

# Chapitre 1

## Regards sur un organisme métazoaire : un bovidé

### Cours

#### PLAN DU CHAPITRE

- 1 Place de la vache au sein des métazoaires
- 2 Les fonctions de nutrition d'un organisme hétérotrophe
- 3 La production de nouveaux individus par la reproduction sexuée
- 4 Des interactions multiples avec son environnement

#### ZOOM

- 1 Principes d'une classification phylogénétique
- 2 L'écosystème ruminal
- 3 Régionalisation fonctionnelle de l'appareil digestif
- 4 Les fonctions du sang
- 5 Le cycle de reproduction de la vache
- 6 La vache et l'eau

#### INTRODUCTION

La vache est un animal domestique emblématique des campagnes. C'est un des exemples choisis pour caractériser un organisme vivant, c'est-à-dire le replacer dans la diversité des autres animaux et comprendre comment il réalise ses fonctions vitales : fonctions de nutrition, qui permettent les échanges de matière et d'énergie avec le milieu de vie ; fonctions de reproduction, qui permettent de produire de nouveaux individus et fonctions de relation qui recouvrent les interactions entre l'organisme et son milieu.

- ➔ Quelle est la place de la vache au sein du vivant, compte tenu de ses caractéristiques ?
- ➔ Comment l'organisation de la vache permet-elle la réalisation des fonctions de nutrition, de reproduction et de relation dans un milieu aux conditions variables ?

### 1 Place de la vache au sein des métazoaires

On distingue des caractères **morphologiques**, observables extérieurement, et des caractères **anatomiques**, qui concernent les appareils, organes et tissus constituant un organisme.

#### 1.1 Principaux caractères morphologiques permettant de classer la vache

L'étude morphologique de la vache permet d'argumenter son appartenance au clade des métazoaires, qui désigne les animaux.

- Sa taille (métrique) dépasse très largement celle d'une cellule (100  $\mu\text{m}$ ) : c'est celle d'un organisme pluricellulaire formé de divers organes qui résultent eux-mêmes de l'assemblage de tissus (ensembles de cellules).

- La vache possède une bouche et consomme de l'herbe, elle est hétérotrophe. D'autres arguments morphologiques permettent de préciser sa place au sein des métazoaires (figure 1.1).

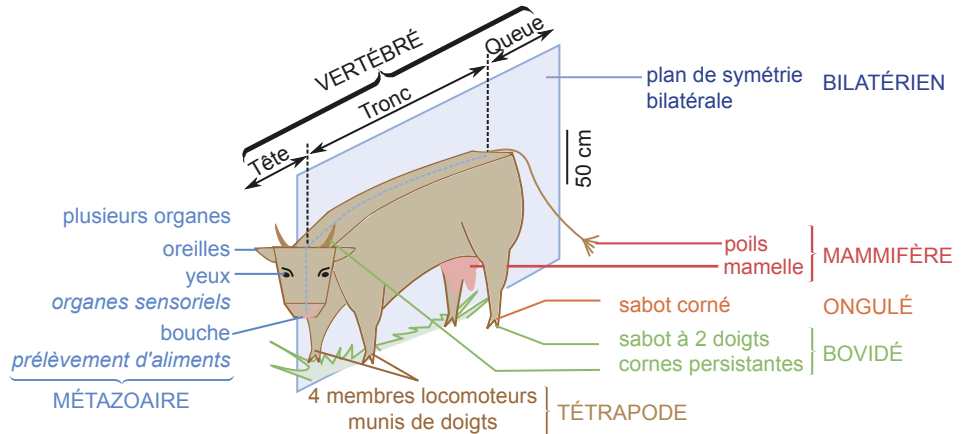


Figure 1.1 Des caractères morphologiques pour établir la position systématique de la vache.

## 1.2 Principaux caractères anatomiques permettant de positionner la vache au sein des métazoaires

Des caractères anatomiques permettent de compléter le positionnement de la vache au sein du clade des métazoaires (figure 1.2). Les caractères partagés avec la souris, autre mammifère euthérien, seront observés en TP.

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

Figure 1.2 Des caractères anatomiques pour établir la position systématique de la vache.

Organes des fonctions de nutrition en rose (voir § 1.2) ; fonctions de reproduction en violet (voir § 1.3) et fonctions de relation en orange (voir § 1.4).

Les rôles de tous ces organes seront étudiés dans le cadre de la réalisation des fonctions vitales de la vache.

### ZOOM 1

Principes d'une classification phylogénétique

## 1.3 Bilan : la position systématique de *Bos taurus*

La classification phylogénétique des métazoaires montre le degré de parenté entre espèces, familles, etc. L'espèce *Bos taurus* appartient à la sous-famille des bovinés, à laquelle appartient

également le bison par exemple. Ces deux espèces ont un lien de parenté plus étroit entre elles qu'avec la chèvre, espèce qui appartient comme eux à la **famille des bovidés** (figure 1.3).

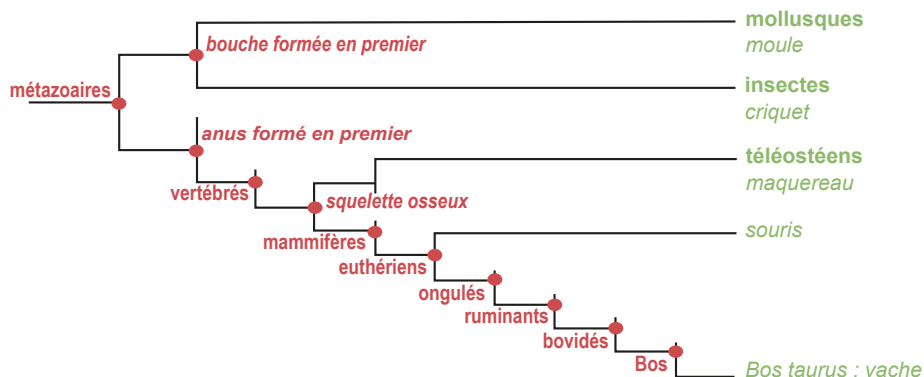


Figure 1.3 Récapitulatif de la place de la vache au sein des métazoaires. Les autres animaux indiqués seront étudiés en TP.

## 2 Les fonctions de nutrition d'un organisme hétérotrophe

Comme tous les animaux, la vache tire son énergie et les éléments nécessaires au renouvellement de ses cellules, de la matière organique élaborée par d'autres êtres vivants : c'est un **hétérotrophe**. Les échanges de matière et d'énergie, entre la vache et son milieu, sont réalisés dans le cadre des fonctions de nutrition : alimentation et digestion, respiration, circulation et excrétion des déchets.

### 2.1 Du prélèvement des aliments à leur transformation en nutriments

#### a) Prélèvement d'aliments végétaux : phytophagie

**La vache est un phytophage** : elle consomme des végétaux. Ce régime alimentaire présente des **avantages** : la **grande disponibilité** des aliments, d'où une moindre dépense énergétique pour se les procurer, et leur **richesse en eau** (70 %) dans un milieu aérien qui en contient peu. Il présente aussi des **inconvenients** : la **cellulose** est un constituant majeur de la paroi des cellules végétales, donc de la ration alimentaire. Or la digestion de cette molécule nécessite **une enzyme, la cellulase**, que la vache ne produit pas (peu d'animaux la produisent). De plus, cette ration alimentaire est relativement **pauvre en protéines, en lipides et en matière minérale**.

Le prélèvement des aliments (environ 15 kg de matière sèche/j) et d'eau de boisson (50 à 100 L/j) met en jeu des **organes de préhension** : l'herbe est fauchée par la langue, pincée par les lèvres, les incisives inférieures et le bourrelet incisif (il n'y a pas d'incisives supérieures), puis déglutit sans être mastiquée. Pour boire, la vache immerge le museau dans l'eau et aspire. Les aliments et l'eau prélevés sont stockés dans la **panse ou rumen**, premier des « pré-estomacs » de la vache. **La denture** (ensemble des dents en nombre, nature et disposition) de la vache et la forme de l'articulation de la mâchoire inférieure (mandibule) reflètent la nature de son régime alimentaire (figure 1.4).

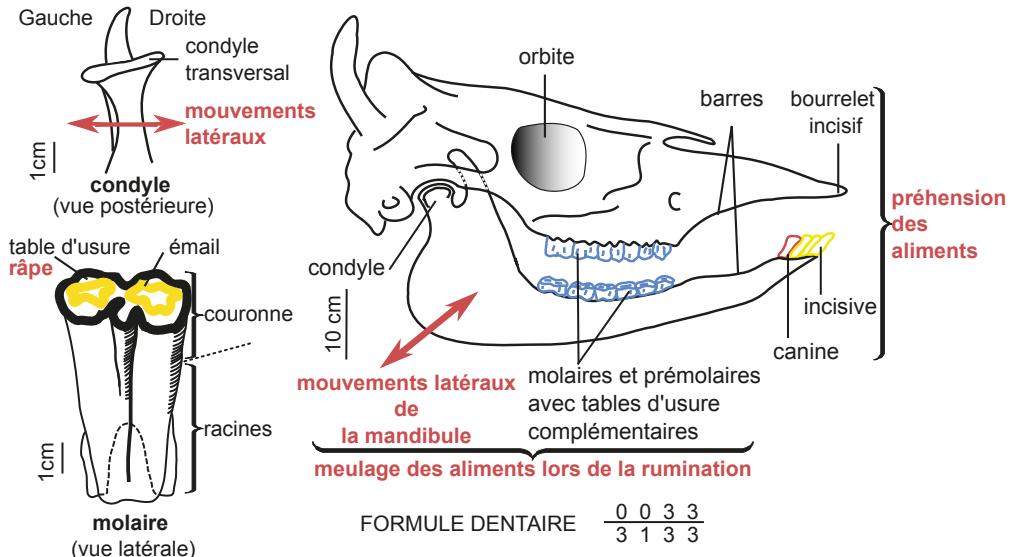
#### b) La rumination : une étape de la digestion propre aux polygastriques

Chez la vache, la phase de préhension des aliments ne s'accompagne d'aucune transformation, ce qui permet de limiter la durée de la prise alimentaire (environ 8 heures par jour) et donc l'exposition à d'éventuels prédateurs dans le cas d'espèces sauvages. Elle est suivie de la rumination, première étape de la **digestion** au cours de laquelle le tube digestif et ses glandes annexes (glandes salivaires, foie, pancréas) exercent deux types de transformations :

- une **transformation mécanique** : les aliments sont broyés (notamment par la mastication), imprégnés de salive, et transformés en liquide visqueux ;

Voir chapitre 9, § 2.4

- une **transformation chimique** : des hydrolyses, essentiellement, produisent de petites molécules, les nutriments, à partir des aliments.



**Figure 1.4** Les organes de préhension et mastication. Vue latérale droite du squelette céphalique ; détail du condyle et d'une molaire.

La table d'usure des prémolaires et molaires résulte de l'abrasion liée à la mastication ; la croissance continue de ces dents tout au long de la vie de l'animal compense l'usure de la couronne. La **formule dentaire** indique le nombre d'incisives/canines/prémolaires/molaires par demi-mâchoire supérieure et inférieure.

Chez les ruminants, encore qualifiés de « polygastriques », l'estomac est compartimenté en quatre chambres successives, de l'avant vers l'arrière (figure 1.5) :

- la panse (ou rumen) ;
- le réseau (ou réticulum) ;
- le feuillet (ou omasum) ;
- la caillette (ou abomasum).

Chaque compartiment contribue de manière spécifique au mode de digestion particulier qu'est la rumination, caractéristique des ruminants. La rumination s'effectue en 10 à 15 périodes journalières, de quelques minutes à plus d'une heure, ce qui représente au total environ 8 heures.

Au cours de chaque période se succèdent des cycles de 3 étapes (figure 1.5).

La rumination assure le broyage des fibres végétales, ce qui facilite l'hydrolyse de leurs constituants. Elle imprègne les aliments de salive, produite en abondance par les ruminants (100 à 190 L/jour).

### c) La rumination : des transformations chimiques par des microorganismes

Pendant la rumination, les aliments fragmentés subissent des transformations chimiques qui mettent en jeu des **enzymes** produites, non par la vache, mais par des **symbiotes hébergés dans le rumen** : ces symbiotes **réalisent donc la digestion de la ration alimentaire de la vache**. Ces symbiotes sont des microorganismes : **bactéries, archées, champignons** microscopiques et des **unicellulaires ciliés** ; leur masse totale dans le rumen est de 2 à 3 kg, elle s'accroît de 60 à 70 % par jour (excédent qui sera ensuite digéré).

Les transformations chimiques sont de deux types :

- des **hydrolyses**, dont celle de la cellulose par la cellulase, conduisent à une simplification des molécules présentes dans les aliments de la vache.

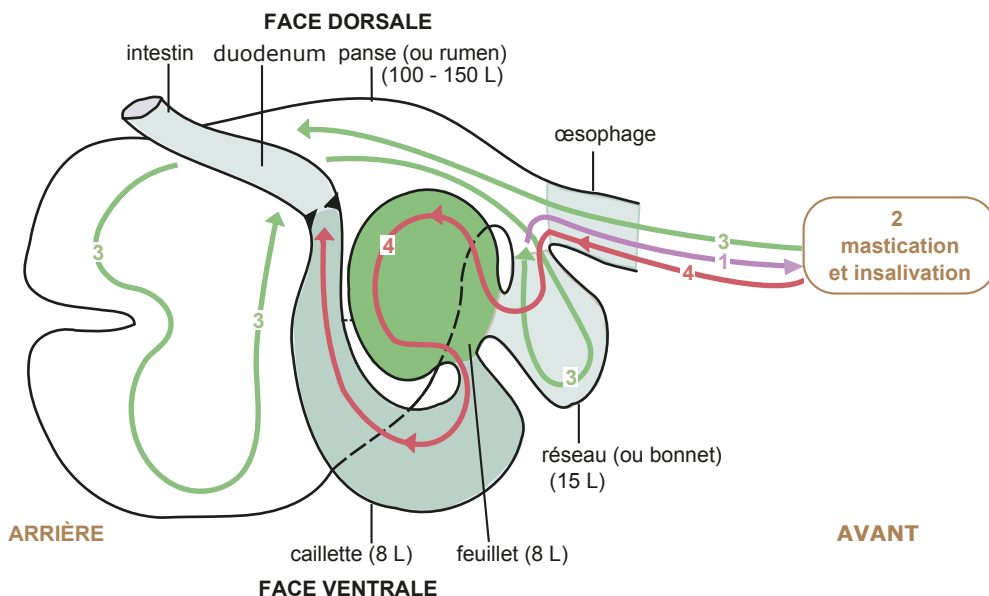


Figure 1.5 Le tube digestif de la vache (vue latérale droite) et les étapes de la rumination.

La **caillette** est la seule à être considérée comme un **estomac**, car des enzymes hydrolytiques sont produites par sa paroi. Les trois autres compartiments correspondent à une dilatation terminale de l'œsophage et sont qualifiés de « **pré-estomacs** ».

Étapes d'un cycle de rumination par ordre chronologique. 1 : régurgitation d'une partie du contenu du rumen et du réseau. 2 : mastication et imprégnation de salive (insalivation). 3 : déglutition puis brassage avec le contenu du rumen. Lorsque la taille des particules est suffisamment réduite, le trajet se poursuit dans la suite du tube digestif (4).

Voir chapitre 11  
zoom 2

**ZOOM 2**

L'écosystème ruminal

- des **fermentations, oxydations incomplètes** des petites molécules issues de l'hydrolyse, permettent aux microorganismes de récupérer sous une forme directement utilisable une partie de l'énergie chimique potentielle représentée par les molécules organiques. Elles ne nécessitent pas d'O<sub>2</sub> (en général) : ce sont des **processus anaérobies**. Les produits des fermentations réalisées par les symbiotes sont **libérés dans le rumen**. Ils sont alors réutilisés par d'autres symbiotes, absorbés par la vache à travers la paroi de la panse, ou éliminés par éructation.

Ainsi, le rumen est une énorme « cuve de fermentation » où les aliments sont exposés pendant un temps prolongé et dans des conditions favorables à l'action des microorganismes.

Périodiquement, une partie du contenu du rumen transite vers les compartiments suivants.

**d) Poursuite des transformations chimiques par les enzymes de la vache**

Les transformations chimiques se poursuivent avec les enzymes produites par la vache.

- La **caillette** sécrète un suc gastrique acide (pH 1 à 2 en raison de la présence de HCl) qui contient une protéase, la **pepsine**, et le **lysozyme**, qui catalyse l'hydrolyse de constituants de la paroi des bactéries. Ces enzymes permettent la **digestion** des résidus alimentaires non dégradés dans le rumen et **des symbiotes** entraînés avec le contenu du rumen. Cette particularité fait de la vache un **microphage**, c'est-à-dire un organisme qui se nourrit de microorganismes.
- Dans le **duodénum** sont déversées des enzymes du suc pancréatique et d'autres sécrétées par la paroi intestinale, ainsi que la bile sécrétée par le foie (et stockée dans la vésicule biliaire). La bile a la propriété d'émulsifier les lipides, c'est-à-dire de les disperser en gouttelettes, ce qui facilite leur digestion par les enzymes.

**La digestion se déroule donc de façon séquentielle, grâce à la coopération de différentes régions fonctionnelles spécialisées de l'appareil digestif de la vache.**

La coopération existe aussi à une autre échelle, entre les microorganismes et la vache, d'une part et entre les microorganismes eux-mêmes d'autre part. Ainsi la vache et le microbiote qu'elle héberge constituent une entité fonctionnelle supérieure à l'organisme, appelé holobionte.

## 2.2 L'entrée de matière dans l'organisme au niveau de surfaces d'échanges

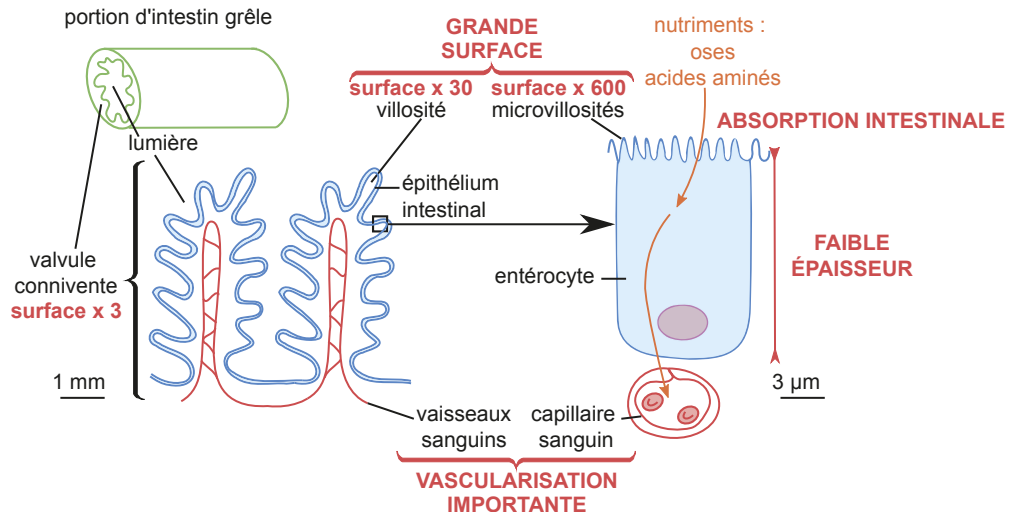
### a) Absorption de l'eau et des nutriments au niveau de surfaces spécialisées du tube digestif

Les **acides gras volatils** résultant des fermentations réalisées par les symbiotes sont absorbés au niveau du **rumen**. L'**eau** et les **ions minéraux** le sont au niveau du **feuillet**.

Les **nutriments** issus de la digestion dans la caillette puis le duodénum sont absorbés dans l'**intestin grêle**. L'intestin particulièrement long est typique d'un herbivore. Des contractions de la paroi intestinale font progresser son contenu.

L'absorption met en jeu la **muqueuse intestinale**, tissu de revêtement de la paroi de l'intestin, formé de l'épithélium intestinal et d'un tissu conjonctif. En traversant cette muqueuse, les nutriments passent du milieu extérieur, la lumière intestinale, au milieu intérieur, le sang. L'organisation de la muqueuse intestinale et des cellules épithéliales (entérocytes) favorise l'absorption des nutriments : elle présente une grande surface, une faible épaisseur et une vascularisation importante, caractéristiques d'une **surface d'échanges** (figure 1.6).

Voir chapitre 5, § 2.2



**Figure 1.6** La muqueuse intestinale, une surface spécialisée dans l'absorption des nutriments.

#### ZOOM 3

Régionalisation fonctionnelle de l'appareil digestif

Le transit se poursuit dans le **colon**, où subsiste la fraction des aliments qui n'a pas été digérée ainsi que de l'eau, en partie absorbée à travers la paroi du colon. Les **fèces** (bouses) sont élaborées. Elles transiteront dans le rectum puis seront émises lors de l'**égestion**.

### b) Approvisionnement en O<sub>2</sub> au niveau de surfaces d'échanges respiratoires internalisées

Le milieu aérien est riche en O<sub>2</sub> (21 %), ce qui présente un avantage. En revanche, c'est un milieu desséchant et les échanges gazeux respiratoires (prélèvement d'O<sub>2</sub> et rejet de CO<sub>2</sub>) s'ac-

Voir chapitre 3, § 1.2

compagnent de pertes d'eau qui sont cependant limitées grâce à l'organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire. Celui-ci comprend (figure 1.7) :

- des **voies aérophores** qui conduisent l'air aux poumons et débouchent dans les alvéoles (structures en cul-de-sac) ;
- des **surfaces d'échanges gazeux respiratoires**, les parois des nombreuses alvéoles pulmonaires.

L'air pénètre dans les voies aérophores puis dans les poumons lors de l'inspiration active : la contraction des muscles de la cage thoracique entraîne l'augmentation de son volume et une dilatation des poumons par l'intermédiaire des plèvres. Lorsque ces muscles se relâchent à l'expiration, l'air suit le chemin inverse. Ainsi, la ventilation est bidirectionnelle, ce qui est rendu possible par des propriétés de l'air : peu dense et peu visqueux, le coût énergétique de sa mise en mouvement est limité. La paroi alvéolaire est recouverte de surfactant qui évite que les parois ne restent collées à l'expiration. Dans les alvéoles, l'air est maintenu dans un état proche de la saturation en vapeur d'eau, ce qui limite l'évaporation au niveau des surfaces d'échange respiratoires.

Ainsi, l'internalisation des surfaces d'échange contribue à limiter les pertes en eau associées aux échanges gazeux respiratoires.

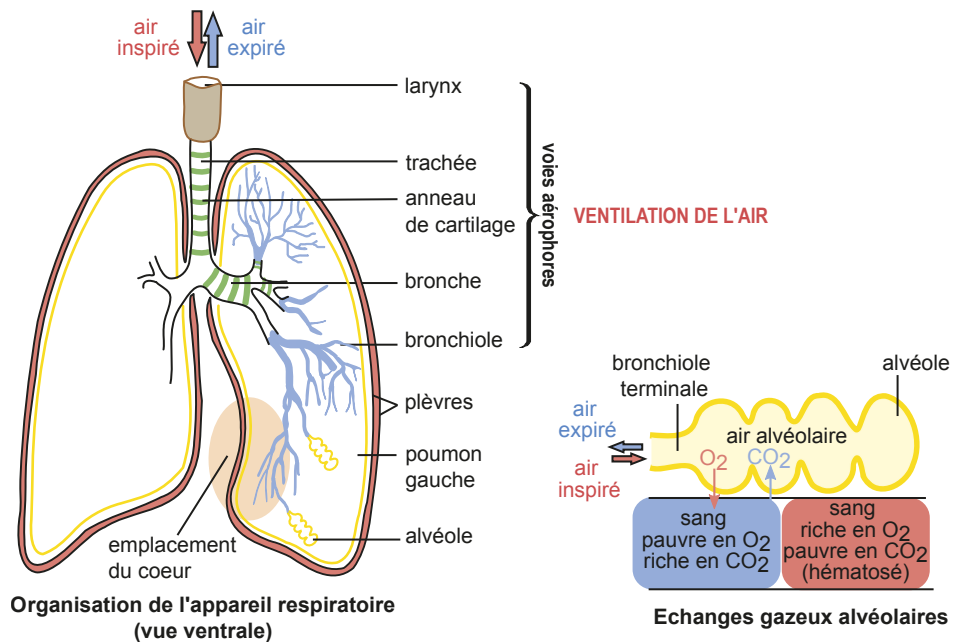


Figure 1.7 Organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire.

Les nombreuses alvéoles développent une vaste surface d'échange, de faible épaisseur, ce qui favorise la diffusion des gaz respiratoires. La ventilation renouvelant l'air alvéolaire et la circulation du sang qui apporte le  $\text{CO}_2$  et prend en charge l' $\text{O}_2$  contribuent à maintenir un gradient de pression partielle élevé de ces gaz, favorable à leur diffusion de l'air alvéolaire au sang pour l' $\text{O}_2$  et inversement pour le  $\text{CO}_2$ . Dans les capillaires alvéolaires, l' $\text{O}_2$  est lié à l'hémoglobine, protéine contenue dans les hématies. Le  $\text{CO}_2$  est majoritairement transporté dans le sang sous forme d'ions  $\text{HCO}_3^-$ .

La grande surface, la faible épaisseur, la vascularisation importante sont des points communs avec la paroi intestinale : ce sont **des caractéristiques de surfaces d'échanges**.

Voir chapitre 3, § 4

### 2.3 Des corrélations trophiques assurées par la circulation sanguine

Les nutriments absorbés dans l'intestin (et au niveau de la paroi du rumen pour les acides gras volatils), l'eau et les ions minéraux absorbés au niveau du feuillet et du colon, l'O<sub>2</sub> absorbé au niveau des alvéoles pulmonaires sont distribués par le sang aux cellules qui les utilisent pour leur métabolisme cellulaire. Le sang contient également du CO<sub>2</sub>, et de l'urée, déchets du métabolisme cellulaire, qui sont acheminés vers les appareils permettant leur élimination. L'organisation fonctionnelle de l'appareil circulatoire permet ainsi des **corrélations trophiques** entre cellules, tissus, organes et appareils (figure 1.8).

Le sang est mis en mouvement par les contractions du **cœur**, qui est un muscle creux cloisonné en cœur gauche (oreillette et ventricule gauches) et cœur droit (oreillette et ventricule droits). Le sang est envoyé sous pression dans les **artères** qui se ramifient en artérioles. Dans les organes, le sang est distribué dans de nombreux **capillaires** dont la paroi fine (1 μm d'épaisseur, une seule couche de cellules) favorise les échanges avec les tissus. La vitesse du sang est alors plus faible en raison de la ramification de l'appareil circulatoire, ce qui est également favorable aux échanges. Le sang gagne ensuite des veinules, puis des **veines**, qui assurent le retour au cœur, où le sang est à nouveau propulsé.

La circulation des mammifères est double : on distingue une **circulation systémique** et une **circulation pulmonaire**. Le sang passe dans le cœur avant de rejoindre chacune d'elles : le cœur est une double pompe et le sang est mis sous pression à deux reprises. La circulation systémique haute pression permet l'irrigation efficace de tous les organes (autres que les poumons) alors que l'organisme vit dans le milieu aérien faiblement porteur, où il est soumis à la gravité. La circulation pulmonaire basse pression permet de limiter les pertes en eau à travers la barrière alvéolo-capillaire qui est très mince.

#### ZOOM 4

Les fonctions du sang

### 2.4 L'entrée des nutriments dans le métabolisme cellulaire

Les nutriments acheminés par le sang entrent dans la cellule qui les utilise d'une part comme source d'énergie, d'autre part comme source de matière

Les nutriments représentent une énergie chimique potentielle car le carbone, élément clé des molécules organiques, s'y trouve à l'état réduit ; il est au contraire à l'état oxydé dans le CO<sub>2</sub> (voir § 3). L'oxydation des molécules organiques constitue le **catabolisme** énergétique ; elle permet de libérer leur énergie chimique potentielle et de transférer cette énergie sous une forme directement utilisable par la cellule, l'ATP, pour effectuer des travaux cellulaires (synthèses, transports par exemple).

En présence d'oxygène, la cellule réalise la respiration cellulaire, oxydation totale de petites molécules organiques comme le glucose (tout le carbone qu'il contient se retrouve sous forme de CO<sub>2</sub>) :



**C** à l'état réduit      **C** à l'état complètement oxydé

Les nutriments sont aussi utilisés pour des synthèses (constitution de réserves, renouvellement moléculaire) : c'est l'**anabolisme**.

Le recyclage des constituants cellulaires, en particulier des molécules azotées (protéines, acides nucléiques) lors du catabolisme produit des déchets azotés, sous forme d'ion ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> qui est converti en urée par le foie.

### 2.5 L'élimination des déchets et le maintien de l'équilibre hydrominéral

L'**excrétion** est l'élimination de déchets du fonctionnement cellulaire, de substances exogènes et/ou des produits de leur dégradation (ions toxiques, médicaments...), ainsi que de substances en excès dans l'organisme (ions divers, eau...). Elle ne doit pas être confondue avec l'égestion dernière étape de la digestion.

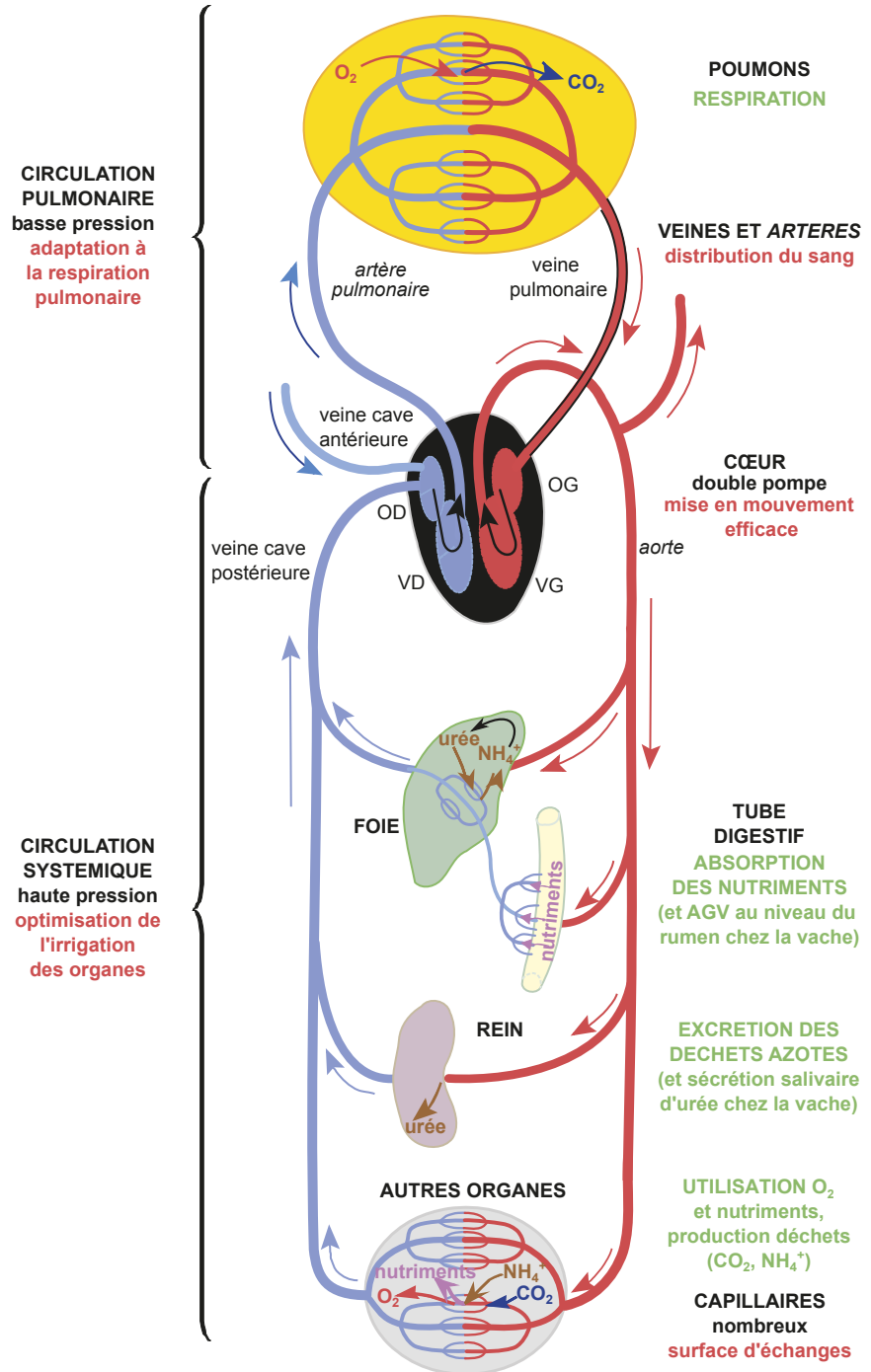


Figure 1.8 Organisation fonctionnelle de l'appareil circulatoire et corrélations trophiques.

L'ammoniac  $\text{NH}_4^+$ , produit terminal de la dégradation des protéines et acides nucléiques est très soluble mais également très toxique pour les cellules à faible concentration. En conséquence, l'excrétion de l'azote sous cette forme nécessite une urine très diluée. En milieu aérien, ce type

d'excrétion s'accompagnerait de pertes en eau difficiles à compenser. Chez les mammifères, l'ammoniac est transformé dans le foie en urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ). Moins toxique, l'urée peut être concentrée par réabsorption d'eau dans les reins lors de la production d'urine. L'excrétion des déchets azotés sous forme d'urée est qualifiée d'**uréotélie**, c'est une adaptation au milieu aérien. Le rein est un organe richement vascularisé constitué de nombreux néphrons, unités fonctionnelles qui produisent l'urine. Chaque néphron est formé d'un long tubule ouvert vers les voies urinaires à une extrémité, et pelotonné de l'autre (corpuscule rénal) (figure 1.9). La filtration du sang sous l'effet de la pression sanguine (= ultrafiltration) produit une urine primaire dont la composition est proche de celle du plasma, sans les grosses molécules (ex. : protéines). Des processus de sécrétion et de réabsorption de nutriments, d'ions et surtout d'eau conduisent à une urine définitive concentrée qui est stockée dans la vessie avant d'être éliminée lors de la miction. Sous contrôle hormonal, la réabsorption contribue au maintien de l'équilibre hydrominéral de l'animal.

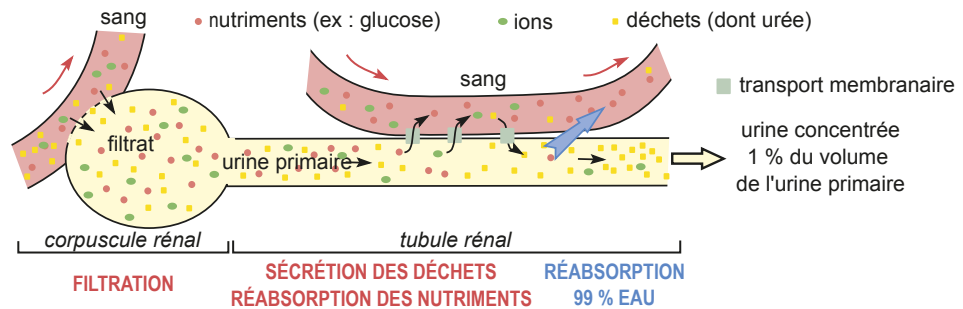


Figure 1.9 La formation d'urine dans le néphron, unité fonctionnelle du rein.

### 3 La production de nouveaux individus par la reproduction sexuée

#### 3.1 La reproduction vivipare est adaptée au milieu aérien

##### a) Fécondation interne

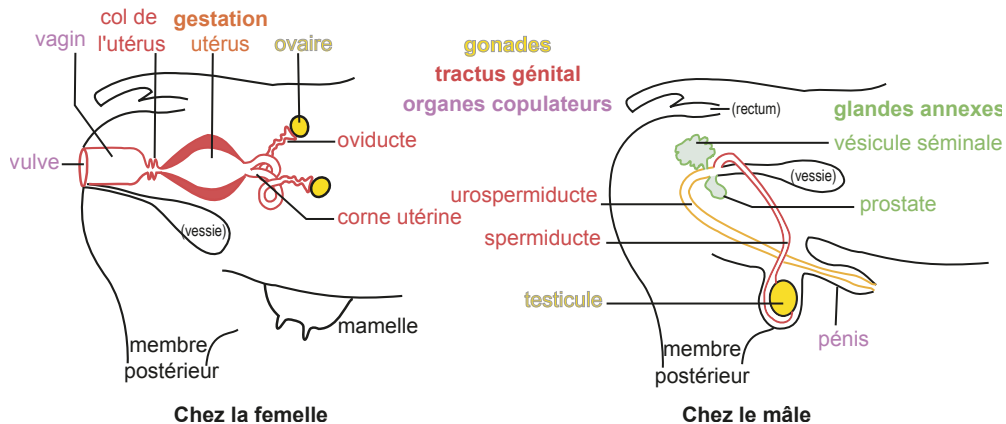
Les mâles et les femelles peuvent être distingués morphologiquement (dimorphisme sexuel). Leur appareil reproducteur comprend des **gonades**, qui produisent les gamètes et des hormones sexuelles, et un **tractus génital** (figure 1.10).

L'organisation des appareils reproducteurs mâle et femelle permet l'**accouplement** et une **fécondation interne**, puis le développement de l'embryon dans l'organisme maternel, c'est-à-dire la **viviparité**. Ainsi, les gamètes puis l'embryon sont protégés vis-à-vis des contraintes du milieu aérien (desséchant, avec des variations de température de grande amplitude).

##### b) Développement dans l'utérus de la vache

Après fécondation, le développement embryonnaire s'effectue à l'intérieur de l'organisme maternel : c'est la **gestation**, d'une durée moyenne de 280 jours (9 mois). L'embryon dépend de l'organisme maternel pour ses fonctions de nutrition et de protection, auxquelles contribuent des structures nommées annexes embryonnaires qui se développent à partir de cellules embryonnaires.

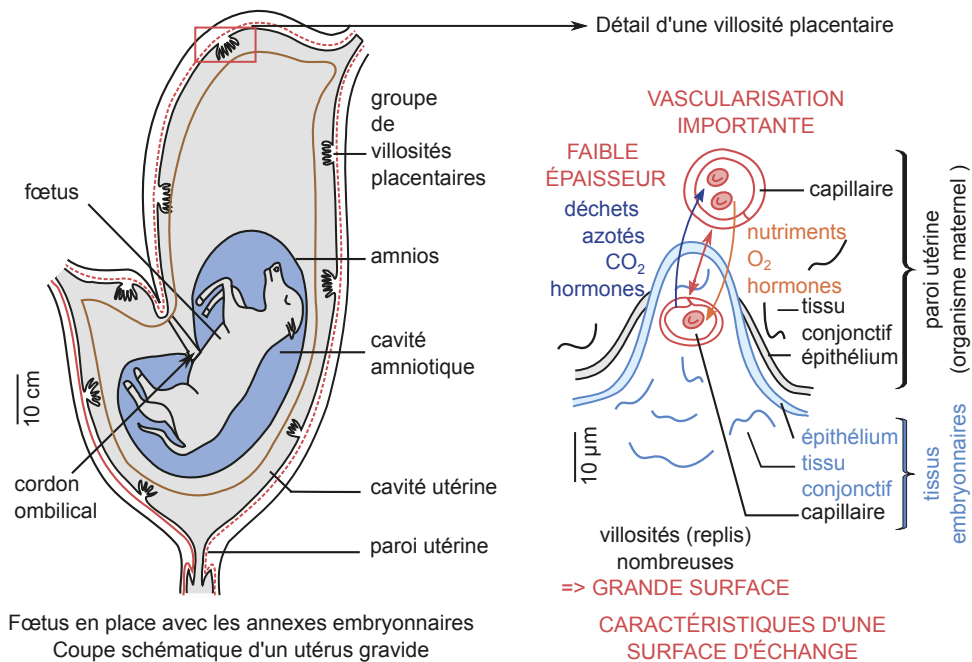
L'une de ces annexes est l'**amnios**, membrane qui délimite autour de l'embryon la cavité amniotique remplie de **liquide amniotique**. L'embryon se développe donc dans un milieu aqueux qui le protège vis-à-vis du dessèchement, des contraintes mécaniques et des variations de température.



**Figure 1.10** Organisation fonctionnelle des appareils reproducteurs femelle et mâle chez la vache.

Chez le mâle, le tractus qui conduit les gamètes est d'abord strictement génital (spermiducte) puis uro-génital car il conduit aussi l'urine. Le liquide séminal est la phase liquide du sperme. Les organes entre parenthèses n'appartiennent pas à l'appareil reproducteur.

Le **placenta** est une autre annexe ; il résulte de l'association de cellules embryonnaires avec la muqueuse utérine. Il permet la réalisation des **fonctions de nutrition** de l'embryon puis du fœtus (figure 1.11). C'est également un **filtre sélectif** : il protège de la plupart des agents pathogènes et les protéines du sang maternel ne le traversent pas. Il assure aussi une **fonction endocrine** : production notamment de progestérone permettant le bon déroulement de la gestation, d'hormone lactogène placentaire qui stimule la croissance de la glande mammaire.



**Figure 1.11** Le placenta, une surface d'échanges.

### c) Soins au veau

À la naissance, le veau reste dépendant de sa mère pour sa nutrition : il poursuit son développement grâce à l'**allaitement**, jusqu'au **sevrage** (vers 2 mois, variable selon les races et les conditions d'élevage). Les glandes mammaires (2 paires chez la vache, regroupées en un pis) produisent une première sécrétion durant les premiers jours, le **colostrum**. Il contient des **immunoglobulines** maternelles qui, absorbées par l'intestin du veau, vont lui conférer une première immunité avant que ses défenses propres ne soient fonctionnelles. Le lait produit ensuite est un aliment complet permettant la croissance du veau (**tableau 1.1**). En cas de pénurie alimentaire, la mère peut compenser le déficit en puisant dans ses réserves corporelles pour produire du lait. La lactation favorise la survie du jeune.

La glande mammaire est une **glande exocrine**. Les unités sécrétrices sont les alvéoles qui se développent au cours de la gestation sous l'effet d'hormones. Elles régressent à la fin de la lactation, qui dure environ 10 mois.

La lactation est sous **contrôle hormonal**. Lors de la tétée ou de la traite, la stimulation des trayons est le point de départ d'un **réflexe neuro-hormonal** qui entretient l'activité sécrétrice des alvéoles et stimule l'éjection du lait.

**Tableau 1.1** Composition moyenne du lait de vache (% pondéraux moyens).

Eau	Lipides	Protéines	Glucides	Sels minéraux
87,5	3,5	3,5	4,6	0,8
		dont immunoglobulines	dont 97 % de lactose	dont Ca <sup>2+</sup>
Autres constituants : vitamines, hormones, facteurs de croissance, cellules du système immunitaire (macrophages, lymphocytes B et T...)				

L'espèce *Bos taurus* présente une maturité sexuelle tardive, une descendance peu nombreuse (un veau par gestation, rarement deux) et des soins aux jeunes importants qui permettent de limiter leur mortalité : on parle de **stratégie démographique K** pour les populations qui présentent ces caractéristiques (par opposition à la stratégie r). La stratégie K se rencontre lorsque les conditions du milieu de vie et les ressources sont stables.

### 3.2 La reproduction sexuée, processus conservatoire et diversificateur

La reproduction, sexuée met en jeu deux processus fondamentaux : la **méiose**, qui produit des gamètes haploïdes (à n chromosomes), et la **fécondation**, qui résulte de la fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle et rétablit la diploïdie ( $2n = 60$  chez *Bos taurus*). Méiose et fécondation permettent donc le maintien du nombre de chromosomes et des caractéristiques de l'espèce d'une génération à la suivante : la reproduction sexuée est un **processus conservatoire d'un point de vue quantitatif**.

Le veau peut présenter des caractères de son père ou de sa mère, voire des caractères intermédiaires entre les deux (par exemple une robe de couleur intermédiaire). Ceci est dû au brassage génétique qui accompagne la reproduction sexuée. Au cours de la méiose, qui comporte deux divisions cellulaires successives, se produisent des **brassages inter- et intrachromosomiques**, qui produisent de nouvelles combinaisons d'allèles. Pour un caryotype  $2n = 60$ , les seuls brassages interchromosomiques peuvent produire  $2^{30}$  gamètes différents. La fécondation réunit aléatoirement un gamète mâle et un gamète femelle, ce qui accroît encore la diversité des individus qui peuvent être produits. La reproduction sexuée est donc un **processus diversificateur du point de vue qualitatif**.

Cette diversité ouvre à la **sélection** par l'être humain, qui peut choisir les reproducteurs.

#### ZOOM 5

Le cycle de reproduction de la vache

Voir chapitre 16, zoom 2

Voir ouvrage de 2<sup>e</sup> année

#### DÉCOUVERTE 1

Races laitières, allaitantes et sélection

## 4 Des interactions multiples avec son environnement

### 4.1 Les relations intra- et interspécifiques, parmi lesquelles la domestication

#### a) Une espèce grégaire et des relations intraspécifiques diversifiées

Les interactions mâle/femelle puis vache/veau liées aux fonctions de reproduction s'inscrivent dans les relations intraspécifiques. De plus l'**espèce est grégaire**, c'est-à-dire que les animaux vivent en groupe social, le troupeau, en dehors des périodes de reproduction, avec pour conséquence des interactions permanentes et diversifiées.

Au sein du groupe, il existe des relations de **dominance** : une hiérarchie se constitue rapidement lors de la formation du troupeau. Des animaux développent également des relations d'**affinité** se traduisant par des léchages et une proximité entre les individus. Certains peuvent montrer un **leadership**, sans lien avec la hiérarchie. La vache leader initie généralement les déplacements du troupeau. Elle a une meilleure vision de l'espace et une bonne mémoire de l'environnement.

Ces relations intraspécifiques reposent sur la **communication** entre individus, qui se reconnaissent individuellement grâce aux odeurs et phéromones, par la posture de la tête et par le beuglement exprimant la faim, la soif, la souffrance, ou appelant un congénère.

Le mode de vie grégaire s'accompagne d'une **docilité** des animaux, liée aux nombreuses interactions permanentes dans le groupe, ce qui a permis la **domestication** : les espèces domestiquées sont des espèces grégaires.

Les relations intraspécifiques sont modifiées par la domestication : dans le cadre des fonctions de reproduction, la relation mâle/femelle est souvent absente (insémination artificielle), la relation mère/jeune n'existe qu'en élevage allaitant ; le troupeau est constitué par l'éleveur.

#### b) La domestication

La domestication d'une espèce consiste en l'acquisition, la perte ou le développement de caractères héréditaires, qu'ils soient morphologiques, physiologiques ou comportementaux, par suite d'une interaction prolongée ou d'une sélection délibérée de la part de l'être humain.

La domestication de l'auroch dont descend *Bos taurus*, s'est produite vers 8 000 ans av. J.-C. au Moyen-Orient puis en Inde. Elle pourrait être la conséquence de l'accompagnement des troupeaux d'aurochs pendant leurs migrations saisonnières par des groupes humains, qui seraient progressivement passés à la mise en enclos puis auraient pratiqué une sélection sur la docilité et le comportement maternel dans la relation mère/jeune.

La domestication d'une espèce a des conséquences à la fois pour l'espèce elle-même et pour les populations humaines qui l'ont domestiquée. Ces conséquences se déclinent aux différentes échelles, de l'individu à l'espèce (tableau 1.2).

**Tableau 1.2** Conséquences de la domestication pour *Bos taurus* et pour l'espèce humaine.

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

#### DÉCOUVERTE 2

Comment reconstituer l'histoire de la domestication des bovins ?



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
<b>Impacts de la domestication sur l'espèce humaine</b>	
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 ( $\beta$ -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)

### c) Des relations interspécifiques diversifiées dans l'écosystème prairial

Le fonctionnement de l'écosystème prairial est sous-tendu par une grande diversité de relations entre les espèces qui lui appartiennent. En voici quelques exemples pour la vache.

La domestication de *Bos taurus* par l'être humain est une association bénéfique pour les deux espèces mais n'est pas obligatoire, c'est une **coopération**.

La réalisation de l'alimentation de la vache met nécessairement en jeu des relations avec les **symbiotes** qu'elle héberge (voir § 2.1b) : la vie de l'une et celle des autres sont indissociables, ils constituent ensemble un supraorganisme que l'on qualifie d'**holobionte**.

La vache consomme les végétaux herbacés de la prairie : ils représentent un apport nutritif. Ses bouses et son urine sont source de matière pour les végétaux de la prairie : il y a **coopération**.

La matière organique résiduelle des bouses est consommée par les larves d'insectes coprophages : cette relation est neutre pour la vache mais bénéfique pour l'insecte.

La vache peut aussi être l'hôte d'organismes (externes comme les mouches ou les tiques, internes comme la douve du foie ou les strongles) qui se nourrissent à ses dépens : il s'agit de **parasitisme**.

## 4.2 La survie individuelle repose sur des fonctions de perception et de protection

La recherche de nourriture, la défense du territoire ou encore la reproduction demande aux organismes de pouvoir réagir aux stimulations du milieu par des comportements adaptés. Perception, locomotion, protection et défense, émission de sons ou d'odeurs constituent les fonctions de relation.

### a) De la perception du milieu à l'élaboration d'une réponse

- La perception du milieu met en jeu des organes sensoriels variés et spécialisés (figure 1.12).

Voir chapitre 17, zoom 7

Par exemple, l'œil reçoit les stimuli lumineux, qui sont convertis en un message nerveux sensitif au niveau des cellules rétinienne spécialisées dans la réception de ces stimuli : c'est la **transduction**.

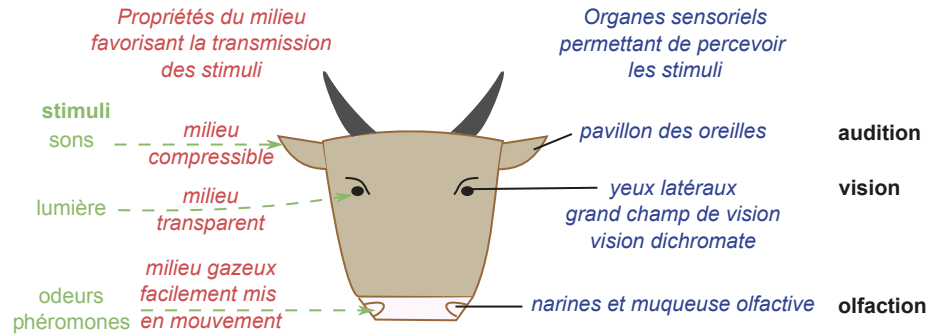


Figure 1.12 Les principaux organes sensoriels de la tête et leur fonction chez la vache.

Voir ouvrage de 2<sup>e</sup> année

- Les différents messages issus des récepteurs sensoriels sont acheminés jusqu'aux centres nerveux (encéphale et moelle épinière), où ils sont traités et confrontés, c'est l'**intégration**, puis des messages moteurs sont produits qui permettront une réponse adaptée de l'organisme (figure 1.13).
- Le déplacement de l'animal constitue la **réponse** de l'organisme. Il met en jeu son squelette osseux auquel sont reliés les muscles squelettiques (dits « striés ») par des tendons. La contraction de muscles précis associée au relâchement des muscles antagonistes mobilise les os autour des articulations et entraîne un mouvement (figure 1.13). La coordination des mouvements des membres grâce au système nerveux central (dont le cervelet, qui joue aussi un rôle dans l'équilibre) permet le déplacement de l'animal.

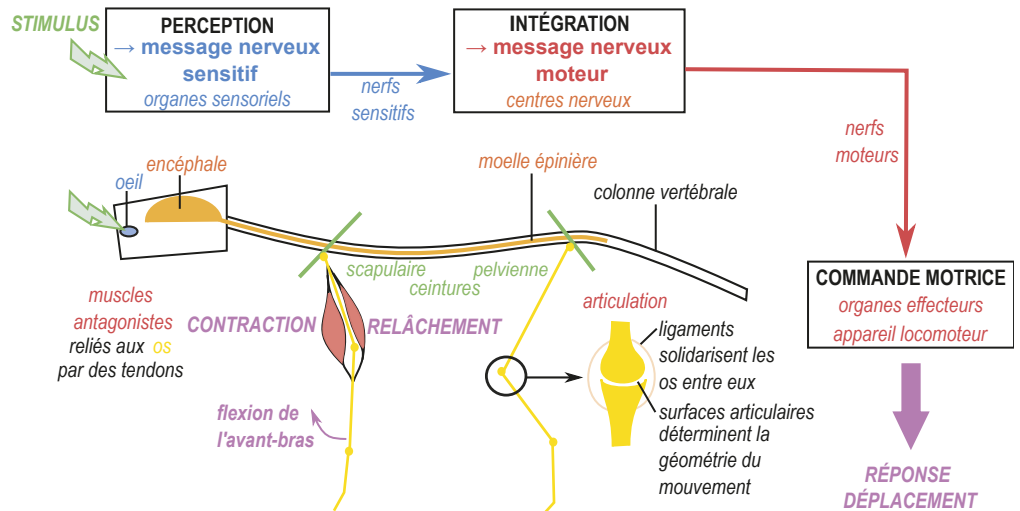


Figure 1.13 De la perception d'un stimulus visuel à la réaction de l'organisme.

Voir TP 1, § 1

L'organisation de l'appareil locomoteur des vertébrés tétrapodes, avec la forme en ressort du membre chiridien et sa position parasagittale facilitent la sustentation et le déplacement en milieu aérien faiblement porteur.

Voir TP1, § 4

**ZOOM 6**

La vache et l'eau

**b) Le tégument : une structure protectrice**

Le **tégument** (ou peau) est directement au contact du milieu extérieur. Il comprend :

- l'**épiderme, épithélium** constitué de plusieurs couches de cellules de plus en plus kératinisées vers la surface, où, mortes, elles desquament (renouvellement en 4 semaines environ) ;
- des poils, productions épidermiques kératinisées (appelées phanères, comme les cornes et les sabots) caractéristiques des mammifères, auxquels sont associées des glandes sébacées productrices de sébum (substance lipidique, hydrophobe) ;
- le derme, **tissu conjonctif** contenant des vaisseaux sanguins, des récepteurs sensoriels (mécaniques, au froid, au chaud) et des cellules du système immunitaire.

L'organisation du tégument permet de limiter les pertes en eau. C'est aussi une barrière contre les pathogènes et les parasites (voir § 4.1c), et, surtout, il joue un rôle d'isolant thermique (figure 1.14).

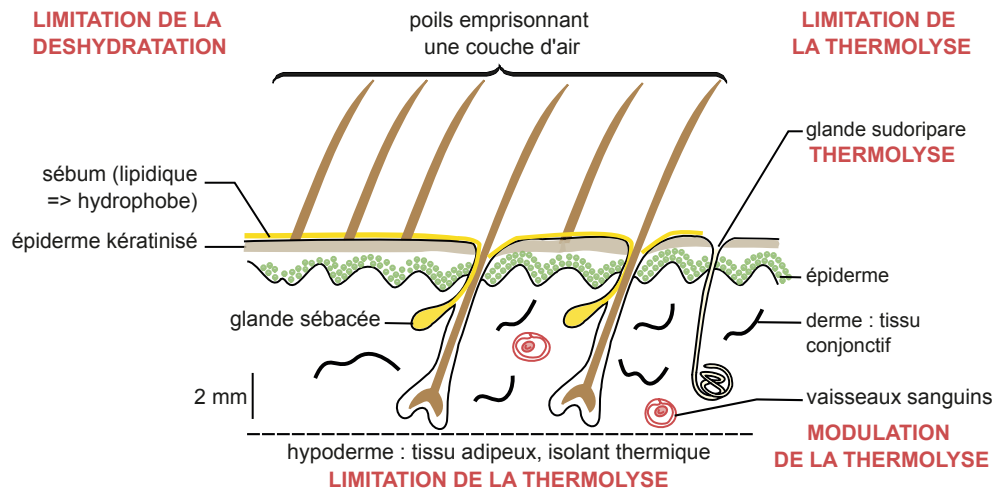


Figure 1.14 Le tégument : une structure protectrice.

**c) Des systèmes de protection vis-à-vis de variations d'origine interne ou externe**

De nombreux paramètres corporels varient dans un intervalle de valeurs contrôlé, comme la glycémie (taux de glucose sanguin) et la température corporelle, dont le maintien caractérise les animaux dits endothermes, comme la vache. C'est un paramètre physiologique important car la température influence la vitesse des réactions chimiques du métabolisme.

La vache vit dans un milieu dont les variations thermiques ont une grande amplitude, pourtant elle maintient sa température corporelle constante autour d'une valeur de consigne de 38,5 °C, ce qui suggère que l'équilibre est maintenu entre les sources de chaleur et la dissipation de chaleur de l'organisme (figure 1.15).

Le maintien de cet équilibre met en jeu :

- la perception de la température du milieu extérieur, grâce à des récepteurs thermosensibles de la peau, ainsi que la perception de la température corporelle ;
- l'intégration de ces informations au niveau d'un centre intégrateur, l'hypothalamus ;
- des mécanismes de régulation si la température effective du corps est différente de la valeur de consigne : la thermolyse (dissipation de chaleur) ou la thermogenèse (production de chaleur) peuvent être modulées grâce à différents organes effecteurs (tableau 1.3), ce qui permet le retour à la valeur de consigne.

Capturs, voies de communication, centre intégrateur et organes effecteurs sont les acteurs d'une boucle de régulation d'un paramètre physiologique, ici la température corporelle.

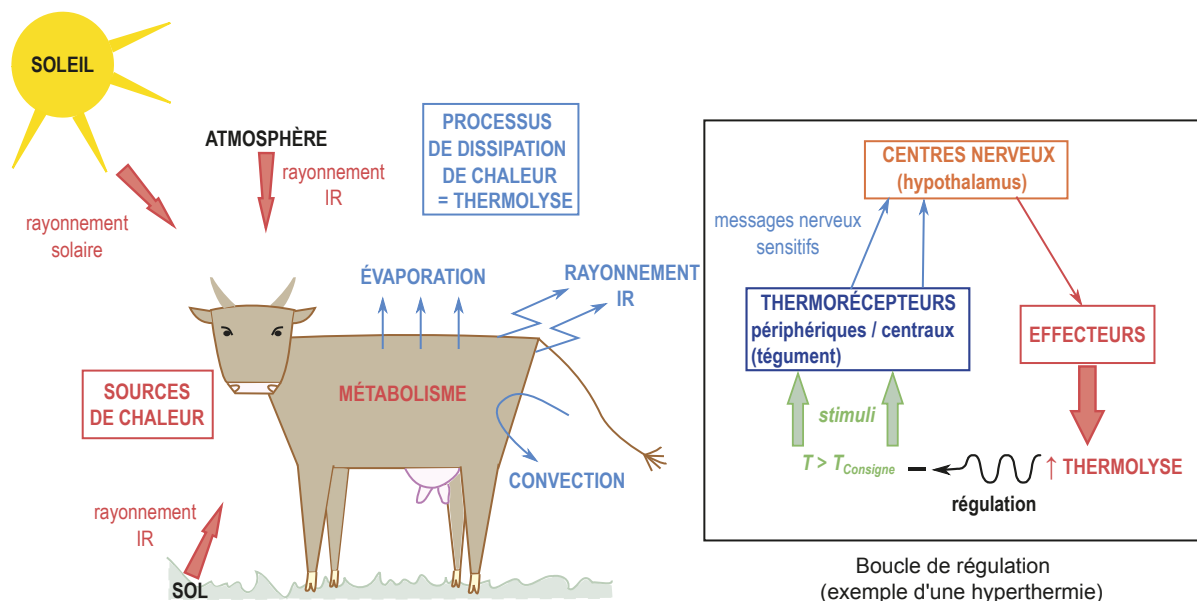


Figure 1.15 Sources de chaleur et processus de dissipation de chaleur chez la vache.

Remarque

Voir chapitre 8, § 2

La teneur élevée en eau de l'organisme contribue à limiter les fluctuations de température de celui-ci, en raison de la capacité thermique élevée de cette molécule. L'eau est un bon tampon thermique.

Tableau 1.3 Les effecteurs de la régulation de la température corporelle.

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

En plus de variations d'origine interne ou externe à l'échelle de l'heure ou de la journée, *Bos taurus* est exposé sous nos latitudes à des variations de température liées aux saisons (bien que ces variations soient moindres pour les animaux vivant en stabulation). Le tégument, surface directement exposée au milieu, joue là encore un rôle : en hiver, la toison constituée de poils plus longs et plus fournis et l'hypoderme qui contient de nombreux adipocytes contribuent à l'isolation thermique (figure 1.14).

Voir chapitre 18, § 1

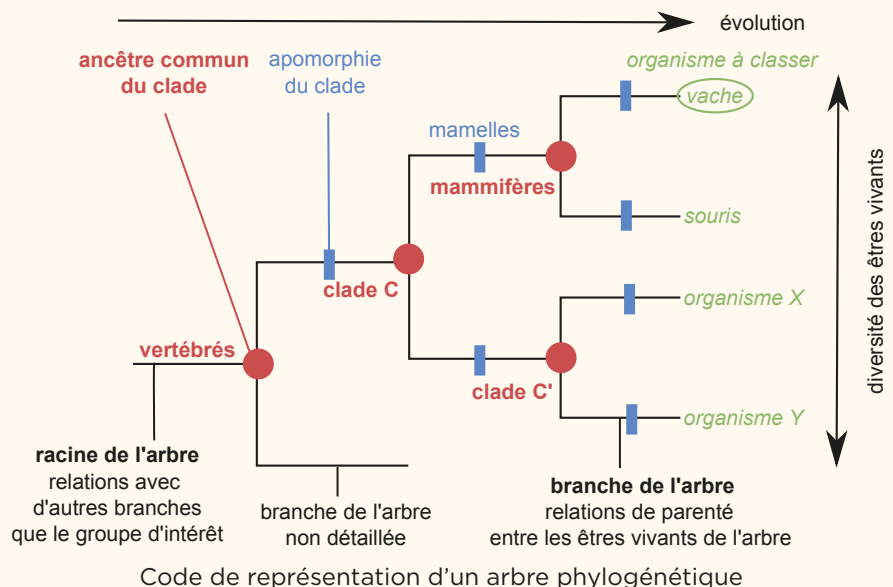
## ZOOM 1

### Principes d'une classification phylogénétique

La science des classifications est la **systématique**. Elle a pour objet d'identifier, décrire et classer les êtres vivants actuels et passés en recherchant des relations de parenté (relations phylogénétiques).

Pour cela il convient d'identifier au sein d'un groupe d'êtres vivants **des caractéristiques communes, de l'échelle de l'organisme à l'échelle moléculaire, qui suggèrent une relation de parenté** entre eux. L'état actuel du monde vivant résulte de l'**évolution** : de nouveaux caractères apparus chez certains individus ont été transmis et conservés chez leurs descendants.

En conséquence, la comparaison de caractères convenablement choisis permet de discuter des liens de parenté entre organismes et de proposer des regroupements en clades. Un **clade** est défini comme un groupe d'organismes actuels ou fossiles comprenant un ancêtre et l'ensemble de ses descendants. Par exemple, les mammifères constituent un clade, l'espèce *Bos taurus*, c'est-à-dire la vache, en est un autre. **Différents caractères ou attributs observables peuvent être utilisés pour établir l'appartenance à un clade** : morphologiques, anatomiques, physiologiques, embryonnaires ou moléculaires. Les caractères retenus pour cela doivent être nouvellement apparus chez l'ancêtre commun au clade : on parle de **caractères dérivés propres ou apomorphies**. L'ancêtre commun ne correspond pas à un être vivant fossile ; c'est un ensemble de caractères partagés par le clade qui peut alors être désigné par le nom particulier qu'on lui a attribué (ex. : vertébrés) ou par une apomorphie associée à ce clade (vertèbres).



On utilise parfois le terme de **taxon** pour désigner une catégorie d'organismes qui possèdent certains caractères en commun, quelle que soit l'importance de cette catégorie : la vache, les bovidés, les mammifères, les animaux, sont des taxons. Les hypothèses retenues pour traduire les relations de parenté entre différents êtres vivants sont représentées sous forme d'un **arbre phylogénétique**.

Voir chapitre 17, § 1

## ZOOM 2

### L'écosystème ruminal

Un **écosystème** est constitué d'un environnement (**biotope**) avec des conditions caractéristiques et d'une **biocénose**, communauté d'organismes qui y vivent en interrelations.

#### Les conditions de milieu dans le rumen

La plupart des conditions du rumen dépendent de la vache, dont l'organisme assure un milieu stable et favorable à la vie des symbiotes.

VOLUME 100 à 150 L		
température : 38 à 41 °C	pH moyen : 6,4	milieu anaérobie = sans O <sub>2</sub>
<b>phase gazeuse</b>	<b>phase liquide</b>	<b>phase solide</b>
CO <sub>2</sub> : 65 %	eau	débris végétaux
CH <sub>4</sub> : 27 %	urée	10 à 18 % de
H <sub>2</sub> : 0,2 %	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (effet tampon)	matière sèche
N <sub>2</sub> : 7 %	acides gras volatils	
O <sub>2</sub> : 0,6 %		

en rouge les composés résultant de l'action des symbiotes ; en bleu ceux apportés par la vache

Les conditions de milieu dans le rumen.

Les acides gras volatils, ainsi que CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub> résultent de l'activité des symbiotes du rumen. L'urée et les ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont apportés par la salive. L'urée est un déchet azoté que la vache excrète dans sa salive (et dans l'urine).

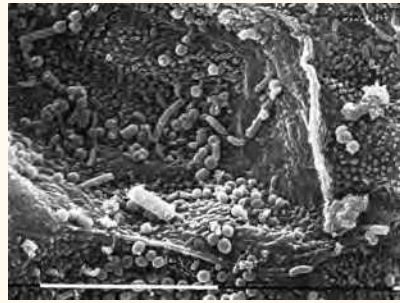
#### La biocénose : les microorganismes du rumen

Le **microbiote** de la panse est constitué de bactéries (10<sup>9</sup> – 10<sup>10</sup>/mL de jus de rumen) et des archées (10<sup>8</sup>/mL), des protozoaires ciliés, qui sont des eucaryotes unicellulaires (10<sup>4</sup> – 10<sup>6</sup>/mL) et des champignons (10<sup>4</sup>/mL).

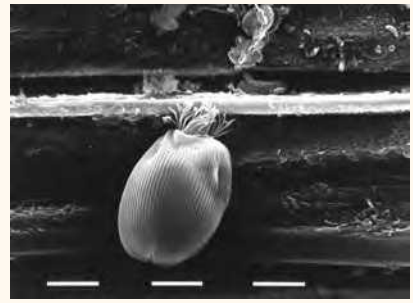
Les bactéries, les champignons et certains protozoaires **hydrolysent** les grosses molécules de la ration alimentaire de la vache, dont la cellulose, grâce aux enzymes qu'ils sécrètent. Tous ne produisent pas les mêmes enzymes, leurs actions peuvent être complémentaires.

Les petites molécules résultant de ces hydrolyses sont prélevées et utilisées par les diverses espèces, pour réaliser des fermentations et la synthèse de leurs constituants. Les substrats utilisables sont variables d'une espèce à l'autre, et le produit de l'activité métabolique d'une espèce peut être utilisé par une autre. Il y a là aussi une complémentarité. Les archées méthanogènes, à partir du CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>, produisent le CH<sub>4</sub> qui est éliminé par éructation. Or H<sub>2</sub> inhibe les fermentations ; en le consommant, les archées contribuent à la stabilité d'un milieu favorable aux fermentations des autres microorganismes.

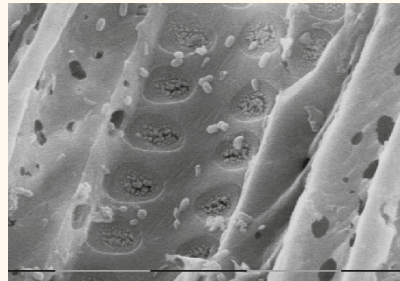
Certains ciliés peuvent phagocyter des bactéries, ou d'autres ciliés.



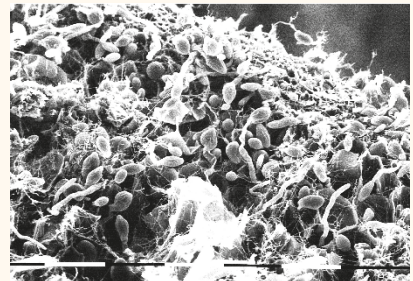
Bactéries du rumen



Protozoaire du rumen



Luzerne dégradée par des bactéries du rumen

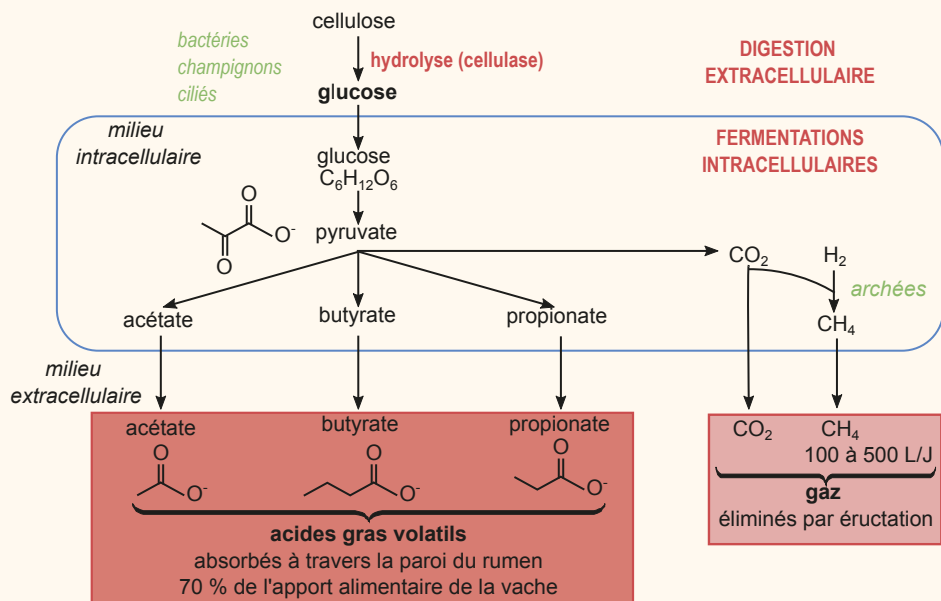


Champignons du rumen (*Piromyces communis*)

Les microorganismes du rumen.

(barres d'échelle : 10 µm)(Clichés B. Gaillard-Martinie, INRAE, Centre de recherche Auvergne-Rhône -Alpes, Plateau Technique de Microscopie - site de Theix).

Il existe donc une diversité d'interrelations entre les organismes de l'écosystème ruminal : compétition pour l'utilisation des ressources, mutualisme lorsque l'interaction est profitable à des espèces différentes, prédation...



Transformations chimiques de la cellulose par le microbiote ruminal.

**Les relations entre microorganismes du rumen et la vache : une symbiose**

La relation entre la vache et les microorganismes de sa panse est durable et à bénéfice réciproque : c'est une **symbiose**. Les microorganismes du rumen sont désignés sous le terme de **symbiotes** du rumen.

- **La vache assure à la fois un milieu favorable et l'approvisionnement en matière des microorganismes qu'elle héberge dans son rumen.**

En prélevant sa ration alimentaire, en la transformant mécaniquement lors de la rumination, la vache procure aux microorganismes la matière organique dont ils ont besoin. L'urée qu'elle sécrète dans sa salive fournit un apport important en azote.

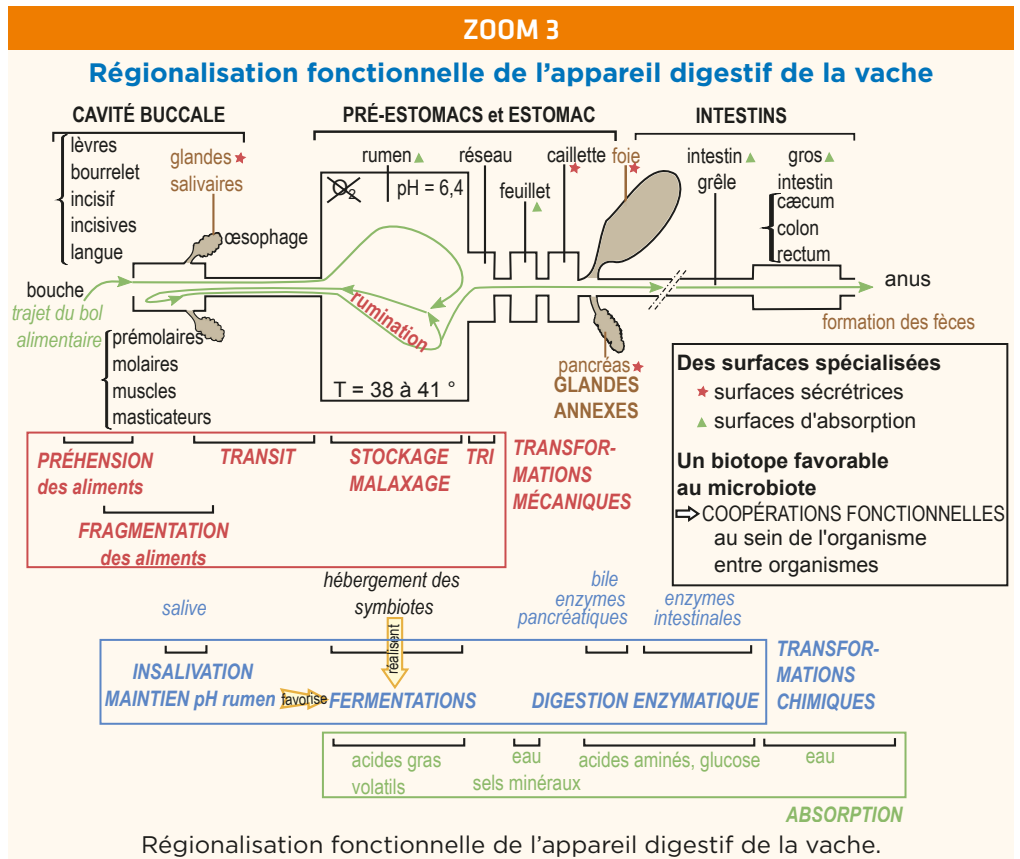
- **Les microorganismes transforment chimiquement la ration alimentaire de la vache.**

Les acides gras volatils produits par les fermentations sont absorbés à travers la paroi du rumen, puis métabolisés par la vache qui peut ainsi exploiter des aliments qu'elle n'est pas capable de digérer.

Les symbiotes peuvent aussi dégrader l'urée, déchet de la vache, en CO<sub>2</sub> et ammoniac NH<sub>3</sub> qu'ils utilisent ensuite pour produire leurs acides aminés, puis leurs protéines. Il y a donc un **recyclage de l'azote** grâce aux microorganismes du rumen.

- **La vache digère les microorganismes.**

La vache consomme chaque jour 1 à 1,5 kg de symbiotes, ce qui correspond à l'accroissement quotidien de la biomasse contenue dans le rumen, laquelle reste donc stable. C'est une source d'azote et de vitamines pour la vache, ce qui compense le déséquilibre de sa ration.



Régionalisation fonctionnelle de l'appareil digestif de la vache.

L'appareil digestif comprend un tube digestif régionalisé et des glandes annexes. Chaque région, chaque organe, présente une spécialisation structurale et fonctionnelle qui permet la réalisation d'une fonction contribuant à l'alimentation de l'animal, depuis la préhension de la ration à l'absorption des nutriments résultant des transformations des aliments. Il y a donc un partage du travail et une **coopération fonctionnelle** entre les différents organes de l'appareil digestif. Cela se retrouve aux différentes échelles, de la cellule à l'organisme et pour la réalisation des différentes fonctions vitales de l'animal.

#### ZOOM 4

##### Les fonctions du sang

Le sang est composé d'un fluide riche en eau, le plasma, et de nombreuses cellules qui en font un tissu : hématies (ou globules rouges) qui transportent l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub>, leucocytes (ou globules blancs) qui font partie du système immunitaire et plaquettes qui interviennent dans la coagulation sanguine. La couleur du sang est due à l'hémoglobine contenue dans les hématies. Le sang transporte de nombreuses substances **sous forme dissoute** dans le plasma :

- des ions : Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, phosphates HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et hydrogénocarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ;
- des nutriments : glucose, acides aminés (et acides gras volatils chez la vache) ;
- des sous-produits du métabolisme cellulaire : déchets azotés (urée, ammoniac) et CO<sub>2</sub> ;
- des protéines : par exemple des anticorps ;
- des **hormones** peptidiques (ex. : glucagon, insuline), certaines hormones stéroïdes, les autres étant transportées liées à des protéines plasmatiques comme l'albumine.

Les lipides sont transportés sous forme de vésicules lipoprotéiques (c'est-à-dire associés à des protéines). Seuls les acides gras à courte chaîne (< 8 C) – dont les acides gras volatils chez la vache – circulent librement, généralement liés à une protéine plasmatique (l'albumine).

Le sang assure donc des fonctions de transport liées à sa richesse en eau et aux propriétés de l'albumine. Ces transports contribuent aux fonctions de nutrition, mais aussi aux défenses immunitaires, à la communication hormonale et aux transferts thermiques.

Le sang contribue au maintien de l'**homéostasie** de l'organisme, c'est-à-dire la stabilité de différents paramètres physiologiques : teneur en eau et en ions de l'environnement des cellules, température corporelle (voir § 4.2.c).

#### ZOOM 5

##### Le cycle de reproduction de la vache

###### • Un cycle sexuel de 21 jours

Dès l'acquisition de la maturité sexuelle (9-12 mois chez le mâle, 6-18 mois chez la femelle), l'appareil reproducteur du mâle produit en permanence des spermatozoïdes, alors que celui de la femelle a un fonctionnement cyclique et indépendant des saisons :

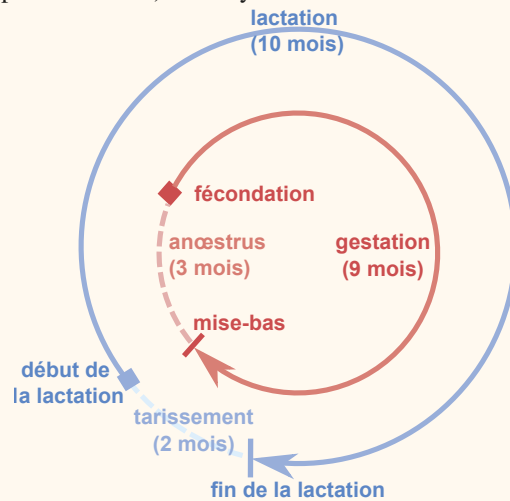
- production d'un ovocyte tous les 21 jours ;
- modifications cycliques du tractus génital, notamment préparation de la muqueuse utérine à l'implantation de l'embryon,
- **œstrus** (comportement d'acceptation du mâle) apparaissant 12 à 18 heures avant l'ovulation : agitation plus importante, chevauchement de congénères ou par des congénères. Dans le même temps, des phéromones sont sécrétées dans le mucus vaginal, qui peuvent être détectées par le taureau.

• **Un cycle de reproduction annuel contrôlé par l'éleveur**

Il débute par la naissance d'un veau et la lactation. La vache présente alors une période d'anœstrus (pas de comportement reproducteur), jusqu'à l'apparition d'un œstrus suivi de l'ovulation. Une nouvelle fécondation est possible, puis une gestation.

En élevage laitier, la lactation est entretenue pendant 10 mois, puis l'éleveur arrête de traire la vache, ce qui permet de moins solliciter son organisme en fin de gestation et d'optimiser la lactation suivante. Ce tarissement prend fin avec la mise-bas suivante et le début d'une nouvelle lactation. La gestation et la lactation se chevauchent.

Les vaches laitières accomplissent 3 ou 4 cycles (elles sont réformées ensuite), les vaches allaitantes (élevage pour la viande) 5 à 7 cycles.



Le cycle de reproduction de la vache.

ZOOM 6

La vache et l'eau

Si le milieu aérien présente des avantages comme une teneur en O<sub>2</sub> élevée, il présente aussi des contraintes fortes en étant desséchant, alors que l'eau est un constituant majeur du vivant. Il existe en permanence des flux hydriques entrants et sortants entre l'animal et son milieu.

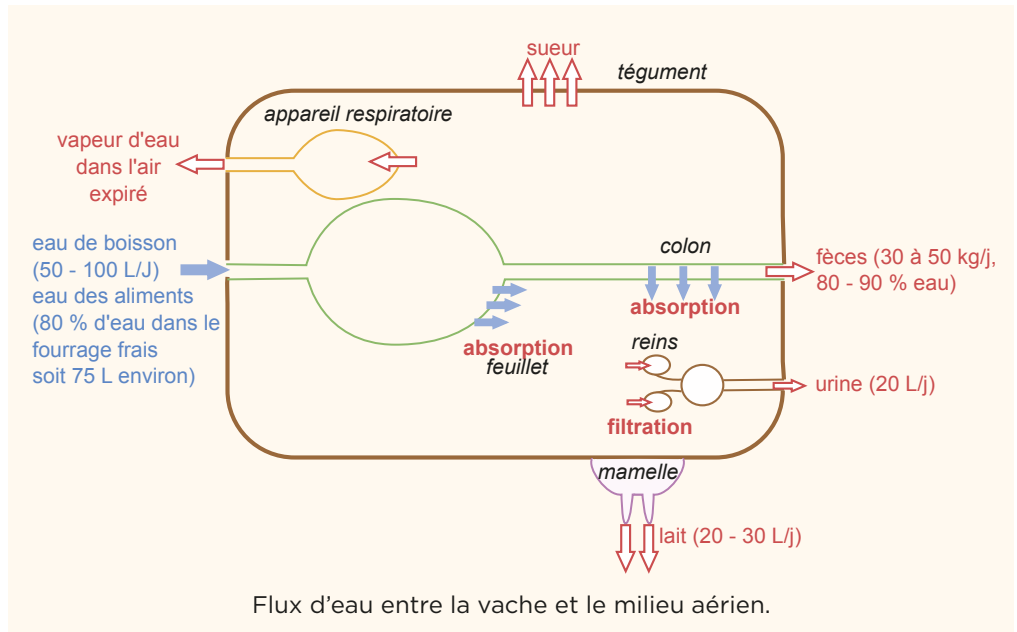
**L'approvisionnement de la vache** se fait par son alimentation, lorsqu'elle broute de l'herbe fraîche, et par l'eau de boisson (voir § 2.1a).

**Des pertes d'eau** sont associées à **la production de lait**. Elles se font aussi **par toutes les surfaces d'échange** avec le milieu environnant.

Le caractère internalisé de **l'échangeur respiratoire** (poumon) et l'existence de voies aérophores limitent les pertes respiratoires (voir § 2.2b).

Le **tégument** (voir § 4.2b) qui revêt l'organisme est une surface au niveau de laquelle l'eau s'échappe et s'évapore. La présence d'un épiderme kératinisé recouvert d'une couche de sébum hydrophobe minimise les pertes cutanées. Cependant, la vaporisation de l'eau de la sueur contribue à la thermolyse.

L'eau est aussi éliminée au niveau des **reins** lors de l'excrétion, où elle dilue l'urée, déchet azoté. La faible toxicité de ce déchet permet une importante réabsorption d'eau dans les reins lors de la production d'urine. L'excrétion des déchets azotés sous forme d'urée, qualifiée d'uréotélie, permet donc une limitation des pertes en eau (voir § 2.5).



## DÉCOUVERTE 1

### Races laitières, allaitantes et sélection





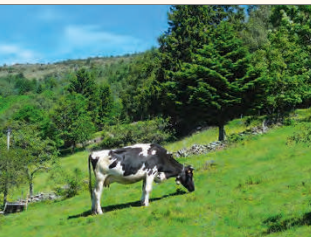
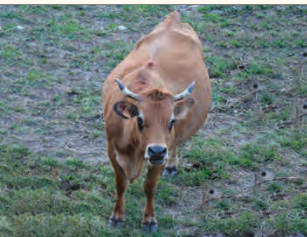
En sélectionnant selon certains traits des individus dans son troupeau pour la reproduction, l'être humain a développé des variétés – appelées races – spécialisées. De nombreuses races locales existaient jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, puis les objectifs économiques ont conduit à favoriser l'expansion de quelques-unes. Il y a aujourd'hui 25 races différentes en France, parmi lesquelles on distingue :

- les races allaitantes spécialisées dans la production de viande, par exemple la Limousine ou la Charolaise ;
- les races laitières élevées pour la production de lait comme la Prim'Holstein, ou l'Abondance ;
- les races mixtes, élevées à la fois pour leur lait et leur viande dont la Tarentaise ou l'Aubrac.

Selon le type de production et la race, l'éleveur cherche à améliorer les aptitudes bouchères (croissance, développement de la musculature...), laitières (richesse du lait en protéines, mamelle adaptée à la traite mécanique, longévité...) ainsi que les qualités reproductrices (fertilité et facilité du vêlage, comportement maternel pour les races allaitantes...) ou encore la « rusticité » (adaptabilité et résistance des animaux). Pour cela, il sélectionne les reproducteurs.

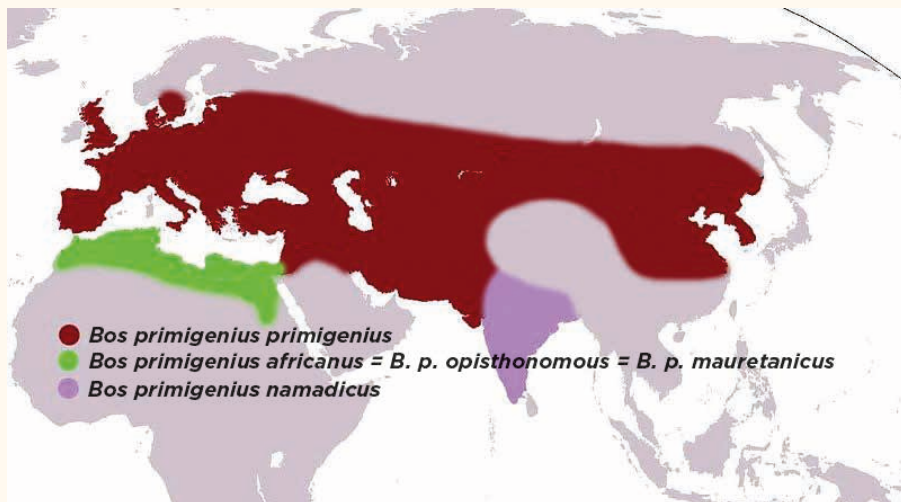
La sélection du mâle est facilitée par l'insémination artificielle : en « monte naturelle » un taureau peut permettre de produire 15 à 30 veaux par an, alors qu'en 2 ou 3 ans la descendance d'un seul taureau peut atteindre 200 000 individus en insémination artificielle. Aujourd'hui, 90 % des veaux en élevage laitier en sont issus, pour 20 % en élevage allaitant. Des centres de collecte prélèvent et stockent sous forme de doses congelées appelées paillettes le sperme de taureaux dont on connaît les caractéristiques phénotypiques et génétiques (et celles de leur descendance, en particulier les « filles » pour l'élevage laitier).

L'éleveur, conseillé par un technicien agricole, peut choisir sur catalogue un reproducteur mâle en fonction des objectifs d'amélioration de performances qu'il s'est fixé. Lorsqu'il détecte l'œstrus, l'éleveur fait appel à un inséminateur qui injecte les paillettes sélectionnées dans l'utérus de la vache.

Races élevées pour la production de viande	Races élevées pour la production laitière	Races élevées pour la production de lait et de viande
 Limousine	 Abondance	 Tarine
 Charolaise	 Prim'Holstein	 Aubrac

## DÉCOUVERTE 2

### Comment reconstituer l'histoire de la domestication des bovins ?



Carte de la répartition originelle de *Bos primigenius*

(made by Christophe Cagé 11:24, 22 March 2007 (UTC). Based on several authors, as T. van Vuure., CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons)

*Bos primigenius*, l'auroch serait apparu en Inde il y a 2 millions d'années. Il a ensuite gagné l'Europe, l'Afrique du Nord et la Chine. Des gravures et peintures rupestres comme celles de la grotte de Lascaux témoignent de sa présence et la découverte de sites archéologiques avec de nombreux restes d'aurochs indique qu'il était chassé par les Néandertaliens.



Aurochs représentés dans la grotte de Lascaux (Dordogne).  
Âge estimé de ces représentations : entre 19 000 et 17 000 ans.  
(Grotte de Lascaux, Montignac (Dordogne), fresque des taureaux, paroi gauche.  
© N. Aujoulat/CNP/MC)

Les archéozoologues se fondent sur certains critères pour établir la domestication :

- L'arrivée brutale dans un milieu de l'espèce : s'il n'y en a pas trace dans la faune sauvage et que l'on retrouve brutalement des restes d'une espèce cela suggère qu'elle a été apportée par l'homme.
- L'identification de modifications cérébrales repérables sur les os crâniens (certaines fonctions régressent quand l'animal est domestiqué, d'autres se développent, et des modifications de l'encéphale sont associées) et morphologiques, avec en général une diminution de la taille (qui permet une manipulation plus facile par l'être humain).
- Un changement de spectre des âges des individus dont on trouve les ossements : s'il s'agit d'animaux chassés, les âges sont variés, en revanche s'ils sont domestiqués, certains âges osseux sont prédominants car l'éleveur décide à quel moment il sacrifie l'animal pour le consommer.
- La domestication de l'espèce *Bos taurus* a une grande importance pour les populations humaines passées et actuelles : la vache représente une source de nourriture (lait, viande), un animal de trait pour l'exploitation des terres agricoles, ses sous-produits (cuir, bouses comme fertilisant et parfois pour le chauffage) sont également utilisés. À l'heure actuelle, les bovins permettent aussi la mise en valeur d'écosystèmes peu propices aux autres productions, comme les alpages en montagne et peuvent être utilisés comme modèle biologique, médical, vétérinaire.

# Réviser

## Résumé

Par ses caractères morphologiques et anatomiques, la vache est un mammifère appartenant à la famille des bovidés. Les différents appareils de l'organisme permettent la réalisation des fonctions vitales : nutrition, reproduction et relation. Leur organisation fonctionnelle montre une adaptation au milieu aérien. Le fonctionnement de ces appareils est intégré à l'organisme par des corrélations trophiques (grâce à l'appareil circulatoire) et par des corrélations informatives hormonales (mettant en jeu les glandes endocrines et l'appareil circulatoire) et/ou nerveuses (assurées par le système nerveux). L'espèce *Bos taurus* vit dans l'écosystème prairial où elle est en interactions permanentes avec son environnement biotique et abiotique. La domestication a modifié la réalisation de certaines fonctions, et a également un impact sur l'être humain, aux différentes échelles.

**Tableau de synthèse** Fonctions vitales de la vache et structures impliquées dans leur réalisation.

	Fonctions	Appareils, organes	Mots et notions clefs
<b>Fonctions de relation</b>	Locomotion, sustentation	Squelette, muscles squelettiques	Membre ressort parasagittal
	Perception sensorielle	Organes des sens	Vision, audition, olfaction, transduction
	Émission de sons, d'odeurs	Larynx (beuglement) et organes diversifiés	Relations intraspécifiques
	Protection	Tégument, muqueuses, système immunitaire	Limitation des pertes en eau
	Thermorégulation	Tégument, thermorécepteurs centraux	Poils, endothermie
<b>Fonctions de nutrition</b>	Alimentation, digestion, égestion	Appareil digestif	Polygastrique, rumination, symbiotes
	Respiration	Appareil respiratoire	Internalisation, ventilation bidirectionnelle
	Excrétion des déchets azotés et maintien de l'équilibre hydrominéral	Appareil urinaire (et glandes salivaires)	Urée, uréotélie
	Circulation	Appareil circulatoire	Double circulation, corrélations trophiques
<b>Fonctions de reproduction</b>	Fécondation	Appareil reproducteur	Accouplement, fécondation interne
	Gestation	Utérus, muqueuse utérine, annexes embryonnaires	Viviparité
	Soins au veau	Mamelle	Allaitement

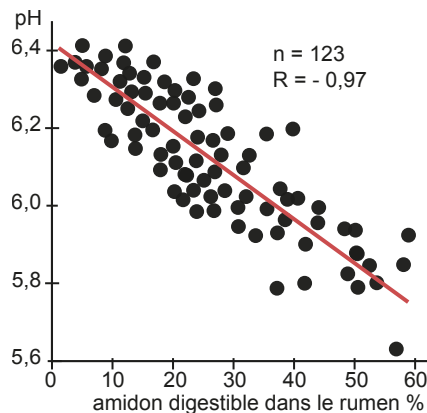
# S'entraîner

## QCM de connaissances

- 1 La digestion de la cellulose, principal constituant de la ration alimentaire de la vache :
  - a. Est réalisée dans le rumen grâce à des symbiotes.
  - b. Met en jeu des enzymes sécrétées par les glandes salivaires.
  - c. Produit du glucose absorbés par la paroi du rumen.
  - d. S'effectue en milieu basique.
- 2 L'absorption des nutriments par la vache :
  - a. A lieu exclusivement au niveau de la paroi du rumen.
  - b. S'effectue dans le rumen, le feuillet et la caillette.
  - c. A lieu au niveau de la paroi du rumen et de l'intestin grêle.
  - d. S'effectue seulement dans l'intestin grêle.
- 3 Le rein :
  - a. Est un appareil d'excrétion des déchets azotés.
  - b. Est un organe réalisant la fonction d'excrétion des déchets azotés.
  - c. Permet de produire une urine diluée par rapport au plasma chez les Mammifères.
  - d. Participe à la thermorégulation.
- 4 Le tégument :
  - a. Est le tissu qui délimite le milieu intérieur du milieu extérieur.
  - b. Participe au maintien de l'équilibre hydrique de l'organisme.
  - c. Participe à l'homéothermie.
  - d. Est renouvelé en 4 semaines environ.

## QCM à partir de documents

- 1 La recherche d'un accroissement de la productivité de bovins conduit à étudier l'effet sur les conditions du rumen de la proportion d'amidon (polymère glucidique facilement digestible) dans la ration alimentaire. On sait que si le pH ruminal moyen au cours d'une journée est inférieur à 6,25, l'animal peut présenter des troubles physiologiques, on parle d'acidose ruminale. Le pH ruminal a été mesuré au cours de différentes expérimentations sur un nombre total n de 123 vaches (figure 1.16).



**Figure 1.16** Mesure du pH ruminal et teneur en amidon digestible de la ration alimentaire.

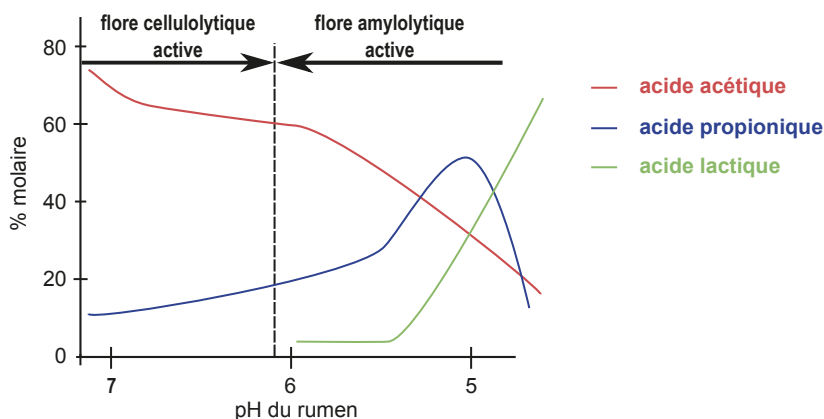
MS : matière sèche

La droite représente le modèle de régression linéaire qui teste la relation entre les paramètres étudiés. Le coefficient R indique un degré de dépendance entre les deux variables. S'il vaut 1 (en valeur absolue) alors tous les points sont alignés sur la droite.

D'après D. Sauvant, F. Meschy, D. Mertens. *Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations*. « Productions animales », Institut National de la Recherche Agronomique, 1999,12 (1), pp.49-60. hal-02696382

Parmi les affirmations ci-dessous, lesquelles sont exactes ?

- a. Le facteur que l'on fait varier est figuré en abscisse.
  - b. Chaque point représente une mesure effectuée chez un animal.
  - c. Il n'y a pas de corrélation entre le pH ruminal et la proportion d'amidon digestible dans la ration.
  - d. Il y a une corrélation entre le pH ruminal et la proportion d'amidon digestible dans la ration.
  - e. On peut affirmer que plus la ration comporte d'amidon digestible, plus le pH ruminal est faible.
  - f. On peut faire l'hypothèse que plus la ration comporte d'amidon digestible, plus le pH ruminal est faible.
  - g. Le nombre de mesures est insuffisant pour pouvoir conclure.
- 2** On étudie la relation entre le pH du rumen et les produits des fermentations réalisées par les symbiotes (figure 1.17).



**Figure 1.17** Teneurs relatives en produits de fermentation en fonction du pH dans le rumen.

« Flore » désigne les symbiotes capables d'hydrolyser soit la cellulose, soit l'amidon.  
 (Source : Kaufman W., H. Hagemeister, and G. Durksen. *Adaptation to changes in dietary composition level and frequency of feeding*. In : Digestive physiology and metabolism in ruminants AVI Publishing 1980. p. 587)

Parmi les affirmations ci-dessous, lesquelles sont exactes ?

- a. Le graphique indique une variation de la nature des symbiotes du rumen au cours du temps.
- b. Le pH du rumen varie au cours de l'expérience.
- c. La « flore cellulolytique » ne produit pas d'acide lactique.
- d. Lorsque la « flore amylolytique » est active, une plus grande quantité d'acides est produite.
- e. Si la ration alimentaire de la vache comporte un excès d'amidon, le fonctionnement de l'écosystème ruminal est perturbé.

### Question de synthèse courte

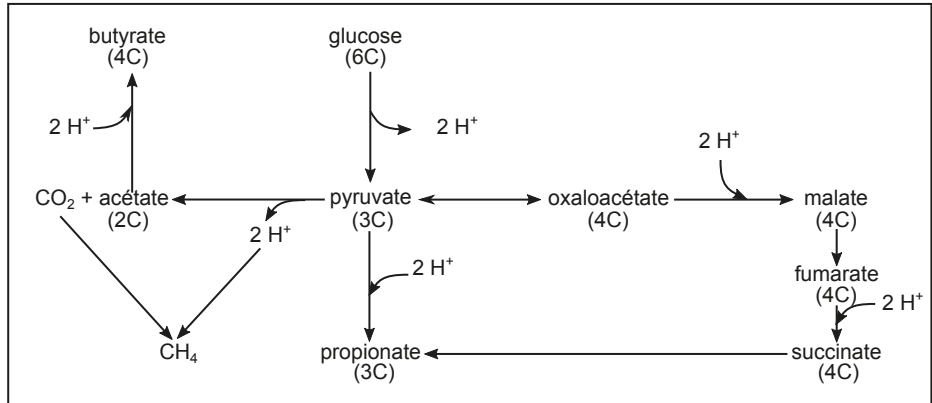
La vache, animal adapté au milieu aérien.

### Entraînement au schéma de synthèse

L'hétérotrophie à l'azote de la vache.

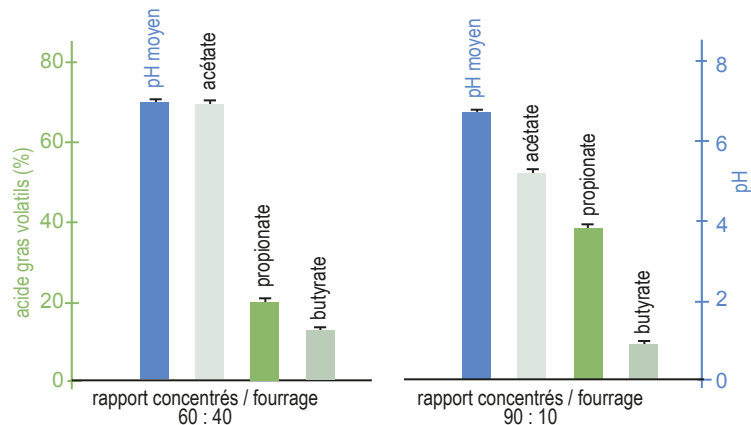
## Sujet sur documents (analyse et mise en relation)

La production de méthane par les ruminants domestiqués contribue pour une part importante aux rejets de gaz à effet de serre. De plus, ce méthane représente une perte correspondant à 6 – 10 % de l'énergie brute des aliments ingérés. La réduction de la méthanogenèse présente donc non seulement un intérêt environnemental, mais aussi un intérêt nutritionnel pour le ruminant. On s'intéresse aux facteurs qui pourraient influencer cette production de méthane.



**Figure 1.18** Principales voies de transformation du glucose par les symbiotes du rumen de la vache.

- 1 À l'aide de vos connaissances et de l'exploitation de la [figure 1.18](#), précisez les modalités de formation du méthane dans le rumen de la vache.



**Figure 1.19** Étude expérimentale des effets de la ration alimentaire sur le fonctionnement de l'écosystème ruminal.

Les rapports concentrés / fourrage sont calculés sur la masse de matière sèche. Les barres d'erreur (verticales au-dessus des bâtons de l'histogramme) représentent la variabilité des résultats. Elles se lisent comme si elles étaient symétriques.

(D'après : SUTTON J.D. et coll. ; *Rates of Production of Acetate, Propionate, and Butyrate in the Rumen of Lactating Dairy Cows Given Normal and Low-Roughage Diets*. J. Dairy Sci. 86:3620-3633, 2003)

Des vaches de race frisonne, d'un poids moyen de 650 kg et en milieu de lactation sont utilisées pour l'expérience. Elles reçoivent des rations alimentaires représentant le même apport énergétique et différant par le rapport concentrés/fourrage.

Les concentrés contiennent des minéraux et vitamines et des grains apportant notamment des protéines, de l'amidon (glucide plus facilement digestible que l'amidon).

Des prélèvements de fluide ruminal sont réalisés toutes les heures pendant 12 h et permettent de mesurer le pH et de calculer les proportions relatives des acides gras volatils présents.

**Tableau 1.4** Étude expérimentale de l'effet d'un additif alimentaire, le monensin, sur les produits des fermentations ruminales.

	Lot témoin	Lot traité au monensin (33 ppm*)
% acétate	66,7	61,3
% propionate	20,1	26,1
Rapport acétate / propionate	3,3	2,4
% butyrate	9,2	9,4

\*ppm = partie par million, 1 ppm = 1 g/tonne de ration alimentaire.

(D'après : Dinius et coll., 1976 in : <http://www.thedairysite.com/articles/1915/the-strategic-use-of-ruminal-ly-protected-amino-acids-in-dairy-nutrition>)

Le monensin est un antibiotique (substance qui détruit ou bloque la croissance de certaines bactéries). Il est couramment ajouté à faible dose à la ration alimentaire des ruminants pour prévenir par exemple des parasitoses intestinales.

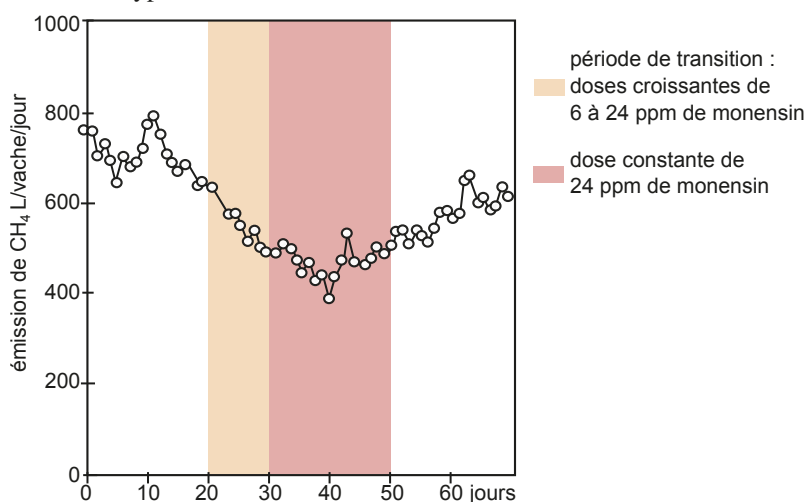
L'expérimentation a été conduite sur deux lots de 4 vaches laitières (de race Holstein), pendant 28 jours. Les analyses ont été menées sur des prélèvements de fluide ruminal.

- 2 À partir de l'exploitation de la figure 1.19 et du tableau 1.4, identifiez des facteurs qui pourraient influencer la méthanogenèse.

Les mesures sont effectuées sur un troupeau de 88 à 109 vaches laitières (de race Holstein) en lactation, en continu sur la période considérée.

Les vaches reçoivent une ration alimentaire constante au cours de l'expérimentation, à laquelle l'additif monensin est ajouté du jour 20 au jour 50.

- 3 Formulez une hypothèse sur le mode d'action du monensin.



**Figure 1.20** Mesure des émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) de vaches laitières.

(Source : F. D. Sauer, V. Fellner, R. Kinsman, J. K. Kramer, H. A. Jackson, A. J. Lee and S. Chen ; *Unsaturated fat added to the diet Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or.* J ANIM SCI 1998, 76:906-914

- 4 Identifiez l'objectif de l'expérience dont les résultats sont présentés dans la figure 1.20.  
 5 Analysez ces résultats et discutez de la robustesse des conclusions que l'on peut en tirer.  
 5 Récapitulez sous la forme d'un schéma bilan les différents facteurs identifiés à partir de l'exploitation des documents fournis, qui pourraient influencer la méthanogenèse.