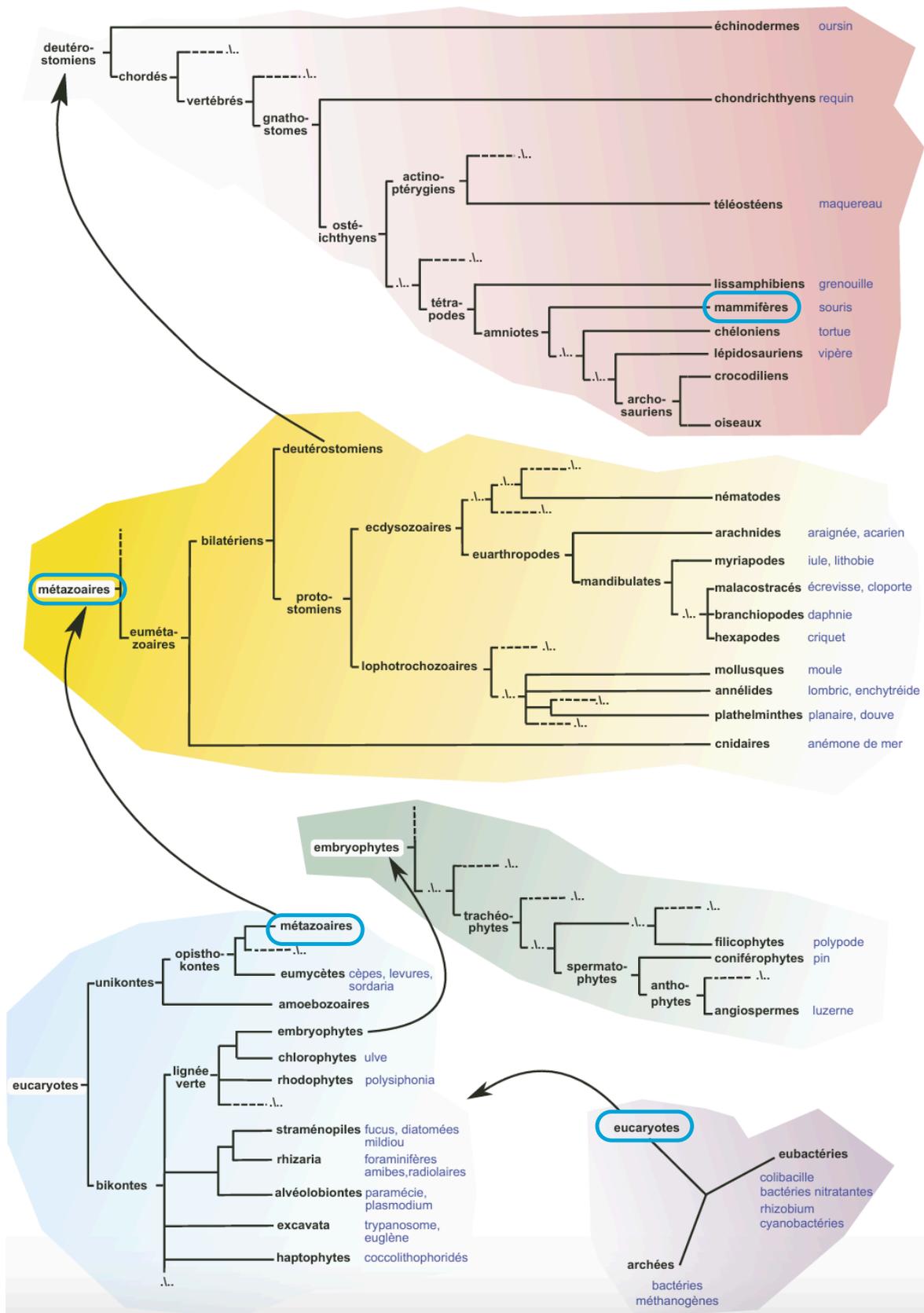
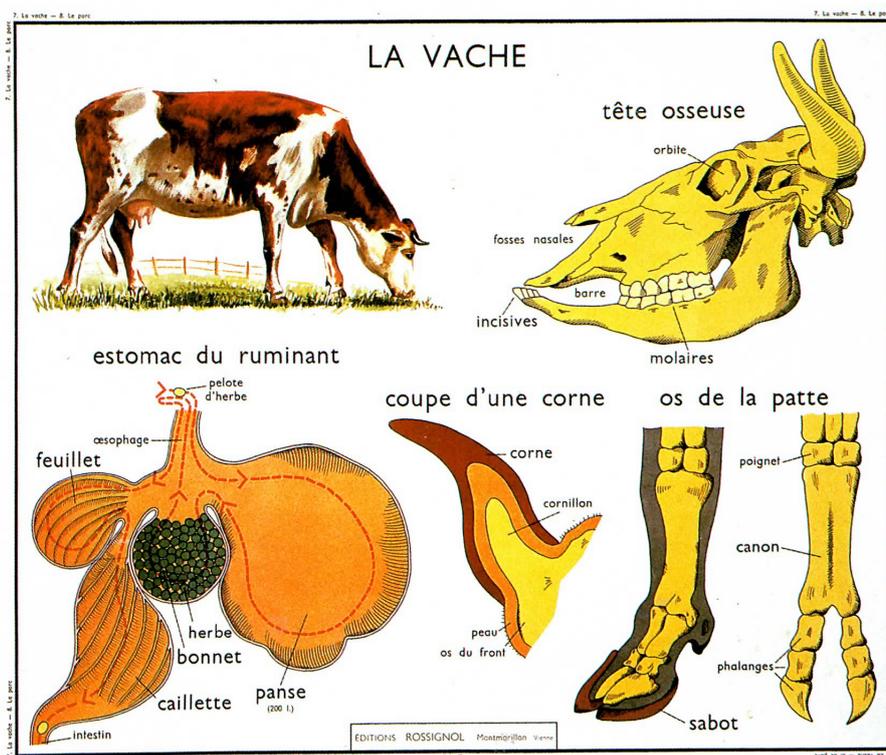
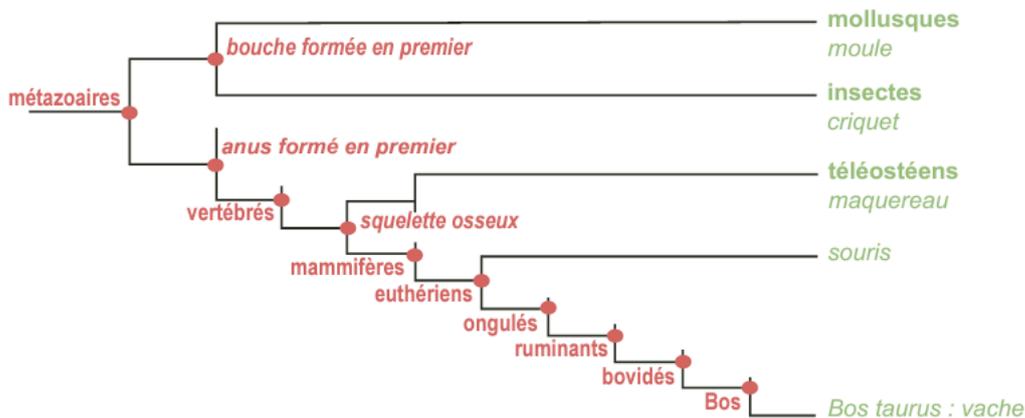


Figure 1 : Position systématique de la vache
(in Perrier et al., Dunod)



Les différents caractères morphologiques et anatomiques de la vache permettent de définir sa position systématique :

- la vache est un animal pluricellulaire : c'est un **métazoaire** ;
- son axe nerveux, dorsal, est protégé par des vertèbres : c'est un **vertébré** ;
- elle possède des membres pairs locomoteurs munis de doigts : c'est un **tétrapode** ;
- l'embryon se développe dans une membrane renfermant le liquide amniotique : c'est un **amniote** ;
- elle possède des poils et des mamelles : c'est un **mammifère** ;
- les voies digestives et uro-génitales sont séparées, le développement embryonnaire vivipare est long, grâce au placenta : c'est un **euthérien** ;
- les phalanges sont protégées par un sabot corné, la locomotion est digitigrade : c'est un **ongulé** ;
- il y a un nombre pair de doigts : c'est un **cétartiodactyle** ;
- la vache a des cornes, n'a pas d'incisives supérieures, et possède un « estomac » à quatre poches : c'est un **ruminant** ;
- elle a des cornes osseuses recouvertes d'un étui corné : c'est un **bovidé**.



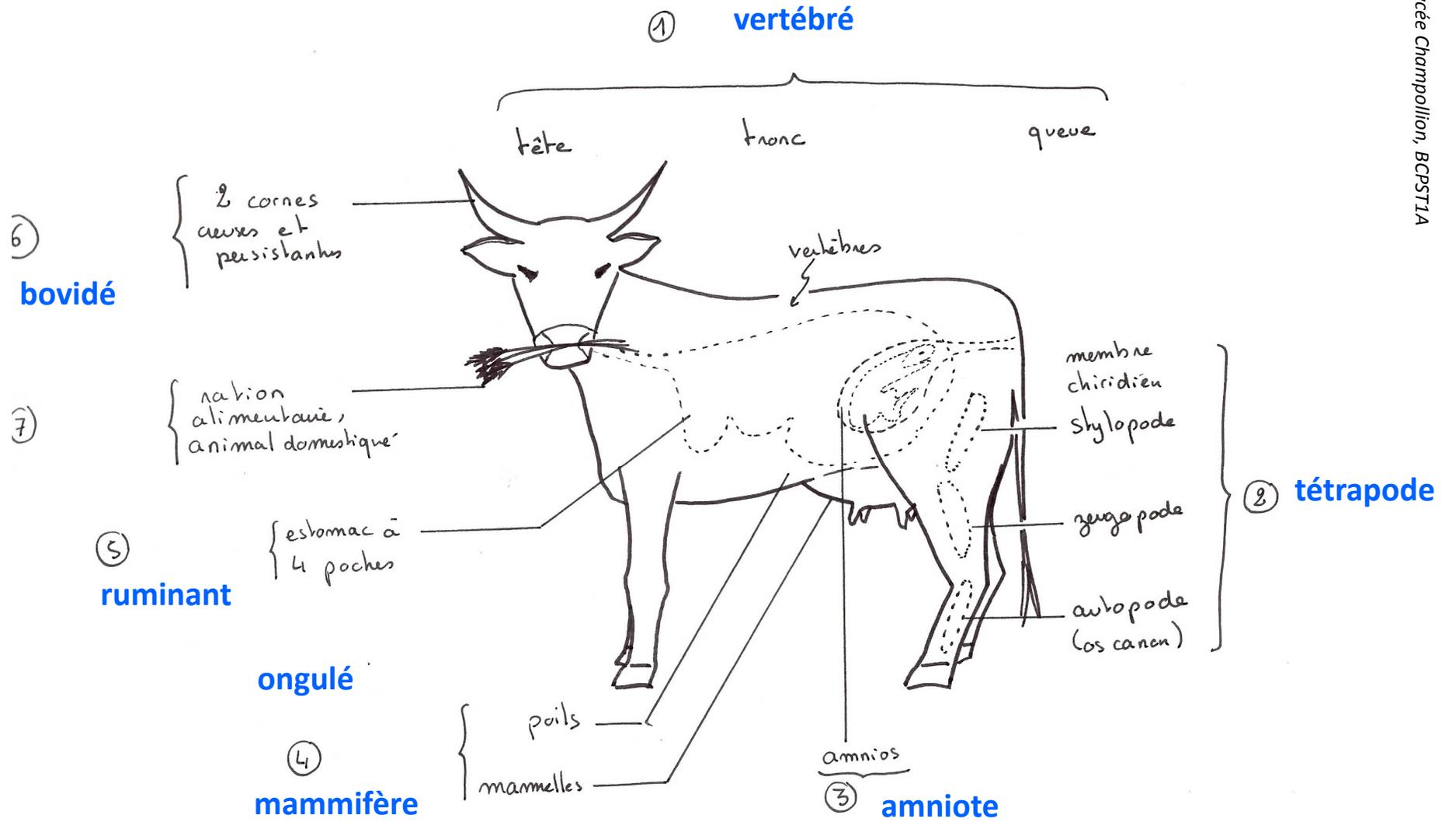


Figure 2 : différentes races de vaches élevées en France

46 races de vaches sont reconnues en France , 85% du cheptel français est représenté par 5 races (Prim'Holstein, Charolais, Normande, Montbéliarde, Limousine). Le cheptel français est le plus grand d'Europe avec 18 millions d'individus.

Selon les races, une vache adulte pèse entre 400 et 1 100 kg, un taureau pèse entre 600 et 1700 kg. Un veau pèse environ 40 kg à la naissance.

Une vache laitière produit en moyenne 18 à 25 litres de lait par jour, et même jusqu'à plus de 40 kg pour les meilleures laitières. La France est le 1^{er} pays laitier d'Europe.



Race laitière : la Montbéliarde



Race laitière : la Prim Holstein



Race à viande : la Limousine



Race rustique : la Salers



Race à viande : la Charolaise



Vache allaitante

Figure 3 : Alimentation végétale adaptée aux besoins de la vache

Troupeau au pré : dans le Jura



Stabulation libre



Nourriture à l'étable : , compléments alimentaires.



foin (herbe séchée au soleil)

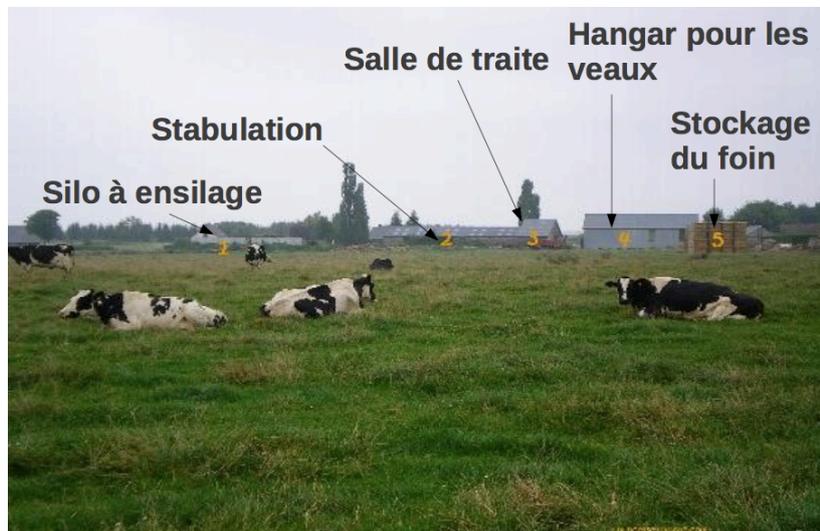


ensilage (fermentation lactique sans O₂)



compléments alimentaires

Une ferme standard



Élevage extensif : troupeaux dans les pâturage en Vanoise (Alpes)



Dès que les pâtures le permettent, les troupeaux montent en alpage ; en principe, autour de mi-juin et jusqu'à fin septembre. Ce sont les 100 jours. La plupart des alpages sont dits "familiaux", chaque exploitation possédant (ou louant) son chalet et les terrains aux alentours. Sur les alpages laitiers, la **traite** continue d'être effectuée **2 fois par jour** soit en rentrant les troupeaux dans les étables (à côté des chalets), soit grâce aux machines à traire mobile.

Ces machines de 2 à 10 postes ont l'avantage de se déplacer en même temps que les troupeaux, ce qui permet une meilleure gestion des prairies, surtout quand celles-ci se trouvent éloignées de l'étable.

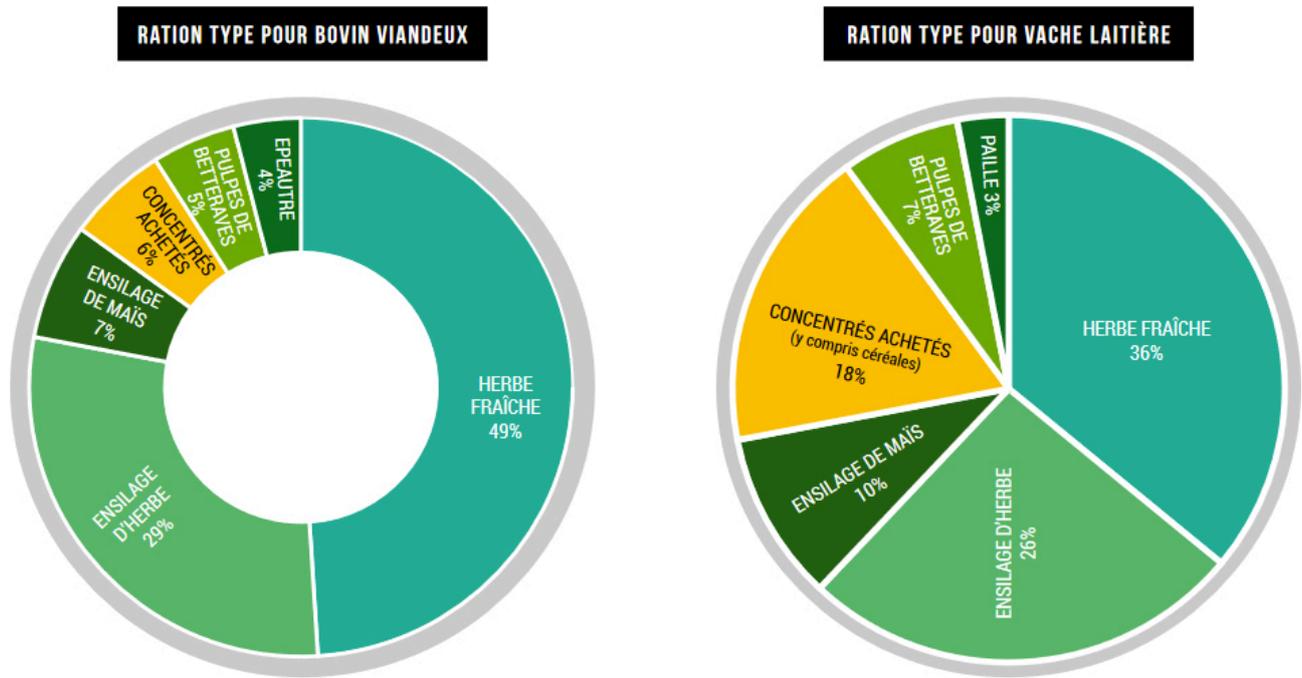
La pâture des alpages contribue également à la richesse floristique et à la biodiversité de nos montagnes.

Le lait est ensuite descendu 2 fois par jour (par 4x4) dans les coopératives pour être transformé en Beaufort.



Machine à traire mobile

Ration alimentaire typique (concentrés = tourteaux)



(Source: Boonen et al., 2015)

Figure 4 : crâne de la vache et dentition



© Université de Montréal

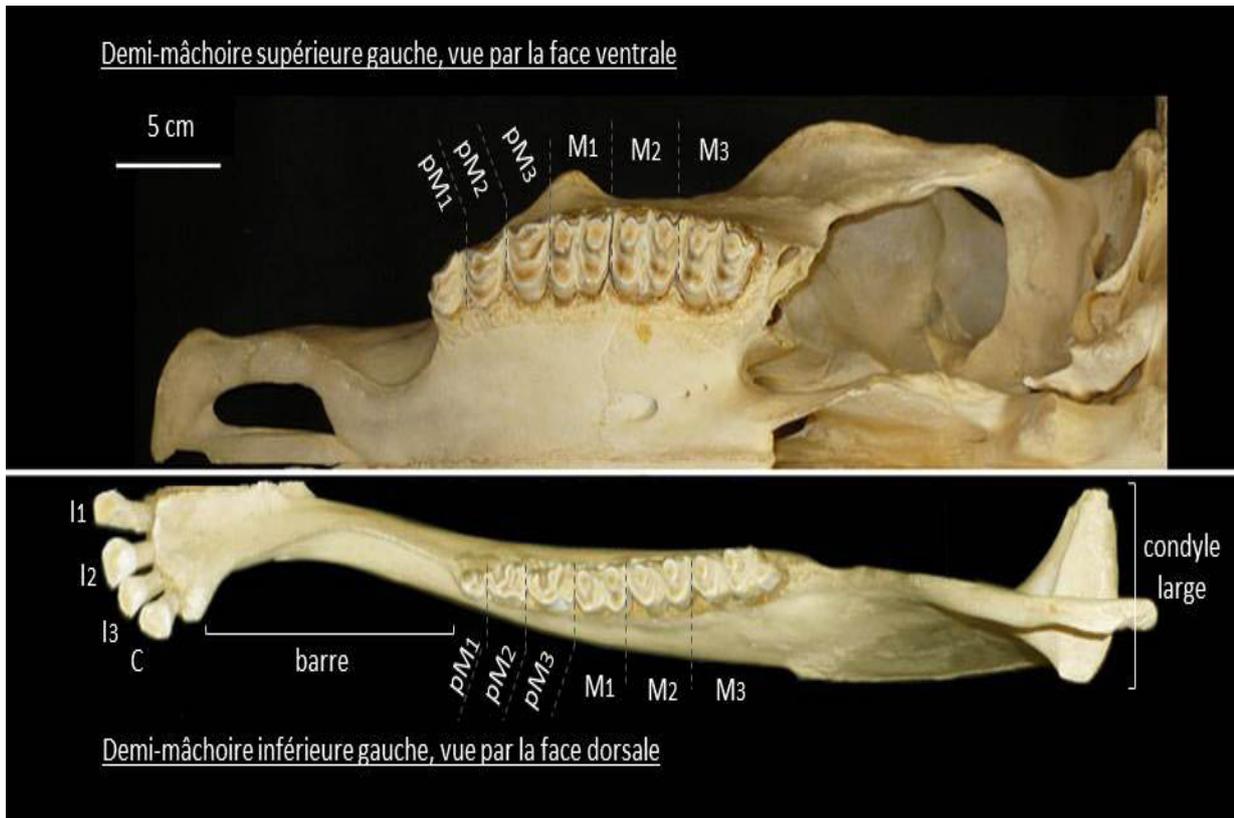


Figure 5 : molaire de vache : dent à croissance continue présentant une table d'usure
 (in Atlas de biologie animale, Heusser et Dupuy, Dunod)

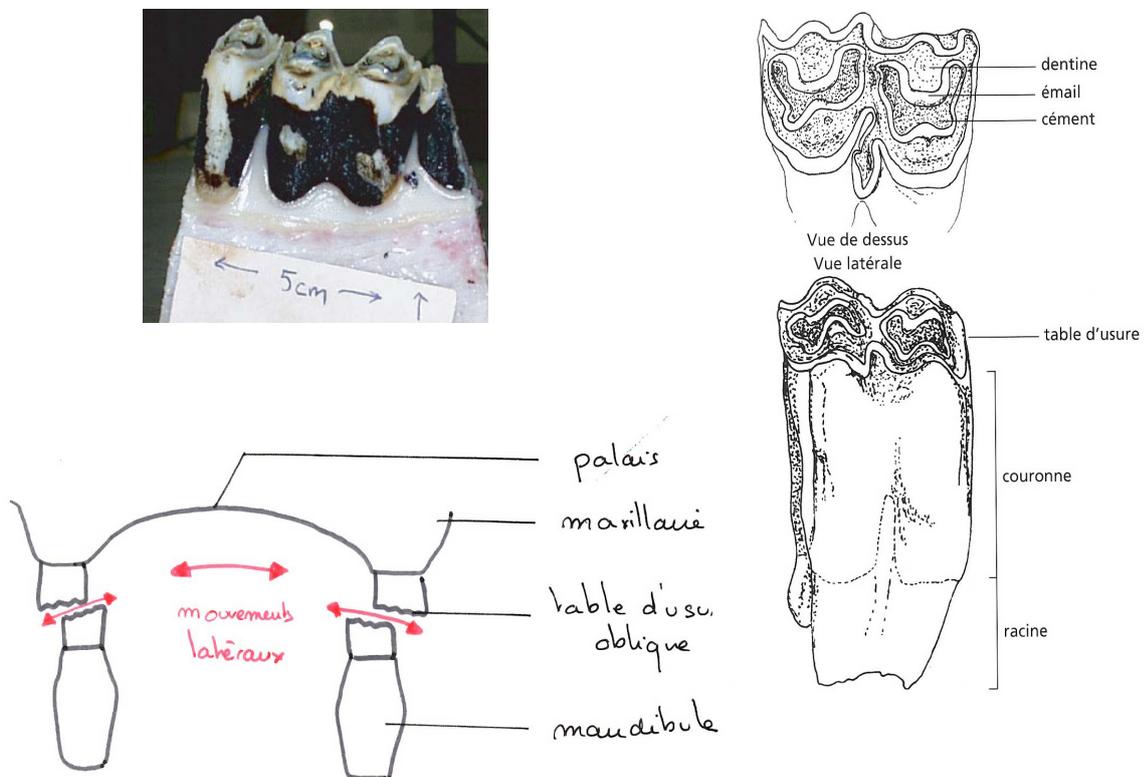


Figure 6 : Schéma bilan sur la digestion

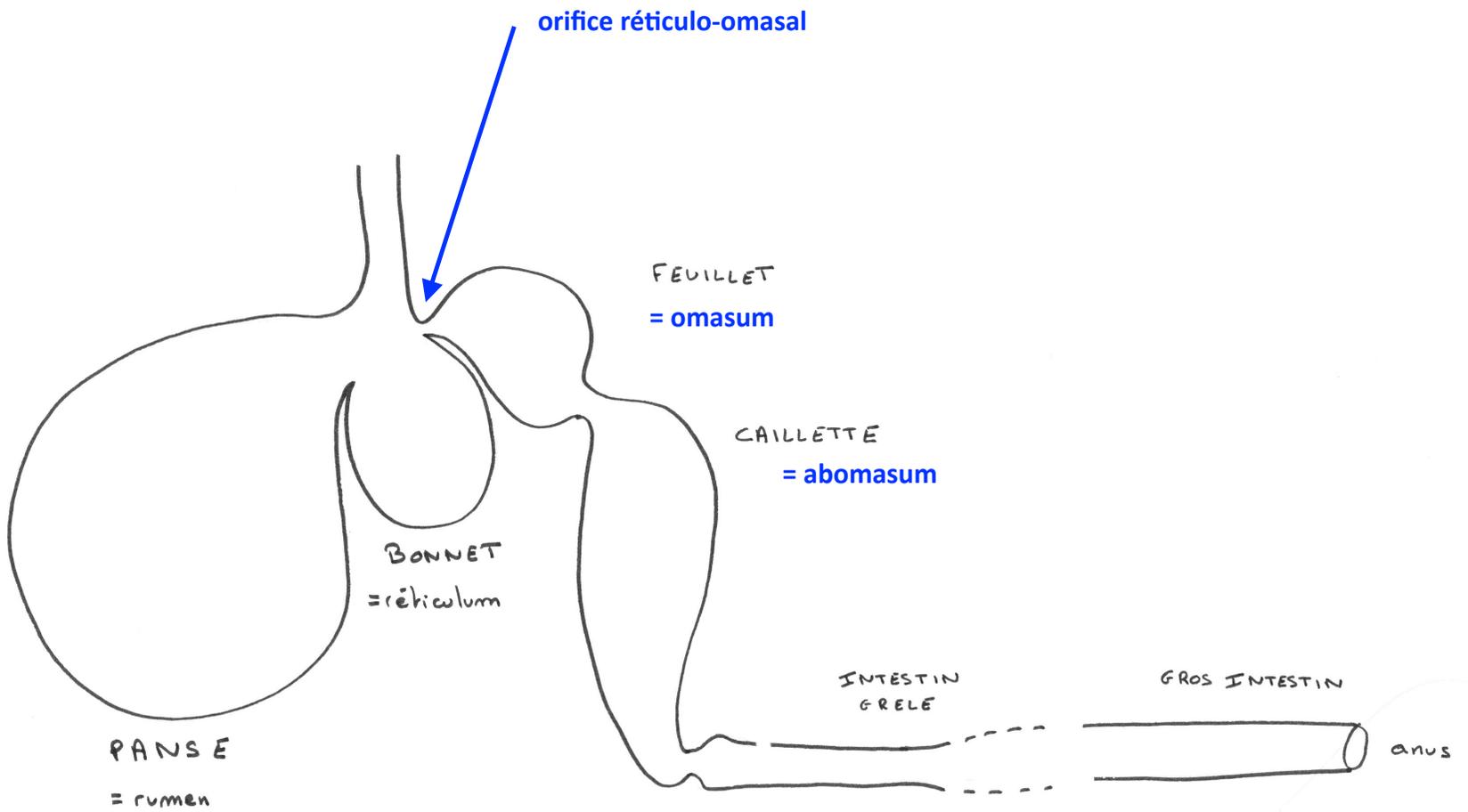


Figure 7 : aspect de l'épithélium des différentes chambres
(in Segarra *et al.*, Ellipse)



Panse = Rumen



Bonnet = Réticulum



Feuillet = Omasum



Caillette = Abomasum

Figure 8 : fonctions des différentes chambres gastriques
(in Segarra *et al.*, Ellipse)

	Segments du tube digestif		Proportions relatives en % du volume total	Fonction	Substances absorbées
Partie antérieure du tube digestif	Cavité buccale			Broyage des aliments Sécrétion d'urée	
	Œsophage			Déglutition, régurgitation	
	« Est omac »	Panse = Rumen	71 %	Digestion par l'activité des micro-organismes Brassage Eructation Absorption	Acides gras volatils
		Bonnet = Réticulum			
		Feuillet = Omasum			
Caillette = Abomasum	Compression du bol alimentaire Absorption	Eau, acides gras volatils, ions minéraux			
		Digestion par hydrolases gastriques			
Partie postérieure du tube digestif	Intestin grêle		18 %	Digestion par hydrolases pancréatiques et intestinales Absorption	Eau, oses, acides aminés, acides gras, nucléotides
	Gros intestin	Cæcum	3 %	Digestion par l'activité des micro-organismes Absorption	Acides gras volatils
		Colon	0,08	Absorption	Eau, ions minéraux
		Rectum		Stockage des fèces	

Figure 9 : Flore du rumen

	Abondance	Quelques espèces	Molécules hydrolysées
Bactéries	10 ⁹ à 10 ¹⁰ /mL de jus de rumen	<i>Bacteroides succinogenes</i> <i>Ruminococcus albus</i> <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	cellulose
	1 kg de bactéries chez un bovin	<i>Bacteroides ruminicola</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	hémi-celluloses protéines
		<i>Bacteroides amylophilus</i> <i>Streptococcus bovis</i> <i>Bacteroides ruminicola</i>	Amidon protéines
Ciliés	10 ⁴ à 10 ⁶ /mL de jus de rumen 2 kg de ciliés chez un bovin	Entodiniomorphes	Glucides, certaines espèces sont cellulolytiques Protéines Lipides (galactolipides)
Champignons (moisissures)	10 ⁴ /mL de jus de rumen	Chytridiomycète	Fibres indigestibles par les autres micro-organismes



Entodinium longinucleatum

Diplodinium multivesiculum

Epidinium ecaudatum

Figure 10 : coopération entre eubactérie et archée au sein du rumen

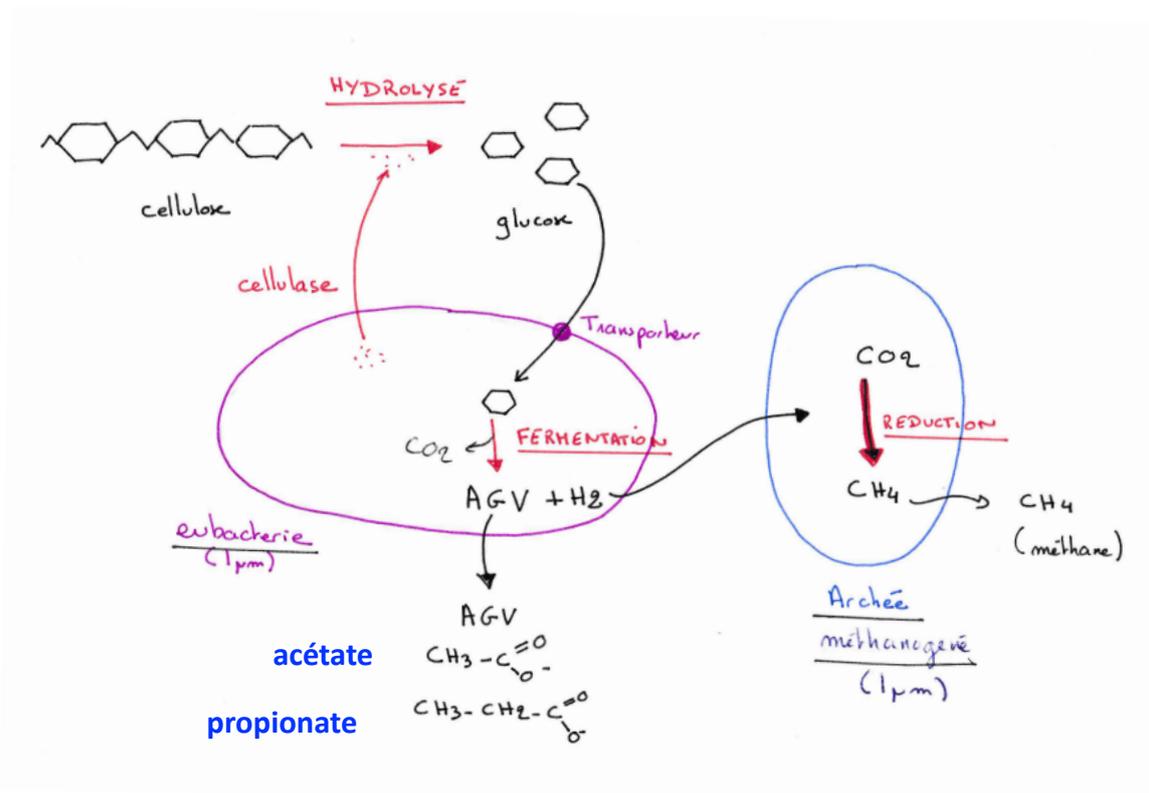
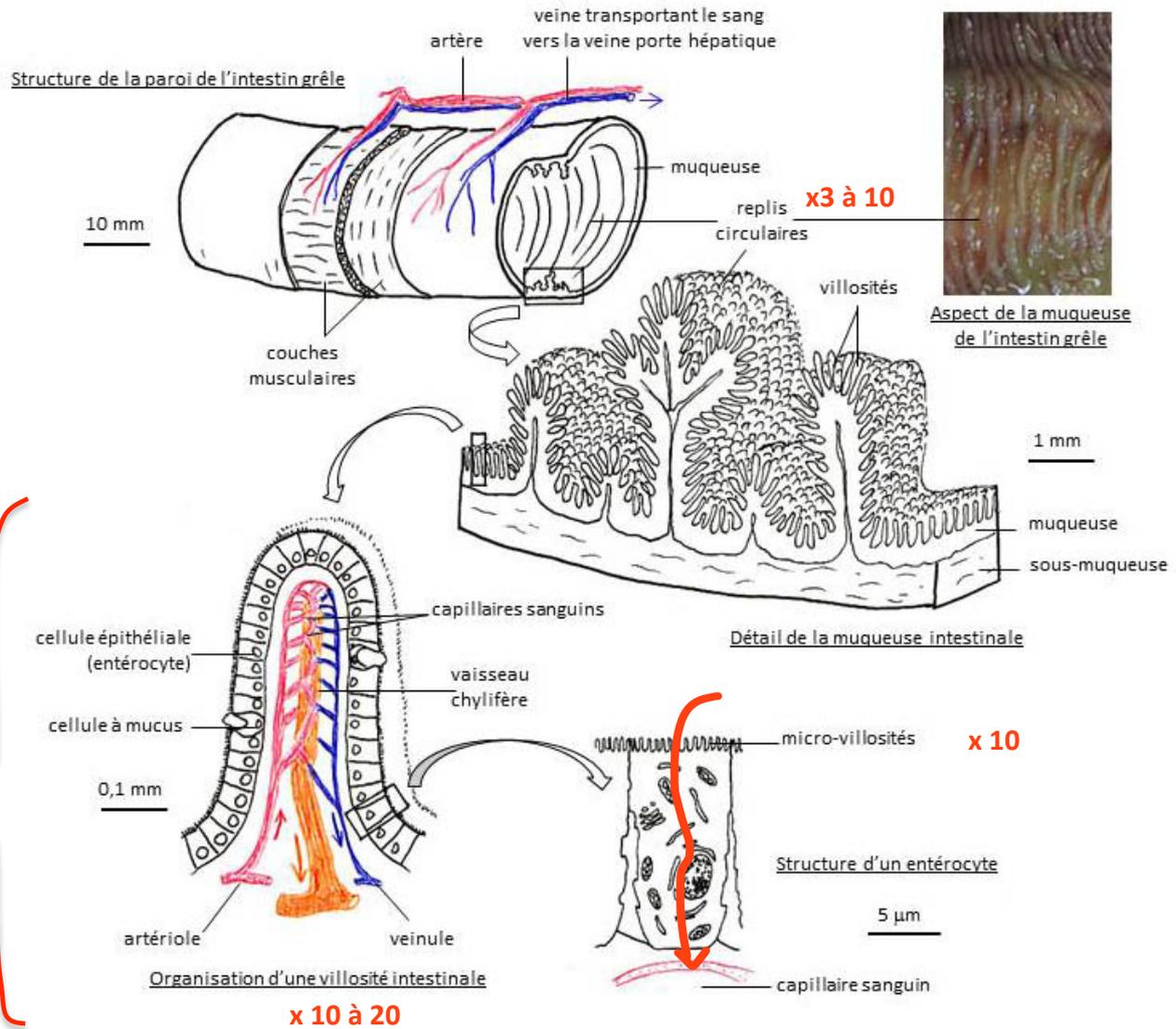


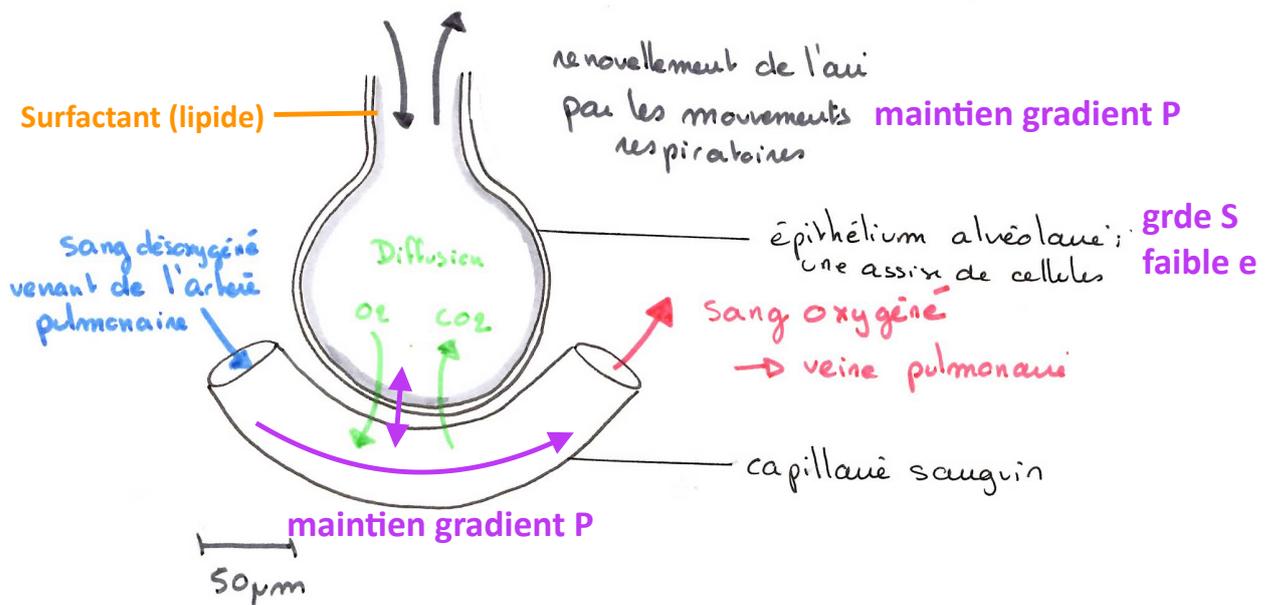
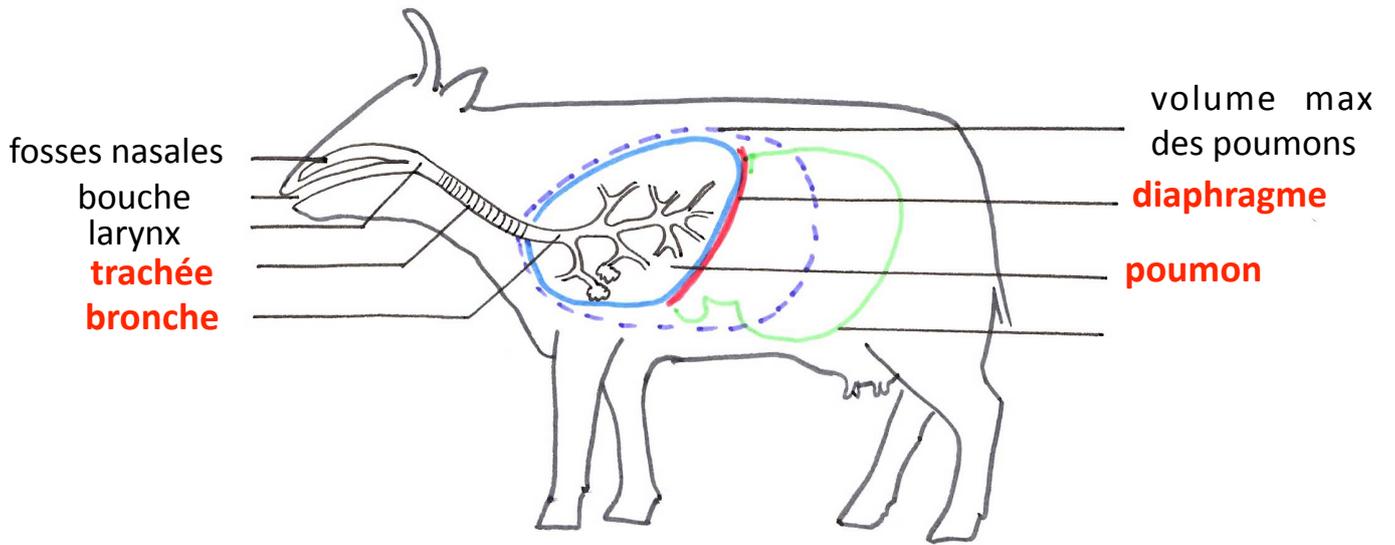
Figure 11 : l'épithélium de l'intestin grêle forme une grande surface d'absorption
(in Segarra *et al.*, Ellipse)

SURFACE 4300 m² = 8 terrains de tennis



à faire en ZOOM sur le schéma bilan

Figure 12 : voies respiratoires de la vache



Loi de diffusion de Fick

connaître les unités par coeur!

$$F = k \cdot (S/e) \cdot |C_2 - C_1|$$

F : flux du gaz en mol.s⁻¹

k : coefficient de diffusion de la membrane (en m².s⁻¹)

S : surface de la membrane au contact des solutions (en m²)

e : épaisseur de la membrane (en m)

P₂-P₁ ; différence de pression partielle entre les deux compartiments (en mol.m⁻³)

Figure 13 : appareil circulatoire de la vache
(in Anatomy and physiology of farms animals, Frandson *et al.* Wiley-Blackwell)

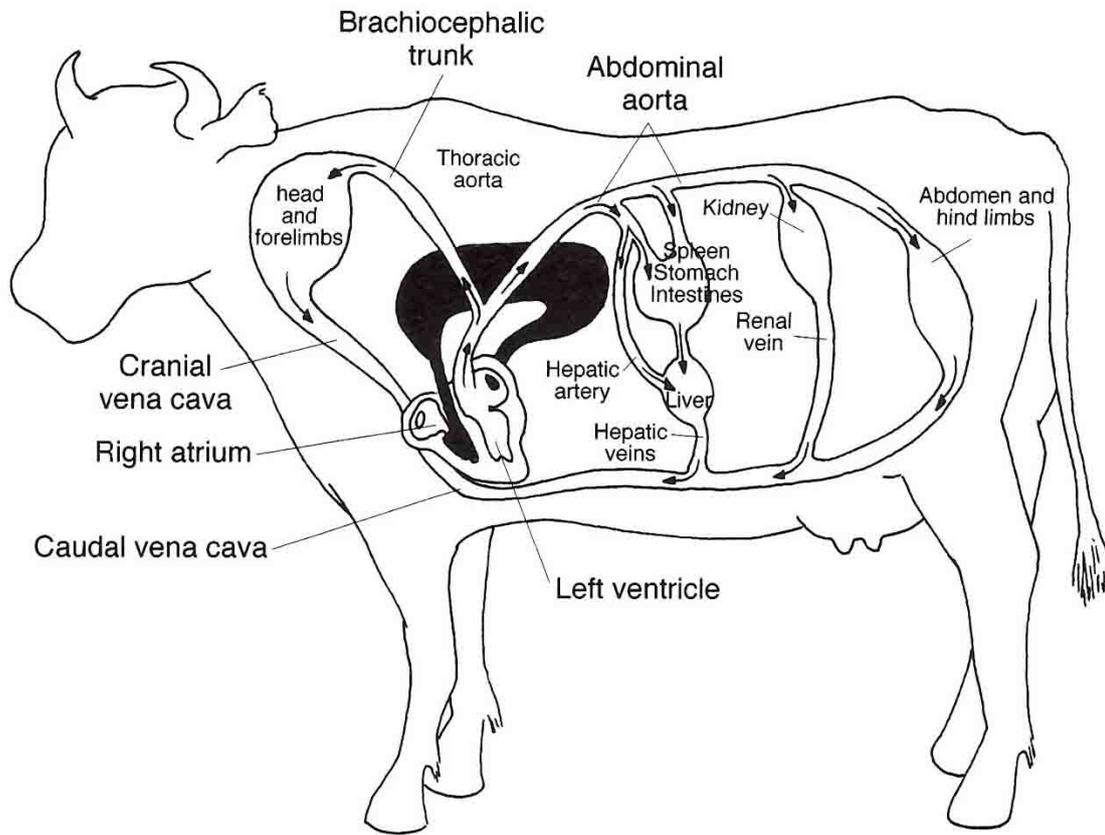


Figure 14 : organisation générale de la circulation chez la vache

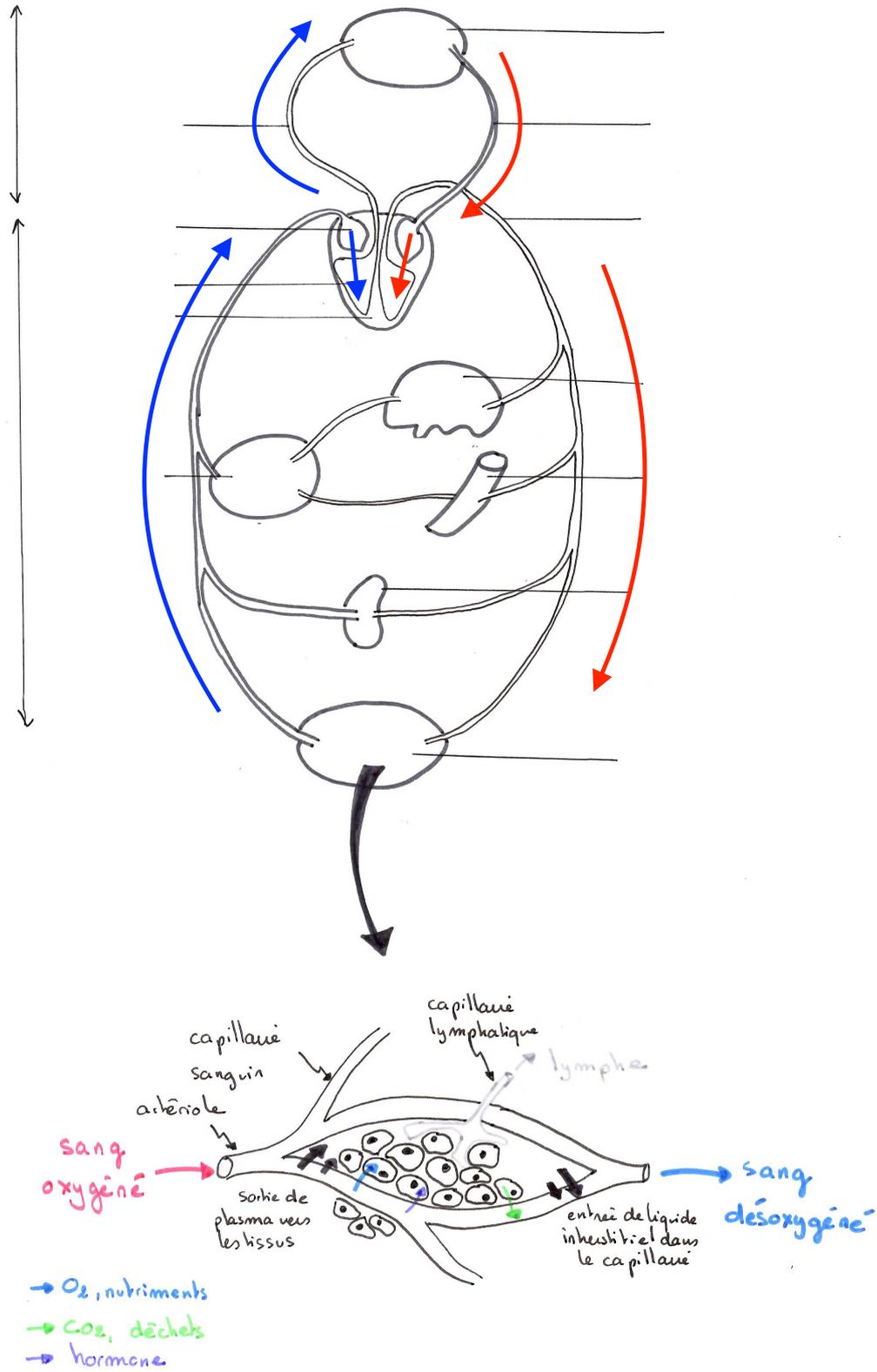


Figure 15 : appareil uro-génital de la vache
(in Segarra *et al.*, Ellipse)
Les organes génitaux sont représentés en pointillés.

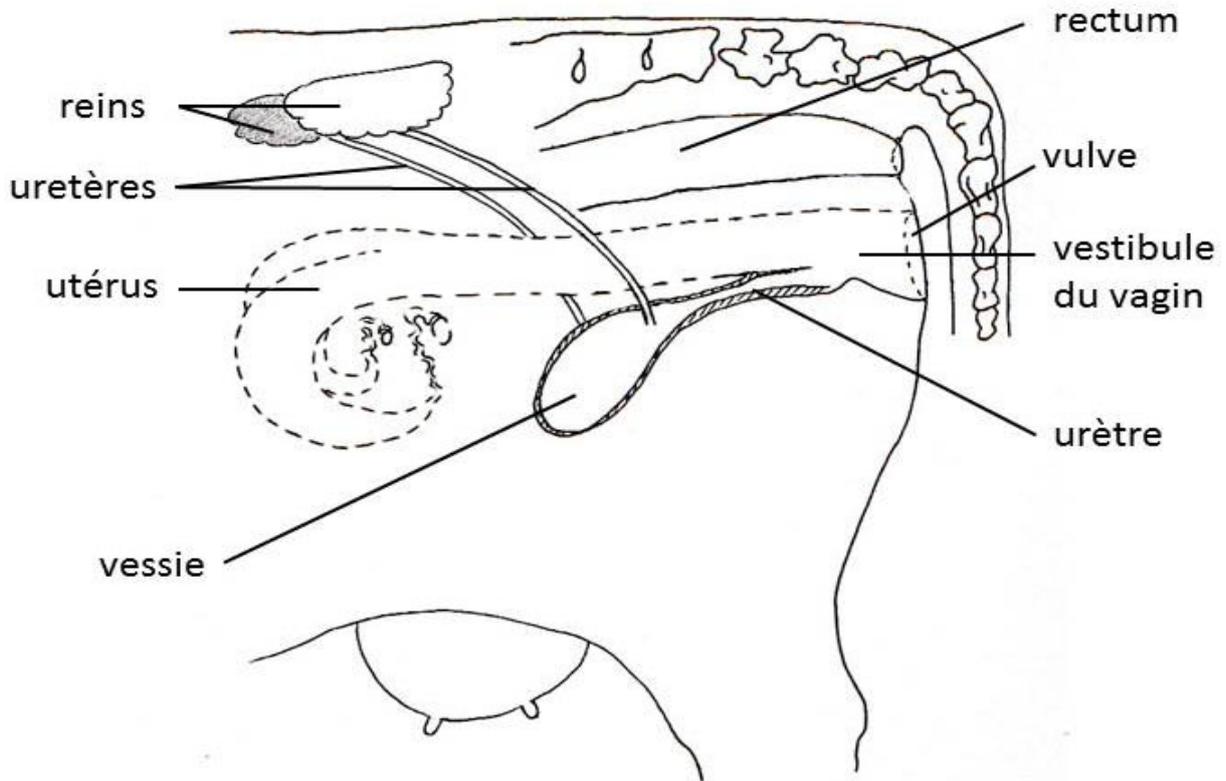


Figure 16 : coupe longitudinale d'un rein de vache
(in Anatomy and physiology of farms animals, Frandson *et al.* Wiley-Blackwell)

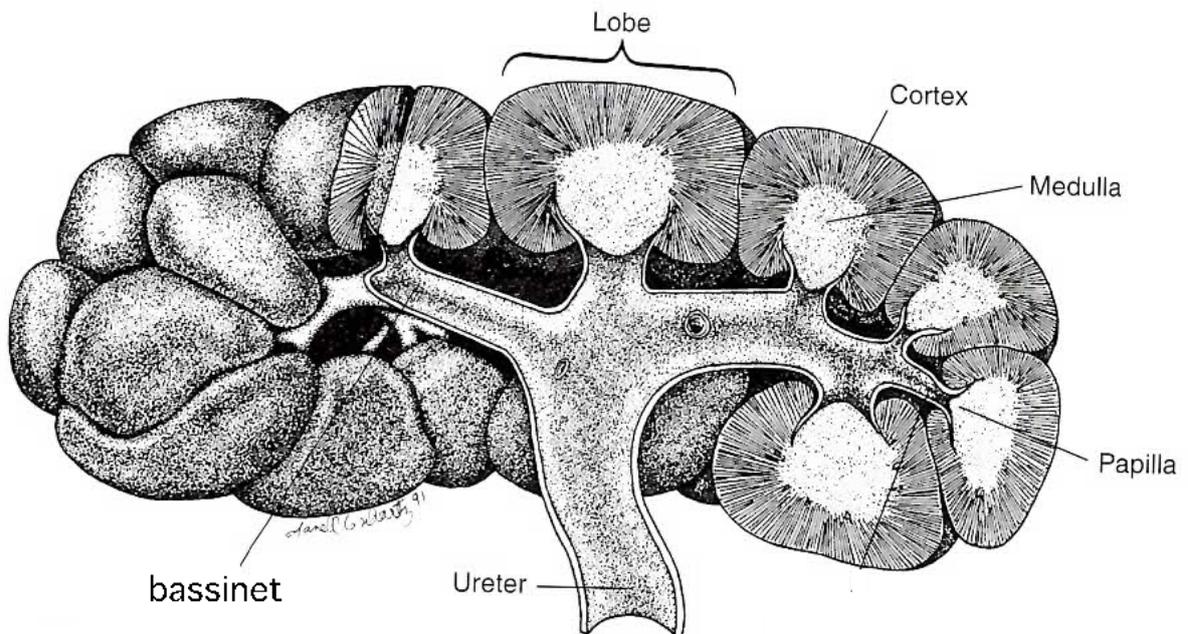


Figure 17 : principe de fonctionnement du néphron

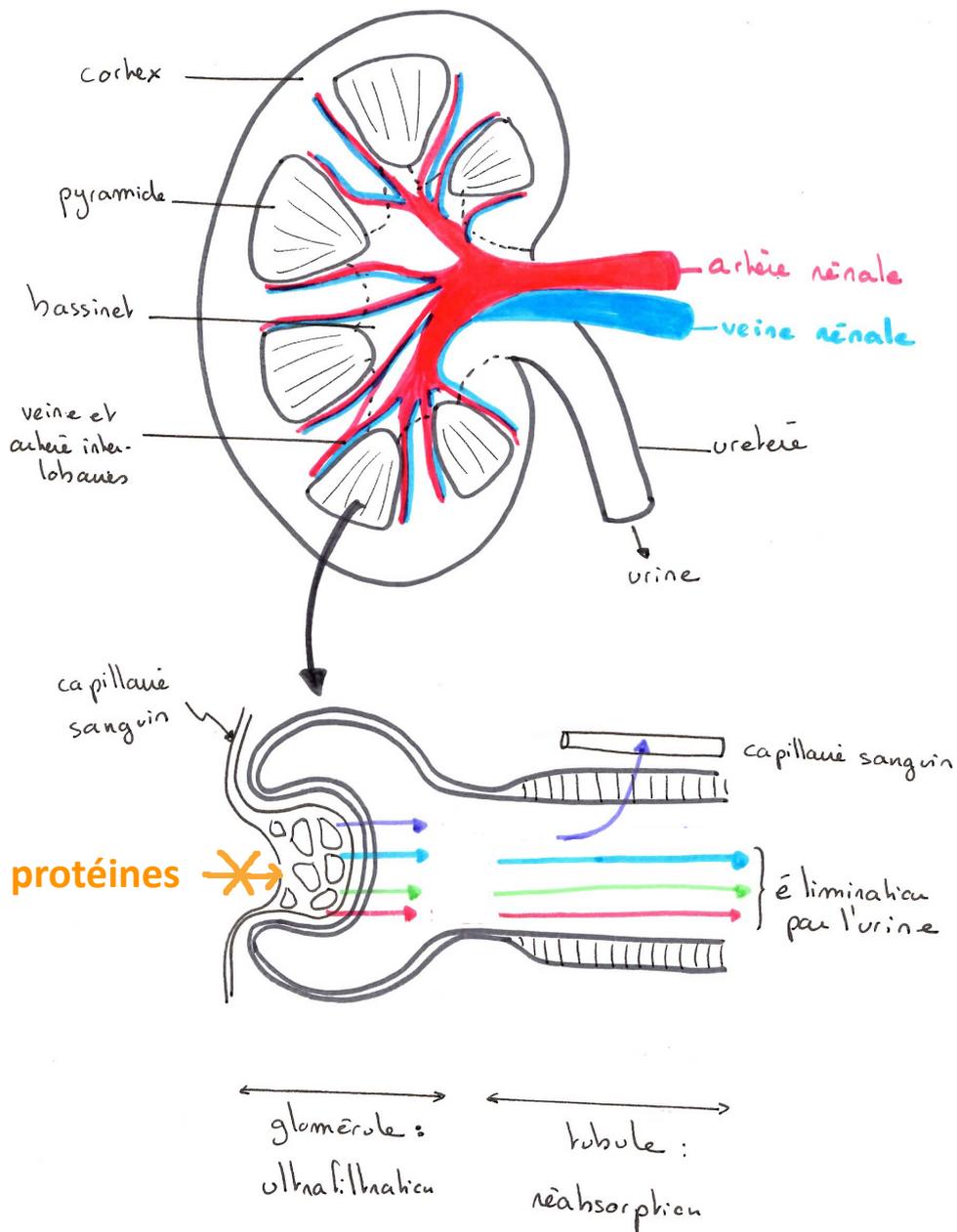


Figure 18 : composition en quelques éléments essentiels du plasma et de l'urine dans le rein (in Segarra et al., Ellipse)

Constituants essentiels	Plasma	Urine
protéines	67-75 g/L	0
glucose	2,2-5,6 mmol/L	0
Na+	136-144 mmol/L	8-40 mmol/L
K+	3,6-4,9 mmol/L	325 mmol/L
Cl-	99-107 mmol/L	20-80 mmol/L
Urée	3,6-8,9 mmol/L	179-293 mmol/L

Figure 19 : schéma bilan : fonctions de nutrition

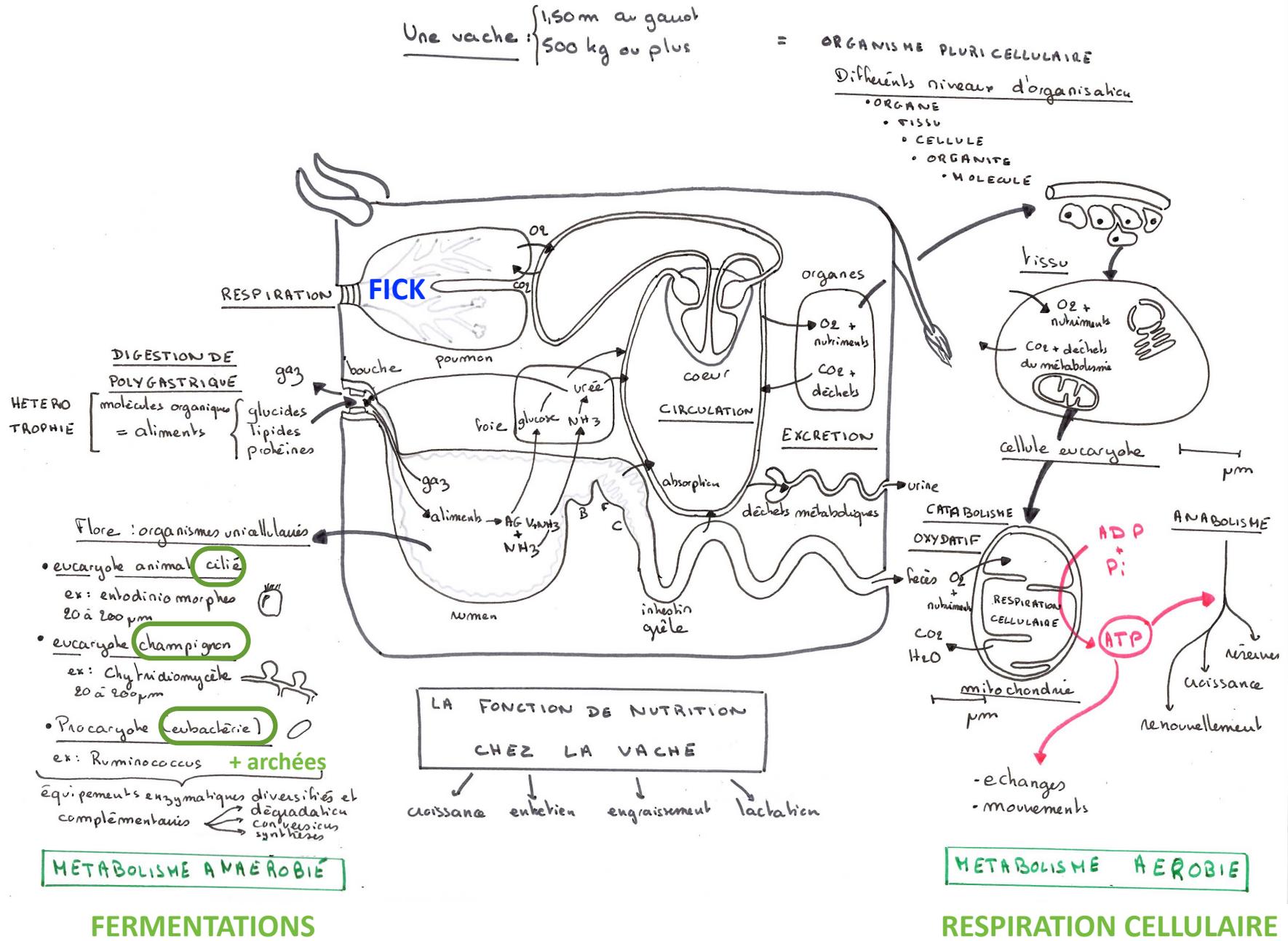
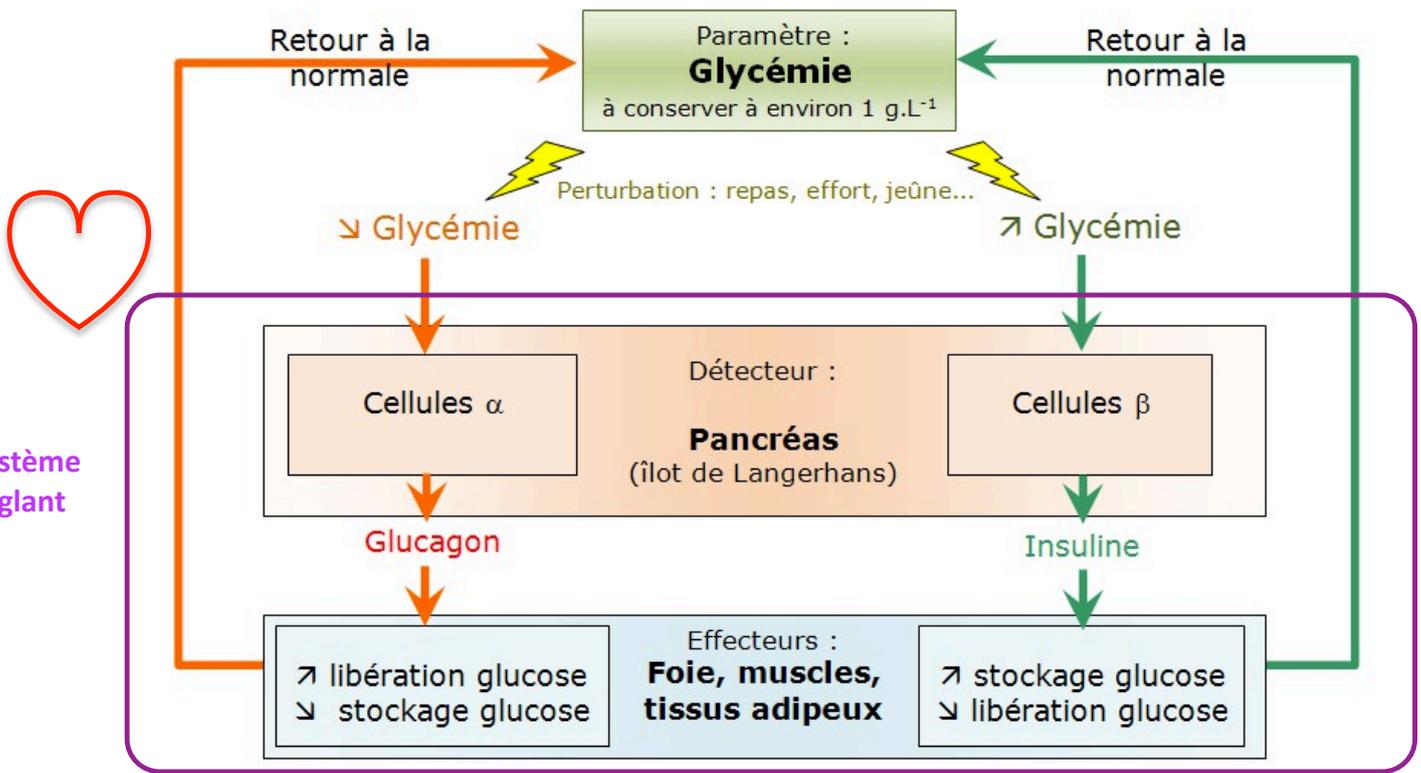
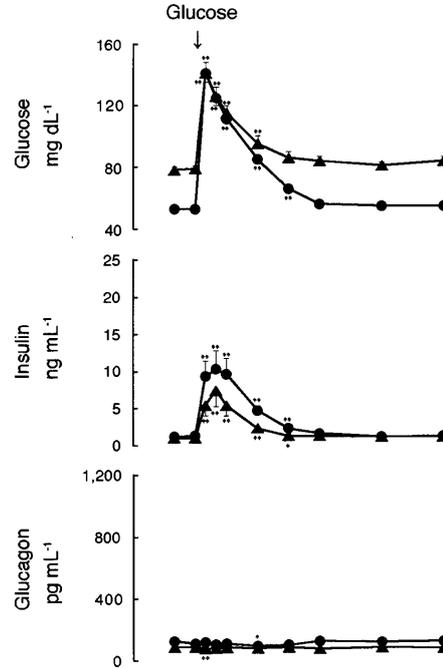


Figure 20 : régulation de la glycémie
(Sano et al., 1999)

On mesure les concentrations en glucose et en deux hormones synthétisées au niveau du **pancréas** : l'insuline et le glucagon. Différentes mesures sont réalisées au cours du temps : avant et après une injection en intra-veineuse de glucose (2,5ml/L).

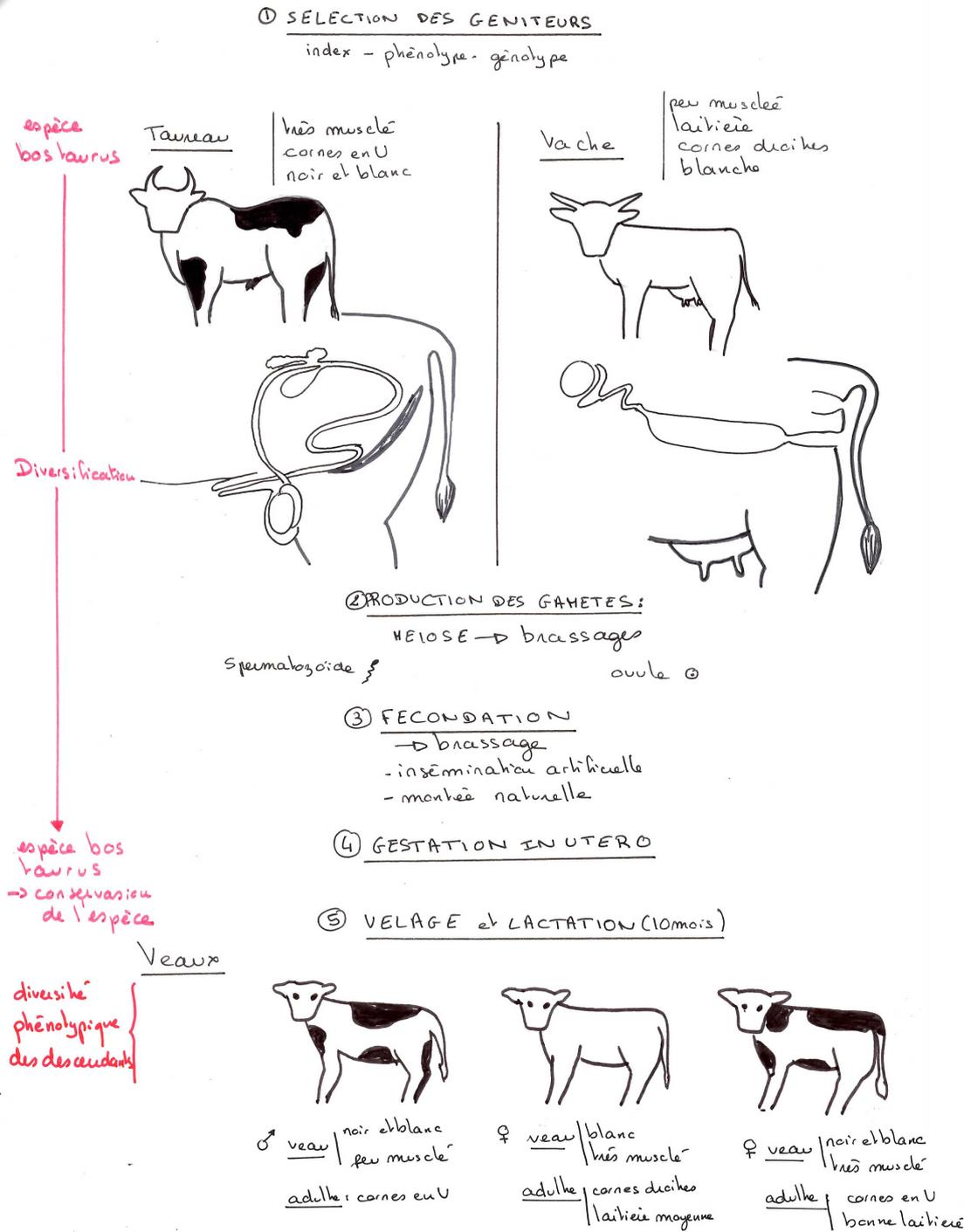
Que pouvez-vous conclure des résultats ?



<https://www.svt-biologiepremiere.bacdefrancais.net/>



Figure 21 : schéma bilan : fonction de reproduction



Bilan : cycle de vie
chez la vache

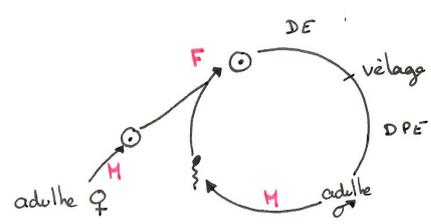
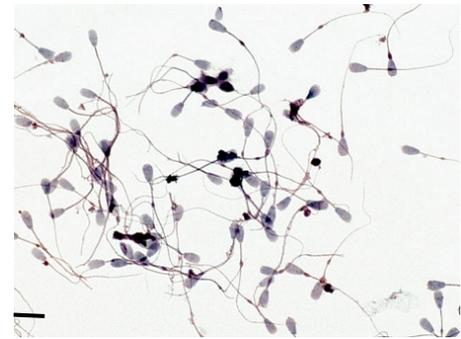
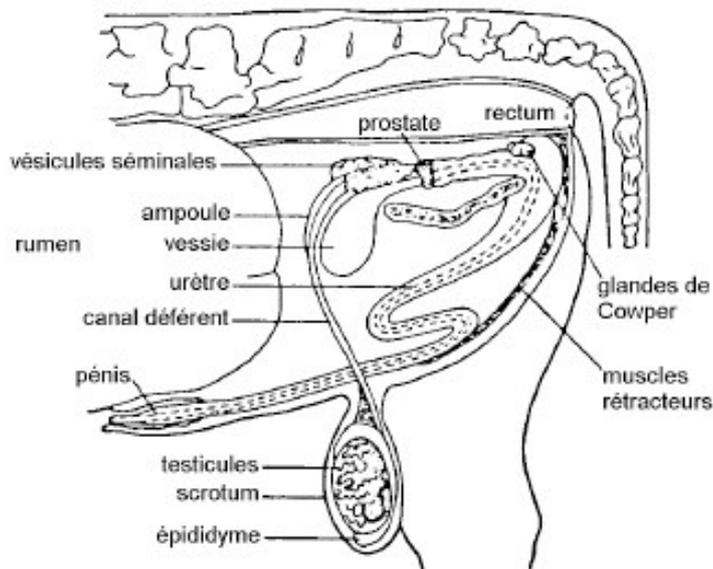


Figure 22a : appareil reproducteur du taureau

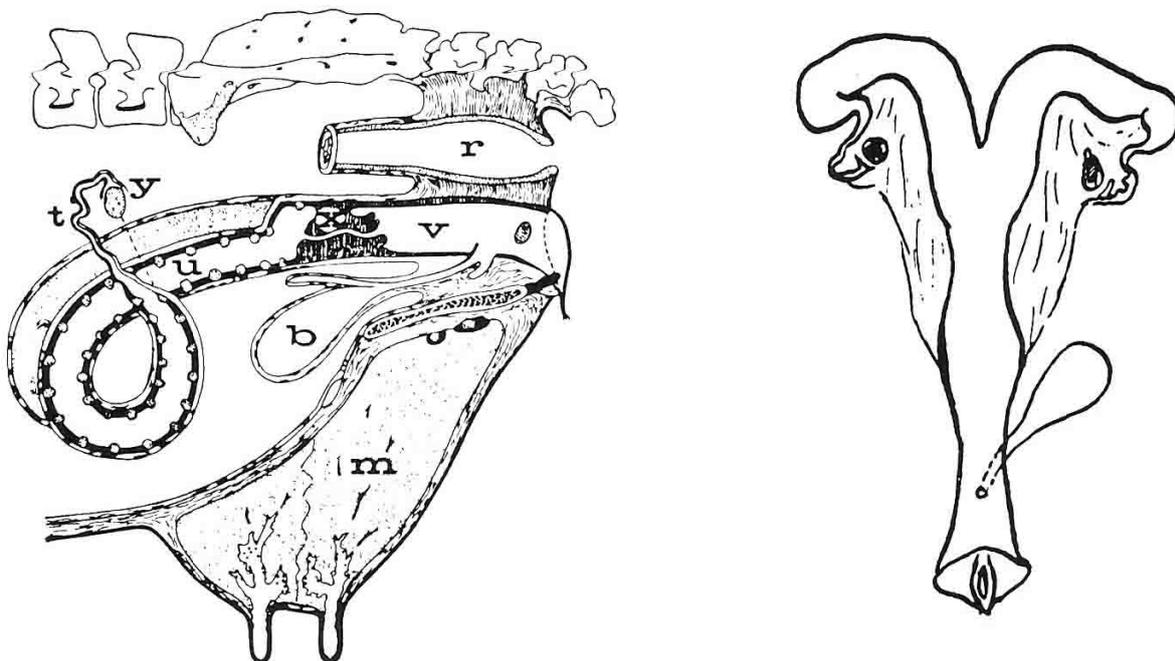
(<http://www.omafra.gov.on.ca>)



Spermatozoïdes de taureau
(la barre représente 20µm)

Figure 22b : appareil reproducteur de la vache

(in Anatomy and physiology of farms animals, Frandson *et al.* Wiley-Blackwell)

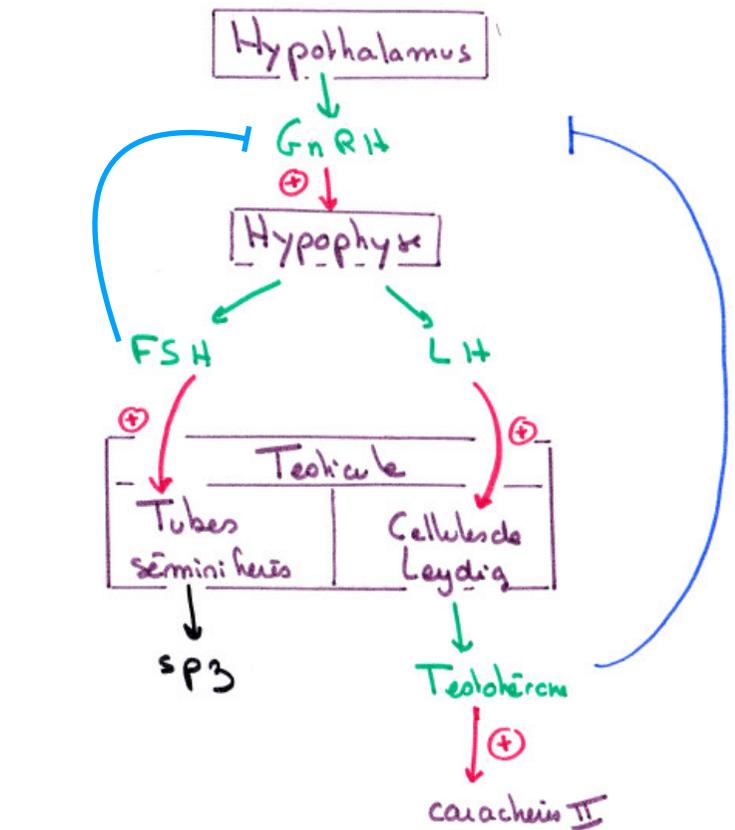
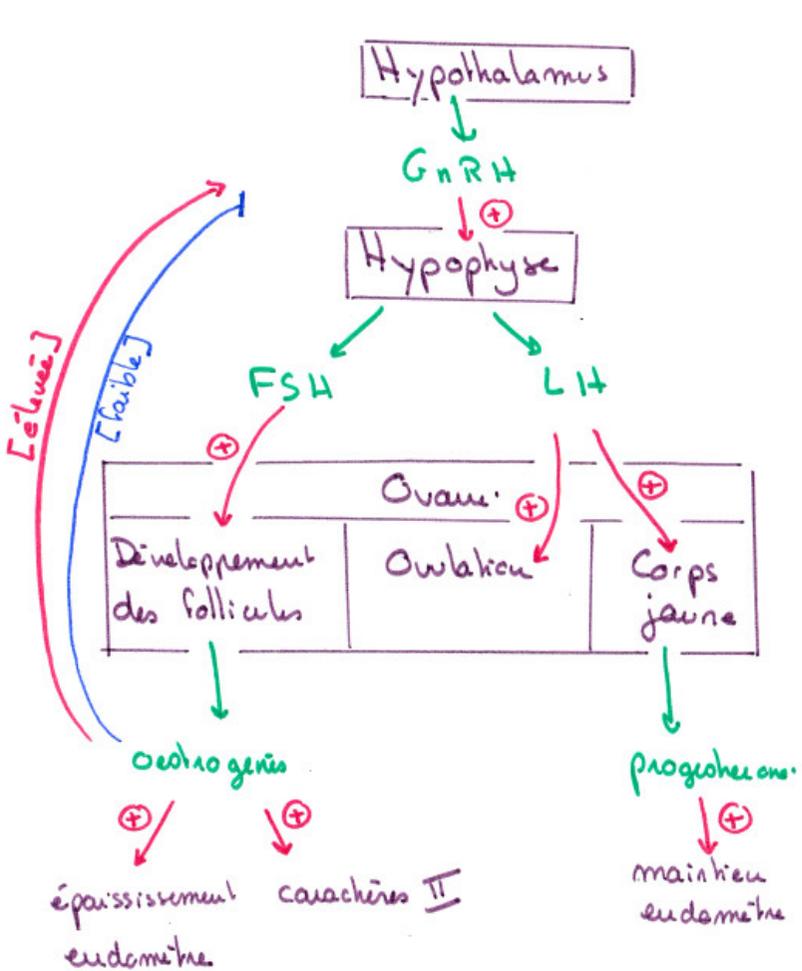


Appareil génital

v : vagin
u : utérus
t : trompe
y : ovaire

m : glande mammaire
b : vessie
r : rectum

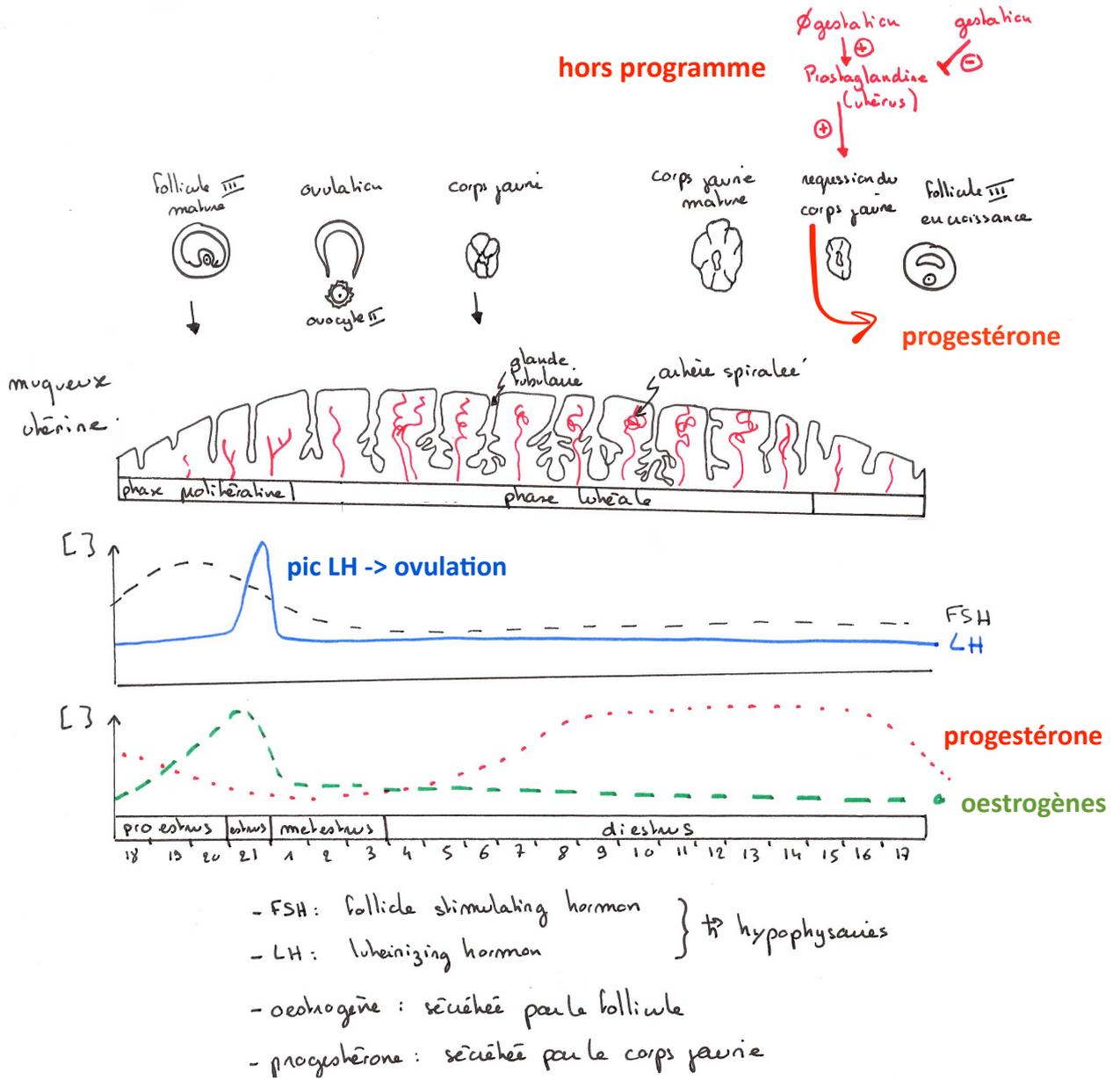
Figure 23 : contrôle hormonal de la gamétogenèse



→ secretion d'hormone
 (+) → active
 ⊣ → inhibe



Figure 24 : cycle sexuel de la vache



Evolution des follicules (<http://unf3s.cerimes.fr/>) :

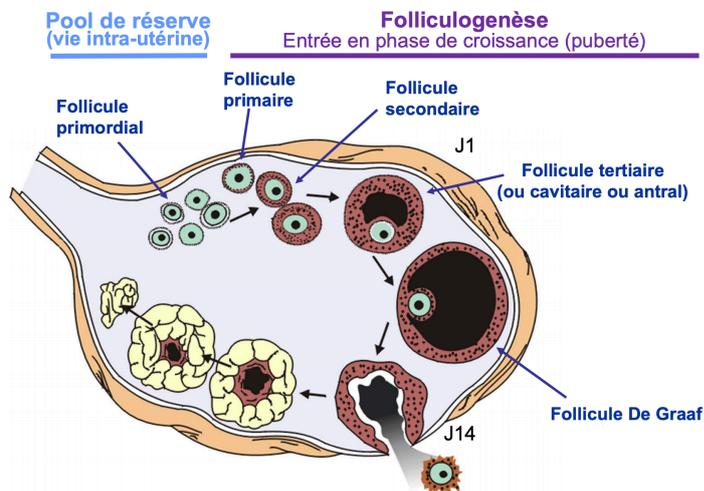
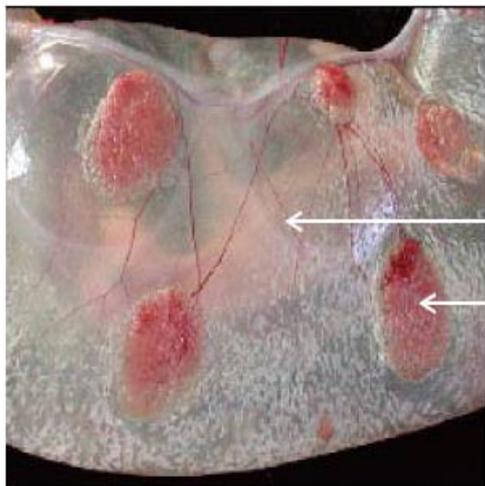
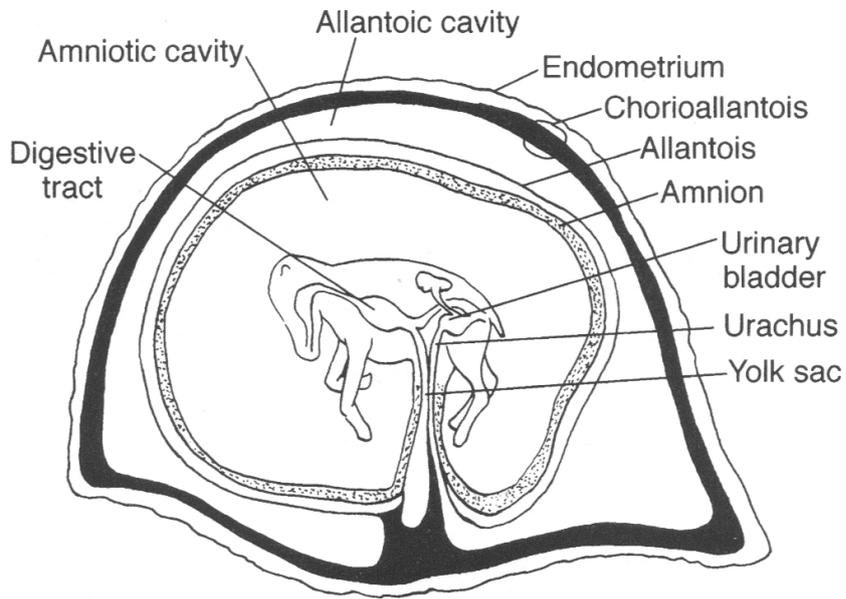
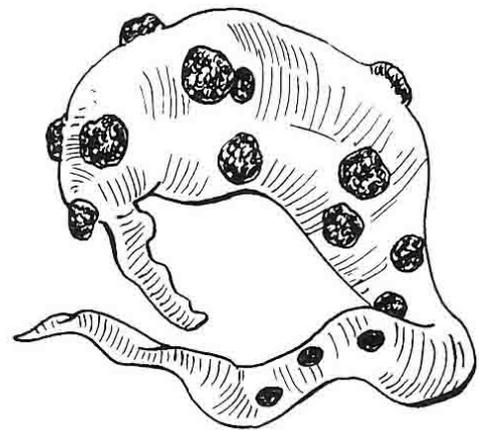


Figure 25 : placenta de la vache gravide
 (in Anatomy and physiology of farms animals, Frandson *et al.* Wiley-Blackwell)
 (in Segarra *et al.*, Ellipse)

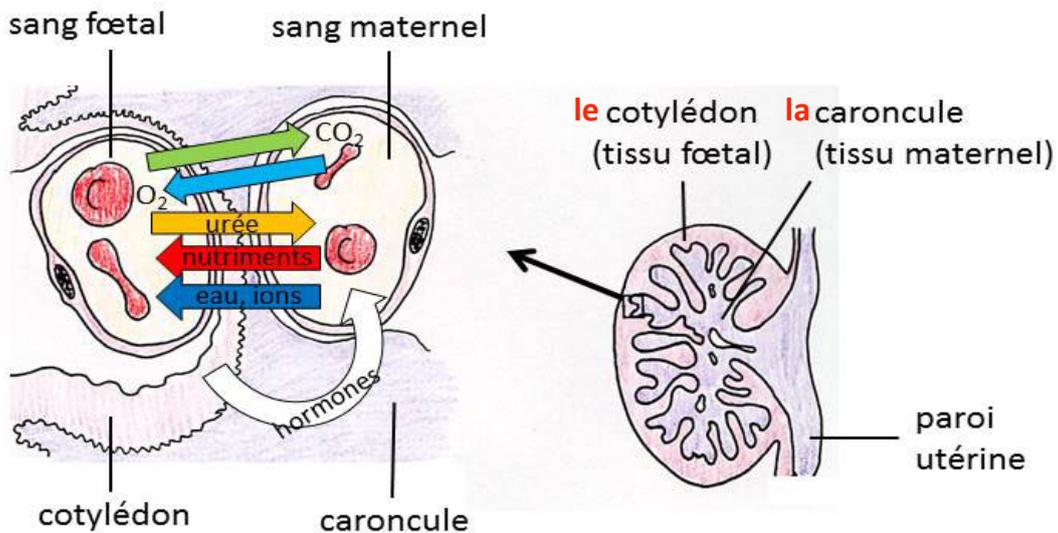
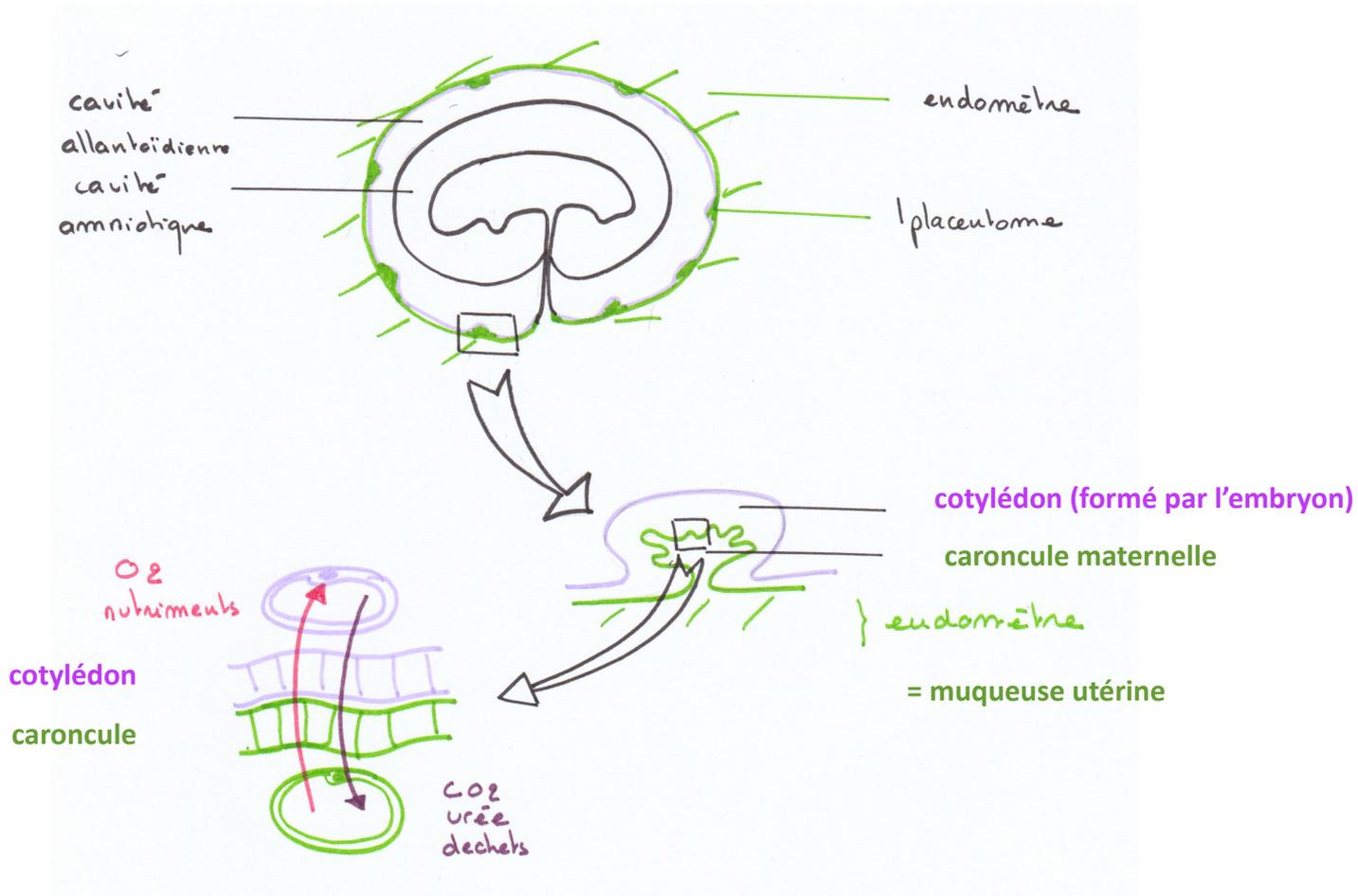


foetus
 placentome



Placenta cotylédonnaire de vache (vu de l'extérieur de l'utérus!).

Placenta cotylédonnaire et fœtus de vache visible par transparence, au 65^e jour de gestation.



L'allantoïde est un dérivé de l'endoderme qui permet les échanges avec l'organisme maternel.
 La cavité amniotique, remplie de liquide, a un rôle de protection de l'embryon en formant autour de lui un coussin hydraulique qui le protège des chocs.
 Les cotylédons sont la partie d'origine embryonnaire des placentomes.

Figure 26 : position du fœtus en fin de gestation
(in Segarra *et al.*, Ellipse)

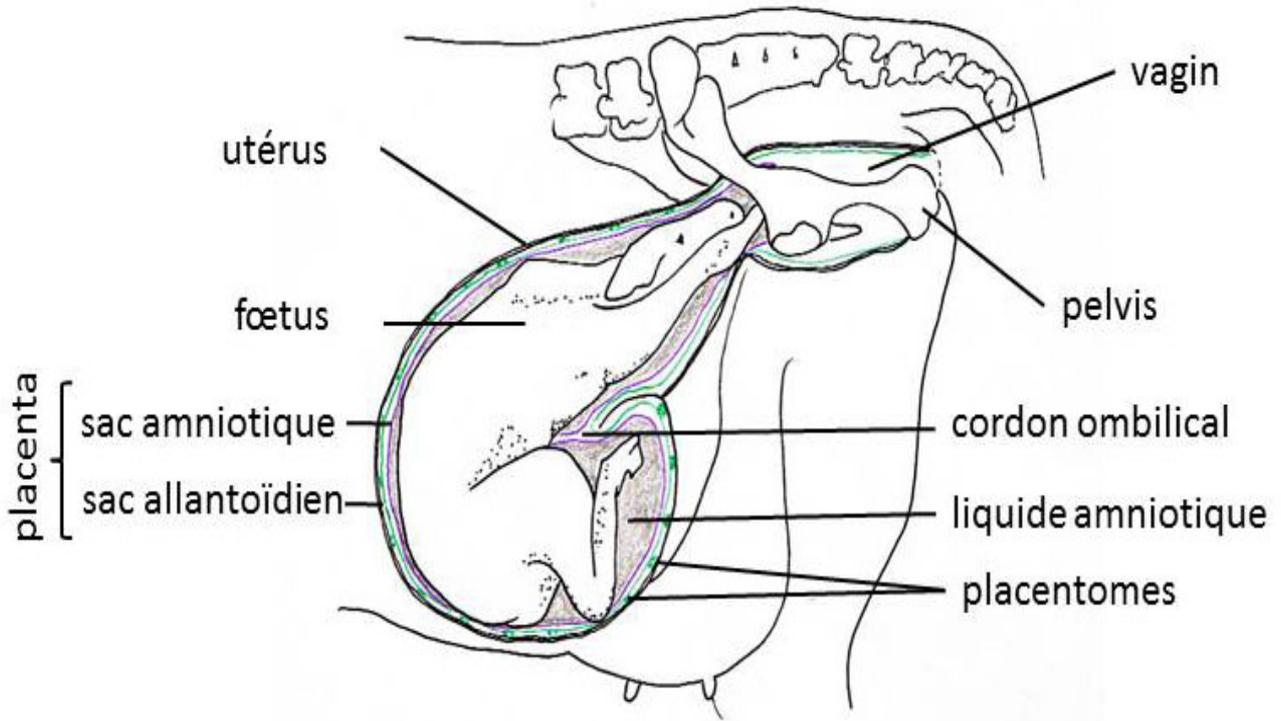


Figure 27 : organisation fonctionnelle de la glande mammaire
(in Segarra et al., Ellipse)

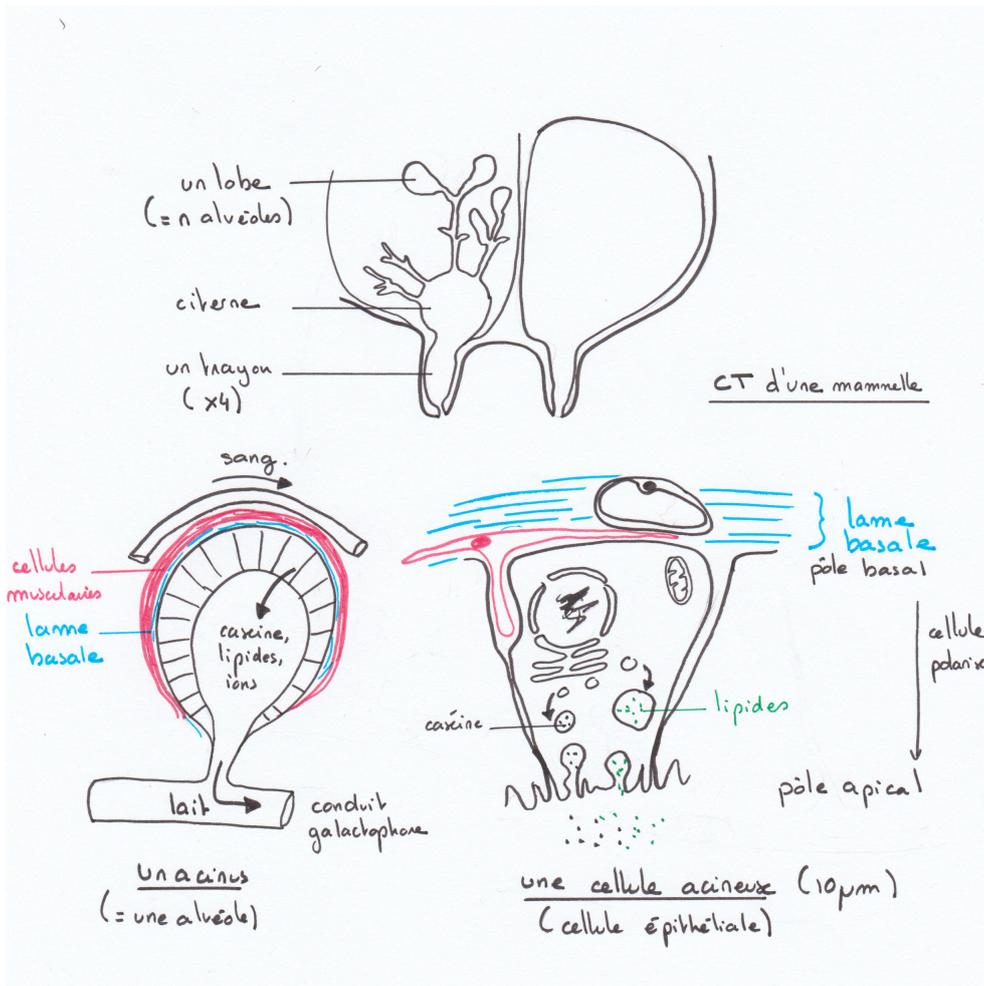
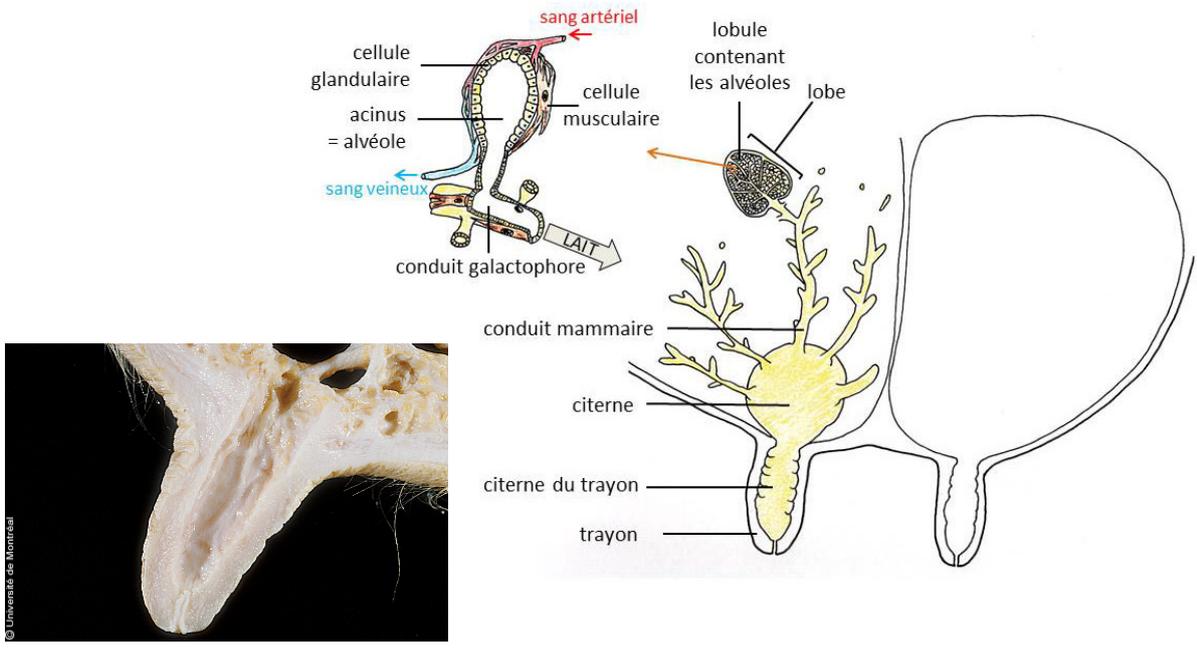


Figure 28 : composition du lait de vache et objectifs de qualité

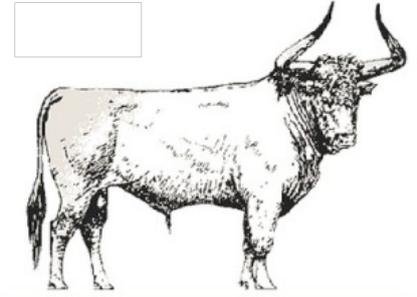
Composants	g/L
Eau	905
Matière grasse , dont :	36-40
Glycérides 98%	36
Phospholipides	0,4
stérois	0,1
Matières azotées , dont :	33
Caséines	27
Protéines solubles (globulines, albumines...)	5
Substances azotées non protéiques	1
Lactose	48-50
Sels minéraux , dont :	7-8
Calcium (associé aux caséines)	1,25
Phosphore	1
Potassium	1,5
Sodium	0,5
Magnésium	0,1
Chlore	1

Remarque : la quantité totale de protéines (TP) est un critère fondamental pour la fabrication de produits laitiers. Les laits à trop faible TP caillent mal.

Critères	Objectifs
Taux de MG (taux butyreux)	38g/L
Taux de protéines (TP)	>32g/L
Germes totaux	50 000 à 100 000 germes /mL
Cellules	<200 000 à 300 000/mL
Germes pathogènes	Absence totale pour Listéria et Salmonelles. Les staphylocoques peuvent être tolérés s'ils ne dépassent pas un certain seuil.

Figure 29 : Sélection de caractères et domestication : une pratique ancienne A titre de document

Les données d'archéozoologie et de génétique montrent que des bovins ont été domestiqués pour la 1^{ère} fois à partir de **l'aurochs, *Bos primigenius bojanus* au Proche-Orient** (il y a environ 8 à 10.000 ans). L'analyse du génome mitochondrial suggère que tous les bovins européens descendent de ces premiers individus. Les aurochs sauvages ont subsisté en Europe jusqu'au Moyen Âge, le dernier individu ayant été tué en Pologne en 1627.



En Inde : *Bos primigenius indicus*, En Afrique : *Bos primigenius mauritanicus*

L'aurochs se distingue des bovins domestiques par une **taille et une masse supérieures** (1000 kg, 2 m au garrot pour les plus gros mâles), de grandes cornes en spirale, un dimorphisme sexuel marqué, des mamelles discrètes chez les femelles, et un caractère peureux, voire agressif s'il est attaqué.

A partir de captures dans la population sauvage, les individus porteurs de caractéristiques recherchées (production, mais aussi aptitude à la vie en captivité, docilité...) ont été retenus comme reproducteurs. Cet **élevage sélectif** a été mené pendant de très nombreuses générations : la domestication a été un long processus. Les bovins ont été élevés pour leur lait, viande et cuir, mais aussi pour leur fumier et comme bêtes de trait.

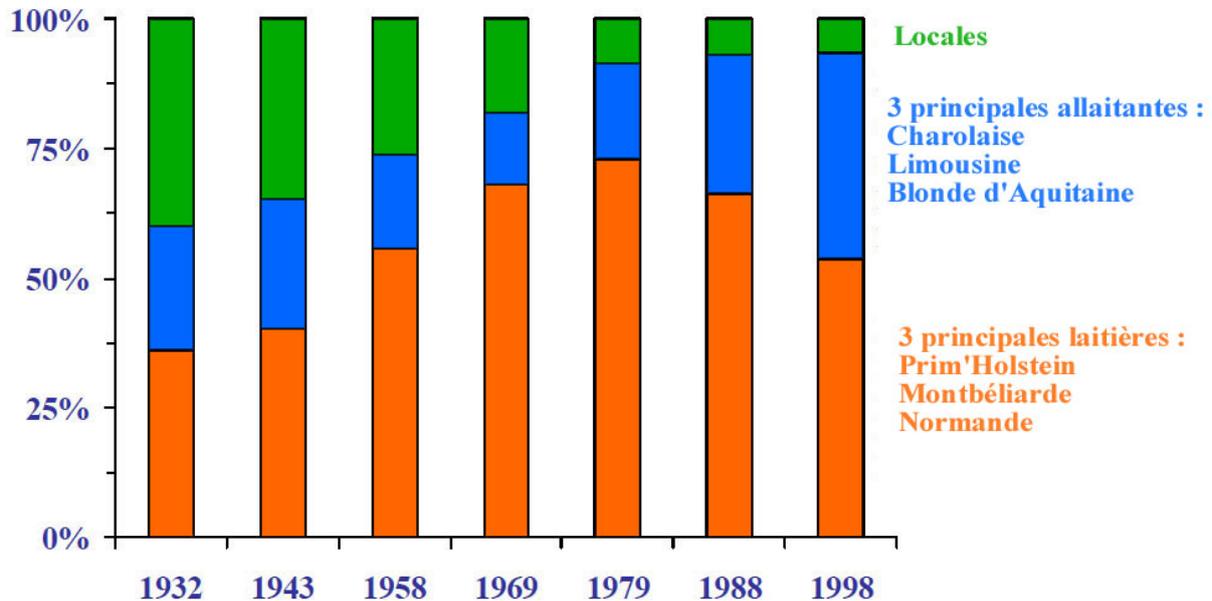
Les variations observables parmi les **800 races de bovins d'élevage actuels** sont bien plus grandes que celles qui existaient chez l'espèce sauvage ancestrale. Les principaux moteurs de cette diversification sont l'expansion démographique permise par l'association avec l'homme, la sélection par l'homme des individus présentant une nouveauté phénotypique due aux mutations, et la diversité des modes d'utilisation des bovins.

Dans les années 1920, les frères Lutz et Heinz Heck ont entrepris de « **reconstituer** » **l'aurochs**. L'expérience a été menée dans les parcs zoologiques de Berlin et Munich. Ils ont ainsi réalisé des croisements entre des races bovines présentant des caractères phénotypiques primitifs (forme des cornes, couleur de la robe). En moins d'une quinzaine d'année, ils ont obtenu des individus, désignés sous le nom d'aurochs dits reconstitués (Heck cattle en anglais), présentant des ressemblances avec l'auroch sauvage.

Néanmoins, les individus sont plus petits, avec des jambes plus courtes par rapport au corps, des cornes parfois plus courtes, et ils présentent une plus grande variabilité que les individus de l'espèce primitive. Ces ressemblances phénotypiques ne garantissent bien sûr pas une similarité génotypique avec l'auroch sauvage.

Ce nouvel aurochs a été inscrit au catalogue des races bovines françaises en 1997 sous le nom officiel **d'aurochs-reconstitué**. La race introduite en France en 1979, y compte quelques centaines d'individus, mais est en plein essor avec un ou deux nouveaux élevages par an. Très rustique, apte à vivre toute l'année dehors par tous les climats, elle permet de valoriser des milieux difficiles dans le cadre d'une agriculture respectueuse de l'environnement.

Figure 30a : évolution des races bovines en France



Exemple de sélection : l'amélioration de la production laitière (race **Prim'Holstein**)

La **vache Pie noir** (le terme pie qualifie une robe présentant ce que l'on appelle des panachures, c'est-à-dire des plages blanches) est une race originaire du nord-ouest de l'Europe, en particulier en Frise (Pays-Bas), Jutland (Danemark) et Holstein (Allemagne). Dès le XV^e siècle le bétail de ces régions était connu pour sa production laitière. La Pie noir est caractérisée par une grande taille, un squelette plutôt fin, des cornes courtes, une très bonne aptitude laitière et une bonne aptitude à l'engraissement.

Au XVIII^e siècle, les colons hollandais importent la Pie noir sur le continent américain. A partir de la fin du XIX^e siècle, et surtout après la 2nde guerre mondiale, une sélection des qualités laitières est réalisée par les éleveurs américains, pratiquement sans apport de nouveaux individus, donnant naissance à la race laitière **Holstein** sélectionnée sur les critères de forte production laitière et de qualités de mamelle.

En **Europe**, la sélection de la race Pie noir, rebaptisée Française **Frisonne Pie noir** (FFPN) en 1952, réalisée à la même époque, portait sur d'autres critères tels que l'amélioration de la teneur du lait en matière grasse (taux butyreux) et la morphologie.

En 1973, les producteurs français ont pris conscience que les vaches FFPN produisaient une quantité de lait beaucoup plus faible que les vaches **Holstein d'Amérique du Nord**. A partir de 1975, un programme d'insémination des meilleures vaches laitières FFPN par du sperme de taureau Holstein a été entrepris pour améliorer la production laitière. Ce programme d'amélioration a abouti à la création de la race **prim'Holstein en 1990**.

En 2010, plus de 60% du cheptel laitier français était constitué de vaches Prim'Holstein.

		race	Production de lait (en kg/an)	Taux butyreux (en ‰)
Avant le programme de sélection	1973	Française Frisonne Pie noir	4000	37
		Holstein Amérique du Nord	6476	35,3
Depuis le début du programme de sélection	1980	Française Frisonne Pie noir	4866	38,9
	1986	Française Frisonne Pie noir	6637	39,1
	2007	Prim'Holstein	8823	39,5
	2012	Prim'Holstein	9411	39,7

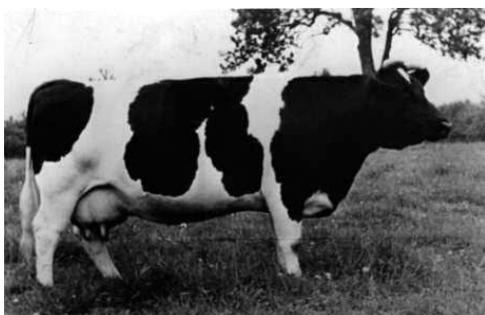
Evolution de la production laitière et du taux de matières grasses du lait depuis le début du programme de sélection

Alors qu'une vache produisait au début du XX^e siècle juste assez de lait pour nourrir un veau, soit un maximum de 2 à 10 L/jour, les vaches **Prim'Holstein** produisent aujourd'hui de façon courante **30 à 40 L/jour**.

Néanmoins, l'utilisation massive d'un faible nombre de taureaux reproducteurs au cours de la sélection a fortement augmenté la consanguinité dans la race. Ainsi, en 2001, environ 107.000 inséminations ont été réalisées avec le sperme du taureau vedette Jocko Besn. 13,5 % des inséminations étaient réalisées avec le sperme de seulement 5 taureaux.

La consanguinité a augmenté la fréquence des tares héréditaires.

La sélection génomique pratiquée depuis 2001 permet d'identifier les porteurs de mutations, et de diversifier les taureaux reproducteurs. Ainsi en 2011, le sperme du taureau vedette Stol Joc, fils de Jocko Besn, n'a été utilisé que pour environ 38.000 inséminations, et les 5 taureaux les plus utilisés n'ont assuré que 7,8 % des inséminations.



Vache Frisonne, années 1950



Vache Prim'Holstein, 2013

Figure 30b : évolution de la production laitière en France entre les années 1980 et 2000

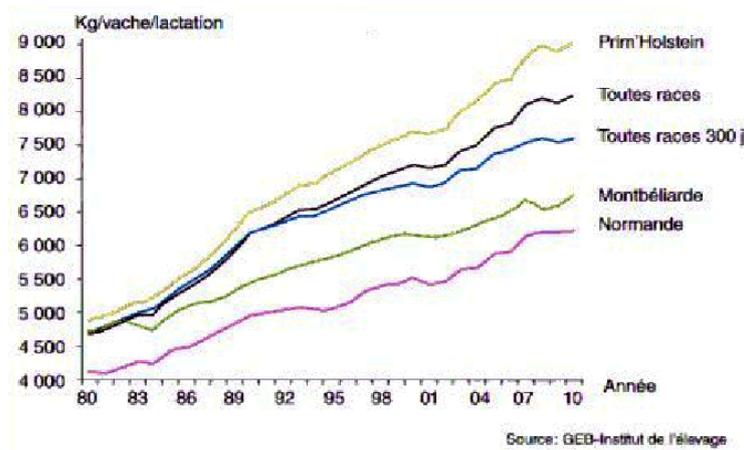


Figure 31 : un exemple de parasitisme, le BCoV (bovine coronavirus)
(in Clark, Br. vet. J. 1993, in Ridremont Bull. Acad. Vét. France 2021)

Les coronaviruses bovines, dues au coronavirus bovin (BCoV), sont à l'origine de troubles **digestifs** et respiratoires chez les bovins domestiques et sauvages. Elles sont répandues à travers le monde ; leur incidence est très élevée dans les élevages de bovins laitiers et bovins à viande, et les **pertes économiques** qu'elles entraînent peuvent être considérables. Si le rôle du coronavirus est reconnu dans les infections digestives (du veau à l'adulte), l'implication du virus comme agent pathogène majeur dans le complexe des **maladies respiratoires des jeunes bovins** est encore sujet à discussion, bien que son incidence se soit accrue en élevage durant ces dernières années.

Le virus de 120nm est formé d'une **enveloppe** (bicouche lipidique) portant des glycoprotéines à sa surface et contenant l'information génétique sous forme **d'ARN**.

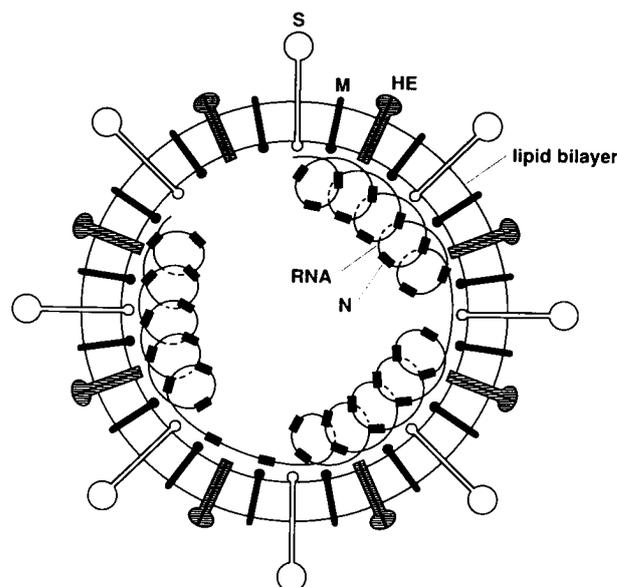


Fig. 1. A diagrammatic model of BCoV structure. The viral envelope consists of a lipid bilayer derived from intracellular membranes of the host cell and three major virus proteins: M, S and HE. The M gp spans the viral envelope and interacts with the nucleocapsid, whilst the S and HE gps project from the viral envelope. The helical nucleocapsid lies internal to the envelope and consists of a single strand of non-segmented RNA and many molecules of the viral N protein.

Figure 32 : Différents organes sensoriels

Organe sensoriel	Fonction	Récepteur sensoriel	Stimulus	Particularités chez la vache
Œil	Vision	Photorécepteurs	Lumière	Large champ de vision, vision binoculaire restreinte, myopie, ajustement lent aux variations d'intensité
Oreille	Audition	Mécanorécepteurs	Vibrations sonores	Pavillon mobile. Perception des hautes fréquences, jusque 35.000 Hz (20.000 Hz chez l'homme). Fréquence de perception optimale : 8000 Hz qui correspond à la fréquence des cris d'alarme, peut être entendue dès une intensité de 11 décibels.
	Equilibration		Position de la tête	
Cavité nasale	Olfaction	Chimiorécepteurs	Substances chimiques en solution	Grande sensibilité aux odeurs. Communication olfactive entre les individus (phéromones)
Langue	Gustation	Chimiorécepteurs	Substances chimiques en solution	Sensibilité aux 4 goûts primaires (sucré, salé, amer, acide)
Tégument	Somesthésie : Toucher, pression Température Douleur	Mécanorécepteurs Thermorécepteurs Nocirécepteurs	Pression Variations de température	Récepteurs à la pression répartis dans tout l'organisme. Récepteurs tactiles au niveau de la peau, zones les plus sensibles : joues, encolure, attache de la queue, intérieur des cuisses, mamelle, vulve. Récepteurs à la douleur répartis dans tout l'organisme. Peu de signes extérieurs de souffrance (cela évite d'attirer l'attention d'un prédateur dans le cas des bovidés sauvages)

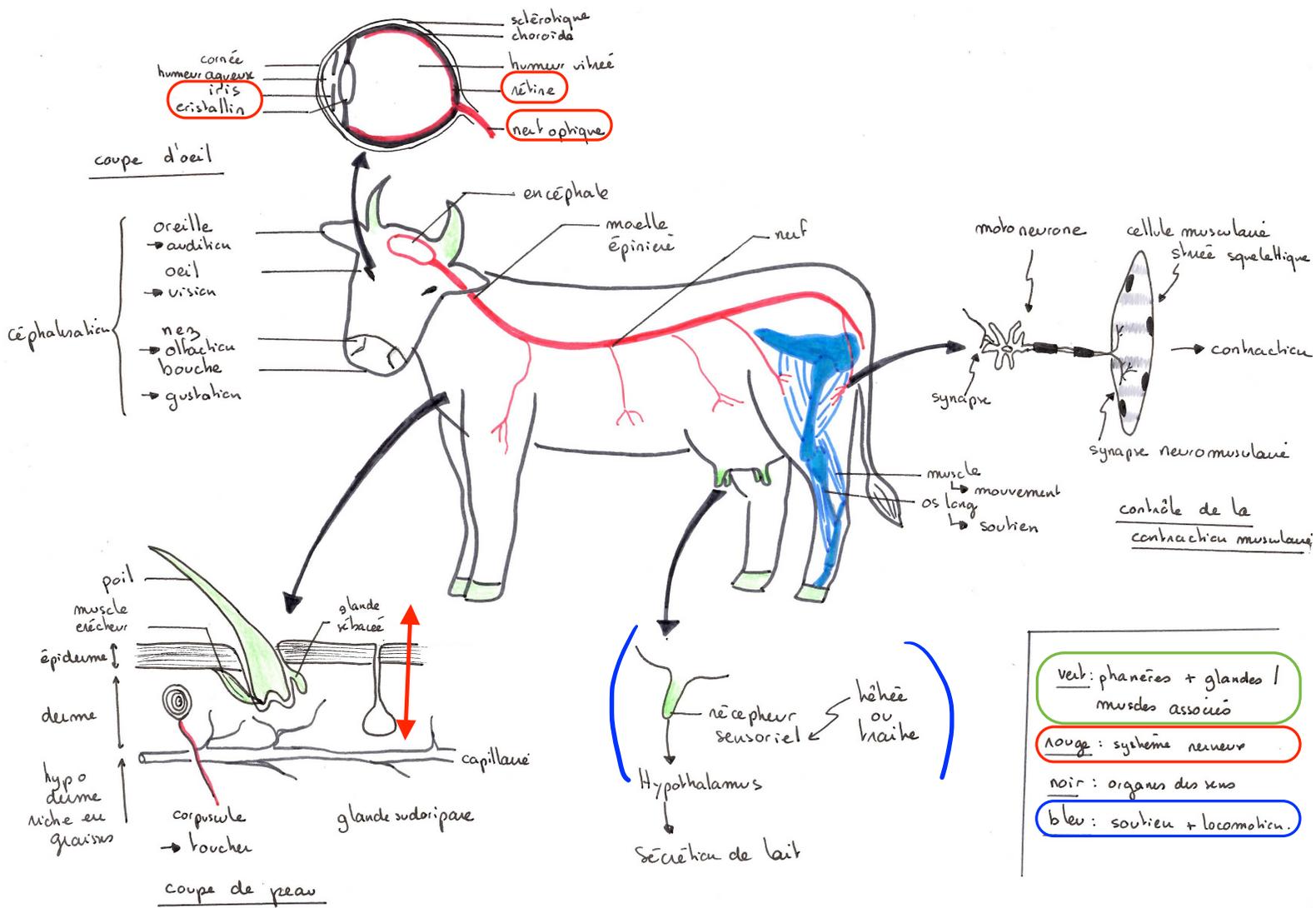


Figure 33 : schéma bilan : fonctions de relation

Figure 34 : champ visuel de la vache

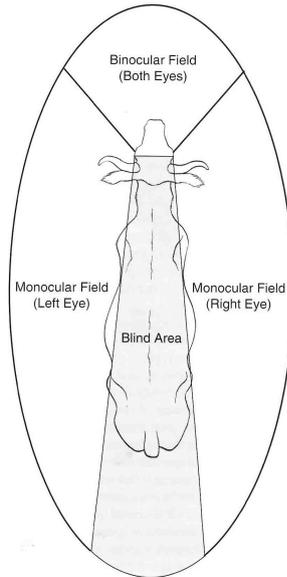


Figure 35 : organisation du squelette de la vache

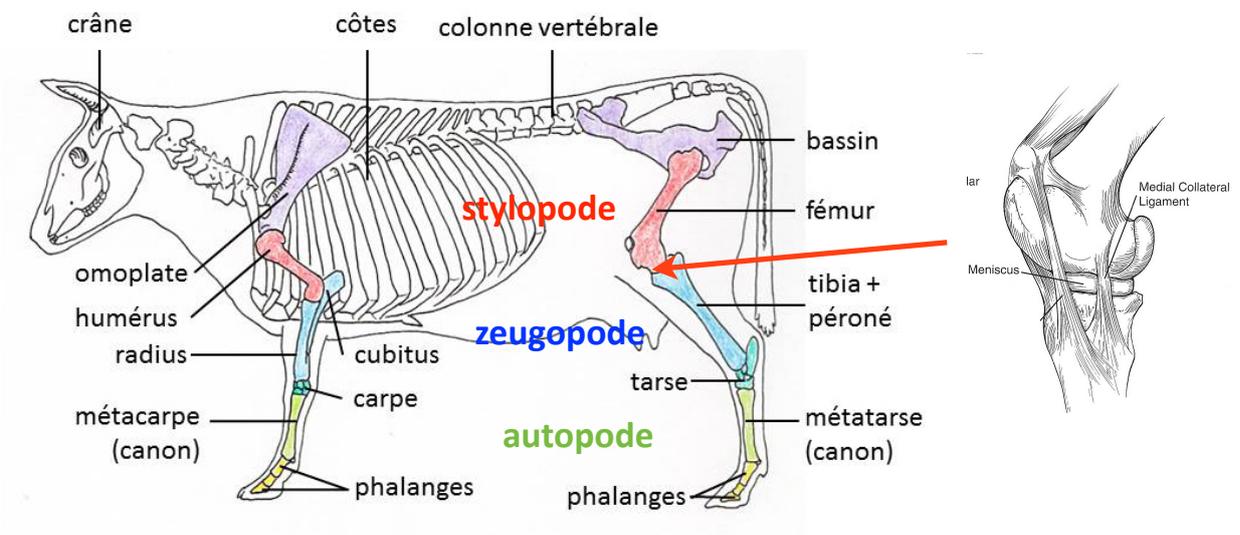


Figure 36 : La vache possède des membres chiridiens

	Membre antérieur		Membre postérieur	
	Type chiridien primitif	Caractères spécifiques à la vache	Type chiridien primitif	Caractères spécifiques à la vache
Ceinture	Ceinture scapulaire : clavicule, omoplate, coracoïde*	Clavicule absente	Ceinture pelvienne : pubis, ilion, ischion	
Stylopode	Bras : humérus		Cuisse : fémur	
Zeugopode	Avant-bras : cubitus, radius		Jambe : péroné (+ rotule), tibia	
Autopode	- Poignet : carpe (une dizaine d'os) - Paume de la main : métacarpes (5 os) - Doigts : phalanges (3 os pour chaque doigt, sauf pour le pouce : 2 os)	- Carpe : 6 os - Présence des seuls métacarpes III et IV, soudés en un os canon - Présence des seuls doigts III et IV : - Cétartiodactyle	- Cheville : tarse (une dizaine d'os) - Plante du pied : métatarses (5 os) - Doigts : phalanges (3 os pour chaque doigt, sauf pour le pouce : 2 os)	- Tarse : 5 os - Présence des seuls métatarses III et IV, soudés en un os canon - Présence des seuls doigts III et IV : Cétartiodactyle

Figure 37 : organisation du membre antérieur de la vache

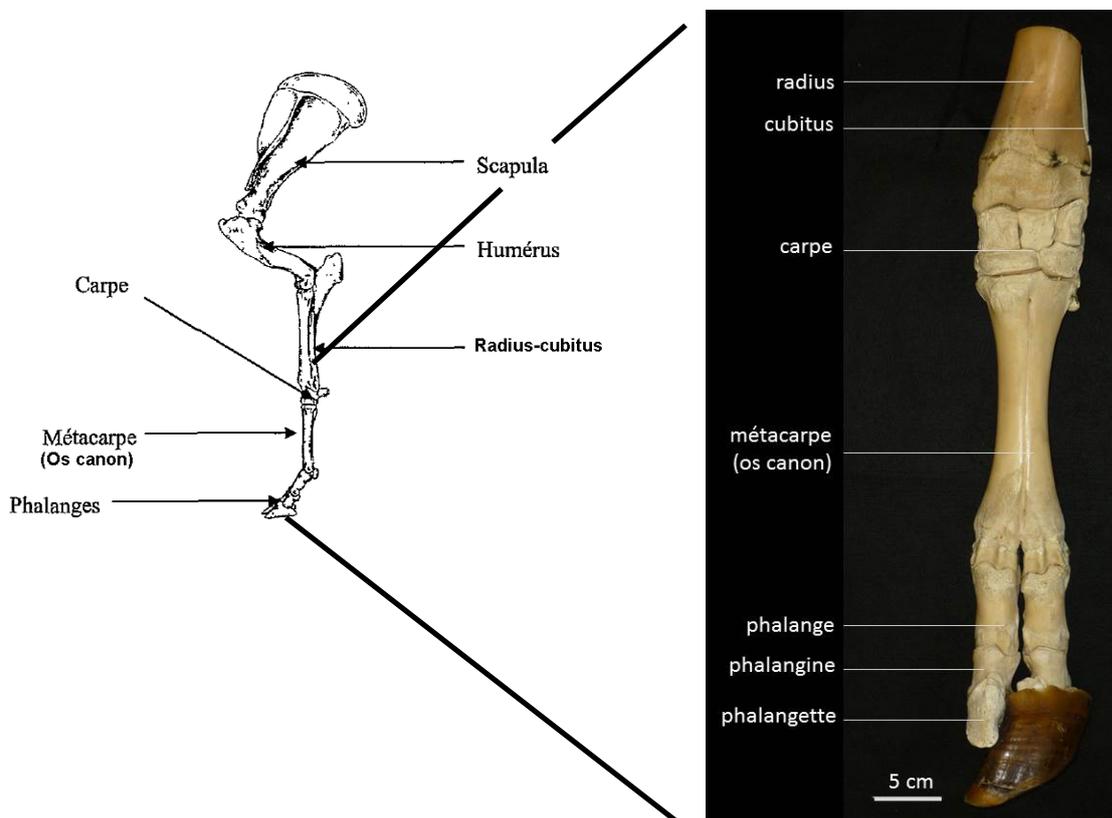


Figure 38 : muscles du membre postérieur
 (in Anatomy and physiology of farms animals, Frandson *et al.* Wiley-Blackwell)

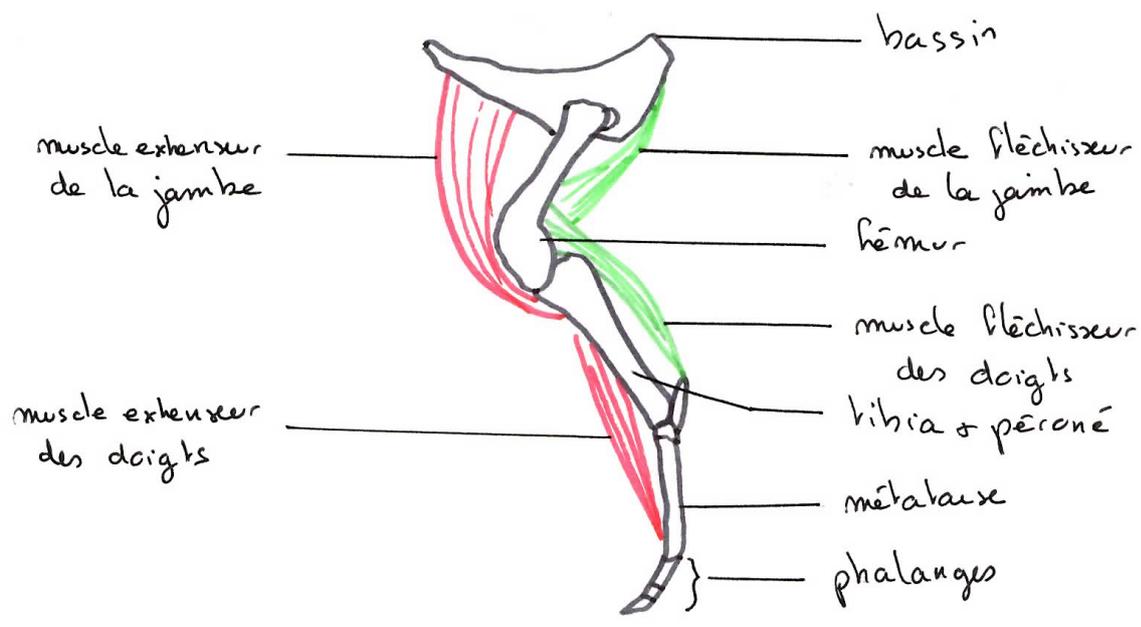
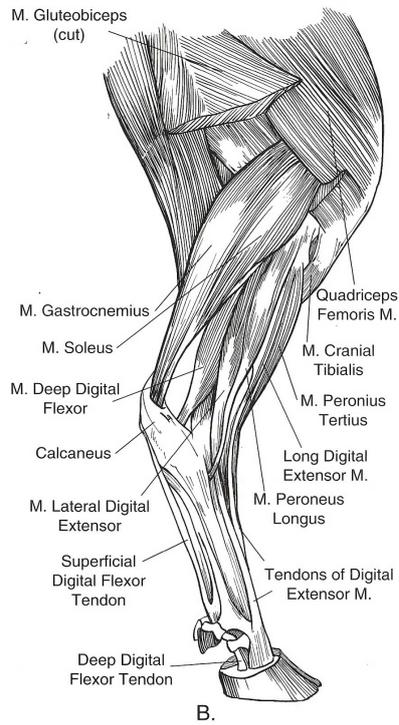


Figure 39 : squelette d'un membre antérieur de 3 mammifères

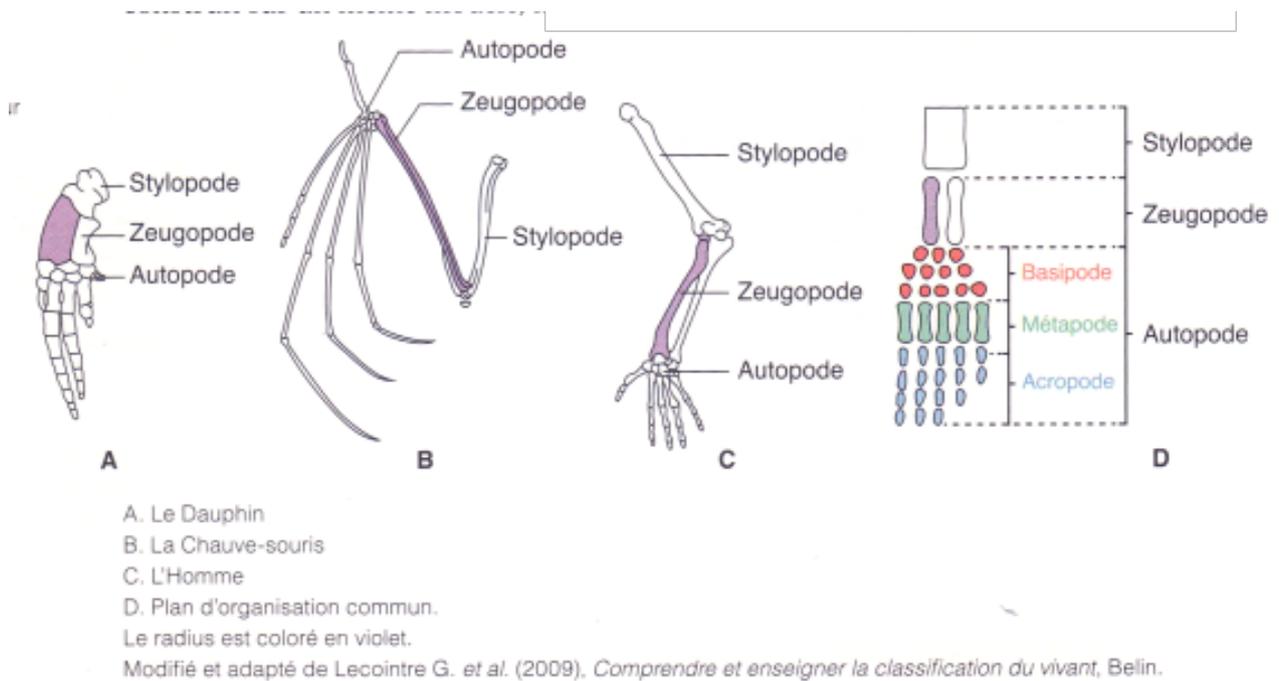
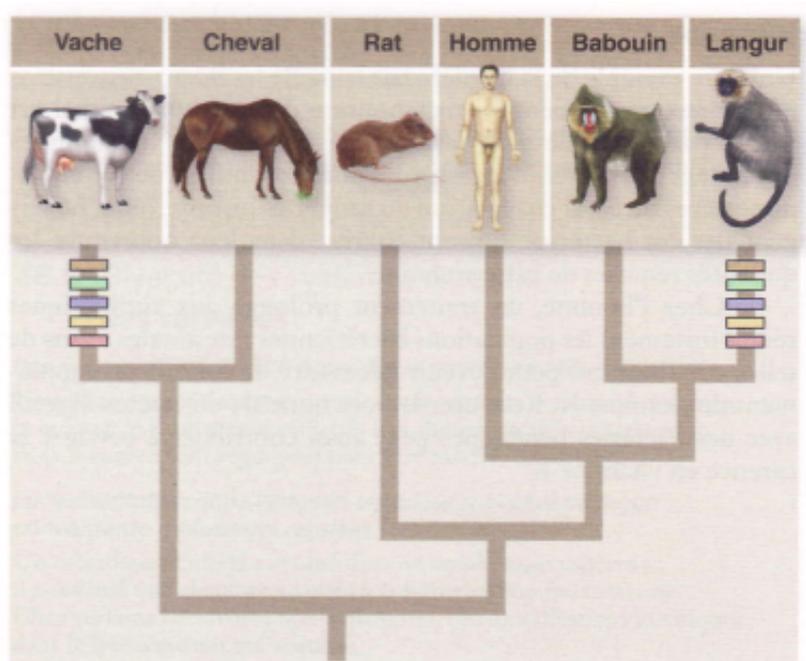


Figure 40 : illustration de la notion de convergence (Raven et al.,)



Évolution convergente de la structure du lysozyme chez les ruminants (représentés par la vache) et chez un mangeur de feuilles, le singe langur, *Presbytis entellus*. Cinq changements d'acides aminés identiques ont évolué indépendamment dans les deux groupes.

