

NOUVEAUX
PROGRAMMES
2021

Sous la direction de **C. Perrier** | **J.-F. Beaux**

A. Bouffier | L. Bougeois | P. Carrère | T. Darribère | J. Démaret-Nicolas

A. Emond | S. Maury | O. Monnier | T. Soubaya | A. Vergnaud | A. Woehrlé

Préface de **Pierre Peycru**

BIOLOGIE-GÉOLOGIE

BCPST 1

TOUT-EN-UN

- > Un **cours** synthétique pour aller à l'essentiel
- > Des **zooms** pour développer des points plus précis
- > Des **QCM**, des questions de synthèse et des sujets sur documents pour s'entraîner
- > 22 **TP** illustrés et commentés
- > Des **fiches méthodologiques** transversales
- > Des compléments en ligne avec des **vidéos**



DUNOD

NOUVEAUX
PROGRAMMES
2021

Sous la direction de **C. Perrier** et **J.-F. Beaux**

BIOLOGIE-GÉOLOGIE

BCPST 1

TOUT-EN-UN

A. Bouffier • L. Bougeois • P. Carrère
T. Darribère • J. Démaret-Nicolas
A. Emond • S. Maury • O. Monnier
T. Soubaya • A. Vergnaud • A. Woehrlé

DUNOD

Couverture :
Direction artistique : Nicolas Weil
Conception graphique : Elizabeth Riba

Maquette intérieure : Yves Tremblay

© Dunod, 2021
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
ISBN 978-2-10-083094-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Le programme des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) dans les classes préparatoires Biologie-Chimie-Physique-Sciences de la Terre (BCPST) intègre divers domaines, biologie cellulaire, animale, végétale, biochimie, écologie, génétique, géologie, physiologie... Il permet d'acquérir en deux ans une solide base de connaissances de haut niveau. Pendant de nombreuses années, aucun ouvrage de Sciences de la Vie et de la Terre n'était précisément consacré à ces classes. Le manuel *Biologie Géologie Tout en un 1^{re} année* appartient à une collection apparue en 2006 et avant tout dédiée aux Sciences de la Vie et de la Terre dans les classes de BCPST. Depuis cette date plusieurs éditions se sont succédé. La collection s'est enrichie d'un certain nombre d'atlas de biologie et de géologie et d'un Tout-en-fiches.

Cet ouvrage regroupe les cours et travaux pratiques de biologie et géologie de première année du nouveau programme des classes de BCPST entré en application en 2021. Les auteurs se sont attachés à rédiger un manuel dans lequel chaque thème du programme est présenté de manière synthétique. Les chapitres commencent par un rappel des objectifs (savoirs visés, capacités exigibles) corrélés aux paragraphes où ils apparaissent. L'illustration est abondante et, pour l'essentiel, suffisamment simplifiée pour être facilement retenue par les étudiants. Des compléments, « Zoom » et « Découverte », apportent un approfondissement sur certains points. Un résumé et un entraînement, sous la forme de QCM et de propositions de sujets corrigés terminent chaque partie. L'ensemble, clair et bien présenté, n'a pas pour vocation de se substituer au cours de l'enseignant mais il permet à l'étudiant de préciser ou de compléter une notion. On retrouve ces qualités dans l'exposé des travaux pratiques où un grand nombre de clichés et de schémas sont proposés.

L'équipe de rédaction de ce manuel, dirigée par Christiane Perrier et Jean-François Beaux, est constituée de professeurs de classes préparatoires BCPST dont certains participent à des jurys de concours. Des universitaires, rattachés à cette équipe, sont également mis à contribution dans divers domaines clés. Côté Dunod l'équipe d'édition est rompue à la production d'ouvrages de qualité. La conception de manuels consacrés à ces classes est donc parfaitement maîtrisée par l'ensemble des intervenants.

Enseignant dans ces classes pendant une trentaine d'années, j'ai assisté à l'évolution des savoirs dispensés aux étudiants. À la différence d'autres matières scientifiques, les travaux de recherche et les progrès des techniques font de notre discipline une de celles où les connaissances changent le plus rapidement. Le contenu de nos cours en biologie cellulaire, géodynamique, systématique... est bien différent de celui que l'on exposait dans ces domaines quelques années auparavant. Enseigner les SVT demande une constante mise à jour des connaissances. De plus, le champ des notions envisagées par le programme est très vaste. Il demande de la part de l'enseignant un réel esprit de synthèse pour que les étudiants eux-mêmes acquièrent cette aptitude et qu'ils aient une vue d'ensemble des savoirs requis par le programme. Cet ouvrage répond à ces exigences en exposant des connaissances actualisées et synthétiques.

D'abord rédigé pour les classes préparatoires, ce manuel peut aussi être utilisé avec profit par les étudiants des cycles universitaires et ceux qui préparent les divers concours de l'enseignement. Je souhaite qu'il trouve un large public, ce qui prouvera que les auteurs ont su résoudre le dilemme auquel est confronté tout enseignant : « Tout ce qui est simple est faux, mais tout ce qui ne l'est pas est inutilisable » (Paul Valéry).

Pierre Peycru
Ancien professeur en BCPST
au lycée Montaigne à Bordeaux

Remerciements

La parution de cet ouvrage est pour nous l'occasion de remercier tous ceux qui nous ont aidés à mener à bien ce projet par leurs conseils, leurs critiques constructives, le partage de documents ou l'autorisation de publier des illustrations. Merci notamment à :

Laurent Augusto, directeur de recherches ISPA-INRAE, centre de Bordeaux Aquitaine.

Guillaume Bécard, professeur des Universités, CNRS/UPS, Toulouse.

Damien Bonal, directeur de l'UMR Silva INRAE/AgroParisTech/Université de Lorraine.

Alexandre Bosc, INRAE, Guyane.

James P. Braselton, professeur, Université d'Ohio.

Olivier Catrie, ingénieur, CNRS/INRAE.

Brigitte Gaillard-Martinie, responsable du plateau technique de microscopie, INRAE, Theix.

Anne-Claire Lavigne, chargée de recherche, CNRS/UPS, Toulouse.

Etienne Morel, directeur de recherche, Institut Necker INSERM/CNRS, Paris.

Cécile Pouzet, responsable de la plateforme imagerie FRIAB/CNRS/UPS, Toulouse.

Marc de Rafelis, professeur des Universités, Université Paul Sabatier, Toulouse.

Clément Stahl, chercheur UMR EcoFoG, Université de Guyane.

Les Canetons, groupe de professeurs de SVT en BCPST.

Nathalie Willery, professeure de Physique-Chimie au lycée A. Châtelet à Douai.

Pierre Peycru, ancien professeur de SVT au lycée Montaigne à Bordeaux, qui nous a également fait l'amitié de préfacer cet ouvrage.

Si malgré leur concours, certaines erreurs subsistent encore dans ces pages, elles nous sont totalement imputables.

Nos remerciements vont aussi à l'équipe éditoriale de Dunod, et tout particulièrement à Emmanuelle Chatelet, éditrice de réalisation, qui a réussi à mener ce livre à bon port, en télétravail et malgré les multiples fois où nous lui avons remis nos fichiers en retard.

Cet ouvrage, fruit de la collaboration d'une équipe de professeurs, est aussi celui du travail de nos étudiants et de nos étudiantes. Leurs questions, leurs difficultés, et leurs idées ont nourri notre réflexion. Nous souhaitons qu'ils et elles trouvent ici un outil efficace sur la voie de leur réussite.

Enfin, nous n'oublions pas nos proches, qui ont sans doute eu souvent l'impression de vivre un confinement universitaire en plein confinement sanitaire.

Les plus en ligne

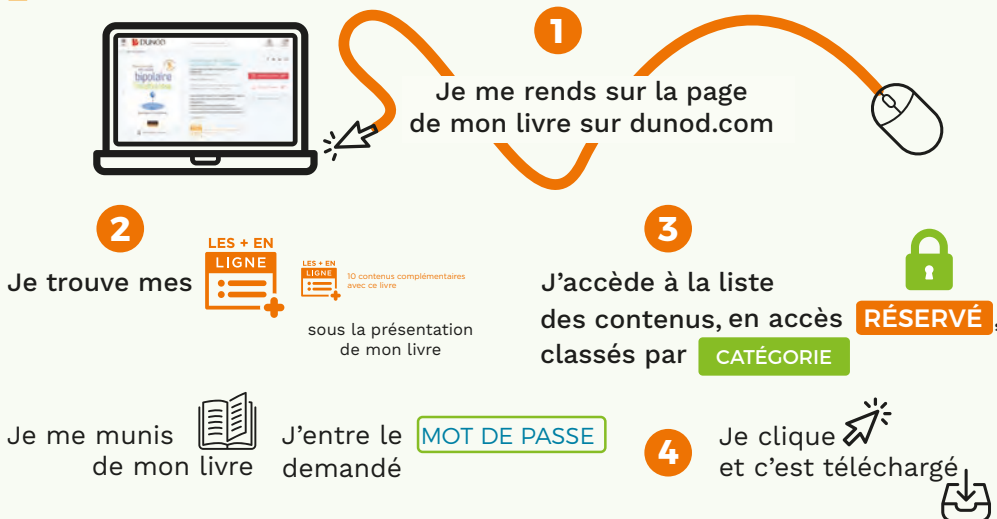
LES + EN

LIGNE

Vous y trouverez des sujets d'annales corrigées et des exercices d'entraînement



COMMENT ÇA MARCHE ?



Présentation des auteurs

Christiane Perrier

Professeure agrégée en BCPST 2 au lycée du Parc à Lyon, ancien membre des jurys des concours Agro, CAPES et agrégation.

Jean-François Beaux

Professeur agrégé en BCPST 2 au lycée Henri IV à Paris. Docteur de l'Université Paris VI (Sorbonne-Université). Ancien membre des jurys de CAPES et d'agrégation (interne et externe).

Arnaud Bouffier

Professeur agrégé en BCPST 2 au lycée Albert Châtelet à Douai, membre du jury de l'agrégation interne.

Laurie Bougeois

Professeure agrégée en BCPST 1 au lycée E. d'Alzon à Nîmes, docteure en sciences de la Terre de l'université de Rennes 1, membre du jury du concours Agro-Véto.

Pascal Carrère

Ingénieur de recherche à INRAE, au sein de l'Unité mixte de recherche sur l'écosystème prairial. Docteur et HDR en écologie, ses travaux analysent l'impact des pratiques de gestion sur le fonctionnement des prairies.

Thierry Darribère

Professeur à Sorbonne Université, laboratoire de Biologie du développement, enseignant en licence, master, formations médicale et paramédicale, ancien membre du jury de l'agrégation.

Joseph Démaret-Nicolas

Professeur agrégé en BCPST 1 au lycée Albert Châtelet à Douai, membre du jury du concours Agro-Véto.

Agnès Emond

Professeure agrégée en BCPST 1 au lycée Sainte Geneviève à Versailles, docteure en océanographie de l'université Paris VI, ancien membre du jury du concours Agro-Véto.

Stéphane Maury

Responsable de l'équipe ARCHE (Arbres et réponses aux contraintes hydriques et environnementales) à l'INRAE, et coresponsable du master SVT à l'université d'Orléans, ancien membre du jury du CAPES externe, et du jury de l'agrégation externe.

Olivier Monnier

Professeur agrégé en BCPST 2 au lycée Joffre à Montpellier, docteur en sciences de la Terre de l'université de Saint-Étienne, membre du jury de l'agrégation.

Thierry Soubaya

Professeur agrégé en BCPST 2 au lycée Ozenne à Toulouse, ancien membre du jury des concours Agro-Véto A et C et de la commission des programmes du concours C, membre des jurys de l'agrégation et du CAPES externe. Coauteur de *Biologie tout-en-fiches pour Licence/CAPES/Prépas*, *Mémo visuel de biologie* et *Atlas de phylogénie* aux éditions Dunod..

Anne Vergnaud

Professeure agrégée en BCPST 1 au lycée Fermat, membre du jury du concours Agro-Véto, et coauteur du *Mémo visuel de biologie* aux éditions Dunod.

Anne Woehrlé

Docteur vétérinaire, professeure agrégée en BCPST 1 au lycée du Parc, membre du jury de l'agrégation interne, ancien membre des jurys des concours Véto, concours A Agro, CAPES interne puis externe. Coauteur de plusieurs manuels de SVT pour le lycée.

Table des matières

Préface	V
Remerciements	VI
Présentation des auteurs	VII
Présentation de l'ouvrage	XIV

BIOLOGIE

Partie SV-A

L'ORGANISME VIVANT EN LIEN AVEC SON ENVIRONNEMENT

Chapitre 1	Regards sur un organisme métazoaire : un bovidé	3
	1 Place de la vache au sein des métazoaires	3
	2 Les fonctions de nutrition d'un organisme hétérotrophe	5
	3 La production de nouveaux individus par la reproduction sexuée	12
	4 Des interactions multiples avec son environnement	15
Chapitre 2	Regards sur un organisme angiosperme : une fabacée	34
	1 Place de la luzerne au sein de la lignée verte	34
	2 La nutrition chez un organisme autotrophe	36
	3 La production de nouveaux individus	39
	4 Des interactions multiples avec son environnement	40
	5 Importance des fabacées dans les agrosystèmes	42
TP 1	La souris	53
	1 Morphologie de la souris	55
	2 Anatomie des organes de la nutrition	55
	3 Anatomie de l'appareil urogénital	57
	4 Histologie	58
TP 2	Un téléostéen	61
	1 Morphologie d'un téléostéen	61
	2 Appareil cardiorespiratoire	62
	3 Dissection de la cavité abdominale	64
	4 Histologie du tégument	65
TP 3	Le criquet	66
	1 Morphologie du criquet	66
	2 Appareil digestif	68
	3 Appareil respiratoire trachéen	69
	4 Histologie du tégument	70
TP 4	La moule	71
	1 Morphologie de la moule	71
	2 Ouverture de la cavité palléale	72
	3 Appareil respiratoire branchial	72

Partie SV-B

INTERACTIONS ENTRE LES ORGANISMES ET LEUR MILIEU DE VIE

Chapitre 3	La respiration : une fonction en interaction directe avec le milieu	75
	1 Des flux diffusifs à travers les surfaces d'échanges respiratoires	75
	2 Convection externe et entretien des gradients de diffusion	82
	3 Transport des gaz respiratoires par le sang	86
Chapitre 4	Nutrition des angiospermes en lien avec le milieu	104
	1 Absorption d'eau et d'ions du sol	104
	2 Échanges gazeux avec l'atmosphère	109
	3 Distribution et utilisation des assimilats photosynthétiques	111

TP 5	L'appareil végétatif des angiospermes	130
	1 L'appareil racinaire : relations avec le sol	130
	2 Les tissus conducteurs : corrélations au sein de la plante	133
	3 L'appareil caulinaire : relations avec l'atmosphère	134
	4 Organisation d'une structure de réserve	138
Partie SV-C		
	LA CELLULE DANS SON ENVIRONNEMENT	140
Chapitre 5	Les cellules au sein d'un organisme	141
	1 La place des cellules au sein des organismes pluricellulaires	141
	2 Les matrices extracellulaires, des composants des tissus	144
	3 Les relations cytoplasme-membrane-matrice	147
	4 Les interactions avec d'autres organismes du milieu	148
Chapitre 6	Organisation fonctionnelle de la cellule	164
	1 Les compartiments de la cellule eucaryote et leur coopération	164
	2 Les bactéries et leur organisation fonctionnelle	169
	3 Le cytosquelette et ses rôles structuraux et dynamiques	172
Chapitre 7	Membranes et échanges membranaires	185
	1 Les membranes cellulaires : des mosaïques fluides	185
	2 Diversité des échanges transmembranaires	187
	3 Les facteurs contrôlant la perméabilité d'une membrane	191
	4 Transports cytotiques : exocytose et endocytose	193
TP 6	Observation de cellules aux microscopes	210
	1 Observation de cellules eucaryotes	210
	2 Observation de cellules bactériennes	218
	3 Observation d'interactions entre bactéries et cellules racinaires	219
Partie SV-D		
	L'ORGANISATION FONCTIONNELLE DES MOLÉCULES DU VIVANT	222
Chapitre 8	Les constituants du vivant	223
	1 Des constituants minéraux ou organiques	223
	2 Propriétés de l'eau, constituant majeur des organismes	226
	3 Groupements fonctionnels et propriétés physico-chimiques des molécules organiques	230
Chapitre 9	Les grandes familles biochimiques	243
	1 Les lipides	243
	2 Les oses et les polysides	247
	3 Les nucléotides et les acides nucléiques	255
	4 Les acides α -aminés et les protéines	258
TP 7	Méthodes d'étude des protéines	289
	1 Extraction et purification des protéines	289
	2 Détermination de la localisation et de la fonction d'une protéine	295
Partie SV-E		
	LE MÉTABOLISME CELLULAIRE	300
Chapitre 10	L'approvisionnement en matière organique	301
	1 La matière organique : une forme d'énergie nécessaire à la cellule	302
	2 Le cycle de Calvin dans les cellules autotrophes : réduction du CO_2 en matière organique	304
	3 La phase photochimique de la photosynthèse : conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique (ATP et pouvoir réducteur)	307

	4 La chimiosynthèse : synthèse de matière organique à partir d'énergie chimique	312
	5 Le prélèvement de matière organique par une cellule hétérotrophe	314
Chapitre 11	Le devenir de la matière organique	328
	1 La constitution de réserves : stockage de la matière organique	328
	2 L'anabolisme : synthèse de nouvelles biomolécules	330
	3 Le catabolisme énergétique : étapes cytosoliques	331
	4 Le catabolisme énergétique : étapes mitochondriales	335
Chapitre 12	Les enzymes et la catalyse des réactions	351
	1 Les enzymes : des biocatalyseurs	351
	2 Les enzymes : des protéines qui se lient au substrat	354
	3 Les enzymes : des biocatalyseurs contrôlables	357
	4 Équipement enzymatique et spécialisation des cellules ou organites	361
TP 8	Caractérisation d'une enzyme	367
	1 Cinétique de la peroxydase : étude de l'efficacité d'une enzyme	367
	2 Effet des inhibiteurs compétitifs et non compétitifs	370

Partie SV-F

	GÉNOMIQUE STRUCTURALE ET FONCTIONNELLE	374
Chapitre 13	Génome des cellules et des virus, transmission de l'information génétique	375
	1 La connaissance des génomes	375
	2 Le génome des bactéries	379
	3 Le génome des eucaryotes	380
	4 Les virus, diversité structurale et génomique	386
	5 Cycle cellulaire et réplication du matériel génétique	389
	6 Les divisions cellulaires : mitose et méiose	393
Chapitre 14	L'expression du génome	409
	1 La transcription : synthèse d'ARN à partir d'une matrice d'ADN	409
	2 La maturation des ARN	412
	3 La traduction des ARNm en polypeptides	414
	4 L'adressage et la maturation des protéines	419
	5 Le détournement de la machinerie d'expression des génomes par les virus	422
Chapitre 15	Le contrôle de l'expression génétique	431
	1 Diversité des influences conduisant aux phénotypes	432
	2 Contrôle de la transcription par modification de la chromatine	437
	3 Contrôle de l'initiation de la transcription	440
	4 Contrôle post-transcriptionnel par interférence ARN	442
	5 L'établissement du phénotype et son hérité	443
TP 9	Les divisions cellulaires	457
	1 La mitose : transmission conforme des chromosomes aux cellules filles	457
	2 La méiose : passage de la phase diploïde à la phase haploïde	459
TP 10	Méthodes d'étude des gènes et de leur expression	461
	1 Interpréter des résultats d'électrophorèse d'ADN	461
	2 Exploiter des résultats de séquençage	464
	3 Étudier l'expression des gènes	465

Partie SV-G

	REPRODUCTION	472
TP 11	La fleur des angiospermes	473
	1 Comprendre l'organisation florale	473
	2 Identifier le genre d'une fleur	476
	3 Relier caractères floraux et modes de pollinisation	477

Partie SV-J**POPULATIONS ET ÉCOSYSTÈMES**

Chapitre 16	Les populations et leur démographie	483
	1 Les paramètres démographiques d'une population	483
	2 La variation démographique et sa modélisation	486
	3 Les facteurs de la variation démographique	490
Chapitre 17	Les écosystèmes	500
	1 Organisation des écosystèmes	500
	2 Diversité des relations interspécifiques et ses conséquences	510
	3 Fonctionnement des écosystèmes	519
	4 La dynamique des écosystèmes	524
TP 12	Les populations et leur démographie	552
	1 Étude expérimentale du modèle logistique	552
	2 Modélisation informatique des variations d'effectifs d'une population	554
TP 13	Les écosystèmes	558
	1 La diversité spécifique d'une prairie	558
	2 Influence de la fertilisation azotée sur la production primaire	561
	3 Production d'un écosystème et stockage de carbone	562

Partie SV-K**ÉVOLUTION ET PHYLOGÉNIE**

Chapitre 18	Classer la biodiversité	565
	1 Principes d'établissement d'une classification	565
	2 L'approche phylogénétique cladistique	569
TP 14	Reconstruction phylogénétique	580
	1 Construire et utiliser un cladogramme	580
	2 Construire un phénogramme	583
	Sujets de synthèse	584
	Corrigés des QCM et exercices	612



GÉOLOGIE

Partie ST-A**LA CARTE GÉOLOGIQUE ET SES UTILISATIONS**

TP 15	Les cartes géologiques au 1/50 000	643
	1 Lire une carte géologique	643
	2 Réaliser une coupe géologique	648
	3 Identifier une structure géologique	650
	4 Réaliser un schéma structural	655
	5 Exploiter les systèmes d'informations géographiques	657
TP 16	Les roches et minéraux de la lithosphère	658
	1 Identifier les minéraux constituant les roches	658
	2 Identifier les roches de la lithosphère	661
	3 Quelques exemples de gisements de roches	665
TP 17	La carte de France au millionième	666
	1 Vue d'ensemble de la géologie à l'échelle de la France	666
	2 Analyse d'un bassin sédimentaire : le Bassin parisien	669

Partie ST-B**LA STRUCTURE DE LA PLANÈTE TERRE** 674

Chapitre 19	La structure de la planète Terre	675
	1 Une structure interne en enveloppes concentriques	675
	2 Chimie et minéralogie des enveloppes internes	679
	3 Le géotherme et sa construction	683
	4 Des enveloppes externes fluides stratifiées	685

Partie ST-C**LA DYNAMIQUE DES ENVELOPPES INTERNES** 696

Chapitre 20	Bilan thermique et conséquences	697
	1 Un flux géothermique inégalement réparti	697
	2 Diverses sources de chaleur interne à la Terre	698
	3 Les modes de transfert de chaleur au sein du globe	699
	4 Convection mantellique et mouvement des plaques	700
Chapitre 21	La lithosphère en équilibre sur l'asthénosphère	708
	1 La notion de pesanteur	708
	2 Gravimétrie et distribution des masses internes	710
	3 La notion d'isostasie	712
	4 Équilibre isostatique et mouvements verticaux	713
	5 Ondulations du géoïde marin et leurs interprétations	715
Chapitre 22	La géodynamique de la lithosphère	720
	1 Les dorsales : limites latérales de plaques sièges de la formation de la croûte océanique	720
	2 Les failles transformantes : limites latérales coulissantes	724
	3 Les marges actives : limites latérales de plaques sièges de la disparition de la lithosphère océanique	725
	4 Des plaques lithosphériques en mouvement	728
TP 18	La dynamique de la lithosphère	734
	1 Analyse de cartes structurales des océans : exemple de l'Océan Indien	734
	2 Mouvements verticaux de la lithosphère	740

Partie ST-D**LES DÉFORMATIONS DE LA LITHOSPHERE** 744

Chapitre 23	Rhéologie de la lithosphère	745
	1 Déformations et contraintes	746
	2 Le comportement mécanique des roches : élastique, plastique, fragile	748
	3 Les failles et la déformation discontinue	750
	4 Les structures liées à la déformation continue	751
	5 Le comportement mécanique de la lithosphère	755
Chapitre 24	Les séismes : origine et conséquences	765
	1 La détermination de l'énergie dégagée par un séisme	765
	2 La détermination des déplacements liés à un séisme	766
	3 La détermination du jeu des failles actives : les mécanismes au foyer	768
	4 La détermination de l'aléa et du risque sismiques	768
TP 19	Structures, déformations, contraintes tectoniques : quelques objets naturels	777

Partie ST-E**LE PHÉNOMÈNE SÉDIMENTAIRE** 784

Chapitre 25	Modelés des paysages et transferts de matériaux en surface	785
	1 Facteurs à l'origine du modelé des paysages	785
	2 Processus d'altération chimique : hydrolyse et dissolution	788
	3 Processus d'érosion et d'entraînement de matière	792

Chapitre 26	La sédimentation des particules et des solutés	803
	1 Environnements de dépôt et bassins sédimentaires	803
	2 La sédimentation détritique : dépôts de particules en suspension	805
	3 La sédimentation chimique et biochimique des solutés	810
Chapitre 27	La diagenèse	822
	1 Les transformations de la diagenèse	822
	2 La diagenèse des sédiments détritiques	823
	3 La diagenèse des sédiments carbonatés	824
TP 20	Le phénomène sédimentaire	827
	1 Analyse du modelé des paysages : importance des facteurs intrinsèques et climatiques	827
	2 Analyse de formations superficielles : moraines et terrasses alluviales	831
	3 Analyse des roches détritiques et de la géométrie au niveau d'un delta	834
	4 Analyse de roches carbonatées et reconstitution d'un environnement	835
	5 Analyse et reconnaissance des roches sédimentaires	836
Partie ST-H		
	LA MESURE DU TEMPS : OUTILS ET MÉTHODES	840
Chapitre 28	Échelle stratigraphique et datation absolue	841
	1 Caractériser des intervalles de temps	841
	2 Établir des coupures dans les temps géologiques	844
	3 Dater de manière absolue	846
	4 Relier chronologie relative et chronologie absolue	848
TP 21	Quelques méthodes de datation	852
	1 Biozones à ammonites et informations stratigraphiques	852
	2 Chronologie relative et absolue	853
	3 Reconstituer une histoire à partir d'un schéma structural	854

BIOGÉOSCIENCES

Partie BG-C		
	LE CLIMAT DE LA TERRE	856
Chapitre 29	Composition et structure verticale de l'atmosphère et de l'océan	857
	1 Composition et structure de l'atmosphère terrestre	857
	2 Composition et structure de l'océan	861
Chapitre 30	Circulations atmosphériques et océaniques	869
	1 Bilan énergétique des enveloppes fluides	869
	2 Circulation dans la troposphère	870
	3 La circulation océanique	874
TP 22	Circulation océanique	882
	1 Circulation de surface et biogéochimie de l'océan	882
	2 Circulation profonde : mise en évidence et caractéristiques	886
	Corrigés des QCM et exercices	889
	Fiches méthode	897
	Bibliographie	907
	Index	909

Présentation de l'ouvrage

Un cours complet

Partie SV-A

L'organisme vivant en lien avec son environnement

OBJECTIFS DU PROGRAMME

Savoirs visés

Les différents appareils de la vache sont reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. **chap. 1, § 1.2** Fonctions des appareils digestif **chap. 1, § 2.1**, circulatoire **chap. 1, § 2.3** et **Zoom 4**, respiratoire **chap. 1, § 2.2b** et **§ 2.4**, excréteur **chap. 1, § 2.5**. Le microbiote du rumen produit une partie des nutriments utilisés par la vache. **chap. 1, Zoom 2**

L'appareil reproducteur produit des gamètes par méiose et sécrète des hormones. C'est le lieu de la fécondation et de la gestation dans l'organisme maternel. La reproduction sexuée est un processus conservatoire et diversificateur, ce qui permet la sélection. **chap. 1, § 3**

La vache est incluse dans des relations intraspécifiques et interspécifiques. **chap. 1, § 4.1** et **Zoom 5**

La survie individuelle des organismes dépend de processus de perception du milieu, de réaction ou de protection (dont le tégument). **chap. 1, § 4.2**

Notion de boucle de régulation. **chap. 1, § 4.2c**

Différents organes et tissus participent aux fonctions de nutrition, de relation et de reproduction. **chap. 2, § 2** et **3**

Certaines des caractéristiques des fabacées sont liées au milieu de vie. **chap. 2, Zoom 4**

L'appareil végétatif grandit de façon indéfinie à partir de méristèmes. Les vastes surfaces d'échanges avec l'environnement permettent à un végétal de produire de la matière organique (autotrophie). Les organes sources coopèrent avec les organes puits. **chap. 2, § 2**

L'organisme est en interactions multiples avec son environnement abiotique et biotique. La symbiose entre fabacée et bactérie *Rhizobium*, fixatrice d'azote, augmente la biomasse de la fabacée. **chap. 2, § 2.4**

Les végétaux sont des producteurs primaires. Leur importance dans les agroécosystèmes conduit à une sélection par l'être humain. **chap. 2, § 2.5**

Capacités exigibles

- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une vache au sein d'une classification phylogénétique. **chap. 1, § 1.1** et **Zoom 1**
- Argumenter la complémentarité, la coopération et la coordination fonctionnelles des différents appareils.
- Construire un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition. **chap. 1, Zoom 3**
- Repérer au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des génotypes.

- Différencier et illustrer les différents types relations interspécifiques impliquant la vache.
- Identifier les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme. **chap. 1, § 4.2a**

- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une fabacée au sein d'une classification phylogénétique. **chap. 2, § 1**
- Caractériser le développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes au cours du cycle saisonnier et argumenter le caractère d'organe « source » ou d'organe « puits ». **chap. 2, Zoom 1**
- Construire un schéma fonctionnel de la plante. **chap. 2, figure de synthèse**

- Placer les paramètres du milieu exerçant une influence sur le cycle de reproduction de la plante. **chap. 2, Zoom 1**
- Exploiter des résultats expérimentaux sur les tropismes. **chap. 2, Zoom 2**

- Illustrer différents usages des Fabacées (engrais vert, alimentation). **chap. 2, Zoom 3**

Les objectifs du programme pour chaque partie

Capacités exigibles

des renvois précis aux § de cours et aux TP

Savoirs visés

Des renvois ponctuels aux autres parties du programme

Des renvois aux zooms du chapitre

SV-A - L'organisme vivant en lien avec son environnement

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 caillotte 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).

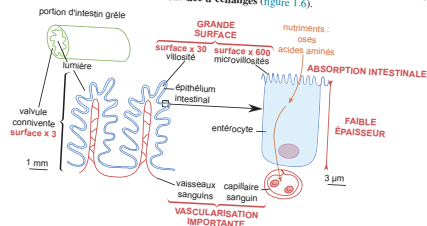


Figure 1.6 La muqueuse intestinale, une surface spécialisée dans l'absorption des nutriments.

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 O₂ au niveau de surfaces d'échanges respiratoires internalisées

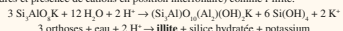
Le milieu aérien est riche en O₂ (21 %), ce qui présente un avantage. En revanche, c'est un milieu desséchant et les échanges gazeux respiratoires (prélèvement d'O₂ et rejet de CO₂) s'ac-

ZOOM 2

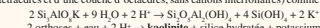
Structure des argiles et hydrolyse des silicates
(exemple de l'hydrolyse d'un feldspath alcalin)

Différents processus d'intensité croissante sont à l'origine de l'hydrolyse des silicates :

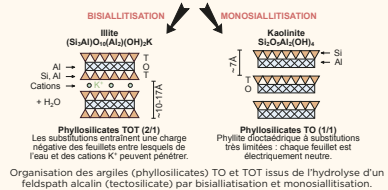
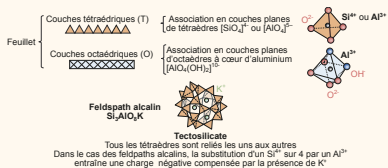
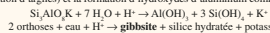
- La **bisiallisation** : lessivage partiel de la silice et des cations à l'origine d'**argiles de type 2/1 ou TOT** (feuillet formé de deux couches de tétraèdres pour une couche d'octaèdres et présence de cations en position interfoliaire) comme l'illite.



- La **monosiallisation** : lessivage total des cations associé à une perte importante de silice entraînant la formation d'**argiles de type 1/1 ou TO** (feuillet formé d'une couche de tétraèdres et d'une couche d'octaèdres, sans cations interfoliaires) comme la kaolinite.



- L'**allitisation** : hydrolyse totale entraînant la disparition totale de silicates (et donc absence de formation d'argiles) et la formation d'hydroxydes d'aluminium comme la gibbsite.



Des zooms développent les points clés du cours

De nombreuses figures en couleurs illustrent les chapitres

Des encarts découverte pour aller plus loin sur une notion

DÉCOUVERTE 1
La lutte biologique

La lutte biologique consiste à s'attaquer à un être vivant cible, un ravageur des cultures, une plante dont on souhaite restreindre le développement, en utilisant des **auxiliaires choisis** parce qu'ils interagissent négativement avec la cible. La lutte biologique est souvent plus coûteuse, plus contraignante dans l'application et plus lente à se mettre en place que la lutte chimique, mais elle permet une gestion des agrosystèmes plus respectueuse de l'environnement.

Les auxiliaires utilisés

Ils peuvent être des **parasites** de la cible (virus, bactéries, champignons...) ; ce type d'auxiliaire présente souvent l'avantage d'être très spécifique de la cible. Les **insectes parasitoïdes** sont souvent utilisés : pour lutter contre la pyrale du maïs, on suspend des capsules libérant des millions de micro-hyménoptères, les trichogrammes, qui pondent dans les œufs de la pyrale : les larves des trichogrammes tuent celles du ravageur. Les **prédateurs** (nématodes, arthropodes comme les coccinelles, mollusques, vertébrés), ou les **phytophages** dans le cas d'une cible végétale sont aussi des auxiliaires potentiels. Trois approches différentes peuvent être distinguées.

La lutte biologique classique

Elle correspond à l'introduction d'auxiliaires spécifiques contre une cible qui peut être soit une espèce exotique envahissante (comme l'ambrosie, astéracée annuelle originaire d'Amérique du Nord), soit une espèce indigène qui pullule de façon cyclique (comme les pucerons, contre lesquels on commercialise des coccinelles). Une des difficultés consiste à s'assurer que les auxiliaires utilisés sont bien spécifiques vis-à-vis de la cible pour réduire le risque qu'ils ne s'attaquent à d'autres espèces.

La lutte biologique inondative

Elle fait appel à des biopesticides qui sont soit des bactéries ou des virus, soit des toxines produites par des organismes vivants (champignons, nématodes, bactéries). Ces produits sont capables de réduire à court terme la pullulation de la cible, sans persister à long terme dans les écosystèmes. Ainsi une bactérie très répandue dans les sols, le bacille de thuringie (*Bacillus thuringiensis*), qui produit une toxine insecticide (Bt), est l'insecticide le plus utilisé en lutte biologique. Les biotechnologies ont produit des plantes transgéniques, dites « Bt », capables de synthétiser elles-mêmes la toxine insecticide. Cependant, des études récentes montrent que la toxine Bt peut persister dans les écosystèmes et avoir des impacts sur des espèces non-cibles.

La lutte biologique par conservation

Cette approche plus récente vise à protéger les populations d'auxiliaires déjà présentes dans l'écosystème par l'aménagement de zones refuges. Par exemple, replanter des haies, aménager des perchoirs (piquets de clôture), ou des nichoirs pour les rapaces permet de développer leur population et de lutter contre les pullulations de campagnols terrestres, sources de gros dégâts aux prairies et aux cultures. « Reconstruire » ou favoriser le maintien de réseaux trophiques fonctionnels et complexes est le meilleur moyen de mettre en œuvre cette lutte biologique de conservation. C'est l'objet aussi de « solutions fondées sur la nature » qui cherchent à reproduire ces fonctionnements naturels pour réduire les conséquences d'événements négatifs sur l'homme.

SV-B • Interactions entre les organismes et leur milieu de vie

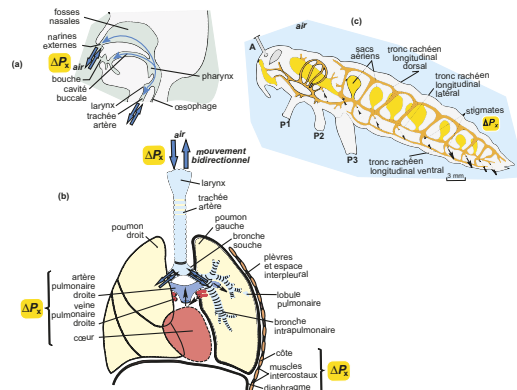


Figure 3.4 Des appareils respiratoires internalisés en milieu aérien.
(a) et (b) Chez l'homme ; (c) coupe longitudinale schématisée d'un cricquet montrant la disposition de l'appareil trachéen.

1.4 Deux types de fluides internes échangent avec le milieu extérieur

a) Échanges avec un liquide circulant

Dans le cas de la respiration branchiale et de la respiration pulmonaire, les échanges gazeux respiratoires sont réalisés avec un liquide interne mobilisé par l'appareil circulatoire. Celui-ci assure la prise en charge et le transport des gaz respiratoires : il existe une synergie entre l'appareil respiratoire et l'appareil circulatoire. Ces liquides circulants sont formés d'une **matrice extracellulaire liquide** et de **cellules** en suspension. On en distingue deux types selon le plan d'organisation.

- Le **sang** des téléostéens et des mammifères circule dans un appareil circulatoire fermé.
- L'**hémolymphe**, chez la moule, circule tantôt dans les vaisseaux et tantôt dans des lacunes, espaces non limités par un endothélium, où baignent directement les cellules. C'est un système ouvert.

ZOOM 3
Place des échangeurs dans la circulation

Présentation de l'ouvrage

une partie pour réviser

Réviser

Résumé

La Terre produit et dissipe une énergie interne dont l'origine est multiple : énergie d'accrétion initiale, désintégration d'éléments radioactifs, cristallisation du noyau externe. Les transferts de chaleur au sein de la planète se font par des processus conductifs dans la graine et au niveau de couches limites thermiques, ou par des mouvements de convection au sein du noyau externe, du manteau inférieur et du manteau asthénosphérique.

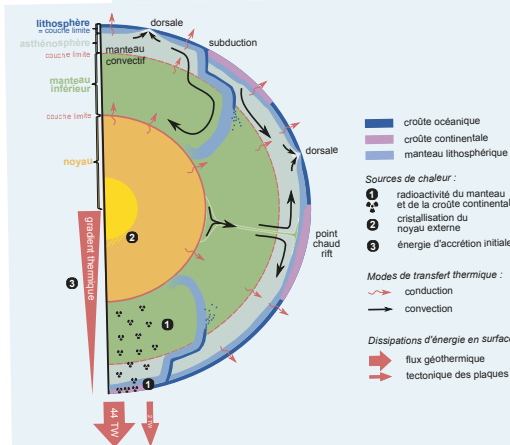


Figure de synthèse Les transferts thermiques dans le globe : origine et modalités.
La convection dans le noyau externe n'a pas été représentée.

une partie pour s'entraîner •

S'entraîner

QCM de connaissances

1. **L'acétyl-coenzyme A :**
 - a. Peut être formé par oxydation d'un acide gras.
 - b. Est produit au cours de la glycolyse.
 - c. Est consommé au cours du cycle de Krebs.
 - d. Est une chaîne à 6 carbones, portée par une coenzyme.
2. **La glycolyse :**
 - a. Peut être activée quand les besoins cellulaires en ATP augmentent.
 - b. Se déroule dans la matrice mitochondriale.
 - c. Permet une oxydation du carbone et aboutit à une libération de CO_2 .
 - d. Est une réduction du glucose associée à une réduction de coenzymes redox.
3. **Le pouvoir réducteur :**
 - a. Est consommé par le cycle de Krebs.
 - b. Est consommé par le cycle de Calvin.
 - c. Est produit par la chaîne respiratoire.
 - d. Est consommé par la chaîne respiratoire.
4. **Dans une cellule végétale autotrophe, les triose-P issus du cycle de Calvin :**
 - a. Peuvent être oxydés par le catabolisme oxydatif, permettant la formation d'ATP.
 - b. Sont une association de 3 cycles reliés par des groupements phosphate.
 - c. Sont des oses à 3 carbones, portant un groupement phosphate.
 - d. *Bourcett* être stockés sous forme de glycogène au niveau des chloroplastes.

QCM à partir de documents

Phosphorylation oxydative dans la mitochondrie (d'après sujet de CAPES externe 2004)

NB : pour cet exercice, on conseille de se remémorer la figure 11.12.

Une suspension de mitochondries est introduite au temps zéro dans un milieu tamponné préalablement oxygéné et présentant un excès de phosphate inorganique P_i . Grâce à une électrode de Clark, on suit l'évolution de la concentration en dioxygène du milieu (figure 11.16) pendant que la suspension est soumise à divers traitements (a, b, c).

Dans les 3 cas (a, b et c), on ajoute une quantité précise d'ADP (90 μmol) d'une part et un donneur d'électrons en excès d'autre part. Ce donneur d'électrons peut être soit le NADH (*traitement a* où le malate va libérer du NADH), soit le FADH_2 (*traitement b* où le succinate va libérer du FADH_2), soit un mélange « ascorbate + TMPD » qui va donner directement les électrons à la cytochrome c de la chaîne respiratoire (*traitement c*).

- 1 Suite aux différents traitements (a, b et c) :
- ☐ a. Les électrons sont transférés du donneur d'électrons jusqu'à l'ADP.
 - ☐ b. La concentration en O_2 diminue du fait de la réduction de l' O_2 en H_2O .
 - ☐ c. La réaction s'arrête lorsqu'il n'y aura plus d'ADP.
 - ☐ d. La réaction s'arrête lorsqu'il n'y aura plus de donneur d'électrons.
- 2 À propos des réactions redox qui ont lieu suite aux différents traitements (a, b et c), on peut dire que :
- ☐ a. La consommation de $15 \mu\text{mol}$ d' O_2 suite au traitement a, signifie que $30 \mu\text{mol}$ de NADH ont été oxydés.

Les corrigés des QCM et exercices

Corrigés des QCM et exercices

CHAPITRE 1

QCM de connaissances

- 1 a ; 2 c ; 3 b ; 4 c et d.

QCM à partir de documents

- **a. d. et f. VRAI.** L'énoncé évoque un pH ruminal moyen au cours d'une journée, ce qui suggère plusieurs mesures par point. R est proche de 1 (en valeur absolue), il y a donc une corrélation entre pH ruminal moyen et teneur en amidon de la ration. On peut faire l'hypothèse d'un lien de causalité entre ces paramètres ; cependant d'autres facteurs peuvent intervenir (taille des particules de la ration, vitesse d'ingestion...).

- **c. et e. VRAI.** Les valeurs de pH ruminal figurent en abscisse, il ne s'agit pas de variations au cours du temps et ce graphique résulte vraisemblablement d'un ensemble de données obtenues sur plusieurs animaux au cours de plusieurs expériences. L'acide lactique est présent lorsque le pH est inférieur à 6 et sa teneur est bien plus élevée pour un pH inférieur à 5,5, quand la flore amylolytique est active, et non la flore cellulolytique. Un excès d'amidon dans la ration favorise les bactéries capables de l'hydrolyser au détriment des bactéries cellulolytiques, ainsi qu'un pH acide : le fonctionnement de l'écosystème ruminal est donc perturbé.

Question de synthèse courte

Introduction

- Définir « vache » : métazoaire ; mentionner ses fonctions vitales et les caractéristiques du milieu aérien (avantages et contraintes pour les organismes).

- Définir « adaptation » (caractère héritable permettant de vivre dans un milieu mieux que sans ce caractère et mieux que dans un autre milieu)

Dans quelle mesure les modalités de réalisation des fonctions vitales de la vache présentent-elles des adaptations au milieu aérien ?

1. Adaptations à un milieu à faible disponibilité en eau
Approvisionnement en eau de l'organisme (sources d'eau ; localisation de l'absorption), des cellules (par le sang, la lymphe) ; importance de l'insalivation des aliments.

Adaptations permettant de **limiter les pertes d'eau** : invagination des surfaces respiratoires ; uréotélie ; déshydratation des fèces ; tégument imperméabilisé.

Adaptations **évitant le dessèchement de surfaces spécialisées** : fécondation interne ; viviparité ; paupières.

- ## 2. Adaptations à un milieu de faible densité, faible viscosité

Faible portance du milieu : soutien de l'organisme (endosquelette osseux), des organes (anneaux cartilagineux de la trachée, surface tant des parois alvéolaires), de l'embryon (liquide amniotique). Structures permettant le déplacement dans un milieu opposant une faible résistance : membres parasagittaux.

- ### 3. Adaptations à un milieu à forte variabilité de température

Régulation de la température corporelle ; viviparité.

- #### 4. Adaptations tirant parti de propriétés avantageuses

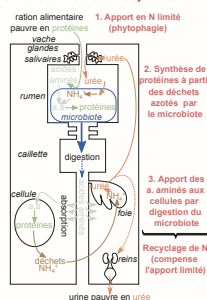
Adaptations à un milieu gazeux : teneur élevée en O_2 (ventilation pulmonaire bidirectionnelle) ; diffusion facile des molécules gazeuses (olfaction développée).

Adaptations à un milieu qui transmet bien les ondes : vision développée (ondes lumineuses) ; audition (ondes sonores)

Conclusion. Résumé des points importants : adaptations structurales et fonctionnelles au milieu aérien. Ces adaptations résultent de la sélection naturelle.

La domestication a entraîné un autre type de sélection (artificielle) et qui d'une certaine façon protège la vache et l'éleveur de la variabilité du milieu terrestre.

Entraînement au schéma de synthèse



L'hétérotrophie à l'azote de la vache permise par la symbiose.

Des TP richement illustrés

TP 11 La fleur des angiospermes

Chez la sauge, l'insecte heurte la base des **étamines qui basculent** et déposent du pollen sur son dos (figure TP11.9). Chez certaines orchidées (figure TP11.8), les **pollinies** sont reliées par un petit pédoncule à un disque collant qui se fixe sur le corps de l'insecte.



Figure TP11.8 Un exemple d'organisation attractive pour les insectes : la fleur des orchidées. (a) Ophrys heulandii (*Ophrys heulandii*). (b) Ophrys sphegodes (*Ophrys sphegodes*). Le pétale inférieur, ou labelle (L) présente un aspect qui mime une femelle d'une espèce précise d'insecte ; les grains de pollen sont regroupés en deux amas, les pollinies (P).

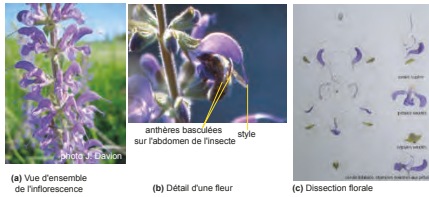


Figure TP11.9 Un exemple de dispositif optimisant la pollinisation chez la sauge des prés (*Salvia pratensis*, lamiacées).

3.3 Des dispositifs favorisant l'allopollinisation

Bien que la plupart des fleurs soit hermaphrodite, il existe des dispositifs favorisant la pollinisation croisée ou **allopollinisation** (par opposition à l'autopollinisation).

- Séparation des sexes dans l'espace : chez les espèces dites **monoïques**, les fleurs sont unisexuées, soit mâles soit femelles et le plant porte les deux types de fleurs. C'est le cas du maïs

TP 17 La carte de France au millionième

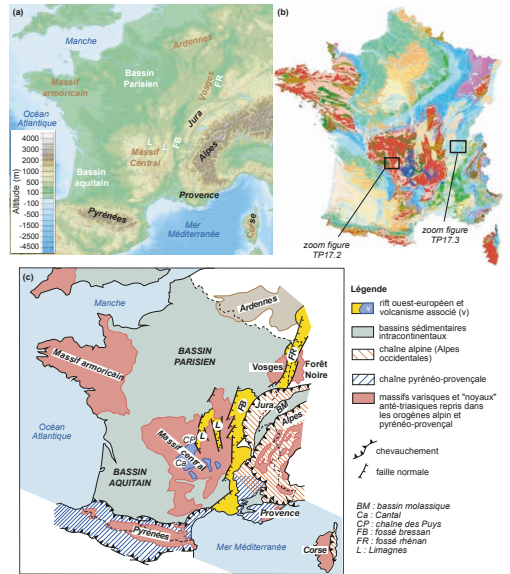


Figure TP17 (a) Topographie de la France métropolitaine (© Eric Gaba - Wikimedia Commons user : Sting). (b) Carte géologique simplifiée de la France métropolitaine (© BRGM). (c) Schéma structural représentant les grands ensembles géologiques de la France métropolitaine.

Des sujets de synthèse corrigés et commentés

Des fiches méthodes regroupent des conseils

Sujets de synthèse

Sujet 1 L'ATP

Définissez le thème central du sujet.

Procédez à un quadrillage du sujet, sans préjuger du plan qui sera ensuite construit. Posez-vous des questions simples : quoi ? où ? quand ? comment ? pourquoi ?

Notez des mots clés (en gras ici).

Envisagez les phénomènes impliqués par le thème dans toute la diversité du vivant. Ici, différents types cellulaires ; dans d'autres sujets, penser aux différents niveaux d'organisation du vivant (cellule, organisme, etc.), localisation intracellulaire ou extracellulaire...

Envisagez les phénomènes impliqués par le thème dans un cadre temporel. Selon les cas, ce cadre peut correspondre à différents stades de développement d'un organisme, à différents états d'activité, avec ou sans mise en relation avec des facteurs environnementaux.

1. Analysez le sujet

L'ATP (adénosine triphosphate) constitue une **molécule clé du fonctionnement métabolique** de la cellule par son **utilisation** dans de multiples processus cellulaires ; sa présence dans les cellules repose sur un **renouvellement** métabolique permanent. Il s'agit ici d'étudier l'ensemble des **aspects cellulaires** touchant à l'ATP, en mettant en relation autant que possible, structures moléculaires, propriétés chimiques et caractères biologiques.

2. Recherchez des idées

L'ATP, quoi ?

- Sa **structure** : **nucléotide** (adénine, ribose, 3 groupements phosphate) ; **formule développée** ; charges négatives ; chélatée in vivo avec Mg^{2+} .
- Ses **propriétés** : **hydrolyse exergonique** ; relations ATP, ADP, AMP, pyrophosphate inorganique (PPi) ; aspects énergétiques de l'hydrolyse (enthalpie libre de la réaction d'hydrolyse, standard ou aux concentrations intracellulaires).
- **Bases structurales des propriétés de l'ATP** : signification des « **liaisons riches en énergie** ».
- Molécule impliquée dans les **transferts de groupements phosphate** ; notion de potentiel de transfert de groupements phosphate ; potentiel intermédiaire qui permet à l'ATP de jouer un rôle efficace de vecteur de groupe phosphoryle.

L'ATP, où ?

- ATP : constituant **intracellulaire**.
- ATP présent dans toutes cellules avec des **variations** :
 - organisation différente des cellules (avec ou sans endomembranes) ;
 - **métabolismes** différents (cellules chimioautotrophes, photolithotrophes, chimolithotrophes).
- Dans les cellules, il faut envisager les **lieux de production et les lieux d'utilisation** :
- **membranes** (ATP synthase, pompes membranaires ATP dépendantes) ;
- **hyaloplasme** (glycolyse ; utilisations diverses : biosynthèses, motilité, etc.) ;
- compartiments autres que le hyaloplasme (**matrice mitochondriale** ; **stroma chloroplastique**).

L'ATP, quand ?

- Synthèse et utilisation permanentes de l'ATP : **turnover très élevé**.
- L'ATP n'est pas une forme de stockage ; l'ATP est un **vecteur énergétique**.
- Variations des concentrations cellulaires en relation avec l'activité de la cellule (ex : contraction musculaire).
- Modifications de l'activité des différentes voies métaboliques en relation avec les besoins cellulaires (ex : contrôle de la glycolyse), en relation avec les conditions du fonctionnement (métabolisme anaérobie/aérobie dans la cellule musculaire), en relation avec le cycle cellulaire.

FICHE MÉTHODE

3 Analyser un ensemble documentaire

L'analyse d'un ensemble de documents est un exercice proposé dans toutes les épreuves écrites des concours. Les documents sont alors accompagnés d'explications souvent détaillées et de questions précises. Elle peut également être pratiquée à l'oral, à partir d'un support écrit moins développé, qui est alors complété par les interventions de l'interrogateur. Les sujets comprennent un certain nombre de documents généralement choisis pour permettre le déroulement progressif d'un raisonnement vers l'élaboration d'une synthèse sur le problème biologique ou géologique considéré. Il importe de maîtriser l'analyse et l'interprétation de chaque document, sans omettre d'inscrire celles-ci dans le fil du raisonnement. La mise en œuvre de cette méthode de travail est illustrée dans le sujet de synthèse 5.

LE DOCUMENT, SOURCE D'INFORMATIONS

On se limitera ici à l'étude de documents exposant des résultats expérimentaux.

Comprenez l'objectif d'une expérience et le protocole suivi

- Identifier bien le **problème** que l'on cherche à résoudre et qui motive l'élaboration de l'expérience.
- Identifier les facteurs que l'expérimentateur choisit de faire varier (**facteurs variants**) et les **facteurs mesurés ou étudiés** au cours de l'expérience.
- Ne paraphrasez pas la présentation du protocole du document mais soyez capable, si nécessaire, d'exposer le **principe de l'expérience**.

Analysez les résultats

Il s'agit avant tout de trier et de faire apparaître les informations pertinentes qui permettent d'avancer dans la compréhension du phénomène ; évitez là encore toute paraphrase du document.

- Portez une grande attention à la **présentation des résultats expérimentaux** : analysez les unités et les échelles des documents (attention aux échelles logarithmiques de certains graphiques).
- **Identifiez les témoins** qui permettent de détecter l'existence de biais expérimentaux ; comprenez leur signification ; comparez-les avec les autres groupes étudiés pour conclure.
 - les **témoins négatifs** permettent de montrer le résultat obtenu en cas de test négatif ou de montrer qu'une condition attendue comme négative est bien négative ;
 - les **témoins positifs** permettent de montrer le résultat obtenu en cas de test positif ou de montrer qu'une condition attendue comme positive est bien positive.
- **Construisez des comparaisons** entre groupes ne différant que par un seul facteur, pour identifier le rôle de celui-ci.
- **Développez si nécessaire des analyses quantitatives** : calculs de rapports, de pourcentages.
- **Développez une analyse critique** : identifiez d'éventuelles sources de biais méthodologiques, commentez les incertitudes statistiques sur les valeurs expérimentales quantifiées et la significativité des différences observées.
- **Inscrivez l'interprétation dans le cadre de la question posée**
 - Faites apparaître une **réponse claire et précise** à celle-ci.
 - **Distinguez clairement les conclusions**, démontrées par les données expérimentales, et les **hypothèses** susceptibles d'interpréter un résultat.
 - **Évitez toute surinterprétation des résultats** et distinguez bien relations de **causalité** (cause à effet) et **corrélations**.

Pour réaliser cette étape, il faut maîtriser, dans leurs principes et leurs protocoles, les techniques et les méthodes de biologie les plus fréquemment utilisées, notamment au niveau cellulaire et moléculaire (dotting, électrophorèse, etc.), et le vocabulaire technique associé. La fiche méthode 5 vous aidera à ces besoins.

L'analyse des résultats demande ainsi :

- identifier et d'extraire les informations essentielles et significatives d'un document en relation avec le problème posé ;
- de les relier qualitativement et quantitativement ;
- d'exploiter leur complémentarité éventuelle ou leur complémentarité avec des informations acquises sur d'autres documents ;
- de considérer les informations de manière critique.



BIOLOGIE



Partie SV-A

L'organisme vivant en lien avec son environnement

OBJECTIFS DU PROGRAMME

Savoirs visés

Les différents appareils de la vache sont reliés aux fonctions de nutrition, reproduction et relation. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. **chap. 1, § 1.2** Fonctions des appareils digestif **chap. 1, § 2.1**, circulatoire **chap. 1, § 2.3 et Zoom 4**, respiratoire **chap. 1, § 2.2b et § 2.4**, excréteur **chap. 1, § 2.5**.

Le microbiote du rumen produit une partie des nutriments utilisés par la vache. **chap. 1, Zoom 2**

L'appareil reproducteur produit des gamètes par méiose et sécrète des hormones. C'est le lieu de la fécondation et de la gestation dans l'organisme maternel. La reproduction sexuée est un processus conservatoire et diversificateur, ce qui permet la sélection. **chap. 1, § 3**

La vache est incluse dans des relations intraspécifiques et interspécifiques. **chap. 1, § 4.1 et Zoom 5**

La survie individuelle des organismes dépend de processus de perception du milieu, de réaction ou de protection (dont le tégument). **chap. 1, § 4.2**

Notion de boucle de régulation. **chap. 1, § 4.2c**

Différents organes et tissus participent aux fonctions de nutrition, de relation et de reproduction. **chap. 2, § 2 et 3**

Certaines des caractéristiques des fabacées sont liées au milieu de vie. **chap. 2, Zoom 4**

L'appareil végétatif grandit de façon indéfinie à partir de méristèmes. Les vastes surfaces d'échanges avec l'environnement permettent à un végétal de produire de la matière organique (autotrophie). Les organes sources coopèrent avec les organes puits. **chap. 2, § 2**

L'organisme est en interactions multiples avec son environnement abiotique et biotique. La symbiose entre fabacée et bactérie *Rhizobium*, fixatrice d'azote, augmente la biomasse de la fabacée. **chap. 2, § 2.4**

Les végétaux sont des producteurs primaires. Leur importance dans les agroécosystèmes conduit à une sélection par l'être humain. **chap. 2, § 2.5**

Capacités exigibles

- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une vache au sein d'une classification phylogénétique. **chap. 1, § 1.1 et Zoom 1**
- Argumenter la complémentarité, la coopération et la coordination fonctionnelles des différents appareils.
- Construire un schéma fonctionnel synthétique des appareils impliqués dans la fonction de nutrition. **chap. 1, Zoom 3**

- Repérer au cours de la reproduction sexuée les moments et les modalités de diversification des génotypes.

- Différencier et illustrer les différents types relations interspécifiques impliquant la vache.
- Identifier les principales étapes menant de la perception d'une variation de paramètre physico-chimique du milieu à la mobilité de l'organisme. **chap. 1, § 4.2a**

- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une fabacée au sein d'une classification phylogénétique. **chap. 2, § 1**
- Caractériser le développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes au cours du cycle saisonnier et argumenter le caractère d'organe « source » ou d'organe « puits ». **chap. 2, Zoom 1**
- Construire un schéma fonctionnel de la plante. **chap. 2, figure de synthèse**

- Placer les paramètres du milieu exerçant une influence sur le cycle de reproduction de la plante. **chap. 2, Zoom 1**
- Exploiter des résultats expérimentaux sur les trophismes. **chap. 2, Zoom 2**

- Illustrer différents usages des Fabacées (engrais vert, alimentation). **chap. 2, Zoom 3**

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 µm) : 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).

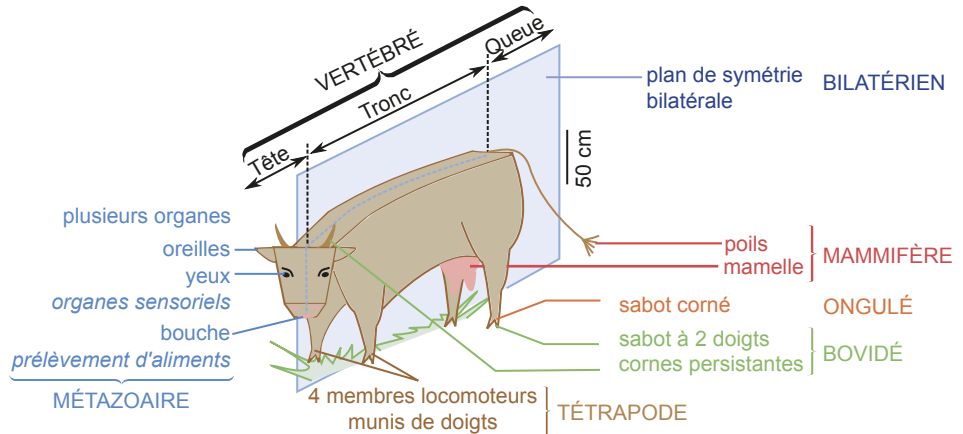


Figure 1.1 Des caractères morphologiques pour établir la position systématique de la vache.

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 chiridien	TÉTRAPODE
Glandes mammaires produisant du lait	MAMMIFÈRE
Chez la femelle : utérus = organe de la gestation	EUTHÉRIEN
Estomac (caillette) 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).

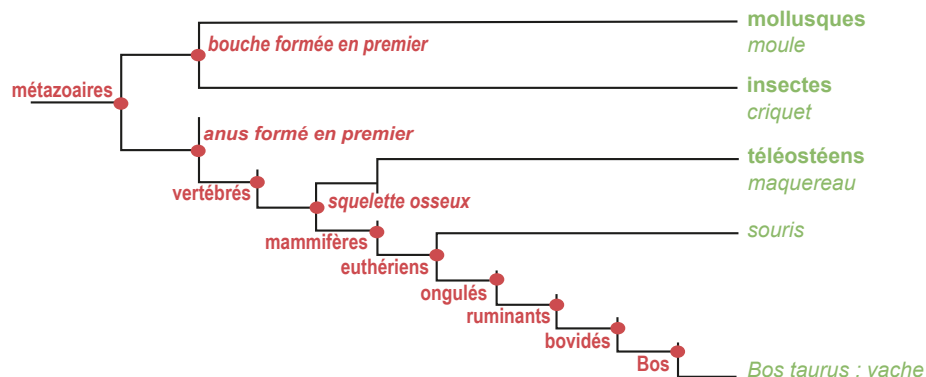


Figure 1.3 Récapitulation de la place de la vache au sein des métazoaires.
Les autres animaux indiqués seront étudiés en TP.

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 **inconvénients** : 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.

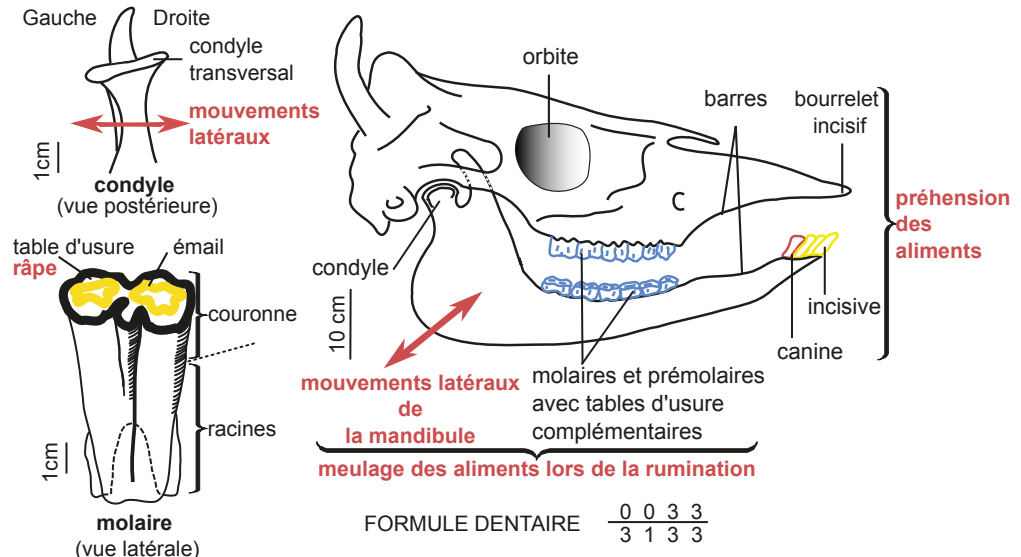


Figure 1.4 Les organes de préhension et mastication. Vue latérale droite du squelette céphalique ; détail du condyle et d'une molaire.

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.

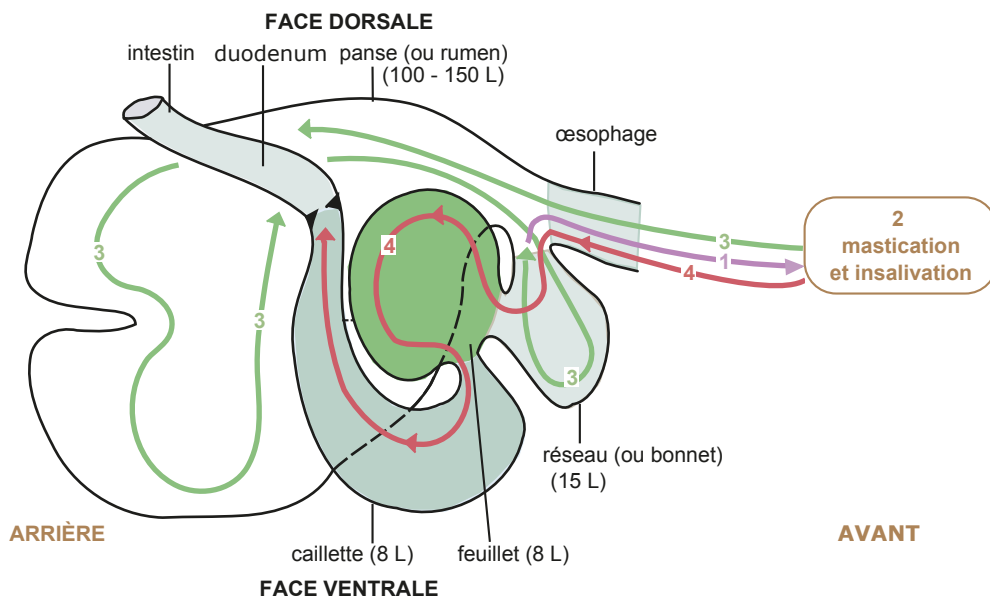


Figure 1.5 Le tube digestif de la vache (vue latérale droite) et les étapes de la rumination.

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'O₂ (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

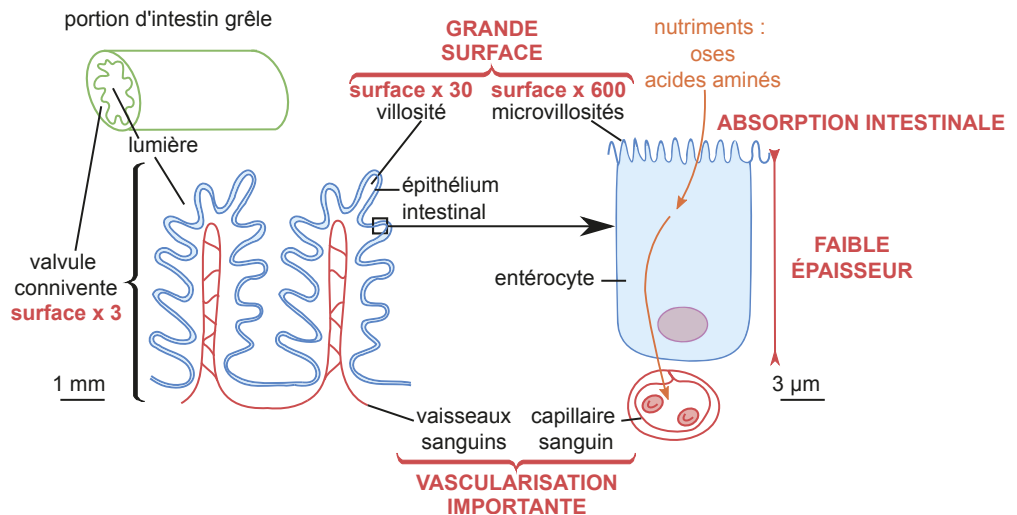


Figure 1.6 La muqueuse intestinale, une surface spécialisée dans l'absorption des nutriments.

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 O₂ au niveau de surfaces d'échanges respiratoires internalisées

Le milieu aérien est riche en O₂ (21 %), ce qui présente un avantage. En revanche, c'est un milieu desséchant et les échanges gazeux respiratoires (prélèvement d'O₂ et rejet de CO₂) 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.

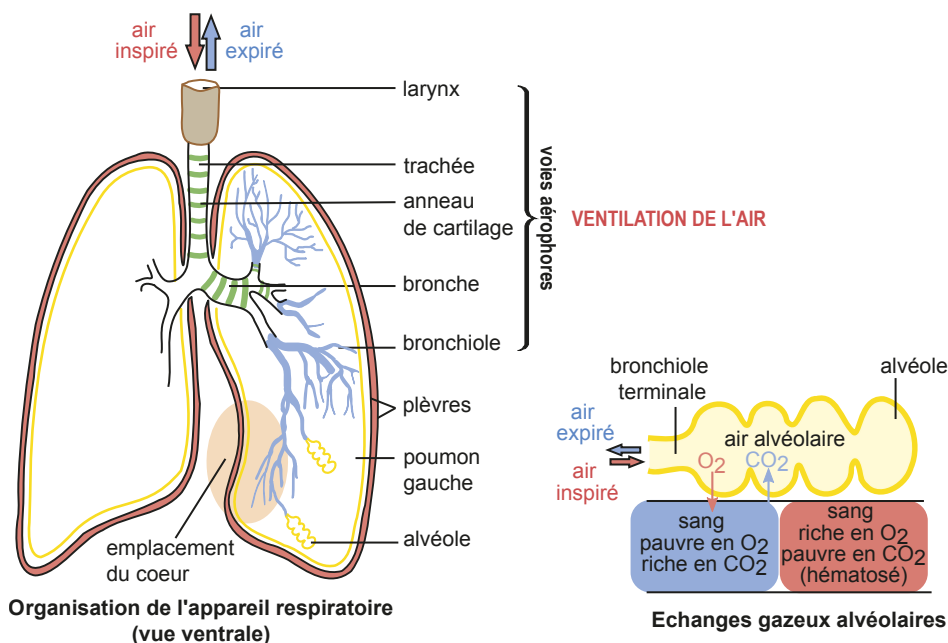


Figure 1.7 Organisation fonctionnelle de l'appareil respiratoire.

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 CO₂ et prend en charge l'O₂ contribuent à maintenir un gradient de pression partielle élevé de ces gaz, favorable à leur diffusion de l'air alvéolaire au sang pour l'O₂ et inversement pour le CO₂. Dans les capillaires alvéolaires, l'O₂ est lié à l'hémoglobine, protéine contenue dans les hématies. Le CO₂ est majoritairement transporté dans le sang sous forme d'ions HCO₃⁻.

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'O₂ 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 CO₂, 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 CO₂ (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 CO₂) :



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 NH₄⁺ 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.

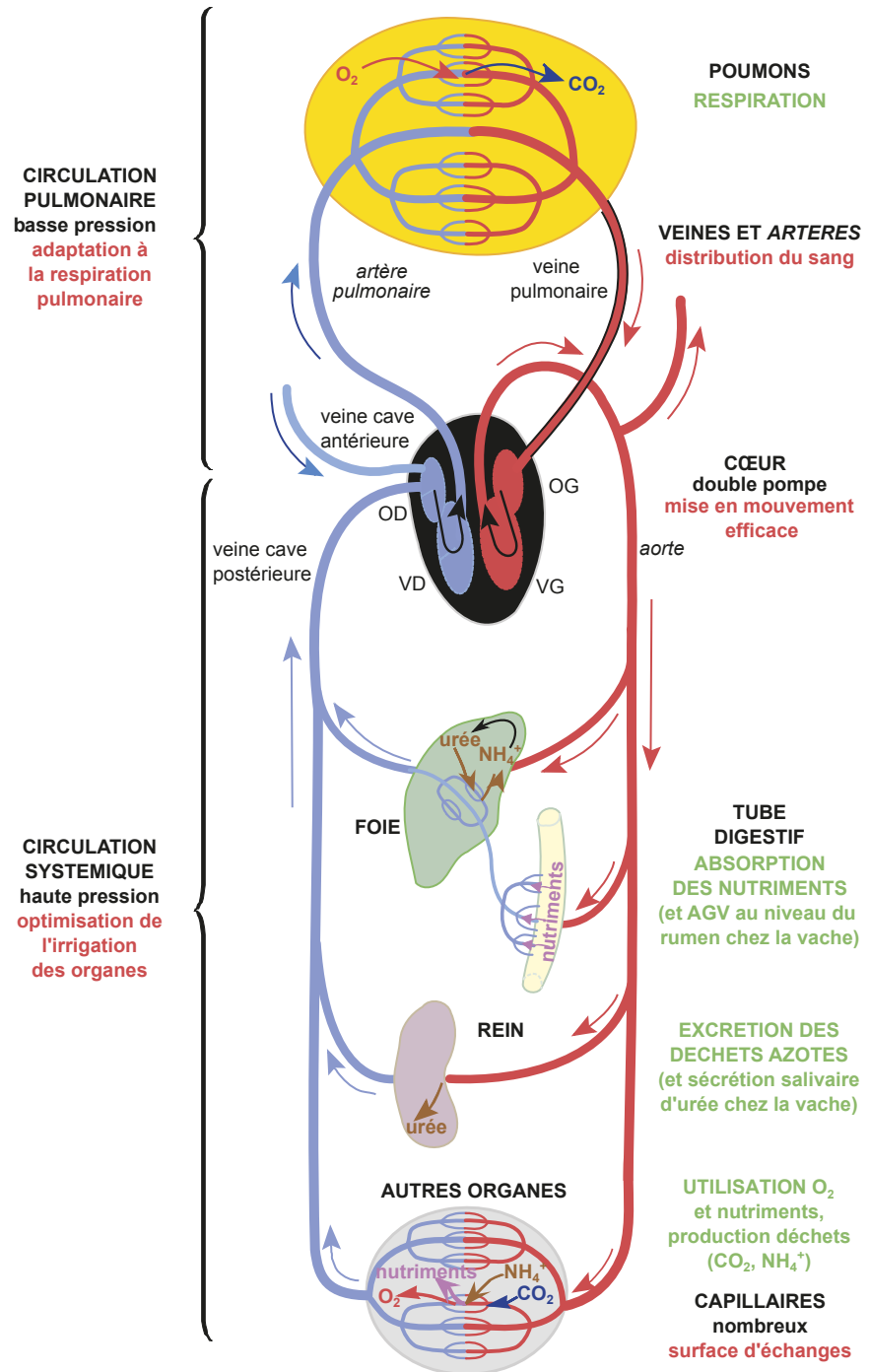


Figure 1.8 Organisation fonctionnelle de l'appareil circulatoire et corrélations trophiques.

L'ammoniac 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.

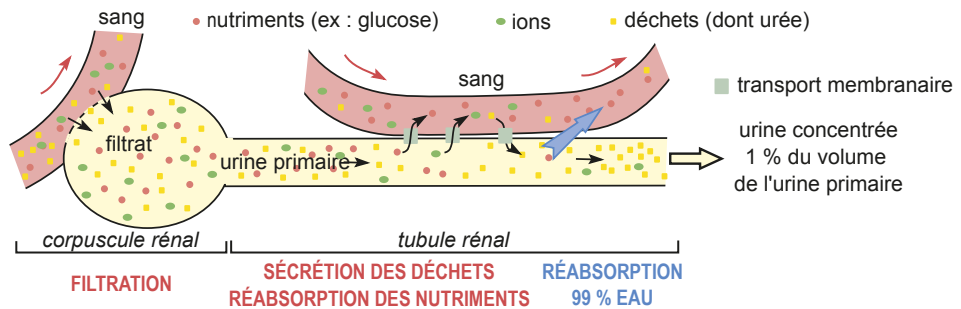


Figure 1.9 La formation d'urine dans le néphron, unité fonctionnelle du rein.

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.

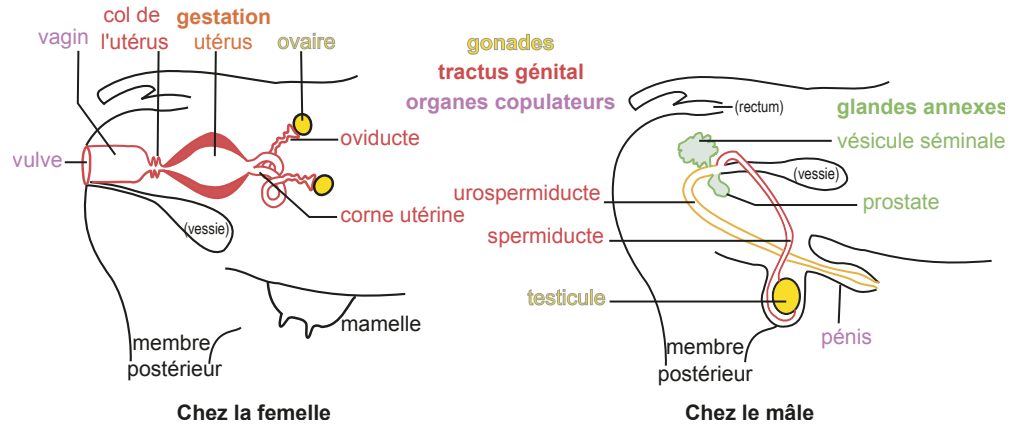


Figure 1.10 Organisation fonctionnelle des appareils reproducteurs femelle et mâle chez la vache.

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.

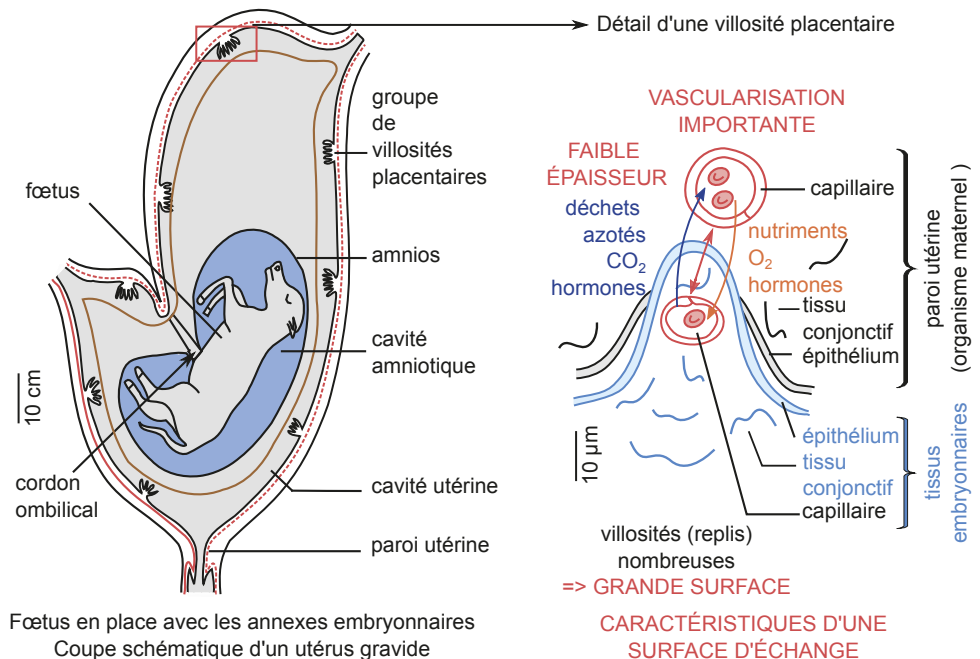


Figure 1.11 Le placenta, une surface d'échanges.

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^{2+}
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^e 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
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)

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**.

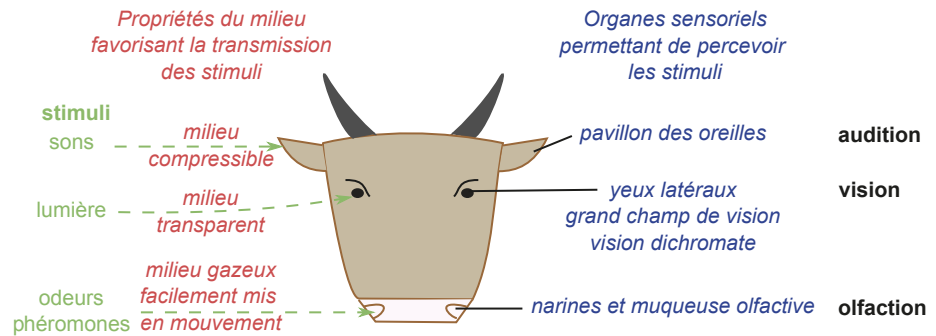


Figure 1.12 Les principaux organes sensoriels de la tête et leur fonction chez la vache.

- 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.

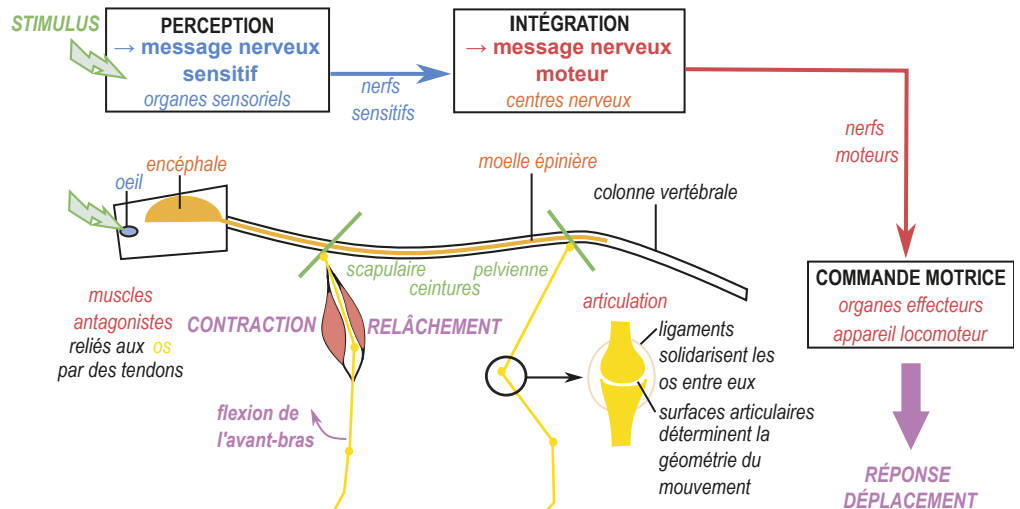


Figure 1.13 De la perception d'un stimulus visuel à la réaction de l'organisme.

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 ouvrage
de 2^e année

Voir TP 1, § 1

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).

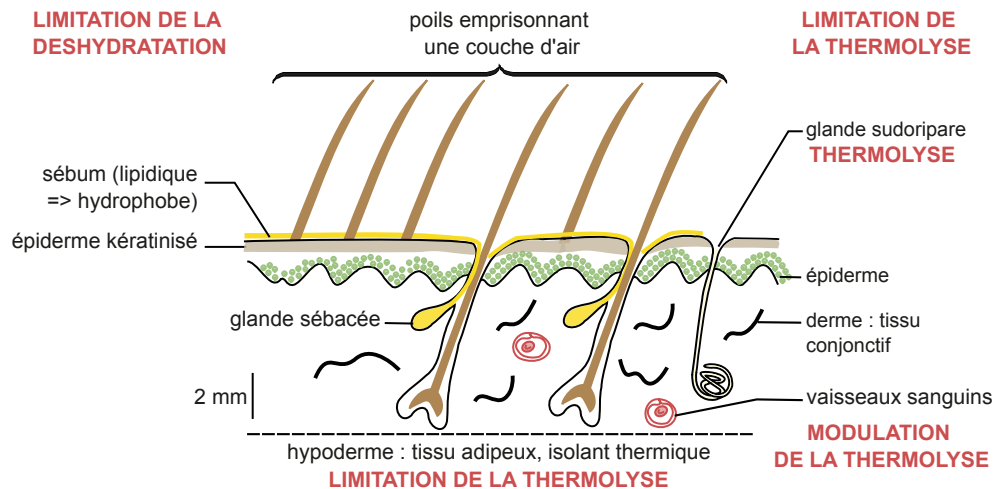


Figure 1.14 Le tégument : une structure protectrice.

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.

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

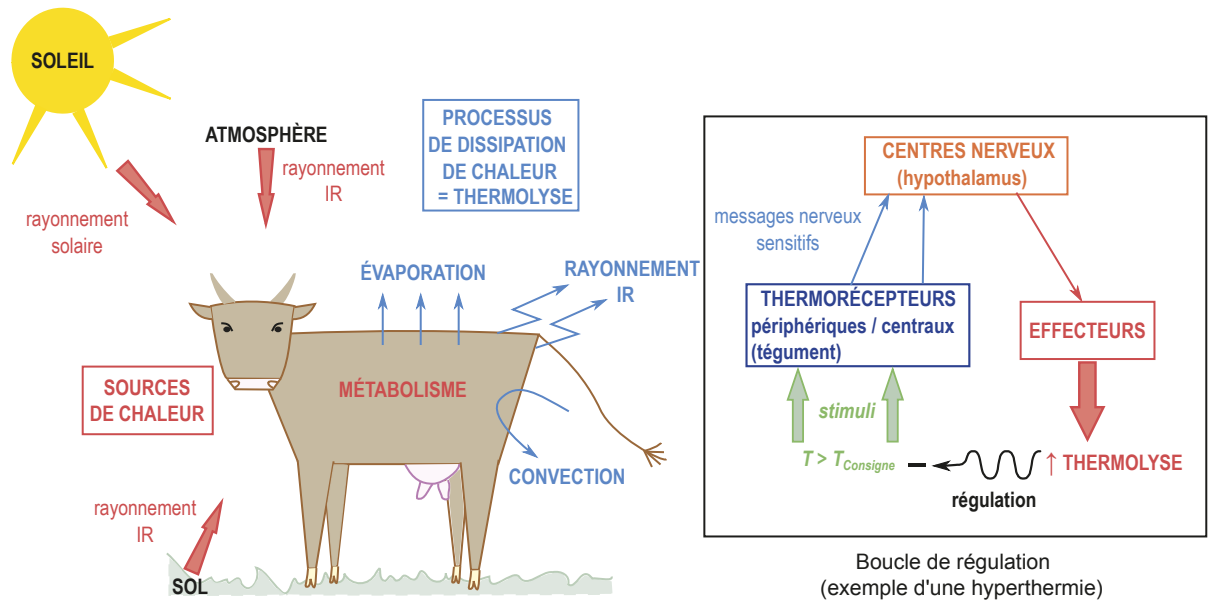


Figure 1.15 Sources de chaleur et processus de dissipation de chaleur chez la vache.

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

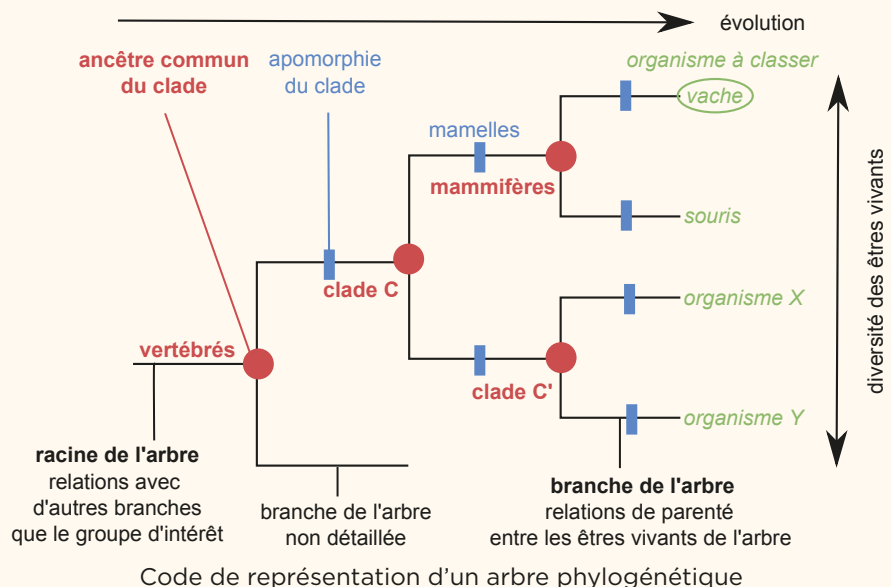
ZOOM 1

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**.

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 ₂
phase gazeuse	phase liquide	phase solide
CO ₂ : 65 %	eau	débris végétaux
CH ₄ : 27 %	urée	10 à 18 % de
H ₂ : 0,2 %	HCO ₃ ⁻ (effet tampon)	matière sèche
N ₂ : 7 %	acides gras volatils	
O ₂ : 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 CO₂, CH₄ et H₂ résultent de l'activité des symbiotes du rumen. L'urée et les ions HCO₃⁻ 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

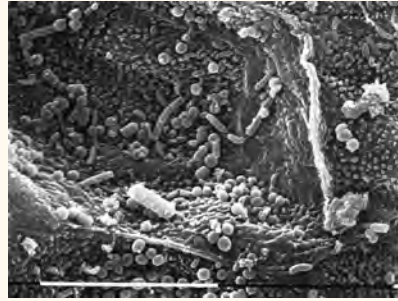
Le **microbiote** de la panse est constitué de bactéries (10⁹ – 10¹⁰/mL de jus de rumen) et des archées (10⁸/mL), des protozoaires ciliés, qui sont des eucaryotes unicellulaires (10⁴ – 10⁶/mL) et des champignons (10⁴/mL).

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.

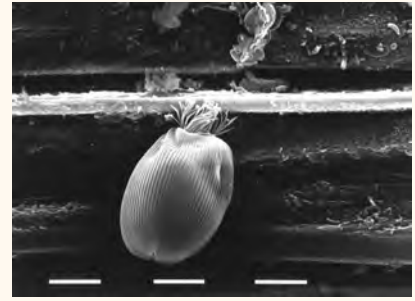
Les petites molécules résultant de ces hydrolyses sont prélevées et utilisées par les diverses espèces, pour réaliser des fermentations et la synthèse de leurs constituants. Les substrats utilisables sont variables d'une espèce à l'autre, et le produit de l'activité métabolique d'une espèce peut être utilisé par une autre. Il y a là aussi une complémentarité. Les archées méthanogènes, à partir du CO₂ et de H₂, produisent le CH₄ qui est éliminé par éructation. Or H₂ 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.

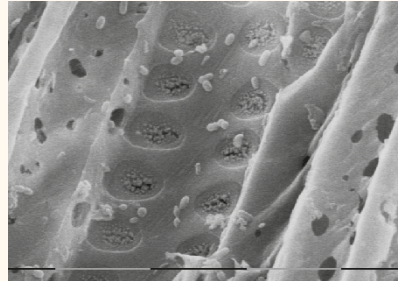
Voir chapitre 17, § 1



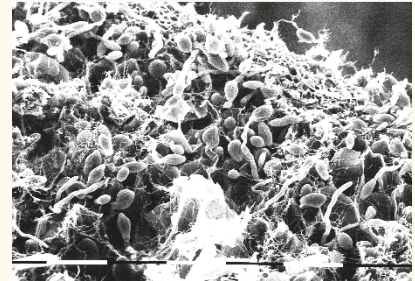
Bactéries du rumen



Protozoaire du rumen



Luzerne dégradée par
des bactéries du rumen

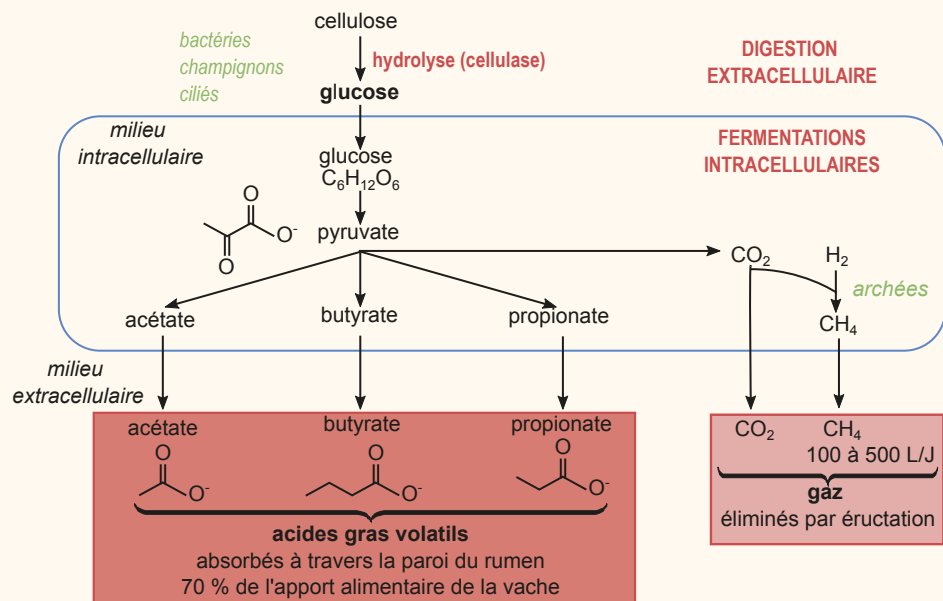


Champignons du rumen
(*Piromyces communis*)

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.

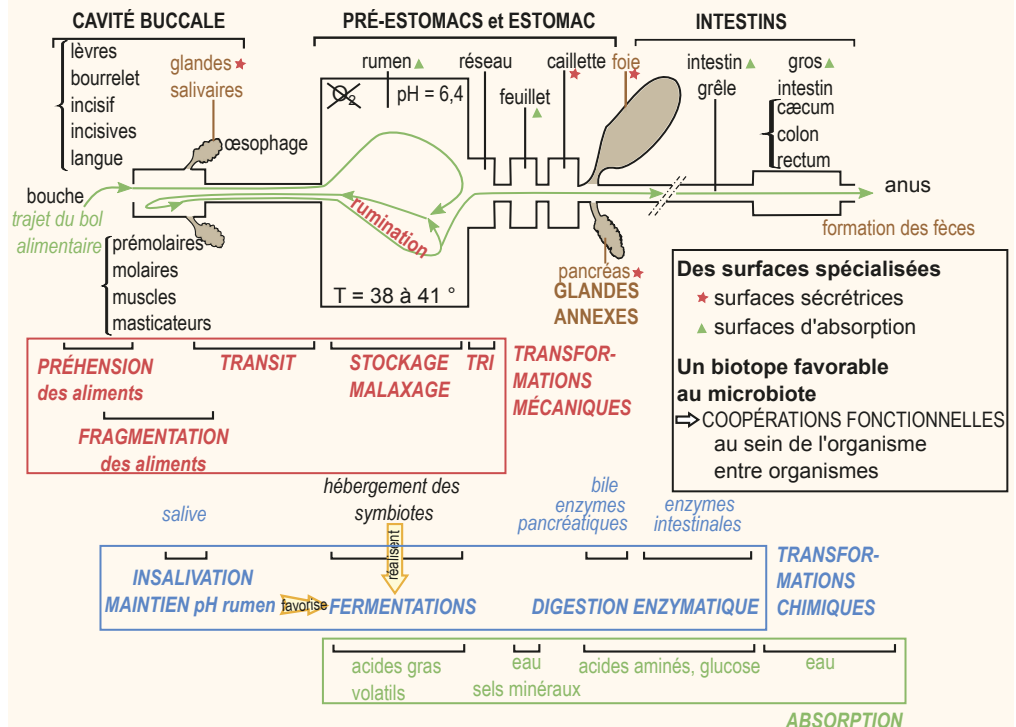
- **Les microorganismes transforment chimiquement la ration alimentaire de la vache.**

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_2 et ammoniac NH_3 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.

ZOOM 3**Régionalisation fonctionnelle de l'appareil digestif de la vache**

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'O₂ et le CO₂, 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⁺, K⁺, Ca²⁺, phosphates HPO₄²⁻ et hydrogénocarbonates HCO₃⁻ ;
- des nutriments : glucose, acides aminés (et acides gras volatils chez la vache) ;
- des sous-produits du métabolisme cellulaire : déchets azotés (urée, ammoniac) et CO₂ ;
- 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 :

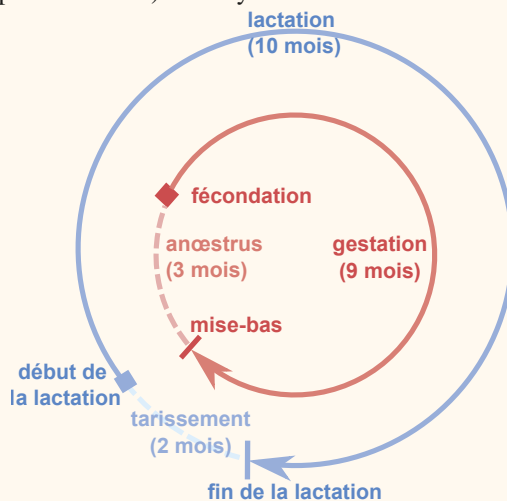
- production d'un ovocyte tous les 21 jours ;
- modifications cycliques du tractus génital, notamment préparation de la muqueuse utérine à l'implantation de l'embryon,
- **œstrus** (comportement d'acceptation du mâle) apparaissant 12 à 18 heures avant l'ovulation : agitation plus importante, chevauchement 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'œstrus (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_2 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.

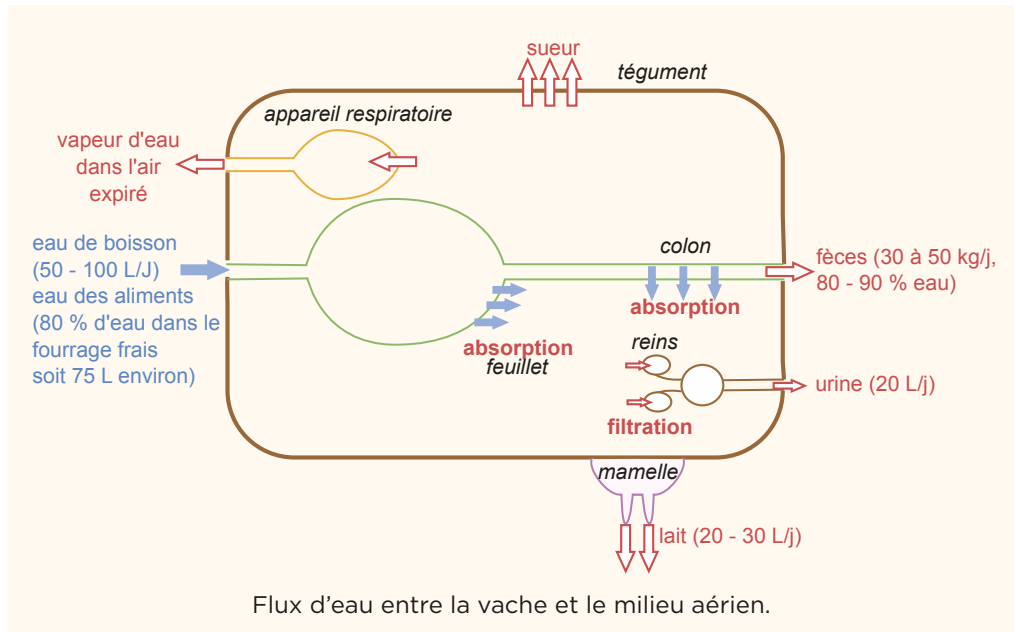
L'approvisionnement de la vache se fait par son alimentation, lorsqu'elle broute de l'herbe fraîche, et par l'eau de boisson (voir § 2.1a).

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^e 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.

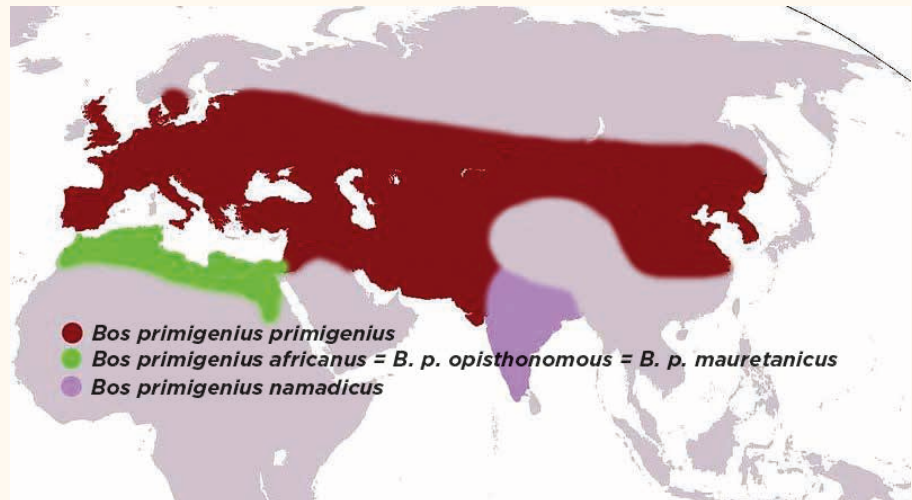
La sélection du mâle est facilitée par l'insémination artificielle : en « monte naturelle » un taureau peut permettre de produire 15 à 30 veaux par an, alors qu'en 2 ou 3 ans la descendance d'un seul taureau peut atteindre 200 000 individus en insémination artificielle. Aujourd'hui, 90 % des veaux en 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.