avec lui de la **matière** et de l'**énergie** et de se **reproduire** en produisant des **individus semblables**.
- L'activité biologique peut ainsi être résumée autour de trois **grandes fonctions** : les **fonctions de relation**, les **fonctions de nutrition** et les **fonctions de reproduction**. *Tous les organismes réalisent ces trois ensembles de fonctions qui se retrouvent également à l'échelle de la cellule (encadré A).*

L'ensemble du programme illustre ces différentes fonctions.

a. Les fonctions de relation

- Les **fonctions de relation** désignent *l'ensemble des fonctions permettant à l'organisme d'interagir avec son environnement* :
 - Plus précisément, ces fonctions sont celles qui permettent à l'organisme **de percevoir cet environnement, de s'y déplacer ou de s'y ancrer, et de s'adapter à ses fluctuations, contraintes ou agressions** (**fonctions de relation au sens strict**).
 - Les fonctions de relation au sens large incluent en outre également **les fonctions permettant la coordination des activités physiologiques et la communication entre les différentes parties de l'organisme** (**fonctions d'intégration**).

Chez les **Mammifères**, cela comprend :

Soutien, locomotion, mise en mouvement : système squelettique, système musculaire
Maintien de l'intégrité et défense : système tégumentaire, système immunitaire
Perception de l'environnement : systèmes sensoriels (souvent inclus dans le système nerveux)
Communication au sein de l'organisme, régulation : système nerveux, système endocrinien

b. Les fonctions de nutrition

- Les **fonctions de nutrition au sens large** désignent *l'ensemble des fonctions permettant à l'organisme de réaliser ses échanges de matière et d'énergie avec son environnement*, comprenant aussi bien l'**acquisition** de cette matière ou de cette énergie que l'**évacuation des déchets** de l'activité physiologique.

Chez les **Mammifères**, cela comprend :

Respiration = échanges gazeux : système respiratoire
Alimentation = nutrition au sens strict : système digestif
 (Prise alimentaire / Digestion / Assimilation...)
Milieu intérieur et sa distribution (circulation) : système circulatoire (= système cardiovasculaire)
Excrétion : système urinaire [+ système respiratoire : excrétion du CO₂]

c. Les fonctions de reproduction

- Les **fonctions de reproduction au sens large** désignent *l'ensemble des fonctions permettant à un organisme de générer de nouvelles générations d'individus semblables en leur transmettant son information génétique*. Cela comprend :
 - La **reproduction au sens strict** : *ensemble des processus permettant la production de nouveaux individus, à partir d'un parent unique (reproduction asexuée – inexistante chez les Mammifères) ou de deux individus parentaux (reproduction sexuée)*. On peut y placer : la **méiose** (*division cellulaire d'une cellule diploïde* aboutissant à la production de cellules haploïdes**), la **gamétogenèse** (*production de gamètes*), le **rapprochement des gamètes**, la **fécondation** (*réunion de deux gamètes qui forment alors un zygote*), les aspects **physiologiques** et de **régulation** associés à ces processus, les **aspects comportementaux**...

* Rappel :

Haploïdie : *état d'un organisme ou d'une cellule dont les chromosomes sont présents en simple exemplaire*. Cas typique des gamètes chez nombre d'espèces.

Diploïdie : *état d'un organisme ou d'une cellule dont les chromosomes sont présents en double exemplaire*. Cas de la plupart des cellules dans les organismes étudiés cette année.

- Le **cycle de vie** et ses différentes phases : le cycle de vie (= cycle biologique = cycle biotique = cycle biontique = cycle vital = cycle de développement...) est *l'ensemble chronologique et cyclique des étapes de la vie d'une espèce impliquant une reproduction sexuée, avec méiose et fécondation*.
- Le **développement** ou **ontogenèse** (du gr. *ontos*, être, et *genesis*, création, naissance), c'est-à-dire *l'édification et la construction d'un organisme capable de se reproduire* : développement embryonnaire, développement post-embryonnaire, croissance, différenciation...
- On peut y ajouter les **processus plus ou moins programmés de baisse progressive des fonctions physiologiques de l'organisme** qu'on appelle **vieillesse** ou **sénescence**.

Encadré A Les grandes fonctions physiologiques à l'échelle de la cellule

Les **fonctions de relation**, de **nutrition** et de **reproduction** se retrouvent à l'échelle d'une seule cellule, ce qui fait bien de cette entité l'**unité à la fois structurale et fonctionnelle de base des êtres vivants**. Rappelons d'ailleurs qu'un être vivant peut être constitué d'une seule cellule.

Fonctions de relation = **fonctions de relation de la cellule avec son environnement (le milieu extracellulaire)**

Structure et soutien, interactions (mécaniques, chimiques...) avec d'autres cellules, les matrices, les liquides circulants ou interstitiels, locomotion, mise en mouvement (ou fixation), maintien de l'intégrité cellulaire, communications intercellulaires...

Fonctions de nutrition = **échanges de matière et d'énergie entre la cellule et le milieu extracellulaire**

Échanges de matières (transports transmembranaires, trafic vésiculaire), échanges d'énergie, métabolisme (catabolisme, anabolisme), expression génétique...

Fonctions de reproduction = **production de nouvelles cellules avec transmission de l'information génétique et acquisition possible de particularités structurales et fonctionnelles**

Cycle cellulaire, réplication, division cellulaire, croissance cellulaire, différenciation, sénescence...

B. Un animal (Métazoaire) : un organisme pluricellulaire hétérotrophe phagotrophe (approche physiologique)

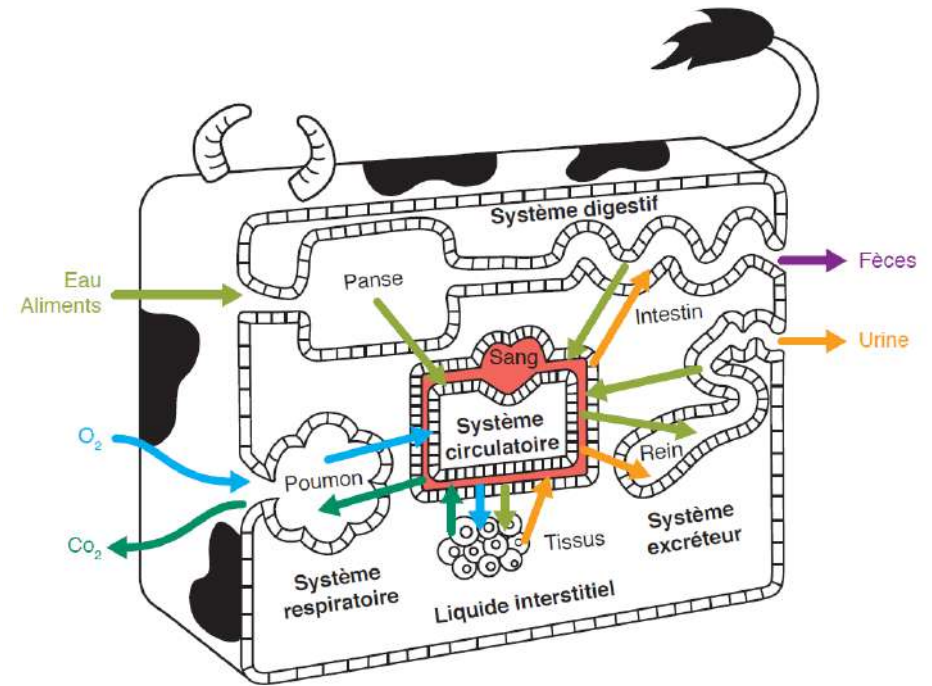
- Les **Métazoaires (Animaux pluricellulaires)** peuvent être notamment conjointement définis physiologiquement par :
 - La **pluricellularité**
 - L'**hétérotrophie**
 - La **phagotrophie**.

1. Un organisme pluricellulaire : un ensemble d'organes spécialisés au fonctionnement coordonné

- On dit d'un organisme qu'il est **pluricellulaire** lorsqu'il **constitué d'un nombre important de cellules**.
- Cela se traduit, dans le cas des **Animaux** comme la Vache (**figure 1bis**), par :
 - Des **organes spécialisés** que l'on peut regrouper en **grands appareils** ;
 - Une **mise à distance de l'environnement de nombreuses cellules**, ce qui implique :
 - Des **surfaces d'échanges spécialisées** avec l'environnement, permettant les **échanges de matière (et d'énergie)** avec cet **environnement** ;
 - Un **déplacement de la matière** dans l'organisme, assuré par la **fonction de circulation**.
 - Une **coordination des fonctions** notamment permise par **deux grands systèmes de communication** dans l'organisme animal :
 - Le **système nerveux** ;
 - Le **système endocrinien (= hormonal)**.

2. Un organisme hétérotrophe : un consommateur de matière organique pré-existante

- Les **Animaux** sont organismes **hétérotrophes** (à la fois vis-à-vis du **carbone** et de l'**azote**) : ce sont des **organismes qui s'alimentent à partir de matière organique carbonée et azotée préexistante**.



Flèches vertes : les aliments ingérés deviennent nutriments suite à la digestion.
Flèches orange : déchets

▲ FIGURE 1bis. **La Vache, un organisme constitué d'appareils spécialisés interagissant entre eux : l'exemple des fonctions de nutrition.** D'après SEGARRA et al. (2014)

3. Un organisme phagotrophe : un consommateur d'aliments massifs ou particuliers ingérés puis digérés

- Les Animaux **se nourrissent d'aliments particuliers ou massifs, ce qui suppose l'ingestion de ces aliments et souvent leur implication moléculaire (digestion) avant absorption** : c'est la **phagotrophie** (du gr. *phagein*, manger). L'ingestion se fait par un **orifice où débute le tube digestif, la bouche**.

Cela s'oppose à l'**absorbotrophie** ou **osmotrophie** où **les organismes s'alimentent uniquement de substances dissoutes**, comme c'est le cas des 'champignons' pourtant eux aussi **hétérotrophes** (vis-à-vis du carbone).

- La Vache est un **phytophage (= herbivore au sens large)** ou **consommateur primaire** (qui **s'alimente d'organismes végétaux**), plus précisément un **herbivore au sens strict** (qui **s'alimente de la partie aérienne d'espèces végétales herbacées**).

C. Un organisme intégré dans son environnement abiotique et biologique (approche écologique)

- La **Vache** fait partie d'un **écosystème**, composé de son **biotope** et sa **biocénose**.

1. Un organisme vivant dans une prairie ou une stabulation

- Le **milieu de vie** d'une Vache peut être :
 - Une **prairie**, **écosystème plus ou moins anthropisé où domine la strate herbacée** (ce qui est notamment permis par le broutage des Bovins !). C'est notamment plutôt le cas à la **belle saison** (printemps, été). On peut parler de **pâturage** pour désigner **soit l'état des animaux en prairie**, soit justement la **prairie où vivent et s'alimentent les animaux**.
 - Un **point d'eau** est évidemment **nécessaire** pour permettre aux Animaux de **s'abreuver**.
 - Une **pierre-à-lécher** (**bloc de sel et d'oligo-éléments divers**) est souvent mise à disposition des Animaux.
 - Une **stabulation**, c'est-à-dire **un ensemble clos et restreint où les Vaches sont dans des bâtiments d'élevage comprenant souvent une étable (lieu de vie, de repos, d'alimentation...)** et **un lieu de traite**. C'est plutôt le cas à la **mauvaise saison** (automne, hiver) mais certaines Vaches peuvent y vivre à l'année.

2. Un organisme qui vit en milieu aérien : adaptations aux contraintes physico-chimiques de ce milieu

- Le **milieu aérien** présente un certain nombre de **caractéristiques physico-chimiques** qui supposent des **adaptations des organismes**. Même si celles-ci seront reprises dans ce **chapitre** pour chaque fonction, dressons un panorama des **principales adaptations** en lien avec les **grandes caractéristiques du milieu** (**tableau I**).



▼ TABLEAU I. Quelques réponses anatomo-fonctionnelles de la Vache à quelques caractères physico-chimiques du milieu aérien. Inspiré de DAUTEL *et al.* (2017)

Caractère	Conséquences biologiques
Milieu desséchant	- Limitation des pertes hydriques : tégument, internalisation des surfaces d'échanges - Contrôle de la volémie
Milieu peu dense (800 fois moins que l'eau)	- Facilité de déplacement (faible dépense musculaire) - Ventilation peu coûteuse en énergie (ventilation bidirectionnelle possible)
Milieu à faible portance (poussée d' Archimède négligeable face au poids des gros organismes)	- Nécessité de porter l'animal (squelette, musculature > coût énergétique)
Forte teneur en dioxygène (en moyenne 30 fois plus que dans l'eau)	- Facilité d' extraction du dioxygène
Pas de diffusion des ions NH₄⁺ possible	- Stockage de l' urine , et concentration en une substance plus aisément concentrable (ici l' urée)
Milieu thermiquement fluctuant (jour/nuit et saisons)	- Protection tégumentaire (dont pilosité) - Thermorégulation - Adaptations comportementales

3. Des relations avec les congénères de la même espèce : les relations intraspécifiques

- On appelle **relations intraspécifiques** (ou **relations homotypiques**) sont des **relations entre individus d'une même espèce**.

a. Le grégarisme et la socialité

- La **Vache** est :
 - Un animal **grégaire**, c'est-à-dire que **les individus ont tendance à se regrouper en groupes** qu'on appelle ici **troupeaux** comprenant naturellement les **Vaches** et leurs **veaux**. On peut toutefois noter une **tendance à l'isolement** par exemple pour la **mise bas**.
 - Un animal **social**, c'est-à-dire que **la Vache effectue des activités en groupe (en l'occurrence : broutage, déplacement, traite...)** et que **les individus se reconnaissent et communiquent entre eux**.

b. Communication et reconnaissance

- Les **Vaches** sont capables de **se reconnaître** par les **odeurs** ; c'est d'ailleurs ce qui permet aux **Vaches** de repérer leur **veau**.
- Elles peuvent **communiquer** par des **attitudes** (menace, soumission, fuite, alerte...) ou leur **cri** (appelé **meuglement** ou **beuglement**) dont la **signification** est **variable** : faim / soif, appel d'un veau ou d'un congénère, souffrance...

c. Dominance, soumission ; leadership

- La Vache peut présenter des **comportements hiérarchiques** au sein d'un **troupeau** ; ceux-ci se mettent en place notamment lors de la **première rencontre entre deux individus** par des **coups de tête** ou des **comportements d'intimidations**.
- On distingue :
 - Les **individus dominants** qui **mangent en premier et plus longtemps dans le cas d'une source de nourriture limitée**. Une Vache est souvent plus dominante que les autres.
 - Les **individus soumis** qui **mangent après les dominants et moins longtemps dans le cas d'une source de nourriture limitée**.
- Notez que, dans le cas de **grands troupeaux (> 50 Vaches)**, les Vaches **cessent de se reconnaître** et de **nouvelles relations de dominance-soumission** se mettent en place à **chaque fois** que des individus **se croisent**.
- Les **Vaches de même rang se lèchent**, ce qui permet le **toilettage mutuel** au niveau de **zones non accessibles** de manière autonome (tête, cou notamment).
- Enfin, on trouve souvent une **Vache leader** ou **Vache meneuse** (**sans lien** avec son statut de **dominance-soumission**) qui est la **Vache qui mène le troupeau en initiant les mouvements du groupe, souvent parce qu'elle a une bonne vision dans l'espace et une bonne mémoire de l'environnement**.

d. Le soin et l'alimentation des jeunes (veaux)

- Les **Vaches allaitantes** :
 - lèchent leur veau**, ce qui assure son **hygiène** mais aussi la **reconnaissance** entre les **individus** ;
 - protègent leur veau** d'agressions extérieures ;
 - alimentent leur veau** par **allaitement**.

e. Des comportements sexuels

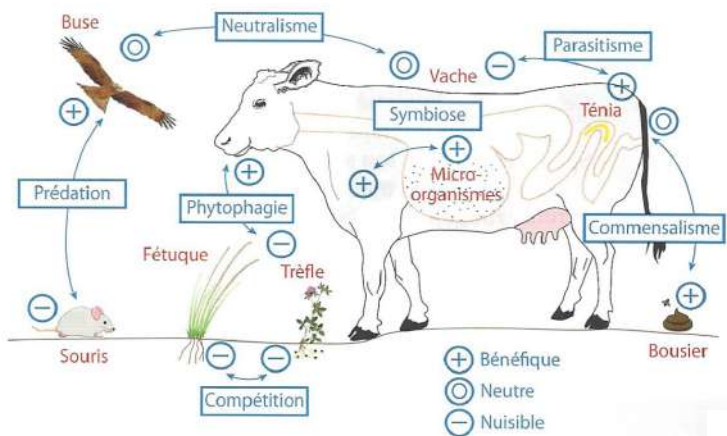
- On appelle **chaleurs** ou **œstrus** la **période précédant l'ovulation où la Vache (ou la génisse) est fécondable par un Taureau**. On assiste alors à :
 - Une **agitation anormale** ;
 - La **libération de phéromones**, essentiellement d'origine vaginale.
- Le **Taureau détecte** cette agitation et ces odeurs ; il peut alors **s'accoupler** avec la Vache.
- Notons que les **Taureaux** sont **difficiles à élever en troupeaux** car ils **se battent** entre eux, parfois extrêmement **violemment**, particulièrement en cas de **période d'œstrus** où une **compétition intrasexuelle** pour l'accès aux femelles s'observe.

4. Des relations avec des organismes d'autres espèces : les relations interspécifiques

- On appelle **relations interspécifiques** (ou **relations hétérotypiques**) les **relations entre individus d'espèces différentes** (tableau II, figure 2).

▼ TABLEAU II. **Effets positifs ou négatifs des relations interspécifiques sur les protagonistes.**
D'après SELOSSE (2014)

PARTENAIRE A	PARTENAIRE B	Type d'interaction
+	+	mutualisme
+	-	parasitisme (ou prédation, si mort s'ensuit)
+	0	commensalisme
0	-	amensalisme
0	0	neutralisme
-	-	antagonisme (dont compétition)



▲ FIGURE 2. **Quelques relations interspécifiques dans la prairie.**
D'après SAINTPIERRE et al. (2017).

- Les **principales relations interspécifiques** sont :
Nous verrons le détail dans le chapitre 17 sur les écosystèmes ; je me borne ici aux **grands concepts**.
- Les **relations indifférentes**, **interactions interspécifiques sans bénéfices ni coûts particuliers pour les espèces protagonistes** : c'est le **neutralisme au sens large**.
Ex. Vache / Souris
- Les **relations mangeur-mangé** ou **prédation au sens large**, **interactions où l'un des protagonistes ingère tout ou partie de l'organisme de l'autre espèce, ce qui assure au premier un apport de matière et d'énergie**. On peut distinguer :
 - La **phytophagie** (ou **herbivorie au sens large**) : **situation où le « mangeur » (appelé ici consommateur primaire) consomme un producteur primaire, c'est-à-dire un organisme végétal**. Le végétal est souvent consommé partiellement et survit généralement à l'interaction.
Ex. Vache (phytophage) consommant des Poacées.
 - La **prédation au sens strict** désigne la **situation où le « mangeur » (appelé ici consommateur secondaire, ou encore prédateur au sens strict) consomme un autre consommateur (appelée proie), c'est-à-dire un organisme animal**. La proie est souvent tuée dans le cadre de l'interaction ; des cas litigieux existent*.
Ex. Vache (proie) consommée par l'Homme (prédateur)

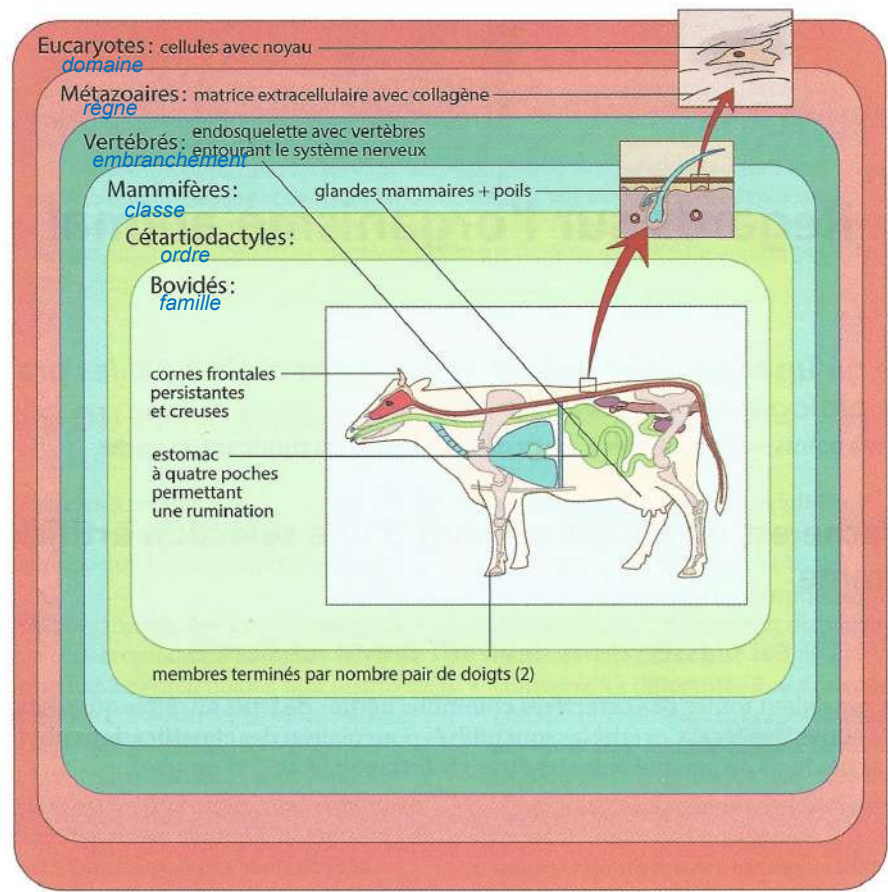
La Vache étant un grand herbivore qui sait se défendre ; elle est globalement peu attaquée sous nos latitudes et n'est guère que la proie de l'Homme. En revanche, des pays plus exotiques avec des **grands carnivores** (Lions, Tigres, Crocodiles...) peuvent être le théâtre d'attaques contre des Vaches.

- La **compétition** (ou **concurrence**) **interspécifique**, **interaction où les deux protagonistes luttent pour la même ressource (ou les mêmes ressources) (lumière, habitat, sol, nourriture...), ou se combattent directement**.
Pas d'exemple avec la Vache ?
- Le **parasitisme**, **interaction durable où un organisme (parasite) exploite et se nourrit de l'autre partenaire (hôte) sans que l'interaction n'entraîne la mort de l'hôte ou, du moins, pas à court terme**.
À plus ou moins long terme, la mort peut tout de même parfois intervenir. L'interaction est souvent **obligatoire** pour le parasite (même s'il arrive, rarement, qu'elle soit facultative).
Ex. Ténia ou encore Petite Douve (parasites) parasitant une Vache (hôte)
- Les **mutualismes**, **interactions interspécifiques réciproquement profitables aux deux protagonistes**. On peut distinguer :
 - La **symbiose** : **mutualisme durable entre deux espèces qui généralement associent et/ou modifient une partie de leur anatomie dans le cadre de l'interaction**.
L'interaction peut être **obligatoire** (pour l'un ou les deux partenaires) ou **facultative** (pour l'un ou les deux partenaires).
Ex. Micro-organismes du rumen et Vache
 - La **coopération** : **mutualisme transitoire**.
Là encore, l'interaction peut être **facultative** ou **obligatoire** pour l'un ou les deux partenaires.
Pas d'exemple avec la Vache ?

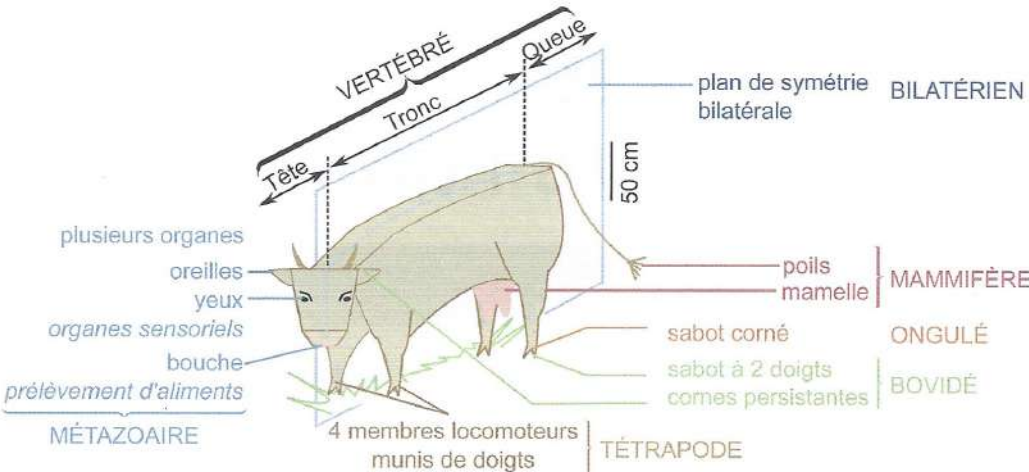
D. Un organisme que l'on peut placer dans la classification biologique (approche taxonomique)

1. Une espèce dans la classification

- On appelle **classification biologique** un **classement hiérarchique des êtres vivants regroupés en différents groupes imbriqués (nommés taxons)**. On appelle **caractères** les **attributs des organismes utilisés pour réaliser des classifications**.
- Aujourd'hui, la **classification** est **phylogénétique**, c'est-à-dire qu'elle est **basée sur l'apparement évolutif des organismes**.
- Il peut être bon de connaître **quelques grands traits de la classification de la Vache** dont l'espèce s'appelle **Bos taurus** (figure 3).



▲ FIGURE 3. **Éléments de classification de la Vache.**
D'après DAUTEL *et al.* (2017). Proposition de *ranking* ajoutée.



Des caractères morphologiques pour établir la position systématique de la vache.

CARACTÈRES ANATOMIQUES	POSITION SYSTÉMATIQUE
Plusieurs organes → organisme pluricellulaire Appareil digestif → animal	MÉTAZOAIRE Règne
Crâne + colonne vertébrale Appareil circulatoire clos Tube digestif en trois parties : œsophage, estomac et intestin Foie et pancréas distincts	VERTÉBRÉ Embranchement
Quatre pattes, membres locomoteurs de type chiridien	TÉTRAPODE Superclasse
Glandes mammaires produisant du lait	MAMMIFÈRE Classe
Chez la femelle : utérus = organe de la gestation	EUTHÉRIEN Sous-classe
Estomac (caillotte) et trois « pré-estomacs » (dont la panse)	RUMINANT Sous-ordre
Pas de canines, pas d'incisives supérieures	BOVIDÉ Famille

Des caractères anatomiques pour établir la position systématique de la vache.

Organes des fonctions de nutrition en rose ; fonctions de reproduction en violet
et fonctions de relation en orange

▲ FIGURE 3bis. **Éléments de classification de la Vache : une autre présentation.**
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021). Proposition de *ranking* ajoutée.

2. L'existence d'une diversité intraspécifique : les races de Bovins

- Les **rac**es sont des **rangs taxonomiques informels utilisés en agronomie ou élevage et correspondant généralement au fruit d'une sélection artificielle visant à sélectionner des caractères intéressants pour l'Homme**.
- Pour les **Vaches** (figure 4), on peut sérier les **rac**es en :
 - Vaches laitières** (sélectionnées pour leur forte production laitière) : Prim'Holstein, Normande...
 - Vaches à viande** (sélectionnées pour le gabarit important de leur progéniture) : Charolaise, Limousine...
 - Vaches mixtes** (compromis entre les deux) : Aubrac, Montbéliarde, Salers...

La vache française en quelques chiffres

- 46 races de vaches sont reconnues en France (arrêté n°AGRP0761512A du 26 juillet 2007, modifié le 22 décembre 2011), 85 % du cheptel français est représenté par 5 races (Prim'Holstein, Charolais, Normande, Montbéliarde, Limousine).
- 18 millions d'individus élevés en France constituent le plus grand cheptel d'Europe.
- Selon les races, une vache adulte pèse entre 400 et 1 100 kg, un taureau pèse entre 600 et 1700 kg. Un veau pèse environ 40 kg à la naissance.
- Une vache laitière produit en moyenne 18 à 25 litres de lait par jour, et même jusqu'à plus de 40 litres pour les meilleures laitières. La France est le 1^{er} pays laitier d'Europe.

D'après SEGARRA et al. (2014)



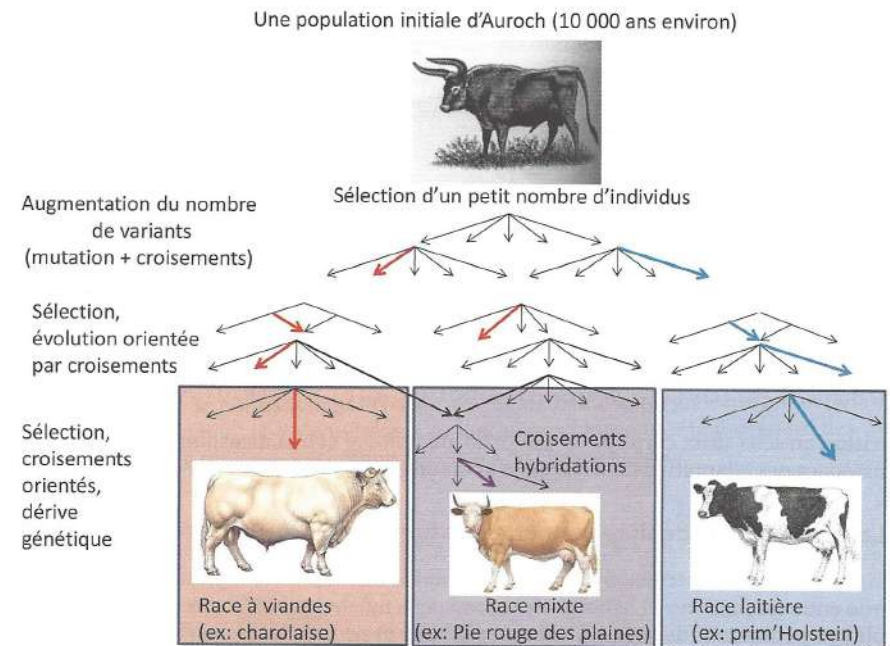
▲ FIGURE 4. Quelques races de Vaches.

<https://agronomie.info/fr/differents-races-bovines-a-viande/> (consultation juin 2019)

E. Un organisme domestiqué et élevé par l'Homme (approches technologique et agronomique)

- La **Vache** était présentée, dans l'ancien programme, comme un « **objet technologique** ».
- On peut définir :
 - L'**agronomie** comme la **discipline appliquant les connaissances scientifiques à la compréhension et l'amélioration des pratiques agricoles (incluant donc au sens le plus large l'élevage)**.
 - La **technologie** comme la **discipline scientifique étudiant les techniques**, une **technique** étant un **procédé à visée utilitaire appliquant des connaissances scientifiques ou empiriques**.

1. La Vache, fruit de la domestication et de la sélection artificielle



▲ FIGURE 5. Le principe de la domestication et de la sélection chez la Vache.

D'après DAUTEL et al. (2017).

a. La domestication de la Vache à partir de l'Auroch au Néolithique

- Les **Aurochs** (*Bos primigenius*) étaient des **Bovins sauvages aux longues cornes ayant vécu en Europe jusqu'au XVII^e siècle et à partir desquels la Vache a été domestiquée**.
- Les **données de génomique** et d'**archéologie** situent la **domestication** entre il y a 8000 et 10000 ans avant aujourd'hui (8000 à 6000 avant J.-C), au Proche-Orient (Néolithique).
- À l'époque, la **sélection** était **empirique** et le processus a probablement été très long.

On peut définir la **domestication** comme la **modification durable (donc affectant le patrimoine génétique) d'une espèce vivante au contact de l'Homme, le plus souvent par sélection, dans un objectif d'obtenir des caractéristiques morpho-anatomiques, physiologiques, comportementales... d'intérêt.**

b. Une sélection artificielle de caractères qualitatifs ou quantitatifs intéressants pour l'Homme

- La **sélection artificielle** désigne le **processus de reproduction préférentielle d'individus choisis par l'Homme sur des caractères qu'il juge dignes d'intérêt.**
- Les **racés bovines** sont issues d'une **telle sélection** qui vise à sélectionner :
 - Des **traits quantitatifs** : masse musculaire (production de viande), production laitière...
 - Des **traits qualitatifs** : couleur de la robe, absence ou présence de cornes, sensibilité aux maladies...
- Cette **sélection** repose sur :
 - L'apparition de **nouveaux phénotypes** par **mutation** ;
 - Le **croisement entre eux** d'individus porteurs de ces **phénotypes** ;
 - Leur éventuel **croisement par hybridation** avec d'autres individus porteurs d'autres **caractéristiques phénotypiques intéressantes** ;
 - La **fixation de certains traits** par **dérive génétique**.

c. Une domestication impliquant l'espèce domestiquée (Bovin) et l'espèce domesticante (Homme)

- On se reportera au **tableau II bis**.

2. La Vache, animal au service de l'Homme

- Les Bovins rendent depuis longtemps de nombreux services à l'Homme.

a. Un animal pourvoyeur de lait et de viande (visée alimentaire)

- Les **Bovins** sont notamment élevés :
 - Pour la **production de lait**, **matière première** de nombreux **produits alimentaires artisanaux ou industriels** (beurre, crème, fromages, yaourts...).
 - Pour la **production de viande**.

b. Un animal de trait (visée agricole)

- Pendant **longtemps** et encore dans certains **pays en voie de développement**, les **Bovins** étaient utilisés comme **animaux de trait**, permettant de **labourer les champs**.

c. Un animal pourvoyeur de cuir

- La **peau de l'animal** est utilisée comme **matière première** à l'origine du **cuir**, obtenu par **tannerie** et utilisé en **maroquinerie**.
- Jadis, on produisait aussi les **parchemins** à partir de peaux animales.

3. La Vache, organisme dont la reproduction demeure maîtrisée par l'Homme (insémination artificielle, transferts d'embryons, sélection génomique)

- Des **techniques récentes** permettent d'**améliorer la sélection bovine** :
 - Insémination artificielle** de Vaches avec du **sperme** de **Taureaux reproducteurs** intéressants (on peut ainsi féconder **50 000 Vaches** avec un même Taureau !);

- Transferts d'embryons** (on soumet une **Vache** dont on veut **évaluer les qualités** à des **ovulations multiples** par traitement hormonal, on réalise des **fécondations in vitro** puis on **implante les embryons** dans de **nombreuses Vaches**) ;
- Sélection génomique** (prédiction des **caractéristiques phénotypiques** par **séquençage**).

▼ **TABEAU II bis. La domestication et ses conséquences sur les deux espèces impliquées.**
D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

Impacts de la domestication sur l'espèce <i>Bos taurus</i>	
Sur les fonctions de relation	Sélection sur le comportement (docilité) (Diminution de la taille) Diminution de la vitesse de course Diminution de l'espace disponible, dont la nature change (stabulation) Protection vis-à-vis de conditions du milieu défavorables, vis-à-vis de prédateurs, d'organismes pathogènes Relations intraspécifiques modifiées : troupeau constitué par l'éleveur
Sur les fonctions de nutrition	Modification de l'accès aux ressources alimentaires : distribution de la ration à heure fixe, pas de recherche nécessaire Ration adaptée à l'état physiologique de l'animal
Sur les fonctions de reproduction En élevage laitier	Interactions mâles/femelles souvent absentes (insémination artificielle) Interactions mère/veau réduites Augmentation de la prolificité, de l'efficacité de la reproduction Traite à heure fixe, matin et soir
Impacts de la domestication sur l'espèce humaine	
À l'échelle de l'individu	Mode de vie de l'éleveur rythmé par les soins à apporter à son troupeau
À l'échelle des collectivités locales	Aménagement du territoire lié à l'élevage Mise en valeur d'écosystèmes peu propices aux autres productions (alpages) Entretien d'écosystèmes (<i>Bos taurus</i> est une espèce architecte et une espèce clé de voûte de l'écosystème prairial (voir chapitre J-2))
À l'échelle des populations humaines	Diversification des ressources alimentaires : viande, lait Adaptation à la consommation de produits laitiers : conservation à l'âge adulte d'enzyme (β -galactosidase) nécessaire à la digestion du lactose du lait Transmission par le bétail de maladies infectieuses (tuberculose, rougeole...)
À l'échelle de la biosphère	Contribution à la préservation de la biodiversité dans les zones d'élevage Production de méthane, gaz à effet de serre (60 % des gaz à effet de serre sont produits par l'agriculture soit 10,4 % des émissions totales en France)

Bilan (adapté du programme)

- ✓ Les **vaches** appartiennent au groupe des **Métazoaires** et à la famille des **Bovidés**.
- ✓ Les **différents appareils de l'organisme** sont **reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation**. Certaines de leurs **caractéristiques** sont liées au **milieu de vie**.
- ✓ L'organisme est en **interaction** avec son **environnement biotique et abiotique**.
- ✓ La **vache** est incluse dans différents **systèmes de relations intraspécifiques et interspécifiques** (dont les **relations avec l'être humain** responsable de la **domestication** des animaux d'élevage).

II. La Vache, un organisme qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement : les fonctions de nutrition (s. I.)

- Les **fonctions de nutrition au sens large** désignent *l'ensemble des fonctions permettant à l'organisme de réaliser ses échanges de matière et d'énergie avec son environnement*, comprenant aussi bien l'**acquisition** de cette matière ou de cette énergie que l'**évacuation** des **déchets** de l'activité physiologique.

Chez les **Mammifères**, cela comprend :

Respiration = échanges gazeux : système respiratoire

Alimentation = nutrition au sens strict : système digestif
(Prise alimentaire / Digestion / Assimilation...)

Milieu intérieur et sa distribution (circulation) : système circulatoire (= système cardiovasculaire)

Excrétion : système urinaire [+ système respiratoire : excrétion du CO₂]

Capacités exigibles

- ✓ **Construire** un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition.
- ✓ **Argumenter** la complémentarité et la coopération fonctionnelle des différents appareils.
- ✓ **Mettre en relation** l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation au milieu aérien.

A. Un organisme dont les cellules, au métabolisme aérobie, présentent des besoins matériels et produisent des déchets

1. Un prélèvement de matière organique, d'eau, d'ions et de dioxygène dans l'environnement

- L'organisme **prélève** dans l'environnement :
 - De la **matière organique** : lipides, glucides, protides, vitamines...
 - De la **matière minérale** : dioxygène, eau, ions.
- Le **dioxygène** est nécessaire à la réalisation de la **respiration mitochondriale** qui produit l'**essentiel de l'énergie** (sous forme d'ATP) de la **plupart des cellules** ; on dit que les Animaux sont **aérobies stricts**, c'est-à-dire que **leur survie et leur métabolisme dépendent de la présence indispensable de dioxygène**.

2. Une intégration de la matière dans l'anabolisme et le catabolisme : l'assimilation

- On peut appeler **assimilation** *l'utilisation par une cellule ou un organisme de matière (et d'énergie) d'origine environnementale dans son propre métabolisme et la synthèse de ses propres constituants*.

3. Une évacuation des déchets à l'extérieur de l'organisme : l'excrétion

- Les **déchets de fonctionnement des cellules** (déchets azotés, CO₂) et du **trop-plein d'eau ou d'ions** sont évacués à l'extérieur de l'organisme : c'est l'**excrétion** (même si ce terme peut aussi désigner *toute sécrétion à l'extérieur de l'organisme, et pas forcément uniquement de déchets*).

B. Un organisme qui prélève, simplifie et absorbe de la matière organique d'origine environnementale : le système digestif

1. Quelques concepts préliminaires

a. La notion d'aliment et de nutriment

- On appelle **aliment** une **particule composée de matière organique ingérée par un organisme animal**. Il s'agit généralement d'organismes ou de fragments d'organismes où la **matière organique** est **hautement polymérisée et assemblée** de manière **complexe**.
- Le terme **nutriment** peut aussi désigner **toute substance absorbable et utilisable par l'organisme** ; il s'agit de **molécules simples** (ou d'ions).

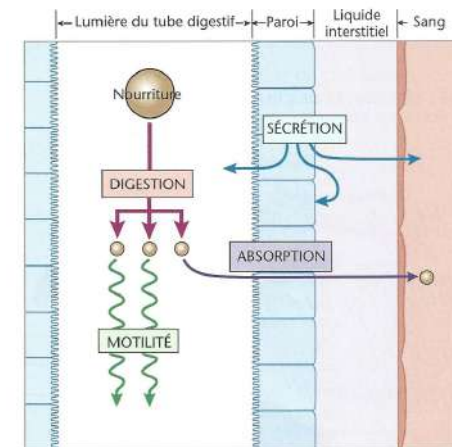
On peut ainsi considérer le **dioxygène** comme un **nutriment**.

Du reste, chez les **espèces végétales**, le terme fait uniquement référence à des **substances minérales** (CO₂, ions...).

b. Des aliments aux nutriments : la digestion

- On peut appeler **digestion au sens le plus large** *l'ensemble des processus qui permettent l'ingestion d'aliments, leur simplification et leur dégradation en nutriments, leur absorption et leur passage dans le sang (ou la lymphe), ainsi que l'évacuation hors de l'organisme des aliments non assimilés (= égestion)*. La **digestion au sens le plus strict** désigne seulement *la dégradation des aliments en nutriments, le processus comportant une dimension mécanique et une dimension chimique catalysée par des enzymes*.

c. Les grands mécanismes de la digestion : motilité, digestion chimique (y compris symbiotique), absorption



▲ FIGURE 6. **Processus fondamentaux dans le tube digestif**. D'après SILVERTHORN et al. (2007).

- Les **principaux processus** affectant l'appareil digestif sont les suivants (figure 7) :
 - La **motilité** qui permet à la fois la **digestion mécanique** (= **fragmentation des aliments**) et l'**avancée des aliments dans le tube digestif** (= **péristaltisme**).

- La **sécrétion exocrine** de **sucs digestifs** (= **sécrétions aqueuses riches en enzymes digestives**) qui assurent la **digestion chimique**.
- La **digestion** par le biais de **micro-organismes symbiotiques** qui participe de la digestion chimique.
- L'**absorption**, c'est-à-dire ici **la traversée de la paroi du tube digestif par les nutriments jusqu'au sang (ou parfois la lymphe)**.

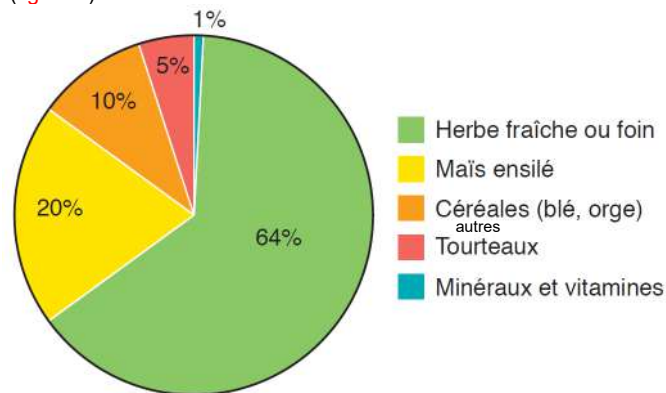
d. La notion de système digestif : tube digestif et glandes digestives

- Les **organes impliqués dans la digestion au sens large** sont regroupés en un **appareil digestif** comprenant deux grands types d'organes :
 - Le **tube digestif** correspondant à **l'ensemble des voies par lesquelles transitent les aliments : bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestin grêle, gros intestin (= côlon), anus**. Ces organes **ont généralement eux-mêmes une activité sécrétrice d'enzymes digestives (voire d'hormones) et certains (surtout l'intestin grêle) permettent l'absorption des nutriments**.
 - Les **glandes digestives** correspondant à des **glandes exocrines (quoiqu'elles puissent avoir aussi une activité endocrine) qui produisent des sécrétions riches en enzymes digestives assurant la digestion chimique des aliments : les glandes salivaires, le pancréas, et le foie associé à la vésicule biliaire**.

2. Le point de départ : une alimentation végétale

a. Une alimentation qui comprend une grande partie de plantes herbacées riches en cellulose...

- La **Vache** est un **animal phytophage** qui consomme en **grande partie de l'herbe ou du foin (herbe séchée)** voire des **granulés de végétaux desséchés** selon la **saison (figure 7)** très largement composés de **cellulose**, polysaccharide **impossible à digérer pour la plupart des Mammifères** sans symbiose microbienne.
- On lui propose aussi des **céréales ensilées** – l'**ensilage** est un **mode de conservation de récoltes en anaérobiose dans des silos** – ou fraîches, des **tourteaux (résidus solides obtenus après extraction de l'huile des graines ou fruits oléagineux : Soja, Colza, Tournesol)** et des **compléments alimentaires (figure 7)**.



▲ FIGURE 7. **Alimentation typique et moyenne d'une vache laitière en France.**
D'après SEGARRA et al. (2014)

b. ... couvrant les besoins de l'animal

- Tous ces **aliments** permettent de couvrir les **besoins en nutriments** de la **Vache (tableau III)**.

▼ TABLEAU III. **Les besoins alimentaires de la Vache et leur satisfaction.**
D'après DENCEUD et al. (2013)

Besoins	Implications physiologiques	Apport dans le cadre de l'élevage
Eau	Maintien de l'équilibre hydrique	30 litres (Vache en gestation) à 80 litres (Vache allaitante)
Glucides et lipides	Apport en énergie : chaleur, mouvement, production de lait	Fourrage sec et fourrage vert
Protéines	Croissance des muscles et donc production de viande et de lait	Soja (dont les tourteaux), poisson sec, farines de viande et de sang, fourrages (légumineuses)
Minéraux, calcium et phosphore, sel	Croissance (en particulier des os), production de lait et reproduction	Poudres d'os, coquillage broyés, chaux grasse, sel
Vitamines A, B, C, D, et E	Croissance	Herbes fraîches

3. La prise alimentaire (= manducation) au niveau de la bouche

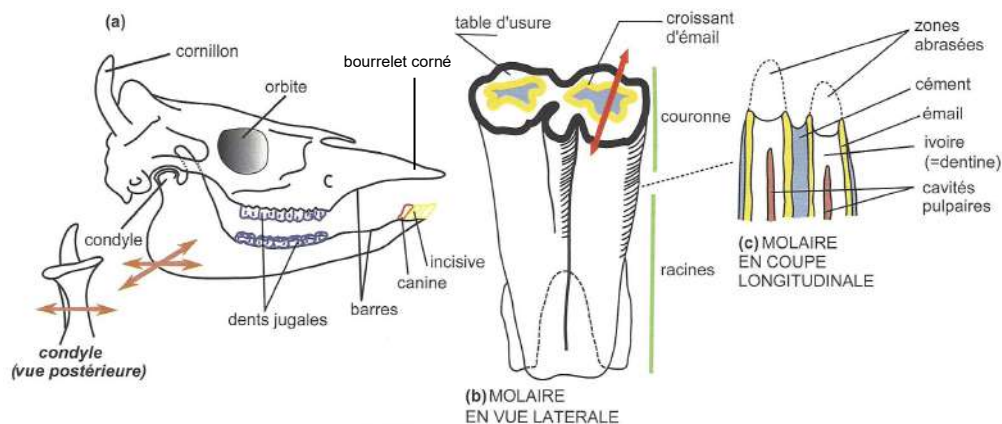
- L'**action d'ingérer des aliments et les processus qui s'ensuivent immédiatement dans la bouche** constituent la **prise alimentaire (= manducation)**.

a. La mastication, broyage mécanique par les mâchoires et la dentition

- La **mastication** est le **broyage mécanique des aliments permis par les mouvements verticaux et latéraux des mâchoires**.

a. Notions générales sur la mâchoire et la dentition des Mammifères

- Les **mâchoires (figure 8)** sont des **structures opposables** comprenant des **os** et notamment des **dents (encadré B)**.
- La **dentition des Mammifères (encadré C)** comprend **plusieurs types de dents** en nombre **variable selon les espèces** (voire parfois entre les individus au sein d'une même espèce) qui sont de **l'avant vers l'arrière (figure 8)** :
 - >> Les **dents labiales** (de **lèvre**)
 - Les **incisives I** qui **permettent de couper les aliments mais aussi leur préhension**.
 - Les **canines C** ; elles permettent de **déchirer les aliments** et aussi, chez les espèces **carnassières** où elles forment des **crocs**, **d'immobiliser, d'affaiblir et/ou de tuer des proies**. [Elles sont **absentes de la mâchoire supérieure de la Vache et incisiformes dans la mâchoire inférieure**]
 - >> Les **dents jugales** (de **joue**)
 - Les **prémolaires PM** et les **molaires M** qui permettent essentiellement de **broyer les aliments**.



(a) Squelette céphalique (les flèches indiquent le sens du mouvement). (b) et (c) Dent jugale : aspect général et coupe longitudinale (la double flèche indique le plan de coupe).

▲ FIGURE 8. Organisation du crâne et de la denture de la Vache.

D'après PEYCRU et al. (2013)

Pour information

Un **condyle** est une **surface osseuse elliptique convexe** autour de laquelle vient s'appliquer un autre os au sein d'une articulation.

Encadré B La structure d'une dent de Mammifère

Pour information ?

➤ Les dents sont des **structures osseuses** qui **s'ancrent profondément** dans la **mâchoire** au niveau des **gencives**, ce qui permet leur maintien malgré les **fortes pressions** exercées contre les aliments. La **couronne** est la **partie extra-gingivale** alors que la **racine** est la **partie intra-gingivale** (figure 8).

➤ Une **dent typique** comprend les **couches suivantes** (de la plus externe à la plus interne) :

- L'**émail**, **tissu osseux** dont la **matrice** est **minéralisée à 97 %**.
- La **dentine** (= « ivoire »), **tissu osseux minéralisé à 70 %** (mais contenant aussi du collagène). On y trouve de **petits canalicules**.
- Le **cément**, de composition **proche de la dentine** mais **sans canalicules**.
- La **cavité dentaire** (ou parfois **cavum de la dent**) ou **pulpe** qui **comprend de nombreux vaisseaux et des terminaisons nerveuses**.

β. Une dentition de la Vache qui favorise la coupe puis le râpage des végétaux

- La **Vache** est un **organisme fondamentalement** :
 - **Phytophage** = **herbivore au sens large** : **organisme qui s'alimente de végétaux**.

En écologie fonctionnelle, un **organisme phytophage** est appelé **consommateur primaire**.

- **Herbivore au sens strict** : **organisme qui s'alimente essentiellement d'espèces herbacées**. Cela justifie que la **prairie**, où la **strat herbacée** domine, soit l'écosystème de prédilection de la Vache. À la belle saison, elle peut manger **12 à 13 kg d'herbe fraîche** par jour.

Encadré C Quelques dentitions de Mammifères

Pour information – hors programme

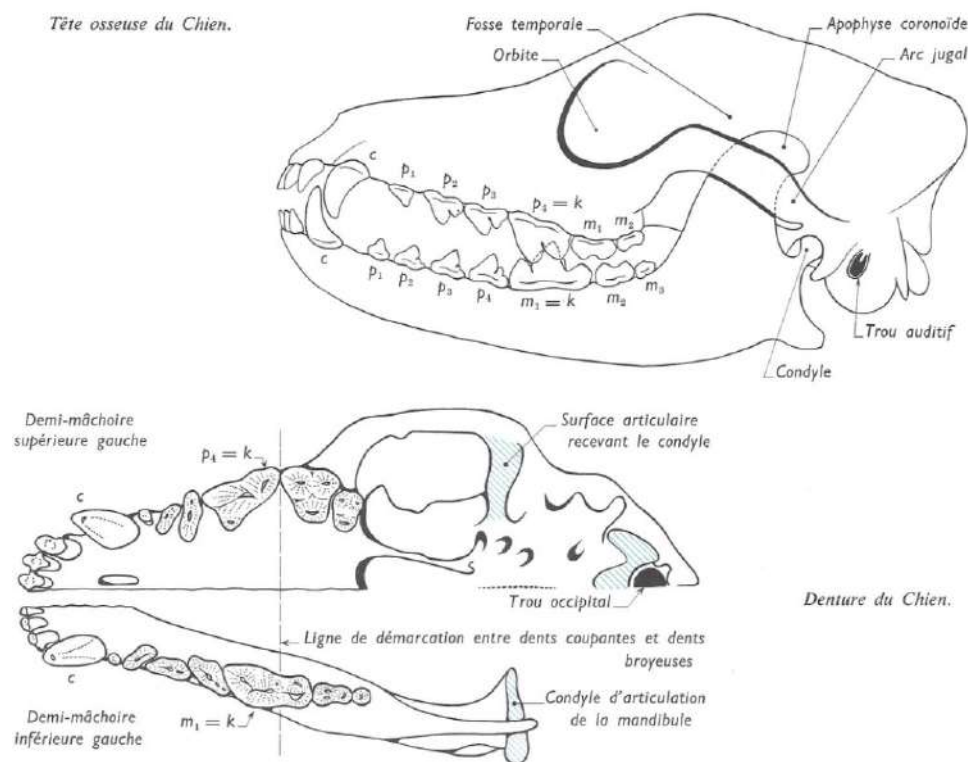
➤ Les **régimes alimentaires des Mammifères** sont variés et on note des **adaptations** au niveau de la **dentition** :

- **Espèces plutôt carnassières et chasseuses** (qui sont en réalité souvent assez **omnivores** dans les faits) : **canines** transformées en **crocs**, denture de type plutôt **sécodonte** (= **présence de prémolaires voire de molaires tranchantes**). Exemples : Carnivores (Chien, Lion...), 'insectivores' (Taupe...).
- **Espèces omnivores** : mâchoires avec **dents plutôt nombreuses**, denture de type **bunodonte** (= **prémolaires et molaires présentant des tubercules arrondis**).
- **Espèces phytophages** : mâchoires avec **dents assez peu nombreuses**, denture pouvant être de type **sélénodonte** (= **prémolaires et molaires présentant, sous l'effet de l'usure, des lobes en forme de croissant transversal**) (surtout chez les Ruminants, favorise le **broyage des herbacées**).

Rappel : une formule dentaire indique le nombre de chaque type de dents dans une demi-mâchoire supérieure et une demi-mâchoire inférieure.

Denture du Chien (espèce plutôt carnassière)

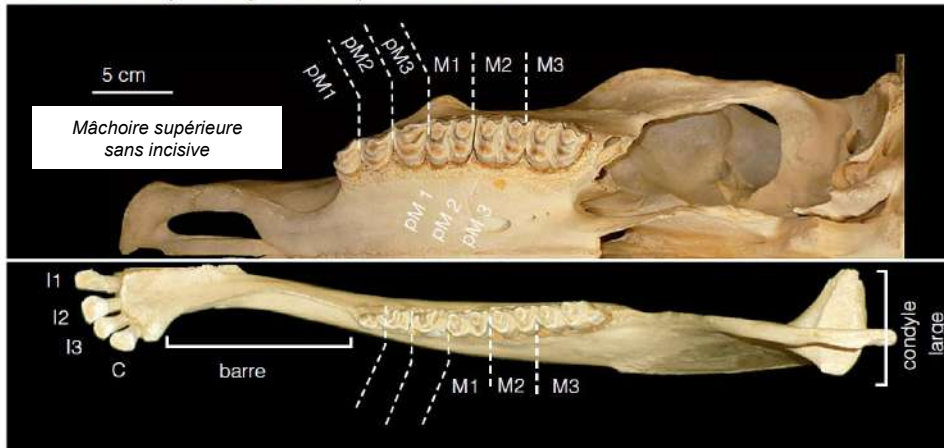
Figure d'après VINCENT (1962)



Denture de la Vache (espèce herbivore)

Figure d'après SEGARRA et al. (2014)

Demi-mâchoire supérieure gauche, vue par la face ventrale



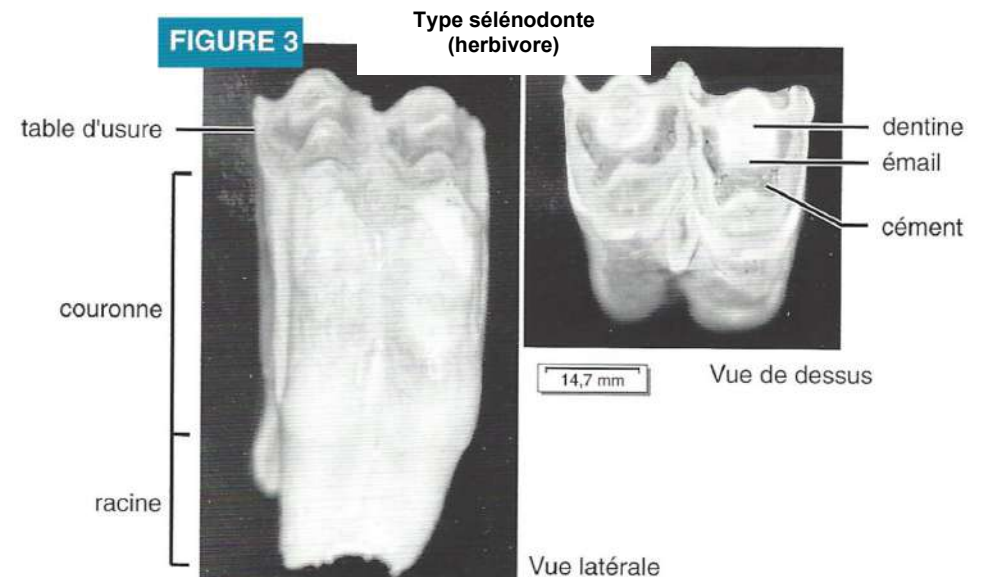
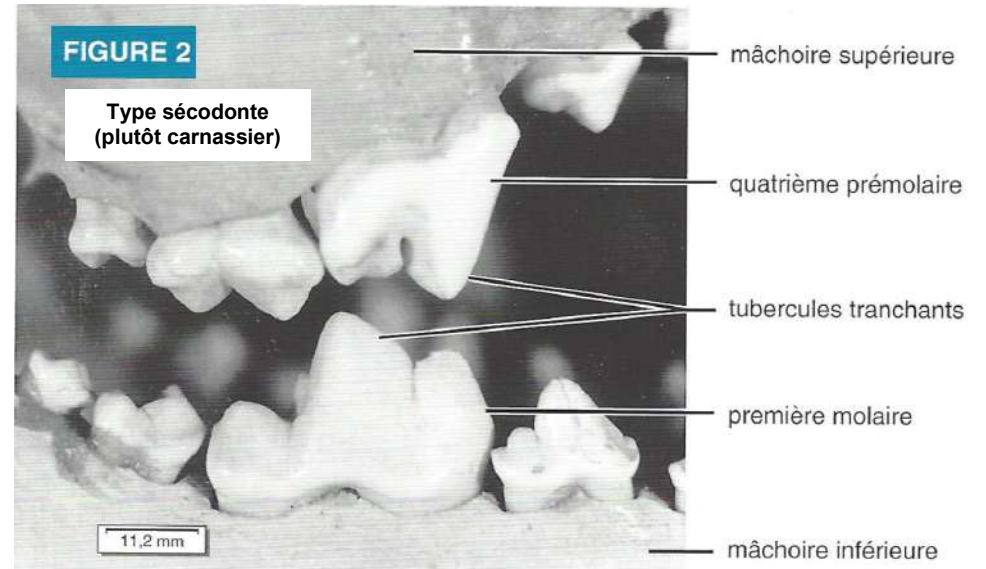
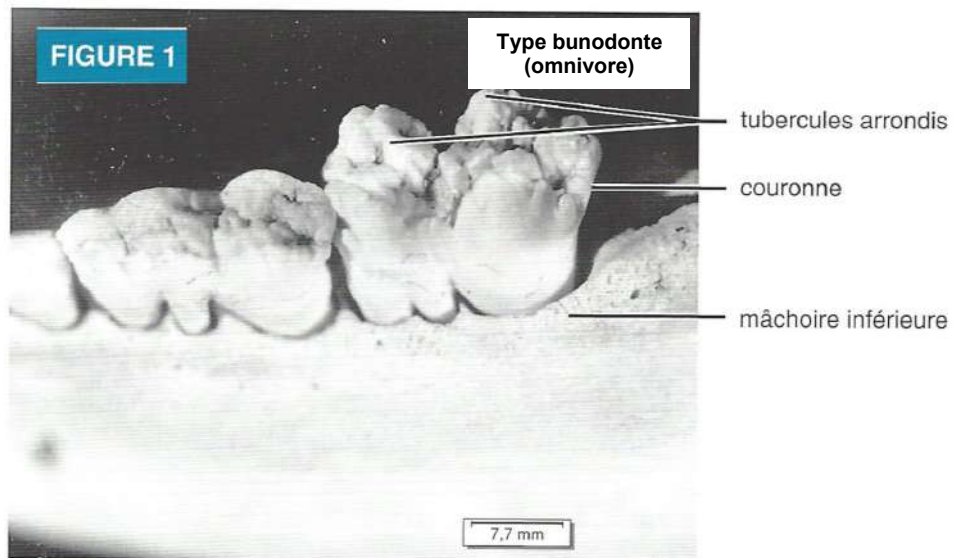
Demi-mâchoire inférieure gauche, vue par la face dorsale

Dents labiales: I1, I2, I3: incisives inférieures, C: canine inférieure incisiforme.

Dents jugales: pM1, pM2, pM3: prémolaires; M1, M2, M3: molaires

Denture de types bunodonte, sécodonte, sélénodonte

Figure d'après HEUSSER & DUPUY (2015)



La cavité buccale des Mammifères, comme celle de la plupart des Gnathostomes, est associée à des dents, portées par les mâchoires inférieure et supérieure (fiche 32). Ce sont des structures dures et minéralisées, implantées par une racine et comprenant une partie libre, la couronne. Elles sont constituées de dentine (ivoire) produite par des odontoblastes, associée à de l'émail sécrété par des adamantoblastes, et de ciment.

Selon leur place dans la cavité buccale et leur morphologie, plusieurs catégories de dents sont distinguées. Les dents labiales sont situées en arrière des lèvres et possèdent une couronne simple ainsi qu'une racine unique. Elles sont représentées par les incisives à couronne conique ou aplatie, et les canines à couronne conique.

Les dents jugales sont localisées en arrière de la joue ; elles présentent une couronne complexe portant de multiples tubercules et souvent plusieurs racines. Elles correspondent aux prémolaires antérieures et aux molaires postérieures.

Figure 1. Les dents jugales bunodontes du Porc : des dents adaptées à la mastication d'aliments variés (vue externe) Le Porc est un Mammifère omnivore. Il possède des dents jugales à couronne basse, mamelonnée et portant de multiples tubercules arrondis. Leurs racines sont courtes et fermées, leur croissance est limitée et qualifiée de brachyodonte. Elles permettent un broyage des aliments, grâce à des mouvements verticaux des mâchoires. Les prémolaires et molaires sont associées à des incisives et des canines, cette denture complète est peu spécialisée, adaptée à un régime alimentaire diversifié.

Figure 2. Les dents jugales sécodontes du Chien : des dents adaptées au tranchage d'aliments carnés (vue externe) Le Chien est un Mammifère carnivore. De même que le Porc, il possède des dents jugales à couronne basse, à racine courte et fermée, à croissance brachyodonte. Elles portent des tubercules aigus, aux arêtes tranchantes. Les plus grosses d'entre elles (première molaire inférieure et quatrième prémolaire supérieure) sont appelées carnassières. Elles coupent les aliments grâce aux mouvements verticaux des mâchoires. La carnassière inférieure est également pourvue d'une région broyeuse.

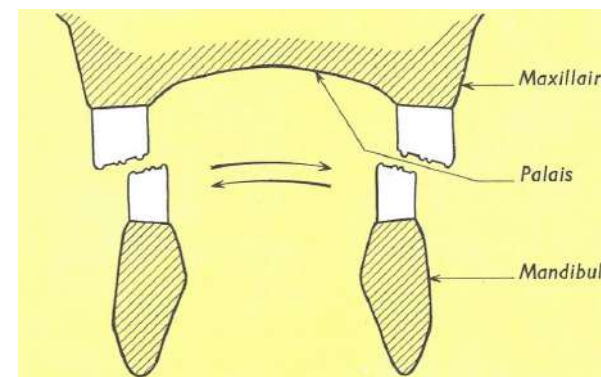
Ces dents jugales sont associées à des incisives petites et tranchantes, et des canines transformées en crocs impliqués notamment dans la capture des proies. Cette denture est adaptée à la capture de la nourriture et sa section.

Figure 3. Les dents jugales sélénodontes de la Vache : des dents adaptées au broyage de végétaux (vue externe) La Vache est un Mammifère herbivore. Elle possède des dents jugales à couronne haute, racine longue et croissance prolongée, qualifiée d'hypsodonte. Les mouvements des mâchoires sont principalement transversaux bien que leurs articulations autorisent des déplacements en tous sens.

Au niveau de chaque tubercule des dents jugales apparaît un îlot en forme de croissant. Il est composé de dentine entourée d'une crête d'émail et résulte d'une abrasion permanente liée au broyage de la nourriture végétale. La surface de ces dents est en conséquence décrite comme une table d'usure.

La mâchoire inférieure porte en outre des incisives et canines inclinées vers l'avant et tranchantes. Elles permettent de couper l'herbe, en relation avec le bourrelet corné présent sur la mâchoire supérieure et la langue.

- La **formule dentaire de la Vache** : 0.0.3.3/3.1.3.3 (figure 8).
- On notera que les **canines de la mâchoire inférieure** sont **incisiformes** et permettent, comme les **incisives vraies**, de **couper l'herbe**.
- Dans la **mâchoire supérieure**, il n'y a **pas de dents labiales** et c'est l'**os** qui fait office de **butée** pour les **dents de la mâchoire inférieure**.
- Concernant les **dents jugales**, elles sont de type **sélénodonte**, c'est-à-dire **montrant des tables d'usure dues à une abrasion opérée par les mouvements latéraux qu'effectuent les mâchoires l'une contre l'autre** (figure 9).



A FIGURE 9. Mouvements latéraux des mâchoires (vue en coupe frontale schématique).
D'après VINCENT (1962)

Quelques formules dentaires	
▪ Homme : 2.1.2.3/2.1.2.3 = $\frac{2.1.2.3}{2.1.2.3} = \frac{I2 \ C1 \ PM2 \ M3}{I2 \ C1 \ PM2 \ M3} = \frac{\text{demi-mâchoire supérieure}}{\text{demi-mâchoire inférieure}}$	
▪ Vache : 0.0.3.3/3.1.3.3	
▪ Souris : 1.0.1.2/1.0.1.2 [revoir TP Souris ... et tous les auteurs n'ont pas la même interprétation...]	
▪ Chien : 3.1.4.2/3.1.4.3	

b. L'insalivation, humidification et début de digestion des aliments grâce aux glandes salivaires

- L'**insalivation** est l'**adjonction de salive aux aliments dans la cavité buccale**. La **salive** est produite par des **glandes exocrines d'organisation acineuse** nommées **glandes salivaires**.
- Cette **insalivation** assure classiquement :
 - L'**humidification du bol alimentaire**.
 - Un **rôle tampon** en lien avec une forte teneur en **bicarbonates de sodium** ($\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$).

Contrairement à nombre de Mammifères, la **salive de Vache** ne contient pas d'**amylases salivaires** qui dégradent classiquement l'amidon en **maltose** (**disaccharide glucose-glucose**).

On trouve toutefois de **nombreuses autres enzymes** (près d'une vingtaine au total !) qui agissent sur les glucides, les lipides ou les protéides même si la **plupart ne seront actives que dans la caillette** sous l'effet de l'**acidité**.

Enfin, de l'**urée** (d'origine largement **hépatique** et apportée par le **sang**) est sécrétée au niveau de la salive ; celle-ci sera **utilisée** par les **micro-organismes du rumen** dans la **synthèse d'acides aminés**. Le **surplus d'ammoniac** est absorbé au niveau du rumen et reconverti en **urée**.

- Chez la **Vache**, l'**insalivation initiale** est **très courte** et les **aliments** sont quasi-immédiatement envoyés dans la **panse**.
- En revanche, la **salive**, très abondante (100 à 200 L/jour) participe longuement à la **rumination** ultérieure.

c. Au niveau pharyngien : la déglutition

- On peut appeler **bol alimentaire** un **ensemble d'aliments mâchés et insalivés qui est ensuite avalé**. La **déglutition** est justement le **processus qui permet d'avaler le bol alimentaire**. Le phénomène implique des **muscles striés squelettiques** et

des muscles lisses, ainsi que le **pharynx** : c'est une **région cavitaire mettant en communication les cavités buccale, nasale, aérienne et digestive**, où l'on note la présence d'un petit clapet nommé **épiglotte** (féminin) qui assure l'obturation de la trachée lors du passage des aliments.

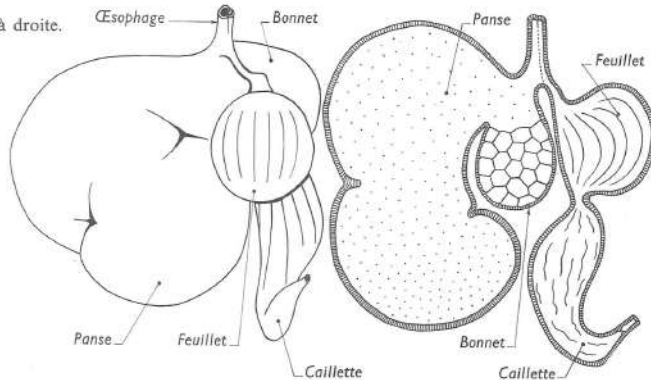
d. Vers la panse (= rumen) : l'œsophage

- L'œsophage (figure 11) est un conduit qui amène le bol alimentaire jusqu'à l'estomac (au sens large) à grande vitesse.

4. Un animal polygastrique dont l'estomac comprend quatre poches et est impliqué dans la digestion mécanique et chimique, l'absorption de nutriments et des symbioses microbiennes

a. Organisation et caractéristiques anatomiques de l'estomac (ou « des » estomacs)

Estomac d'un Ruminant.
Vue d'ensemble à gauche, coupe à droite.



Aspect de l'épithélium des différentes cavités de « l'estomac » de la vache



Panse = Rumen



Bonnet = Réticulum



Feuillet = Omasum



Caillette = Abomasum

A. La panse ou rumen, de très grand volume (125 L), a un épithélium composé de papilles.
B. Le bonnet ou réticulum a un épithélium à structure hexagonale en nids d'abeille formant un réseau.
C. Le feuillet ou omasum, contient une centaine de lames en forme de feuilles. Les papilles de la paroi du rumen et les replis de la paroi du feuillet constituent de vastes surfaces d'échanges.
D. L'épithélium de la caillette est le seul des quatre cavités à posséder des glandes digestives caractéristiques de l'estomac, sécrétant de l'acide chlorhydrique et du pepsinogène : seule la caillette est homologue d'un estomac de monogastrique. La caillette est fermée postérieurement par le sphincter du pylore.
[vivo.colostate.edu \[http://www.vivo.colostate.edu/hbooks/pathophys/digestion/herbivores/rumen_anat.html\]](http://www.vivo.colostate.edu/hbooks/pathophys/digestion/herbivores/rumen_anat.html)

⊗ Sphincter : muscle lisse circulaire qui ferme un orifice quand il est contracté.

▲ FIGURE 10. Organisation de l'estomac (sens large) d'une Vache.

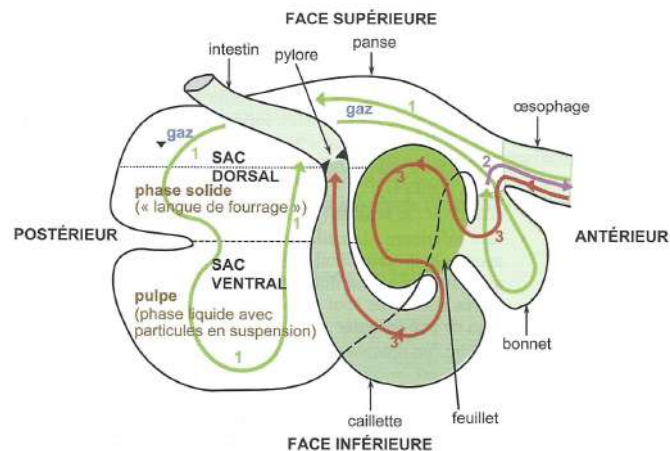
D'après VINCENT (1962) et SEGARRA *et al.* (2014)

♥ ▼ TABLEAU IV. Caractéristiques et fonctions des différents segments du tube digestif de la vache. D'après SEGARRA *et al.* (2014).

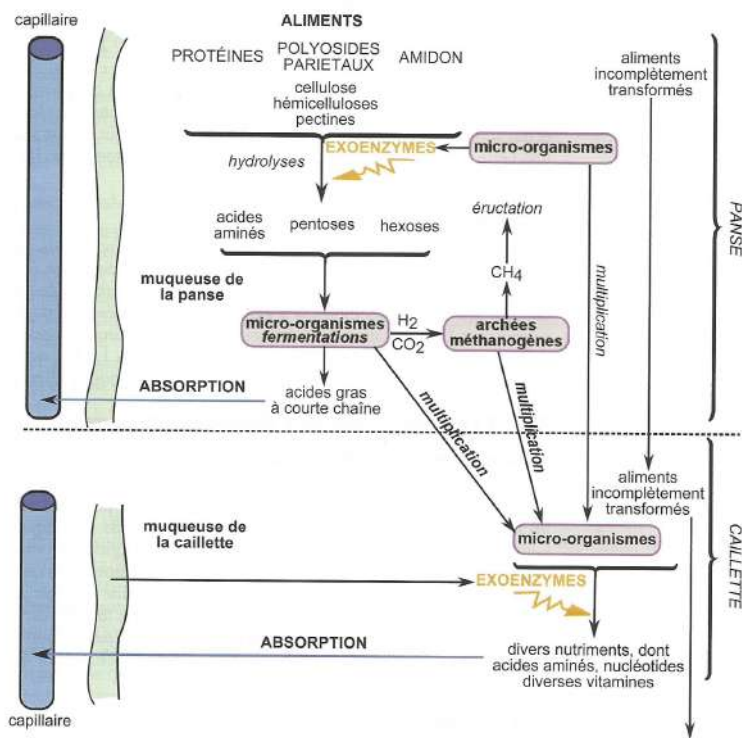
Segments du tube digestif	Proportions relatives en % du volume total	Fonction	Substances absorbées
Partie antérieure du tube digestif	Cavité buccale	• Broyage des aliments • Sécrétion d'urée	
	Œsophage	• Déglutition, régurgitation	
	Panse = Rumen	• Digestion par l'activité des micro-organismes	Acides gras volatils
	Bonnet = Réticulum	• Brassage • Érucation • Absorption	
	Feuillet = Omasum	• Compression du bol alimentaire • Absorption	Eau, acides gras volatils, ions minéraux
Partie postérieure du tube digestif	Caillette = Abomasum	• Digestion par hydrolases gastriques	
	Intestin grêle	• Digestion par hydrolases pancréatiques et intestinales • Absorption	Eau, oses, acides aminés, acides gras, nucléotides
	Cæcum	• Digestion par l'activité des micro-organismes • Absorption	Acides gras volatils
	Colon	• Absorption	Eau, ions minéraux
	Rectum	• Stockage des fèces	

- « L'estomac » de la Vache comprend 71 % du tube digestif et est en fait **constitué de quatre poches**, c'est pourquoi on qualifie l'animal de « **polygastrique** » (tableau IV). Ces quatre compartiments présentent des tailles inégales et des épithéliums d'organisation différente (figure 10) :
 - La **panse** ou **rumen** (env. 125 L) à muqueuse composée de papilles.
 - Le **bonnet** (= **réticulum**) (env. 15 L) à muqueuse alvéolée avec une structure hexagonale en nid d'abeille.
 - Le **feuillet** (= **omasum**) (env. 20 L) à muqueuse très repliée.

Les replis de ces trois poches sont en lien avec une activité d'absorption de nutriments.

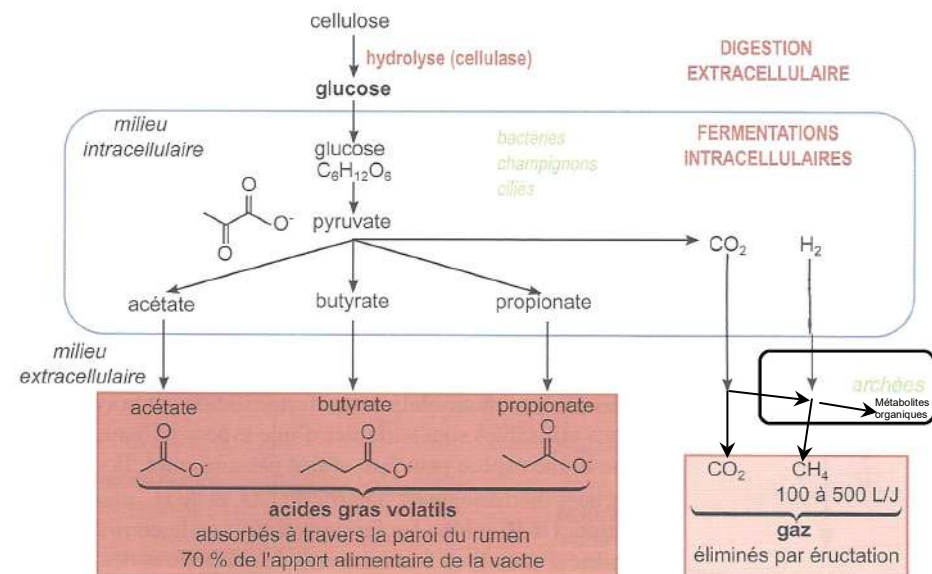


Le tube digestif de la vache (vue latérale droite) et la rumination.
Les étapes du circuit du bol alimentaire sont indiquées et numérotées dans l'ordre chronologique.



Digestion des aliments et absorption des nutriments.

▲ FIGURE 11. Les événements digestifs dans les poches de « l'estomac ».
D'après PEYCRU *et al.* (2013)



Transformations chimiques de la cellulose par le microbiote ruminal.

▲ FIGURE 11 bis. Focus : transformation chimique de la cellulose par le microbiote ruminal.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021), modifié / réorganisé.

- La **caillotte** (= **abomasum**) (env. 20 L) à **organisation typique de l'estomac** avec des **cryptes gastriques** [*les trois poches précédentes sont en fait, rigoureusement, des différenciations de l'oesophage*]. Il ne s'y déroule pas d'absorption.

b. Des événements digestifs en association avec des micro-organismes symbiotiques dans le rumen

- La **figure 11 (+ figure 11 bis)** permet de comprendre succinctement les **principaux événements** dont il va être question ci-après. Nous essayons d'adopter une **approche chronologique**.
 - Une arrivée quasi-immédiate après la manducation suivie d'un long séjour (stockage et brassage mécanique)
 - Les **aliments ingurgités** sont à **peine mastiqués** et à **peine insalivés** ; ils arrivent **quasi-directement dans le rumen** où ils sont **stockés** et **brassés mécaniquement** plusieurs heures (10 à 12 h).
 - Une poche très riche en micro-organismes qui produisent des hydrolases variées permettant la digestion chimique des matières végétales
 - Les **conditions du rumen** (pH entre 5,5 et 7,3, température élevée de 40 °C, **anaérobiose**) sont favorables au développement d'une **flore microbienne** très importante (**Bactéries, Archées, Ciliés, 'champignons'**) (jusqu'à 10¹² micro-organismes par mL de jus de rumen) (**tableau V + figure 12**).

- Ces micro-organismes produisent des **enzymes hydrolytiques (hydrolases)** qui permettent de digérer les **glucides**, les **protéines** et les **lipides**... y compris et surtout la **cellulose digérée (cellulolyse)** par des **cellulases** essentiellement **bactériennes** et **fongiques**.
- Notons que, contrairement à d'autres Mammifères, ce sont ici des **micro-organismes symbiotiques** qui produisent les **enzymes** et non la **paroi du tube digestif** (au moins dans cette partie du tube).

Une véritable symbiose

Le **bénéfice** est **réciproque** :

- Dans le cas des **Ruminants** : **digestion de substances « en théorie » non digérables**.
- Dans le cas des **micro-organismes** : **fourniture d'aliments** par le Mammifère + **environnement propice** à leur **développement**.

- La **lignine** ou encore les **tanins** ne sont pratiquement **pas digérés**. C'est notamment sur eux que se développent les moisissures, **organismes saprophytes** (= **agents de décomposition**).

▼ **TABLEAU V. Les micro-organismes du rumen et leur rôle [pour information].**
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

Flore microbienne du rumen		Abondance	Quelques espèces	Molécules hydrolysées
	Bactéries	10^8 à 10^{10} /mL de jus de rumen	<i>Bacteroides succinogenes</i> <i>Ruminococcus albus</i> <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	Cellulose
		1 kg de bactéries chez un bovin	<i>Bacteroides rumenicola</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	Hémi-celluloses Protéines
			<i>Bacteroides amylophilus</i> <i>Streptococcus bovis</i> <i>Bacteroides rumenicola</i>	Amidon Protéines
	Ciliés	10^4 à 10^6 /mL de jus de rumen 2 kg de ciliés chez un bovin	Entodiniomorphes	Glucides, certaines espèces sont cellulolytiques Protéines Lipides (galactolipides)
	Champignons (moisissures)	10^4 /mL de jus de rumen		Fibres indigestibles par les autres micro-organismes

Ⓛ Bactéries : cellules procaryotes, sans noyau

Ⓛ Ciliés : eucaryotes unicellulaires caractérisés par la présence, à leur surface, de nombreux cils vibratiles.

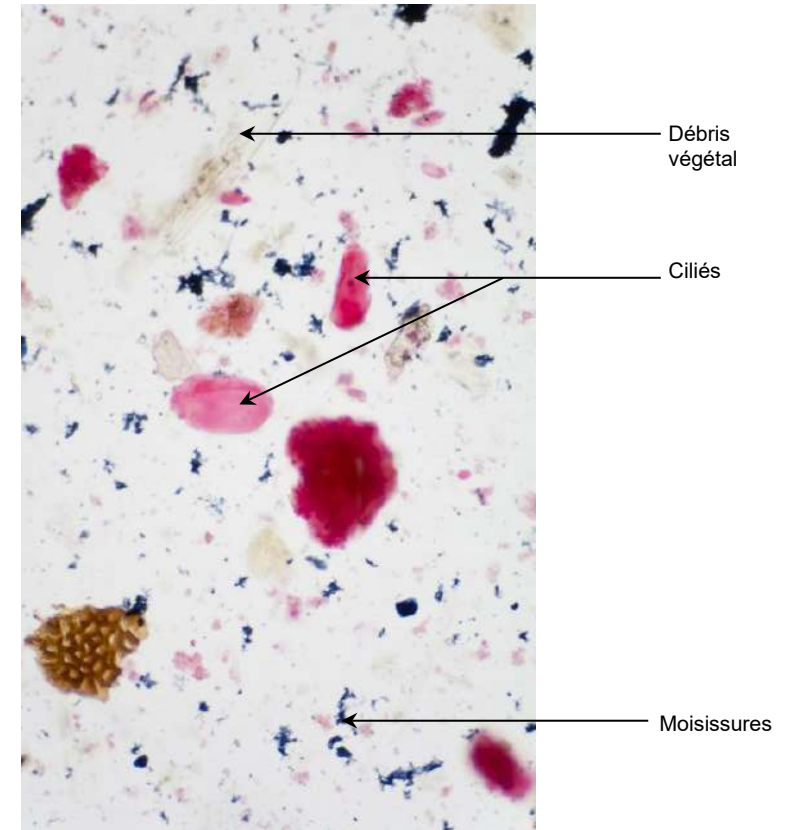
Ⓛ Champignons : cellules eucaryotes hétérotrophes dotées d'une paroi de chitine.

y. Une fermentation des nutriments par les micro-organismes qui produisent des acides gras volatils (AGV : acétate, propionate, butyrate...)

- Les **molécules simples issues des hydrolyses microbiennes** (oses, acides aminés...) sont ensuite engagées dans des **processus fermentaires (oxydations incomplètes, notamment liées à l'anaérobiose)** par ces mêmes **micro-organismes** qui produisent, en déchets de fermentation, des **acides gras à courte chaîne et volatils (acétate, propionate, butyrate...)**, ainsi que du CO_2 et du dihydrogène H_2 (figure 13).

δ. Une absorption directe des acides gras volatils par la muqueuse digestive du rumen

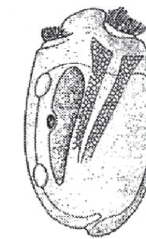
- Les **AG volatils** sont **absorbés par la muqueuse du rumen** et constituent **70 % des apports alimentaires de l'animal**.



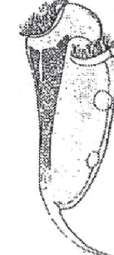
Vue d'ensemble de jus de rumen (MO) / © Laboratoires Nublat.



Entodinium longinucleatum



Diplodinium multivesiculum



Epidinium ecaudatum

Quelques Ciliés du rumen / D'après SEGARRA *et al.* (2014)

▲ **FIGURE 12. Composition du jus de rumen.** [pour information ?]

▼ **TABLEAU VI. Apports trophiques dans le cadre de la symbiose entre la Vache et les micro-organismes du rumen.** D'après PEYCRU *et al.* (2014)

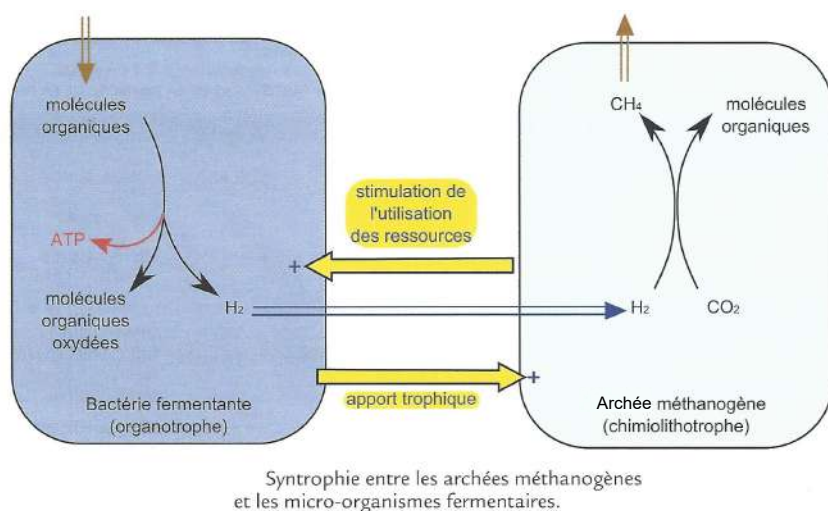
APPORTS DES PARTENAIRES DE LA SYMBIOSE DE LA PANSE DES RUMINANTS.

Apports du ruminant	Échanges	Apports des micro-organismes
Milieu constant, anoxique et réducteur T = 40 °C pH = 6,5	----->	
Brassage du contenu de la panse	-----> ←-----	Microbrassage
Macromolécules glucidiques (amidon, cellulose, hémicellulose, pectine)	----->	
	AGV ←-----	Digestion de la cellulose, hémicellulose, pectine par les enzymes des micro-organismes ; formation d'acides gras volatils (AGV) par fermentations
Molécules azotées (protéines végétales, urée)	----->	Digestion libérant NH ₃ ; synthèse de protéines des micro-organismes et de vitamines
NH ₃ , vitamines, protéines	←-----	
Eau	----->	

En noir : apports du ruminant aux micro-organismes.

En bleu : apports des micro-organismes aux ruminants. Lorsqu'il n'y a pas de molécule(s) indiquée(s) en face d'une flèche c'est que l'action s'accompagne d'une transformation de matière.

ε. Une méthanogenèse assurée par des Archées à l'origine des éructations libératrices de méthane dans l'atmosphère

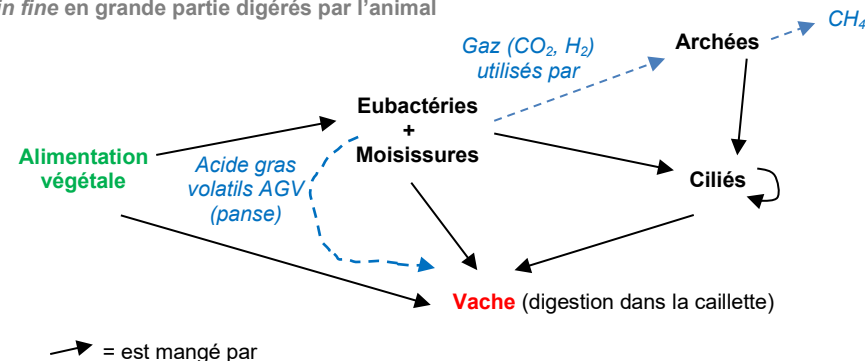


▲ **FIGURE 13. Un exemple de syntrophie entre micro-organismes dans le rumen de la Vache [pour information ?].** D'après PEYCRU *et al.* (2014)

- Des **Archées méthanogènes anaérobies strictes** (= qui ne peuvent pas vivre en aérobiose) sont présentes dans le **rumen** et **convertissent une partie du CO₂ et du H₂ en méthane CH₄** (figure 13). Cela présente l'intérêt, pour l'animal, de **baissier les pressions partielles de ces gaz, évitant ainsi une toxicité pour les autres micro-organismes** et une **inhibition éventuelle des fermentations**.
- L'excès de **méthane** et de **dioxyde de carbone** est **relargué dans l'atmosphère par éructation** (« rot »). Ces rejets seraient à l'origine de **10 à 20 % du méthane atmosphérique**, gaz à **effet de serre** puissant.

On parle de **syntrophie** pour désigner une **symbiose microbienne** où il y a **consommation des déchets métaboliques produits par un micro-organisme dans le cadre du métabolisme d'un autre micro-organisme**.

ζ. Une chaîne trophique dans le rumen impliquant des micro-organismes qui seront *in fine* en grande partie digérés par l'animal



▲ **FIGURE 14. La chaîne trophique du rumen chez les Ruminants.**

- Dans le **rumen**, une **véritable chaîne trophique** ou **chaîne alimentaire** (= **ensemble d'organismes d'un écosystème liés entre eux par des relations mangeur-mangé**) se met en place (figure 14) : les **Bactéries** sont consommées par des **Ciliés**. La **population microbienne** de la **panse** s'accroît chaque jour de **60 à 70 %**. Ces micro-organismes termineront pour l'essentiel... dans la **caillette** où ils seront digérés par l'animal, en bout de **chaîne trophique**, ce qui constitue un **très gros apport alimentaire** chez les Ruminants.

c. La Vache, un holobionte hébergeant un microbiote

- L'étude des **micro-organismes du rumen** – sachant qu'une **flore microbienne** se trouve dans d'autres **cavités digestives** mais aussi au niveau d'autres **muqueuses**, de l'épiderme... – est l'occasion de noter que la **Vache** est un **holobionte**, c'est-à-dire un **organisme pluricellulaire macroscopique qui héberge et/ou interagit durablement et étroitement avec de nombreux organismes, surtout (en l'occurrence quasi-exclusivement) des micro-organismes (dont l'ensemble forme le microbiote)**.

5. Les événements digestifs ultérieurs

- Toujours en suivant la figure 11, examinons les **événements digestifs postérieurs** au séjour dans le **rumen**.

a. La régurgitation et la rumination dans la cavité buccale

- Après des heures de malaxage, de digestion chimique bactérienne et de fermentation dans le rumen, le contenu de la panse passe dans le bonnet où il est aggloméré en boulettes sous l'effet de contraction de sa paroi et d'une légère déshydratation. Un péristaltisme « inverse » du tube digestif permet de régurgiter les boulettes jusqu'à la bouche où elles subissent une longue mastication accompagnée d'insalivation : c'est la rumination (= mastication mérycique). Ce processus, qui intervient notamment lorsque l'animal est au repos, permet de réduire la taille des particules alimentaires et faciliterait le travail de certains micro-organismes. Il semble aussi que certains micro-organismes, en conditions aérobies, se multiplient rapidement (devenant un apport alimentaire pour la Vache).

b. Un trajet direct vers le feuillet puis la caillette, point de départ d'une digestion selon des modalités plus « classiques »

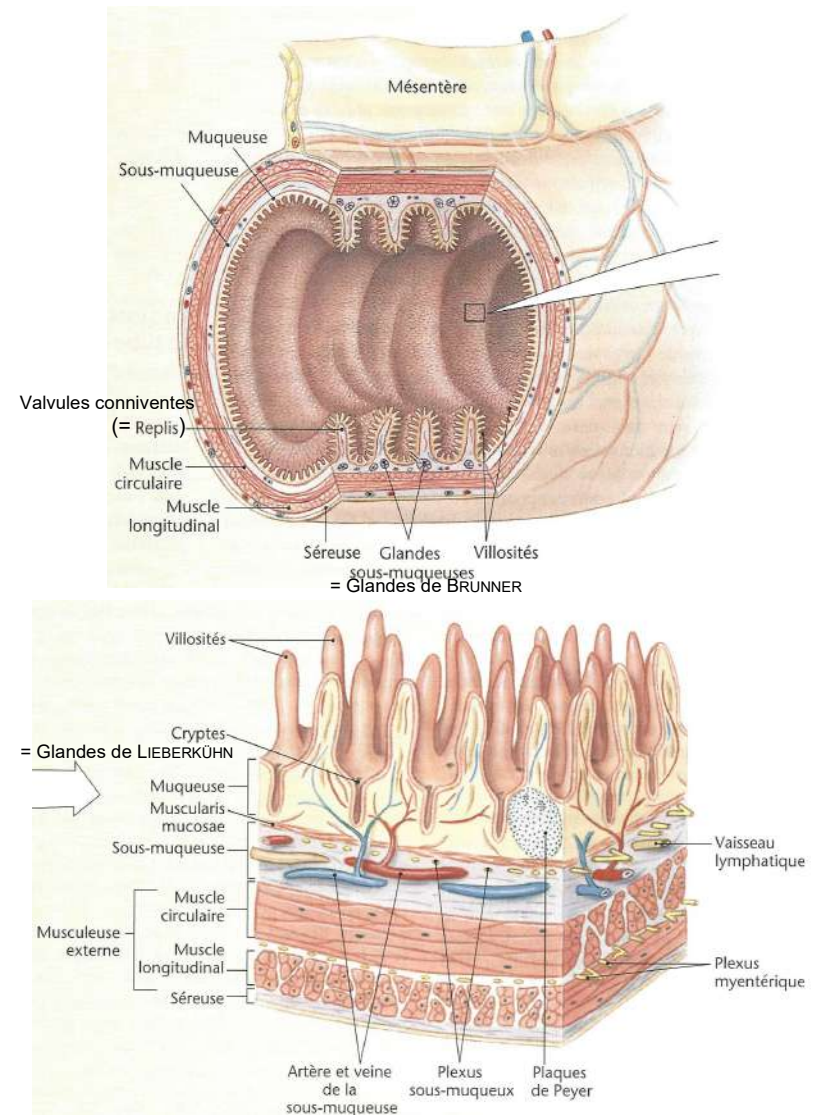
- Les aliments insalivés et longuement mastiqués rejoignent ensuite directement le feuillet (où certains AG volatils peuvent encore être absorbés, de même que de l'eau et des ions minéraux) puis la caillette où les aliments sont alors digérés par du suc gastrique contenant de la pepsine (enzyme protéolytique) et du lysozyme (enzyme dégradant la paroi muréique bactérienne) : les micro-organismes sont alors tués et commencent à être digérés (entre 1 et 1,5 kg de micro-organismes seraient ainsi digérés quotidiennement !). L'animal est donc en partie microphage (= consommateur de micro-organismes).

c. L'intestin grêle, lieu de digestion et d'absorption de nombreux nutriments en lien avec l'action de la bile et du suc pancréatique

α. L'intestin, long conduit très replié assurant l'absorption de nombreux nutriments notamment issus de la digestion des micro-organismes

- L'intestin grêle (figure 15) est un long conduit (d'environ 46 m chez la Vache, pour un diamètre de 5 cm) aux multiples replis qui assure l'absorption de nombreux nutriments.
- Il est divisé en trois segments (de l'amont vers l'aval) : le duodénum, le jéjunum et l'iléon.
- Trois niveaux de repliement sont à noter :
 - La muqueuse et la sous-muqueuse forment de nombreux replis circulaires qu'on appelle valvules conniventes (ou valvules de KERCKRING) (figures 15-16).
 - La muqueuse est de plus repliée à un niveau supplémentaire plus fin, ce qui forme des villosités (figures 15-18).
 - Et, au sein de l'épithélium, les entérocytes présentent eux-mêmes des replis microscopiques du côté de la lumière qu'on appelle microvillosités. On appelle bordure en brosse cette ornementation en microvillosités des membranes d'entérocytes (figures 17 et 19).

La forme des microvillosités est due à des filaments fins d'actine en lien avec des protéines membranaires et d'autres éléments du cytosquelette.



▲ FIGURE 15. Organisation la paroi de l'intestin grêle. D'après SILVERTHORN et al. (2007).

L'intestin grêle : particularités histologiques de la paroi et principales relations structure-fonction [pour information]

Voir figure 15

MUQUEUSE

La muqueuse et la sous-muqueuse forment de nombreux replis circulaires qu'on appelle **valvules conniventes** (ou **valvules de KERCKRING**). La muqueuse est de plus **replée à un niveau supplémentaire plus fin**, ce qui forme des **villosités**. Et, au sein de l'épithélium, les **entérocytes** présentent eux-mêmes des **replis microscopiques du côté de la lumière** qu'on appelle **microvillosités**. On appelle **bordure en brosse** cette **ornementation en microvillosités des membranes d'entérocytes**.

>>> Très importante surface d'échange (env. 200-250 m² = taille d'un terrain de tennis si on déplaît et si on étalait complètement cette surface).

▪ **Épithélium unistratifié prismatique** majoritairement constitué de **cellules absorbantes** ou **entérocytes**, mais comprenant aussi des **cellules exocrines** (notamment des **cellules à mucus** qu'on peut appeler **cellules caliciformes**) et **endocrines** (voire **paracrines**) d'apparence **plus cubique**, particulièrement concentrées au fond des **cryptes** ou **glandes de LIEBERKÜHN** (**glandes intestinales**). Les sécrétions exocrines comprennent du **mucus intestinal** qui **aurait surtout un rôle immunitaire (en limitant l'adhésion des micro-organismes sur la paroi intestinale)** et quelques **enzymes** soit **sécrétées dans la lumière**, soit le plus souvent **exprimées à la surface des cellules (au niveau de la membrane des microvillosités)**.

(On parle parfois de « **suc intestinal** » pour désigner les **sécrétions intestinales exocrines**).

▪ **Lamina propria** riche en **finis vaisseaux sanguins** favorisant les échanges et notamment l'**absorption**; présence aussi de **chylifères** (= **capillaires lymphatiques situés dans les villosités de l'intestin grêle**).

▪ **Muscularis mucosae** (favorise l'évacuation des **sécrétions exocrines** jusqu'à la lumière).

SOUS-MUQUEUSE

▪ Dans le **duodénum** (surtout dans la **partie proximale** proche du **pylore**), la sous-muqueuse comprend des **glandes de BRUNNER** qui sont des **glandes acineuses (ou acino-tubuleuses)** produisant un **liquide aqueux riche en ions hydrogencarbonates HCO₃⁻** qui **neutralise l'acidité de l'estomac et favorise l'établissement d'un pH proche de 7-8** (ce liquide est appelé le [ou la] **mucoside alcalin[e]**).

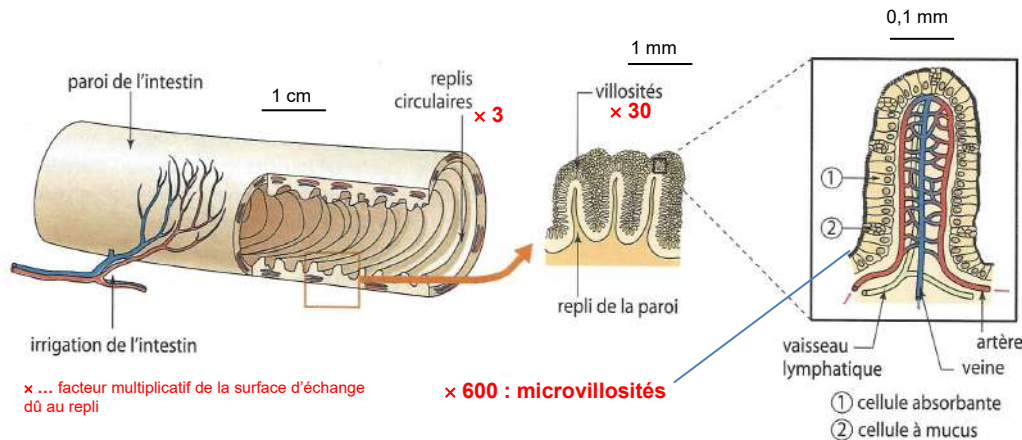
Dans le **reste de l'intestin**, ces **glandes** sont **rare** voire **absentes**. La **sous-muqueuse** ne présente alors **rien de particulier**, si ce n'est son implication dans les **valvules conniventes**.

MUSCULEUSE

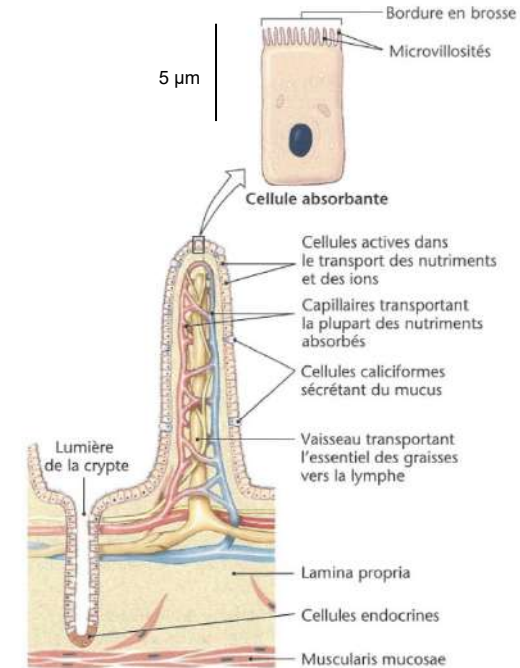
▪ Couche assurant le **péristaltisme** et la **segmentation** du **chyme**.

SÉREUSE

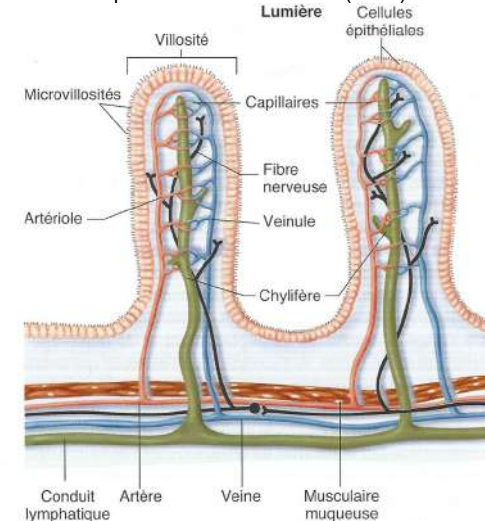
▪ **Tissu conjonctif + mésothélium**.



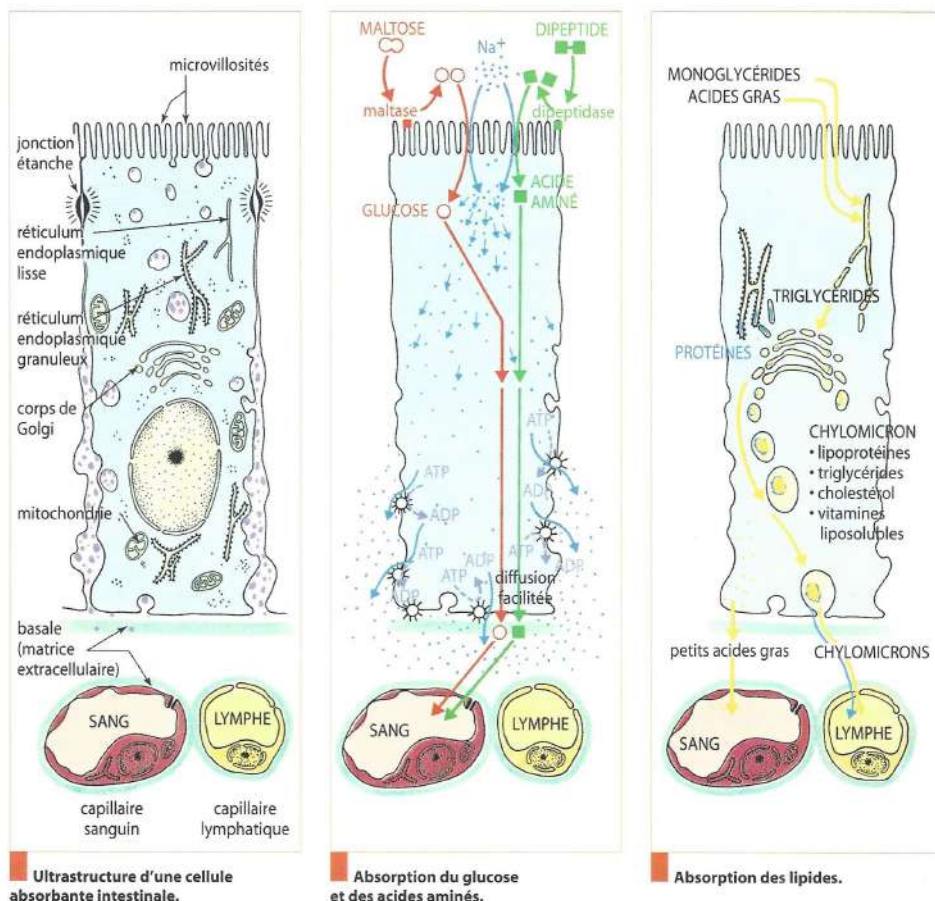
▲ FIGURE 16. **Augmentation de la surface de la paroi de l'intestin grêle par trois niveaux de replis**. D'après PÉRILLEUX et al. (2002).



▲ FIGURE 17. **Gros plan sur une villosité et une crypte de LIEBERKÜHN**. D'après SILVERTHORN et al. (2007).



▲ FIGURE 18. **Vascularisation sanguine et lymphatique d'une villosité**. D'après VANDER et al. (2013).



▲ FIGURE 19. L'absorption intestinale : une vision simplifiée.
D'après PÉRILLEUX *et al.* (2002).

- Ces **divers replis** qui se déploient sur **trois échelles imbriquées** confèrent à l'intestin grêle une **vaste surface d'absorption** estimée chez la Vache à **environ 4300 m²** par la plupart des auteurs (soit la **taille d'environ 17 terrains de tennis** si on déplaie et si on étalait complètement cette surface).
- La **muscleuse** assure l'**avancée des aliments** par **péristaltisme**.
- L'**intestin** assure, au niveau des **entérocytes**, l'absorption de **substances variées** (figure 19) principalement issues de la **digestion des micro-organismes** :
 - De l'**eau** qui diffuse par **osmose** jusqu'au **sang** ;
 - Des **ions** transportés **passivement** ou **activement** jusqu'au **sang** ;
 - Des **os** et **acides aminés** concentrés **activement** (par exemple par un **cotransport** avec le **Na⁺**) dans l'**entérocyte**, puis **transportés passivement** (par **perméases**)

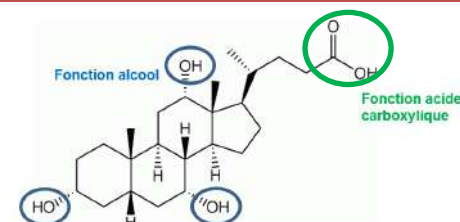
- Des **lipides** (**monoglycérides**, **acides gras**) transportés par **diffusion simple** jusqu'au **REL** où des **triglycérides** sont **synthétisés** puis **assemblés en gouttelettes** avec d'autres **petits lipides** (ex. **cholestérol**) et des **protéines** dans le **GOLGI** en **chylomicrons** (**complexes lipo-protéiques produits dans les entérocytes**) qui sont **sécrétés** dans la lumière des **chylifères**, **vaisseaux lymphatiques présents dans les villosités intestinales**.
- D'autres **substances variées** (vitamines, nucléotides...).

Quelques exemples de **transports transmembranaires** au niveau de l'**entérocyte** sont présentés dans le **chapitre 2** sur les **membranes**.

β. Une absorption précédée d'une digestion chimique dans la lumière intestinale, largement due aux sécrétions pancréatiques et hépatiques

- Le **pH acide** issu de la **caillotte** est rapidement **modifié** et **basifié** (de façon à redevenir plutôt **neutre**) grâce aux **bicarbonates** présents dans le **suc pancréatique**.
- La **digestion chimique intestinale** consiste en :
 - Des **hydrolyses variées** (agissant notamment sur les **protéines**, mais aussi sur les **polymères glucidiques** ou les **gros lipides** comme les **triglycérides**) assurées par :
 - Des **enzymes** présentes dans le **suc pancréatique** ;
 - Des **enzymes** présentes sur la **paroi intestinale**, au niveau de la **bordure en brosse**
 - Une **solubilisation** des **lipides** par **émulsion** au moyen de **sels biliaires**, présents dans la **bile**, **liquide produit par le foie et stocké dans la vésicule biliaire**.

Les **sels biliaires** ou **acides biliaires** (figures 20-21) sont des **dérivés de cholestérol** qui **présentent des fonctions hydrophiles** qui **établissent des liaisons H** avec l'**eau** et une **partie hydrophobe très affine pour les lipides**. Ces sels biliaires facilitent la formation de **petites micelles** dans l'intestin et **évitent ainsi l'amas des lipides en grosses gouttelettes**.



▲ FIGURE 20. Un exemple de sel biliaire : l'acide cholique (fonctions hydrophiles entourées).
D'après Wikipédia (consultation avril 2016).

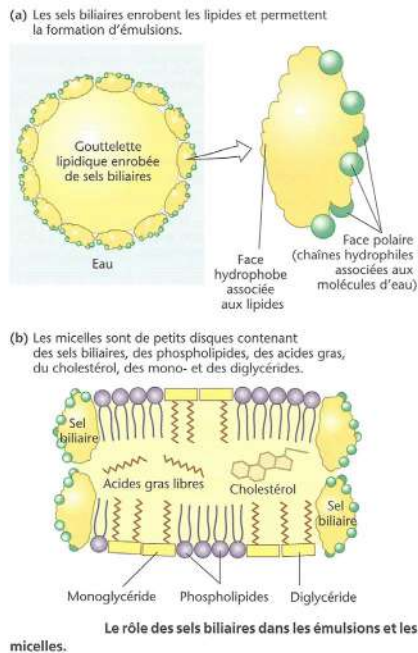


FIGURE 21. L'émulsion des lipides par les sels biliaires. D'après SILVERTHORN *et al.* (2007)

d. Une déshydratation des restes alimentaires dans le gros intestin avant égestion des fèces par l'anus

- Le **gros intestin**, parfois appelé abusivement **côlon au sens large**, est un **conduit large (env. 8 cm de diamètre) et long de 10 m en moyenne (Vache adulte) qui constitue la dernière partie du tube digestif**.

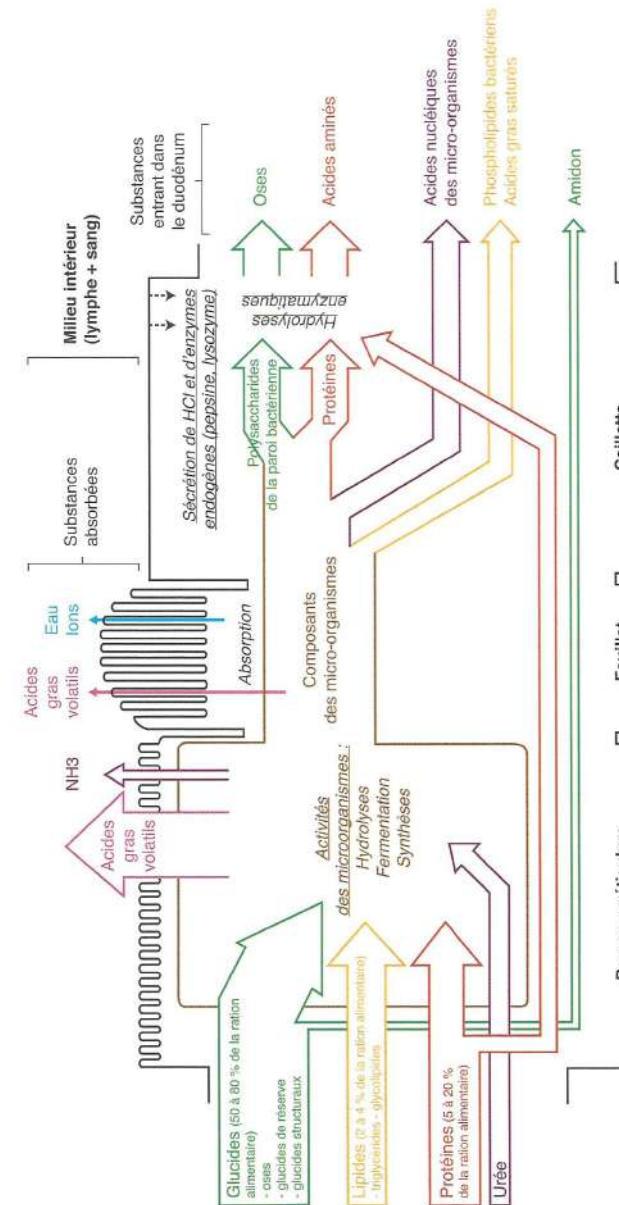
Il est **peu replié**, même s'il présente de **grosses annelures** qu'on appelle **haustations**. Ces annelures sont formées sous l'action d'une **fine bandelette de trois fins muscles lisses externes** qu'on appelle les **ténias coli** (ou ***taeniae coli***).

- Des **symbioses microbiennes** y ont encore lieu et les derniers **acides gras volatils** (10-15 % du total) y sont absorbés.
- On y trouve surtout une **forte absorption d'eau et d'ions**, ce qui aboutit à la **déshydratation des restes alimentaires** et à la formation des **fèces** (nommés **bouses** dans le cas des Vaches) ensuite évacués par l'**anus**.

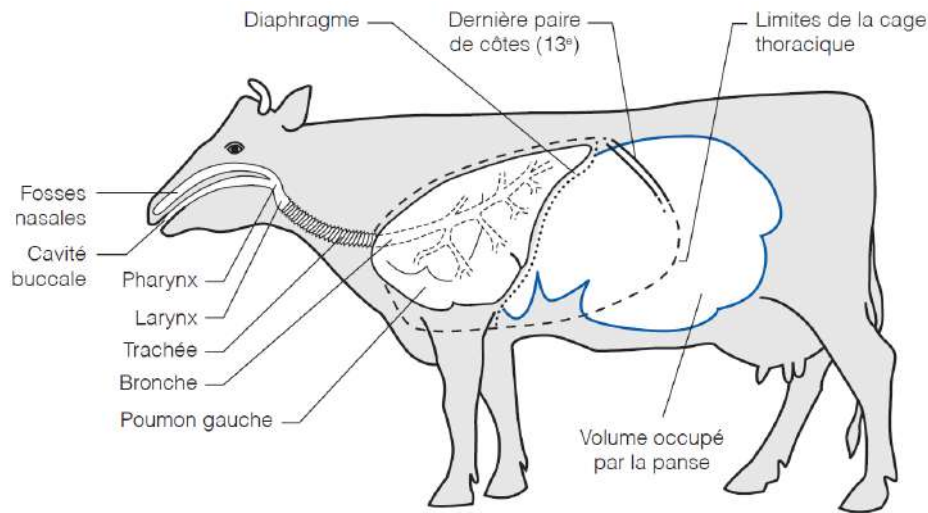
Les **composés azotés** produits par les **Bactéries** dans cette partie du **tube digestif** ne sont **presque pas absorbés**, de sorte que les **bouses de Vache enrichissent localement le sol en azote**.

6. Bilan : une vue d'ensemble de la digestion des Ruminants

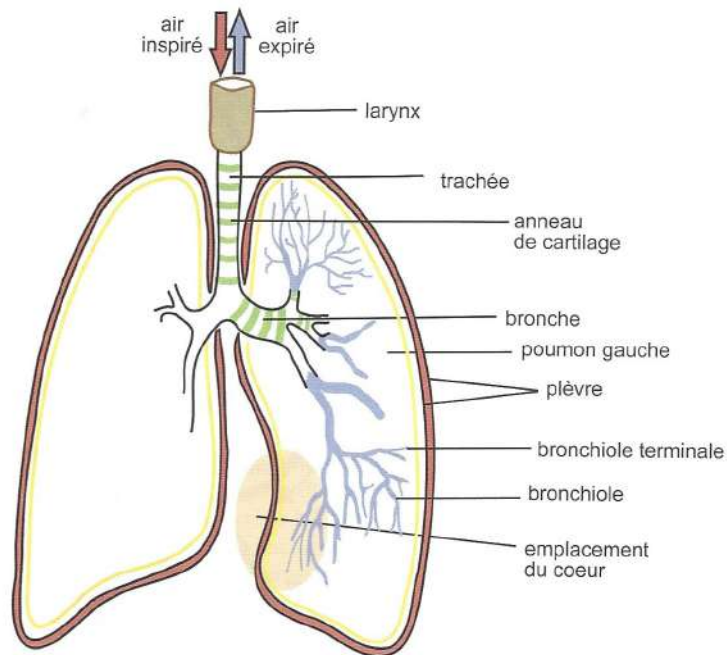
- Voir figures 22-25.



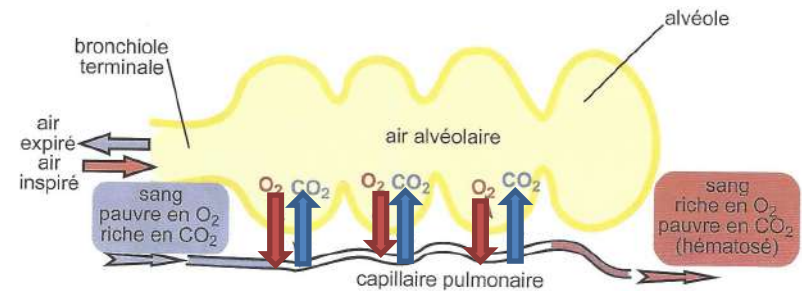
▲ FIGURE 22. Synthèse sur la digestion chez les Ruminants. D'après SEGARRA *et al.* (2014)



Les poumons sont réduits du fait de l'encombrement de la panse.



▲ FIGURE 26. Localisation et organisation de l'appareil respiratoire de la Vache.
D'après SEGARRA *et al.* (2014) et PEYCRU *et al.* (2013)



▲ FIGURE 27. Réalisation des EGR. D'après PEYCRU *et al.* (2013), corrigé

▼ TABLEAU VI. Quelques données chiffrées sur l'appareil respiratoire de la Vache.
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

	Vache (700 kg)
Masse des poumons / masse du corps (en %)	0,73
Volume des poumons (en L)	12,4
Surface alvéolaire / volume des poumons (en cm ² /cm ³)	635
Surface alvéolaire totale (en m ²)	316

- Notons que le **système respiratoire** comprend aussi :
 - Des **muscles** impliqués dans la **mise en mouvement du fluide externe (ventilation)** : les **muscles intercostaux** et le **diaphragme** (situé en arrière des poumons).
 - Les **plèvres**, deux **épithéliums englobant chaque poumon et glissant l'un contre l'autre lors de la ventilation**.

4. Des adaptations au milieu aérien : invagination / ramification des structures, support squelettique, ventilation bidirectionnelle...

- On peut lister un certain nombre d'adaptations du système respiratoire à la vie en (tableau VII).

▼ TABLEAU VII. Le milieu aérien : atouts et inconvénients dans la réalisation des échanges gazeux. D'après mon cours de Capes.

Caractéristiques du milieu	Conséquences sur les échangeurs respiratoires
Faible portance du milieu (La poussée d'Archimède exercée par l'air est négligeable par rapport au poids des organismes)	Échangeurs invaginés (poumons, trachées) portés et protégés par une cage thoracique (squelette). Présence d'anneaux cartilagineux dans la trachée et les grosses bronches.
Densité faible du milieu (800 fois moins que l'eau)	Milieu dont la mise en mouvement (ventilation) nécessite beaucoup moins d'énergie que l'eau : circulation bidirectionnelle possible, ce qui est le

	cas chez la Vache.
	On appelle ventilation la mise en mouvement active du milieu externe par le système respiratoire ; celle-ci comprend une alternance entre flux entrant (inspiration) et flux sortant (expiration) .
Milieu très desséchant (= Principale contrainte du milieu aérien)	Risque de déshydratation important Solutions adoptées : a) Échangeurs invaginés (dont la surface est moins exposée aux fluctuations du milieu de vie que s'ils étaient évaginés) b) Ramification des conduits permettant l' hydratation progressive de l'air inspiré et la récupération d'eau au niveau de l'air expiré.
Forte disponibilité en dioxygène (Il y a en moyenne 30 fois plus de dioxygène dans l'air que dans l'eau)	Maintien d'un différentiel de pression partielles entre milieu interne et milieu externe beaucoup plus aisé qu'en milieu aquatique.

D. Un organisme qui élimine les déchets azotés et assure un équilibre hydro-minéral : le système excréteur (= urinaire)

1. La notion de système excréteur ou système urinaire

- Les **déchets de fonctionnement des cellules (déchets azotés) et du trop-plein d'eau ou d'ions** sont évacués à l'extérieur de l'organisme : c'est l'**excrétion** assurée par le **système excréteur** ou **système urinaire** (sauf le CO₂ excrété par voie respiratoire).

(!) Le terme « **excrétion** » peut aussi désigner **toute sécrétion à l'extérieur de l'organisme, et pas forcément uniquement de déchets**.

- Ce **système** a également pour intérêt de **contrôler les efflux (sorties) d'eau et d'électrolytes** ; il participe donc à la **constance globale de la quantité d'eau et d'électrolytes présents dans l'organisme et notamment le sang (= équilibres entre entrées et sorties)**, ce qu'on appelle l'**équilibre hydrominéral**.

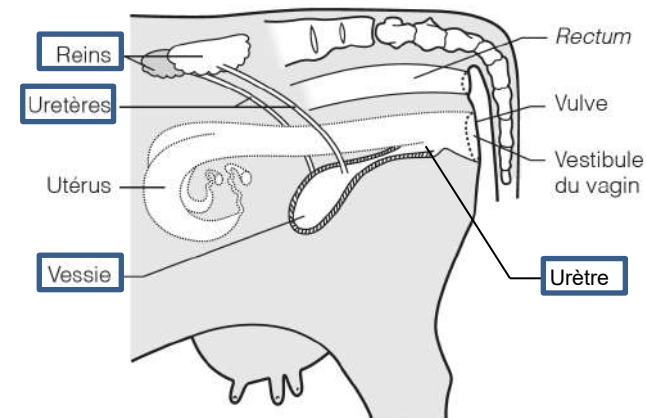
2. Un ensemble d'organes situés dans la cavité abdominale

- Le **système urinaire** est situé dans la **cavité abdominale** et comprend principalement (figure 28) :
 - Les **reins**, **organes pairs plurilobés*** et **richement vascularisés** qui **filtrent le sang et assurent la production d'urine** (figure 29).

En boucherie, les reins sont appelés **rognons**.

* contrairement à l'Homme où ils ont une forme de gros haricot.

- Les **uretères**, **conduits pairs menant l'urine jusqu'à la vessie**.
- La **vessie**, **poche impaire d'accumulation et de stockage transitoire de l'urine**.
- L'**urètre**, **conduit impair permettant l'évacuation de l'urine jusqu'à un méat urinaire** (situé au niveau du pénis, chez le mâle).



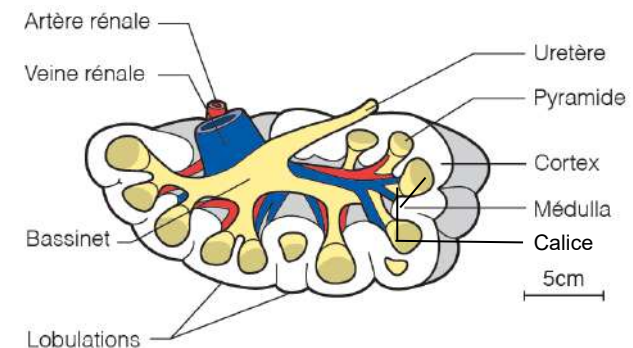
Les organes génitaux sont représentés en pointillés.

Les légendes écrites en italiques désignent des organes qui n'appartiennent pas à l'appareil uro-génital.

▲ FIGURE 28. Localisation et organisation de l'appareil uro-génital de la Vache.

D'après SEGARRA et al. (2014).

Les **portions encadrées** correspondent à l'appareil urinaire. Le méat urinaire n'est pas figuré.



▲ FIGURE 29. Organisation d'un rein de Vache. D'après SEGARRA et al. (2014).

Les **reins** (figure 29) comprennent ici des **lobulations** responsables de l'aspect caractéristique des **rognons** (figure 30). Chaque **lobulation** comprend :

- une **capsule fibreuse externe**, à **fonction protectrice et délimitante (épithélium + conjonctif)**.
- un **cortex périphérique, finement vascularisé** où **est produite l'urine primaire**.
- une **partie centrale** nommée **médulla** (ou **médullaire**) **formée de pyramides rénales** où **a lieu progressivement la production d'urine secondaire après filtration-réabsorption**.

Dans le détail, il existe **plusieurs types de pyramides** mais cela n'a guère d'importance à notre niveau.



▲ FIGURE 30. Rognons de Bœuf.

<https://barf-naturel.fr/Rognon-de-Boeuf> (consultation juin 2019)

Chaque pyramide débouche ensuite dans un **calice** et la **convergence des calices** forme un **bassin** qui **communique avec l'uretère**.

On appelle **urine** un **liquide aqueux formé par filtration du sang au niveau de l'appareil excréteur**.

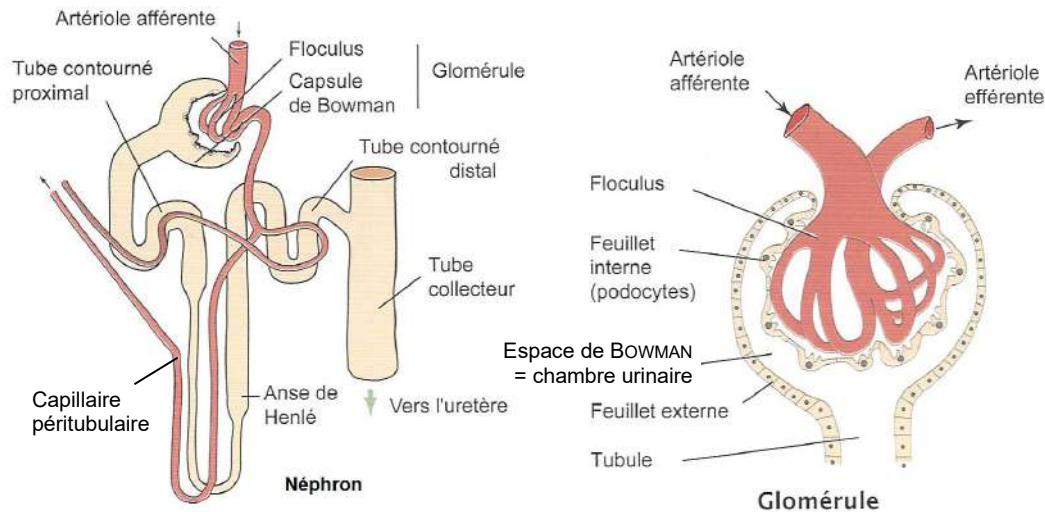
On peut distinguer :

- L'**urine primaire (= primordiale)** qui correspond au **liquide formé par ultrafiltration du sang au niveau des glomérules rénaux**.
- L'**urine secondaire (= définitive)** qui correspond à l'**urine formée après filtration-réabsorption au sein des néphrons et qui s'écoule dans les uretères, est stockée dans la vessie et est évacuée par l'urètre** (sens du mot « urine » dans le langage courant).

Quelques chiffres (d'après SEGARRA et al., 2014) :

- **Débit de filtration du sang dans les reins d'une Vache** : plus de **4000 L • j⁻¹**
[à comparer au **volume sanguin** : **60 L** ⇒ l'équivalent du **volume sanguin** est donc **filtré toutes les 20 min**]
- **Urine produite** : environ **21 L • j⁻¹**

3. Le néphron, unité de fonctionnement du rein produisant l'urine par ultrafiltration glomérulaire (→ urine I) puis réabsorption et sécrétion tubulaires (→ urine II = définitive) [plus au programme ?]



▲ FIGURE 31. **Organisation d'un néphron de Mammifère [pour information]**.
D'après RICHARD et al. (2014), modifié.

- On appelle **néphron** (figure 31) l'**unité fonctionnelle basale du rein qui comprend un glomérule et une tubulure débouchant dans un tube collecteur** (figure 30).
- Le **glomérule** se trouve dans le **cortex** ; les **parties tubulaires** subséquentes se trouvent dans le **cortex** et la **médulla**, variablement **plus ou moins profondément**.

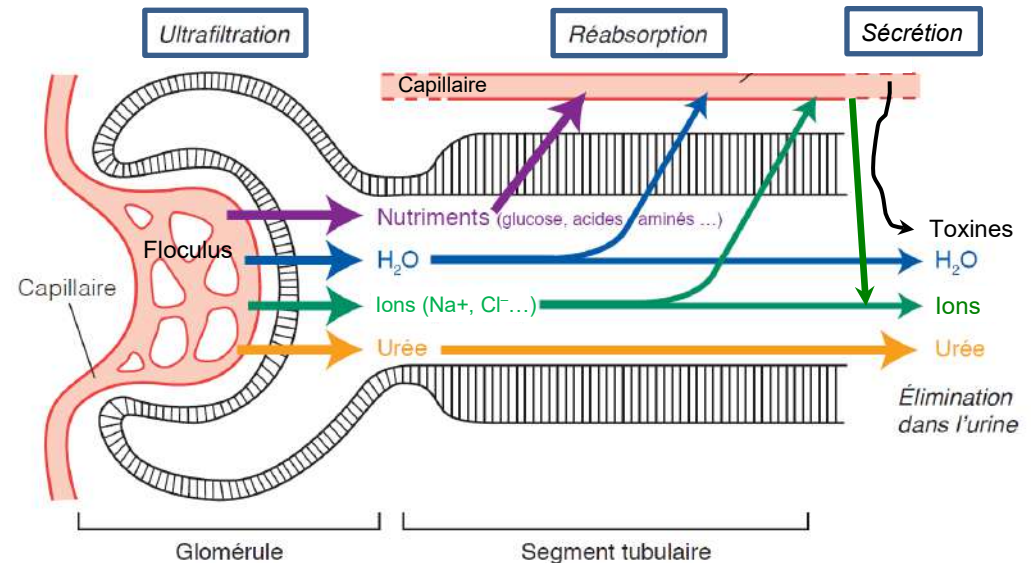
- Un **néphron** comprend typiquement (figure 31) :
 - Un **corpuscule rénal** (= corpuscule de MALPIGHI) ou **glomérule au sens large** (ainsi nommé dans la figure 31), lieu de l'**ultrafiltration** du sang, composé :
 - d'un **floculus** ou **glomérule au sens strict, capillaire en bouquet où le plasma – qui circule à très haute pression – s'échappe en partie,**
 - et d'une **capsule de BOWMAN**, qui **collecte le plasma d'origine floculaire**.

Dans ce corpuscule s'effectue l'**ultrafiltration**, c'est-à-dire le **transfert d'une partie du plasma glomérulaire vers le néphron** (figure 32). Il s'ensuit la production d'une **urine** dite **primaire**.

- Un **système tubulaire** relativement contournée comprenant typiquement un **tube contourné proximal (TCP)**, une **anse de Henlé** et enfin un **tubule contourné distal (TCD)** qui débouche dans un **tube collecteur** situé dans la **pyramide rénale**. Ce système tubulaire comprend un **réseau capillaire qui lui étroitement associé (capillaires péri-tubulaires)** au niveau desquels s'effectuent des **échanges de matière** avec l'urine dans les tubules selon des processus de **réabsorption-sécrétion**. Il s'ensuit la production d'une **urine** dite **secondaire** (= **définitive**).

Au niveau de ce réseau, s'effectue la **réabsorption tubulaire sélective** (par le sang) de **certaines substances**, notamment de **tous les nutriments organiques** (sauf trouble), de **nombreux ions**, et d'une **partie de l'eau** (figure 32).

En plus de la **réabsorption**, il existe aussi un processus de **sécrétion tubulaire** (= **sécrétion sélective de substances et notamment d'ions par la paroi tubulaire du néphron**).



▲ FIGURE 32. **Le couplage ultrafiltration glomérulaire / réabsorption-sécrétion tubulaire : principe très simplifié de fonctionnement du néphron**. D'après SEGARRA et al. (2014), modifié.
[plus au programme ?]

4. La nature des excréments : une évacuation d'eau, d'ions et d'urée (déchet azoté adapté à la vie aérienne) et d'éventuelles toxines

- Les substances évacuées par l'urine définitive sont principalement :
 - De l'eau ;
 - Des ions variés ;

L'appareil excréteur participe ainsi à l'équilibre hydrominéral.

- Des toxines éventuelles ;
- De l'urée, qui constitue le moyen privilégié (et quasi-exclusif) d'excrétion des déchets azotés, même si, chez la Vache, elle est aussi excrétée au niveau salivaire voir plus haut).

On rappelle que, chez la Vache, une partie de l'urée est aussi excrétée au niveau salivaire, ce qui assure un apport azoté aux micro-organismes de la panse (figure 32bis).

L'urée (ou encore l'acide urique, qui précipite et que l'on trouve par exemple chez les Insectes) se concentre beaucoup plus aisément que l'ammoniac ou les ions ammonium or, en milieu aérien, l'urine ne peut être évacuée en continu et de manière diluée, sous peine de pertes hydriques importantes. L'excrétion d'urée (uréotélie) est donc une adaptation à la vie en milieu aérien.

(!) La plupart des autres métabolites organiques sont généralement réabsorbés (sauf maladie).

E. Un organisme où la matière est mise en mouvement et déplacée dans tout l'organisme : le système circulatoire (= cardiovasculaire) [et le système lymphatique]

Voir le BCPST2 sur la circulation des Mammifères

1. La circulation, une fonction intégrative adaptée à la pluricellularité et à la spécialisation poussée des organes et tissus

- La pluricellularité – avec l'augmentation de taille et donc l'augmentation de la distance entre les cellules et le milieu extérieur qui lui sont associées – et la spécialisation des organes au sein d'un organisme supposent souvent la mise en place d'un système mettant en mouvement la matière dans l'organisme, ce qui permet d'approvisionner les cellules en substances nutritives ou au contraire d'évacuer les déchets ; nous parlerons de circulation pour désigner cette fonction.
- Du fait de sa position fonctionnelle intégrative (figure 1bis – revoir page 5) – c'est-à-dire de mise en relation des cellules, des organes et/ou des appareils –, la fonction circulatoire est impliquée dans de nombreux processus physiologiques et peut subir des contrôles assurant le maintien de certains paramètres physiologiques à des valeurs stables (= ce qu'on appelle l'homéostasie), par exemple la pression artérielle moyenne (PAM) dont nous étudierons la régulation en seconde année.

Voir chapitre 10 (Circulation)

2. La présence de deux fluides circulants : le sang et la lymphe

a. Le sang, un tissu mobile composé de cellules (éléments figurés) et d'un plasma riche en solutés variés

- Le sang est un tissu (conjonctif au sens large) constitué de nombreux types de cellules en suspension (cellules sanguines = éléments figurés) (tableau X) dans une matrice liquide (plasma) (tableau IX) qui assure le transport de nombreuses substances (gaz respiratoires, nutriments, hormones, déchets métaboliques...) et participe aux défenses de l'organisme.

- Il circule dans un ensemble de conduits fermés (voir plus loin) : on dit que le système circulatoire est clos.
- Chez une vache de 700 kg, le volume sanguin total (= volémie) est en moyenne de 56 L (8 % de la masse corporelle).

TABLEAU IX. Composition du plasma. D'après MARIEB (2005).

Composants	Description et importance
Eau	Constitue 90 % du volume plasmatique ; milieu de dissolution et de suspension pour les solutés du sang ; absorbe la chaleur
Solutés Protéines	Constituent 8 % (au poids) du volume plasmatique
▪ Albumine	Constitue 60 % des protéines plasmatiques ; produite par le foie ; exerce une pression osmotique qui préserve l'équilibre hydrique entre le plasma et le liquide interstitiel
▪ Globulines alpha et bêta	Constituent 36 % des protéines plasmatiques Produites par le foie ; protéines vectrices qui se lient aux lipides, aux ions des métaux et aux vitamines liposolubles
gamma	Anticorps libérés par les cellules plasmatiques pendant la réaction immunitaire
▪ Facteurs de coagulation	Constituent 4 % des protéines plasmatiques ; comprennent le fibrinogène et la prothrombine produits par le foie ; interviennent dans la coagulation
▪ Autres	Enzymes métaboliques, protéines antibactériennes (comme le complément), hormones
Substances azotées non protéiques	Sous-produits du métabolisme cellulaire comme l'urée, l'acide urique, la créatinine et les sels d'ammonium
Nutriments (organiques)	Matières absorbées par le tube digestif et transportées dans l'organisme entier ; comprennent le glucose et d'autres glucides simples, les acides aminés (produits de la digestion des protéines), les acides gras, le glycérol et les triglycérides (lipides), le cholestérol et les vitamines
Électrolytes	Cations dont le sodium, le potassium, le calcium, le fer et le magnésium ; anions dont le chlorure, le phosphate, le sulfate et le bicarbonate ; concourent à maintenir la pression osmotique du plasma et le pH sanguin
Gaz respiratoires	Oxygène et gaz carbonique ; un peu d'oxygène dissous (en majeure partie lié à l'hémoglobine dans les érythrocytes) ; le gaz carbonique est transporté par l'hémoglobine des érythrocytes et sous forme d'ions bicarbonate dissous dans le plasma

▼ **TABLEAU X. Les éléments figurés du sang.** D'après MARIEB (2005).

Cellule	Illustration	Description*	Nombre de cellules par litre de sang	Durée du développement (D) et de la vie (V)	Fonction
Érythrocytes (globules rouges)		Disques biconcaves, anucléés; couleur saumon; de 7 à 8 µm de diamètre	De 4 à 6 × 10 ¹²	D: de 5 à 7 jours V: de 100 à 120 jours	Transport de l'oxygène et du gaz carbonique
Leucocytes (globules blancs)		Cellules sphériques nucléées	De 4,8 à 10,8 × 10 ⁹		
Granulocytes					
■ Granulocytes neutrophiles		Noyau plurilobé; granulations cytoplasmiques difficilement visibles; de 10 à 12 µm de diamètre	De 3 à 7 × 10 ⁹	D: de 6 à 9 jours V: de 6 h à quelques jours	Phagocytose des bactéries
■ Granulocytes éosinophiles		Noyau bilobé; granulations cytoplasmiques rouges difficilement visibles; de 10 à 14 µm de diamètre	De 0,1 à 0,4 × 10 ⁹	D: de 6 à 9 jours V: de 8 à 12 jours	Destruction des vers parasites et des complexes antigène anticorps; inactivation de certaines substances chimiques allergènes associées à la réaction inflammatoire
■ Granulocytes basophiles		Noyau lobé; grosses granulations cytoplasmiques bleu violet; de 8 à 10 µm de diamètre	De 0,02 à 0,05 × 10 ⁹	D: de 3 à 7 jours V: ? (de quelques heures à quelques jours)	Libération de l'histamine et d'autres médiateurs chimiques associés à la réaction inflammatoire; contient de l'héparine, un anticoagulant
Agranulocytes					
■ Lymphocytes		Noyau sphérique ou échancré; cytoplasme violacé; de 5 à 17 µm de diamètre	De 1,5 à 3,0 × 10 ⁹	D: de quelques jours à quelques semaines V: de quelques heures à quelques années	Défense de l'organisme par l'attaque directe de cellule ou par l'entremise d'anticorps
■ Monocytes		Noyau en forme de U ou de haricot; cytoplasme gris bleu; de 14 à 24 µm de diamètre	De 0,1 à 0,7 × 10 ⁹	D: de 2 à 3 jours V: plusieurs mois	Phagocytose; transformation en macrophages dans les tissus
Plaquettes		Fragments cytoplasmiques discoïdes contenant des granulations violettes; de 2 à 4 µm de diamètre	De 150 à 400 × 10 ⁹	D: de 4 à 5 jours V: de 5 à 10 jours	Réparation des petites déchirures des vaisseaux sanguins; coagulation

* Apparence à la coloration de Wright

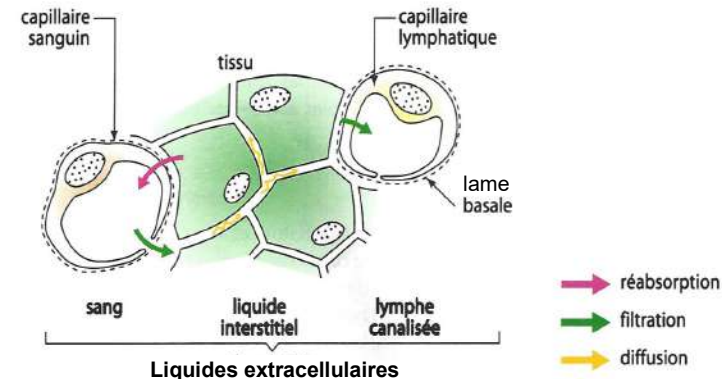
b. La lymphe, liquide né de la filtration du sang et retournant au sang qui se déplace lentement dans un système propre (canaux lymphatiques)

- La **lymphe** est un **liquide transparent jaunâtre sans globules rouges, de composition proche du plasma sanguin qui se déplace dans un système de conduits propres nommés canaux lymphatiques** (encadré A).

Il ne faut pas confondre la **lymphe** et la « **lymphe interstitielle** » qu'il vaut mieux appeler **liquide interstitiel** pour éviter toute méprise. Le **liquide interstitiel** est le **liquide dans lequel baignent les cellules au sein des tissus**.

- La **lymphe** naît par **filtration du sang**, en ce sens où l'**excès de liquide plasmatique** filtré par les **capillaires sanguins** qui se retrouve dans le **liquide**

interstitiel et finit par être **capté par les vaisseaux lymphatiques** où il constitue la **lymphe** (figure 33).



▲ **FIGURE 33. Le réseau lymphatique et ses liens avec le sang.** D'après PÉRILLEUX et al. (2002).

Chez les **Mammifères**, il existe **trois liquides extracellulaires** (figure 33) :

- ° Le **sang**
- ° La **lymphe** (ou « **lymphe canalisée** »)
- ° Le **liquide interstitiel** (ou « **lymphe interstitielle** »)

Ces **trois liquides** sont **interdépendants** (figure 33) : le **liquide interstitiel** provient du **sang** et une partie du **liquide interstitiel** termine dans les canaux lymphatiques et devient la **lymphe**.

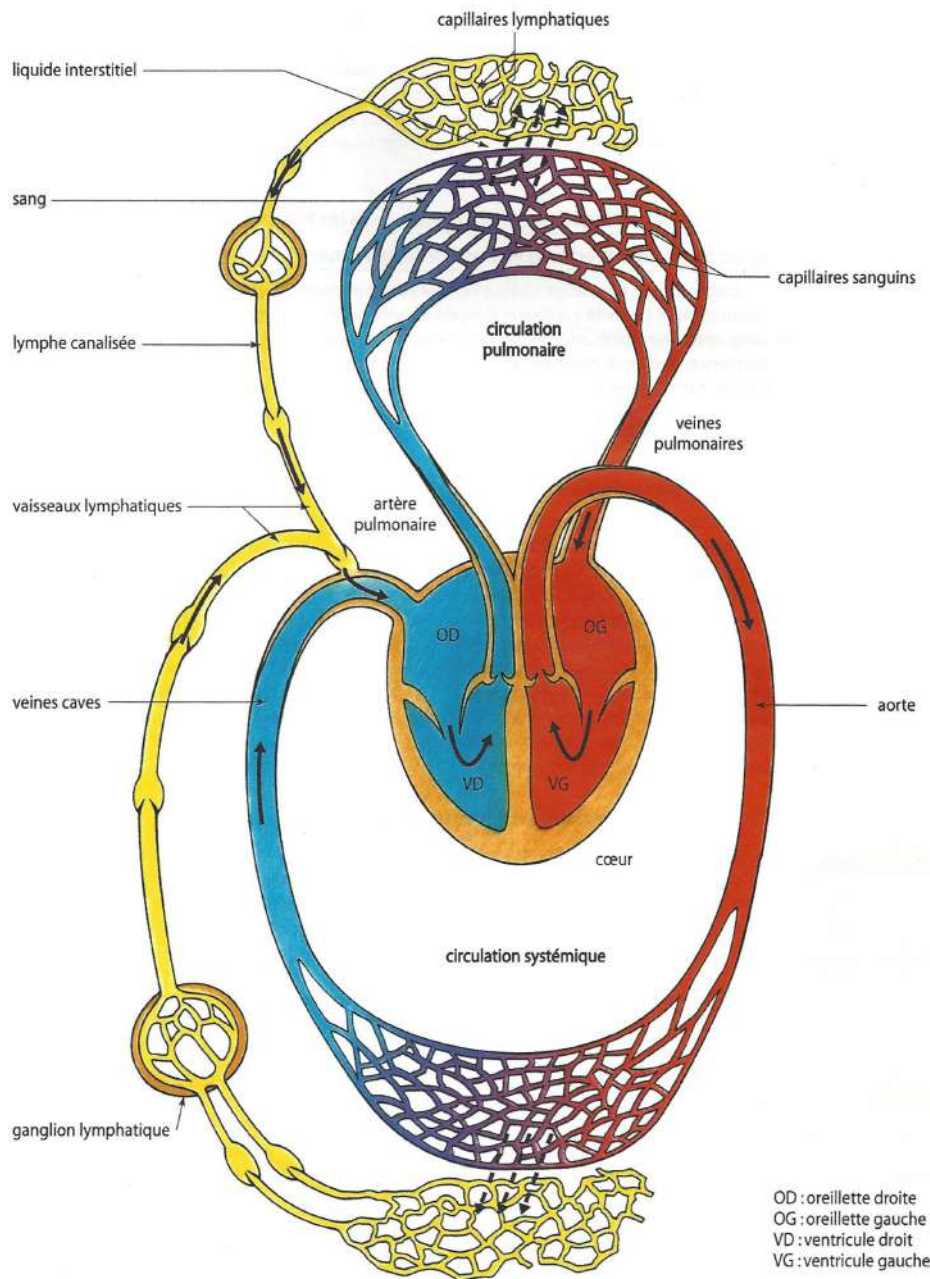
Chez les Animaux pluricellulaires, on appelle **milieu intérieur** l'ensemble des **liquides extracellulaires circulants dans l'organisme** ; il s'agit du **sang** et de la **lymphe** chez les Mammifères (et, en raccourci, on désigne là surtout le sang).

L'expression « **milieu intérieur** » est donc synonyme de « **liquides circulants** ». Mais parfois, certains auteurs y ajoutent aussi le **liquide interstitiel** de sorte que, dans ce cas, le « **milieu intérieur** » devient alors synonyme de « **liquides extracellulaires** ».

3. La circulation lymphatique : une circulation lente à basse pression remplissant quelques fonctions nutritives et immunitaires

a. Une circulation lente dans des canaux lymphatiques qui commence en cul-de-sac dans les tissus et retourne in fine au sang veineux

- La **lymphe** circule dans des **vaisseaux lymphatiques** qui, avec les **ganglions lymphatiques**, constituent le **système lymphatique** (figure 34) :
 - les **canaux (= vaisseaux) lymphatiques** commencent par de **finis canalicules en cul-de-sac au niveau desquels la lymphe se forme à partir du liquide interstitiel non réabsorbé par les capillaires sanguins** qu'on peut nommer **capillaires lymphatiques**.
 - ce liquide est ensuite drainé par un réseau de canaux lymphatiques se ramifiant sur le chemin duquel se trouvent des **ganglions lymphatiques** (**organes participant à la formation des globules blancs**)...
 - ... jusqu'à retourner au sang au niveau du réseau veineux où la lymphe est déversée dans les **veines sous-clavières**.



▲ FIGURE 34. Le réseau lymphatique et ses liens avec le sang. D'après PÉRILLEUX et al. (2002).

- Le **déplacement de la lymphe** est **3000 fois plus lent*** que celui du **sang** et est essentiellement **passif** : il est principalement dû aux **contractions des muscles squelettiques** alentour ou des **muscles lisses viscéraux**.

*Exemple : vitesse de **100 mL/h (au repos)** au niveau du **canal thoracique** qui se jette dans la **veine sous-clavière gauche**.

- Des systèmes de **valvules** empêchent le **reflux** et permettent l'**avancée unidirectionnelle de la lymphe**. Les **cellules musculaires lisses** des vaisseaux lymphatiques peuvent elles-mêmes **se contracter** et favoriser ainsi la conduction du liquide.

b. Des fonctions essentiellement nutritives et immunitaires

- Les **fonctions de la circulation lymphatique** sont ainsi résumées par SEGARRA et al. (2015) :

- Transfert du liquide plasmatique ultrafiltré** au pôle artériel des capillaires et non réabsorbé au pôle veineux
- Drainage des protéines présentes dans le milieu interstitiel** et retour au sang (un quart des protéines plasmatiques circulantes) ; sans ce drainage, la pression oncotique du milieu interstitiel augmenterait et pourrait provoquer un œdème.
- Transfert de substances lipidiques absorbées par les chylifères des villosités intestinales** sous forme de chylomicrons vers le compartiment sanguin
- Transport des leucocytes et mise en contact des cellules immunitaires au sein des ganglions lymphatiques** avec des éléments étrangers notamment via des cellules présentatrices d'antigènes.

Tous les tissus ne sont pas en relation avec le système lymphatique ; c'est le cas du système nerveux central, du tissu osseux, du placenta, de la cornée, de la rétine...

4. La circulation sanguine : une circulation rapide à haute pression participant à la nutrition de l'ensemble de l'organisme et aux fonctions de relation

- Une **vision simple** de l'organisation du **système circulatoire sanguin** est donnée aux figures 35-36.

a. La notion d'appareil cardiovasculaire : le sang, les vaisseaux et le cœur

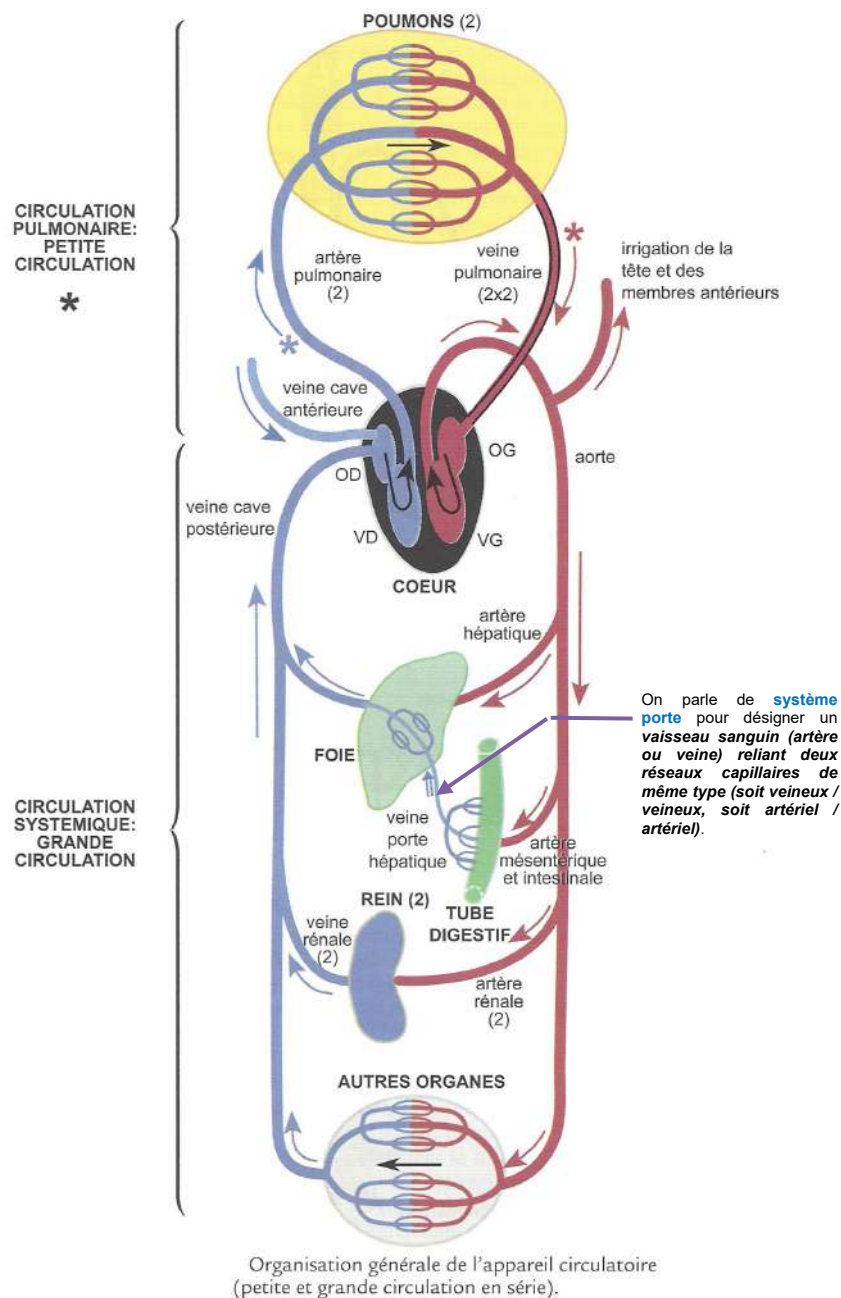
- L'**appareil cardiovasculaire** ou **appareil circulatoire** désigne le **réseau d'organes qui assure la circulation du sang ainsi que le sang lui-même**. On peut sommairement le diviser en trois entités :
 - Le **sang** (cf. définition page 30).
 - Les **vaisseaux**, **ensemble de conduits de taille variable où circule le sang et où s'effectuent les échanges de matière avec les tissus**.

On notera ici que le **sang** est un **milieu intérieur endigué**, c'est-à-dire qu'il **circule dans un système circulatoire fermé**. Ce n'est pas le cas de l'**hémolymphe** des Arthropodes qui est un **liquide circulant dans des vaisseaux ouverts** qui débouchent dans la **cavité générale (hémocœle)**.

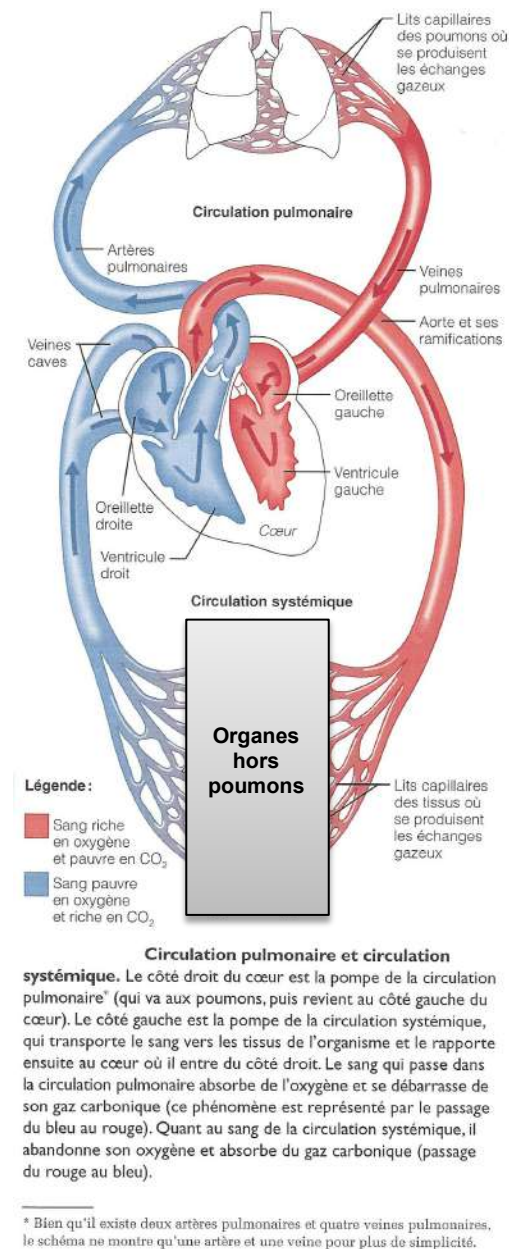
- Le **cœur**, **organe essentiellement composé d'un muscle creux (myocarde) qui propulse le sang dans le réseau vasculaire et permet ainsi la mise en mouvement de ce fluide circulant**.

Les **valeurs hémodynamiques de la Vache** sont difficiles à trouver et semblent **très variables** mais il semble que le **pouls moyen** soit de l'ordre de **60-70 battements par minute** pour une **pression artérielle moyenne (PAM)** de **160 mm Hg** (contre **90 mm Hg en moyenne** chez l'Homme). Les **vitesse de circulation** au niveau du cœur atteindraient **40-50 L • min⁻¹**, soit un peu moins de la volémie.

(!) Valeurs au repos, données à titre indicatif (source : DOYLE et al. 1960)



▲ **FIGURE 35. Le système cardio-vasculaire : vue d'ensemble.** D'après PEYCRU et al. (2017).

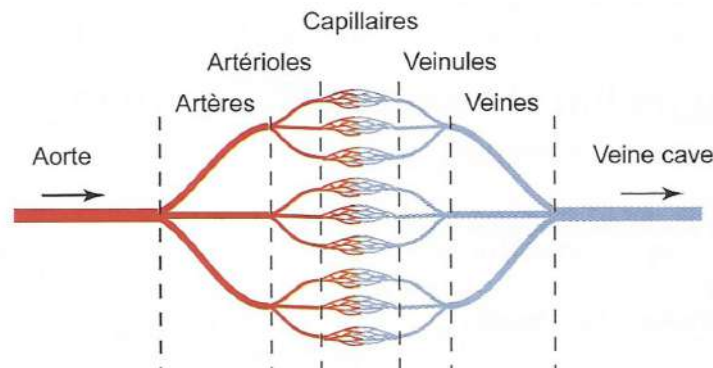


▲ **FIGURE 36. La double circulation sanguine.** D'après MARIEB (2005), modifié.

b. Une circulation qui suppose la mise en mouvement active du fluide par le cœur, pompe foulante et aspirante

- Le **cœur**, dont la paroi est essentiellement composée d'un **muscle** (le **myocarde**), est constitué de **deux continus de cavités** (chaque continuum comprenant une **oreillette** et un **ventricule**) séparés par un **septum interventriculaire** (figures 35-36).
- Le **cœur** assure l'**aspiration du sang** [pompe aspirante] qui lui **revient à basse pression par les veines** et l'**expulsion** [pompe foulante] du **sang à haute pression par les artères**.
- Le **cœur** fonctionne en **alternant** entre un **relâchement (diastole)**, assurant son **remplissage**, et une **contraction (systole)**, assurant l'**expulsion à haute pression du sang** dans le **réseau artériel**.

c. Une circulation qui suppose le passage du sang dans des conduits : les vaisseaux sanguins (artères, capillaires, veines)



▲ FIGURE 37. **Les tronçons vasculaires de la circulation générale.** D'après RICHARD et al. (2015).

- On peut **diviser** fonctionnellement la **circulation** en **trois tronçons principaux** (figure 37) :
- Le **réseau artériel** qui comprend *l'ensemble des vaisseaux qui achemine le sang depuis le cœur jusqu'aux capillaires (artères au sens le plus large)*.
(!) Ce sont des vaisseaux à **haute pression** et à **vitesse plutôt élevée** ; ils assurent la **distribution du sang** aux organes.
- Les **capillaires sanguins** sont de **fins conduits** (3 à 7 μm de diamètre : les **cellules** y compris les **hématies** y sont **déformées** lors de leur passage) **où se réalisent les échanges entre sang et liquide interstitiel**.
(!) Ce sont des vaisseaux à **pression moyenne** et à **vitesse très faible** ; ils constituent les **lieux d'échanges** entre **liquide interstitiel** (et donc les **tissus**) et le **sang**.
- Le **système veineux** est un **segment vasculaire à basse pression dont les vaisseaux nommés veines permettent le retour du sang au cœur (retour veineux) et sont caractérisés par une paroi fine, souple (flaccidité) et très distensible (compliance)**.
(!) Ce sont des vaisseaux à **basse pression**, à **vitesse plutôt élevée** et à **fort volume** ; ils assurent la **collecte du sang** revenant des organes.

d. Une circulation composée de deux boucles (circulations pulmonaire et générale) en série assurant la charge et la décharge en gaz respiratoires

- La **circulation** peut être divisée en **deux grandes boucles** en partant du **cœur** (figures 35-36) qui repose à la fois sur le **cloisonnement du cœur** et les **branchements vasculaires** qui lui sont associés :
 - La **circulation pulmonaire** ou **petite circulation** qui correspond au **circuit vasculaire qui va du cœur au cœur en passant par les poumons**.
(!) Elle assure l'**hématose** (= **charge du sang en dioxygène d'origine alvéolaire**) et la **décharge en CO_2 du sang** vers les **alvéoles pulmonaires**.
 - La **circulation générale** ou **circulation systémique** ou **grande circulation** qui correspond au **circuit vasculaire qui va du cœur au cœur en passant par les organes autres que les poumons**.
(!) Elle assure l'**acheminement du dioxygène sanguin aux tissus consommateurs** et la **récupération du dioxyde de carbone** qu'ils produisent.

On peut noter ici que la **circulation générale** et la **circulation pulmonaire** sont **en série l'une par rapport à l'autre** mais que, au sein de la **circulation générale**, les **organes** sont placés **en dérivation les uns par rapport aux autres**.

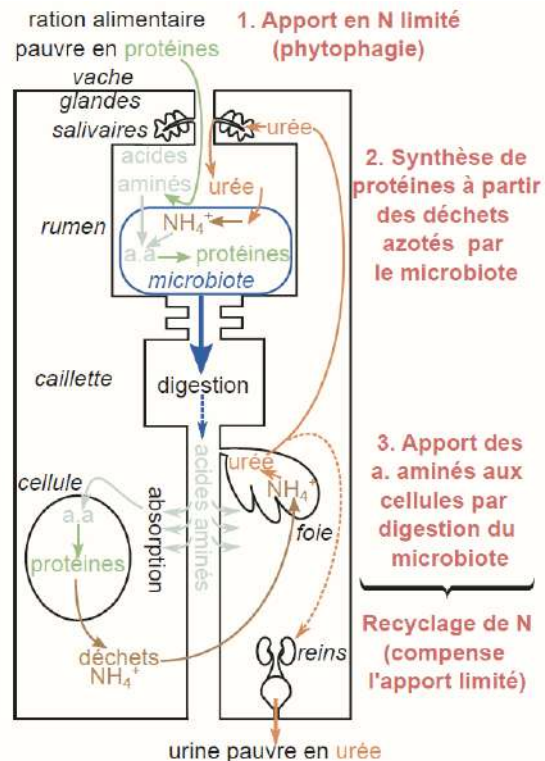
e. Une circulation au centre du fonctionnement de l'organisme : une fonction intégrative

- Redisons que la **circulation** est une **fonction intégrative** (figure 38), c'est-à-dire de **mise en relation des cellules, des organes et/ou des appareils**.
- Ses **fonctions** sont très nombreuses :
[Fonctions de nutrition]
 - Récupération et transport des **gaz respiratoires**,
 - Récupération et transport des **nutriments**, de l'**eau** et des **ions**,
 - Récupération et transport des **déchets métaboliques**,
 [Fonctions de relation]
 - Récupération et transport des **hormones** [communication intercellulaire],
 - Récupération et transport de **molécules et cellules** maintenant l' [immunité, coagulation...]

F. Focus transversal sur les flux de matière de deux substances : l'élément azote et la molécule eau

1. Un flux d'azote qui s'inscrit dans le cadre d'un régime alimentaire faiblement azoté : le rôle clef de l'utilisation de l'urée par le microbiote

- Hétérotrophe vis-à-vis de l'azote**, la **Vache** parvient s'approvisionner en **matière azotée** par sa seule **alimentation**. L'azote est surtout contenu dans les **protéines** qui sont **présentes en faible quantité** dans l'**herbe**. L'**excrétion azotée** se réalise quasi-exclusivement sous forme d'**urée** au niveau urinaire (figure 37bis).
- Les **apports azotés** chez la **Vache** sont fournis par les **acides aminés** issus de la **digestion des protéines** contenues dans l'**herbe** et le **microbiote**. Ce dernier est très riche en protéines, utilisant une **grande partie de l'urée** – donc des '**déchets**' azotés – que la **Vache réinjecte** dans sa **salive**, ce qui assure de **très faibles pertes azotées** à l'échelle de l'organisme animal et **compense la faible teneur initiale de l'herbe** en composés azotés.

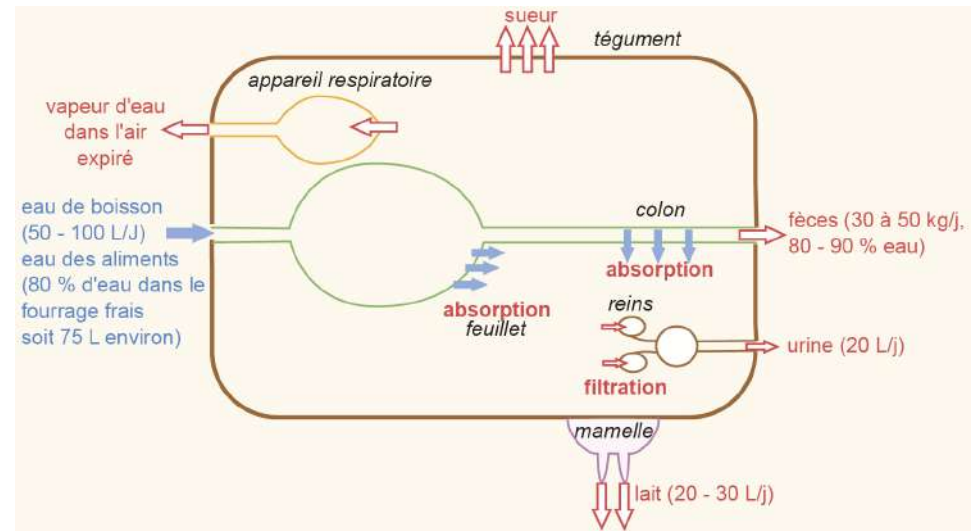


▲ FIGURE 37bis. L'azote chez la Vache. D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021).

2. Un flux d'eau où entrées et pertes se compensent globalement : l'équilibre hydrique

- On appelle **équilibre hydrique** le fait qu'entrées et sorties d'eau se compensent globalement, maintenant à une valeur stable la quantité d'eau dans l'organisme de la Vache (figure 37ter).
- L'entrée d'eau dans l'organisme se réalise par la prise d'eau buccale (boisson) mais aussi la prise alimentaire, les aliments contenant beaucoup d'eau.
- Les sorties comprennent :
 - Les pertes expiratoires,
 - La sudation,
 - Les pertes d'eau dans les aliments non digérés (fèces),
 - L'urine,
 - Et, bien sûr, dans le cas d'une Vache allaitante, le lait.

Notons que les valeurs chiffrées peuvent varier d'un individu à l'autre, en fonction de la saison, si la Vache allaite ou pas, si la race de la Vache correspond une grosse productrice de lait ou non... Les chiffres de la figure 37ter sont donc à considérer comme donnés à titre indicatif.



▲ FIGURE 37ter. L'eau chez la Vache. D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021).

G. Bilan sur les fonctions de nutrition

- Voir la figure 38.
- (!) On notera le **positionnement fonctionnel central** de la circulation.

Bilan (adapté du programme)

- ✓ La compartimentation de l'appareil digestif permet l'ingestion d'aliments (hétérotrophie de type phagotrophie), leur simplification en nutriments et leur absorption, ainsi que l'égestion de la matière non absorbée.
- ✓ Le microbiote du rumen par son action joue un rôle majeur dans l'origine des nutriments utilisés par la vache. Les relations interspécifiques avec les microorganismes définissent l'organisme comme un holobionte.
- ✓ Les nutriments sont distribués dans l'ensemble de l'organisme par l'appareil circulatoire et entrent ainsi dans le métabolisme cellulaire.
- ✓ L'appareil respiratoire assure les échanges gazeux liés au métabolisme énergétique aérobie.
- ✓ L'appareil excréteur élimine les déchets azotés et contribue à l'équilibre hydrominéral de l'organisme.

III. La Vache, un organisme qui s'inscrit dans son environnement, capte et réagit à ses fluctuations et dont les cellules communiquent : les fonctions de relation (s. I.)

- Les **fonctions de relation au sens large** désignent **l'ensemble des fonctions permettant à l'organisme d'interagir avec son environnement** :
 - Plus précisément, ces fonctions sont celles qui permettent à l'organisme **de percevoir cet environnement, de s'y déplacer ou de s'y ancrer, et de s'adapter à ses fluctuations, contraintes ou agressions (fonctions de relation au sens strict)**.
 - Les fonctions de relation au sens large incluent en outre également **les fonctions permettant la coordination des activités physiologiques et la communication entre les différentes parties de l'organisme (fonctions d'intégration)**.

Chez les **Mammifères**, cela comprend :

Soutien, locomotion, mise en mouvement : système squelettique, système musculaire
Maintien de l'intégrité et défense : système tégumentaire, système immunitaire
Perception de l'environnement (et des paramètres de l'organisme) : systèmes sensoriels (souvent inclus dans le système nerveux)
Communication au sein de l'organisme, régulation : système nerveux, système endocrinien

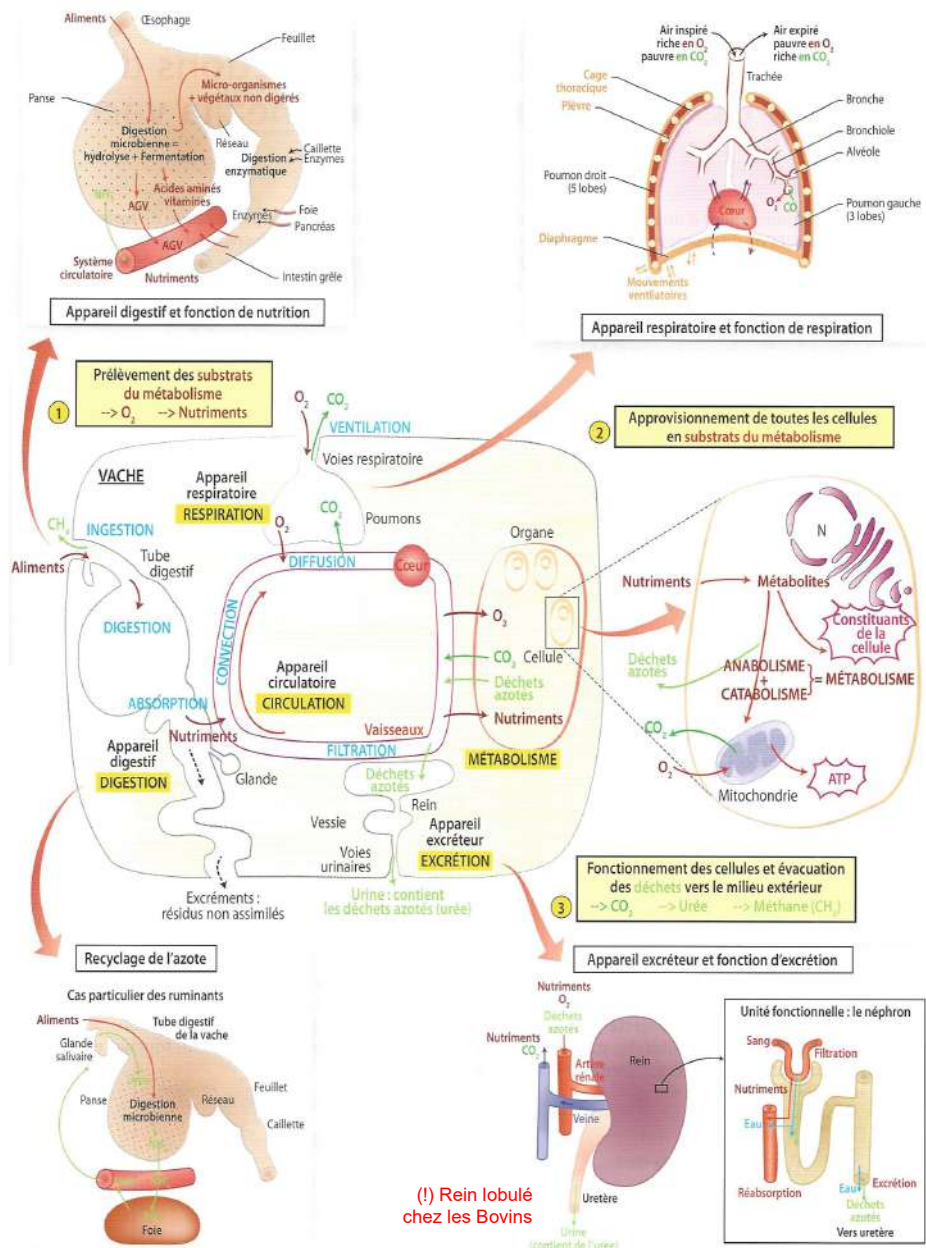
Capacités exigibles

- ✓ **Argumenter** la complémentarité et la coopération fonctionnelle des différents appareils.
- ✓ **Mettre en relation** l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation au milieu aérien.
- ✓ **Identifier** les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme.

NE PAS CONFONDRE « **fonctions de relation** » (un ensemble de fonctions physiologiques) et « **relations** » (**interactions avec l'environnement physicochimique ou biologique**, notamment avec les autres organismes – cf. **relations intraspécifiques** et **interspécifiques** dans le **grand I**), même si, évidemment, les premières **rendent physiologiquement possibles** les secondes.

A. Un organisme qui se maintient et se déplace dans un environnement peu porteur et peu dense : les systèmes squelettique et musculaire

- La **Vache** est capable de **se maintenir droite** et **se mouvoir** dans le **milieu aérien** qui est :
 - **Peu porteur** (faible poussée d'Archimède comparée à l'eau), ce qui suppose des **structures fortes de maintien** qui constituent ici un **endosquelette rigide et développé**.
 - **Peu dense** (800 fois moins dense que l'eau), ce qui le rend **facile à déplacer ou à fendre**, d'où une **faible énergie dépensée** dans la mise en mouvement.

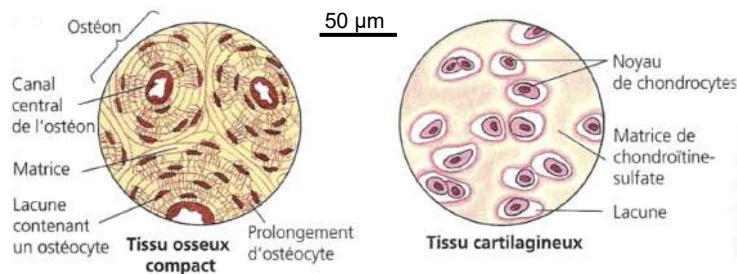


▲ **FIGURE 38. Vue d'ensemble des fonctions de nutrition chez la Vache.**
 D'après SAINTPIERRE et al. (2017).

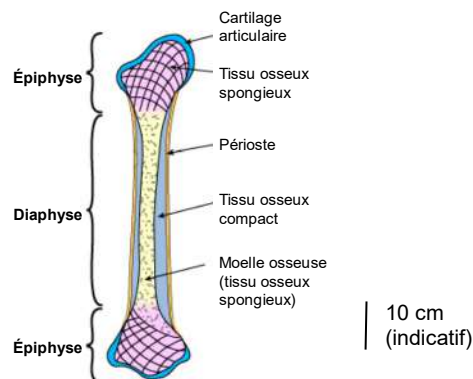
1. Le squelette, ensemble d'organes rigides (les os) associés et constituant l'armature structurante de l'organisme

a. L'endosquelette osseux, armature caractéristique des Vertébrés osseux (= Ostéichthyens au sens moderne)

- On appelle **squelette** l'armature rigide qui confère sa forme et son maintien à un organisme.
- Un **endosquelette** est un **squelette** situé à l'intérieur d'un organisme, sous le tégument et recouvert par les muscles squelettiques auxquels il est associé.
- On appelle **os** (prononcé [os] au singulier et [o] au pluriel) :
 - Un **tissu** (de type conjonctif au sens large) rigide où la matrice extracellulaire est pauvre en eau (50 %) et consolidée par un système cristallisé comprenant des phosphates et du calcium (= **tissu osseux**) (figure 39).
Revoir le complément sur l'histologie animale
 - Un **organe** constituant un élément rigide du squelette dont la rigidité est due à la présence de **tissu osseux** (figure 40).
- L'endosquelette osseux (avec du **tissu osseux vrai**) sont la caractéristique d'une partie des Vertébrés qu'on nomme **Ostéichthyens** (étym. et hist. « poissons osseux », aujourd'hui « Vertébrés osseux » au sens moderne).



▲ FIGURE 39. **Tissus osseux et cartilagineux.**
D'après MARIEB (2005).



▲ FIGURE 40. **Coupe longitudinale d'un os long : une vision simplifiée.**

© Unisciel (Université de Lille)

https://histologie.univ-lille.fr/cours/co/chap3_2_2.html (consultation mars 2020)

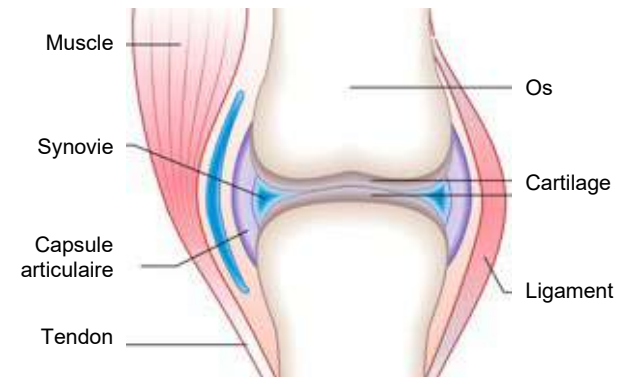
- Un **os** (quoiqu'il existe des situations variées qui sortent néanmoins du cadre d'un tel chapitre) est fondamentalement composé (figure 40) de deux **épiphyses**, extrémités au niveau desquelles on trouve du **tissu osseux spongieux** richement vascularisé, et d'une **diaphyse**, partie centrale allongée largement composée de **tissu osseux compact** (très sec et rigide) en périphérie et, en son centre, de **tissu osseux spongieux** formant la **moelle**.

Pour information : la zone de transition entre épiphyse et diaphyse s'appelle **métaphyse**.

- Des **tissus périphériques** sont à noter :
 - Le **cartilage articulaire**, **tissu résistant et souple consolidé par de la chondroïtine sulfate** (un GAG – glycosaminoglycane), au niveau des **épiphyses** lorsque celles-ci sont impliquées dans une **articulation**.
 - Le **périoste**, un **conjonctif dense recouvrant les surfaces osseuses non articulaires** : **diaphyse** et **épiphyses hors articulations**.

b. Des os constituant un ancrage pour les muscles squelettiques et mobiles les uns par rapport aux autres grâce aux articulations

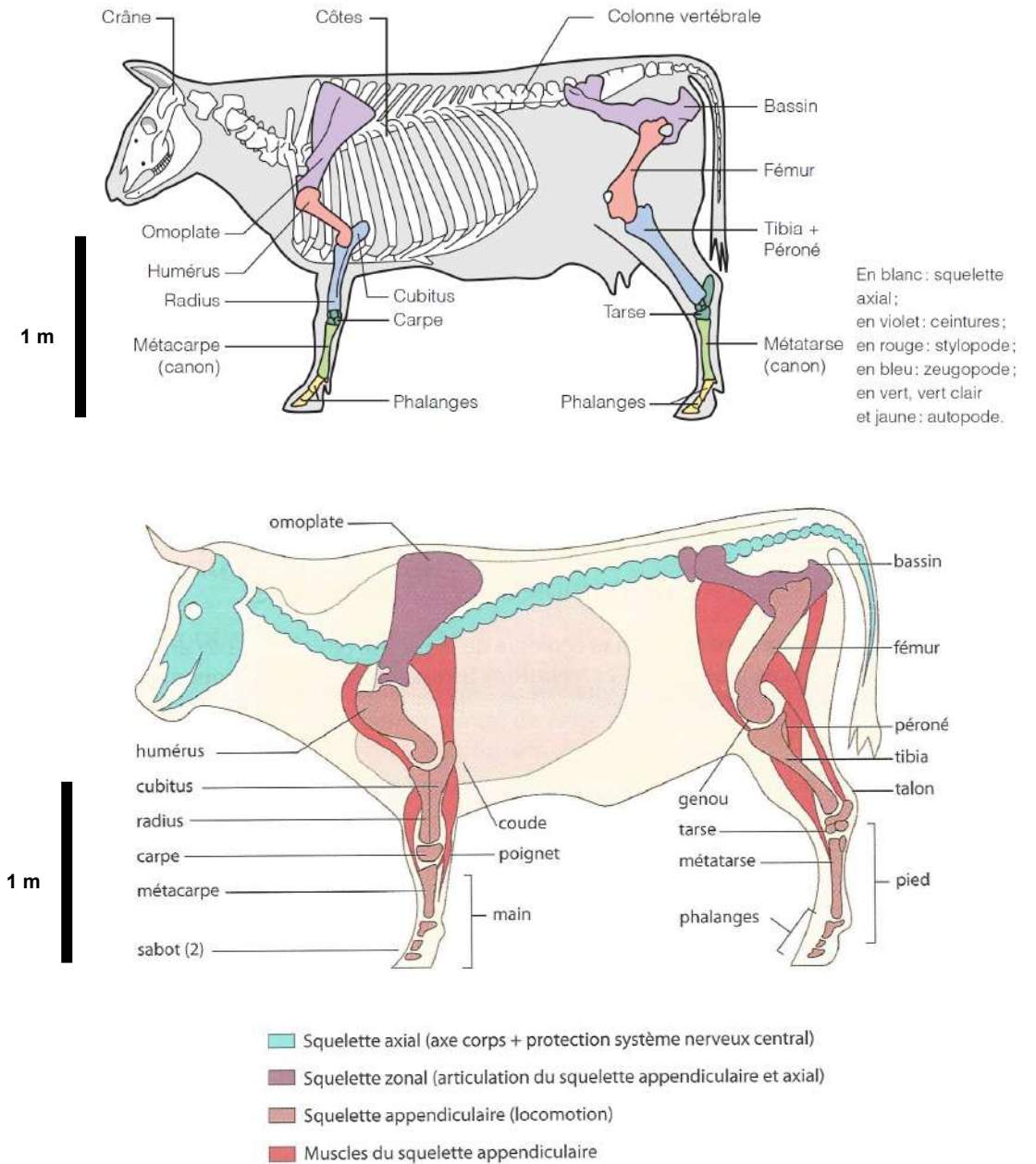
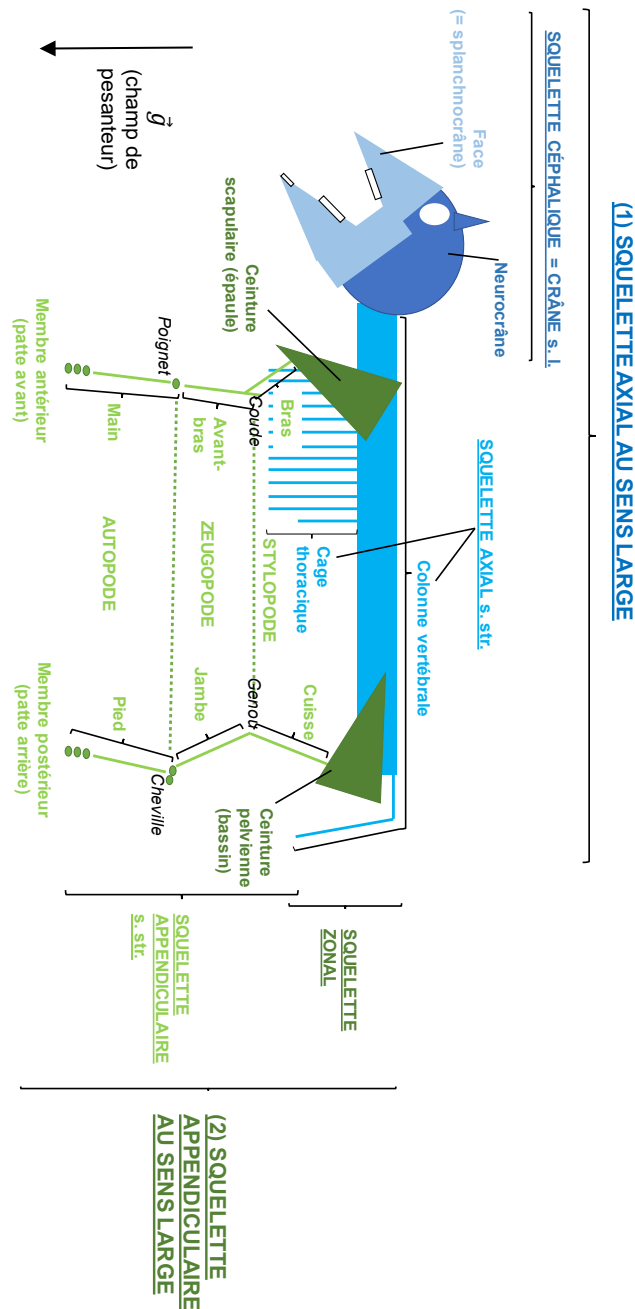
- Les **os** constituent le **point d'ancrage** de **muscles squelettiques** (voir 2.) dont la **contraction** assure les **mouvements de l'organisme**. Entre plusieurs os, une **articulation** (zone de jonction entre deux os ou davantage s'emboîtant plus ou moins) assure une **mobilité des segments** concernés de l'organisme.
- Les **ligaments** sont **des pièces de conjonctif denses très résistant qui assure l'attachement des os au niveau d'une articulation**.
- La **synovie** est un **fluide visqueux lubrifiant de composition complexe (produit par la capsule articulaire)** situé entre les os (figure 41).



▲ FIGURE 41. **Organisation très simplifiée d'une articulation.** <http://www.procell-nutrition.com/fr/myostim-solution-arthrose-et-sante-musculaire> (consultation avril 2016).

c. Un squelette divisible en plusieurs zones fonctionnelles : les squelettes céphalique, axial, zonal et appendiculaire

- On peut diviser le **squelette** en différentes **régions anatomiques et fonctionnelles** (figures 42-43) :



▲ FIGURE 43. Les principaux éléments du squelette de la Vache : deux visions.
D'après SEGARRA *et al.* (2014) et DAUTEL *et al.* (2017).



▲ FIGURE 42. Régionalisation du squelette de la Vache : vision simplifiée. Original

1/ Le **squelette axial au sens large** :

- **Squelette céphalique** ou **crâne au sens large** comprenant :
 - les os de la boîte crânienne protégeant l'encéphale (**neurocrâne** = parfois « crâne » au sens strict)
 - les os de la face, incluant mâchoires et dentition (**splanchnocrâne**, du gr. *splanchnos*, viscères = **viscérocrâne**)
 - les os de l'oreille moyenne.
- **Squelette axial au sens strict** : axe squelettique (= vertèbres, y compris la queue) et cage thoracique (côtes et sternum).

2/ Le **squelette appendiculaire au sens large** :

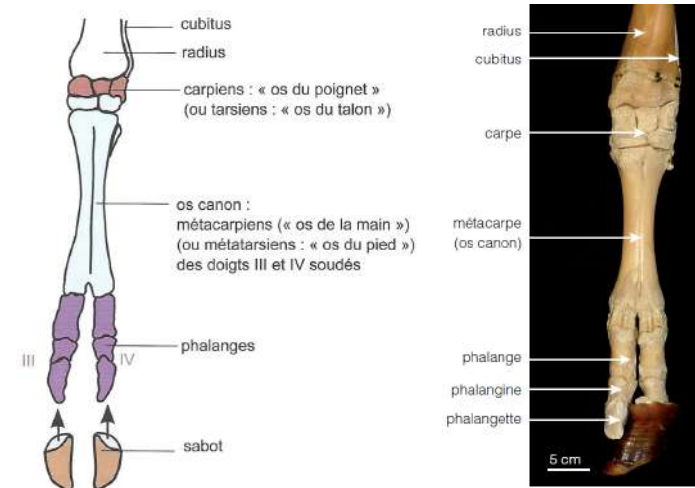
- **Squelette zonal** = les **ceintures**, ensembles osseux de branchement des membres sur le tronc : **ceinture scapulaire** (os des épaules), **ceinture pelvienne** (os du bassin).
- **Squelette appendiculaire au sens strict** : **squelette des membres** (antérieur et postérieur) que l'on peut chacun diviser en trois grands segments (**stylopode**, **zeugopode**, **autopode**).

d. La Vache, un animal tétrapode quadripède et onguligrade : anatomie fonctionnelle du membre

α. Le membre chiridien, membre sustentateur (adapté au milieu aérien) caractéristique des Tétrapodes (et donc de tous les Mammifères)

▼ TABLEAU XI. Les membres des Mammifères et particularités de ceux de la Vache. Inspiré de SEGARRA et al. (2014).

Tronçon	Membre antérieur	Membre postérieur
[Ceinture]	Ceinture scapulaire : Clavicule, omoplate (= scapula), (coracoïde réduit) <i>Vache : disparition de la clavicule (pas de soulèvement haut possible du membre ni de roulement d'épaule)</i>	Ceinture pelvienne : Os du bassin (os iliaques = coxaux, symphyse pubienne...) <i>Vache : forme particulière du bassin ne permettant pas la montée du fémur (pas de soulèvement haut possible du membre)</i>
Stylopode	Bras : Humérus	Cuisse : Fémur
Articulation	Coude	Genou
Zeugopode	Avant-bras : Radius, cubitus (= ulna) <i>Vache : cubitus très court (coude ne permettant pas la rotation de l'avant-bras sur le bras)</i>	Jambe : Tibia, péroné (= fibula) [+ rotule] <i>Vache : péroné très court (genou ne permettant pas la rotation de la jambe sur la cuisse)</i>
Autopode - basipode - métapode - acropode	Main : - Poignet : os carpiens - Paume : os métacarpiens <i>Vache : seuls sont présents les métacarpes III et IV, soudés en un os canon]</i> - Doigts : phalanges (3 os par doigt) <i>Vache : seuls sont présents / complets les doigts III et IV]</i>	Pied : - Cheville : os tarsiens - Plante : os métatarsiens <i>Vache : seuls sont présents les métatarses III et IV, soudés en un os canon]</i> - Doigts : phalanges (3 os par doigt, sauf 2 pour le pouce) <i>Vache : seuls sont présents / complets les doigts III et IV]</i>



Membre antérieur gauche de bovidé (vu de face). Les os des doigts II et V sont masqués à l'arrière-plan. (Entre parenthèses : les noms des os de membre postérieur).

▲ FIGURE 44. Extrémité du membre antérieur de la Vache. D'après PEYCRU et al. (2013) et SEGARRA et al. (2014)

- Un **membre de Tétrapode** (tableau XI, figures 43-44) s'appelle **membre chiridien** ; un tel membre :
 - S'insère sur une **ceinture** : **ceinture scapulaire** (épaule) ; **ceinture pelvienne** (bassin).
 - Comprend trois grands **segments** (plus ou moins mobiles les uns par rapport aux autres) :
 - un **stylopode** (ant. bras // post. cuisse), **segment proximal du membre**.
Ant. humérus Post. fémur

Entre **stylopode** et **zeugopode**, on trouve une articulation : le **coude** pour le **membre antérieur** et le **genou** pour le **membre postérieur**.

- un **zeugopode** (ant. avant-bras // post. jambe), **segment intermédiaire du membre**.
Ant. radius + cubitus (= ulna) Post. tibia + péroné (= fibula)
- un **autopode**, **segment distal du membre qui comprend trois parties** :
 - un **basipode** (*proximal*)
Ant. carpe (os carpiens) → **poignet**
Post. tarse (os tarsiens) → **cheville**
 - un **métapode** (*intermédiaire*)
Ant. métacarpe (os métacarpiens) → **paume**
Post. métatarse (os métatarsiens) → **plante**
 - un **acropode** (*distal* : **trois os** constituant les **doigts**)
Ant. phalanges → **doigts**
Post. phalanges → **orteils**

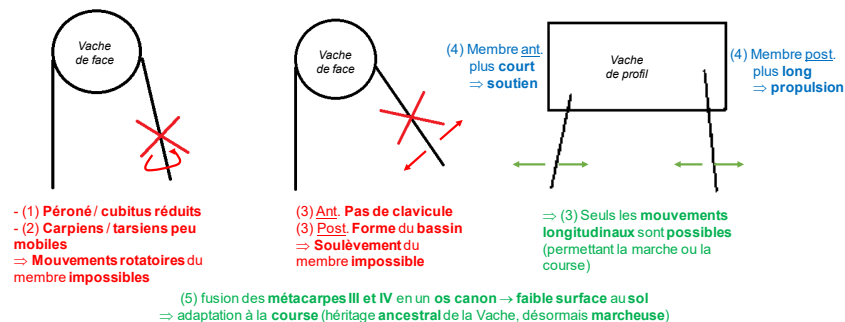
Les trois types de déplacements chez les Mammifères

- Les **plantigrades** (**plantigradie**) : *marchent sur la plante ou la paume des membres.*
- Les **digitigrades** (**digitigradie**) : *marchent sur les doigts et orteils.*
- Les **onguligrades** (**onguligradie**) : *marchent sur des sabots (ongles surdéveloppés).*

- Dans un milieu aérien peu porteur, le **membre** chiridien des Tétrapodes est **sustentateur**, c'est-à-dire qu'il **permet la surélévation de l'organisme par rapport à la surface du sol.**

β. Le membre chiridien chez la Vache, Mammifère onguligrade (type marcheur, ancestralement coureur)

- La **Vache** est un **animal** (figures 43-44 + tableau XI) :
 - Pourvu de quatre membres chiridiens** ; on dit qu'elle est un **Tétrapode** (superclasse en systématique) ;
 - Qui marche sur ses quatre pattes** ; on dit qu'elle est **quadrupède** ou **quadripède**.
 - Qui marche sur ses sabots** (ongles hypertrophiés) : on dit qu'elle est **onguligrade**.
- Au niveau des **os des membres**, on notera (figure 45) :
 - (1) Un **péroné réduit** à un **stylet** et un **cubitus aminci** → **pas de rotation** des membres sur le **stylopode** au niveau du **coude** ou **genou** ⇒ ces **os** n'ont ici qu'une **fonction (renforcée) de soutien**.
 - (2) Des **carpiens** (poignet) et des **tarsiens** (cheville) **peu mobiles** → **pas de rotation** de l'autopode sur le **zeugopode** au niveau du **poignet** ou de la **cheville** ⇒ ces **os** n'ont ici qu'une **fonction (renforcée) de soutien**.
 - (3) Une **absence de clavicule** n'autorisant pas la remontée de l'humérus et une **forme particulière du bassin** n'autorisant pas la remontée du fémur → **pas de mouvements latéraux** des membres, seulement des **mouvements longitudinaux** assurant la **locomotion**.
 - (4) Un **membre postérieur plus grand** que l'antérieur (accroché **plus haut** sur la **ceinture**), et associé à une **plus forte musculature** → **rôle propulseur** important du **membre postérieur** vs. **rôle de soutien** important du **membre antérieur**.
 - (5) Une **fusion des métacarpes / métatarses III et IV** en un **os canon** et la **conservation** des seuls **doigts III et IV**, entourés chacun d'un **sabot** → **faible surface** au sol ⇒ **adaptation à la course** (héritage ancestral de la Vache), aujourd'hui **plus trop d'actualité** à cause de la **lourdeur de l'organisme** qui la rend **marcheuse et sédentaire**...



▲ FIGURE 45. **Locomotion de la Vache : les bases de la mobilité des membres en schémas ultra-simples.** Original.

y. Un squelette marcheur... et « coureur » ?

- Un certain nombre de « d'adaptations » de la Vache, liées à l'**onguligradie**, tendent à en faire un **animal adapté à la marche** et à la **course** : cet animal présente une **surface d'appui au sol réduite**, des **membres fins mais néanmoins solides**.
- On pensera notamment à :
 - Un **autopode** reposant sur une **faible surface au sol**, à savoir le **sabot**, **ongle hypertrophié, recouvrant la dernière phalange des doigts III et IV**.
 - Un **os canon**, **composé des métatarses III et IV soudé** (les autres doigts ayant régressé lors de l'évolution), **solide et allongé**, garantissant une **résistance aux chocs** et un bon **port du poids de l'animal**.
- L'adaptation à la **course** semble toutefois être **héritée de l'ancêtre sauvage** de la Vache, vivant dans un **environnement plus hostile** que la **Vache domestique**, y compris avec **quelques prédateurs**.
- L'espèce actuelle, **sédentaire** et au **corps lourd**, ne peut courir que sur de **petites distances**.

2. Les muscles squelettiques, ensemble d'organes notamment locomoteurs associés aux os

Voir le **développement** en BCPST2 qui aborde le **muscle squelettique**

a. Pour rappel : l'existence de trois types de muscles (squelettiques, cardiaque, lisses)

- On distingue classiquement trois **types de muscles** :
 - Les **muscles squelettiques**, **organes contractiles attachés aux os** dont le **raccourcissement (contraction)** permet l'**exécution d'un mouvement**.

L'ensemble des **muscles squelettiques** de l'organisme constituent le **système musculaire**.

- Le **muscle cardiaque**, **organe contractile creux** permettant la **mise en mouvement du sang dans l'organisme animal**.
- Le **muscles lisses**, **tissus musculaires situés dans les organes cylindriques à lumière** dont ils **modulent le diamètre** et **participent éventuellement à l'avancée des éléments en leur sein**.

Les **muscles horripilateurs des poils** sont aussi des **muscles lisses**.

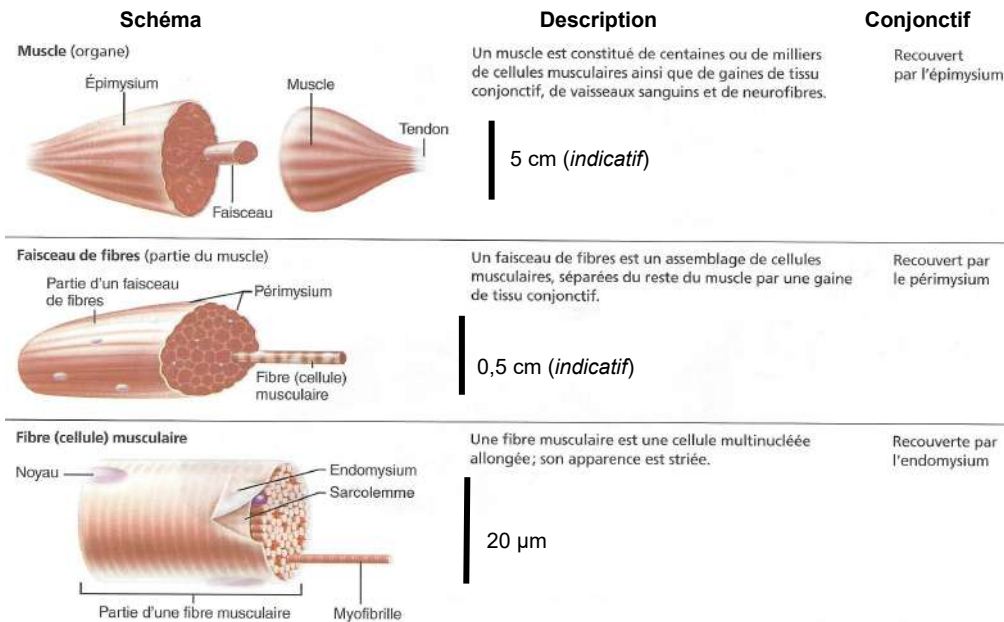
Chaque **type de muscle** est en fait **constitué d'un type de tissu musculaire** (revoir le **complément 3**) qui le **caractérise**.

b. Des organes contractiles ancrés sur le squelette par des tendons

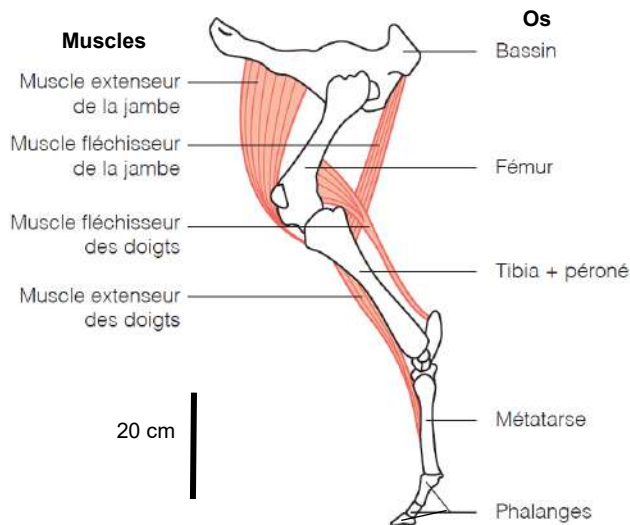
- Un **muscle squelettique** (figure 46) est un **organe contractile attaché aux os** et dont le **raccourcissement (contraction)** permet l'**exécution d'un mouvement**.

Un **mouvement** est le **déplacement d'une partie du corps par rapport à une autre**.

- Un **muscle** est relié au **squelette** en au moins à deux extrémités par des **tendons** qui sont des **structures résistantes de tissu conjonctif dense s'arrimant sur un os**. Leur importante **richesse en collagène** leur permet de **résister aux forces de tension** particulièrement **fortes** qui peuvent s'y exercer.
- La plupart du temps, un **muscle donné** co-existe avec un **muscle assurant le mouvement opposé** ; des **muscles assurant ainsi des mouvements opposés** s'appellent **muscles antagonistes** : par exemple, l'**extenseur** de la jambe a pour antagoniste le **fléchisseur** de la jambe (figure 47).



▲ FIGURE 46. Le muscle, un ensemble de fibres musculaires. D'après MARIEB & HOEHN (2015).

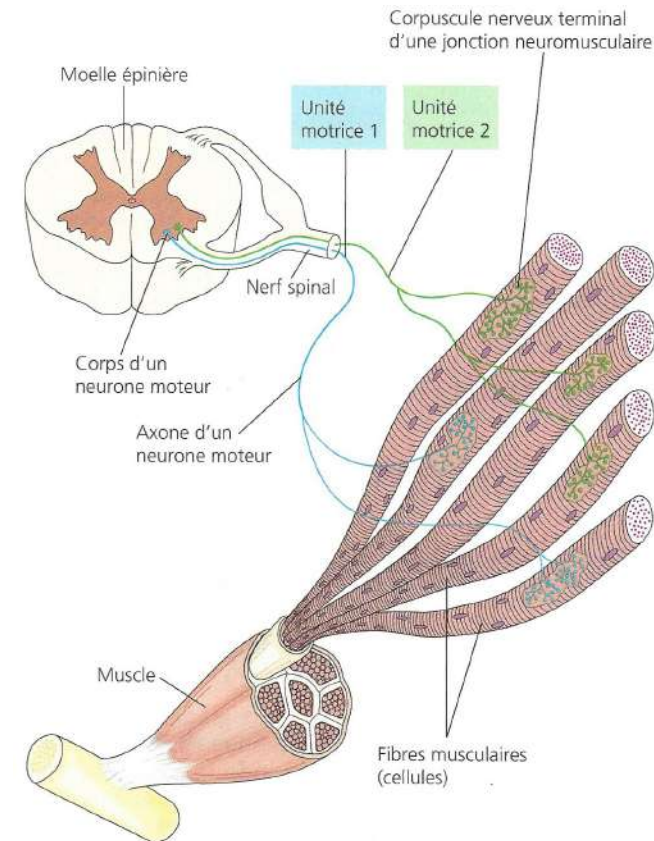


▲ FIGURE 47. Principaux muscles et os du membre postérieur de la Vache. D'après SEGARRA et al. (2014)

c. Des organes dont la contraction est contrôlée par le système nerveux

Voir BCPST2 (Communications intercellulaires)

- Un **motoneurone** innerve généralement **plusieurs fibres musculaires striées squelettiques**.
- On appelle **unité motrice** **un motoneurone et l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve** (figure 48).



Unités motrices dans un muscle de Vertébré. Chaque fibre musculaire (cellule) possède une seule jonction neuromusculaire avec le neurone moteur qui la commande. Mais, habituellement, chaque neurone moteur se ramifie et peut innervé un grand nombre de fibres musculaires. Un neurone moteur et toutes les fibres musculaires qu'il commande constituent une unité motrice.

▲ FIGURE 48. Illustration de la notion d'unité motrice. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

- Chaque **fibre musculaire** est **innervée** par un axone se ramifiant en de **multiples boutons synaptiques formant de multiples synapses neuro-musculaires regroupés localement** en **plaques motrices** ou **jonctions neuromusculaires** (figure 48).

d. Des organes dont l'association anatomo-fonctionnelle avec le squelette permet la motilité de l'organisme et d'autres fonctions variées

α. Mouvements et locomotion

- Par leur **raccourcissement (contraction)** ou au contraire **leur extension (relâchement)**, les muscles permettent le **rapprochement ou l'éloignement des tronçons squelettiques auxquels ils sont associés**, ce qu'on appelle le **mouvement**.
- On appelle **locomotion** la **mise en mouvement active d'un organisme permettant son déplacement** ; c'est évidemment les **mouvements musculaires** en lien avec le **squelette** qui la permettent (revoir [page 37](#)).

β. Maintien de la posture en milieu aérien [peu porteur]

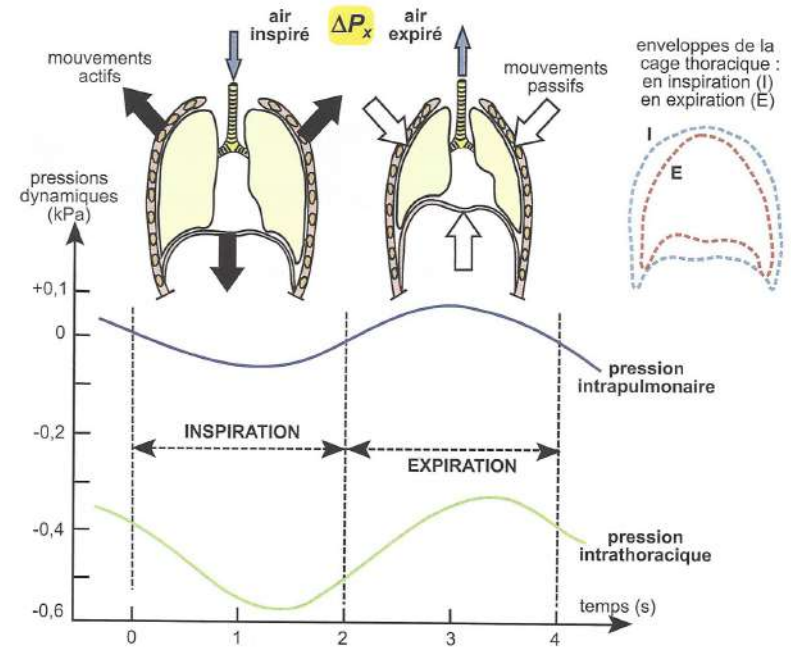
- Rarement définie, la **posture** est, selon moi, la **disposition transitoire (à un moment donné), statique ou dynamique, des parties d'un organisme inscrit dans son environnement**. Elle peut être de **différents types** (dans le cas de la Vache : debout, couchée...). On notera que :
 - La **mise en place** ou au contraire la **modification** de la posture nécessitent un **déplacement** et un **positionnement relativement « volontaire »** de l'animal, donc des **mouvements**, qui sont permis par le **système musculosquelettique**. C'est un processus **dynamique**.
 - Le **maintien de la posture**, c'est-à-dire **sa permanence relativement statique pendant un temps donné**, ne suppose **pas de mouvements** mais implique le **squelette** et un **tonus musculaire** de la part des **muscles** qui y sont attachés. Le **tonus musculaire** est un **état de contraction minimale des muscles au « repos » (à l'état statique)** qui assure notamment le **maintien en place des tronçons de l'organisme**.

Dans le cas de la Vache, il s'agit notamment de **maintenir le corps dressé en milieu aérien**, milieu **peu porteur** et fortement **soumis à la gravité**.

Le **tonus musculaire** est un **paramètre réglé**, c'est-à-dire un **paramètre faisant l'objet d'une régulation**.

γ. Ventilation (diaphragme, muscles intercostaux)

- À peine évoquée plus haut, bien que **majeure** pour la **respiration**, la **ventilation** est la **mise en mouvement du fluide externe par l'organisme (figure 49)**. Elle sera traitée dans le **chapitre 7 consacrée à la respiration**. Notons d'ores et déjà que :
 - Elle implique le **diaphragme** et les **muscles intercostaux**.
 - L'**inspiration (entrée dynamique du fluide dans le système respiratoire)** est plutôt **active** (due à la **contraction des muscles** impliquée), se caractérisant par une **dilatation de la cage thoracique** à l'origine d'une **dépression** par rapport au fluide environnant l'organisme, ce qui engendre son **entrée dans le système respiratoire**.
 - L'**expiration (sortie dynamique du fluide du système respiratoire)** est plutôt **passive** (due au **relâchement des muscles** impliquée), se caractérisant par une **constriction de la cage thoracique** à l'origine d'une **surpression** par rapport au fluide environnant l'organisme, ce qui engendre son **expulsion dans l'environnement**.



Ventilation pulmonaire chez les mammifères (ex. de l'homme),
(D'après J. P. Truchot, 1995).

▲ FIGURE 49. **Cycle ventilatoire des Mammifères (vue ventrale)**. D'après PEYCRU et al. (2014).

δ. Vision (muscles oculaires + muscles ciliaires qui sont lisses)

Voir plus loin

- La **vision (perception des signaux lumineux sous forme d'images)** est permise par la participation de certains muscles :
 - Les **muscles oculaires**, dont la **contraction ou le relâchement assurent le repositionnement des globes oculaires dans leurs orbites, modifiant ainsi l'orientation du regard**.
 - Les **muscles ciliaires**, lisses, dont la **contraction ou le relâchement modifie la forme du cristallin et assurent ainsi l'accommodation (mise au net des images en fonction de l'éloignement de l'objet observé)**.

ε. Mastication et mouvements faciaux (muscles masticateurs et faciaux)

- Les **mouvements masticateurs** et de la **face** sont également assurés par des **muscles squelettiques**.

B. Un organisme qui perçoit son environnement et ses propres paramètres physiologiques : les systèmes sensoriels

- On appelle ici **système sensoriel** tout ensemble de **structures biologiques assurant la détection d'un paramètre environnemental ou interne de l'organisme**.

1. Notions d'organe sensoriel et de récepteur sensoriel

- On appelle :
 - **Récepteur sensoriel** un **neurone modifié capable de convertir un stimulus interne ou externe en information interne à l'organisme, souvent un message nerveux**.
 - **Organe sensoriel** un **organe où sont regroupés des récepteurs sensoriels qui détectent un même type ou un ensemble de stimuli**.

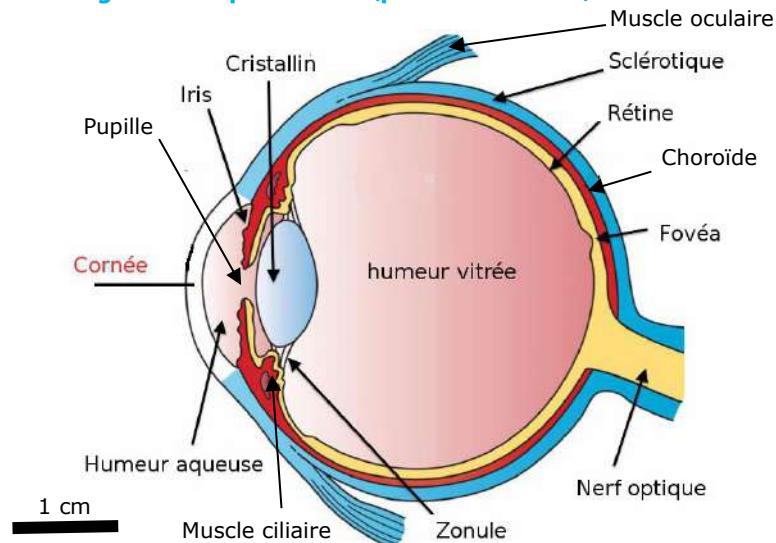
2. Principe de fonctionnement d'un organe sensoriel : l'exemple de l'œil

- L'**œil** (figure 50) est un **organe sensoriel permettant la captation de signaux lumineux** (qui seront ensuite à l'origine de la reconstitution d'une image dans le cerveau).

a. Des organes situés dans les orbites, protégés par le liquide lacrymal et dont la haute mobilité est permise par des muscles oculaires

- Les **yeux** sont situés dans les **orbites, fosses du splanchnocrâne accueillant les yeux**. Ils sont protégés par les **paupières, expansions tégumentaires garnies de cil assurant la protection des yeux et la répartition d'un liquide protecteur (le liquide lacrymal) produit les glandes lacrymales qui protègent la cornée de la déshydratation, des poussières et des agressions biologiques ou mécaniques**.
- Chaque **œil** est associé à des **muscles oculaires responsables de leur haute mobilité**.

b. Une organisation particulière (paroi et humeurs)



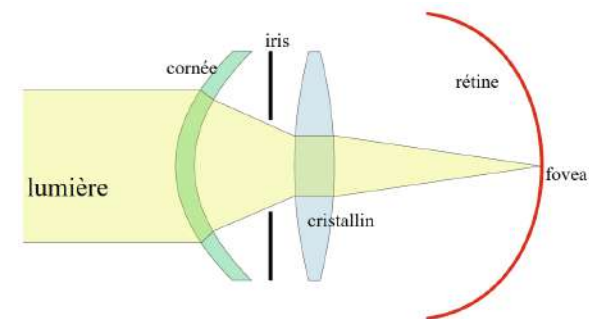
▲ FIGURE 50. **Œil de Mammifère (coupe transversale) : organisation simplifiée.**
<https://tbearbourges.wordpress.com/2017/03/01/la-prunelle-de-mes-yeux-suite/>
(consultation juin 2020), modifié

- De manière simplifiée, la **paroi du globe oculaire** est composée de **trois niveaux** qui sont (de l'extérieur vers l'intérieur) (figure 50) :
 - En **arrière** (et en partie **en avant**) : la **sclérotique, couche épaisse et rigide à rôle mécanique, de nature tendineuse** ; elle forme le « blanc » de l'œil et entoure jusqu'au **nerf optique**.
 - En **avant** : la **cornée, couche transparente revêtant l'œil**. Elle fait **converger la lumière** vers le **cristallin**.
 - En **arrière** : la **choroïde, couche conjonctive largement vascularisée qui irrigue l'iris et les photorécepteurs de la cornée**.
 - En **avant** : l'**iris, membrane circulaire et contractile (grâce à des muscles pupillaires – de type lisse) pigmentée, percée en son centre d'un orifice nommé la pupille** dont la **modulation du diamètre permet un contrôle de la quantité de lumière entrante en lien avec la luminosité ambiante**.

Chez la Vache, l'iris et la pupille sont souvent tous deux assez sombres et difficiles à distinguer de prime abord.

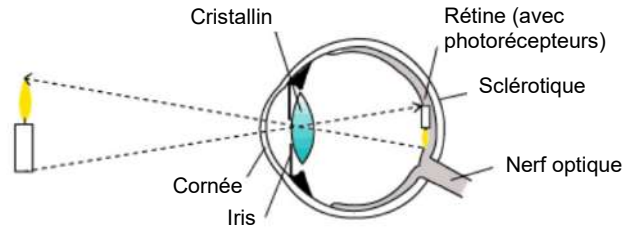
- En **arrière**, tapissant le **fond de l'œil** : la **rétine, couche où se concentrent les divers photorécepteurs**, c'est-à-dire les **récepteurs sensoriels sensibles aux rayons lumineux**.
- Le **globe oculaire** renferme **trois milieux transparents** qui sont (de l'avant vers l'arrière) (figure 50) :
 - L'**humeur aqueuse, liquide située entre la cornée et le cristallin**.
 - Le **cristallin, lentille biconcave largement constitué de cellules anucléées, très allongées (jusqu'à 1 cm !) et disposées en couches concentriques**, limité par une **fine membrane conjonctive transparente**.
 - L'**humeur vitrée, liquide visqueux à constitution gélatineuse (de composition complexe) qui remplit la cavité principale de l'œil**.

c. Un œil simple (= caméralaire) où se forme une image inversée sur la rétine après une double convergence (cornée + cristallin)



▲ FIGURE 51. **Modèle optique de l'œil.**
Wikipédia (consultation juin 2020)

- L'**œil** fonctionne par une **double convergence** due à **deux lentilles convergentes** : la **cornée** et le **cristallin** (figure 51).
- Notons que la **biconvexité** aboutit à une **croisée centrale des rayons lumineux**, et donc à une **image inversée** qui se forme sur la **rétine** (laquelle sera « remise à l'endroit » par le cerveau) (figure 52).



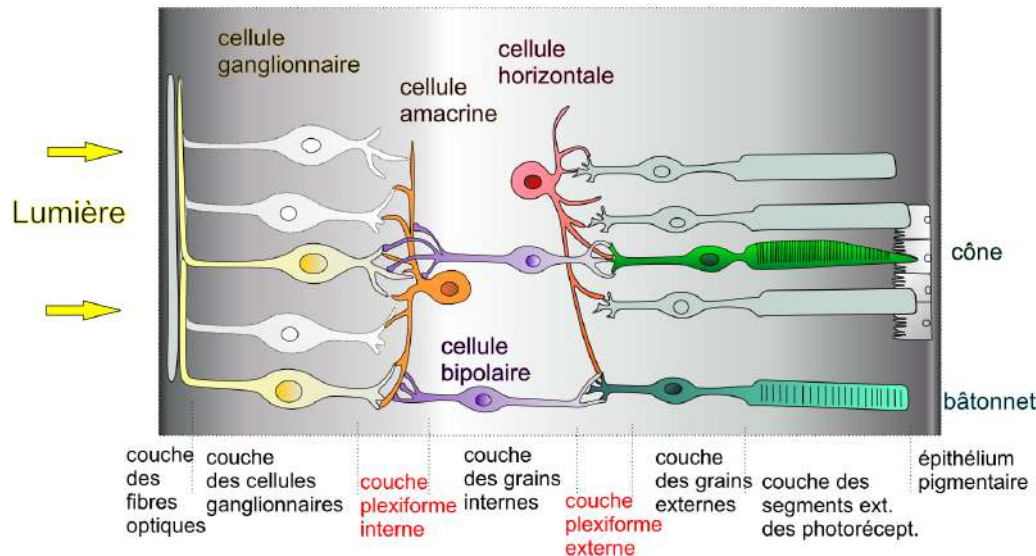
▲ FIGURE 52. Modèle optique de l'œil.

<https://www.maxicours.com/se/cours/modele-reduit-de-l-oeil/> (consultation juin 2020)

Comme l'œil de la Vache est un **œil où ne se forme qu'une seule image au sein d'une unique chambre oculaire**, on dit que c'est un **œil simple** ou **œil camérulaire**.

Cela s'oppose aux yeux composés (= yeux à ommatidies) des Arthropodes (voir chapitre suivant)

d. Une rétine dont les cellules photoréceptrices (cônes et bâtonnets) convertissent les signaux lumineux en signaux électriques



▲ FIGURE 53. Coupes transversale schématique de rétine montrant son organisation.

Wikipédia (consultation juin 2020)

- La **rétine** se compose (repris de Wikipédia) (figure 53) de :
 - la **couche monostratifiée des cellules photoréceptrices** glutaminergiques (les **cônes** au sein de la fovéa, ou les **bâtonnets** plus en périphérie), apposée sur l'**épithélium pigmentaire** sous la choroïde,
 - la **couche plexiforme externe** formée des **cellules horizontales** de type H1 et H2,

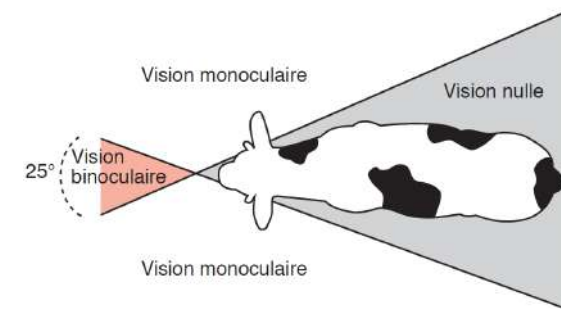
- la **couche nucléaire interne** (ou couche des grains internes) formée des **cellules bipolaires** GABAergiques et glycinergiques, de plusieurs types :
 - les **cellules bipolaires périphériques**, spécifiques des **bâtonnets**.
 - les **cellules bipolaires centrales**, spécifiques des **cônes**, lesquelles comptent au moins les sous-classes suivantes : géantes, diffuses, *midget* et S-cône,
- la **couche plexiforme interne** formée des **cellules amacrines**,
- la **couche des cellules ganglionnaires** (plus d'une vingtaine de types) dont les **axones** (~1,25 million) se connectent de façon excentrée au niveau de la **papille optique** (comprenant moins de couches et dépourvue de cellules photosensibles) pour donner le **nerf optique**.

- Les **mécanismes de photoréception**, particulièrement la **transduction des signaux** lumineux au sein des **cônes** (**photorécepteurs percevant les couleurs**) et **bâtonnets** (**photorécepteurs percevant les nuances d'intensité lumineuse**), paraît **hors de propos dans un tel cours**. Notons que le **signal lumineux est converti**, moyennant **diverses couches neuroniques**, en **PA** qui *in fine* circulent vers le **cortex visuel** du **cerveau** via le **nerf optique**.

Dans le détail, les **proportions cônes / bâtonnets** et leur **fonctionnement légèrement différent** entre les Bovins et l'Homme, il semblerait que les **Vaches ne voient pas exactement comme nous**... d'autant qu'elles n'ont que deux types de bâtonnets contre trois chez nous ! Il semblerait qu'elles soient surtout **sensibles au jaune / orange / rouge** (d'où les couleurs choisies par les toréadors).

e. Un champ visuel large mais une vision binoculaire (en relief) étroite

- La **vision binoculaire** est permise par la **superposition des images** provenant des **deux yeux** ; elle assure la perception des **distances** et du **relief**.
- Dans le cas de la **Vache**, dont les yeux occupent une **position latérale**, le **champ de vision** est **très large** (près de **330°**), mais le **zone de vision binoculaire** est restreinte à un **cône de 25°** vers l'avant (figure 54). En revanche, la **vision monoculaire latérale** lui permet de voir presque tout ce qui se passe **autour d'elle sans bouger la tête**.



▲ FIGURE 54. Coupes transversale schématique de rétine montrant son organisation.

Wikipédia (consultation juin 2020)

3. La diversité des structures et fonctions sensorielles

- Les **structures** et **récepteurs fonctionnels** sont extrêmement **variés** (tableaux XVII-XVIII).

▼ **TABLEAU XII. Diversité des récepteurs sensoriels chez les Mammifères [pour information].**
D'après RICHARD & ORSAL (2013).

modalité sensorielle	forme d'énergie	organe sensoriel	cellule réceptrice
chimique			
sensibilité chimique générale	molécules	divers	terminaisons nerveuses libres
oxygène artériel	pression partielle en oxygène	glomus carotidiens et aortiques	cellules et terminaisons nerveuses
pression osmotique	pression osmotique	hypothalamus	osmorécepteurs
glucose	glucose	hypothalamus	glucorécepteurs
pH (liquide céphalorachidien)	ions	bulbe	cellules gliales
goût	ions et molécules	langue	cellules des bourgeons du goût
odorat	molécules	muqueuse nasale	récepteurs olfactifs
somesthésie			
toucher	mécanique	peau	terminaisons nerveuses
pression	mécanique	peau et tissus profonds	terminaisons nerveuses encapsulées
température	température	peau hypothalamus	terminaisons nerveuses
douleur	divers	peau organes divers	terminaisons nerveuses
sensibilité musculaire			
pression vasculaire	mécanique	vaisseaux sanguins	terminaisons nerveuses
étirement	mécanique	fuseaux neuromusculaires	terminaisons nerveuses
variation de la tension	mécanique	organes tendineux	terminaisons nerveuses
position des articulations	mécanique	capsule conjonctive ligaments	terminaisons nerveuses
équilibre			
accélération linéaire (gravité)	mécanique	organe vestibulaire	cellules ciliées
accélération angulaire	mécanique	organe vestibulaire	cellules ciliées
audition	mécanique	cochlée	cellules ciliées
vision	électromagnétique (photons)	œil (rétine)	photorécepteurs

▼ **TABLEAU XIII. Diversité des fonctions sensorielles chez les Mammifères : vue simplifiée.**
D'après DAUTEL *et al.* (2017).

Sens	Organe	Localisation	Stimulus perçu
Vision	Yeux	En position latérale, sur les côtés de la tête	Lumière
Audition	Oreille	Côtés de la tête	Son, vibrations de l'air
Olfaction	Nez	Avant de la tête	Molécules odorantes, phéromones
Toucher	Récepteurs sensoriels cutanés	Diffus dans tout le tégument	Variations de pression ou de température
Intéroception	Récepteurs sensoriels	Diffus dans tous les organes	Variations de paramètres physicochimiques du milieu intérieur

- En se basant notamment sur le **tableau XIII**, on peut essayer de **sérier les principales fonctions sensorielles**.

a. L'intéroception : une perception des paramètres internes de l'organisme

- On peut appeler **intéroception** la **perception (souvent inconsciente) des paramètres physiologiques internes de l'organisme**. Le tableau XII donne une idée de la **diversité des stimuli** perceptibles.

b. La perception des stimuli d'origine externe : vision, audition, olfaction, goût, somesthésie (mécanoréception, thermoréception, nociception)

- On peut citer les **fonctions sensorielles suivantes** relatives à des éléments d'**origine externe** :
 - Vision** : **perception de signaux lumineux** [yeux] (**photoréception**).
 - Audition** : **perception de signaux sonores** [oreilles] (**mécanoréception**).

On notera que les **cellules ciliées** contenues dans la **cochlée** permettent de capter le **positionnement de l'animal vis-à-vis du champ de pesanteur**, assurant l'**équilibre** de l'organisme.

- Olfaction** : **perception des odeurs** [muqueuse nasale] (**chimioréception**).
- [Goût =] gustation** : **perception des saveurs** [muqueuse linguale] (**chimioréception**).

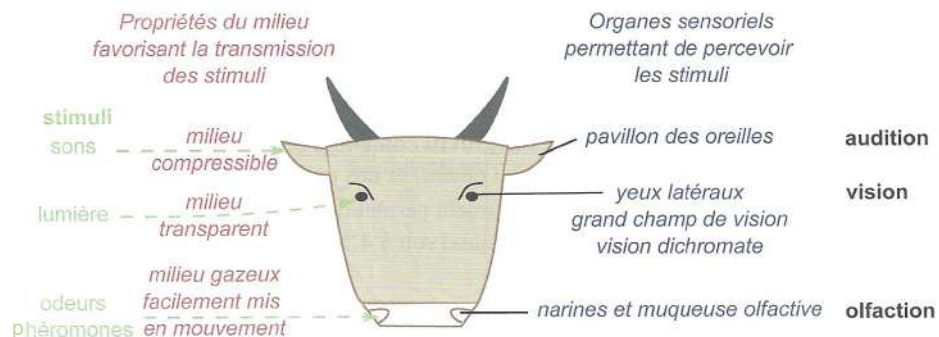
Le **goût perçu** est lié à une **combinaison de sensations olfactives et gustatives** au sens strict.

- Toucher (sens large) = somesthésie** : **perception de la pression, la chaleur, la douleur** [organes variés] (**mécanorécepteurs**, **thermorécepteurs**, **nocicepteurs**).

Ceux qui participent aux **sensations conscientes** sont très **abondants dans le tégument**.

4. Des organes sensoriels largement concentrés au niveau de la tête et adaptés à des stimuli perceptibles en milieu aérien

- On remarquera que la **tête**, chez la **plupart des Métazoaires** dont la **Vache**, concentre l'**essentiel des organes sensoriels** à proprement parler (**figure 54 bis**).
- On notera que les **stimuli perçus par la Vache** sont des **stimuli perceptibles en milieu aérien**, en lien avec les **propriétés physiques** de ce milieu de vie (**figure 54 bis**).



▲ FIGURE 54bis. **Organes sensoriels portés par la tête et stimuli perçus (milieu aérien).**
D'après DAUTEL et al. (2021).

C. Un organisme dont les cellules communiquent à distance et coordonnent leur activité : les systèmes nerveux et endocrinien

Voir BCPST2 (Communications intercellulaires)

- La **pluricellularité** et la **haute spécialisation** des **organes** et tissus de la **Vache** nécessitent des **communications entres cellules** et une **coordination de l'activité** physiologique, également rendues nécessaires par l'**activité sensorielle** dont **nous venons de parler**.
- On appelle **communications intercellulaires** l'**ensemble des mécanismes qui assurent la transmission d'information entre cellules**.

1. Le principe d'une communication intercellulaire : émission, transmission et réception d'un signal avec réponse biologique

- Toute **communication intercellulaire** repose globalement sur la **séquence suivante** :
 - [[**Perception** d'un **stimulus interne ou externe** ;
 - Conversion*** de ce **stimulus en signal** (ex. hormone ou PA)]];
 - Émission du signal** (ex. hormone ou PA) et **propagation du signal** ;
 - Réception du signal** par une **cellule capable d'y répondre (cellule-cible)** ;
 - Conversion*** du signal en **modification d'activité biologique de la cellule réceptrice** (= **réponse cellulaire**).

* La **conversion d'un signal environnemental ou biologique en une modification de l'activité de la cellule (réponse biologique)** peut être nommée la **transduction du signal**.

2. Panorama des modalités de communications intercellulaires : rappels

- La **figure 55** illustre et résume les **principaux types de communication intercellulaires** existant chez les **Animaux** ; ces aspects seront développés dans les parties du programme correspondantes.

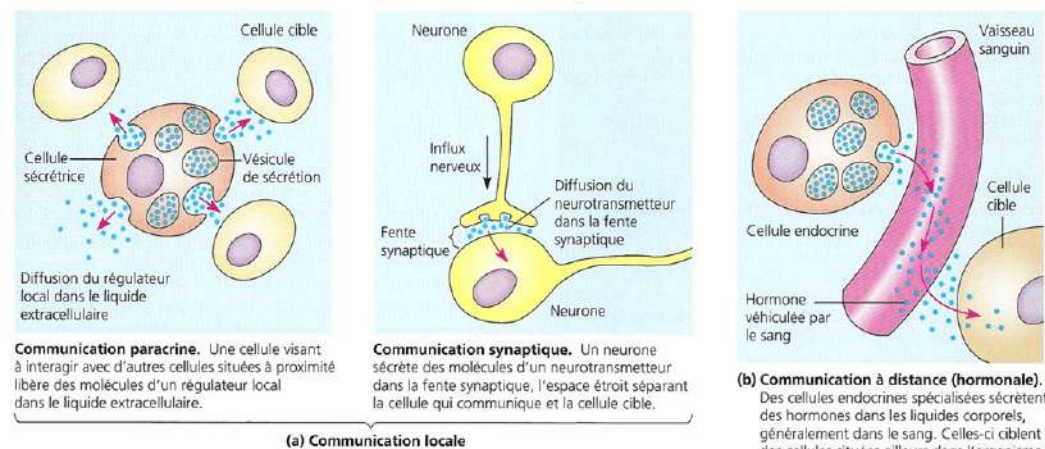
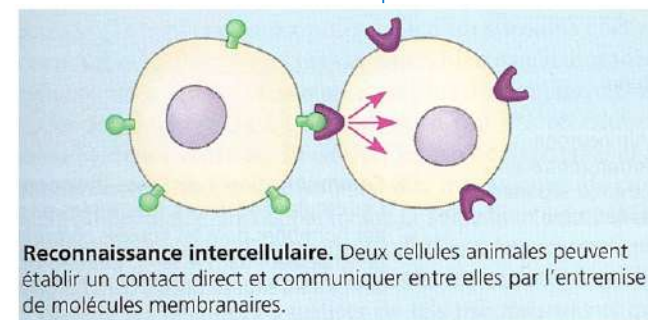
a. La juxtacrinie, communication entre cellules adjacentes

- On appelle **juxtacrinie** la **communication entre cellules adjacentes qui s'effectue par des protéines membranaires de reconnaissance (phénomène important dans le développement, les processus immunitaires...)** ou peut s'effectuer par **diffusion des molécules signaux par des jonctions gap**.

b. La paracrinie, communication à courte distance par un facteur diffusif

- On appelle **paracrinie** la **communication par émission d'un facteur diffusif avec une faible portée d'action, affectant les cellules environnantes (phénomène important dans le développement, les processus immunitaires...)**.
- Le **codage** s'effectue **en concentration** et les cellules seront d'autant plus touchées par le **facteur diffusif** qu'elles sont **proches de la cellule émettrice**.

Certains auteurs considèrent que la **neurotransmission** est une **forme de paracrinie**.



▲ FIGURE 55. **Communications intercellulaires animales.**
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

c. L'endocrinie (communication hormonale), communication par une hormone transportée par le sang

- Il s'agit de la **communication par sécrétion endocrine d'un facteur transporté par le sang agissant à distance (hormone)**.

d. La communication nerveuse

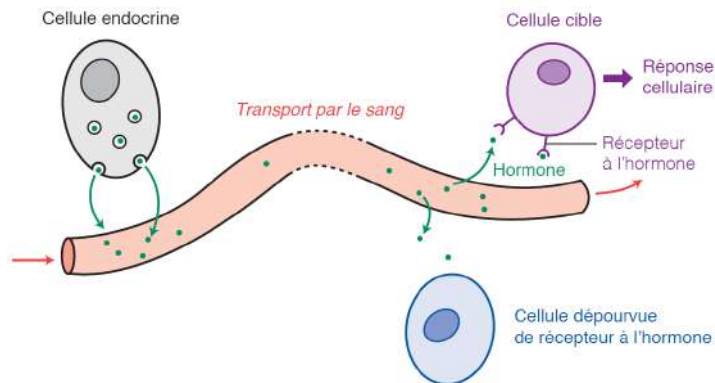
- Il s'agit d'une **communication qui utilise comme support les neurones**. Un **message nerveux** (sous forme d'une **dépolarisation transitoire de la membrane**) se déplace **le long de la membrane plasmique** du neurone sur des distances plus ou moins importantes, parfois très longues. L'information est transmise à une autre cellule par **neurotransmission** : **le neurone libère un neurotransmetteur qui déclenche une réponse de la part de la cellule dite postsynaptique**.

3. Deux grands systèmes d'intégration, de communication et de coordination dans l'organisme

- On peut parler d'**intégration**, en physiologie, pour désigner **l'ensemble des phénomènes de récupération et traitement de données (environnementales ou internes) aboutissant à la production de commandes dans l'organisme**.
- À ce titre, deux **systèmes** sont **particulièrement importants** dans ce **phénomène d'intégration**, assurant la **communication** et la **coordination** au sein de l'**organisme animal** :
 - Le **système hormonal** (= **système endocrinien**).
 - Le **système nerveux**.

a. Le système hormonal (= endocrinien) : une communication par les hormones

α. Notion d'hormone et principe de la communication hormonale



▲ FIGURE 56. **Principe de la communication hormonale.**
D'après SEGARRA et al. (2004).

- On appelle **hormone** une **molécule sécrétée dans le sang (dans le milieu interstitiel au départ), qui se déplace dans le sang et agit généralement à**

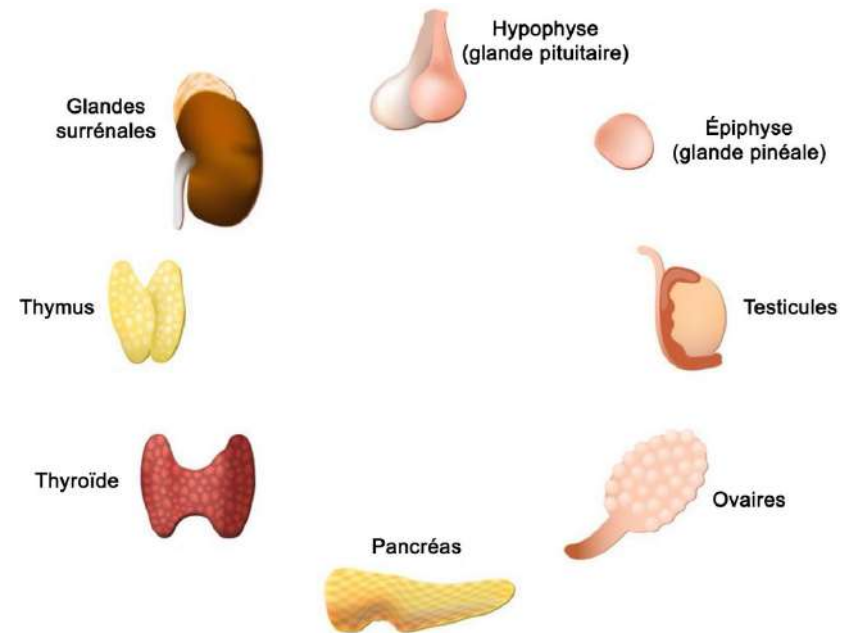
distance du lieu d'émission sur des cellules pourvues de récepteurs à l'hormone qu'on nomme cellules-cibles (figure 56).

- Comme la **sécrétion hormonale se fait dans le sang**, on parle de **sécrétion endocrine**. C'est la raison pour laquelle les **cellules productrices et sécrétrices d'hormones** sont appelées **cellules endocrines**, et le **système hormonal** est aussi appelé **système endocrinien**.

En réalité, toutes les substances sécrétées dans un liquide circulant – les **substances endocrines** – ne sont pas forcément des hormones !

β. Un système composé d'un ensemble de glandes endocrines dispersées dans l'organisme

- On appelle **glande** un **organe largement composé de tissu sécréteur**.
- On appelle **glande endocrine** un **organe dont la fonction ou l'une des principales fonctions est la production d'hormones**. Les **principales glandes endocrines** que l'on trouve chez les **Mammifères** sont proposées à la **figure 57**.



▲ FIGURE 57. **Les principales glandes endocrines mammaliennes (ici plutôt représentées chez l'Homme).**
D'après SEGARRA et al. (2004).

b. Le système nerveux : une communication par les neurones

α. Nature du système nerveux et principe de la communication nerveuse

- Le **système nerveux** est un **système de perception de stimuli (internes ou externes), de propagation et d'analyse d'informations, de commande et de régulation composé de tissu nerveux**.

- Il s'agit d'une **communication qui utilise comme support les neurones**. Un **message nerveux** (sous forme d'un **train de dépolarisation transitoires de la membrane**) se déplace **le long de la membrane plasmique** du neurone sur des distances plus ou moins importantes, parfois très longues. L'information est transmise à une autre cellule par **neurotransmission** : **le neurone libère un neurotransmetteur qui déclenche une réponse de la part de la cellule dite postsynaptique**.

β. Constitution histologique du système nerveux

- Le **système nerveux** présente un tissu spécifique, le **tissu nerveux**. Ce tissu nerveux comprend **deux types cellulaires**, tous deux le plus souvent caractérisés par des prolongements cytoplasmiques :
 - 1/ Les **neurones** ou **cellules nerveuses** : **cellules excitables (= activables par une stimulation) et pouvant conduire rapidement un message sous forme de dépolarisations membranaires transitoires qu'on nomme potentiels d'action (PA)**.
On inclut souvent dans les neurones les **récepteurs sensoriels**.
 - 2/ Les **cellules gliales** ou **gliocytes** : **cellules étroitement associées aux neurones assurant des fonctions variées de soutien, de protection et de nutrition**. Elles peuvent aussi participer à la conduction des messages nerveux lorsqu'elles constituent la **gaine de myéline**, un **revêtement cellulaire des axones qui augmente la vitesse de propagation des PA**.

Les **cellules gliales** seraient **5 à 10 fois plus nombreuses** que les **neurones** mais elles sont **facilement confondues** avec des **neurones** (dont elles diffèrent, entre autres, par une plus petite taille) car **difficilement distinguables** sur les préparations microscopiques classiques.

γ. Les grandes subdivisions fonctionnelles du système nerveux

Voir figure 58

i. Le système nerveux central (SNC) : les centres nerveux, lieux d'intégration des informations et de commande

- Le **système nerveux central (SNC)** (figure 58) comprend **l'encéphale et la moelle épinière** : il correspond aux **centres d'intégration des informations nerveuses et de commande**. C'est là qu'on trouve la **grande majorité des corps cellulaires** (sauf : neurones ganglionnaires, récepteurs sensoriels...).

ii. Le système nerveux périphériques (SNP) : les nerfs, lignes de communications entre les centres nerveux et l'organisme

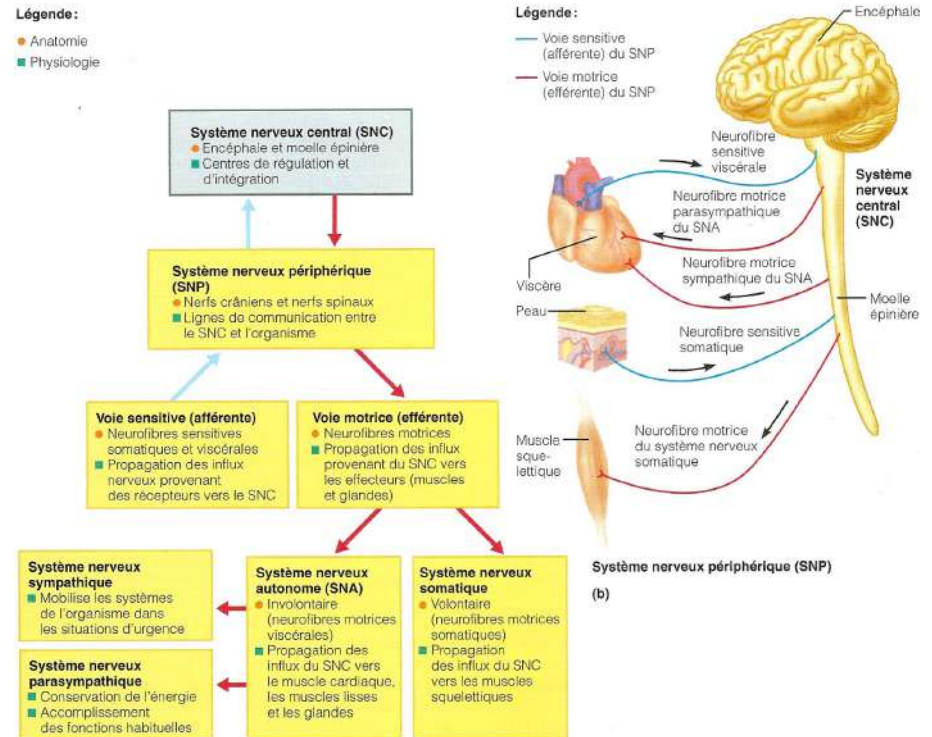
- Le **système nerveux périphérique (SNP)** (figure 58) comprend les **nerfs** (auxquels on ajoute souvent les **récepteurs sensoriels**) : il correspond aux **lignes de communication (afférentes et efférentes) entre le SNC et l'organisme**.

➤ La **voie afférente (ou voie sensitive)** : les **nerfs remontant aux centres nerveux** les informations sur les stimuli perçus par les systèmes sensoriels

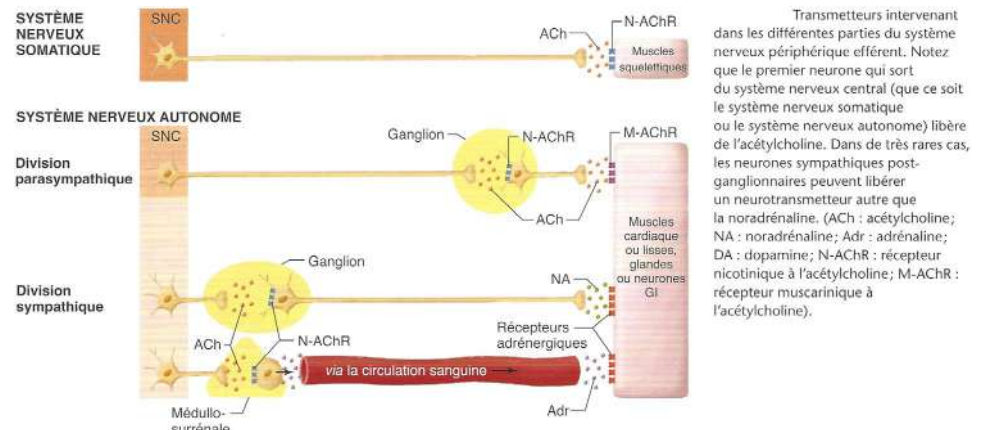
- La **voie afférente** ou **voie sensitive** (figure 58) comprend les **fibres nerveuses en provenance de l'organisme et qui font remonter les informations sensorielles au SNC**.

➤ La **voie efférente (ou voie « motrice »)** : les **nerfs amenant aux organes effecteurs** les commandes des centres nerveux

- La **voie efférente** ou **voie « motrice »** (figures 58-59) comprend les **fibres nerveuses en provenance du SNC et qui véhiculent les commandes du SNC vers les organes (muscles, glandes...)**.



▲ FIGURE 58. Principales subdivisions du système nerveux (ici plutôt représentées chez l'Homme). D'après MARIEB (2005).



▲ FIGURE 59. Subdivisions principales de la voie efférente du SNP. D'après VANDER et al. (2005).

° Le système nerveux somatique (SNS) : le contrôle des muscles squelettiques

- Le **système nerveux somatique (SNS)** (figures 58-59) **correspond aux fibres nerveuses contrôlant l'activité des muscles squelettiques**. On l'appelle parfois **système nerveux « volontaire »** même si l'activité musculaire n'est pas toujours volontaire (pensez aux muscles ventilatoires qui fonctionnent automatiquement, au réflexe myotatique...). En revanche, il est vrai qu'une décision consciente peut généralement en modifier l'activité.

° Le système nerveux végétatif (SNV) ou système nerveux autonome (SNA) : le contrôle des fonctions internes

- Le **système nerveux autonome (SNA)** ou **système nerveux végétatif (SNV)** (figures 58-59) **correspond aux fibres nerveuses contrôlant l'activité des glandes, des muscles lisses et du muscle cardiaque, c'est-à-dire les viscères**. Parfois nommé **système nerveux « involontaire »**, il est caractérisé par une **activité inconsciente**.

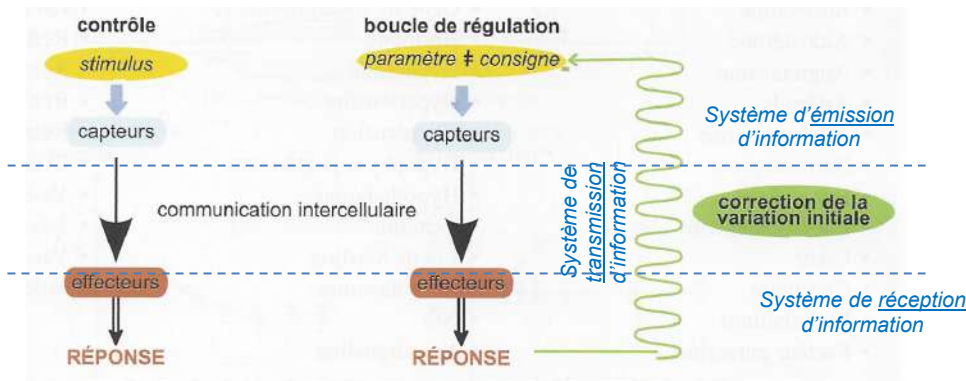
c. Un système de communication « publique » (système endocrinien) et un système de communication « privée » (système nerveux) ?

- On dit parfois que :
 - le **système nerveux** est un **système de communication « privé »** en ce sens où la **transmission de l'information nerveuse ne s'établit qu'avec des cellules immédiatement associées aux neurones porteurs d'information**,
 - contrairement à la **communication hormonale** considérée comme un **système de communication « public »** où le sang véhicule des **substances informatives (les hormones) dans tout l'organisme et donc potentiellement auprès de toutes les cellules** – même si, **en réalité, seules les cellules cibles** d'une hormone donnée peuvent **réagir à sa présence**.

4. L'existence, dans l'organisme, de contrôles et de régulations qui permettent l'homéostasie mais autorisent toutefois l'adaptation

- La **coordination de l'activité de l'organisme** est permise par l'action de **contrôle** notamment exercée par les **systèmes nerveux et endocrinien**.

a. Le contrôle : l'existence d'une modulation d'un paramètre



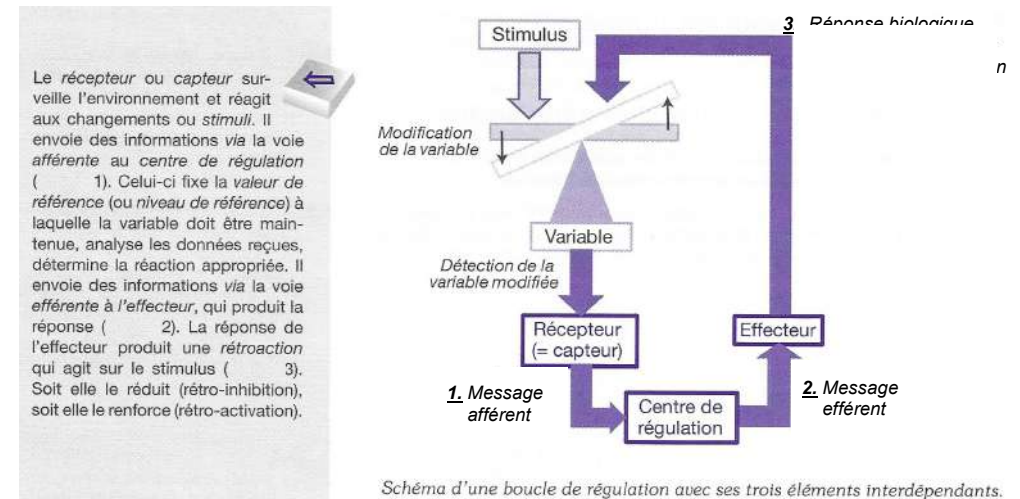
▲ FIGURE 60. Différence entre un simple contrôle et une boucle de régulation.
D'après PEYCRU et al. (2014).

- Rigoureusement, le **contrôle** (figure 60) d'un paramètre désigne **l'existence d'un système physiologique permettant de moduler le paramètre (c'est-à-dire de l'augmenter ou le diminuer)**.

b. La régulation : l'existence d'une correction de la variation d'un paramètre en réponse à la détection d'un écart au point de consigne (exemple de la glycémie) ; notion d'homéostasie

- Rigoureusement, la **régulation** (figures 60-61) d'un paramètre désigne **l'existence d'un système physiologique permettant de maintenir le paramètre à une valeur stable (valeur de consigne) par détection des écarts à cette valeur et mise en place de mécanismes de rétroaction**. C'est donc une situation particulière de **contrôle**.

Dans les faits, les mots « **contrôle** » et « **régulation** » sont souvent **employés l'un pour l'autre** et tous les auteurs ne retiennent pas cette **distinction**. C'est particulièrement vrai en **génétique** où ce qu'il est courant d'appeler « **régulation de l'expression génétique** » ce qui est en fait majoritairement du **contrôle**.



▲ FIGURE 61. Boucle de régulation. D'après DENCEUD et al. (2013), modifié

Vocabulaire de la régulation

- Paramètre réglé** = **variable réglée** = **paramètre physiologique modulé par un système de régulation**.
- Valeur de consigne** = **point de consigne** = **valeur stable d'un paramètre physiologique réglé dans des conditions physiologiques normales**.
- Système réglé** = **tissu, organe ou compartiment subissant une régulation**.
- Système réglant** = **homéostat** = **ensemble des dispositifs assurant la régulation d'un paramètre**.
- Boucle de régulation** = **système de régulation où la variation d'un paramètre aboutit in fine à la correction de la perturbation de ce paramètre et au retour à une valeur moyenne**. Il y a donc **rétroaction** (= **rétrocontrôle** = **feedback**), c'est-à-dire que le **paramètre est le point de départ d'un système physiologique qui influence sa propre variation**.

- Comme nous venons de le voir, la **régulation** a ceci de plus qu'un contrôle que **la réponse correspond à une correction du paramètre dont la variation a été initialement détectée** (figures 60-61). Il y a donc formation d'une boucle – dite **boucle de régulation** (parfois appelée « boucle réflexe ») – puisqu'il y a « retour » au paramètre initialement détecté qui est in fine corrigé.

- Dans tous les cas, on note :

- 1/ Une **perception du stimulus** (dans le cas d'une **régulation** : le paramètre réglé) et de ses variations par des **capteurs** qui **produisent des informations en réponse aux stimuli détectés**.

[D'un point de vue cybernétique : **ÉMETTEUR**]

- 2/ La **transmission d'informations produites par les capteurs et véhiculées dans l'organisme jusqu'aux effecteurs**.

[D'un point de vue cybernétique : **TRANSMETTEUR**]

Deux principales modalités possibles de communications intercellulaires peuvent alors intervenir (avec parfois une conjonction des deux !) :

- ° **Messages nerveux** (>> trains de PA véhiculés par les neurones – **codage du message en fréquence de PA**)
- ° **Messages hormonaux** (>> molécules véhiculées par le sang – **codage du message en concentration d'hormone**)
- 3/ Une **réception des signaux qui engendrent une réponse physiologique** au niveau des **effecteurs** qui **sont les structures actrices de la réponse biologique**.

[D'un point de vue cybernétique : **RÉCEPTEUR**]

- L'exemple de régulation que nous verrons l'année prochaine est la **régulation de la pression artérielle moyenne (PAM)** (BCPST2 : circulation).
 - Un autre exemple est abordé dans ce chapitre (II.D.5) avec la **thermorégulation**.
 - Le programme invite enfin à réinvestir la **régulation de la glycémie** chez l'Homme, même si, en réalité, cette **régulation** est un peu **plus complexe** chez la **Vache** (intégrant le métabolisme des AGV).

- On appelle **homéostasie** le **maintien à des valeurs stables des paramètres physiologiques de l'organisme (ou d'une cellule)** ; il s'agit donc d'un **ensemble de mécanismes de régulation**.

Focus sur l'homéostat glycémique humain : une vision très simple (transposable chez la Vache au 1^{er} ordre)

Figure 61 bis

- Paramètre réglé : **glycémie** (= **concentration plasmatique en glucose**)
- Valeur de consigne : **Homme** : 0,74–1,06 g • L⁻¹ (env. **0,85 g • L⁻¹**)
Vache : 0,4–0,7 g • L⁻¹
- Système réglé : **sang**, plus précisément le **compartiment plasmatique**
- Système réglant = **Homéostat** :
 - ° **Détection** des **variations de glycémie** : **cellules alpha** et **bêta** situées dans les **îlots de Langerhans** du **pancréas**
 - ° **Transmission** d'information par **libération** par ces cellules d'**hormones peptidiques** dans le plasma : **insuline** (**cellules β, hormone hypoglycémisante**) ou **glucagon** (**cellules α, hormone hyperglycémisante**)

° **Organes effecteurs (organes cibles)** :

> pour l'**insuline** : agit surtout sur les **muscles, foie, tissu adipeux**

→ **cellules musculaires, hépatocytes** : induit la **captation de glucose**, et son **stockage cytosolique en glycogène** après **conversion du glucose en glycogène (glycogénogenèse)**



Glycogénogenèse (principe)

→ **adipocytes** : induit la **captation de glucose** et sa **conversion en lipides**, notamment des **triglycérides (lipogenèse)**

> pour le **glucagon** : agit surtout sur le **foie**

→ **hépatocytes** : induit la **glycogénolyse (conversion du glycogène en glucose)** et la **néoglucogenèse (fabrication de glucose à partir de molécules variées : acides aminés, lactate, glycérol, pyruvate... et acides gras volatils chez les Vache !)**, ce qui est à l'origine d'une **libération de glucose dans le sang**.



Glycogénolyse (principe)

Remarques :

1. Le **glycogène** des **cellules musculaires** subit également la **glycogénolyse** mais le **glucose** ainsi produit ne peut pas sortir des **cellules musculaires**. Il s'agit d'un mécanisme permettant de **fournir du glucose** aux **cellules musculaires** lors d'une activité intense (ex. **effort physique**) mais qui **n'entre pas** dans les mécanismes de **régulation de la glycémie**.
2. Les **triglycérides** du **tissu adipeux** ne participent pas à la **régulation à court terme** de la **glycémie**, ne pouvant être **retransformés rapidement en glucose**. Toutefois, en cas de **jeûne prolongé**, il peut y avoir utilisation de ces réserves, avec **dégradation des triglycérides en glycérol et acides gras (lipolyse)**, ces substances étant ensuite **sécrétées dans le sang** par les **adipocytes**. Le **glycérol** est alors capté par le **foie** où il constitue un substrat de la **néoglucogenèse**.

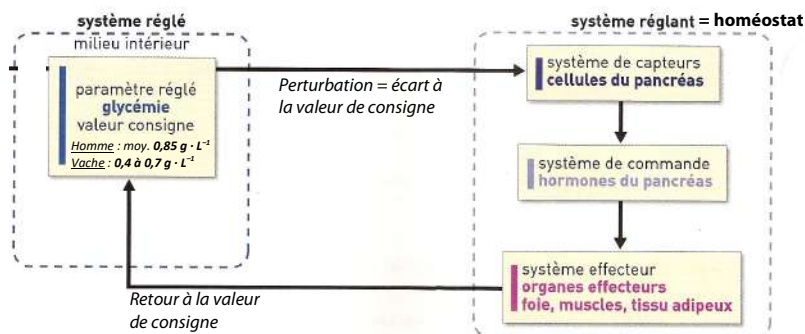
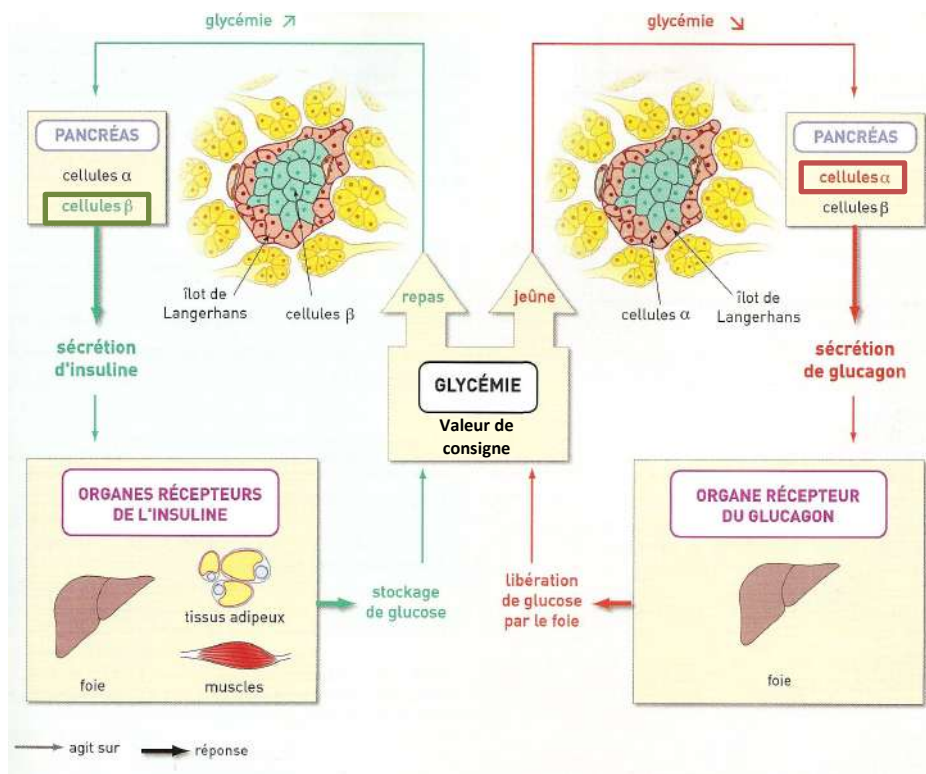
>> En cas d'hypoglycémie, par exemple lors du jeûne (glycémie < valeur de consigne)

Les **cellules α** détectent la **baisse de glycémie** et libèrent dans le sang, en réponse, du **glucagon** qui agit sur le **foie** où il déclenche la **glycogénolyse** (et la **néoglucogenèse**), puis la **libération de glucose** dans le **plasma**, ce qui permet le **rétablissement de la valeur de consigne**.

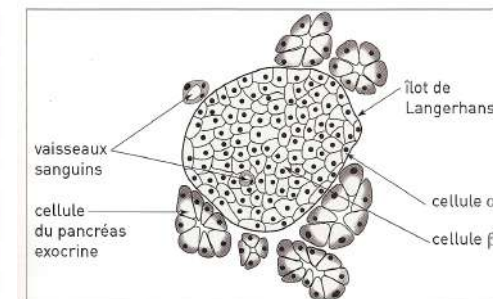
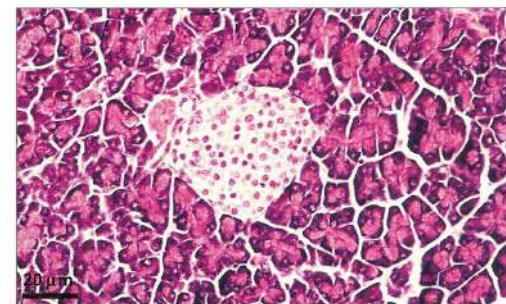
>> En cas d'hyperglycémie, par exemple en période post-prandiale (= après un repas) (glycémie > valeur de consigne)

Les **cellules β** détectent la **hausse de glycémie** et libèrent dans le sang, en réponse, de l'**insuline** qui agit sur :

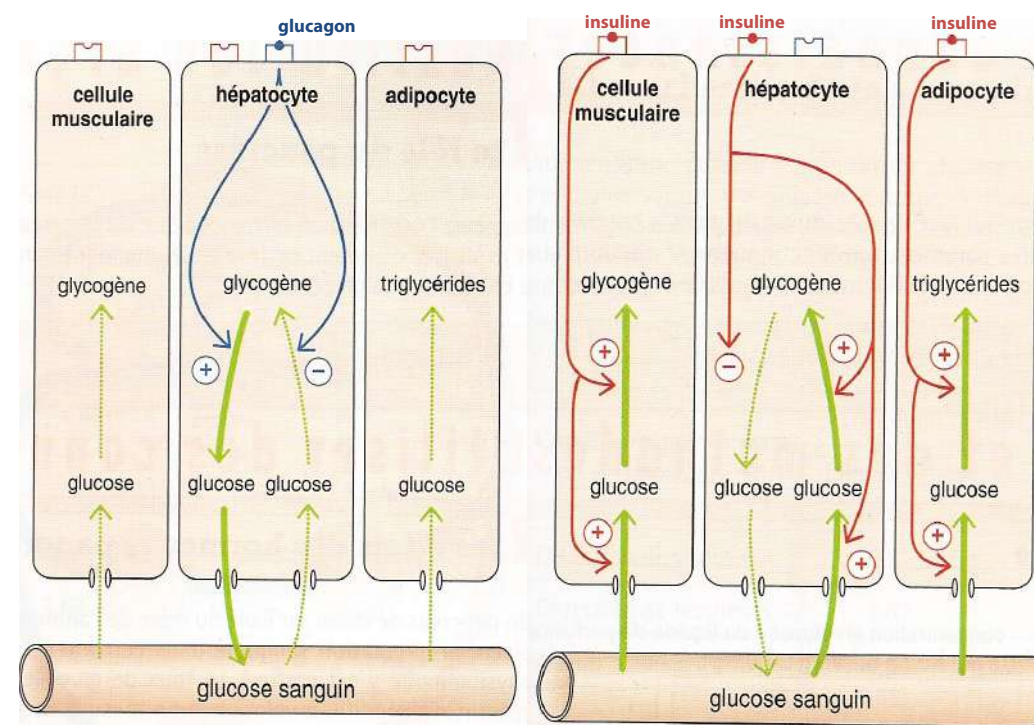
- le **foie** et les **muscles** où elle déclenche la **captation de glucose** d'origine plasmatique puis la **glycogénogenèse** (assurant un stockage cellulaire de glucose sous forme polymérisée).
 - le **tissu adipeux** où elle déclenche la encore la **captation de glucose** d'origine plasmatique puis, cette fois, sa transformation en **lipides**, notamment en **triglycérides (lipogenèse)**.
- Ces captations font **baissier la glycémie**, ce qui permet le **rétablissement de la valeur de consigne**.



➤ **FIGURE 61 bis. Boucle de régulation.** D'après ROJAT *et al.* (2007), modifié.



C. Histologie du pancréas avec focus sur un îlot de LANGERHANS.
D'après ROJAT *et al.* (2007).



c. La possibilité d'une adaptation physiologique (avec écart à l'homéostasie) lors d'une situation atypique de fonctionnement de l'organisme

- L'**adaptation (physiologique)** d'un paramètre désigne **la mise en place transitoire par l'organisme d'un écart notable à la valeur de consigne qui permet de faire face à une situation particulière éloignée du fonctionnement normal et courant de l'organisme**. Exemple : adaptation à un effort physique, une situation de stress...
 - L'**exemple d'adaptation physiologique** que nous verrons l'année prochaine est l'**effort physique (BCPST2 : circulation)** chez l'espèce humaine. La Vache est néanmoins concernée en cas de course par exemple.

Adaptation : physiologie vs. biologie évolutive

Ne pas confondre :

- Une **adaptation physiologique** qui correspond à ce que nous venons de définir.
- Une **adaptation évolutive** qui correspond à **l'acquisition par un taxon d'une innovation sélectionnée naturellement au cours de l'évolution parce qu'elle permet de remplir une fonction donnée**. L'**adaptation** peut également désigner l'**innovation en question**.

D. Un organisme qui se protège et maintient son intégrité face à l'environnement : les systèmes tégumentaire et immunitaire [+ thermorégulation]

- La Vache présente divers **dispositifs de défense ou protection** (tableau XIV) ainsi qu'une capacité de **thermorégulation**.

1. L'environnement physico-chimique et microbien de l'animal, milieu agressif

- L'**environnement de la Vache** peut présenter les « **risques** » suivants :
 - **Agressions mécaniques**, pouvant provoquer des **lésions**, des **ruptures d'organes** ou de **tissus**...
 - **Agressions biologiques**, notamment **microbiennes** (Bactéries, 'champignons', virus...), qui peuvent développer une **infection** dans l'organisme.
On n'évoque pas ici les phénomènes de **prédation**, assez **limitée** concernant la **Vache** qui est **domestiquée**.
 - **Agressions thermiques** : le **milieu aérien** étant **3000 fois moins tamponné thermiquement** que l'eau, c'est un milieu dont les **températures fluctuent énormément**.

2. La protection contre les agressions physiques, thermiques et biologiques : le tégument et les muqueuses

- En **zoologie**, on appelle **tégument** le **revêtement externe d'un organisme animal**.
- On appelle **muqueuse** une **limite de cavité interne d'un organisme animal au contact d'une lumière et en continuité plus ou moins directe ou indirecte avec le tégument** ; elle est généralement constituée d'un **épithélium** et de **tissu conjonctif sous-jacent**.

On pourra revoir à ce sujet le **complément sur l'histologie animale** ; nous ne traiterons pas beaucoup plus les muqueuses ici.

a. Les rôles principaux du tégument et des muqueuses, limites physiques de l'organisme

- Les **limites de l'organisme** en lien avec l'**environnement**, à savoir le **tégument** à l'**extérieur** et les **muqueuses** dans les **cavités internes**, sont :
 - **Pour tous** : une **protection mécanique** (contre les lésions) des **organes sous-jacents** ;
 - **Pour tous** : les **premières barrières physiques** à l'entrée d'**organismes étrangers pathogènes** (on parle d'**anté-immunité**), mais aussi les premiers lieux de la **réaction immunitaire** en cas d'entrée d'un **agent infectieux**.
- (!) Notons sur des **cellules immunitaires** sont présentes dans la **plupart des tissus de l'organisme** et notamment dans ceux de la **peau** ou des **muqueuses**.

On peut parler d'**anté-immunité** pour désigner l'**ensemble des dispositifs protégeant l'organisme de l'entrée d'organismes infectieux** (voir **plus loin** : **tableau XIV**).

Protection mécanique

Protection immunitaire

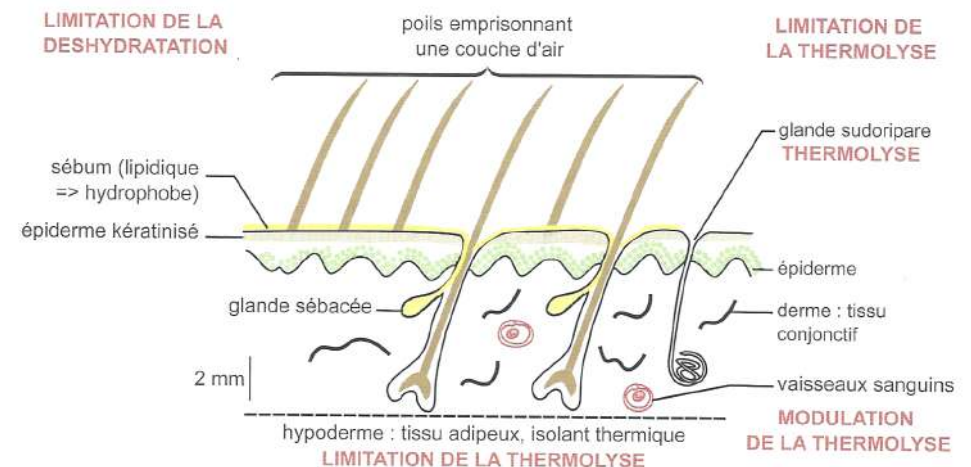
Protection hydrique / osmotique

Protection thermique

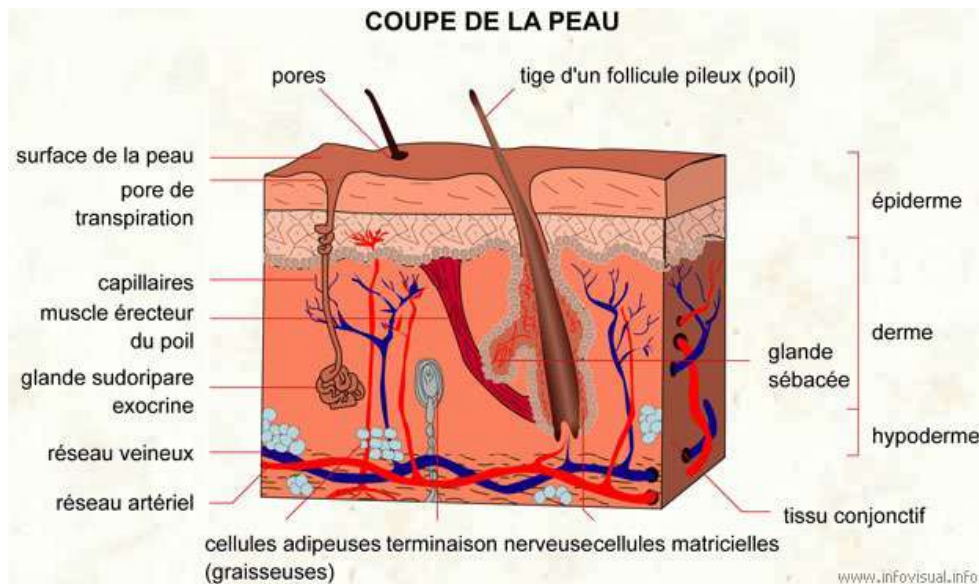
- **Pour certaines muqueuses** : une **surface d'échanges** avec le **milieu extérieur** ;
 - **Pour le tégument surtout** : un **agent de lutte contre le dessèchement** grâce à son **impermeabilité**, en lien avec l'**hostilité déshydratante** du **milieu extérieur** (l'**air**) ;
 - **Pour le tégument** : un **isolant thermique** face aux **fluctuations thermiques** du milieu extérieur (ici l'**air**) ;
 - **Pour le tégument** : un lieu de **réception de stimuli** (pression, chaleur, douleur) ;
 - **Pour le tégument** : un **acteur de la thermorégulation** (voir **plus loin**) ;
- Les **quatre types de protection** conférée par la **peau** (notamment).

b. Gros plan sur le tégument des Mammifères : la peau

- On appelle **peau** le **tégument des Mammifères** (et d'autres **Vertébrés**).



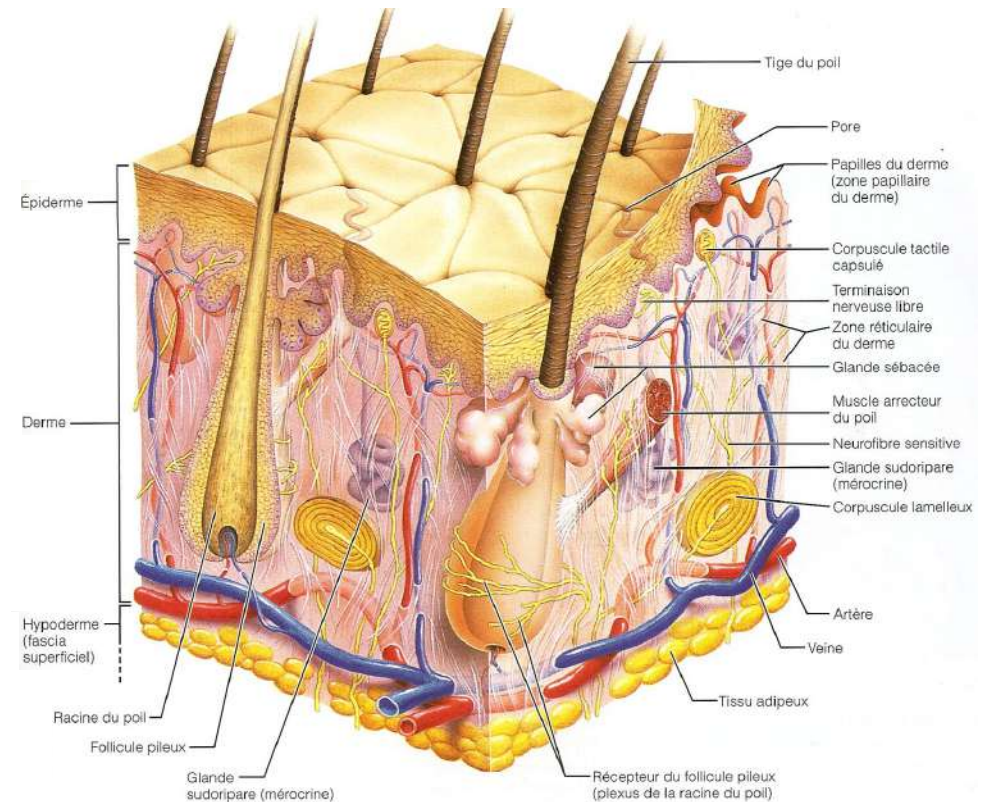
▲ FIGURE 62. **La peau des Mammifères : 1^{er} vision**. D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)



▲ FIGURE 63. **La peau des Mammifères : 2^e vision.**

<http://anatomieludique.unblog.fr/la-peau/> (consultation janvier 2012)

- La **peau des Mammifères** (figures 62-65) comprend typiquement **trois niveaux** (du plus externe vers le plus interne) :
 - L'**épiderme** : **épithélium de revêtement de type pavimenteux, pluristratifié, résistant et protecteur.**
 - (!) L'épiderme comprend (entre autres) **deux grands types cellulaires** :
 - essentiellement des **kératinocytes** qui sont les **cellules de base de cet épithélium (jusqu'à 90 % des cellules), riches en cytokératine (conférant une résistance à la compression et une dureté relative aux cellules).**
 - Et également des **mélanocytes**, **cellules concentrées à la base de l'épiderme qui synthétisent et stockent un pigment, la mélanine, assurant une protection de l'organisme contre le rayonnement solaire ultra-violet.**
 - (!) L'épiderme est un **tissu en perpétuel renouvellement** (renouvellement complet en 1 mois) constitué lui-même de plusieurs couches, **de manière simplifiée** trois :
 - Une **couche pluristratifiée** de cellules mortes, nommée **couche cornée** : elle **comprend des kératinocytes morts, au fort pouvoir imperméabilisant.**
Cette couche se desquame progressivement au fur et à mesure du renouvellement de l'épiderme.
 - Une **couche pluristratifiée** de cellules vivantes nommée **couche épineuse** : elle **comprend notamment des kératinocytes vivants, durs et résistants, protégeant l'organisme sous-jacent, et des mélanocytes, protégeant du rayonnement UV nocif ;**

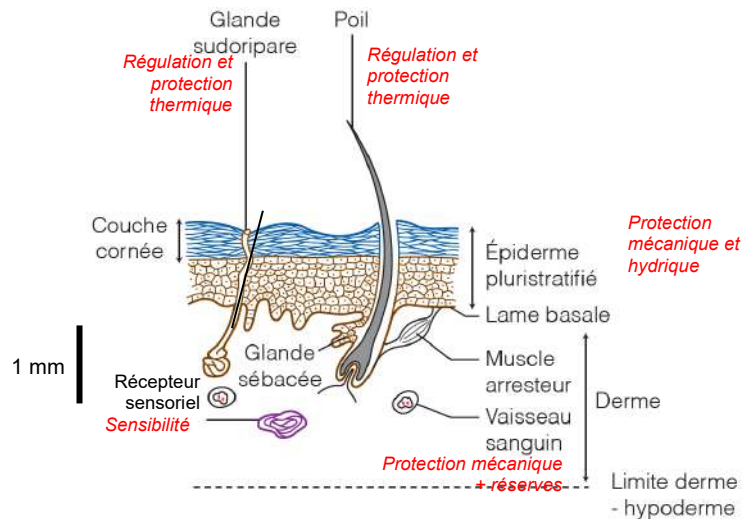


▲ FIGURE 64. **La peau des Mammifères : 3^e vision.**

D'après MARIEB (2015)

- Une **couche unistratifiée** de cellules vivantes basales plutôt cubiques nommée **couche basale** ou **couche germinative** : elle **comprend des cellules à forte activité mitotique dont dérivent notamment les kératinocytes.**
- Le **derme** : **tissu conjonctif richement irrigué et innervé comprenant** :
 - La plupart des **récepteurs sensoriels cutanés** (à la pression, à la chaleur, à la douleur).
Il me semble impossible, dans un tel chapitre, de me lancer dans une litane d'exemples de récepteurs cutanés.
 - Les **follicules pileux**, **cavités glandulaires dans lesquelles se forme et prend ancrage un poil.**
 - Les **glandes sébacées**, **glandes à la base du follicule pileux sécrétant du sébum, liquide gras lubrifiant le poil et protégeant contre la déshydratation ou certains micro-organismes.**
Le sébum exerce un rôle nourricier et sélecteur vis-à-vis du microbiome cutané.
 - Les **glandes sudoripares**, **glandes torsadées dérivées de l'épiderme sécrétant la sueur à rôle thermolytique.** Ces organes servent également à exhaler des **composés volatils à rôle de communication intraspécifique (phéromones).**

- L'**hypoderme** : **couche conjonctive comprenant du tissu adipeux** ; c'est une couche parfois difficile à délimiter chez certains organismes (comme l'Homme) où elle peut se fondre avec le tissu adipeux des organes sous-jacents, mais elle est **bien individualisée** chez la **Vache**. C'est à la fois un **tissu de réserve**, et une **protection mécanique des organes sous-jacents**, encaissant les chocs.



▲ FIGURE 65. **La peau des Mammifères : vision simplifiée.**
D'après SEGARRA *et al.* (2013), modifié

c. Les sabots, les poils et (pour partie) les cornes, phanères de la Vache

- On appelle **phanères** les **productions visibles et très kératinisées produites par le tégument des Vertébrés** : **poils, ongles / griffes / sabots, écailles, bec, plumes...**

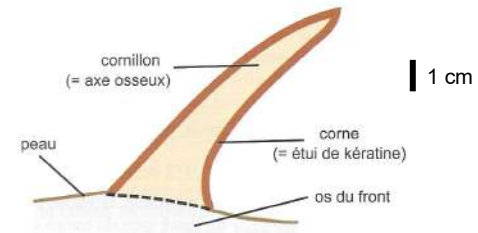
α. Les sabots, ongles hypertrophiés servant d'appui au sol

- Les **sabots** (figure 66) ont des **étuis cornés de nature kératinique situés autour des dernières phalanges des doigts ayant une fonction d'appui au sol***. Ce sont des **ongles hypertrophiés** et dont l'évolution les a ici rendus **englobants**.
* On rappelle que la **Vache** est un **onguligrade**.



▲ FIGURE 66. **Sabots et autopodes antérieurs de la Vache.**
D'après Wikipédia (cliché S. KÜHN 2010, Dresde, G)

β. Les cornes, étuis de kératine autour d'un cornillon osseux à fonction défensive et offensive



▲ FIGURE 67. **Corne de bovidé : coupe très schématisée.**
D'après PEYCRU *et al.* (2017)

- Les **cornes** (figure 67) sont des **expansions pointues de la tête de l'animal, ici composées chacune d'un axe osseux (cornillon) recouvert d'un manchon de kératine**.

Chez la Vache, les **cornes** servent notamment aux **combats intraspécifiques**, mais peuvent aussi servir à **défendre la progéniture** ou **soi-même**.

Les **cornes** pouvant être **dangereuses** pour l'Homme, les **éleveurs** procèdent souvent à leur **éviction** qui peut se faire par :

- **Écornage** : **amputation totale ou partielle de la corne formée chez l'adulte ou le jeune (la génisse âgée)**.
- **Ébourgeonnage** : **cautérisation des bourgeons de corne chez le jeune (la génisse jeune)**.
- Utilisation de **variétés sélectionnées pour leur caractère « sans corne »** (encore **peu répandue en France**, mais pouvant sembler une bonne **alternative** à la **pratique traumatisante** de l'ablation).

γ. Les poils, fils de kératine à fonction de protection thermique (et en lien avec la sensibilité tactile)

- Un **poil** est, chez un **Mammifère**, une **sécrétion longiligne de kératine produite au niveau d'un follicule pileux**.
- Ses principales fonctions sont :
 - **Thermique** : les poils constituent une **couche thermiquement isolante** qui **conservent la chaleur interne**.
 - **Sensorielle** : les poils étant **ancrés dans la peau** riche en **mécanorécepteurs sensoriels**, le **mouvement d'un poil** peut entraîner un stimulus au niveau de ces récepteurs.

Certains poils, telles les vibrisses, ont même un rôle spécifiquement sensoriel.

Et dans une **moindre mesure** :

- **Protective** du **tégument** contre les **agressions physiques externes** ou les **rayons UV**.
- **Signalisatrice** : les **couleurs** (dues à des **pigments**) peuvent constituer un **indicateur de reconnaissance** entre individus (assez **modéré** chez les **Vaches**, **disons-le**).

3. La lutte contre les agressions biologiques : le système immunitaire

- On appelle **système immunitaire** **l'ensemble des organes, tissus et dispositifs qui prévient et combat les infections par des organismes étrangers à l'organismes potentiellement effectivement dangereux** (tableau XIV).

▼ TABLEAU XIV. Principales lignes de défenses de l'organisme. Original 2018.
Il est évidemment hors de question de traiter ce système complexe dans le cadre de ce chapitre.

Système de défense	Structures et/ou molécules impliquées
Anté-immunité <i>Ensemble de dispositifs protégeant l'organisme de l'entrée d'organismes infectieux.</i>	- Barrières mécaniques : ° aspects anatomiques : peau, muqueuses et leurs sécrétions (y compris les poils) ° aspects dynamiques : renouvellement de l'air par ventilation, péristaltisme, mouvements ciliaires... - Barrières physico-chimiques : sécrétions antibactériennes (exemple du lysozyme dans : salive de nombreux Mammifères mais pas la Vache, larmes, lait maternel, mucus, suc gastrique...), pH de certaines cavités (ex. estomac), température interne... - Barrières écologiques : flore microbienne commensale empêchant par compétition l'installation de souches pathogènes, comportement d'évitement d'aliments à l'odeur ou l'aspect vicié...
Immunité innée <i>Ensemble de dispositifs défendant l'organisme contre des agents infectieux sans reconnaissance spécifique de l'agent.</i>	° Cellules de défenses : nombreux globules blancs = leucocytes situés dans des tissus variés (mastocytes, macrophages, cellules dendritiques...) ou dans le sang et la lymphe (polynucléaires, monocytes...). ° Peptides et protéines : récepteurs au soi / au non-soi, peptides antimicrobiens, système du complément, protéines de la phase aiguë, interférons...
Immunité adaptative (= acquise) <i>Ensemble de dispositifs défendant l'organisme contre des agents infectieux avec reconnaissance spécifique de l'agent.</i>	° Cellules : lymphocytes B (producteur d'anticorps) et lymphocytes T (destructeurs de cellules infectées ou anormales), cellules présentatrices d'antigènes... ° Peptides et protéines : récepteurs antigéniques spécifiques, immunoglobulines...

4. La possibilité d'une régénération tissulaire en cas de lésion (dans certaines limites)

- On appelle **régénération** le processus de reconstitution d'une structure altérée de l'organisme.
- Chez les Mammifères, il existe en effet la possibilité :
 - D'une cicatrisation de la peau ou de tissus plus profonds.
 - D'une différenciation à l'âge adulte de cellules souches somatiques ayant gardé un spectre de différenciation restreint.
- Ces processus sont toutefois localisés et restreints ; l'on n'assistera pas à la repousse d'un organe perdu par exemple.

5. Un organisme qui maintient sa température interne face aux fortes fluctuations thermiques du milieu : l'homéothermie

a. L'homéothermie, une réponse à un milieu aérien thermiquement fluctuant adoptée par les Mammifères, en plus de comportements protecteurs

- Dans un environnement thermiquement fluctuant, on distingue :
 - Les organismes **poikilothermes** (du gr. *poikilos*, varié, et *thermos*, chaud) qui sont des organismes à température interne fluctuante, dépendant de la température du milieu environnant immédiat (d'où le synonyme **ectothermes**, du gr. *ectos*, extérieur, faisant référence à l'origine exogène de la chaleur interne).

On les appelle couramment « Animaux à sang froid »

Le terme « **hétérothermes** » (du gr. *heteros*, différent) est parfois utilisé, selon les auteurs, pour les **poikilothermes**... ou au contraire pour des **homéothermes** [sic] dont la température varie en fonction du moment de la journée ou de la saison (cas de certains homéothermes hibernants, par exemple)... Bref, j'évite personnellement ce terme ambigu.

- Les organismes **homéothermes** (du gr. *homos*, semblable) ou **endothermes** (du gr. *endos*, intérieur) sont des organismes dont la température interne est stable et dont la chaleur est pour partie produite par l'organisme lui-même. C'est le cas chez les Mammifères et les Oiseaux.
On les appelle couramment « Animaux à sang chaud »
- Le milieu aérien étant un mauvais tampon thermique, les réponses des Mammifères à cet état de fait sont :
 - Des comportements d'évitement des températures basses (refuges naturels ou plutôt, chez des organismes domestiqués d'élevage, mise en stabulation) ou trop fortes (mise à l'ombre en cas de fortes chaleurs ; recherche du vent ou de points d'eau...).
 - Une stratégie physiologique de régulation de la température interne (homéothermie).

b. La température interne de la Vache, un paramètre stable et réglé : notions de thermorégulation

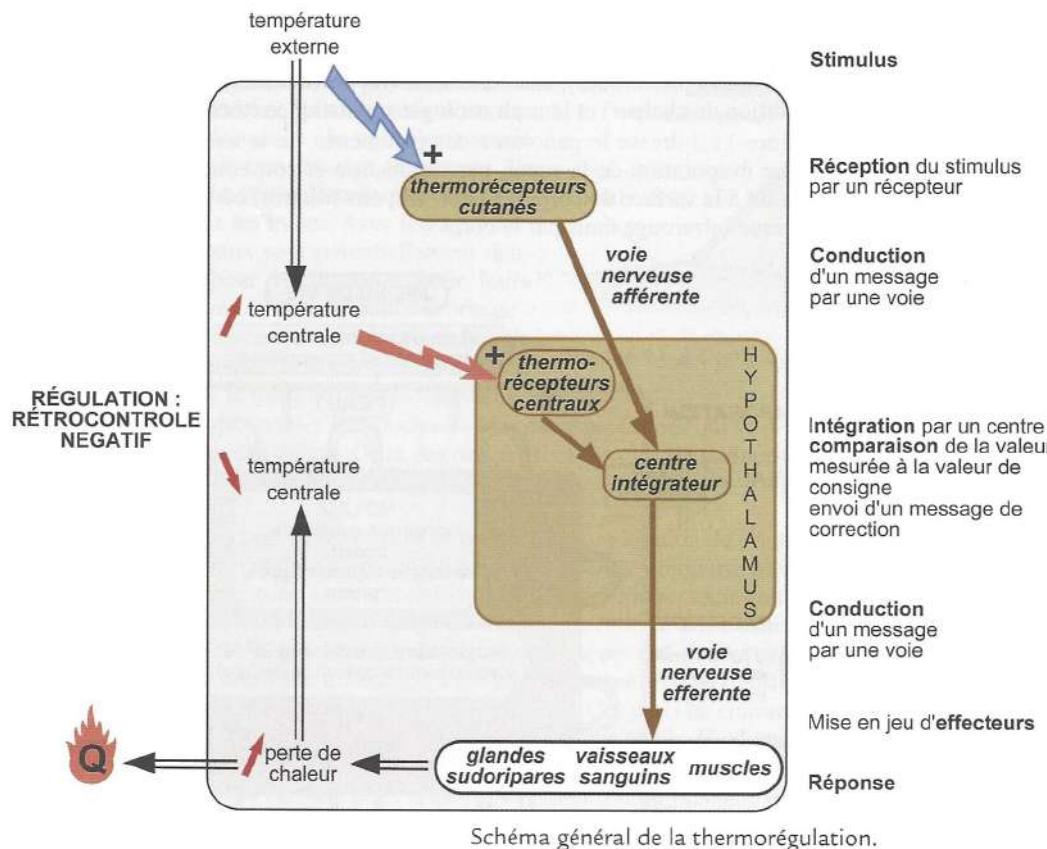
Page suivante : figure 68 + tableau XIV bis

a. Un paramètre stable : une valeur de consigne proche de 38,5 °C (température centrale)

- On peut opposer la **température centrale** (= température du noyau), température très stable de la plupart des parties du corps, et la **température périphérique** (= température de l'enveloppe), température plus fluctuante de la peau et du tissu adipeux proche de la peau.
- La température centrale est un paramètre réglé, c'est-à-dire maintenu à une valeur stable* (nommée **valeur de consigne**) par un système de régulation (= système réglant = homéostat) qu'on ici appeler **thermostat**.
* La valeur de consigne varie légèrement entre races de Vache mais s'établit à une valeur proche de 38,5 °C.
- On rappelle que la **régulation** (figures 60-61) d'un paramètre désigne l'existence d'un système physiologique permettant de maintenir le paramètre à une valeur stable (valeur de consigne) par détection des écarts à cette valeur et mise en place de mécanismes de rétroaction.
(!) C'est donc une situation particulière de **contrôle**.

Vocabulaire de la régulation : rappels de la page 49

- Paramètre réglé** = **variable réglée** = paramètre physiologique modulé par un système de régulation. Ici : la température centrale
- Valeur de consigne** = **point de consigne** = valeur stable d'un paramètre physiologique réglé dans des conditions physiologiques normales. Ici : 38,5 °C
- Système réglé** = tissu, organe ou compartiment subissant une régulation. Ici : l'ensemble de l'organisme
- Système réglant** = **homéostat** = ensemble des dispositifs assurant la régulation d'un paramètre. Ici : systèmes de détection / communication / contrôle + organes effecteurs détaillés ci-après
- Boucle de régulation** = système de régulation où la variation d'un paramètre aboutit in fine à la correction de la perturbation de ce paramètre et au retour à une valeur moyenne. Il y a donc **rétroaction** (= **rétrocontrôle** = **feedback**), c'est-à-dire que le paramètre est le point de départ d'un système physiologique qui influence sa propre variation.



▲ FIGURE 68. Thermorégulation (ici : réponse à une hausse de température).
D'après PEYCRU *et al.* (2017)

β. Des organes et tissus effecteurs d'une hausse (thermogenèse) ou d'une baisse (thermolyse) de température de nature variée

i. La thermogenèse : métabolisme, activité musculaire, digestion (en lien avec les micro-organismes), tissu adipeux brun

- La **genèse de chaleur (thermogenèse)** s'effectue essentiellement par les biais suivants :
 - Thermogenèse métabolique** : le **métabolisme basal** (= **métabolisme minimal d'un individu à jeun, au repos et dans des conditions de neutralité thermique**) étant particulièrement **élevé** chez les Mammifères, il produit une **chaleur importante** (de l'ordre de $54,9 \text{ kJ} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 - ❶ Le **métabolisme de base est stimulé par les hormones du stress** (catécholamines : adrénaline, noradrénaline) et les **hormones thyroïdiennes**.
 - ❶ Une **Vache allaitante produira davantage de chaleur qu'un individu non allaitant, à cause du dégagement calorifique dû à la production de lait**.

▼ TABLEAU XIV bis. Effecteurs de la thermorégulation.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021)

Effecteurs	Processus permettant d'augmenter la thermolyse	
Glandes sudoripares	Sudation augmentée	Évaporation d'eau en surface du tégument qui consomme de la chaleur
Capillaires sanguins périphériques	Vasodilatation	Augmentation des transferts de chaleur en surface : tégument, oreilles, queue, cornes
Muscles mis en jeu dans la ventilation pulmonaire	Polypnée = augmentation de la fréquence ventilatoire (faible contribution chez la vache)	Évaporation d'eau augmentée au niveau de la muqueuse buccale, de la langue
Effecteurs	Processus permettant d'augmenter la thermogenèse / de limiter la thermolyse	
Glandes sudoripares	Réduction de la sudation	
Capillaires sanguins périphériques	Vasoconstriction	Limitation des transferts de chaleur
Muscles horripilateurs	Érection des poils par contraction des muscles horripilateurs	Emprisonnement d'une couche d'air = isolant thermique
Muscles	Contraction involontaire : frisson thermique	Production de chaleur
Tissus en général	Augmentation du métabolisme	Production de chaleur

- Thermogenèse musculaire** : l'activité musculaire ayant un rendement mécanique faible, elle est **productrice de chaleur**, dans des **proportions dépendantes de l'intensité de l'activité en question**. On peut citer notamment :
 - ❶ L'**effort physique**, par exemple une **locomotion rapide**.
 - ❶ Le **frisson thermique**, une **réaction de micro-contractions musculaires sans mouvement** (produite en réaction à des températures froides).
 - ❶ La **pilo-érection** = le **réflexe pilomoteur** = l'**horripilation** est une **réaction de contraction des muscles arrecteurs (= muscles associés aux poils)**, ce qui permet le **redressement du pelage** et donc la **hausse du volume d'air** qui y est **emprisonné et chauffé par le corps**, augmentant le rôle de **réflecteur thermique** du pelage.

Les **êtres humains** ont conservé ce **réflexe thermique**, quoique assez peu efficace thermogénétiquement nous concernant : il s'agit de la fameuse « **chair de poule** » (qui peut aussi être déclenchée par des émotions).

- Thermogenèse alimentaire** : les **réactions enzymatiques** et le **métabolisme microbien** impliqués dans la **digestion** produisent une **grande quantité de chaleur**.
 - ❶ **À cause de l'activité microbienne, la température intra-ruminale est même plus élevée que la température centrale moyenne.**
- Thermogenèse lipolytique** : le **tissu adipeux brun** est un **tissu adipeux particulier à fonction thermogénétique**. Présent à l'état relictuel chez l'adulte, il représente 2 % du tissu adipeux du Veau.

ii. La thermolyse : pertes caloriques dans l'environnement, largement modulées par la vascularisation périphérique, et la sudation

- Les **pertes de chaleur (thermolyse)** s'effectuent essentiellement par les biais suivants :
 - Pertes **périphériques de chaleur** (par rayonnement, conduction, convection thermique) au niveau :
 - De la **peau**,
 - D'organes à **fort rapport surface / volume** remplissant un rôle d'**échangeurs thermiques** : queue, cornes, oreilles.
 - ❶ **L'élément effecteur est ici l'irrigation sanguine périphérique : sa hausse augmente les pertes thermiques. Au contraire, la concentration de la circulation sanguine dans le noyau diminue les pertes thermiques.**
 - Pertes par **évaporation d'eau** (consommatrice d'énergie thermique prélevée à l'organisme)
 - par la **ventilation** et le **halètement** (qui produit une évaporation au niveau de la langue)
 - au niveau des **glandes sudoripares**, très **abondantes** chez la Vache (environ **dix fois plus** que chez l'être humain).

y. La boucle de la thermorégulation

- On se reportera à la **figure 68**.
- Réception d'un stimulus = perception de l'écart à la valeur de consigne**
- La **réception d'une baisse** ou d'une **hausse** de la **température centrale** ou **périphérique** est détectée par des **récepteurs sensoriels sensibles à la température** (= **thermorécepteurs**) :
 - Périphériques**,
 - Au niveau **cutané**,
 - Au niveau **viscéral** (digestif, pulmonaire...),
 - Centraux**, au niveau de la **moelle épinière** et de l'**hypothalamus**.
- ❶ **Il existe une diversité de thermorécepteurs (au chaud, au froid) dont l'étude semble ici hors de propos.**

Transmission d'information

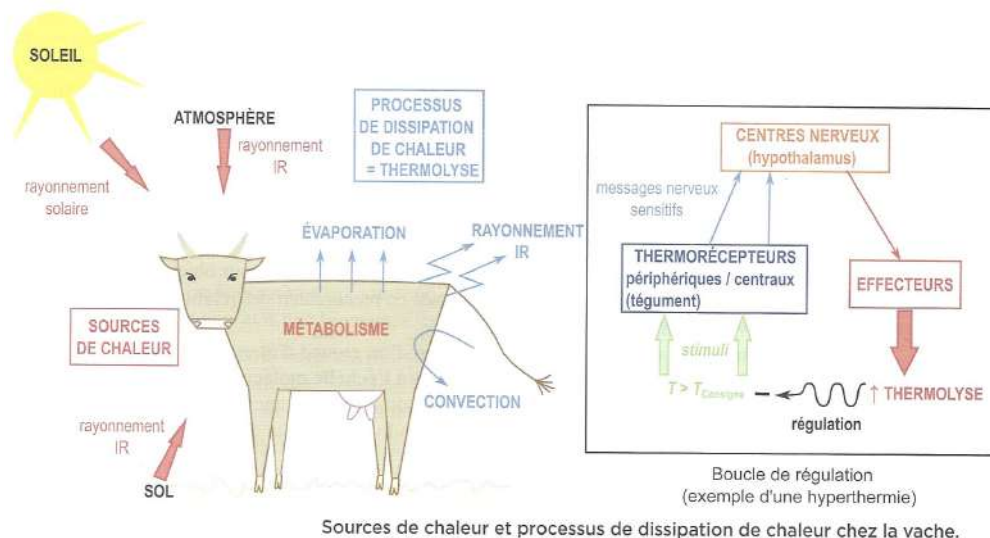
- L'information remonte, par **voie nerveuse afférente**, à un **centre nerveux hypothalamique** qui **intègre** les informations et envoie de nouveaux **messages** aux **organes effecteurs** par **voie nerveuse efférente**.

Réponse biologique : correction de la perturbation et retour à la valeur de consigne

- Les **messages efférents reçus** par les **organes et tissus effecteurs** modulent la **thermolyse** et la **thermogenèse**, assurant ainsi un **retour de la température à la valeur de consigne**.
 - ❶ **La rapidité de réponse dépend des tissus considérés. D'autre part, des mécanismes à plus long terme faisant intervenir des voies hormonales et les rythmes biologiques modifient la thermorégulation.**

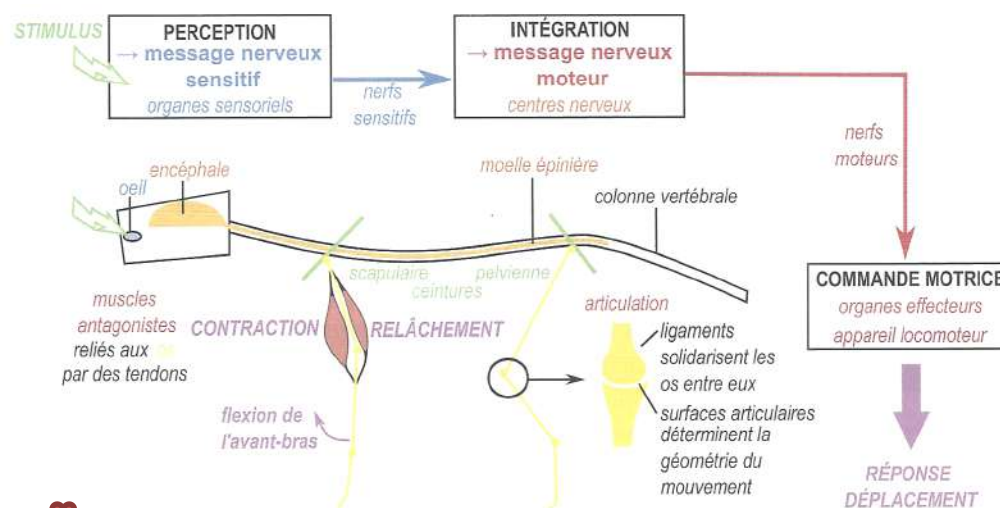
δ. Une température interne, produit de la thermorégulation et des fluctuations environnementales

- La **figure 68 bis** montre bien l'idée que la **température**, notamment **périphérique**, de la **Vache**, est le fruit :
 - Des **fluctuations** de la **température extérieure**,
 - Des **processus physiques** de **transmission** de la **chaleur**,
 - Des **processus** de **thermorégulation** (thermolyse, thermogenèse).



▲ FIGURE 68 bis. **Thermorégulation et environnement.**
D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

E. Un exemple de coopération entre systèmes des fonctions de relations : le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus



▲ FIGURE 68 ter. **De la perception d'un stimulus (ici visuel) au déplacement de l'animal.**
D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

- Cet **exemple**, évoqué par le **programme**, montre bien que les **systèmes de relation** et d'**intégration** peuvent **coopérer**. C'est le cas lors du **déplacement d'un animal** suite à la **perception d'un stimulus** (figure 68 ter).
- La **séquence des événements** peut être résumée ainsi :
 - La **détection d'un stimulus visuel** (nourriture, danger...) est permise par l'entrée de **rayons lumineux** dans l'**œil** convertis en **signaux nerveux** par les **photorécepteurs** de la **rétine**.
 - Le **message nerveux sensoriel** est transmis par le **nerf oculaire** aux **centres nerveux**, en l'occurrence l'**encéphale**.
 - Le message y est analysé et **transite** par la **moelle épinière** d'où, par un **nerf rachidien**, un **message moteur** est émis.
 - Ce message moteur arrive à un **muscle effecteur** (en réalité, la locomotion suppose de multiples **muscles sollicités séquentiellement**, donc des messages moteurs variés arrivant dans le bon ordre).

IV. La Vache, un organisme qui peut produire de nouveaux individus de la même espèce qui subissent ensuite un développement : les fonctions de reproduction (s. I.)

Voir le BCPST2 sur la reproduction animale

- Les **fonctions de reproduction au sens large** désignent **l'ensemble des fonctions permettant à un organisme de générer de nouvelles générations d'individus semblables en leur transmettant son information génétique**. Cela comprend :
 - La **reproduction au sens strict** : ensemble des processus permettant la production de nouveaux individus, à partir d'un parent unique (**reproduction asexuée** – inexistante chez les Mammifères) ou de deux individus parentaux (**reproduction sexuée**). On peut y placer : la **méiose** (**division cellulaire d'une cellule diploïde* aboutissant à la production de cellules haploïdes***), la **gamétogenèse** (**production de gamètes**), le rapprochement des gamètes, la **fécondation** (**réunion de deux gamètes qui forment alors un zygote**), les aspects physiologiques et de régulation associés à ces processus, les aspects comportementaux...

* Rappel :

Haploïdie : état d'un organisme ou d'une cellule dont les chromosomes sont présents en simple exemplaire. Cas typique des gamètes chez nombre d'espèces.

Diploïdie : état d'un organisme ou d'une cellule dont les chromosomes sont présents en double exemplaire. Cas de la plupart des cellules dans les organismes étudiés cette année.

- Le **cycle de vie** et ses différentes phases : le cycle de vie (= cycle biologique = cycle biotique = cycle biontique = cycle vital = cycle de développement...) est **l'ensemble chronologique et cyclique des étapes de la vie d'une espèce impliquant une reproduction sexuée, avec méiose et fécondation**.
- Le **développement** ou **ontogenèse** (du gr. ontos, être, et genesis, création, naissance), c'est-à-dire **l'édification et la construction d'un organisme capable de se reproduire** : développement embryonnaire, développement post-embryonnaire, croissance, différenciation...
- On peut y ajouter les **processus plus ou moins programmés de baisse progressive des fonctions physiologiques de l'organisme** qu'on appelle **vieillesse** ou **sénescence**.

Bilan (adapté du programme)

- ✓ La **survie individuelle** des organismes dépend de leur **perception du milieu** et de leur capacité de **réaction** et/ou de leurs **systèmes de protection**.
- ✓ Les **informations** perçues par les **récepteurs sensoriels** sont **intégrées** au niveau du **système nerveux central** qui élabore des **réponses**. Le **déplacement** de l'animal suite à la **perception d'un stimulus** met en jeu son **squelette** et les **muscles striés** associés.
- ✓ Le **tégument** joue un rôle d'**isolant thermique** et de **barrière** contre les agents **pathogènes** et les **parasites**. Face aux **variations d'origine interne ou externe**, les **interrelations** entre **fonctions** permettent une **réponse** de l'organisme.
- ✓ Une **boucle de régulation** permet le retour à une **valeur de consigne** d'un **paramètre physiologique** suite à la **détection** de ses **variations** par des **récepteurs**, au **traitement** et à l'**intégration** de l'**information** conduisant à une **réponse coordonnée** liée à des **effets** sur des **organes cibles (effecteurs)**.

Capacités exigibles

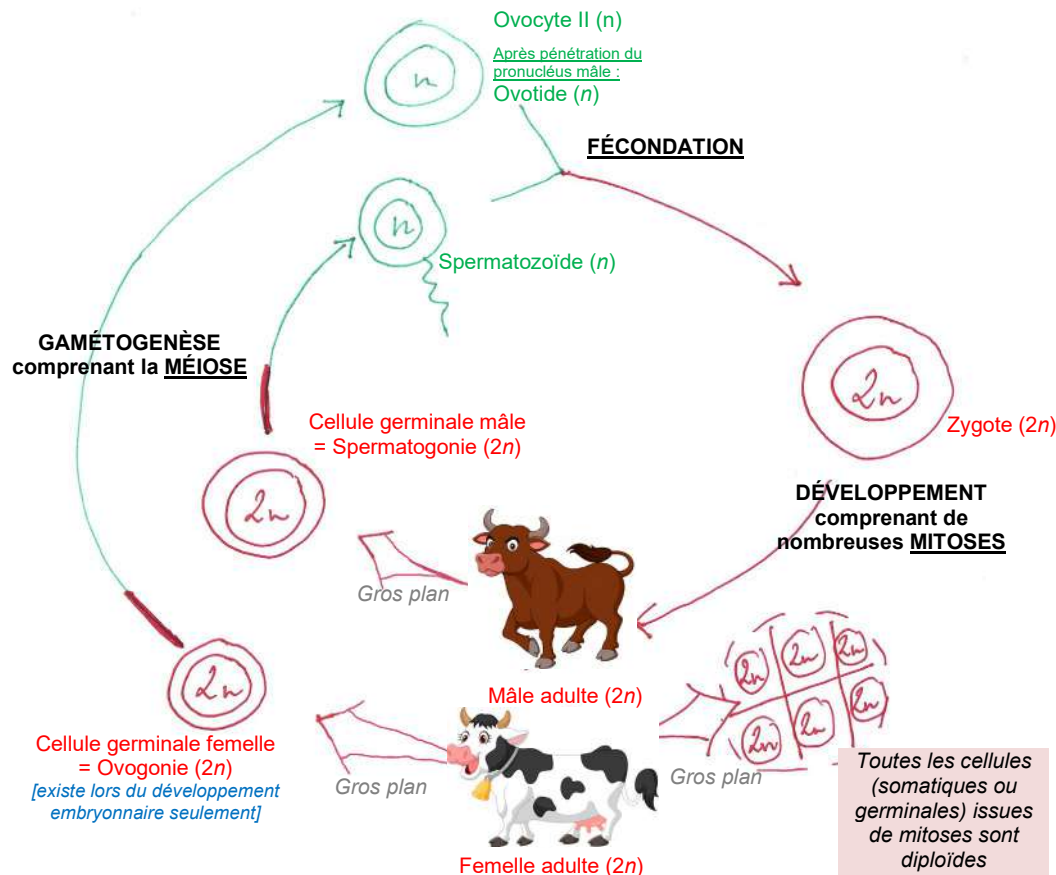
- ✓ **Argumenter** la complémentarité et la coopération fonctionnelle des différents appareils.
- ✓ **Mettre en relation** l'organisation structurale et fonctionnelle de différents appareils et l'adaptation au milieu aérien.
- ✓ **Repérer** au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des génotypes

A. Une espèce gonochorique à cycle de vie monogénétique diphasique

1. Une espèce gonochorique (= à sexes séparés) impliquant donc une reproduction sexuée

- Le **gonochorisme** est le **fait, pour les Animaux, que les deux sexes (mâle et femelle) soient séparés et portés par des individus différents**. C'est une réalité absolue chez les Mammifères. Le mâle est le **Taureau** et la femelle est la **Vache**.
Évitez absolument le terme « **dioécie** » qui est utilisée en **botanique seulement** !
- La **reproduction** est donc **sexuée** et la **fécondation** croisée.

2. Un cycle de vie diphasique monogénétique diplophasique



▲ FIGURE 69. Cycle de vie des Mammifères (un exemple de Métazoaires).
Schéma original.

La phase diploïde (2n) est en rouge et la phase haploïde (n) est vert, conformément aux conventions. En gras : les grands phénomènes du cycle (avec les processus génétiques soulignés).

- Le cycle de vie (= cycle vital = cycle biologique = cycle de développement = cycle de reproduction...) est la **représentation cyclique du déroulement de la vie d'une espèce donnée incluant une reproduction sexuée avec méiose et fécondation**.
- Chaque cycle de vie inclut deux phases qui sont des **épisodes chromosomiques associés à un état haploïde (haplophase) ou un état diploïde (diplophase)**.

- On rappelle qu'une cellule est **diploïde** lorsqu'elle possède ses **chromosomes en doubles exemplaires** ; on note alors $2n$ = nombre de chromosomes (chez la Vache : $2n = 60$).
- Une cellule est **haploïde** lorsqu'elle possède ses **chromosomes en simples exemplaires** ; on note alors n = nombre de chromosomes (chez la Vache : $n = 30$ pour les gamètes).

- Le cycle de vie typique des Métazoaires (figure 69) est :
 - Diphasique** : il comprend bien une **haplophase** (représentée ici par les seuls gamètes) et une **diplophase** (tout le reste du cycle), soit deux phases.
 - Monogénétique** : il ne comprend qu'une seule **génération**. On appelle **génération** une étape du cycle vital caractérisée par un développement végétatif, c'est-à-dire au moins une mitose [Très important].

Chez les Mammifères, il y a bien deux phases (la phase diploïde et la phase haploïde) mais une seule génération, à savoir une **génération diploïde** (figure 69). En effet, la méiose produit directement des gamètes qui ne subissent aucune mitose et subissent immédiatement la fécondation : la phase haploïde existe donc bel et bien mais il n'y a pas de **génération haploïde**.

- Diplophasique** : l'unique génération en présence est ici diploïde (= représentée par la diplophase).

- ✓ La **méiose** permet le passage de la diploïdie à l'haploïdie ($2n > n$).
- ✓ La **fécondation** rétablit la diploïdie à partir de deux cellules haploïdes nommées gamètes ($n > 2n$).
- ✓ Les deux phénomènes participent au brassage génétique et à la genèse d'individus génétiquement originaux (voir BCPST2 sur les aspects génétiques de la reproduction).

Une dernière remarque : la notion de cellules somatiques ou germinales

- Une **cellule somatique** est une cellule diploïde qui ne subit pas la méiose. Cela correspond à l'essentiel des cellules de l'organisme.
- Une **cellule germinale** est une cellule diploïde qui peut subir la méiose et donner des gamètes. Ce sont les **cellules-mères des gamètes**. On appelle **spermatogonies** les cellules germinales mâles et **ovogonies** les cellules germinales femelles.

NB Notons que les mutations conservées touchant les cellules germinales sont susceptibles de se transmettre à la descendance, contrairement aux mutations touchant les cellules somatiques qui ne peuvent pas être transmises.

B. Une espèce productrice de gamètes qui nécessite un rapprochement des partenaires sexuels et un accouplement (naturellement)

- On appelle **gamètes** les cellules haploïdes, produites par un processus nommé **gamétoogenèse**, qui subissent la fécondation.

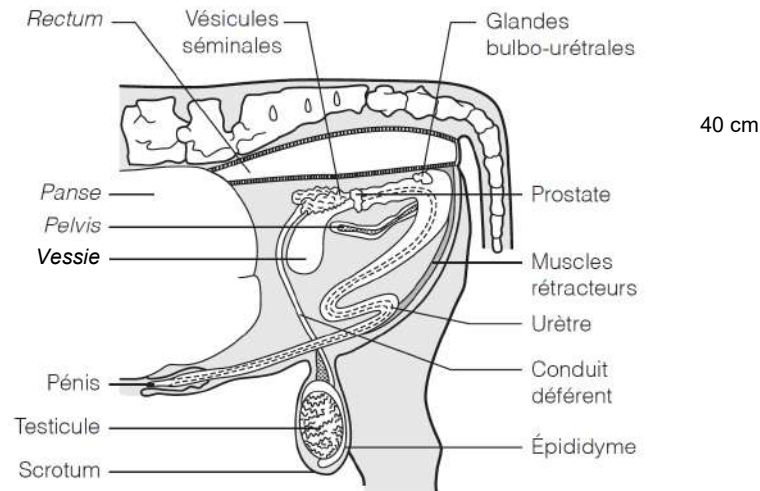
Voir BCPST2 sur la reproduction animale où sont abordées les caractéristiques des gamètes.

1. La production de gamètes chez le mâle (Taureau)

a. Une production de gamètes et de liquide séminal dans l'appareil reproducteur (= génital) mâle, ainsi que de testostérone

- L'appareil reproducteur mâle (figure 70) comprend :
 - Deux **gonades** (= organes producteurs de gamètes et d'hormones sexuelles) : les testicules. Les gamètes mâles produits sont des spermatozoïdes ; l'hormone sexuelle mâle produite est la **testostérone**.
 - Des **glandes annexes** (= organes producteurs du liquide séminal) : vésicules séminales, prostate, glandes bulbo-urétrales.

- Des **voies génitales (tractus génital) mâles** (= conduits par lesquels transitent les spermatozoïdes et le liquide séminal jusqu'à l'extérieur du corps) : les épидидymes, les canaux déférents = spermiductes et l'urètre.
- Un **organe copulateur** (= permettant l'accouplement), le pénis.



▲ FIGURE 70. **Appareil reproducteur du Taureau.**

En italique : n'appartient pas à l'appareil reproducteur. D'après SEGARRA et al. (2014)

b. Une production continue de spermatozoïdes

- Les **spermatozoïdes** sont produits dans les **testicules**, enfermés dans le **scrotum**, dont la **position extra-abdominale**, leur garantit une **température propice** à la **spermatogenèse**, inférieure de 4-5 °C à la température **centrale**.
- Les spermatozoïdes sont **produits en continu** ; ils séjournent environ **14 j** dans l'épидидyme.

- 7,5 milliards de spermatozoïdes sont produits quotidiennement par un Taureau.
- Un éjaculat de 3 à 5 mL comprend environ 6 milliards de spermatozoïdes.

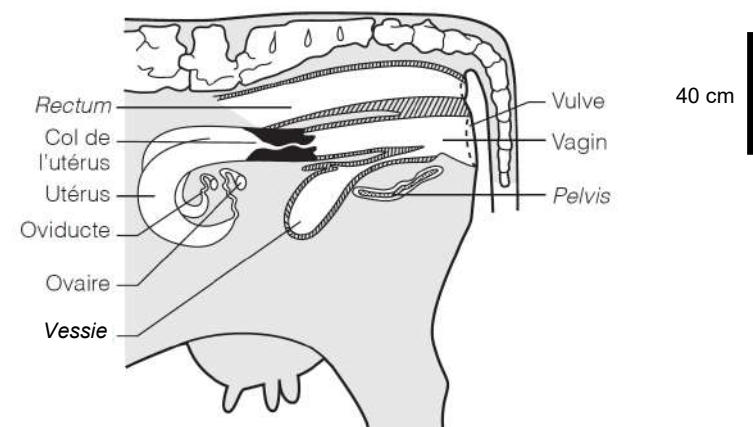
2. La production de gamètes chez la femelle (Vache)

a. Un processus intégré dans l'appareil reproducteur (= génital) femelle, ensemble d'organes à fonction gamétogénétique, endocrine et... gestationnelle

- L'**appareil reproducteur femelle** (figures 71) :
 - Deux **gonades** (= **organes producteurs de gamètes et d'hormones sexuelles**) : les **ovaires**. Les **gamètes femelles** produits sont des **ovocytes II** ; les **hormones sexuelle femelles** produites sont surtout les **œstrogènes** et la **progestérone**.
 - Des **voies génitales (tractus génital) femelles** (= **conduits de transit des gamètes [ovocytes II et spermatozoïdes]**) : oviductes (= trompes de FALLOPE), utérus (dont ses cornes utérines), vagin.

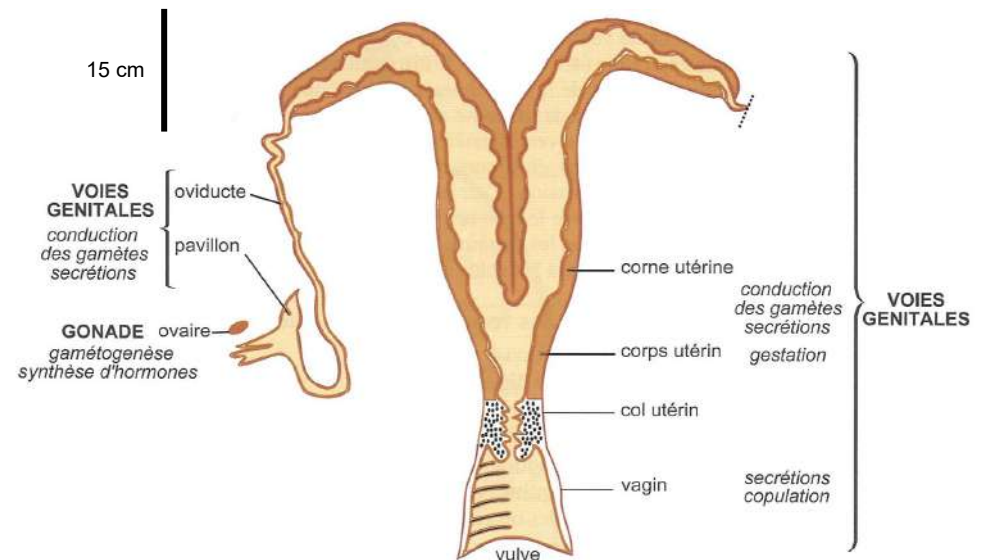
(!) Le **vagin** est aussi l'**organe copulateur interne**, l'**organe copulateur externe** étant la **vulve**.

(!) L'**utérus** est le lieu de **nidation (fixation) et développement de l'embryon puis du fœtus jusqu'à parturition**.



▲ FIGURE 71. **Appareil reproducteur de la Vache (vue de profil).**

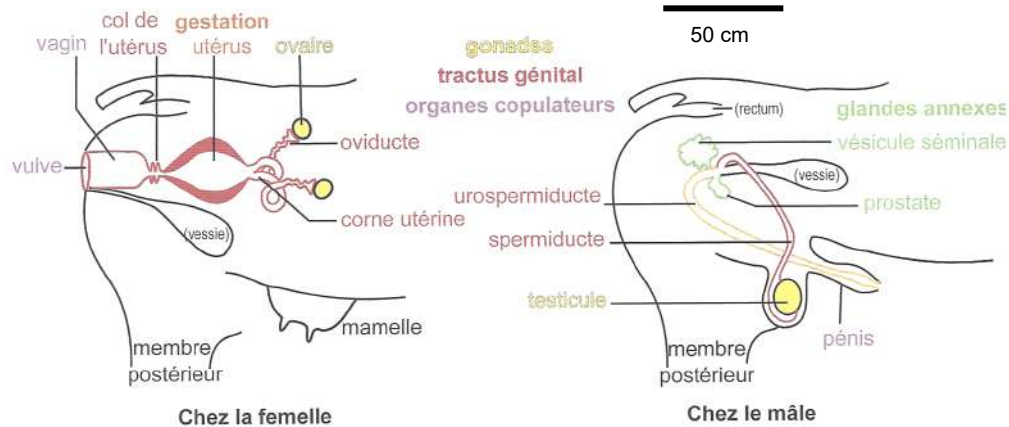
En italique : n'appartient pas à l'appareil reproducteur. D'après SEGARRA et al. (2014)



Organisation de l'appareil génital femelle. (D'après A. Beaumont et P. Cassier)

▲ FIGURE 72. **Appareil reproducteur de la Vache (vue ventrale).**

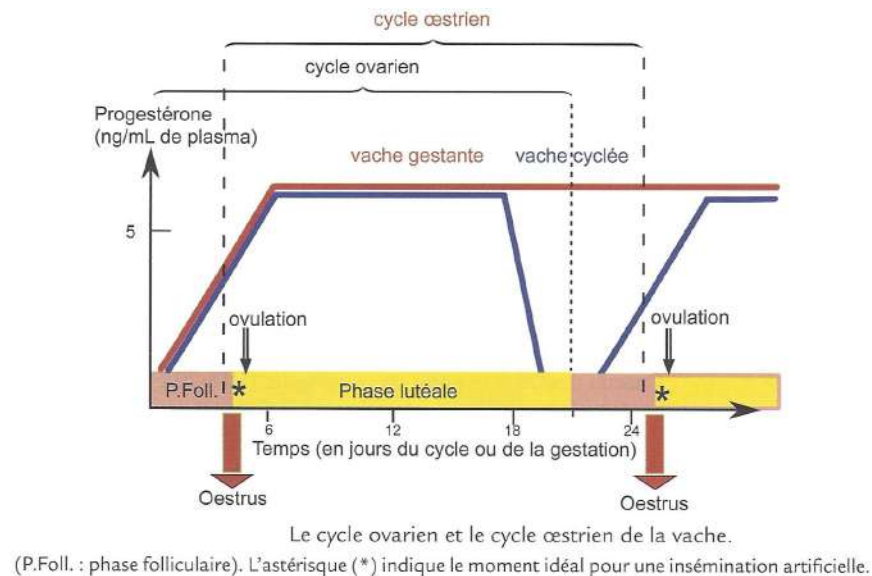
D'après PEYCRU et al. (2017)



▲ FIGURE 72 bis. Appareils reproducteurs femelle et mâle : une vision simple (vue latérale). D'après PERRIER, BEAUX et al. (2021)

b. Un fonctionnement par cycles menstruels affectant les ovaires, l'utérus et le comportement reproducteur

a. Une cyclicité de 21 jours en moyenne



▲ FIGURE 73. Cycles menstruels de la Vache. D'après PEYCRU et al. (2017)

(!) L'ovulation sépare la phase folliculaire de la phase lutéale – ce qui n'est pas très clair sur cette représentation).

- L'appareil reproducteur de la Vache fonctionne par cycles (figure 73) à partir de la puberté, comprise entre 6 et 18 mois chez la Vache.
- On appelle **cycle menstruel** l'ensemble des modifications cycliques de l'appareil reproducteur féminin chez certaines espèces de Mammifères.
- Quoique de durée variable en fonction des individus, le cycle typique d'une Vache est 21 jours.

β. Un cycle ovarien : la production cyclique d'un ovocyte II

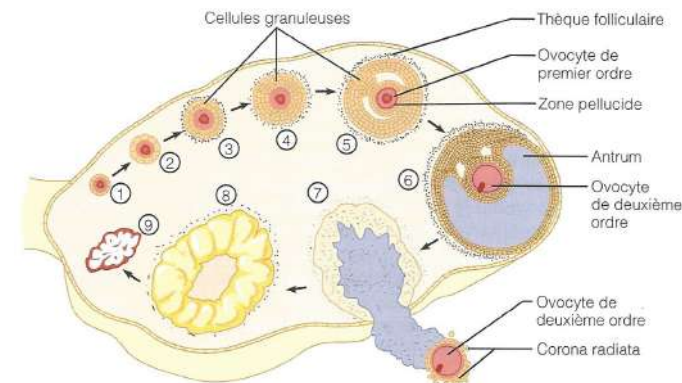
- Au niveau des ovaires, on assiste généralement à la **libération d'un unique ovocyte II par cycle** (avec généralement alternance d'un ovaire à l'autre à chaque nouveau cycle) : on dit qu'il s'agit d'un **cycle mono-ovulatoire**.
- L'**ovocyte libéré** se développe au sein d'un follicule.

On appelle **follicules ovariens** les structures comprenant des ovocytes situés dans les ovaires et qui peuvent subir une évolution menant à la libération des ovocytes II. Le reste d'un follicule après ovulation qui subit également une évolution s'appelle **follicule rompu** ; il évolue rapidement en **corps jaune**.

- En lien avec l'évolution des follicules lors du cycle, on distingue classiquement les temps suivants dans le cycle menstruel (figures 73-74) :
 - La **phase folliculaire** avant l'ovulation : le follicule destiné à ovuler contient toujours l'ovocyte. Cette phase est assez courte chez la Vache [en moyenne 4 jours].

En réalité, le follicule met plusieurs semaines à passer d'un stade primordial à un stade pré-ovulatoire, ce qui s'étale sur plusieurs cycles. Le follicule ne fait que terminer sa croissance en phase folliculaire.

- L'**ovulation**, événement ponctuel caractérisé par la libération de l'ovocyte II par le follicule [4^e jour].
- La **phase lutéale** (du lat. *luteus*, jaune) où l'on observe la présence d'un corps jaune qui se développe puis régresse en fin de cycle. Cette phase est longue chez la Vache [en moyenne 17 jours].



Pas à l'échelle

▲ FIGURE 74. Évolution complète d'un follicule. D'après MARIEB & HOEHN (2015).
1-6 : Phase folliculaire (1 follicule primordial, 2 follicule primaire, 3-4 follicule secondaire, 5 follicule tertiaire, 6 follicule de De Graaf) ; 7 : Ovulation (rupture du follicule) ; 8-9 : Phase lutéale (8 : corps jaune, 9 : corps blanc = corpus albicans)

γ. Un cycle utérin : le développement de la muqueuse utérine et son évacuation par les menstruations (= règles)

- La **muqueuse utérine** (= **endomètre**), **couche épithélio-conjonctive au contact de la lumière utérine où se niche l'embryon**, partiellement **renouvelée** à chaque cycle menstruel.
- Elle **se développe** durant l'essentiel du cycle et **s'évacue partiellement** lors des menstruations (= règles) en début de nouveau cycle menstruel.

δ. Un cycle œstrien : un comportement reproducteur cyclique (œstrus = chaleurs)

- On appelle **œstrus** (= **chaleurs**) un **ensemble de comportements et phénomènes physiologiques caractérisant une femelle fécondable**.
- L'œstrus de la Vache est **court** : il dure environ **18 heures** et l'ovulation a lieu **12 h après la fin de l'œstrus**.
- L'œstrus se caractérise par :
 - Une augmentation de la **production de mucus au niveau de la vulve** ;
 - Une augmentation des **renflements** ;
 - Une augmentation des **contacts avec les congénères** et notamment la pose du menton sur d'autres bovins ;
 - La **monte active** (une Vache monte sur une autre)
 - La **monte passive** (Une Vache accepte d'être chevauchée par une autre)
- Pour les **mâles**, on emploie souvent le terme de **rut** pour désigner les **comportements reproducteurs mâles, répondant généralement à la perception de la réceptivité des femelles et donc de leur état de chaleurs**. Les comportements observés sont surtout des **beuglements** et une certaine **agressivité** contre les autres mâles.

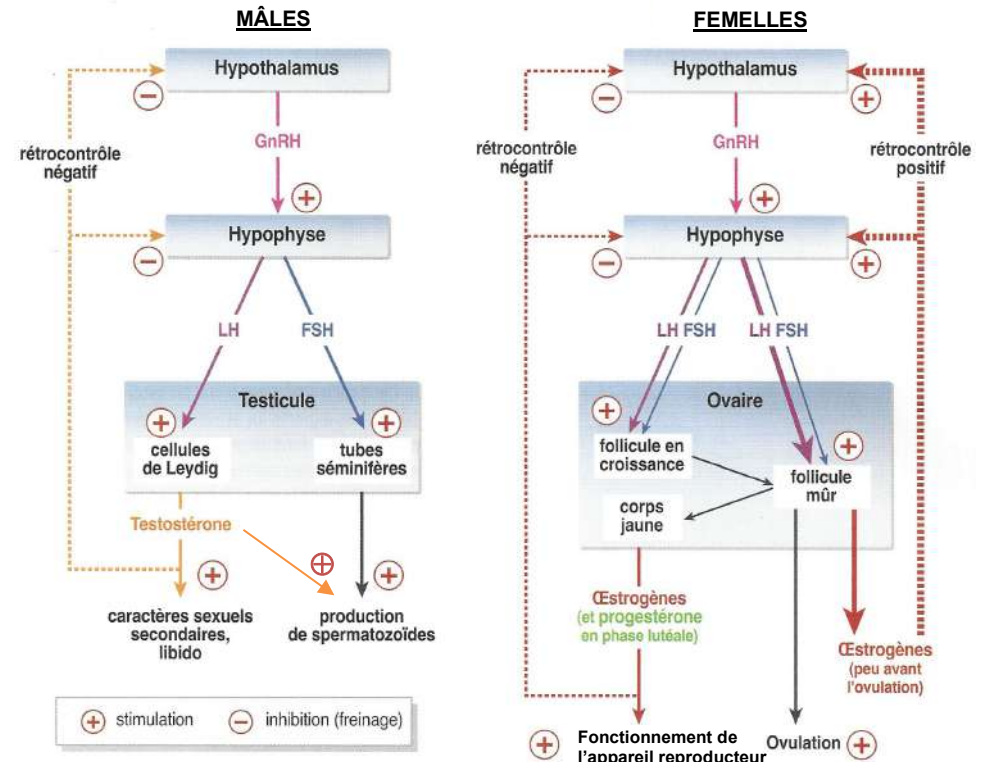
3. Un contrôle hormonal de l'activité de l'axe gonadotrope

a. Principe général : un axe de contrôle hypothalamus / hypophyse / gonades

- Le fonctionnement de l'**axe gonadotrope** (= **ensemble des organes impliqués dans le contrôle de la fonction de reproduction – l'axe hypothalamus / hypophyse / gonades**) repose sur trois niveaux (**figure 75**) :
 - Un **contrôle par l'hypothalamus** (**encadré H**) qui produit une **neuro-hormone** stimulant l'adénohypophyse. Il s'agit, chez les deux sexes, de la **gonadolibérine** ou **GnRH** (*Gonadotrophin Releasing Hormone*), une hormone **peptidique**. On parle de **neuro-hormone** car il s'agit d'une **hormone libérée au niveau d'un capillaire sanguin par une terminaison axonale de neurone**. Elle est libérée dans le **système porte hypophysaire**.
 - Un **contrôle par l'hypophyse** (**encadré H**), plus précisément l'adéno-hypophyse, qui produit en réponse à la GnRH, deux hormones hypophysaires de nature **peptidique** nommées **gonadostimulines**, **gonadotrophines** ou **hormones gonadotropes** : l'**hormone folliculo-stimulante** ou **FSH** (*Follicle Stimulating Hormone*) et l'**hormone lutéinisante** ou **LH** (*Luteising Hormone*).
Le nom de ces hormones est dû à leur action chez la femelle, mais elles sont aussi présentes chez le mâle.
 - Un **contrôle par les hormones sexuelles**, principalement la **testostérone** chez le mâle, et les **œstrogènes** et la **progestérone** chez la femelle. Il s'agit d'**hormones stéroïdiennes** (= **dérivées du cholestérol**). Les **hormones sexuelles** sont produites en réponse aux hormones hypophysaires et **agissent sur les organes de l'appareil reproducteur (stimulant notamment la gamétogenèse) mais aussi exercent un rétro-contrôle négatif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire**, ce qui permet l'**auto-régulation** du système.

- Les **gonades** produisent en outre de l'**inhibine**, **hormone peptidique rétro-inhibant l'hypophyse** (non figuré sur mes schémas).

Le fonctionnement de l'appareil reproducteur est contrôlé par un mécanisme neuro-hormonal



▲ FIGURE 75. **Le contrôle de la fonction de reproduction : vision simplifiée.**

Les inhibines ne sont pas figurées.

D'après LIZEAUX, BAUDE *et al.* (2008).

Principe :

- Hypothalamus (GnRH // neurohormone)

(+) stimulation

- Hypophyse (LH, FSH // hormones adénohypophysaires)

(+) stimulation

(-) rétro-inhibition

- Gonades (hormones sexuelles)

(+) stimulation

GAMÉTOGÈSE
(+ COMPORTEMENT REPRODUCTEUR)
(+ ÉVOLUTION CYCLIQUE UTÉRINE)

Encadré H Le complexe hypothalamo-hypophysaire (CHH)

Limite programme mais utile pour comprendre – ici illustré chez l'Homme

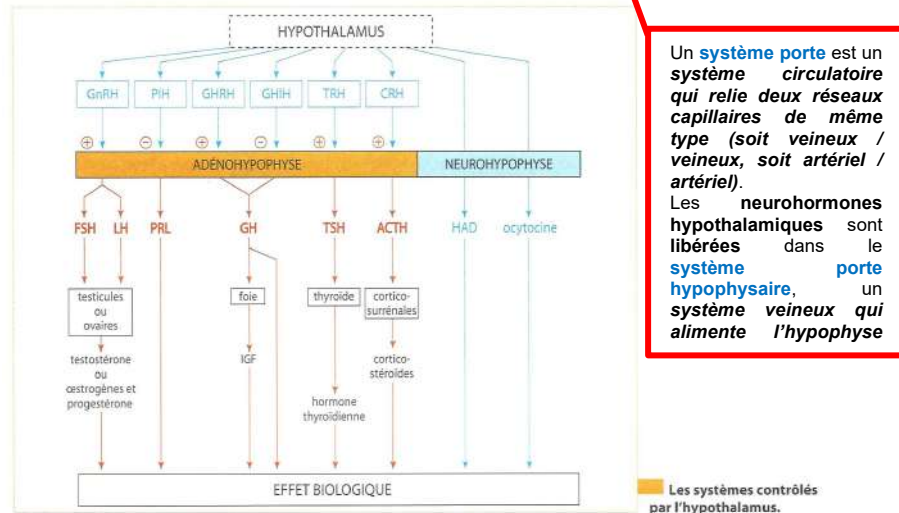
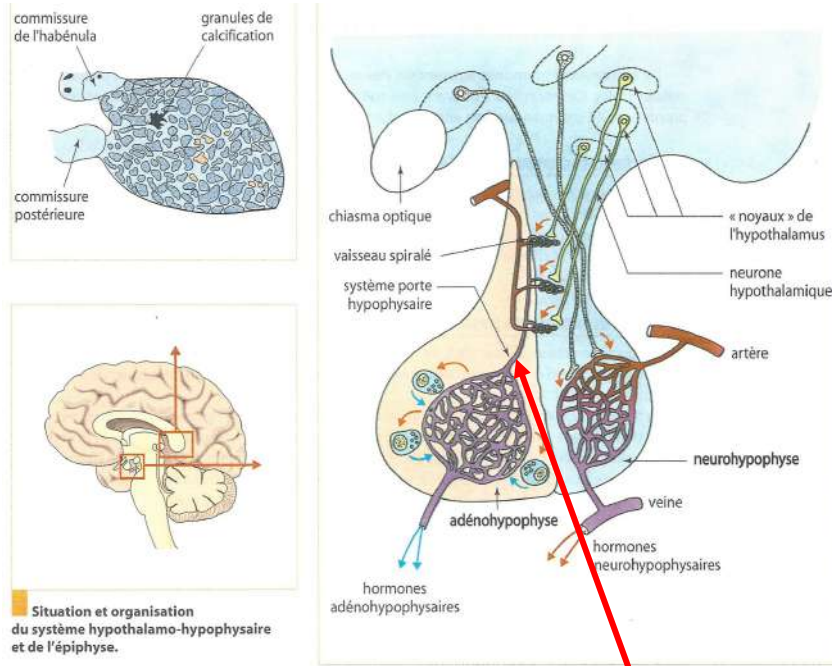


FIGURE a. Le CHH. D'après PÉRILLEUX et al. (2002).

L'hypothalamus

➤ L'**hypothalamus** est une **zone de la partie basse de l'encéphale (au niveau de la face ventrale)** correspondant à **plusieurs noyaux** (figure a). Un **noyau**, en neuro-anatomie (*ne pas confondre avec le sens du mot en biologie cellulaire !*), désigne un **ensemble de corps cellulaires regroupés dans une zone du système nerveux central**.

➤ Les axones des neurones hypothalamiques descendent ensuite dans l'hypophyse (figure a).

L'hypophyse

➤ L'**hypophyse** est une **petite glande cordiforme située sous le plancher ventral du cerveau auquel elle est reliée par l'infundibulum**. Elle est notamment en lien avec l'hypothalamus.

➤ L'**hypophyse** est composée de **deux parties** correspondant aux **deux lobes** qui la constituent (figure a) :

- L'**adénohypophyse** ou **anté-hypophyse** qui correspond au lobe antérieur. C'est la **partie glandulaire de l'hypophyse constituée de cellules endocrines sécrétrice d'hormones peptidiques**. Elle est alimentée par un système porte – dit **système hypothalamo-hypophysaire**. Ces vaisseaux proviennent de l'infundibulum où ils sont au contact de terminaisons nerveuses de neurones hypothalamiques. À cet endroit, les terminaisons axonales sécrètent des neurohormones (exemple GnRH) qui, en passant par ces vaisseaux, stimulent ou inhibent les cellules adénohypophysaires situées en aval qui, à leur tour, répondent en produisant plus ou moins d'hormones hypophysaires (exemples : LH, FSH).
- La **neurohypophyse** ou **post-hypophyse** qui correspond au lobe postérieur. C'est la **partie nerveuse de l'hypophyse constituée d'axones d'origine hypothalamique**. Les terminaisons axonales y libèrent des neuro-hormones qui partent directement dans le reste de la circulation.

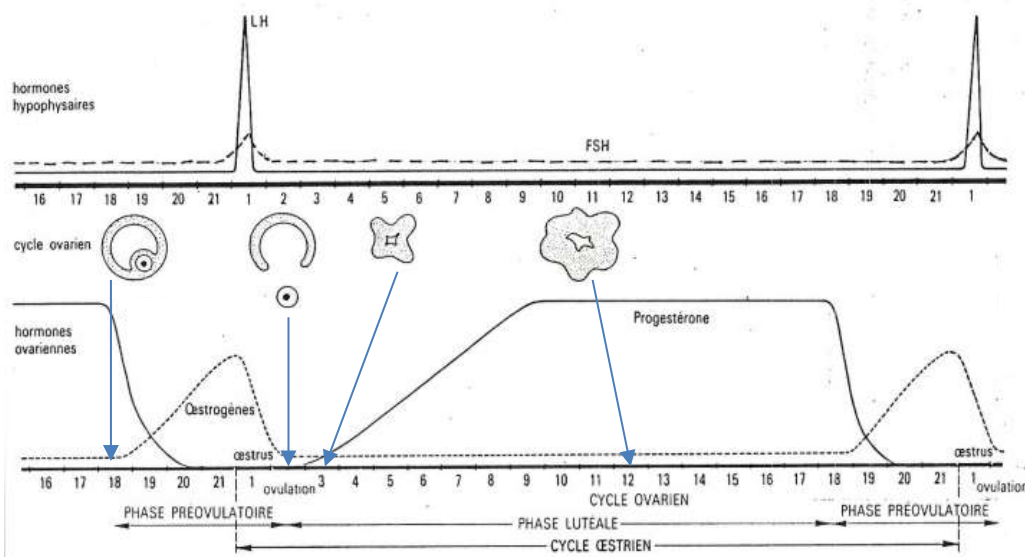
b. Chez le Taureau

- Le principe général énoncé ci-dessus (figure 75) est applicable :
 - Production de GnRH par l'hypothalamus qui stimule l'adénohypophyse ;
 - Production de LH et FSH par l'adénohypophyse qui stimule les **cellules de LEYDIG** (= cellules interstitielles) et les **cellules de SERTOLI** (= cellules de soutien) dans le testicule ;
 - Production de **testostérone** par les **cellules de LEYDIG** (et de diverses substances par les cellules de SERTOLI), ce qui :
 - Stimule l'**activité spermatogénétique** et divers processus ;
 - Exerce un **rétrocontrôle négatif** sur l'**axe hypothalamo-hypophysaire**, permettant de maintenir toutes ces hormones autour de valeurs de consigne ; la sécrétion de toutes les hormones ici mobilisées est alors **pulsatile**.

(!) La présence de femelles en activité sexuelle agit sur la sécrétion de testostérone. L'odeur de la vulve de la femelle en œstrus induit une sécrétion d'hormone gonadotrope LH et de testostérone dans les 2 heures chez le bœlier. Cela augmente la libido des mâles et leur comportement belliqueux avec les congénères.

c. Chez la Vache

- Le **contrôle de l'axe gonadotrope femelle** est un peu plus complexe (figures 75-76) ; on peut le décomposer dans les trois **phases du cycle ovarien** :
 - Phase folliculaire**
 - Un **faible taux d'œstrogènes** (produites par la **granulosa**) induit un **rétrocontrôle négatif** sur l'**axe hypothalamo-hypophysaire**, d'où de faibles taux de GnRH, et de LH et FSH produites.
 - À mesure que la **granulosa se développe**, la **quantité d'œstrogènes libérés** croît également.



▲ FIGURE 76. **Axe gonadotrope et cycle menstruel de la Vache.**

Les inhibines ne sont pas figurées.

Le terme « phase préovulatoire » remplace celui de « phase folliculaire ».

<https://vache-normande.pagesperso-orange.fr/Pages/transplantation%20embryonnaire.html>
(consultation février 2021)

Juste avant l'ovulation

- Un fort taux d'oestrogènes amène au passage d'un seuil de concentration où le rétrocontrôle devient alors positif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, d'où un pic de GnRH, et de LH et FSH ; le pic de LH / FSH déclenche
 - l'ovulation
 - l'oestrus.

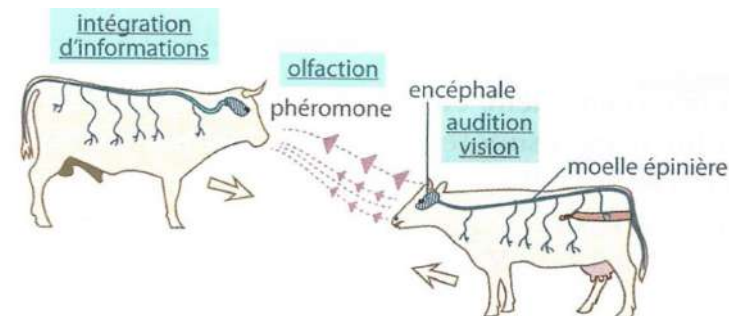
Phase lutéale

- La transformation du follicule rompu en corps jaune induit la transformation des cellules de la granulosa en cellules lutéales qui ne produisent plus les mêmes hormones : on note alors une chute de la production d'oestrogènes et une production de progestérone qui croît avec le développement du corps jaune.
- Ces hormones sexuelles induisent à nouveau un rétrocontrôle négatif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire (d'où de faibles taux de GnRH, et LH / FSH).
- En fin de phase lutéale, la production de progestérone chute en lien avec la régression du corps jaune en *corpus albicans* qui finit par dégénérer. Cette chute du taux de progestérone déclenche entre autres les règles en début de cycle suivant.

Important : en cas de nidation, l'embryon produit une hormone chorionique gonadotrope bovine (bCG, bovine chorionic gonadotrophin) qui induit le maintien du corps jaune lors de la gestation, et avec elle de la production de progestérone (revoir figure 73 page 55). Cela explique le maintien de la muqueuse utérine lors du développement.

4. Un rapprochement des partenaires sexuels aboutissant à la copulation

a. Un rapprochement des partenaires sexuels supposant une reconnaissance et une attraction entre partenaires sexuels (implication des fonctions de relation)



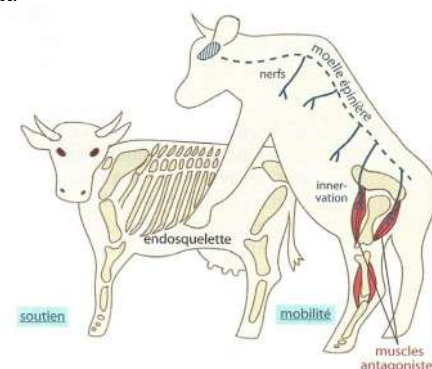
▲ FIGURE 77. **Reconnaissance entre partenaires sexuels.**

D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017)

- La détection de l'état d'oestrus de la femelle par le mâle repose sur (figure 77) :
 - La détection par voie olfactive de **phéromones**, notamment émises au niveau vulvaire par la Vache, qui agissent au niveau hormonal sur le Taureau (voir en haut de la page 58) ;

Les **molécules informatives** (généralement volatiles) qui permettent à deux organismes animaux d'une même espèce de communiquer par voie chimique s'appellent des **phéromones**.

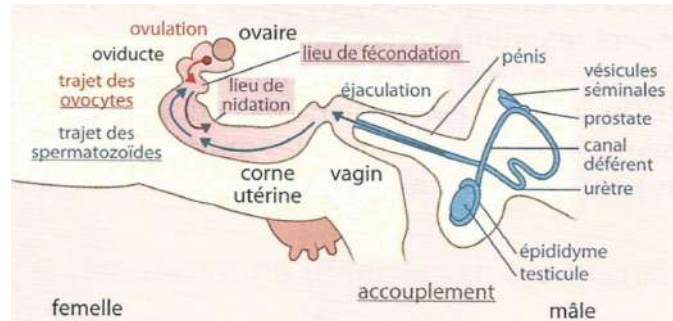
- La vision et l'audition qui permettent la **détection visuelle et auditive** du comportement oestrien de la Vache.
- Cela conduit naturellement le mâle à un **état de rut** où l'on constate :
 - Une **augmentation de la libido**, le mâle cherchant à **s'accoupler** (figure 78).
 - Une **augmentation de l'agressivité**, notamment tournée vers les autres Taureaux.



▲ FIGURE 78. **Posture d'accouplement.** D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017)

- L'accouplement se caractérise par une **monte active de la Vache par le Taureau** (ce qui sollicite les **fonctions de relation** des deux animaux : **figure 78**).

b. Un acte copulatoire où le Taureau introduit son pénis dans le vagin et y dépose son sperme



▲ FIGURE 79. **Copulation par intromission du pénis dans le vagin.**
D'après SAINTPIERRE et al. (2017)

- Lors de l'accouplement (**figure 78**), l'intromission du **pénis** du Taureau dans le vagin de la Vache en chaleurs permet l'éjaculation.

Rappels

- 7,5 milliards de spermatozoïdes sont produits quotidiennement par un Taureau.
- Un éjaculat de 3 à 5 mL comprend environ 6 milliards de spermatozoïdes.
- Les spermatozoïdes se répandent dans les **voies génitales femelles** où ils **survivent quelques jours** avant de mourir et d'être **dégradés** par l'organisme femelle. Une partie rencontre l'ovocyte dans l'oviducte où a lieu la **fécondation** (**figure 79**).

c. Un acte copulatoire rare dans la plupart des élevages modernes où il est remplacé par une insémination artificielle

- Dans les faits, il est de moins en moins fréquent que l'accouplement ait lieu de manière **naturelle**, même si cela reste pratiqué dans certains **élevages extensifs**.
- De plus en plus, on procède à :
 - La **récupération de sperme de Taureau** avec une « **vache artificielle** » exsulant des **phéromones** (ou une **vraie Vache**, mais en récupérant le **sperme avant intromission** du pénis dans le vagin) ;
 - Sa **dilution**, sa **préparation** sous formes de **paillettes** et sa **congélation** en azote liquide.
- Ce **sperme** peut ensuite être **utilisé** :
 - Dans le cadre de **fécondations in vitro** avec **implantation des embryons** dans une **Vache**.
 - Dans le cadre d'une **insémination artificielle** (cas le plus fréquent) par le vétérinaire ou l'éleveur.

(!) **L'éleveur doit être capable de repérer l'œstrus chez la Vache, devant inséminer l'animal 10 à 12 heures après l'apparition des premiers signes de chaleur.**

C. Une fécondation et un développement dans l'organisme maternel

- La **fécondation**, puis le **développement embryonnaire et fœtal** qui le suivent pendant **280-290 jours (9,3-9,7 mois)**, ont lieu dans l'organisme maternel :
 - La **fécondation** a lieu dans un **oviducte** ;
 - Le **développement embryonnaire et fœtal** (initié dans l'oviducte) a lieu dans l'**utérus**.

1. La fécondation : une réunion d'un ovocyte II et d'un spermatozoïde

- La **fécondation** (**réunion de deux gamètes haploïdes aboutissant à la formation d'une cellule diploïde à l'origine d'un nouvel organisme**) implique (**figure 79**) :
 - Un **ovocyte II** qui a été **ovulé** dans le **pavillon** d'un **oviducte** par un ovaire.
 - Un **spermatozoïde** qui a atteint l'**oviducte**.
- La **fécondation** se déroule donc dans l'**oviducte** et aboutit à la formation d'un **zygote** (nom donné à la **première cellule diploïde à partir de laquelle se développe un organisme eucaryote**) (**figure 79**).

2. La gestation : le port d'un embryon puis fœtus en développement par la Vache

- La **Vache** est un animal **vivipare** (= dont **une partie du développement de l'organisme s'effectue dans le corps maternel**).
- (!) Cela s'oppose à l'**oviparité** où le **développement est externe à l'organisme maternel, au sein d'un œuf**.

a. Développement, développement embryonnaire vs. post-embryonnaire, gestation : quelques repères conceptuels

- On appelle :
 - **Développement** : le **processus d'édification d'un organisme pluricellulaire adulte à partir d'un zygote produit par fécondation**.
Voir le chapitre sur le développement des Amphibiens (BCPST 2)
- (!) On distingue chez les Animaux :
 - le **développement embryonnaire (DE)** = **embryogenèse [sens large]** : **période qui va de la fécondation jusqu'à la parturition chez les espèces vivipares (ou jusqu'à l'éclosion, dans le cas d'une espèce ovipare)**.

Chez les Mammifères, il est d'usage de distinguer :

- L'**embryon** : **stade qui va de la fécondation à l'acquisition des principaux organes et tissus**.
- Le **fœtus** : **stade de développement qui commence après la fin de l'état embryonnaire (tel que défini ci-dessus), les principaux organes étant alors en place mais nécessitant encore un développement, et se poursuit jusqu'à la parturition**.

Ce que la **zoologie classique** appelle « **développement embryonnaire** » au **sens large** correspond donc au « **développement embryonnaire et fœtal** » (qu'on peut alors appeler **développement prénatal** ou **développement intra-utérin**) des médecins et des vétérinaires.

- le **développement post-embryonnaire (DPE)** : **période qui va de la parturition [chez les espèces vivipares] (ou de l'éclosion, chez les ovipares) à l'acquisition de l'état adulte notamment caractérisé par la capacité de reproduction**.

Chez les Mammifères, le **développement post-embryonnaire** est **direct**, c'est-à-dire que l'**organisme issu de la parturition (ou de l'éclosion) ressemble à l'adulte, hormis sa taille et la capacité de reproduction non encore fonctionnelle**.

Cela s'oppose à un **développement post-embryonnaire indirect** où l'**organisme issu de l'éclosion (rarement d'une parturition) est assez différent structuralement de l'adulte et se**

trouve être une larve qui subira des transformations plus ou moins importants avant d'acquies le plan d'organisation adulte. Ex. chenille / papillon adulte

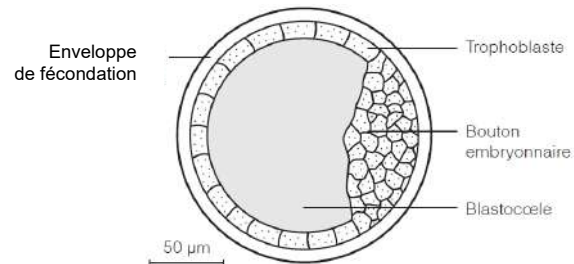
- **Gestation** (« **grossesse** » chez la femme) : **période où une femelle Mammifère porte, dans son utérus, un embryon (puis fœtus) qui y subit son développement jusqu'à parturition.**
(!) Une **femelle en gestation** est dite **gestante** ou **gravide**.

b. Un développement prénatal de 290 jours (embryonnaire + fœtal)

- Le **développement prénatal** (temps qui s'écoule de la fécondation à la naissance) dure en moyenne **290 jours** :
- **42 jours de développement embryonnaire au sens strict** : l'**embryon** ainsi défini n'a pas encore les formes n'a pas encore acquis les principaux organes et tissus.
- **le reste en développement fœtal** : le **fœtus** possède les principaux tissus et organes en place, même s'ils nécessitent encore un développement.

a. La progestation : un début de développement embryonnaire à l'état libre (production d'hormones + nutrition par sécrétions utérines) (env. 20 j)

- On peut appeler **progestation** la **période de développement initial** où l'**embryon n'est pas encore nidé (fixé) dans l'utérus**. Elle dure environ 19-20 jours.
- Après **fécondation**, l'**embryon** se développe dans l'**oviducte (= trompe)**.
- **Quatre jours** après la **fécondation**, l'**embryon** comprend **19 à 32 cellules** et entre alors dans l'**utérus** où il poursuit son **développement** à l'état libre pendant une **quinzaine de jours**.



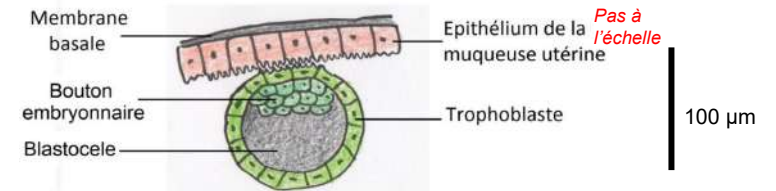
▲ FIGURE 80. **Blastocyste de Bovin.** D'après SEGARRA et al. (2014)

- Pendant la **progestation**, l'**embryon** (figure 80) fait à peu près la **taille de l'ovocyte initial** (env. 150 µm) et comprend toujours l'**enveloppe pellucide** (transformée en **enveloppe de fécondation**) hérité de l'**ovocyte**. 9 jours après l'**ovulation**, les premières divisions cellulaires ont permis d'obtenir le stade blastocyste qui comprend (figure 80) :
 - Une **cavité centrale** : le **blastocœle**.
 - Une **couche cellulaire périphérique** qui **participera à la formation du placenta** : le **trophoblaste**.
 - Un **amas cellulaire** qui sera à l'**origine de l'organisme en développement** : le **bouton embryonnaire**.
- L'**ovocyte II** de Vache **ne possède pas de réserves nutritives** (il est dit **alécithe**) ; le **jeune embryon** qui en découle est donc **nourri par les voies génitales femelles**

(paroi de l'oviducte, paroi utérine) via des **sécrétions** de **glycogène** et **glycoprotéines**.

β. La nidation sur la muqueuse utérine (~ J20)

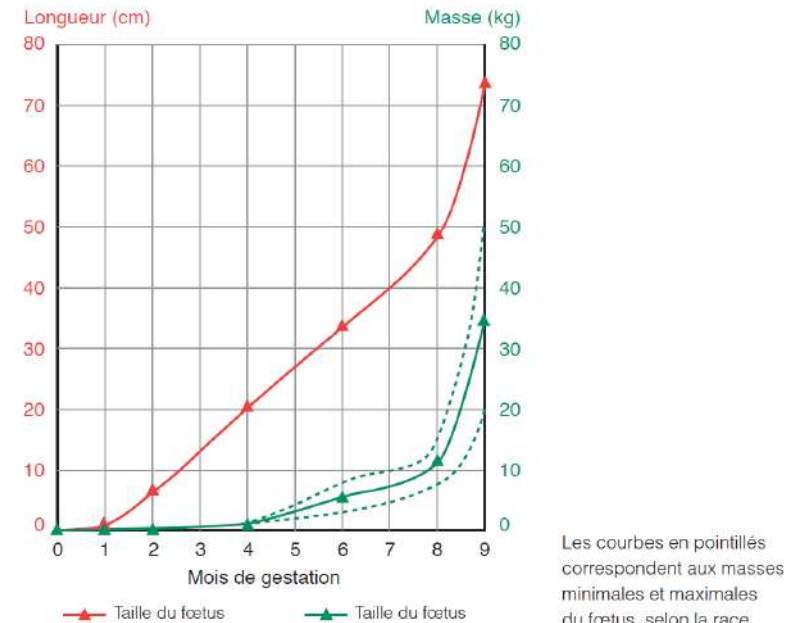
- **Vingt jours** en moyenne après l'**ovulation**, le **blastocyste** se **fixe sur la muqueuse utérine** après s'être débarrassé de l'**enveloppe vitelline** : c'est la **nidation** (figure 81).



▲ FIGURE 81. **Nidation de Bovin.** D'après WALLER (2014)

γ. La gestation *stricto sensu* : un développement embryonnaire puis fœtal fixé dans l'organisme maternel jusqu'à la parturition

- Le **reste du développement embryonnaire** (jusqu'au **J42**) puis le **développement fœtal** (tableau XV, figure 82) se déroulent **dans l'utérus** où l'organisme en développement est en lien avec l'**organisme maternel** via des **annexes embryonnaires** (voir c). C'est la **gestation** au sens strict.



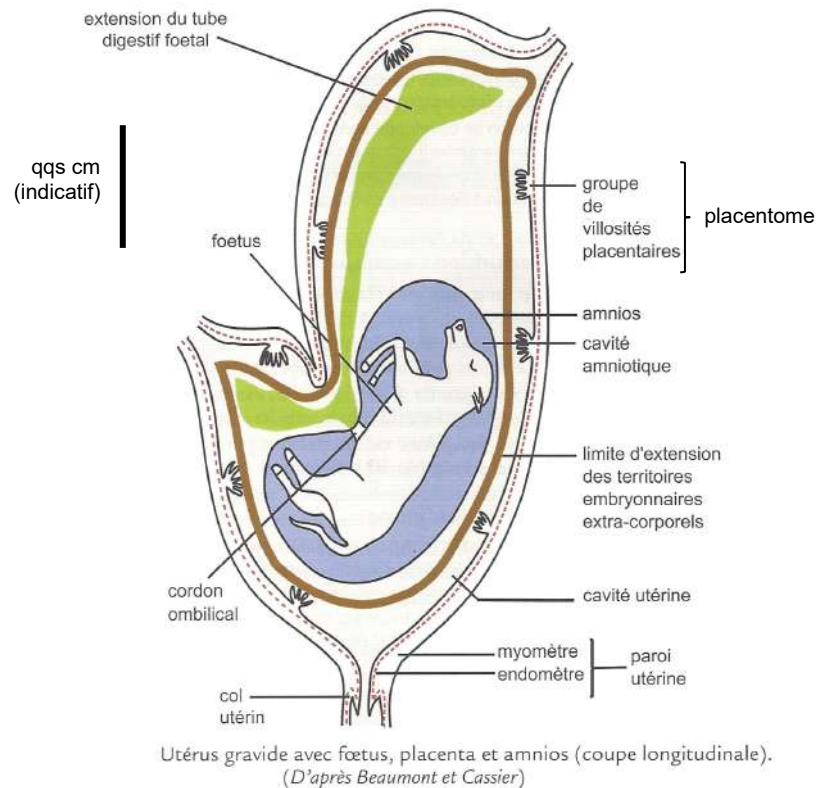
Les courbes en pointillés correspondent aux masses minimales et maximales du fœtus, selon la race.

▲ FIGURE 82. **Évolution de la taille et de la masse du fœtus au cours du développement prénatal.** D'après SEGARRA et al. (2014)

▼ TABLEAU XV. Quelques repères dans le développement bovin. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

		Date d'apparition (en jours de gestation)
Période embryonnaire	Premiers battements cardiaques	19-24
	Ébauche des membres antérieurs	28-31
	Ébauche des membres postérieurs	30-33
Période fœtale	Premiers poils	90
	Éruption des dents	110
	Corps entièrement recouvert de poils	230

c. L'importance des annexes embryonnaires (amnios et placenta)



▲ FIGURE 83. Fœtus bovin dans un utérus de Vache. D'après PEYCRU *et al.* (2017)

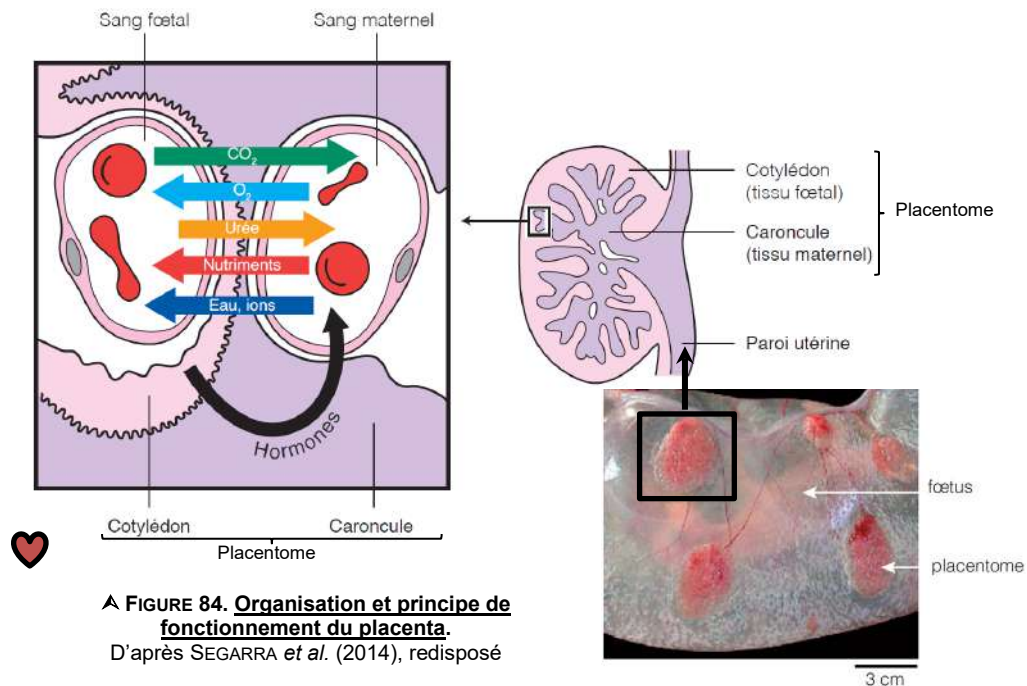
- Enfermé dans l'utérus (figure 83), l'embryon puis fœtus est dépendant de sa mère dans l'acquisition de ressources nutritives, l'évacuation de déchets, mais aussi sa protection physique et immunitaire. On appelle **annexes embryonnaires** les **structures produites par l'embryon (et conservées par le fœtus) ne mettant pas en place des organes du jeune en développement**.

a. L'amnios, une enveloppe épithélio-conjonctive délimitant la cavité amniotique remplie d'un liquide dans lequel baigne et se développe l'organisme

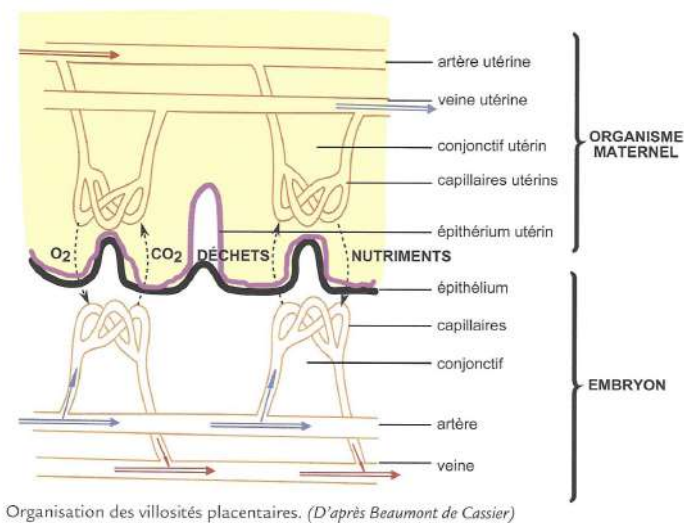
- L'**amnios** (figure 83) est une **enveloppe épithélio-conjonctive, délimitant la cavité amniotique elle-même remplie de liquide amniotique, dérivant du blastocoele et où l'organisme se développe**. D'un volume de 15 L environ à son paroxysme, il n'en reste que 5 L peu avant la parturition. Ce liquide, sans cesse renouvelé, est produit par des **sécrétions de l'utérus, l'amnios lui-même et l'urine fœtale**.
- **Fonctions**
- Il s'agit du **milieu de vie du fœtus**, le **protégeant** de la **déshydratation** (on peut donc le considérer comme une **adaptation au milieu aérien**).
- Il constitue aussi un « **matelas** » **hydraulique** qui **protège** l'embryon des **chocs mécaniques**.
- Il est en partie **ingéré** et **absorbé** par le **fœtus** (au niveau buccal, pulmonaire et intestinal), participant donc en partie de sa **nutrition**, malgré la présence d'urine. (!) Notez que l'**excrétion des déchets** est assurée au travers du **sang maternel via le placenta** (voir ci-dessous).

β. Le placenta, structure materno-fœtale assurant des échanges trophiques (et d'autre nature) entre mère et organisme en développement

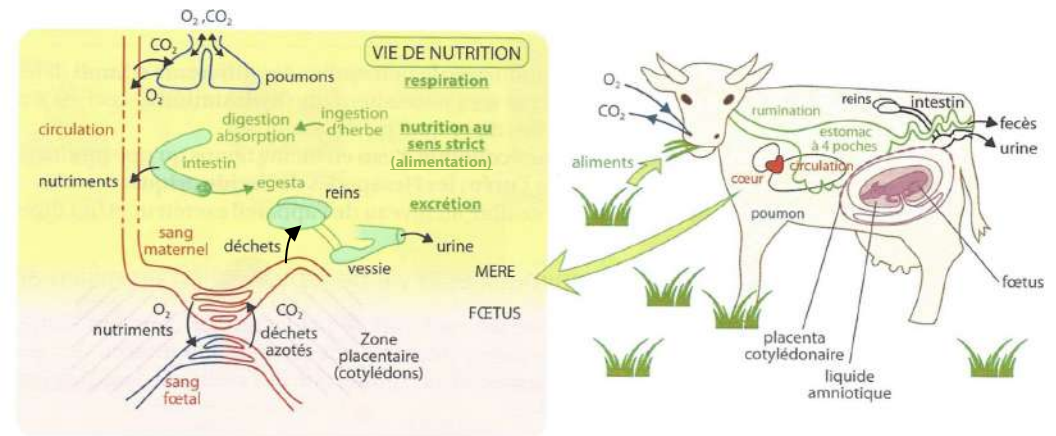
- Le **placenta** est un **ensemble épithélio-conjonctif, très vascularisé, constitué de tissu maternels et embryofœtaux permettant les échanges de matière entre organisme maternel et organisme en développement** (figures 83-84). Il est relié au **cordon ombilical** (figure 83) du fœtus.
- Le placenta s'organise en **petits amas tissulaires en boule**, les **placentomes**, eux-mêmes constitués de **tissu maternel (caroncule)** et de **tissu fœtal (cotylédon) interpénétrés** – mais **jamais fusionnés** ! – sous forme de **villosités** (figure 84).
- Le **placenta** permet (figures 84-85) :
 - Des **échanges « trophiques »** (au sens le plus large de la notion de nutrition) :
 - **Mère → fœtus** : **nutriments** (glucose, acides aminés, lipides, vitamines...), **dioxygène**, **eau**, **ions**...
 - **Fœtus → mère** : **Dioxyde de carbone**, **ions en excès**, **déchets azotés** (dont **urée**)...
 - Des **échanges d'hormones**, entre autres celles qui assurent le **maintien du corps jaune dans l'ovaire** (qui continue donc de **sécréter de la progestérone**, ce qui contrôle le **maintien de l'endomètre utérin**). (!) Contrairement à ce qu'on observe chez la Femme, les **anticorps maternels ne passent pas** dans le sang du fœtus !
- Il est à noter que, le **fœtus étant incapable d'échanger directement avec l'environnement extérieur**, le **placenta a donc un rôle central** qui, de manière **indirecte** et **via le sang maternel**, **relie d'une certaine façon le veau en développement avec l'extérieur** (figure 86).



▲ FIGURE 84. Organisation et principe de fonctionnement du placenta.
D'après SEGARRA *et al.* (2014), redispósé



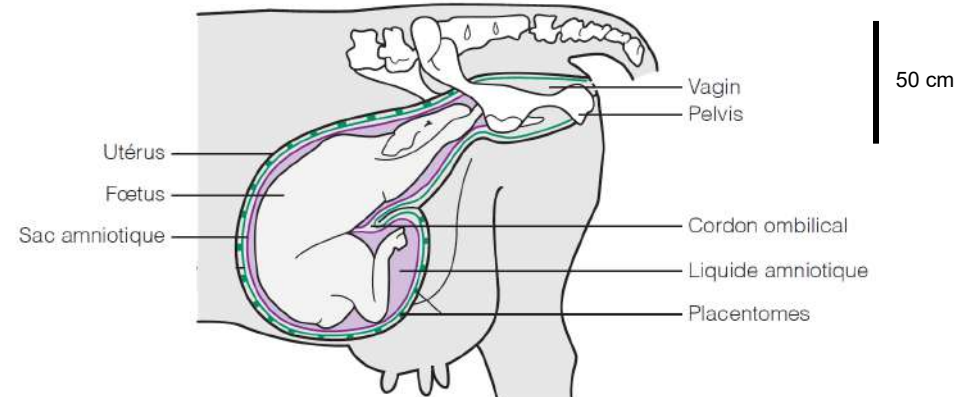
▲ FIGURE 85. Dimension respiratoire des échanges au travers de la barrière placentaire.
D'après PEYCRU *et al.* (2017), modifié.
En rouge : sang hématosé. En bleu : sang pauvre en dioxygène.



▲ FIGURE 86. Liens nutritionnels entre organisme maternel et embryon (ou fœtus), et lien avec l'environnement : inscription dans la fonction globale de nutrition.
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017), modifié

3. La parturition ou mise bas : la naissance du jeune (ici nommée vêlage)

a. Travail, expulsion du jeune, délivrance : un vêlage qui dure quelques heures



▲ FIGURE 87. Veau en position de parturition.
D'après SEGARRA *et al.* (2014), redispósé

- On appelle **vêlage** la **naissance du veau** (nom donné au jeune chez les Bovins). Du point de vue de la **Vache**, on parle de **mise bas** ou encore de **parturition** (on évitera le terme « accouchement », plutôt humain). Il est permis par les **contractions** du **myomètre**, **muscle utérin**. Le **nouveau-né** pèse en moyenne **30-40 kg**.

Le **vêlage** intervient au terme des **280-290 jours de développement prénatal** et dure en général **quelques heures**. L'animal, **rompant les enveloppes** dans lesquelles il est contenu, sort par les **pattes antérieures** et la **tête** (figure 87). Souvent, l'éleveur scrute ce moment et **aide** – parfois avec un **vétérinaire**, notamment en cas de complications – la **Vache à mettre bas**.

- **En amont de l'expulsion du jeune** : les **premières contractions de l'endomètre et la dilatation du col de l'utérus** portent le nom de **travail**. L'animal **se couche** et se met **en position d'attente**, signe pour l'éleveur que le vêlage est à point.

C'est généralement à ce moment que **se rompent les enveloppes (notamment l'amnios) contenant le jeune, aboutissant à un épanchement de liquide amniotique** : c'est la « **perte des eaux** ».

- **En aval de l'expulsion du jeune** : c'est-à-dire l'expulsion du placenta qui, chez la **Vache** (et contrairement à la Femme), laisse l'**utérus relativement intact** et ne produit généralement **pas d'hémorragie**.

b. Un déclenchement hormonal

- Dans les **48 heures précédant la naissance**, le **fœtus** sécrète du **cortisol**, ce qui **modifie l'équilibre hormonal** et fait **chuter la production de progestérone placentaire** tout en activant la **production d'œstrogènes placentaires**.
- **Oestrogènes et progestérone** activent :
 - La production de **prostaglandines** par l'**utérus** qui entraînent sa **contraction** (ainsi que la maturation du col utérin) ;
 - L'activation de l'**hypothalamus** qui produit de l'**ocytocine** libérée au niveau de la **neurohypophyse**. Cette hormone **augmente les contractions** et aboutit à l'**expulsion du jeune**.

c. Une conséquence subséquente de la parturition : l'anœstrus post-partum (30-80 j)

- On appelle **anœstrus** une **période sans chaleurs** ; il est qualifié de **post-partum quand il survient suite à une parturition**. Cette période dure 30 à 80 jours en fonction des individus. Durant cette **période**, la **Vache** n'est **pas disponible à l'accouplement** pendant que son **cycle menstruel** se remet **progressivement en marche**.

D. Des soins au jeune (veau) et son alimentation par la mère, le lait étant souvent détourné par l'homme pour sa propre alimentation

1. Des contacts physiques et une reconnaissance associés notamment au léchage

- Dès la **naissance**, la **Vache** lèche son **veau** (ce qui **favorise sa récupération** en absorbant un **peu de liquide amniotique** – même si le **placenta** qu'elle consomme est de loin plus **nourrissant**). Ce **comportement** qui perdure **jusqu'au sevrage voire ensuite** permet, outre la **toilette** du jeune, de créer un **lien entre les deux animaux** et favorise une **reconnaissance olfactive mère-jeune**. La **tétée** du veau favorise aussi ce **rapprochement** et l'établissement de la **relation**.

Il arrive aussi que les **Vaches primipares** (= **qui viennent de mettre au monde leur premier veau**) soient un peu **décontenancées** face à leur jeune **progéniture**... L'éleveur peut alors « **saler** » le **veau**, ce qui favorise le **rapprochement** de la **mère** qui se met ainsi à **lécher son petit** (salé).

2. Un lien trophique majeur entre mère et jeune : la lactation

Désormais **limite programme**

a. Des liquides nutritifs d'origine maternelle alimentant le jeune : le colostrum (6 j) puis le lait (jusqu'au sevrage)

▼ TABLEAU XVI. **Composition du colostrum et du lait de Vache (pourcentages massiques)**.
D'après PEYCRU *et al.* (2017)

COMPOSITION DU COLOSTRUM ET LAIT DE VACHE (% PONDÉRAUX MOYENS).					
	eau	Sels minéraux	lactose	lipides	protéines
colostrum	76	1,1	2,7	6,7	13,5
lait	87,5	0,75	4,6	3,5	3,65

▼ TABLEAU XVII. **Composition du lait de Vache (concentrations massiques)**.
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

Composants	Eau	Matière grasse, dont : Glycérides Phospholipides Stérols	Matières azotées, dont : Caséines Protéines solubles (globulines, albumines...) Substances azotées non protéiques	Lactose	Sels minéraux, dont : Calcium (associé aux caséines) Phosphore Potassium Sodium Magnésium Chlore
g/L	905	36-40 36 0,4 0,1	33 27 5 1	48-50	7-8 1,25 1 1,5 0,5 0,1 1

Les caséines sont organisées en particules sphériques de 0,05 à 0,3 µm de diamètre. Ces particules sont appelées « micelles » de caséines.

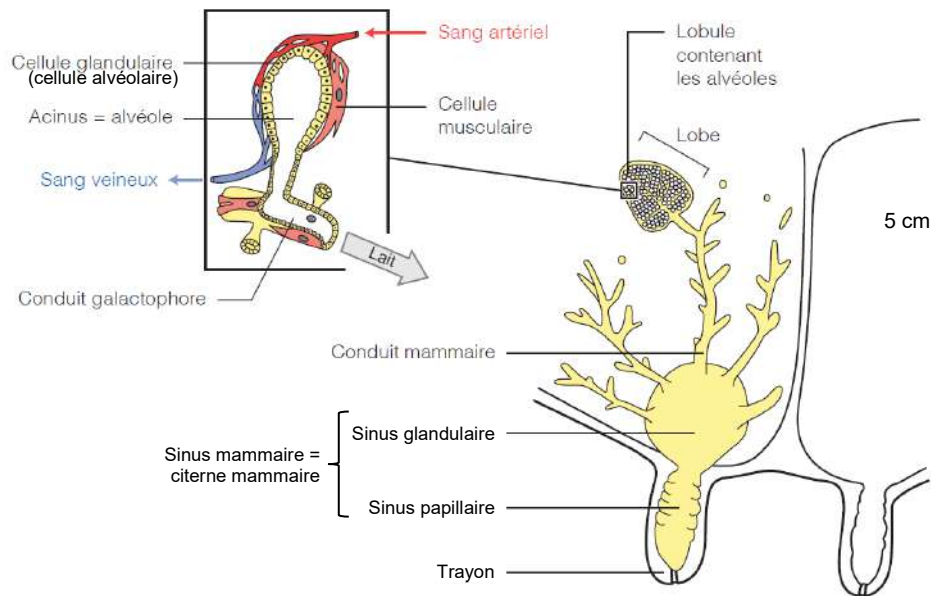
- La **Vache** produit **deux liquides nutritifs** (tableaux XVI-XVII) consommés par le **Veau** et contenant tous les **éléments nécessaires** à son alimentation :
 - Le **colostrum**, **liquide produit dans les six premiers jours, particulièrement riche en lipides et protéines, apportant également des anticorps au jeune** ;
On rappelle que, chez les **Bovins**, les **anticorps ne passent pas la barrière placentaire** !
 - Le **lait**, **liquide produit jusqu'au sevrage (ou jusqu'à tarissement de la Vache) et plus riche en lactose (glucide : dimère glucose-galactose β1-β4) que le précédent**. Une Vache en produit en moyenne environ 25 L • j⁻¹.

On appelle **sevrage** le **moment où le veau cesse de téter sa mère, qu'il soit artificiellement provoqué par l'éleveur ou naturel**. Le processus est **progressif** et intervient **généralement entre 6 et 9 mois après la naissance**, alors que la part d'herbe et/ou fourrage ne cesse d'augmenter dans son régime alimentaire. Le **moment où le veau commence à manger autre chose que le lait maternel** s'appelle **mise à l'herbe** (souvent après 1,5-2 mois d'alimentation lactée exclusive).

On appelle **tarissement** le moment où, suite à l'arrêt de la tétée du veau ou de la traite, la Vache cesse de produire du lait. En élevage où il y a production intensive de lait, le processus intervient généralement au bout de 10 mois (voir d, page 66 avec la figure 92).

b. La production de lait (lactogénèse = lactation) et sa distribution, des processus ayant lieu au niveau des glandes mammaires

- La **lactogénèse (= lactation)** est un **processus de production de lait dans les glandes mammaires** initié lors de la **gestation** et qui se déroule jusqu'à ce que la **sollicitation des glandes mammaires** (par le **veau** ou par la **traite**) cesse.
- La Vache possède **quatre glandes mammaires** (ou **mamelles**, ou **pis**) terminées chacune par un **trayon** (et non un « pis », cet usage répandu étant impropre) qui constitue l'organe de tétée (et aussi, par conséquent, de traite) **distributeur de lait**.
- Il s'agit d'une **glande exocrine acineuse** (figure 88) : les **cellules épithéliales sécrétrices de type acineux (= cellules alvéolaires)** sont rassemblées en lobules puis lobes, et enveloppées dans du **conjonctif** richement **vascularisé**. Elles sécrètent le **lait** qui, de la **lumière** de chaque acinus, se collecte dans des **conduits galactophores** convergeant vers des **conduits mammaires** se réunissant en un **sinus mammaire** ou **citerne mammaire**, composée d'une **partie glandulaire** et d'une **partie papillaire**. Des **muscles lisses** assurent la circulation du lait jusqu'aux **citernes**.

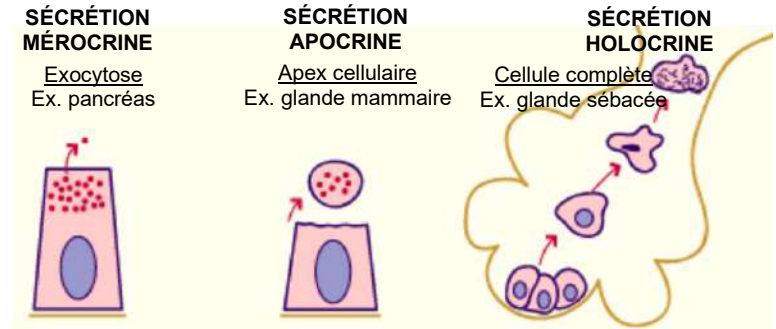


▲ FIGURE 88. **Organisation de la glande mammaire.**
D'après SEGARRA et al. (2014), modifié

- La **glande mammaire** est une **glande apocrine**, c'est-à-dire que **l'apex de la cellule s'écoule en lambeaux qui constituent la sécrétion**.

On peut distinguer **trois grands types de glandes exocrines** (= à **sécrétion dans les lumières ou à l'extérieur de l'organisme**) en fonction du mode de sécrétion (figure 89) :

- les **glandes holocrines** **sécrètent des cellules complètes, qui souvent exposent par rupture complète de la membrane plasmique**. C'est le cas par exemple de la **glande sébacée**.
- les **glandes apocrines** **sécrètent leur contenu par rupture de la membrane plasmique au niveau d'un pôle de la cellule, une partie du contenu cellulaire s'évacuant avec la sécrétion**. C'est le cas par exemple de la **glande mammaire**.
- les **glandes mérocrines** **sécrètent leur contenu par exocytose du contenu de vésicules de sécrétion**. C'est le cas par exemple du **pancréas**.

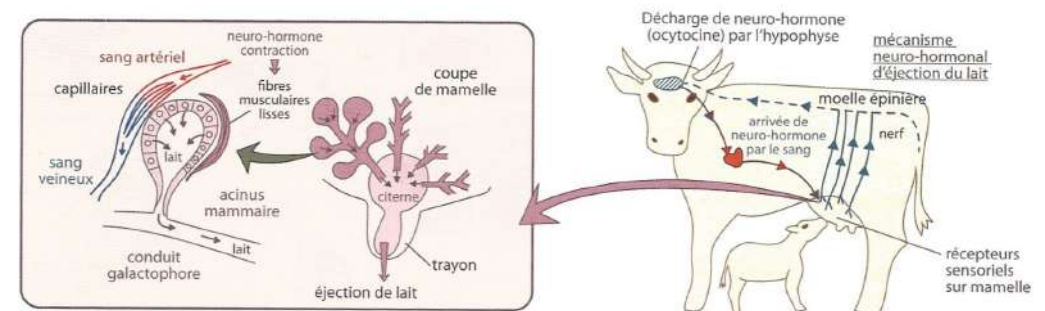


▲ FIGURE 89. **Typologie des glandes animales par type de sécrétion (glandes exocrines).**
<https://www3.unifr.ch/apps/med/elearning/fr/epithel/epithel11.html>
(consultation février 2021)

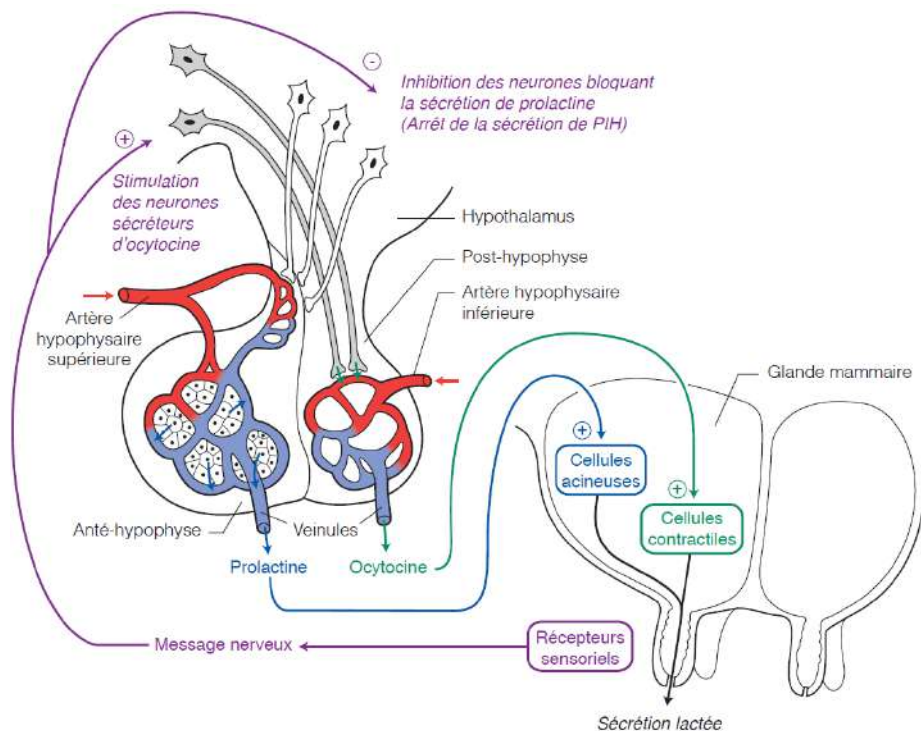
(!) Les **glandes endocrines** (= à **sécrétion dans les liquides circulants**) sont toujours **mérocrines**.

- La **distribution du lait** est « **mécanique** » : la **tétée** ou la **traite** (qui reproduit mécaniquement la tétée) est permise par l'effet de **succion** couplé à une **pression exercée sur les citernes mammaires**.

c. La production de lait (lactogénèse = lactation), un processus contrôlé hormonalement et entretenu par la succion (ou la traite)



▲ FIGURE 90. **Organisation fonctionnelle de la glande mammaire et contrôle simplifié de la lactation.** D'après SAINTPIERRE et al. (2017)

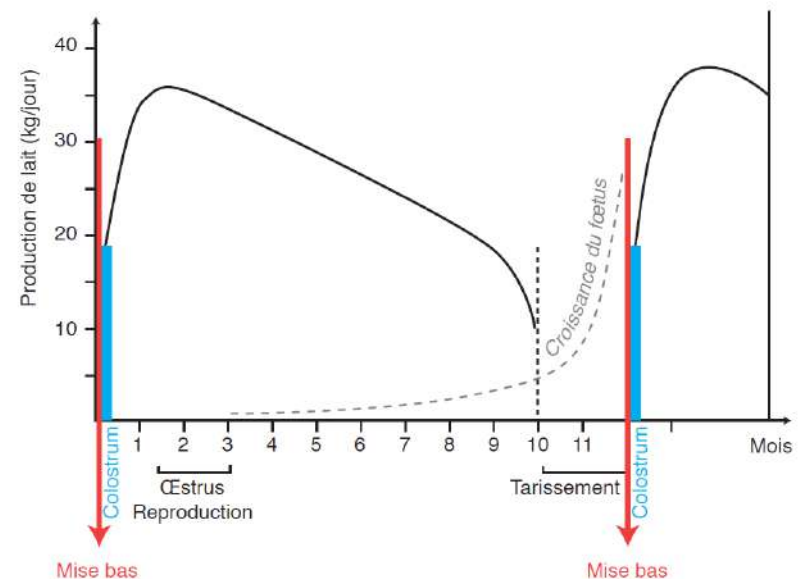


▲ FIGURE 91. Contrôle de la lactation.
D'après SEGARRA et al. (2014)

- Lors de la **fin de la gestation**, les **hormones placentaires** induisent une **préparation** de la **glande mammaire** à la **lactation** (hausse de volume, multiplication cellulaire...).
- L'**ocytocine** (neurohormone neurohypophysaire – donc **sécrétée par des neurones hypothalamiques dans le sang**) responsable de la **parturition** déclenche également la production du **colostrum**, ainsi disponible pour le veau nouveau-né.
- Ensuite (figure 91), pendant tout le **temps de l'allaitement** ou de la **traite**, les **mécanorécepteurs** activés par la **tétée** ou la **traite** envoient des **messages nerveux** au **complexe hypothalamo-hypophysaire** qui sécrète de la **prolactine**, **hormone adénohypophysaire stimulant la sécrétion lactée**, et de l'**ocytocine**, **hormone neurohypophysaire stimulant les contractions des muscles lisses mammaires**.
- La **production de lait** atteint son **maximum** autour d'un **mois et demi** après la **naissance** puis **décroît progressivement** et **s'arrête** lorsque les **stimulations** du veau ou des appareils de traite **s'arrêtent** : la **Vache** est alors **tarie** (figure 92).

d. La production de lait (lactogenèse = lactation), un processus détourné par l'Homme pour sa propre alimentation en maîtrisant la fréquence de reproduction de la Vache

- Le **lait de Vache** est une **ressource alimentaire majeure** mondialement utilisée par l'Homme (en France : environ $45 \text{ L} \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{habitant}^{-1}$).
- Très rapidement (quelques jours... parfois dans les **24-48 h**), l'éleveur laitier **sépare** le **veau** de sa **mère** car il aurait tendance à **boire une grosse partie du lait**. Cela peut parfois générer un **stress** chez la **mère** comme chez le jeune*... mais la production laitière est à ce prix !
* Le **stress du veau** est toutefois **inexistant** ou **presque** si la **séparation** est **très précoce** (dans les 24 h).
De plus, certaines **races typiquement laitières** ont **peu d'instinct maternel** et **supportent très bien la séparation**.
- Le **colostrum** n'est **pas commercialisable**, c'est pourquoi il n'y a que **peu d'intérêt à séparer mère et jeune à ce stade** (même si un certain nombre d'éleveurs pratiquent tout de même une **séparation précoce**, plus **simple techniquement** et pour éviter le **stress du veau**, et récoltent alors le colostrum pour le veau) mais ensuite vient la **production de lait** (figure 92). La production de lait **croît le premier mois et demi** puis **décroît**... Lors de la réapparition de l'**œstrus**, la **Vache** est **mise en reproduction** car une **production continue de lait** implique des **gestations régulières**. Autour du **dixième mois de traite**, la **production de lait** chute alors que le **nouveau fœtus se développe intensément** ; on **cesse** donc la **traite** pendant en général **deux mois**, ce qui provoque le **tarissement**, évitant ainsi une **fatigue excessive** de la **Vache** pour une **production lactée** devenue **minime**.



▲ FIGURE 92. Temporalité de la lactation chez une Vache d'élevage laitier.
D'après SEGARRA et al. (2014)

E. Le développement post-embryonnaire du veau ou croissance

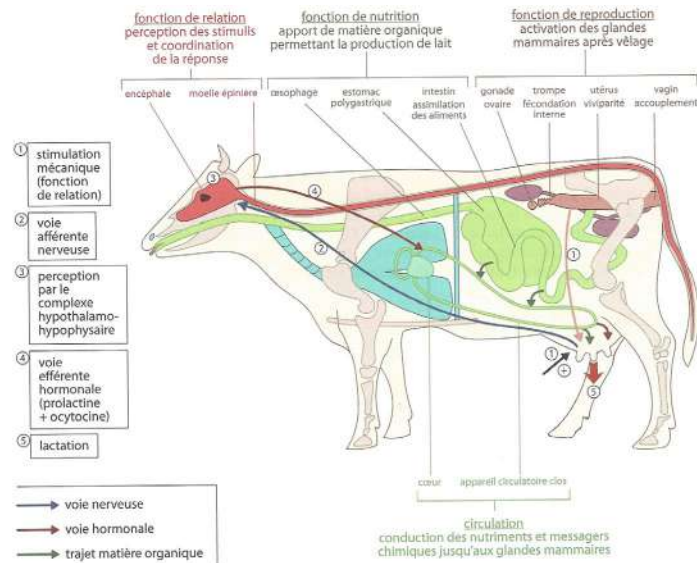
- Le veau (jusqu'à six mois) grandit en **génisse** (jeune femelle) ou **taurillon** (jeune mâle) (jusqu'à deux ans) selon un **développement post-embryonnaire direct** ; on parle de **croissance**. Les **jeunes femelles** sont souvent destinées à la **reproduction** et la **production laitière** alors que les **mâles** sont destinés à la **production de viande** ; ils sont alors **souvent castrés**, devenant des **bœufs**, même si quelques **mâles reproducteurs (taureaux)** peuvent être conservés.
- La **croissance** dure entre 1,5 an et 3 ans, en **moyenne 2 ans**, avant acquisition de la **maturité sexuelle**. Si les vaches laitières sont souvent **sacrifiées vers 5-6 ans**, elles peuvent **vivre jusqu'à vingt ans**. Une **vache adulte** pèse entre 600 et 1000 kg (en moyenne **800 kg**) – et un **mâle adulte** entre 1000 et 1400 kg (en moyenne **1200 kg**).

Deux anecdotes :

- Les « **dents de laits** » de l'animal, apparaissant vers **1,5 mois** et lui permettant alors de **mastiquer** ses premiers **aliments solides**, sont **remplacées** par la **dentition définitive** vers l'âge de **quatre ans**, alors que l'animal est déjà **adulte**.
- Lors du passage à un **régime herbivore**, le couple **rumen-bonnet** augmente en **volume** (d'un **facteur 15** en deux mois !), l'animal passant d'une **digestion monogastrique** (passage direct de l'œsophage à la caillette) à une **digestion vraiment polygastrique**.

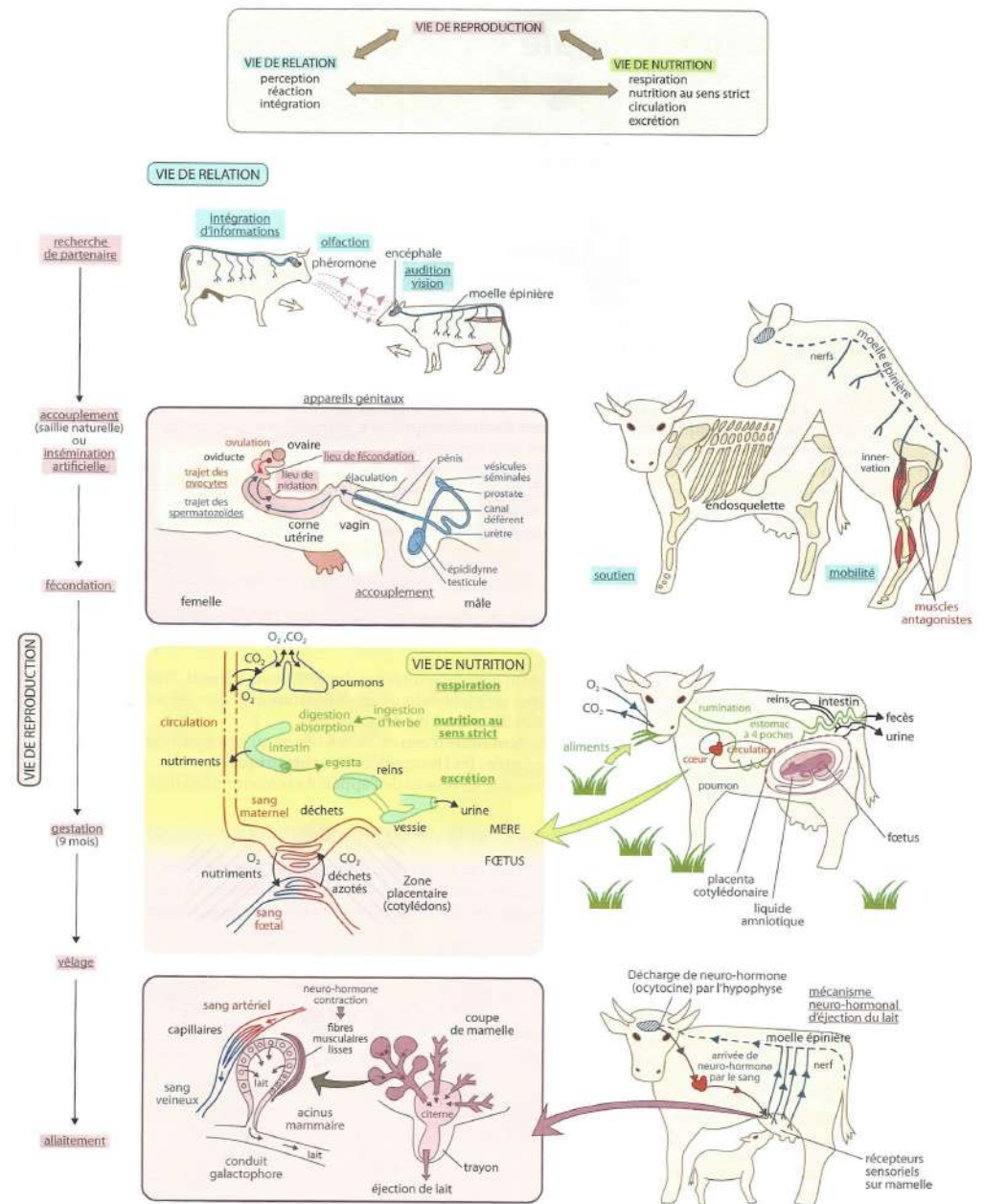
F. La reproduction, fonction centrale et intégrative qui implique les fonctions de nutrition et de relation

- Les schémas suivant vous aident à **replacer les fonctions de reproduction** dans une perspective **intégrée** en lien avec les **autres grandes fonctions** (figures 93-94).



Les interrelations entre fonctions dans le cas de la lactation chez la Vache.

▲ FIGURE 93. **La lactation : un exemple mobilisant de nombreuses fonctions.**
D'après DAUTEL et al. (2017)



▲ FIGURE 94. **Fonctions de reproduction et interrelations fonctionnelles.**
D'après SAINTPIERRE et al. (2017)

G. Un contrôle de l’Homme sur la reproduction de la Vache

- Des **techniques récentes** permettent d’améliorer la **sélection bovine** :
 - **Insémination artificielle** de Vaches avec du **sperme** de **Taureaux reproducteurs** intéressants (on peut ainsi féconder **50 000 Vaches** avec un même Taureau !);
 - **Transferts d’embryons** (on soumet une **Vache** dont on veut **évaluer les qualités** à des **ovulations multiples** par traitement hormonal, on réalise des **fécondations *in vitro*** puis on **implante les embryons** dans de **nombreuses Vaches**);
 - **Sélection génomique** (prédiction des **caractéristiques phénotypiques** par **séquençage**).

Bilan

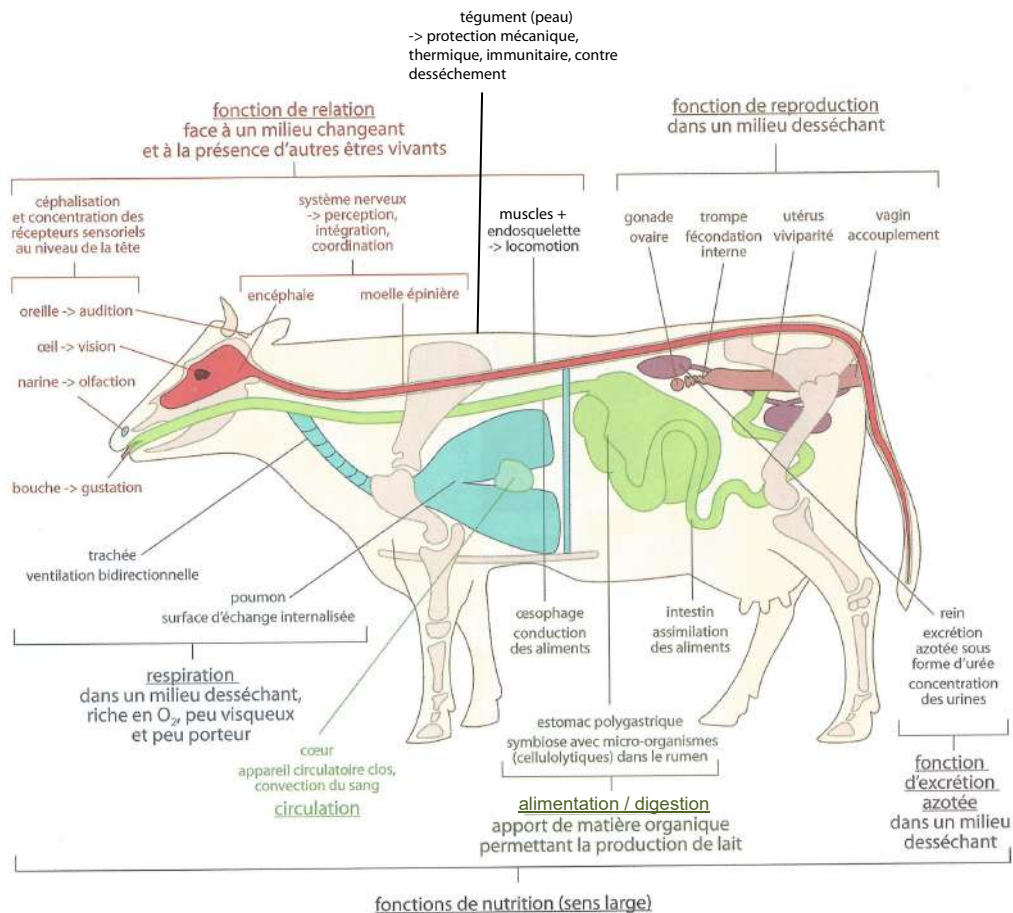


▼ **TABLEAU XVIII. Principales fonctions et appareils associés chez la Vache.**
D’après PEYCRU *et al.* (2017)

	Fonction	Appareils, organes	Mots-clefs
Fonction de relation	Fonction motrice	Squelette, muscle	Membre redressé, onguligrade
	Sensibilité	Organes des sens	Vision, audition, chimio-sensibilité, somesthésie
	Thermorégulation	peau	Poils, endothermie
	Immunité	Peau, système immunitaire, placenta	Immunités non spécifique et spécifique
	Intégration neuro-sensorielle et neuro-endocrine	Système nerveux	Cerveau, moelle épinière, nerfs
Fonction de nutrition	Nutrition	Étage buccal	Mastication, dent, langue, salive
	Digestion	Appareil digestif	Rumination, panse, symbioses
	Circulation	Appareil circulatoire	Cœur, vaisseaux
	Respiration	Appareil respiratoire	Voies aérophores, poumon
	Excrétion-osmorégulation	Appareil urinaire, rein	Urée, urine
Fonction de reproduction	Fécondation	Organes génitaux	Ovaire testicule Fécondation interne
	Gestation	Utérus, Muqueuse utérine	Placenta, amnios
	Parturition	Myomètre	Contractions utérines, ocytocine
	Lactation	Mamelle	Lait (pis), Colostrum, prolactine, ocytocine

Bilan (adapté du programme)

- ✓ L’appareil reproducteur est le lieu de **production des gamètes (méiose et différenciation)** et de **sécrétion d’hormones**. C’est également le lieu de la **fécondation** et de la **gestation** dans l’**organisme maternel**.
- ✓ La **reproduction sexuée** est un **processus conservatoire et diversificateur**. Elle génère des individus qui sont de la **même espèce** que les **parents**, mais dont la **diversité** permet la **sélection**.



▲ **FIGURE 95. Principales fonctions et appareils associés chez la Vache.**
D'après DAUTEL et al. (2017), légèrement modifié



▲ **FIGURE 96. La Vache dans son environnement.**
D'après SAINTPIERRE et al. (2021)

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

Le plan ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un outil d'apprentissage et de structuration des concepts importants. Vous pouvez en recopier les grandes lignes ou annexer le plan du polycopié directement.

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

- ° **Intégration** entre **fonctions** : cas des **fonctions de nutrition**
- ° Réponses aux **contraintes du milieu aérien** (tableau) → *il faudra aussi savoir utiliser le schéma bilan de la Vache pour exprimer ça aussi*
- ° **Relations interspécifiques** impliquant le Vache
- ° **Classification** avec quelques **critères** associés
- ° Tableau des **caractéristiques** des principaux **tronçons du tube digestif** de la Vache
- ° Schéma général de la **digestion** chez la Vache (ne pas oublier de penser à la **denture** de la Vache)
- ° **Appareil respiratoire** de la Vache
- ° Tableau des **adaptations au milieu aérien** dans le cas de la **respiration**
- ° **Rein**
- ° Néphron simplifié avec **couplage ultrafiltration / réabsorption** [?]
- ° **Système circulatoire** simplifié (double circulation sanguine)
- ° Flux d'**azote**
- ° Flux d'**eau**
- ° [Os ?]
- ° Régionalisation du **squelette**
- ° Tableau du **membre chiridien**
- ° **Membre chiridien**
- ° **Muscle, articulation**
- ° **Tête de Vache** et principaux **organes sensoriels**
- ° Typologie des **communications intercellulaires animales**
- ° Un schéma permettant de comprendre les **subdivisions du système nerveux**
- ° **Contrôle vs. régulation**
- ° **Régulation de la glycémie**
- ° Schéma simple du **tégument** de Mammifère
- ° Tableau de l'**immunité**
- ° **Thermorégulation**
- ° De la **perception** d'un **stimulus** au **déplacement**
- ° Cycle de **reproduction**
- ° **Appareil reproducteur** de la Vache (et du Taureau)
- ° **ET/OU acte copulateur** (comprend mâle + femelle !)
- ° **Nidation**
- ° **Placenta** avec **échanges** associés
- ° **Glande mammaire** [?]
- ° **Tableau bilan**
- ° **Schémas-bilans**

Références

- ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition*. Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1^{re} édition française).
- BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).
- BOUJARD, D. (dir.), B. ANSELME, C. CULLIN & CÉLINE RAGUÉNÈS-NICOL (2015). *Biologie cellulaire et moléculaire. Tout le cours en fiches. Licence. PACES. CAPES*. 2^e édition (1^{re} édition 2012), Dunod, Paris.
- BREUIL, M. (2007). *Biologie 1^{re} année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- BREUIL, M. (2009). *Biologie 2^e année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- CALLEN, J.-C. (2005). *Biologie cellulaire. Des molécules aux organismes*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{re} édition 1999).
- CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles, 2^e édition (1^{re} édition 1995).
- [CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie*. Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).
- DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1^{re} année*. Vuibert, Paris.
- DAUTEL, O. (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, B. MOLLIER, A. PROUST, M. QUERTINIEZ, F. SAINTPIERRE & M. VABRE (2021). *Prépas scientifiques BCPST 1^{re} année. Biologie Géologie. Tout-en-un*. Vuibert, Paris.
- DENÈUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2^e année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DENÈUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1^{re} année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DENÈUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2^e année*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- DOYLE, J. T., J. L. PATTERSON, J. V. WARREN & D. K. DETWEILER (1960). Observations on the Circulation of Domestic Cattle. *Circulation Research*, 8 : 4-15.
<https://www.ahajournals.org/doi/pdf/10.1161/01.RES.8.1.4> [consultation février 2020]
- GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1^{re} année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse*. Ellipses, Paris.
- LATRUFFE, N. (dir.), F. BLEICHER-BARDETTI, B. DUCLOS & J. VAMECQ (2014). *Biochimie. Tout le cours en fiches. Licence. PACES-UE1. CAPES*. Dunod, Paris.
- LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), V. AUDEBERT, C. BRUNET, G. GUTJAHN, Y. JUSSEURAND, A. MATHEVET, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE, 2007. *SVT Sciences de la Vie et de la Terre Première S*. Bordas, Paris.
- LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), V. AUDEBERT, C. BRUNET, G. GUTJAHN, Y. JUSSEURAND, A. MATHEVET, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE (2008). *SVT Sciences de la Vie et de la Terre Terminale S. Enseignement obligatoire*. Bordas, Paris.
- MARIEB, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines*. Renouveau pédagogique, Saint-Laurent (Québec, Canada), Diffusion Pearson Education France, Paris, 6^e édition américaine (2004) adaptée par R. LACHAÎNE.
- MARIEB, E. N. & K. HOEHN (2015). *Anatomie et physiologie humaines*. Pearson, Montréal (Québec, Canada), 9^e édition américaine adaptée par L. MOUSSAKOVA & R. LACHAÎNE.
- MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales*. Maloine, Paris, 2^e édition (1^{re} édition 2004).
- MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et collaborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie*. Frison-Roche, Paris.
- PÉRILLEUX, É., D. RICHARD, B. ANSELME, J.-M. DEMONT & P. VALET (2002). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé*. Nathan, Paris, 2^e édition.
- PERRIER, C. & J.-F. BEAUX (dir.), A. BOUFFIER, L. BOUGEOIS, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J. DÉMARET-NICOLAS, A. EMOND, S. MAURY, O. MONNIER, T. SOUBAYA, A. VERGNAUD & A. WOEHRLÉ (2021). *Biologie-Géologie BCPST 1. Tout-en-un*. Dunod, Malakoff (F).
- PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010a). *Biologie tout-en-un BCPST 1^{re} année*. Dunod, Paris, 2^e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1^{re} édition 2006).
- PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010b). *Biologie tout-en-un BCPST 2^e année*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{re} édition 2007).
- PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1^{re} année*. Dunod, Paris, 3^e édition (1^{re} édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2^e année*. Dunod, Paris, 3^e édition (1^e édition 2007).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2017). *Biologie tout-en-un BCPST 1^{re} année*. Dunod, Paris, 4^e édition (1^{re} édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2018). *Biologie tout-en-un BCPST 2^e année*. Dunod, Paris, 3^e édition (1^e édition 2007).

PEYCRU, P., C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2019). *Biologie et géologie. BCPST 1 et 2. Tout-en-fiches*. Dunod, Paris.

RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007). *Biologie*. De Boeck, Bruxelles.

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{re} édition 2010).

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 3^e édition (1^{re} édition 2010).

RICHARD, D. & D. ORSAL (2001). *Neurophysiologie. Organisation et fonctionnement du système nerveux*. Dunod, Paris, 2^e édition (1^{re} édition 1994).

ROJAT, D., M. JUBAULT-BREGLER (dir.), C. CORNILLON-BERTRAND, J.-M. DUPIN, C. GOISSET, B. MSHIHID, V. RICARD, L. RIER, F. SAINTPIERRE, B. SALVIAT, J.-M. VALLÉE & M. VIAL, 2007. *SVT Sciences de la Vie et de la Terre 1^{re} S*. Nathan, Paris.

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1^{re} et 2^e années*. Vuibert, Paris.

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN-PITAVY, A. DENIS, L. GERAY & I. MOLLIÈRE (2019). *Mémento Biologie BCPST 1^{re} et 2^e années*. Vuibert, Paris, 2^e édition (1^{re} édition 2017).

SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1^{re} année*. Ellipses, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2^e année*. Ellipses, Paris.

SILVERTHORN, D. U., avec W. C. OBER, C. W. GARRISON, A. C. SILVERTHORN & B. R. JOHNSON (2007). *Physiologie humaine. Une approche intégrée*. Pearson Education France, Paris, 4^e édition américaine traduite sous la dir. de J.-F. BRUN.

TORTORA, G. J. & B. DERRICKSON (2009). *Manuel d'anatomie et de physiologie humaines*. Adaptation française L. MARTIN & M. FOREST. De Boeck, Bruxelles, B.

[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme*. Maloine, Paris, 6^e édition.

VINCENT, P. (1962). *Sciences naturelles. Classe de 1^{re}M'*. Vuibert, Paris.

VINCENT, P. (1964). *Sciences naturelles. Classe de 2^{de}M'*. Vuibert, Paris.

VINCENT, P. (1968). *Sciences naturelles. Classe de 1^{re}D*. Vuibert, Paris.

[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme*. Maloine, Paris, 6^e édition.

VOGEL, G. & H. ANGERMANN (1994). *Atlas de la biologie*. Illustrations R. & R. FAHNERT. Traduit de l'allemand. La Pochothèque, Librairie générale française, Paris.

WALLER, L. (2014). *La gestation extra-utérine chez les Mammifères domestiques et la Femme*. Thèse de doctorat vétérinaire, VetAgroSup, Lyon.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. La Vache, un système biologique	3
A. Un être vivant (= organisme) (approche thermodynamique et physiologique)	3
1. Un être vivant (= organisme) : une tentative de définition	3
2. La cellule eucaryote comme unité fondamentale	3
3. Des niveaux d'organisation	3
a. Les niveaux de base	3
b. Les niveaux écologiques	4
4. Un système thermodynamique ouvert, c'est-à-dire qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement	4
a. Activité, variabilité et stabilité des systèmes biologiques	4
b. Le métabolisme	5
5. L'unité physiologique : les grandes fonctions du vivant	5
a. Les fonctions de relation	5
b. Les fonctions de nutrition	5
c. Les fonctions de reproduction	5
B. Un animal (Métazoaire) : un organisme pluricellulaire hétérotrophe phagotrophe (approche physiologique)	6
1. Un organisme pluricellulaire : un ensemble d'organes spécialisés au fonctionnement coordonné	6
2. Un organisme hétérotrophe : un consommateur de matière organique pré-existante	6
3. Un organisme phagotrophe : un consommateur d'aliments massifs ou particuliers ingérés puis digérés	6
C. Un organisme intégré dans son environnement abiotique et biologique (approche écologique)	7
1. Un organisme vivant dans une prairie ou une stabulation	7
2. Un organisme qui vit en milieu aérien : adaptations aux contraintes physico-chimiques de ce milieu	7
3. Des relations avec les congénères de la même espèce : les relations intraspécifiques	7
a. Le grégairisme et la socialité	7
b. Communication et reconnaissance	7
c. Dominance, soumission ; <i>leadership</i>	7
d. Le soin et l'alimentation des jeunes (veaux)	7
e. Des comportements sexuels	8
4. Des relations avec des organismes d'autres espèces : les relations interspécifiques	8
D. Un organisme que l'on peut placer dans la classification biologique (approche taxonomique)	9
1. Une espèce dans la classification	9
2. L'existence d'une diversité intraspécifique : les races de Bovins	10
E. Un organisme domestiqué et élevé par l'Homme (approches technologique et agronomique)	10
1. La Vache, fruit de la domestication et de la sélection artificielle	10
a. La domestication de la Vache à partir de l'Auroch au Néolithique	10
b. Une sélection artificielle de caractères qualitatifs ou quantitatifs intéressants pour l'Homme	11
c. Une domestication impliquant l'espèce domestiquée (Bovin) et l'espèce domesticante (Homme)	11
2. La Vache, animal au service de l'Homme	11
a. Un animal pourvoyeur de lait et de viande (visée alimentaire)	11

b. Un animal de trait (visée agricole)	11
c. Un animal pourvoyeur de cuir	11
3. La Vache, organisme dont la reproduction demeure maîtrisée par l'Homme (insémination artificielle, transferts d'embryons, sélection génomique)	11
II. La Vache, un organisme qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement : les fonctions de nutrition (s. I.)	12
A. Un organisme dont les cellules, au métabolisme aérobie, présentent des besoins matériels et produisent des déchets	12
1. Un prélèvement de matière organique, d'eau, d'ions et de dioxygène dans l'environnement	12
2. Une intégration de la matière dans l'anabolisme et le catabolisme : l'assimilation	12
3. Une évacuation des déchets à l'extérieur de l'organisme : l'excrétion	12
B. Un organisme qui prélève, simplifie et absorbe de la matière organique d'origine environnementale : le système digestif	12
1. Quelques concepts préliminaires	12
a. La notion d'aliment et de nutriment	12
b. Des aliments aux nutriments : la digestion	12
c. Les grands mécanismes de la digestion : motilité, digestion chimique (y compris symbiotique), absorption	12
d. La notion de système digestif : tube digestif et glandes digestives	13
2. Le point de départ : une alimentation végétale	13
a. Une alimentation qui comprend une grande partie de plantes herbacées riches en cellulose...	13
b. ... couvrant les besoins de l'animal	13
3. La prise alimentaire (= manducation) au niveau de la bouche	13
a. La mastication, broyage mécanique par les mâchoires et la dentition	13
α. Notions générales sur la mâchoire et la dentition des Mammifères	13
β. Une dentition de la Vache qui favorise la coupe puis le râpage des végétaux	14
b. L'insalivation, humidification et début de digestion des aliments grâce aux glandes salivaires	16
c. Au niveau pharyngien : la déglutition	16
d. Vers la panse (= rumen) : l'œsophage	17
4. Un animal polygastrique dont l'estomac comprend quatre poches et est impliqué dans la digestion mécanique et chimique, l'absorption de nutriments et des symbioses microbiennes	17
a. Organisation et caractéristiques anatomiques de l'estomac (ou « des » estomacs)	17
b. Des événements digestifs en association avec des micro-organismes symbiotiques dans le rumen	18
α. Une arrivée quasi-immédiate après la manducation suivie d'un long séjour (stockage et brassage mécanique)	18
β. Une poche très riche en micro-organismes qui produisent des hydrolases variées permettant la digestion chimique des matières végétales	18
γ. Une fermentation des nutriments par les micro-organismes qui produisent des acides gras volatils (AGV : acétate, propionate, butyrate...)	19
δ. Une absorption directe des acides gras volatils par la muqueuse digestive du rumen	19
ε. Une méthanogenèse assurée par des Archées à l'origine des éructations libératrices de méthane dans l'atmosphère	20
ζ. Une chaîne trophique dans le rumen impliquant des micro-organismes qui seront <i>in fine</i> en grande partie digérés par l'animal	20
c. La Vache, un holobionte hébergeant un microbiote	20
5. Les événements digestifs ultérieurs	20
a. La régurgitation et la rumination dans la cavité buccale	21
b. Un trajet direct vers le feuillet puis la caillotte, point de départ d'une digestion selon des modalités plus « classiques »	21

c. L'intestin grêle, lieu de digestion et d'absorption de nombreux nutriments en lien avec l'action de la bile et du suc pancréatique	21
α. L'intestin, long conduit très replié assurant l'absorption de nombreux nutriments notamment issus de la digestion des micro-organismes	21
β. Une absorption précédée d'une digestion chimique dans la lumière intestinale, largement due aux sécrétions pancréatiques et hépatiques	23
d. Une déshydratation des restes alimentaires dans le gros intestin avant égestion des fèces par l'anus	24
6. Bilan : une vue d'ensemble de la digestion des Ruminants	24
C. Un organisme qui prélève du dioxygène et excrète du dioxyde de carbone dans l'environnement : le système respiratoire	27
1. La fonction respiratoire : des échanges gazeux permettant la respiration cellulaire	27
2. Des échanges entre sang et environnement (poumons : respiration externe)	27
3. Le système respiratoire : des organes situés dans la cavité thoracique et réalisant la respiration externe	27
4. Des adaptations au milieu aérien : invagination / ramification des structures, support squelettique, ventilation bidirectionnelle...	28
D. Un organisme qui élimine les déchets azotés et assure un équilibre hydro-minéral : le système excréteur (= urinaire)	29
1. La notion de système excréteur ou système urinaire	29
2. Un ensemble d'organes situés dans la cavité abdominale	29
3. Le néphron, unité de fonctionnement du rein produisant l'urine par ultrafiltration glomérulaire (→ urine I) puis réabsorption et sécrétion tubulaires (→ urine II = définitive) [plus au programme ?]	30
4. La nature des excréats : une évacuation d'eau, d'ions et d'urée (déchet azoté adapté à la vie aérienne) et d'éventuelles toxines	31
E. Un organisme où la matière est mise en mouvement et déplacée dans tout l'organisme : le système circulatoire (= cardiovasculaire) [et le système lymphatique]	31
1. La circulation, une fonction intégrative adaptée à la pluricellularité et à la spécialisation poussée des organes et tissus	31
2. La présence de deux fluides circulants : le sang et la lymphe	31
a. Le sang, un tissu mobile composé de cellules (éléments figurés) et d'un plasma riche en solutés variés	31
b. La lymphe, liquide né de la filtration du sang et retournant au sang qui se déplace lentement dans un système propre (canaux lymphatiques)	32
3. La circulation lymphatique : une circulation lente à basse pression remplissant quelques fonctions nutritives et immunitaires	32
a. Une circulation lente dans des canaux lymphatiques qui commence en cul-de-sac dans les tissus et retourne <i>in fine</i> au sang veineux	32
b. Des fonctions essentiellement nutritives et immunitaires	33
4. La circulation sanguine : une circulation rapide à haute pression participant à la nutrition de l'ensemble de l'organisme et aux fonctions de relation	33
a. La notion d'appareil cardiovasculaire : le sang, les vaisseaux et le cœur	33
b. Une circulation qui suppose la mise en mouvement active du fluide par le cœur, pompe foulante et aspirante	35
c. Une circulation qui suppose le passage du sang dans des conduits : les vaisseaux sanguins (artères, capillaires, veines)	35
d. Une circulation composée de deux boucles (circulations pulmonaire et générale) en série assurant la charge et la décharge en gaz respiratoires	35
e. Une circulation au centre du fonctionnement de l'organisme : une fonction intégrative	35
F. Focus transversal sur les flux de matière de deux substances : l'élément azote et la molécule eau	35
1. Un flux d'azote qui s'inscrit dans le cadre d'un régime alimentaire faiblement azoté : le rôle clef de l'utilisation de l'urée par le microbiote	35

2. Un flux d'eau où entrées et pertes se compensent globalement : l'équilibre hydrique	36
G. Bilan sur les fonctions de nutrition	36
III. La Vache, un organisme qui s'inscrit dans son environnement, capte et réagit à ses fluctuations et dont les cellules communiquent : les fonctions de relation (s. l.)	37
A. Un organisme qui se maintient et se déplace dans un environnement peu porteur et peu dense : les systèmes squelettique et musculaire	37
1. Le squelette, ensemble d'organes rigides (les os) associés et constituant l'armature structurante de l'organisme	38
a. L'endosquelette osseux, armature caractéristique des Vertébrés osseux (= Ostéichthyens au sens moderne)	38
b. Des os constituant un ancrage pour les muscles squelettiques et mobiles les uns par rapport aux autres grâce aux articulations	38
c. Un squelette divisible en plusieurs zones fonctionnelles : les squelettes céphalique, axial, zonal et appendiculaire	38
d. La Vache, un animal tétrapode quadripède et onguligrade : anatomie fonctionnelle du membre	40
α. Le membre chiroïdien, caractéristique des Tétrapodes (et donc de tous les Mammifères)	40
β. Le membre chiroïdien chez la Vache, Mammifère onguligrade (type marcheur, ancestralement coureur)	41
γ. Un squelette marcheur... et « coureur » ?	41
2. Les muscles squelettiques, ensemble d'organes notamment locomoteurs associés aux os	41
a. Pour rappel : l'existence de trois types de muscles (squelettiques, cardiaque, lisses)	41
b. Des organes contractiles ancrés sur le squelette par des tendons	41
c. Des organes dont la contraction est contrôlée par le système nerveux	42
d. Des organes dont l'association anatomo-fonctionnelle avec le squelette permet la motilité de l'organisme et d'autres fonctions variées	43
α. Mouvements et locomotion	43
β. Maintien de la posture en milieu aérien [peu porteur]	43
γ. Ventilation (diaphragme, muscles intercostaux)	43
δ. Vision (muscles oculaires + muscles ciliaires qui sont lisses)	43
ε. Mastication et mouvements faciaux (muscles masticateurs et faciaux)	43
B. Un organisme qui perçoit son environnement et ses propres paramètres physiologiques : les systèmes sensoriels	43
1. Notions d'organe sensoriel et de récepteur sensoriel	44
2. Principe de fonctionnement d'un organe sensoriel : l'exemple de l'œil	44
a. Des organes situés dans les orbites, protégés par le liquide lacrymal et dont la haute mobilité est permise par des muscles oculaires	44
b. Une organisation particulière (paroi et humeurs)	44
c. Un œil simple (= caméculaire) où se forme une image inversée sur la rétine après une double convergence (cornée + cristallin)	44
d. Une rétine dont les cellules photoréceptrices (cônes et bâtonnets) convertissent les signaux lumineux en signaux électriques	45
e. Un champ visuel large mais une vision binoculaire (en relief) étroite	45
3. La diversité des structures et fonctions sensorielles	45
a. L'intéroception : une perception des paramètres internes de l'organisme	46
b. La perception des stimuli d'origine externe : vision, audition, olfaction, goût, somesthésie (mécanoréception, thermoréception, nociception)	46
4. Des organes sensoriels largement concentrés au niveau de la tête et adaptés à des stimuli perceptibles en milieu aérien	46
C. Un organisme dont les cellules communiquent à distance et coordonnent leur activité : les systèmes nerveux et endocrinien	47
1. Le principe d'une communication intercellulaire : émission, transmission et réception d'un signal avec réponse biologique	47

2. Panorama des modalités de communications intercellulaires : rappels	47
a. La juxtacrinie, communication entre cellules adjacentes	47
b. La paracrinie, communication à courte distance par un facteur diffusif	47
c. L'endocrinie (communication hormonale), communication par une hormone transportée par le sang	48
d. La communication nerveuse	48
3. Deux grands systèmes d'intégration, de communication et de coordination dans l'organisme	48
a. Le système hormonal (= endocrinien) : une communication par les hormones	48
α. Notion d'hormone et principe de la communication hormonale	48
β. Un système composé d'un ensemble de glandes endocrines dispersées dans l'organisme	48
b. Le système nerveux : une communication par les neurones	48
α. Nature du système nerveux et principe de la communication nerveuse	48
β. Constitution histologique du système nerveux	49
γ. Les grandes subdivisions fonctionnelles du système nerveux	49
i. Le système nerveux central (SNC) : les centres nerveux, lieux d'intégration des informations et de commande	49
ii. Le système nerveux périphérique (SNP) : les nerfs, lignes de communications entre les centres nerveux et l'organisme	49
➢ La voie afférente (ou voie sensitive) : les nerfs remontant aux centres nerveux les informations sur les stimuli perçus par les systèmes sensoriels	49
➢ La voie éfférente (ou voie « motrice ») : les nerfs amenant aux organes effecteurs les commandes des centres nerveux	49
c. Un système de communication « publique » (système endocrinien) et un système de communication « privée » (système nerveux) ?	50
4. L'existence, dans l'organisme, de contrôles et de régulations qui permettent l'homéostasie mais autorisent toutefois l'adaptation	50
a. Le contrôle : l'existence d'une modulation d'un paramètre	50
b. La régulation : l'existence d'une correction de la variation d'un paramètre en réponse à la détection d'un écart au point de consigne (exemple de la glycémie) ; notion d'homéostasie	50
c. La possibilité d'une adaptation physiologique (avec écart à l'homéostasie) lors d'une situation atypique de fonctionnement de l'organisme	53
D. Un organisme qui se protège et maintient son intégrité face à l'environnement : les systèmes tégumentaire et immunitaire [+ thermorégulation]	53
1. L'environnement physico-chimique et microbien de l'animal, milieu agressif	53
2. La protection contre les agressions physiques, thermiques et biologiques : le tégument et les muqueuses	53
a. Les rôles principaux du tégument et des muqueuses, limites physiques de l'organisme	53
b. Gros plan sur le tégument des Mammifères : la peau	53
c. Les sabots, les poils et (pour partie) les cornes, phanères de la Vache	55
α. Les sabots, ongles hypertrophiés servant d'appui au sol	55
β. Les cornes, étuis de kératine autour d'un cornillon osseux à fonction défensive et offensive	55
γ. Les poils, fils de kératine à fonction de protection thermique (et en lien avec la sensibilité tactile)	55
3. La lutte contre les agressions biologiques : le système immunitaire	55
4. La possibilité d'une régénération tissulaire en cas de lésion (dans certaines limites)	56
5. Un organisme qui maintient sa température interne face aux fortes fluctuations thermiques du milieu : l'homéothermie	56
a. L'homéothermie, une réponse à un milieu aérien thermiquement fluctuant adoptée par les Mammifères, en plus de comportements protecteurs	56
b. La température interne de la Vache, un paramètre stable et réglé : notions de thermorégulation	56

α. Un paramètre stable : une valeur de consigne proche de 38,5 °C (température centrale)	56	β. La nidation sur la muqueuse utérine (~ J20)	67
β. Des organes et tissus effecteurs d'une hausse (thermogenèse) ou d'une baisse (thermolyse) de température de nature variée	57	γ. La gestation <i>stricto sensu</i> : un développement embryonnaire puis fœtal fixé dans l'organisme maternel jusqu'à la parturition	67
i. La thermogenèse : métabolisme, activité musculaire, digestion (en lien avec les micro-organismes), tissu adipeux brun	57	c. L'importance des annexes embryonnaires (amnios et placenta)	68
ii. La thermolyse : pertes caloriques dans l'environnement, largement modulées par la vascularisation périphérique, et la sudation	58	α. L'amnios, une enveloppe épithélio-conjonctive délimitant la cavité amniotique remplie d'un liquide dans lequel baigne et se développe l'organisme	68
γ. La boucle de la thermorégulation	58	β. Le placenta, structure materno-fœtale assurant des échanges trophiques (et d'autre nature) entre mère et organisme en développement	68
δ. Une température interne, produit de la thermorégulation et des fluctuations environnementales	58	3. La parturition ou mise bas : la naissance du jeune (ici nommée vêlage)	69
E. Un exemple de coopération entre systèmes des fonctions de relations : le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus	58	a. Travail, expulsion du jeune, délivrance : un vêlage qui dure quelques heures	69
		b. Un déclenchement hormonal	70
		c. Une conséquence subséquente de la parturition : l'œstrus post-partum (30-80 j)	70
		D. Des soins au jeune (veau) et son alimentation par la mère, le lait étant souvent détourné par l'homme pour sa propre alimentation	70
		1. Des contacts physiques et une reconnaissance associés notamment au léchage	70
		2. Un lien trophique majeur entre mère et jeune : la lactation	70
		a. Des liquides nutritifs d'origine maternelle alimentant le jeune : le colostrum (6 j) puis le lait (jusqu'au sevrage)	70
		b. La production de lait (lactogenèse = lactation) et sa distribution, des processus ayant lieu au niveau des glandes mammaires	71
		c. La production de lait (lactogenèse = lactation), un processus contrôlé hormonalement et entretenu par la succion (ou la traite)	71
		d. La production de lait (lactogenèse = lactation), un processus détourné par l'Homme pour sa propre alimentation en maîtrisant la fréquence de reproduction de la Vache	72
		E. Le développement post-embryonnaire du veau ou croissance	73
		F. La reproduction, fonction centrale et intégrative qui implique les fonctions de nutrition et de relation	73
		G. Un contrôle de l'Homme sur la reproduction de la Vache	74
IV. La Vache, un organisme qui peut produire de nouveaux individus de la même espèce qui subissent ensuite un développement : les fonctions de reproduction (s. I.)	59	Bilan	74
A. Une espèce gonochorique à cycle de vie monogénétique diplophasique	59	Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	76
1. Une espèce gonochorique (= à sexes séparés) impliquant donc une reproduction sexuée	59	Références	76
2. Un cycle de vie diphasique monogénétique diplophasique	60	Plan du chapitre	77
B. Une espèce productrice de gamètes qui nécessite un rapprochement des partenaires sexuels et un accouplement (naturellement)	60	Plan simplifié du chapitre (3 niveaux)	81
1. La production de gamètes chez le mâle (Taureau)	60	Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux)	82
a. Une production de gamètes et de liquide séminal dans l'appareil reproducteur (= génital) mâle, ainsi que de testostérone	60		
b. Une production continue de spermatozoïdes	61		
2. La production de gamètes chez la femelle (Vache)	61		
a. Un processus intégré dans l'appareil reproducteur (= génital) femelle, ensemble d'organes à fonction gamétogénétique, endocrine et... gestationnelle	61		
b. Un fonctionnement par cycles menstruels affectant les ovaires, l'utérus et le comportement reproducteur	62		
α. Une cyclicité de 21 jours en moyenne	62		
β. Un cycle ovarien : la production cyclique d'un ovocyte II	62		
γ. Un cycle utérin : le développement de la muqueuse utérine et son évacuation par les menstruations (= règles)	63		
δ. Un cycle œstrien : un comportement reproducteur cyclique (œstrus = chaleurs)	63		
3. Un contrôle hormonal de l'activité de l'axe gonadotrope	63		
a. Principe général : un axe de contrôle hypothalamus / hypophyse / gonades	63		
b. Chez le Taureau	64		
c. Chez la Vache	64		
4. Un rapprochement des partenaires sexuels aboutissant à la copulation	65		
a. Un rapprochement des partenaires sexuels supposant une reconnaissance et une attraction entre partenaires sexuels (implication des fonctions de relation)	65		
b. Un acte copulatoire où le Taureau introduit son pénis dans le vagin et y dépose son sperme	66		
c. Un acte copulatoire rare dans la plupart des élevages modernes où il est remplacé par une insémination artificielle	66		
C. Une fécondation et un développement dans l'organisme maternel	66		
1. La fécondation : une réunion d'un ovocyte II et d'un spermatozoïde	66		
2. La gestation : le port d'un embryon puis fœtus en développement par la Vache	66		
a. Développement, développement embryonnaire vs. post-embryonnaire, gestation : quelques repères conceptuels	66		
b. Un développement prénatal de 290 jours (embryonnaire + fœtal)	67		
α. La progestation : un début de développement embryonnaire à l'état libre (production d'hormones + nutrition par sécrétions utérines) (env. 20 j)	67		

Plan simplifié du chapitre (3 niveaux)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. La Vache, un système biologique	3
A. Un être vivant (= organisme) (approche thermodynamique et physiologique)	3
1. Un être vivant (= organisme) : une tentative de définition	3
2. La cellule eucaryote comme unité fondamentale	3
3. Des niveaux d'organisation	3
4. Un système thermodynamique ouvert, c'est-à-dire qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement	4
5. L'unité physiologique : les grandes fonctions du vivant	5
B. Un animal (Métazoaire) : un organisme pluricellulaire hétérotrophe phagotrophe (approche physiologique)	6
1. Un organisme pluricellulaire : un ensemble d'organes spécialisés au fonctionnement coordonné	6
2. Un organisme hétérotrophe : un consommateur de matière organique pré-existante	6
3. Un organisme phagotrophe : un consommateur d'aliments massifs ou particuliers ingérés puis digérés	6
C. Un organisme intégré dans son environnement abiotique et biologique (approche écologique)	7
1. Un organisme vivant dans une prairie ou une stabulation	7
2. Un organisme qui vit en milieu aérien : adaptations aux contraintes physico-chimiques de ce milieu	7
3. Des relations avec les congénères de la même espèce : les relations intraspécifiques	7
4. Des relations avec des organismes d'autres espèces : les relations interspécifiques	8
D. Un organisme que l'on peut placer dans la classification biologique (approche taxonomique)	9
1. Une espèce dans la classification	9
2. L'existence d'une diversité intraspécifique : les races de Bovins	10
E. Un organisme domestiqué et élevé par l'Homme (approches technologique et agronomique)	10
1. La Vache, fruit de la domestication et de la sélection artificielle	10
2. La Vache, animal au service de l'Homme	11
3. La Vache, organisme dont la reproduction demeure maîtrisée par l'Homme (insémination artificielle, transferts d'embryons, sélection génomique)	11
II. La Vache, un organisme qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement : les fonctions de nutrition (s. I.)	12
A. Un organisme dont les cellules, au métabolisme aérobie, présentent des besoins matériels et produisent des déchets	12
1. Un prélèvement de matière organique, d'eau, d'ions et de dioxygène dans l'environnement	12
2. Une intégration de la matière dans l'anabolisme et le catabolisme : l'assimilation	12
3. Une évacuation des déchets à l'extérieur de l'organisme : l'excrétion	12
B. Un organisme qui prélève, simplifie et absorbe de la matière organique d'origine environnementale : le système digestif	12
1. Quelques concepts préliminaires	12
2. Le point de départ : une alimentation végétale	13
3. La prise alimentaire (= manducation) au niveau de la bouche	13
4. Un animal polygastrique dont l'estomac comprend quatre poches et est impliqué dans la digestion mécanique et chimique, l'absorption de nutriments et des symbioses microbiennes	17
5. Les événements digestifs ultérieurs	20

6. Bilan : une vue d'ensemble de la digestion des Ruminants	24
C. Un organisme qui prélève du dioxygène et excrète du dioxyde de carbone dans l'environnement : le système respiratoire	27
1. La fonction respiratoire : des échanges gazeux permettant la respiration cellulaire	27
2. Des échanges entre sang et environnement (poumons : respiration externe)	27
3. Le système respiratoire : des organes situés dans la cavité thoracique et réalisant la respiration externe	27
4. Des adaptations au milieu aérien : invagination / ramification des structures, support squelettique, ventilation bidirectionnelle...	28
D. Un organisme qui élimine les déchets azotés et assure un équilibre hydro-minéral : le système excréteur (= urinaire)	29
1. La notion de système excréteur ou système urinaire	29
2. Un ensemble d'organes situés dans la cavité abdominale	29
3. Le néphron, unité de fonctionnement du rein produisant l'urine par ultrafiltration glomérulaire (→ urine I) puis réabsorption et sécrétion tubulaires (→ urine II = définitive) [plus au programme ?]	30
4. La nature des excréats : une évacuation d'eau, d'ions et d'urée (déchet azoté adapté à la vie aérienne) et d'éventuelles toxines	31
E. Un organisme où la matière est mise en mouvement et déplacée dans tout l'organisme : le système circulatoire (= cardiovasculaire) [et le système lymphatique]	31
1. La circulation, une fonction intégrative adaptée à la pluricellularité et à la spécialisation poussée des organes et tissus	31
2. La présence de deux fluides circulants : le sang et la lymphe	31
3. La circulation lymphatique : une circulation lente à basse pression remplissant quelques fonctions nutritives et immunitaires	32
4. La circulation sanguine : une circulation rapide à haute pression participant à la nutrition de l'ensemble de l'organisme et aux fonctions de relation	33
F. Focus transversal sur les flux de matière de deux substances : l'élément azote et la molécule eau	35
1. Un flux d'azote qui s'inscrit dans le cadre d'un régime alimentaire faiblement azoté : le rôle clef de l'utilisation de l'urée par le microbiote	35
2. Un flux d'eau où entrées et pertes se compensent globalement : l'équilibre hydrique	36
G. Bilan sur les fonctions de nutrition	36
III. La Vache, un organisme qui s'inscrit dans son environnement, capte et réagit à ses fluctuations et dont les cellules communiquent : les fonctions de relation (s. I.)	37
A. Un organisme qui se maintient et se déplace dans un environnement peu porteur et peu dense : les systèmes squelettique et musculaire	37
1. Le squelette, ensemble d'organes rigides (les os) associés et constituant l'armature structurante de l'organisme	38
2. Les muscles squelettiques, ensemble d'organes notamment locomoteurs associés aux os	41
B. Un organisme qui perçoit son environnement et ses propres paramètres physiologiques : les systèmes sensoriels	43
1. Notions d'organe sensoriel et de récepteur sensoriel	44
2. Principe de fonctionnement d'un organe sensoriel : l'exemple de l'œil	44
3. La diversité des structures et fonctions sensorielles	45
4. Des organes sensoriels largement concentrés au niveau de la tête et adaptés à des stimuli perceptibles en milieu aérien	46
C. Un organisme dont les cellules communiquent à distance et coordonnent leur activité : les systèmes nerveux et endocrinien	47
1. Le principe d'une communication intercellulaire : émission, transmission et réception d'un signal avec réponse biologique	47
2. Panorama des modalités de communications intercellulaires : rappels	47

3. Deux grands systèmes d'intégration, de communication et de coordination dans l'organisme	48
4. L'existence, dans l'organisme, de contrôles et de régulations qui permettent l'homéostasie mais autorisent toutefois l'adaptation	50
D. Un organisme qui se protège et maintient son intégrité face à l'environnement : les systèmes tégumentaire et immunitaire [+ thermorégulation]	53
1. L'environnement physico-chimique et microbien de l'animal, milieu agressif	53
2. La protection contre les agressions physiques, thermiques et biologiques : le tégument et les muqueuses	53
3. La lutte contre les agressions biologiques : le système immunitaire	55
4. La possibilité d'une régénération tissulaire en cas de lésion (dans certaines limites)	56
5. Un organisme qui maintient sa température interne face aux fortes fluctuations thermiques du milieu : l'homéothermie	56
E. Un exemple de coopération entre systèmes des fonctions de relations : le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus	58
IV. La Vache, un organisme qui peut produire de nouveaux individus de la même espèce qui subissent ensuite un développement : les fonctions de reproduction (s. l.)	59
A. Une espèce gonochorique à cycle de vie monogénétique diplophasique	59
1. Une espèce gonochorique (= à sexes séparés) impliquant donc une reproduction sexuée	59
2. Un cycle de vie diphasique monogénétique diplophasique	60
B. Une espèce productrice de gamètes qui nécessite un rapprochement des partenaires sexuels et un accouplement (naturellement)	60
1. La production de gamètes chez le mâle (Taureau)	60
2. La production de gamètes chez la femelle (Vache)	61
3. Un contrôle hormonal de l'activité de l'axe gonadotrope	63
4. Un rapprochement des partenaires sexuels aboutissant à la copulation	65
C. Une fécondation et un développement dans l'organisme maternel	66
1. La fécondation : une réunion d'un ovocyte II et d'un spermatozoïde	66
2. La gestation : le port d'un embryon puis fœtus en développement par la Vache	66
3. La parturition ou mise bas : la naissance du jeune (ici nommée vêlage)	69
D. Des soins au jeune (veau) et son alimentation par la mère, le lait étant souvent détourné par l'homme pour sa propre alimentation	70
1. Des contacts physiques et une reconnaissance associés notamment au léchage	70
2. Un lien trophique majeur entre mère et jeune : la lactation	70
E. Le développement post-embryonnaire du veau ou croissance	73
F. La reproduction, fonction centrale et intégrative qui implique les fonctions de nutrition et de relation	73
G. Un contrôle de l'Homme sur la reproduction de la Vache	74
Bilan	74
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	76
Références	76
Plan du chapitre	77
Plan simplifié du chapitre (3 niveaux)	81
Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux)	82

Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. La Vache, un système biologique	3
A. Un être vivant (= organisme) (approche thermodynamique et physiologique)	3
B. Un animal (Métazoaire) : un organisme pluricellulaire hétérotrophe phagotrophe (approche physiologique)	6
C. Un organisme intégré dans son environnement abiotique et biologique (approche écologique)	7
D. Un organisme que l'on peut placer dans la classification biologique (approche taxonomique)	9
E. Un organisme domestiqué et élevé par l'Homme (approches technologique et agronomique)	10
II. La Vache, un organisme qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement : les fonctions de nutrition (s. l.)	12
A. Un organisme dont les cellules, au métabolisme aérobie, présentent des besoins matériels et produisent des déchets	12
B. Un organisme qui prélève, simplifie et absorbe de la matière organique d'origine environnementale : le système digestif	12
C. Un organisme qui prélève du dioxygène et excrète du dioxyde de carbone dans l'environnement : le système respiratoire	27
D. Un organisme qui élimine les déchets azotés et assure un équilibre hydro-minéral : le système excréteur (= urinaire)	29
E. Un organisme où la matière est mise en mouvement et déplacée dans tout l'organisme : le système circulatoire (= cardiovasculaire) [et le système lymphatique]	31
F. Focus transversal sur les flux de matière de deux substances : l'élément azote et la molécule eau	35
G. Bilan sur les fonctions de nutrition	36
III. La Vache, un organisme qui s'inscrit dans son environnement, capte et réagit à ses fluctuations et dont les cellules communiquent : les fonctions de relation (s. l.)	37
A. Un organisme qui se maintient et se déplace dans un environnement peu porteur et peu dense : les systèmes squelettique et musculaire	37
B. Un organisme qui perçoit son environnement et ses propres paramètres physiologiques : les systèmes sensoriels	43
C. Un organisme dont les cellules communiquent à distance et coordonnent leur activité : les systèmes nerveux et endocrinien	47
D. Un organisme qui se protège et maintient son intégrité face à l'environnement : les systèmes tégumentaire et immunitaire [+ thermorégulation]	53
E. Un exemple de coopération entre systèmes des fonctions de relations : le déplacement de l'animal suite à la perception d'un stimulus	58
IV. La Vache, un organisme qui peut produire de nouveaux individus de la même espèce qui subissent ensuite un développement : les fonctions de reproduction (s. l.)	59
A. Une espèce gonochorique à cycle de vie monogénétique diplophasique	59
B. Une espèce productrice de gamètes qui nécessite un rapprochement des partenaires sexuels et un accouplement (naturellement)	60
C. Une fécondation et un développement dans l'organisme maternel	66
D. Des soins au jeune (veau) et son alimentation par la mère, le lait étant souvent détourné par l'homme pour sa propre alimentation	70

E. Le développement post-embryonnaire du veau ou croissance	73
F. La reproduction, fonction centrale et intégrative qui implique les fonctions de nutrition et de relation	73
G. Un contrôle de l'Homme sur la reproduction de la Vache	74
 Bilan	 74
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	76
Références	76
Plan du chapitre	77
Plan simplifié du chapitre (3 niveaux)	81
Plan très simplifié du chapitre (2 niveaux)	82

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document achevé sous cette forme en février 2020 (prépa TB) • Dernière actualisation : octobre 2025.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : <https://www.svt-tanguy-jean.com/>



Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.