

**UNIVERSITE AKLI MOHNAD OULHADJ DE BUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE
LA TERRE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

SUPPORT DU COURS

Master : Production et nutrition animale

**Physiologie de la digestion chez les animaux
d'élevage**



Dr. CHERIFI Zakia.

2019/2020

Préambule

Ce cours est destiné aux étudiants Master 1 en « production et nutrition animale », il est rédigé en se basant sur des livres et des articles qui ont traité l'anatomie et la physiologie digestive des animaux domestiques.

L'objectif est d'inculquer aux étudiants les notions de bases de la physiologie digestive des principaux animaux utilisés en élevage, dans la perspective d'aborder ultérieurement les cours liés à la nutrition et aux stratégies d'alimentation, visant la maîtrise des performances des animaux, leur santé et la qualité des productions animales.

Le polycopie traite en premier lieu l'anatomie et la morphologie fonctionnelle comparée des animaux polygastriques et monogastriques, puis les fonctions digestives des différents segments de tube digestif et ses glandes annexes, la digestion microbienne et son importance, la digestion chimiques et enfin l'absorption des nutriments.

Néanmoins, ce cours n'est pas exhaustif, certains aspects et informations ont été traités durant le cours par des explications sur des planches, des séances diapos ou des projections vidéos.

Ce polycopié, en majorité, traite les aspects de la physiologie digestive essentiellement chez les ruminants. Les autres espèces, les plus utilisées en élevage, ont été abordés durant le cours sous forme d'exposés et débats. Notons que certaines notions ont été également complémentées et appuyées par les travaux pratiques et les sorties pédagogiques aux abattoirs.

Sommaire

Préambule	
Introduction	5
CHAPITRE I. Anatomie et morphologie fonctionnelle comparées de l'appareil digestif des animaux d'élevage	6
I.1. La bouche et les dents.....	6
I.2. L'estomac	7
I.2.1. L'estomac des ruminants	8
I.2.2. L'estomac des autres espèces	11
I.3. L'intestin	12
CHAPITRE II. Le comportement alimentaire	15
II.1. Définition.....	15
II.2. Méthodes d'étude du comportement alimentaire (CA).....	15
II.3. Définitions des concepts faim, satiété et appétit	15
II.4. Facteurs influençant le comportement alimentaire.....	16
II.5. Régulation du comportement alimentaire.....	19
CHAPITRE III. Les étapes de la digestion	21
III-1. Digestion dans la cavité buccale	21
III.2. Digestion dans l'œsophage	24
III.3. La digestion dans le rumen/ réseau	24
III-3-1- La dégradation mécanique.....	24
III.3.2. La dégradation biologique des aliments	28
III.4. La digestion dans le feuillet	30
III.5- Digestion dans la caillette (digestion chimique).....	30
III.6- La digestion dans l'intestin grêle (digestion chimique).....	31
III.7. Digestion dans le gros intestin	31

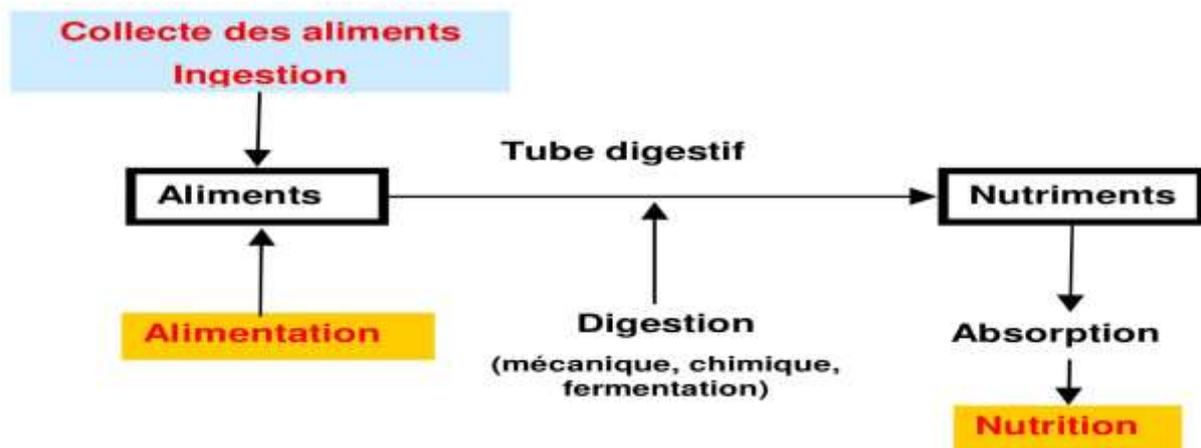
CHAPITRE IV. La dégradation des aliments	33
IV.1. Digestion des glucides	33
IV.2. Digestion des matières azotées	36
IV.3. Digestion des lipides	37
IV.4. Les éléments minéraux et la digestion microbienne au niveau du rumen-réseau.....	39
CHAPITRE V. Absorption et l'utilisation des produits de la digestion	41
V.1. L'absorption	41
V.2. Utilisation métabolique des nutriments.....	41
V.2.1. Les nutriments énergétiques.....	42
V.2.2. Les nutriments plastiques.....	42
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

L'alimentation : est la récupération dans le milieu extérieur de molécules organiques et minérales nécessaires à la synthèse des propres molécules de l'animal pour se maintenir en vie et croître. Cela implique le passage du milieu extérieur vers le milieu intérieur et une redistribution dans l'organisme par :

- La réduction de l'aliment en molécules qui s'effectue dans le tube digestif (TD) = **DIGESTION** (après Ingestion)
- Le passage du milieu extracellulaire au milieu intérieur = **ABSORPTION**
- La récupération des molécules par les cellules de l'organisme = **ASSIMILATION**

La digestion a pour objet principal la transformation des aliments ingérés (complexe) en produits de composition plus simple : **les nutriments** seront absorbés par les muqueuses digestives.



Elle s'effectue au niveau du **tube digestif** (commence à la bouche, finit à l'anus), au niveau des différents segments du tractus digestif, correspondant aux différents organes spécialisés dans un processus de digestion. Il est associé à des glandes annexes (pancréas, foie, glandes salivaires).

La dégradation des aliments ingérés est réalisée par des processus :

- **Mécaniques** : broyage, ramollissement, brassage.
- **Chimiques** : sous l'action des diastases (enzymes digestives).
- **Biologiques** : sous l'action des fermentations microbiennes.

CHAPITRE I

Anatomie et morphologie fonctionnelle comparées de l'appareil digestif des animaux d'élevage

L'appareil digestif comprend :

- La bouche et les dents
- Le tube digestif avec ses 3 parties : œsophage, estomac, les intestins
- Les glandes annexes : pancréas et le foie

I-1- La bouche et les dents

La cavité buccale assure la préhension, le tri ainsi que la mastication des aliments.

a- Chez les bovins : La bouche présente trois particularités (figure 1):

► **Langue :** longue et très mobile, garnie d'une muqueuse sèche, permet la préhension des aliments.

► **Mufle :** épais et rigide non mobile

► **Mâchoires :** la mâchoire supérieure est caractérisée par la présence d'un bourrelet gingival (bourrelet cartilagineux, coussinet dentaire ou encore) et absence d'incisives supérieures. La mastication se fait par les molaires.

Présence de papilles linguales, empêchant le reflux du bol alimentaire grâce à leur pointe.

Les bovins fauche de l'herbe en touffe, ils attirent l'herbe d'un coup de langue, la pincent entre incisives et bourrelet, et l'arrachent d'un coup de tête. Ils ne peuvent pâturer l'herbe plus ras que 2 cm.

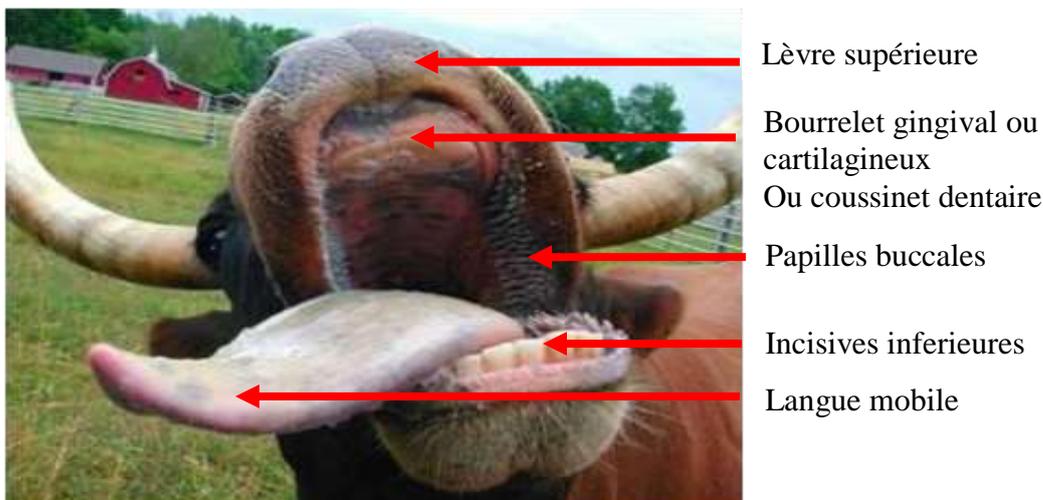
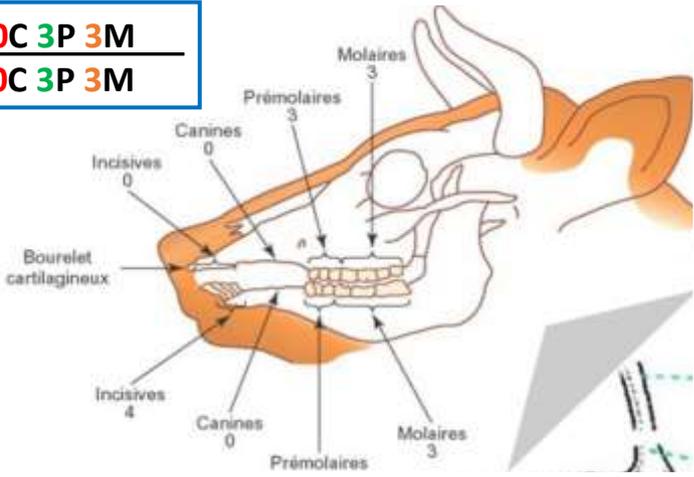


Figure 1: Cavité buccale chez la vache

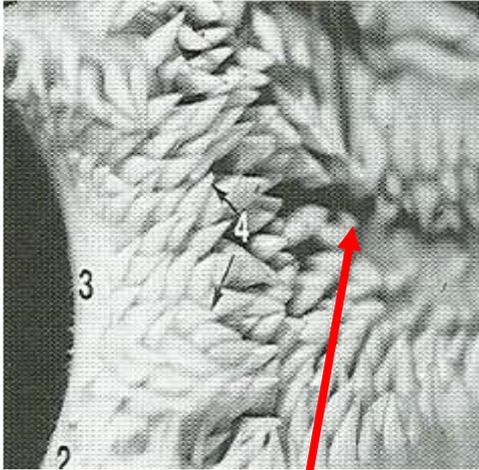
b-Chez les ovins et les caprins, ont la même dentition.

Leurs lèvres très fines et mobiles, et fondues, peuvent prendre les aliments en coupant l'herbe très ras

0I 0C 3P 3M
4I 0C 3P 3M



Formule dentaire des ruminants



Papilles linguales

c-Chez les chevaux, la dentition est plus complète (Tableau 1), comprenant des incisives sur chaque mâchoire, et des canines chez le mâle seulement.

Leurs lèvres sont très mobiles, sont préhensives. Les chevaux pâturent l'herbe très ras que les bovins.

Tableau 1 : Formule dentaire des principales espèces domestiques (Soltner, 2016)

Dents ⁽¹⁾	Cheval	Bœuf	Mouton et chèvre	Lapin	Porc	Chien
Incisives	3/3	0/4	0/4	2/1	3/3	3/3
Canines	1/1 ⁽²⁾	0/0	0/0	0/0	1/1	1/1
Prémolaires	4/3	3/3	3/3	3/2	4/4	3/3
Molaires	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3

1 : le nombre de dents de chaque catégorie est donné par demi mâchoire (mâchoire supérieure /mâchoire inférieure)
 2 : Chez le mâle seulement

I-2- L'estomac

C'est un critère de base de la classification des animaux (planches 1 et 2), on distingue :

-Les animaux polygastriques : possèdent plusieurs estomacs (un seul estomac mais qui est constitué de plusieurs compartiments), ce sont des herbivores ruminants (bovins, ovins, caprins et le chameau ou le dromadaire). Les ruminants sont des herbivores qui se nourrissent des fourrages et qui peuvent digérer les parois des tissus végétaux non lignifiés dont la cellulose est le constituant principal.

-**Les monogastriques** : animaux possédant un seul estomac (un seul compartiment comparativement aux ruminants), sont soit des herbivores (lapin et cheval) soit des granivores (volailles).

I.2.1. Estomac des ruminants (figure 2 et 3):

L'appareil digestif des ruminants est caractérisé par un estomac très différencié à plusieurs cavités comprenant quatre poches nettement distinctes extérieurement.

- Le **rumen** ou panse
- Le **réseau** = bonnet = **réticulum**
- Le **feuillet** ou omasum
- La **caillette** ou abomasum: **véritable estomac** qui seule contient des glandes gastriques

} **Pré-estomacs**

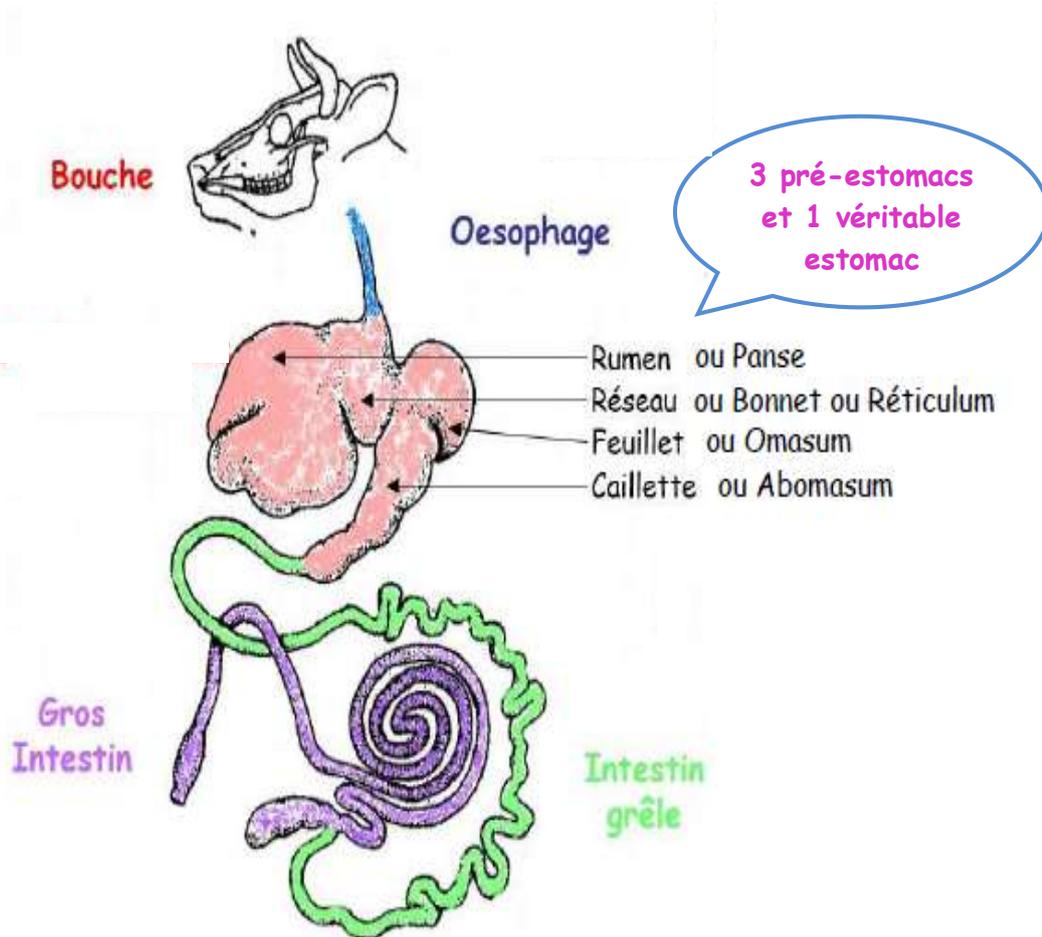
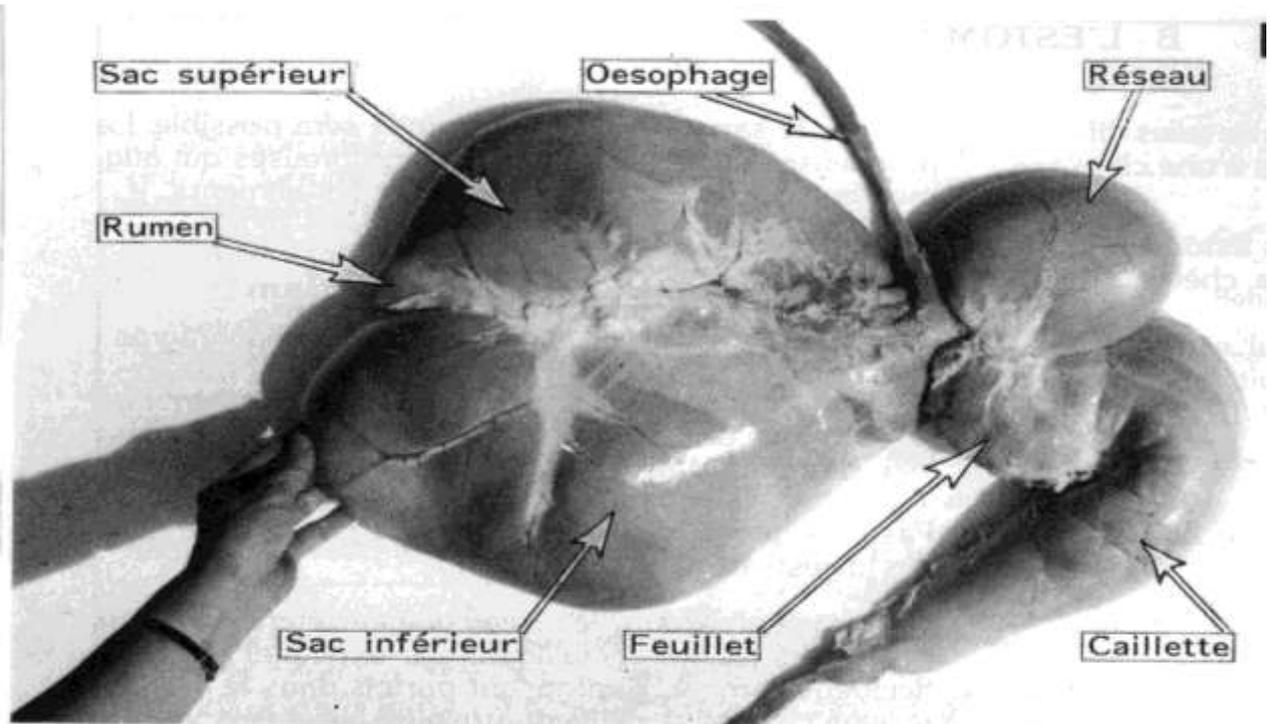
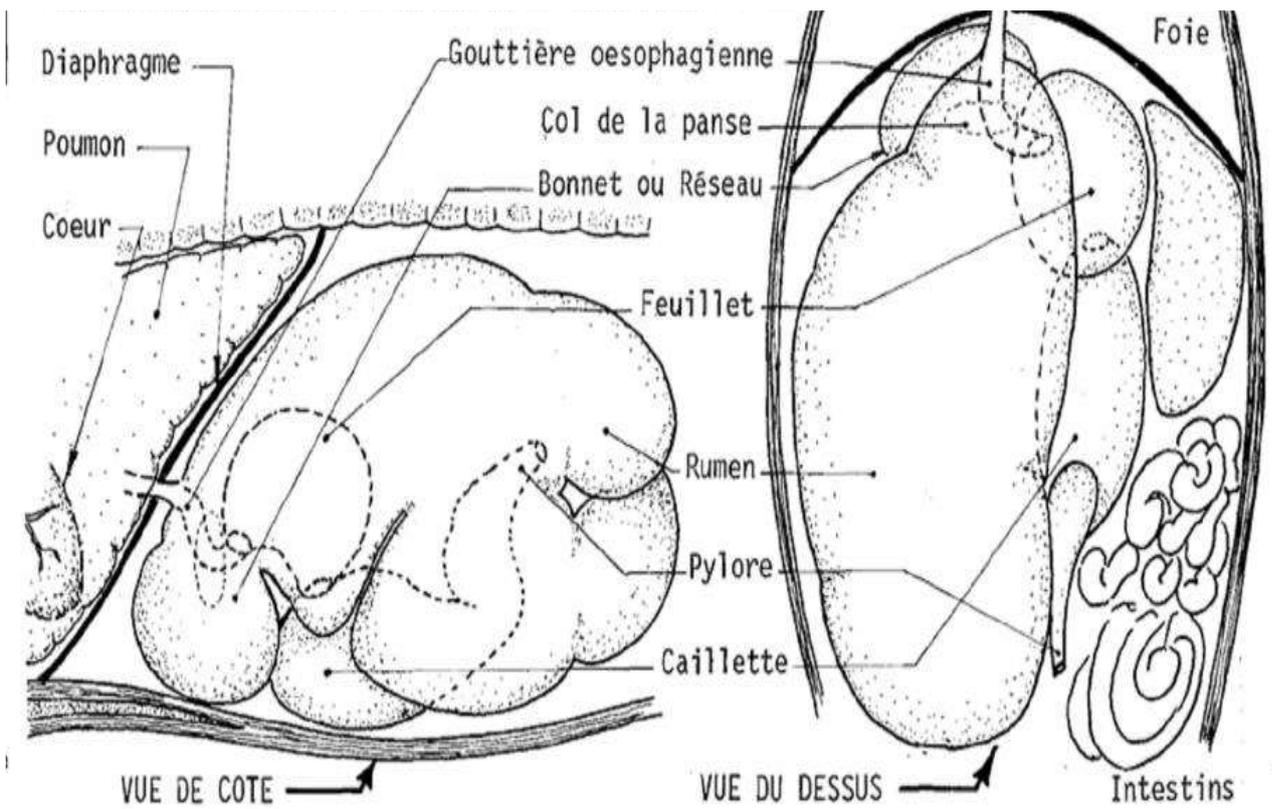


Figure 2 : Tube digestif du bovin adulte (Drogoul *et al.*, 2004)



A



B

Figure 3 : A : vue réel de l'estomac des bovins. B : disposition réelle à l'intérieur de l'abdomen (Soltner, 2016)

I.2.1.1. Le rumen ou la panse :

Occupe la partie gauche de l'abdomen et s'étend du diaphragme au bassin. C'est le plus volumineux, il représente 90% du volume de l'estomac (250 à 300 litres), ou 70-75% du volume de l'appareil digestif. La panse possède deux ouvertures :

Cardia : orifice d'entrée étroit et extensible raccordé à l'œsophage

Le col de la panse : orifice de sortie, très large entre la panse et le bonnet

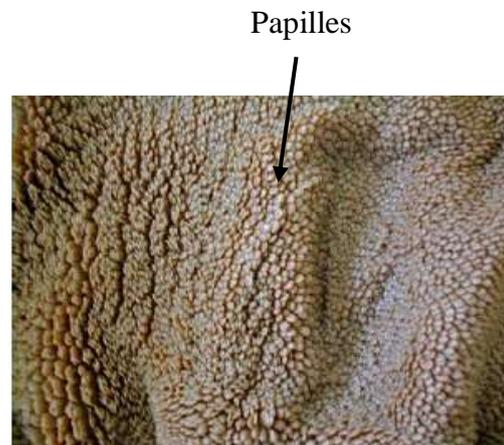
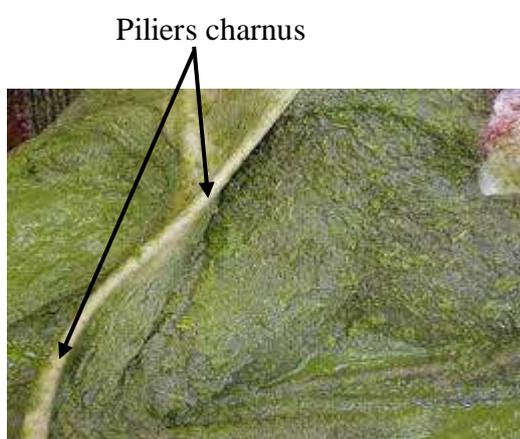
Ces deux orifices sont reliés par un repli en forme de gouttière, pouvant, en contractant ses bords relié directement l'œsophage au feuillet : la gouttière œsophagienne. Elle est située dans la paroi du bonnet : c'est un prolongement de l'œsophage jusqu'au feuillet

Rôle: empêchant les aliments de tomber dans la panse (cas du veau)

La paroi du rumen est formée de deux tuniques :

-**Musculaire** : permet les contractions de ces muscles assurant ainsi le brassage continu des aliments. **Des piliers charnus** partagent incomplètement le rumen en deux poches et évite son affaissement.

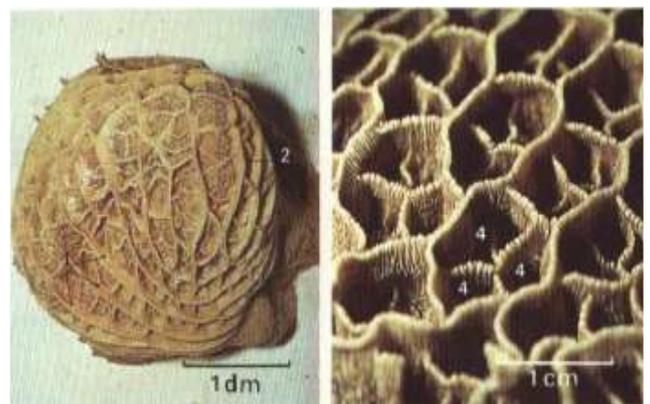
-**La Muqueuse** : non sécrétrice, tapisse l'intérieur du rumen, elle est très vascularisée, ce qui montre l'existence de l'absorption au niveau du rumen. La muqueuse est garnie de **nombreuses papilles** qui augmentent la surface de contact avec les aliments



I.2.1.2. Le bonnet (réseau ou réticulum)

Petit réservoir situé en avant de la panse. Sa paroi intérieure est tapissée d'alvéoles ressemblant à des rayons d'abeilles dont le rôle est d'augmenter la surface de contact avec les aliments.

Le bonnet constitue une barrière aux corps étrangers (débris métalliques) absorbés



accidentellement par l'animal, peuvent parfois s'enfoncer dans le tissu du réseau et atteindre les enveloppes du cœur et provoquer la mort par péricardite.

Rôle du réseau : rôle de tri, il laisse passer au feuillet que des particules suffisamment divisées, les autres seront retenus dans la panse où ils subiront la rumination et l'attaque microbienne aussi longtemps que nécessaire.

I.2.1.3. Le feuillet ou l'Omasum

Plus volumineux que le réseau, Sa paroi intérieure est tapissée de très **nombreuses lamelles**, disposées parallèlement au passage des aliments. Les lames sont recouvertes d'un épithélium kératinisé possédant également des papilles. Le feuillet constitue une sorte de filtre où ne peuvent passer que les aliments bien divisés qui seront comprimés entre les lames.

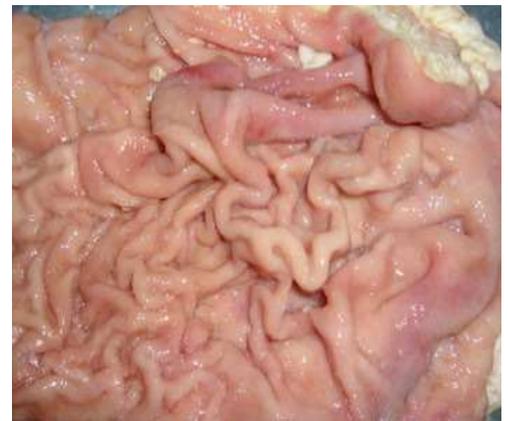


Il existe importante **absorption de l'eau à ce niveau**. Le feuillet communique en aval avec la caillette par un orifice large et dilatable.

I.2.1.4. La caillette ou Abomasum

Est le seul réservoir possédant des glandes digestives. C'est l'estomac proprement dit des ruminants, sécrétant le suc gastrique et chez le veau, la présure.

Sa cavité est tapissée par une muqueuse glandulaire, analogue à celle des monogastriques toujours recouverte d'une couche de mucus très acide. Il y a une importance absorption d'eau et d'éléments minéraux.



I.2.2. Estomacs des autres espèces

a- Chez le veau et de l'agneau (figure 4), seule la caillette est vraiment développée. La gouttière œsophagienne joue alors un rôle primordial : fait passer le lait directement dans la caillette (Figure 4).

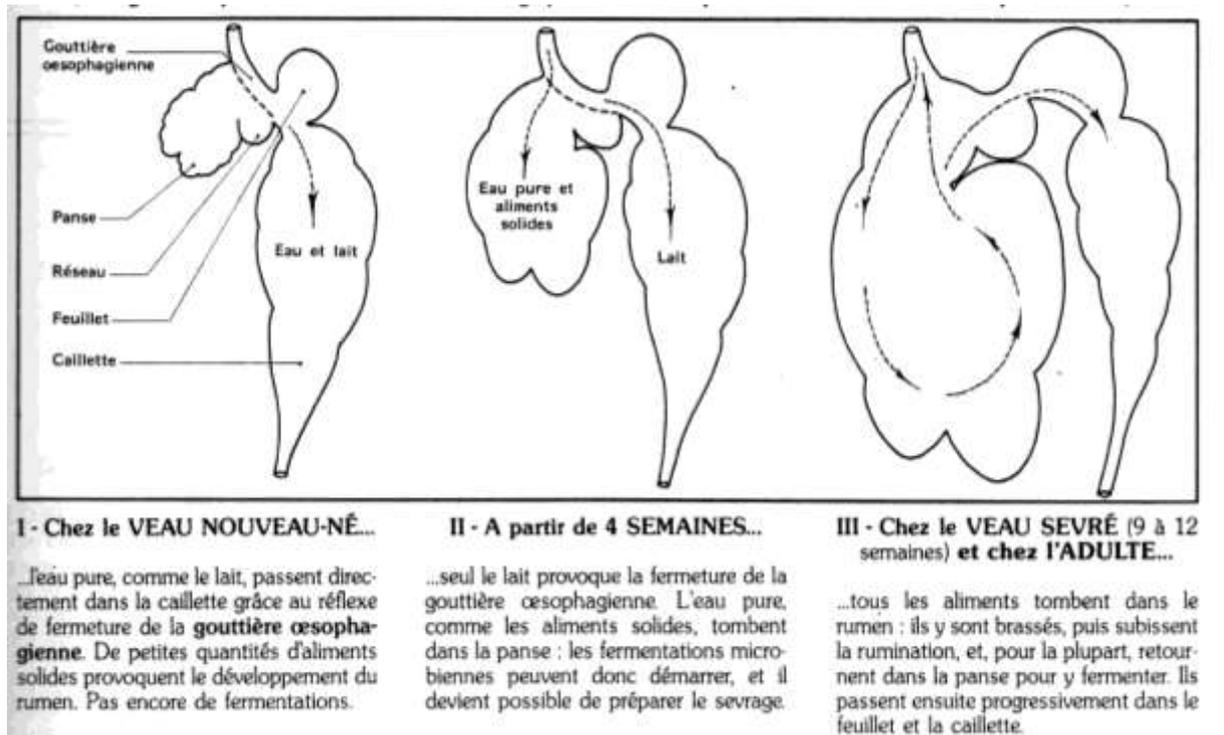


Figure 4: Evolution de l'estomac d'un veau d'élevage (Soltner, 2016)

b- Chez le cheval, l'estomac est de taille réduite. Sa muqueuse interne présente deux aspects : une partie est blanche elle ne possède pas de glandes gastriques, l'autre partie est de couleur rose et violacé garnie de glandes gastriques.

Le cardia du cheval est très serré ce qui empêche le retour en arrière des aliments (le cheval ne peut pas vomir). Par contre le pylore est large, les aliments restent peu de temps dans l'estomac qui se vide aussitôt rempli.

c- Chez les oiseaux : le tube digestif des oiseaux comprend trois poches : Le jabot, le ventricule succenturié (garnie de glandes gastrique) et le gésier.

I.3. L'intestin (voir planches en annexes)

Il est divisé en deux parties :

I.3.1. L'intestin grêle : il est très long (40 à 45 m, volume : 70 L) chez les bovins. Il comprend le duodénum (0,6 à 1,2m) avec son anse duodénale qui reçoit les sécrétions biliaires et pancréatiques et l'ensemble jéjunum-iléon (17,5 à 34,0m). Sa structure est identique à celle de l'être humain. Les mécanismes de la digestion et de l'absorption dans l'intestin grêle sont les mêmes que chez les monogastriques.

I.3.2. Le gros intestin : son développement est en rapport avec le régime alimentaire. Il est long chez les herbivores (10 m, volume : 30L chez les bovins).

Le gros intestin comprend (Figure 5):

- Le **cæcum** : en forme de poche en cul de sac lisse chez les bovins et bosselé chez le cheval,
- Le **côlon** : il est toujours visible depuis le flanc. Il est situé médialement au duodénum descendant.

Les anses du côlon se différencient aisément des anses de l'intestin grêle de par leur contenu très gazeux. Le colon comprend 3 segments :

- Partie ascendante : enroulé en spirale formant un disque
- Partie courte : anse transversale
- Partie descendante : tube relativement droit

Le gros intestin ne secrète pas de sucs digestifs.

- Le **rectum** : très dilatable, court et droit débouchant dans l'anus.

- **Chez le cheval**, le côlon est très développé (130 à 140 litres), soit $\frac{3}{4}$ de sa capacité digestive alors que chez le bœuf est de 40 litres.
- **Chez les oiseaux**, on ne peut pas distinguer entre l'intestin grêle et le gros intestin, ils contiennent deux caeca débouchent dans la partie terminale de l'intestin, aboutissant au cloaque.

La capacité du tube digestif en litres chez quelques animaux d'élevage est illustrée par la figure 6 et tableau 2.

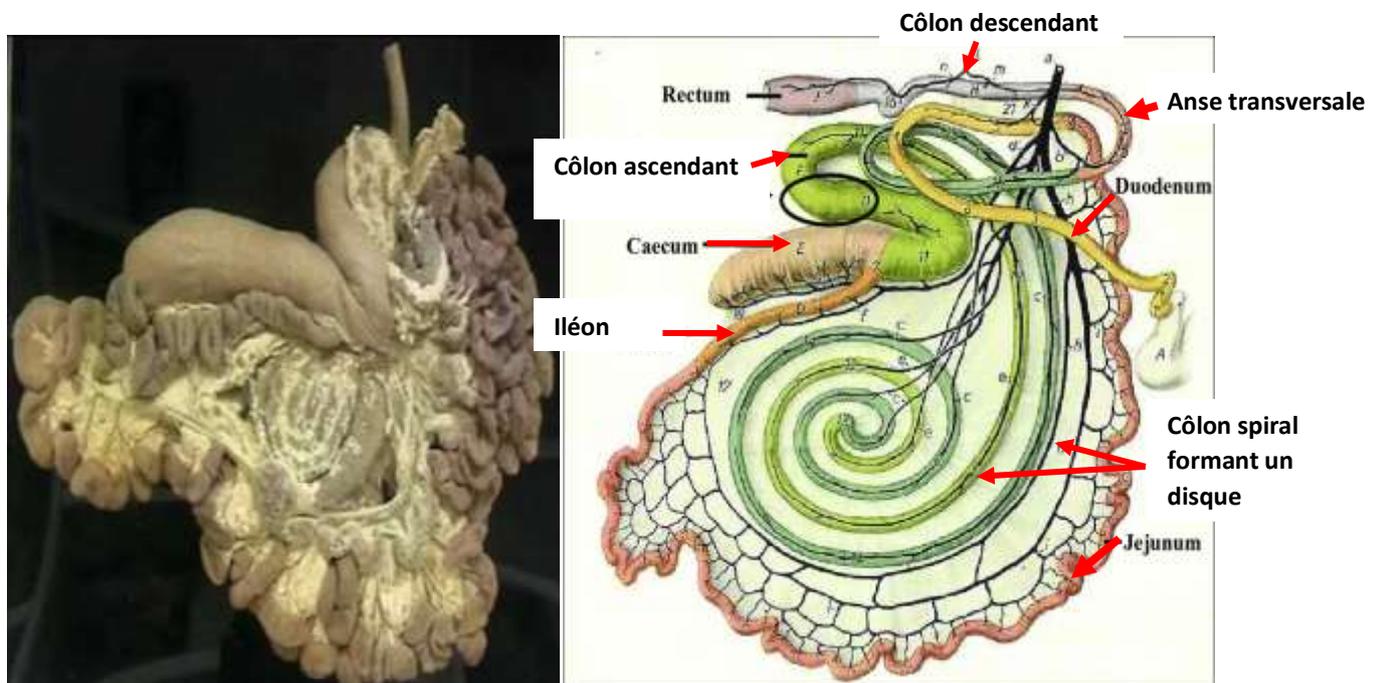


Figure 5 : Les intestins chez les ruminants (Nickel *et al.*, 1979).

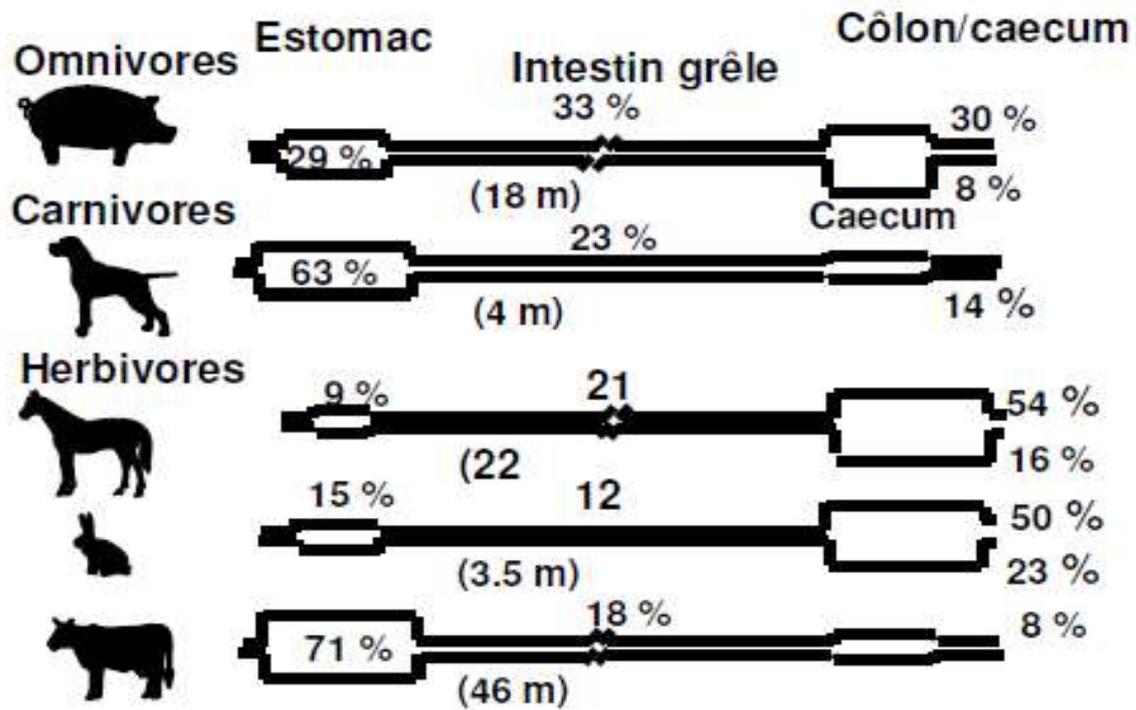


Figure 6 : volume relatif des différents segments du tube digestif chez les animaux domestiques (Toutain *et al.*, 2006)

Tableau 2: Capacité du tube digestif en litres chez quelques animaux d'élevage comparativement à l'homme. (Toutain *et al.*, 2006)

	Homme	Porc	Cheval	Mouton	Bovin
Poids vif, kg	75	190	450	80	575
Rumen	...	...	...	17	125
Omasum	...	...	...	1	20
Estomac sécrétoire/Abomasum	1	8	8	2	15
Total estomac	1	8	8	20	160
Intestin Grêle	4	9	27	6	65
Cæcum	...	1	14	1	10
Gros intestin	1	9	41	3	25
Total intestin	6	27	90	30	260

CHAPITRE II. Le comportement alimentaire

II.1. Définition

La sélection et l'ingestion des aliments fait l'objet d'un contrôle comportemental nommé comportement alimentaire (CA).

Le comportement alimentaire est défini comme étant « l'ensemble des actes de l'animal par lequel il ingère des aliments propres à satisfaire ses besoins organiques et refuse les substances non alimentaires ou toxiques ». Les actes à considérer sont : la quête de nourriture, sa sélection ou choix, sa capture, sa mastication...

Le comportement alimentaire est la dimension comportementale de la physiologie digestive et de la nutrition. Il est impliqué dans le contrôle de la quantité ingérée et celui de la qualité des aliments sélectionnés.

Il joue un rôle essentiel dans l'homéostasie énergétique (ce qui assure l'équilibre pondéral).

II.2. Méthodes d'études de comportement alimentaires (CA)

L'étude du comportement alimentaire peut être abordée de manières différentes :

- **L'éthologiste** : observera les animaux dans leur milieu naturel et évitera le plus possible de les perturber.
- **Le zootechnicien** : cherchera à connaître le régime alimentaire le mieux accepté par l'animal tout en assurant les meilleures performances zootechniques.
- **Le physiologiste** : cherchera le déterminisme, c'est à dire le comment et le pourquoi du comportement.

Les animaux consomment pour couvrir leurs besoins nutritionnels, principalement énergétiques. Le comportement de l'animal, c'est-à-dire sa réaction face à un aliment implique les notions de faim, de satiété et d'appétit.

II.3. Définitions des concepts faim, satiété et appétit

a. La faim : est un état d'éveil ou de «motivation» du système nerveux central, provoqué par des signaux internes résultant du déficit énergétique de l'organisme requérant l'apport d'aliment et/ou par des stimulations sensorielles externes issues des aliments. La faim est la perception de l'état de besoin organique lorsque le ruminant ne s'est pas alimenté depuis un certain temps. Elle correspond, sans doute, pour lui, à un état de malaise et s'accompagne d'un désir vif et conscient de nourriture.

b. La Satiété : considérée comme un phénomène d'alarme ou de défense préventif empêchant l'animal d'ingérer des quantités d'aliments dépassant ses possibilités d'utilisation

digestive et métabolique. C'est un état de non faim éprouvé par un animal dont les besoins nutritionnels sont couverts

c. L'appétit : est considéré classiquement comme une sensation agréable, une forme atténuée de la faim. L'appétit contrairement à la faim est spécifique; les aliments sont par leurs caractéristiques sensorielles propres des «stimuli conditionnés» des appétits.

Chez les animaux domestiques, l'appétit peut être considéré comme le désir de nourriture qui résulte de plusieurs mécanismes tels que la forme de présentation de l'aliment, l'odeur, le goût et les signaux nerveux transmis par le tube digestif.

Notons que, l'appétit est cependant, quantitativement et qualitativement, fonction des propriétés nutritionnelles de l'aliment et des besoins métaboliques à couvrir, qui varient d'ailleurs fortement en fonction de l'état physiologique imposé par les productions de l'animal.

II-4- Les facteurs influençant le comportement alimentaire (CA)

La quantité ingérée par l'animal dépend de plusieurs facteurs liés à l'animal, à l'aliment et à l'environnement physique :

-Facteurs liés à l'animal : les besoins et l'état des réserves de l'animal, l'état physiologique de l'animal (gestation ou lactation), l'hierarchie de l'animal dans le troupeau, compétition au pâturage ainsi que les troubles sanitaires ou le stress.

-Facteurs liés à l'aliment : par la concentration nutritive des aliments ingérés plus particulièrement en énergie, par sa préhensibilité (la préhension de l'herbe) liée au port des plantes ou à la structure de la végétation au pâturage, et également par les stimulation qu'il exerce sur l'appétit de l'animal (le goût, la structure et l'odeur).

-Facteur liés à l'environnement physique (conditions d'élevage) : température, bâtiment....

Le comportement alimentaire intervient dans l'organisation temporelle (rythmicité) des prises alimentaires (uniquement diurne chez la poule, uniquement nocturne chez le rat...).

-Exemple de CA chez les ruminants (voir les autres exemples traités durant le cours) :

La particularité des herbivores ruminants est le comportement de rumination qui prend une part importante de leur temps (6 à 7h par jour chez le bovin)

Chez ces derniers, les actes du comportement alimentaire (ingestion, rumination) sont soumis à des **rythmes circadiens**. Les rythmes circadiens sont influencés par l'environnement (température ambiante, l'heure de l'aube et du crépuscule etc.)

Chez les bovins que ce soit au pâturage ou en étable, la prise alimentaire est essentiellement diurne (figure 7 et 8). Au pâturage deux pics d'ingestion ont souvent lieu au lever et au

coucher du soleil. A l'étable, l'ingestion est fortement influencée par les conditions de distribution d'aliment. Au niveau de troupeau, l'activité d'ingestion est synchronisée.

La prise alimentaire se caractérise par :

- un nombre de repas et une durée d'ingestion très élevée, qui constituent le plus souvent de 10 à 15 repas et de 5 à 9 heures d'ingestion par jour.
- La présence de période de rumination généralement plus élevées que les repas (12 à 18h) et occupant entre 5 à 10 heures par jour.
- La très longue durée de la mastication (ingestion + rumination) qui absorbe plus 60% du temps des animaux.

La durée et le nombre de repas sont très liés au type d'aliment, aux conditions d'alimentation et le logement et au stade physiologique des animaux.

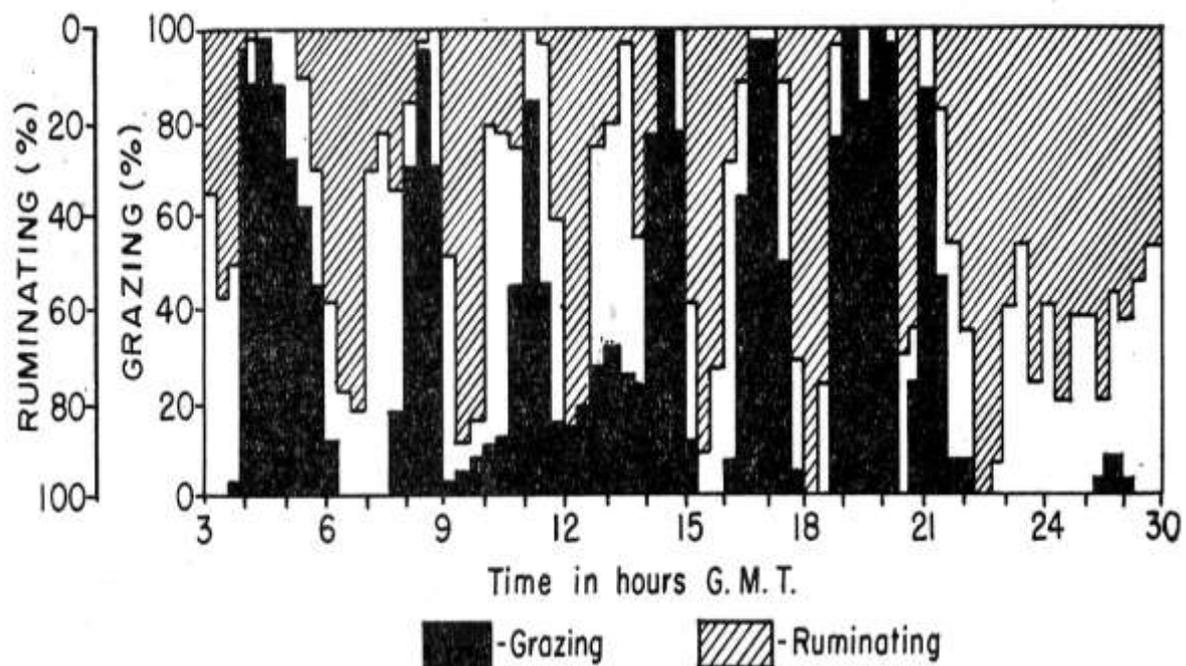
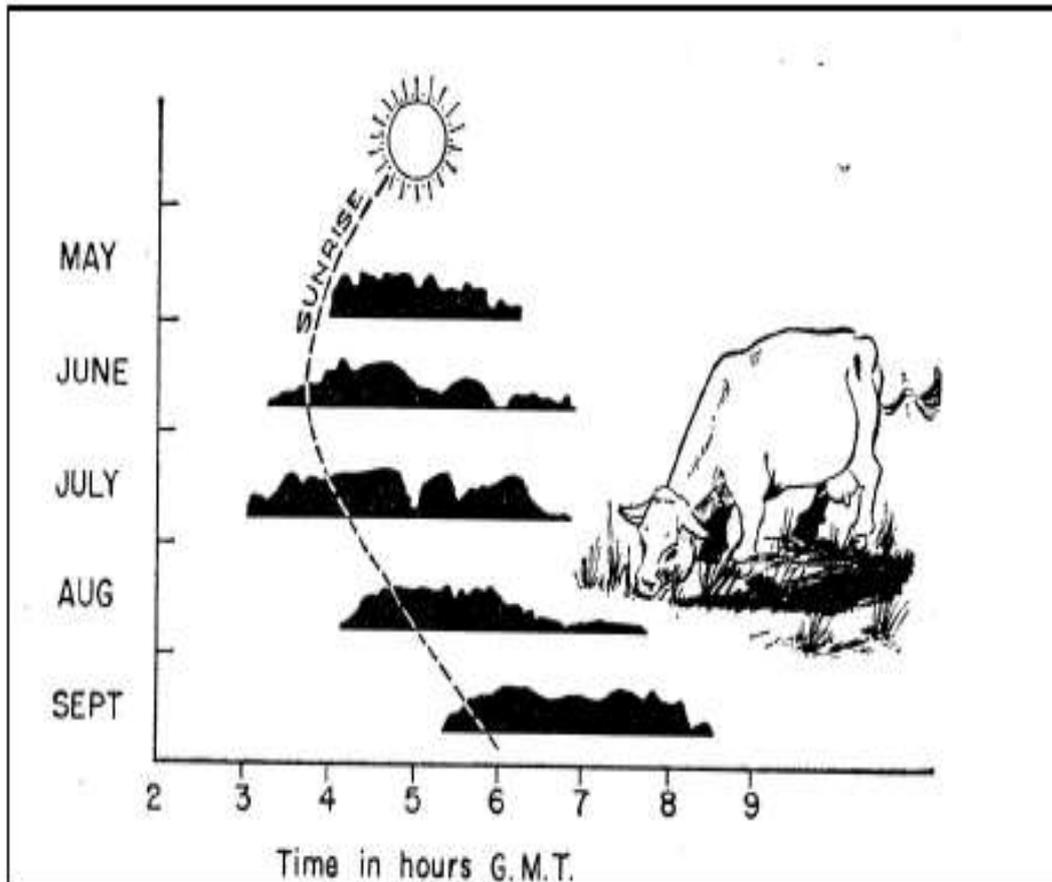


Figure 7 : La répartition des temps de prise de nourriture (grazing) et de rumination (ruminating) au cours du nyctémère chez les ruminants (Toutain *et al.*, 2006)



1

Figure 8 : Rythme circadien de la prise de nourriture chez la vache (Toutain *et al.*, 2006).

Globalement, les bovins prennent deux grands repas au cours du nyctémère. Le premier commence le matin environ 30 minutes avant le lever du soleil et le second se termine environ 30 minutes avant le coucher du soleil. Aux latitudes élevées, les bovins changent donc progressivement leurs heures de repas.

Au pâturage, les bovins ne peuvent pas être particulièrement sélectifs, les animaux préfèrent généralement les feuilles aux tiges et les parties jeunes et vertes aux parties âgées et sèches.

Par contre, les ovins et les caprins sont plus sélectifs. Les ovins préfèrent brouter les plantes herbacées et les caprins les feuilles et les pousses des arbres et des arbustes.

D'autres comportements alimentaires peuvent être manifestés par certains animaux:

- L'appétit sodique est généralement bien développé chez les animaux y compris les ruminants (pierre à sel) ;

- L'appétit calcique chez la poule au moment de l'entrée en ponte.

- La coprophagie (ingestion de fèces) est fréquente chez certains animaux (chien, cheval, volaille, rat...) et elle peut porter sur 40% des fèces chez le rat. Elle peut être à l'origine

d'intoxications (désordres digestifs chez la jument ingérant les fèces de son poulain traité avec des antibiotiques de type macrolides).

- La caecotrophie : Chez les lapins on parle plutôt de (ingestion des crottes molles). La caecotrophie permet au lapin de bien valoriser les protéines alimentaires et lui assure un apport en vitamines hydrosolubles (les vitamines du groupe B et vitamine C).

Le CA peut également faire l'objet de déviation (dysfonctionnement), c'est le cas du phénomène de piccage (la poule), de cannibalisme (lapine), d'anorexie (refus des aliments).

II-5. Régulation de CA

Le comportement alimentaire permet le contrôle des entrées des nutriments dans l'organisme; il constitue ainsi la première phase des régulations métaboliques.

La sensation de la faim et de la satiété est régulée par le système hypothalamique (Figure 9). Ces différents stimuli agissent sur des centres nerveux régulateurs qui assurent l'intégration des réponses hormonales, nerveuses conduisant vers la recherche, l'acquisition et l'ingestion d'aliment.

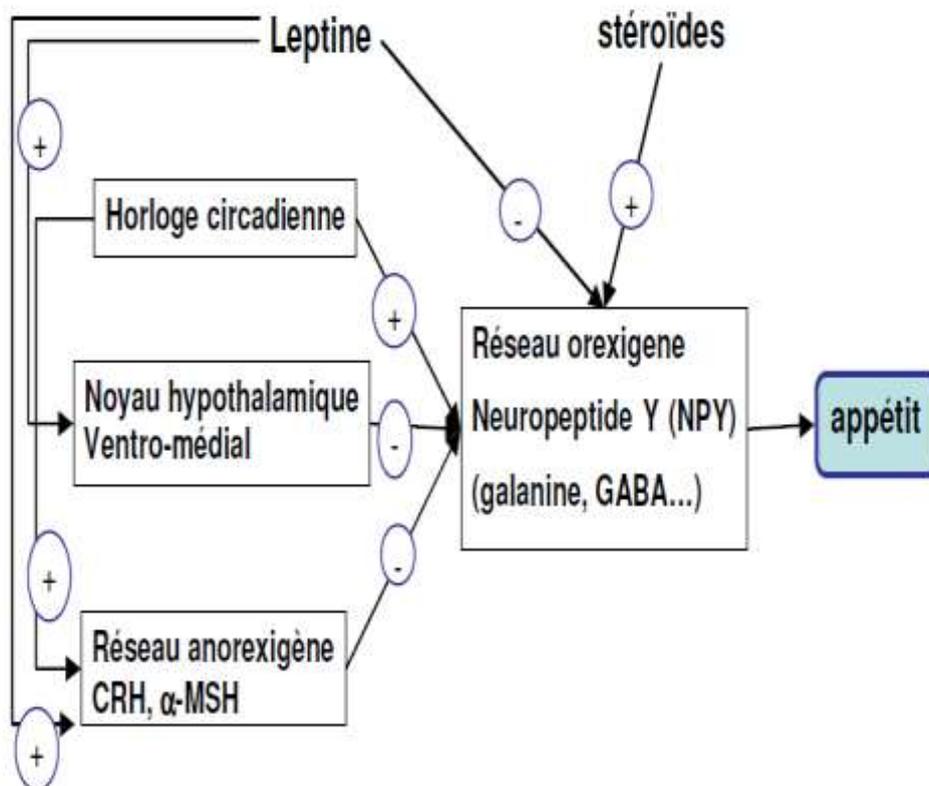


Figure 9 : contrôle hypothalamique du comportement alimentaire (Toutaine *et al.*, 2006)

Le comportement alimentaire des herbivores au pâturage détermine les quantités d'herbe qu'ils ingèrent et la nature du régime qu'ils sélectionnent. Il influence donc directement la nutrition de l'animal, ses performances zootechniques, sa santé et son impact sur les couverts végétaux.

Dans les prairies hétérogènes, proposant une large gamme d'items alimentaires de disponibilité et de qualité variables, les animaux sont confrontés à de multiples contraintes émanant du milieu et des modes de conduite du troupeau, auxquelles ils répondent différemment selon leurs caractéristiques morphologiques et physiologiques, et leurs aptitudes cognitives.

La compréhension du comportement alimentaire des herbivores offre alors autant de leviers d'action aux éleveurs et aux gestionnaires de milieux pour l'orienter en regard de leurs attentes. Au travers de résultats expérimentaux sur bovins, ovins et équins, nous illustrons les apports de l'étude du comportement alimentaire au pâturage pour répondre à différents enjeux de l'élevage tels que la nutrition de l'animal, sa santé et la préservation de la diversité biologique des prairies.

CHAPITRE III. Les étapes de la digestion

La digestion des aliments ingérés subissent une série de dégradation et de transformation tout au long de tube digestif.

III.1. Digestion dans la cavité buccale :

III.1.1. Préhension des aliments :

La digestion commence par la préhension des aliments dans la cavité buccale. Le mode de préhension des aliments est adapté à leur nature et diffère selon les espèces animales :

-Chez Les Bovins: la langue est longue et très mobile, elle est l'organe essentiel de la préhension, sa surface rugueuse porte des papilles empêchant le reflux du bol alimentaire grâce à leur pointe.

-Les bovins rabattent l'herbe avec la langue (lèvres très rigides)

-Les petits ruminants: se servent de leurs incisives inférieures pour brouter l'herbe. Ils utilisent aussi leurs langues mais à un degré moindre que les bovins. Les caprins et les ovins : attrapent l'herbe avec les lèvres très mobiles

L'herbe est pincée entre les incisives et le bourrelet et ensuite arrachée par un mouvement de la tête

III.1.2- La mastication :

C'est le premier acte mécanique de la digestion, elle permet de réduire la taille des aliments ingérés en petites particules pour faciliter leur déglutition.

La mastication permet également la salivation et la formation du bol alimentaire (mélange des aliments à la salive). C'est un acte nécessaire, assuré grâce aux mouvements de la mâchoire, de la langue, des joues et du voile de palais.

Le temps nécessaire à la mastication dépend de la composition de l'aliment (ration : fourrages ou concentré) et de l'âge de la plante (herbe, foin ou paille).

a-La première mastication : est rapide : 70-90 mouvements /mn chez le bovin et de 125 à 150 mouvements /mn chez les petits ruminants. Les aliments sont peu divisés et s'entassent dans la panse avec l'eau de boisson et la salive.

b-La mastication mérycique ou rumination : C'est l'acte par lequel les aliments sont ramenés du rumen à la cavité buccale. Ils vont subir une seconde mastication et une nouvelle insalivation avant de retourner à la panse pour y fermenter. Le temps de séjour des aliments dans la panse varie selon le régime (1,5j pour la jeune herbe et 5j pour la paille).

la rumination dure 4 à 10 heures/j, décomposée en 6-8 périodes de 50 mn chacune, elle consiste à la :

➤ **Régurgitation du bol alimentaire :**

- Une phase d'aspiration œsophagienne au cours de laquelle le réseau se contracte ce qui amène le contenu du rumen au niveau du cardia. Le cardia s'ouvre et l'animal inspire fortement créant une dépression intra-thoracique. Cette dernière permet au contenu du rumen de remonter dans l'œsophage.
 - Une phase d'expulsion vers la bouche, due à une onde antipéristaltique accompagnée d'une expiration profonde.
- **Déglutition de la partie liquide** et l'expulsion des gaz de fermentation
- **Mastication plus lente** d'une minute, plus lente que la 1^{ère} mastication et la salivation est abondante.
- **Le bol alimentaire retourne dans la panse**
- **Favorise la fermentation microbienne** grâce aux micro-organismes qui vivent en symbiose avec l'hôte et qui jouent un rôle dans la digestion et la nutrition de l'animal.

III.1.3. La salivation : mélange des sécrétions de toutes les glandes salivaires. Celles-ci sont au nombre de trois glandes paires : la parotide, la sous maxillaire ou mandibulaire et la sublinguale (figure 10).

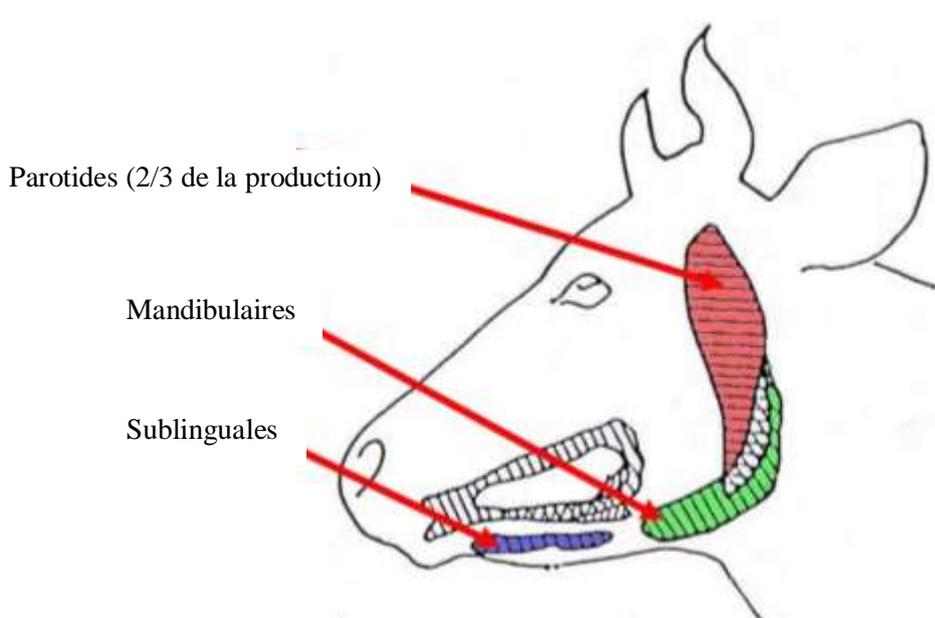


Figure 10 : les glandes salivaires chez les bovins

a-Volume et composition de la salive :

La quantité quotidienne de la salive est de :

- 1 à 1,5 L/j chez l'homme.

- 100 à 200 L/j chez le gros bovin
- 6 à 16 L/j chez le mouton.

Elle dépend du volume de la ration, de ces caractéristiques physiques (rugosité des aliments) et de la teneur en eau des aliments. Ceux qui sont riches en eau nécessitent moins de salivation que les fourrages secs riches en fibres.

La sécrétion salivaire est réduite entre les repas mais s'accroît 4-8 fois plus pendant la prise alimentaire.

b-Composition de la salive

- pH : 6,8 à 7,2 chez l'homme

Son pH est alcalin chez les ruminants (8,4) car elle est plus riche en bicarbonates.

La salive est constituée de :

- 85% d'eau.
- Des substances organiques (Les constituants organiques sont essentiellement des protéines, du mucus, des enzymes, l'urée avec une teneur relativement élevée chez les ruminants).
- Des constituants inorganiques : substances minérales (particulièrement des sels de calcium, de sodium et de potassium).
- Des débris épithéliaux.

c- Rôle de la sécrétion salivaire :

La salive permet l'humidification, la fragmentation, la macération des aliments et la formation du bol alimentaire (salive séreuse).

La salive muqueuse permet la lubrification des aliments et facilite donc le glissement du bol alimentaire et la régurgitation du bol alimentaire.

Elle a un rôle antiseptique, action dû à la mucine, étant donné son fort pouvoir tampon, la salive des ruminants neutralise les AGV formés dans le rumen.

Dans ces conditions malgré une production incessante d'AGV, le pH du contenu de rumen reste relativement constant pour maintenir l'activité microbienne.

III.1.4. La déglutition :

La déglutition qui succède à la mastication est l'acte de propulsion du bol alimentaire de l'oropharynx jusqu'à l'estomac. La déglutition est un acte mécanique qu'on divise en trois étapes :

a- Le temps buccal : (volontaire), une fois bien mâchés et insalivés, les aliments se rassemblent sur le dos de la langue, celles-ci en s'appliquant sur le voile du palais et les repousse d'avant en arrière.

b- Le temps pharyngien : (reflex), il est déclenché par l'excitation de certaines zones réflexogènes de la déglutition (muqueuse du pharynx, du voile du palais, la paroi postérieure du larynx). Ce reflex tend à propulser le bol alimentaire vers l'œsophage.

Pendant ce temps le passage des aliments vers les fosses nasales et le larynx est rendu impossible :

-d'une part le voile du palais s'élève et obstrue les fosses nasales, simultanément le pharynx s'ouvre et la respiration cesse.

- d'autre part, le pharynx se soulève et vient s'appliquer sur la base de la langue, en même temps l'épiglotte est rabattu sur l'orifice du larynx et permet l'obturation de la glotte pour empêcher une fausse déglutition.

c- Le temps œsophagien : il assure la progression des aliments vers l'estomac, la progression se fait par des ondes péristaltiques dont l'activité est modulée par le système parasympathique.

III.2. La digestion dans l'œsophage :

L'œsophage est un tube qui transporte le bol alimentaire depuis la cavité pharyngienne jusqu'à l'estomac, il est fermé à chaque extrémité par un sphincter l'un freine l'entrée de l'aire dans le tube digestif, l'autre empêchant le reflux du contenu digestif.

-Rôle de l'œsophage :

Le rôle essentiel de l'œsophage est mécanique son activité motrice se traduit par des ondes péristaltiques se déplaçant toute au long de l'œsophage.

- Particularités chez les ruminants :

Chez les ruminants, l'œsophage est caractérisé par la dilatation de sa partie thoracique qui intervient dans la régurgitation et l'éructation. Comme il présente la particularité de fonctionner dans les deux sens.

III.3. La digestion dans le rumen/ réseau :

III.3.1. La dégradation mécanique

Les aliments déglutis tombent dans le rumen/réseau, ils surnagent d'abord au-dessus du liquide puis s'enfoncent dans la cavité en se mélangeant avec les ingestas. Ils subissent un ramollissement et un brassage grâce aux contractions de la musculature du réticulo-rumen.

Bien que chacun des pré-estomacs soit doué d'automatisme et puisse se contracter indépendamment de l'autre, le rumen et le réseau sont en étroit synchronisme dans leurs mouvements.

II.3.2. Cycles gastriques (figure 11):

a-Cycle primaire (le cycle simple) :

C'est un cycle permanent qui se renouvelle toutes les minutes, sa durée est de 10 à 20 secondes. Il débute par une contraction saccadée biphasique du réseau, suivi de deux contractions du rumen (contraction du sac dorsal puis du sac ventral antérieur). Ce cycle de contractions vise à refouler les digestas du réseau vers le rumen en vue de les soumettre à un nouveau brassage.

b- Cycle secondaire :

Il se produit immédiatement à la suite du cycle simple. Ce dernier se manifeste par une contraction qui débute au niveau du sac ventral postérieur et se propage vers le sac dorsal antérieur puis se termine au niveau du sac ventral antérieur.

La présence de cette contraction correspond à l'éructation du gaz. La fréquence des cycles secondaires par rapport au cycle primaire varie en fonction de la production gazeuse. Les mouvements moteurs des pré-estomacs sont soumis au contrôle du système nerveux (le nerf pneumogastrique). Ils sont déterminés par des réflex dont l'origine se trouve essentiellement dans le rumen et le réseau.

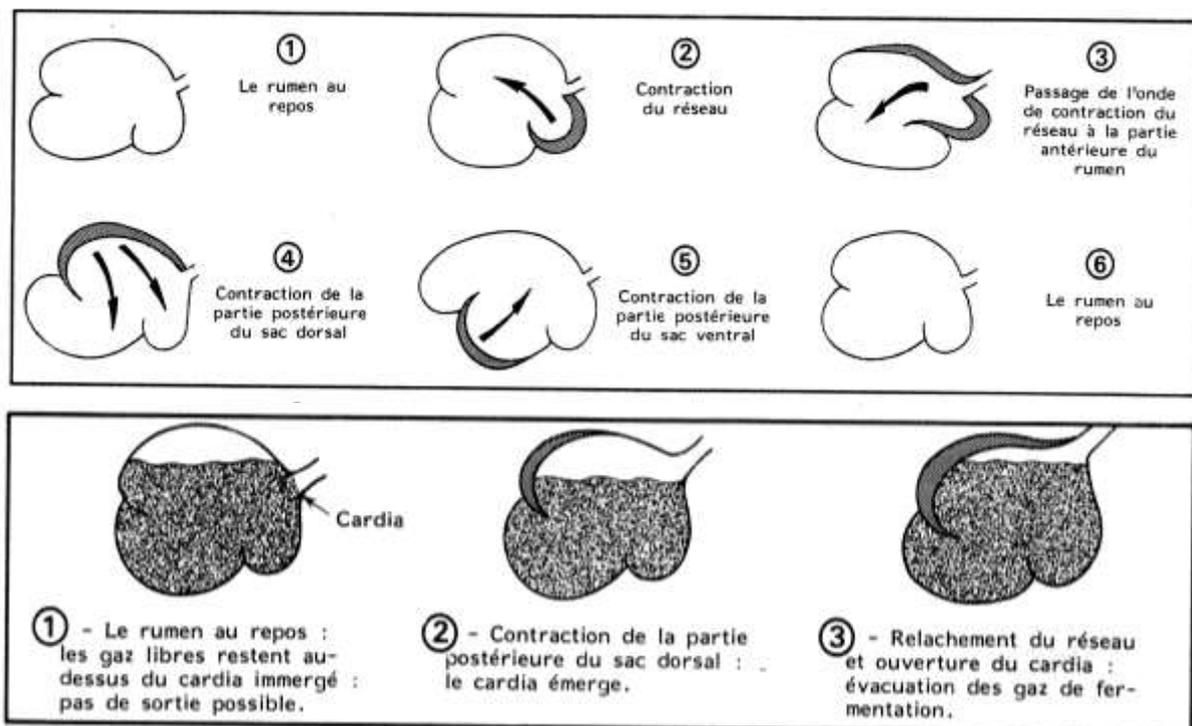


Figure 11: les contractions du rumen et mécanisme d'éructation des gaz de fermentation (Soltner, 2016)

III.3.3. Etapes de la rumination :

III.3.3.1. Régurgitation du bol alimentaire : le mécanisme de la rumination est très complexe. La régurgitation se déroule en deux phases :

a-Phase d'aspiration :

Au début de la rumination, l'animal fait une inspiration profonde. Cette inspiration crée une dépression, intra thoracique (ce qui correspond à un vide relatif de l'œsophage) et une augmentation de la pression intra abdominale. Cette différence de pression entraîne une aspiration rapide du contenu de rumen à travers le cardia relâché.

b-Phase d'expulsion :

Au cours de cette phase le bol mérycique sera véhiculé vers la bouche par voie rétrograde grâce à une contraction œsophagique qui possède une vitesse de propagation supérieure à une contraction œsophagienne antérograde. Cette poussée du contenu œsophagien est soutenue :

- D'une part par un mouvement expiratoire que l'animal exécute.
- D'autre part elle est surtout favorisée par l'apparition d'une contraction simple et isolée du réseau juste avant le rejet mérycique (elle aurait pour effet de faire pénétrer dans l'oesophage des particules plus solides dans le contenu du rumen) ; il s'agit là d'une extra contraction.

III.3.3.2. Mastication mérycique :

Le bol mérycique très aqueux est pressé dans la bouche, et le jus exprimé est alors dégluti c'est-à-dire revient immédiatement dans les prés-estomacs. La mastication des produits régurgités est intense et soigneuse, son rythme est plus lent que la première mastication soit une moyenne de 55mouvements/min et qui dure environ une minute.

III.3.3.2. Intérêt de la rumination :

La rumination occupe une place importante dans la vie des ruminants, elle permet de:

- Réduire la taille des particules ingérée en rompant les membranes cellulaires et en provoquant une sécrétion intense de la salive.
- Augmenter la surface d'attaque par les microorganismes.
- Accélérer son transit vers le feuillet car le passage des ingestas dans le feuillet et la caillette ne peut se faire que si les particules alimentaires sont suffisamment réduits (0,5mm).

III.3.3.3. Les conditions de la rumination

La rumination est soumise à certaines conditions :

- Le rumen doit être suffisamment rempli pour que la masse alimentaire soit au contact du cardia.
- La ration doit contenir des aliments grossiers agissant par leur rugosité sur les alvéoles du réseau.

- Les aliments doivent se trouver dans un milieu suffisamment liquide.
- La rumination a généralement lieu pendant le repos, l'animal est couché pendant 80% du temps de rumination.
- Elle est inhibée par un mauvais état de santé : fièvre, météorisation, douleur.

III.3.3.4. Le contenu du milieu ruminal

Le contenu ruminal est hétérogène. Il comprend trois phases : liquide, solide et gazeuse (Figure 8). La phase gazeuse est majoritairement présente dans la partie haute du sac dorsal. Ce gaz est également présent sous forme de petites poches dans la phase solide du contenu ruminal et de façon dissoute dans la phase liquide. La phase liquide est présente dans la partie ventrale du rumen. La phase solide, elle, est comprise entre les deux phases citées précédemment

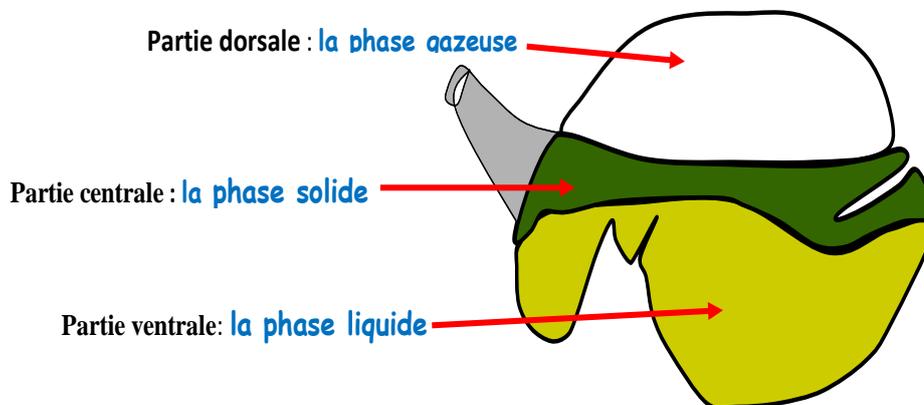


Figure 12 : Représentation schématique du contenu du réticulo-rumen

Le rumen représente également un milieu favorable aux fermentations microbiennes. La population microbienne est constituée essentiellement de bactéries, de protozoaires et de champignons, cela représente quelques milliards par millilitre de jus de rumen qui pèse au totale 2Kg de MS.

Le contenu du milieu ruminal est relativement constant, il se caractérise par :

- Température élevée : 39-40 °C.
- Milieu anaérobie.
- Un pH généralement compris entre 6 et 7, qui est tamponné par l'apport régulier de grandes quantités de bicarbonates et de phosphates contenus dans la salive ;
- un apport régulier de nutriments et d'eau fournis à la fois par l'ingestion des aliments et par la rumination ;
- une élimination continue des produits du métabolisme , soit par absorption à travers la paroi du rumen (acides gras volatils , ammoniac) , soit par passage dans la partie

postérieure du tube digestif (résidus alimentaires, cellules microbiennes), soit par éructation (méthane, gaz carbonique) ;

- une relative constance de l'atmosphère gazeuse située au niveau du sac dorsal (gaz carbonique : 60 – 70 %, méthane : 30 – 40 %) ;
- un brassage permanent assuré par les contractions périodiques de la paroi et par la rumination.

III.3.2. La dégradation biologique des aliments :

L'une des particularités de la digestion chez les ruminants est la participation **des micro-organismes** vivants dans le rumen à la digestion. La microflore ruminale, composée de bactéries, de protozoaires, et de champignons (figure 13), produit des enzymes capables de digérer des glucides, des protéines et des lipides.

Le rumen et le réseau forment une vaste **cuve de fermentation** où les aliments sont soumis à :

- Des actions mécaniques.
- Des actions microbiennes (digestion biologique ou fermentaire).

Cette digestion fermentaire est obligatoire et très efficace car elle conditionne la digestibilité des glucides et des protéines.

a-Bactéries :

Sont la principale composante de la population microbienne du rumen. Elles sont au nombre de 8 à 10 milliards/ ml de jus de rumen. Elle constitue environ 50 % de la biomasse microbienne. Les bactéries du rumen sont généralement classées en fonction des substrats qu'elles sont capables de fermenter ou de dégrader ; on peut citer les bactéries cellulolytiques, amylolytiques, lactiques.....etc

- **la population des bactéries cellulolytiques (fibrobactères et des ruminococcus) :** leurs pH préférentiel se situe autour de 6,5. En dessous d'un pH de 6 leur nombre se réduit beaucoup.

- **La population amylolytique (bactéroïdes, amylophilus) :** elles ont une activité à pH plus bas. Leur activité fermentaire est limitée en cas de forte disponibilité d'amidon (une partie de l'amidon est évacuée dans l'intestin).

- **La population lactique :** elle prospère à pH acide et reste active à pH égal à 5. Elles synthétisent l'acide lactique à partir des oses. Si la flore lactique est encore active à pH égal à 5, la flore cellulolytique disparaît, dans ce cas l'accumulation d'acide lactique provoque l'acidose métabolique (cas des rations riches en sucres solubles).

Certaines espèces bactériennes synthétisent en abondance les vitamines de groupe B assurant ainsi la couverture des besoins de l'organisme.

b-Les protozoaires :

Sont des cellules eucaryotes, unicellulaires, mobiles grâce à la présence des cils et des flagelles. Ils représentent 40% de la biomasse.

Ils sont très sensibles aux conditions dans le rumen, aux caractères de la ration et aux nombres de repas. A un pH de 6 à 7 ils constituent près de la moitié de la microflore, à pH de 5 ils peuvent disparaître.

Il est à noter que grâce à leurs grands nombres et à leurs mouvements très actifs, les protozoaires participent au mélange et l'émission du contenu du rumen. En plus de leur activité métabolique (digestion de la matière organique) ils peuvent ingérer des bactéries et participer par conséquent à l'équilibre de l'écosystème. Certaines espèces sont cellulolytiques.

c-Les champignons :

C'est une population découverte en 1975 dont la fonction n'est pas encore bien déterminée. Les champignons ne sont pas essentiels à la survie du ruminant, cependant ils facilitent le travail des bactéries et des protozoaires en participant directement à la digestion des parois végétales.

d-Les Archées

Au sein du microbiote ruminal, figurent également des Archées méthanogènes qui utilisent le dihydrogène produit par le métabolisme bactérien, en conditions anaérobies, pour réduire le dioxyde de carbone en méthane. Cette réaction est nécessaire car la présence en excès de dihydrogène inhiberait les fermentations et donc le fonctionnement du rumen. Dans le gros intestin ce sont principalement les Bactéries acétogènes qui remplissent cette fonction. Les Archées ne participent pas directement à la digestion ruminale. Elles forment une population peu abondante et probablement peu diversifiée et encore peu connue.

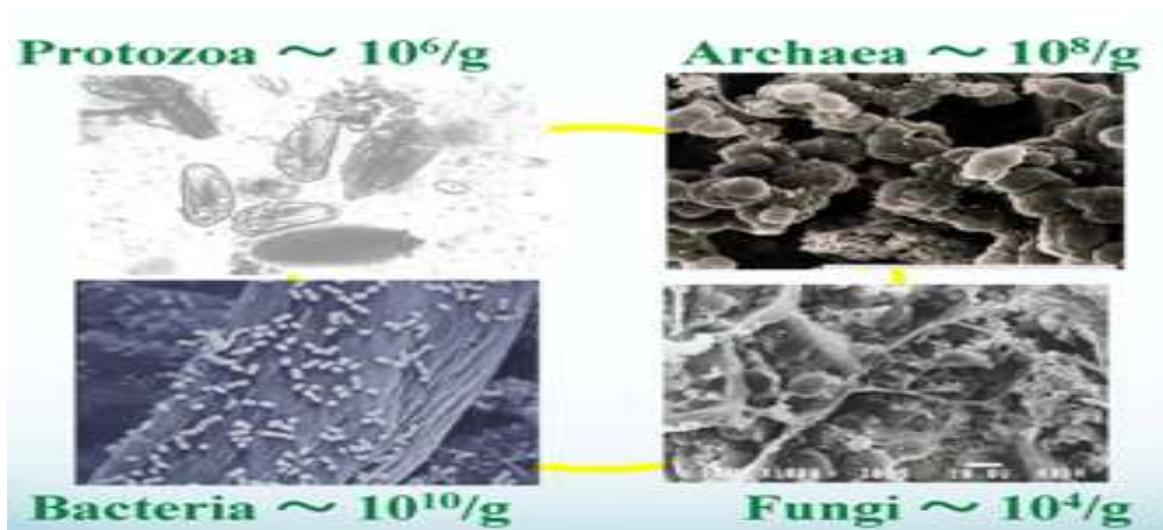


Figure 13: Le microbiote ruminal

III.3.2.3. La symbiose :

Les microbes vivent pour eux même, mais l'animal en tire profit, l'animal héberge les microorganismes auxquelles il fournit :

- Des aliments énergétiques (sucres solubles ...).
- Des aliments plastiques (matières azotées, sels minéraux...).

L'animal tire profit de la présence des microbes en utilisant leurs produits de déchets (AGV), il bénéficie de l'ensemble des vitamines du groupe B, de la vitamine K.

-Il digère la propre substance des microbes après leurs lyses au niveau de l'intestin (l'amidon microbien, les protéines microbiennes, le glycogène).

-Ainsi le ruminant manifeste des aptitudes digestives exceptionnelles lui permettant de tirer parti de la cellulose, de l'azote et des vitamines.

III.4. La digestion dans le feuillet :

Le feuillet se remplit par l'orifice réticulo-omasal qui laisse pénétrer les particules fines (0,5mm). Les particules fibreuses et de grandes tailles sont refoulées vers le rumen, ainsi la même particule peut être soumise à de nombreuses mastications méryciques (cas de la lignine).

Le feuillet n'a pas de sécrétions digestibles, il intervient par le biais de ses lames dans l'émiettement des aliments. Malgré sa petite taille, le feuillet a une grande capacité d'absorption de l'eau, des électrolytes et des AGV qui ont échappé à l'absorption dans le rumen.

III.5. Digestion dans la caillette (digestion chimique):

Chez le ruminant les digestas arrivent dans la caillette et s'y séjournent très peu (une demi-heure à une heure). Les fonctions de la caillette correspondent à celle de l'estomac des monogastriques :

-Ils ont une même composition du suc gastrique sauf que la concentration en HCl et l'activité protéolytique du suc de la caillette est plus faible. Sa production atteint 100L/jour chez le bœuf.

Les sécrétions chimiques dans la caillette vont compléter la dégradation des aliments déjà commencés dans le rumen.

Les microorganismes arrivent dans la caillette vont être tués par l'acidité. La sécrétion du suc gastrique dans la caillette est continue car elle est entretenue par le passage permanent des digestas et par des repas dont la durée s'étale sur plus de 1/3 de la journée.

Les contractions de la caillette sont plus lentes, les mouvements péristaltiques débutent dans la région du pylore. Comme celle de l'estomac des monogastriques, les contractions de la

caillette sont aussi influencées par le contenu du duodénum (l'élimination du contenu duodénal entraîne un accroissement des contractions de la caillette). L'absorption porterait aussi sur les AGV non absorbés dans le feuillet.

III.6. La digestion dans l'intestin grêle (digestion chimique):

Les mécanismes de digestion et de l'absorption dans l'intestin grêle sont les mêmes que chez les monogastriques. Le chyme sera mis en contact avec des sucs digestifs qui vont poursuivre sa dégradation ; il s'agit :

a-Des enzymes du suc pancréatique :

Sécrétées par le pancréas : la trypsine, la chymotrypsine, la carboxypeptidases, la lipase, la cholestérol estérase, l'amylase, la ribonucléase.

b-Le suc intestinal

Est un mélange de sécrétions des glandes intestinales (qui sécrètent des enzymes : une saccharase, une lactase, une amylase, une maltase, une lipase et l'érypsine) et de l'épithélium de surface de l'intestin formé de : mucus, de leucocytes, de débris cellulaires (cellules épithéliales desquamantes).

c-La bile

Elle est produite de façon continue par le foie, elle est à la fois un excréta et un produit de sécrétion car d'une part elle sert à éliminer de l'organisme un certain nombre de produits terminaux (pigments biliaires), d'autre part elle contient des acides biliaires qui jouent un rôle essentiel dans la digestion.

La bile est indispensable à la dégradation des graisses, cela se fait par une action considérable sur le suc pancréatique permettant l'activation de la lipase pancréatique.

- La bile augmente le pH du contenu du tube digestif à sa sortie de l'estomac en le rapprochant du pH optimal pour l'activité des enzymes pancréatiques.
- Les acides biliaires jouent un rôle dans l'absorption des acides gras, du cholestérol et des vitamines liposolubles.
- Elle renforce les mouvements péristaltiques de l'intestin.
- Elle a un pouvoir antiputride et antiférentescible en empêchant la pullulation de beaucoup d'espèces bactériennes.

III.5- Digestion dans le gros intestin :

Le gros intestin ne produit pas de suc. Tous les produits de la digestion sont absorbés dans l'intestin grêle, lorsque le contenu intestinal arrive au niveau du côlon il est l'objet de deux phénomènes principaux : déshydratation et digestion microbienne.

a-Déshydratation (formation des fèces)

L'eau est réabsorbée en quantité notable par la muqueuse du côlon, cette réabsorption correspond à la formation des fèces ; sur 500g du chyme il ne reste que 125g de fèces. Le côlon est le siège de réabsorption des minéraux.

b- Digestion microbienne :

La population microbienne du gros intestin est caractérisée par des bactéries peu différentes de celles du rumen/ réseau, mais en quantités moins importantes; il existe des :

- Fermentations glucidiques :

Ces phénomènes fermentaires servent avant tous à la digestion de la cellulose, les produits du métabolisme sont absorbés par la muqueuse du gros intestin.

- Fermentations protidiques :

Chez les herbivores et les ruminants, le gros intestin est le siège de synthèse et de protéolyse dont les produits terminaux notamment l'ammoniac est absorbé dans le gros intestin puis transformé en urée dans le foie. Les bactéries jouent un rôle dans la synthèse des vitamines du groupe B et la vitamine K.

Le gros intestin joue un rôle important dans l'absorption de l'eau et de certains minéraux majeurs comme chez toutes les espèces.

CHAPITRE IV : Dégradation des aliments

IV.1. Digestion des glucides (Figure 14, 15 et 16):

Grâce à un extraordinaire équipement enzymatique, la population microbienne du rumen/réseau hydrolyse tous les glucides en oses (hexoses ou pentoses) :

- **Les glucides solubles** : sont hydrolysés de manière très rapide et en totalité
- **Les glucides de réserve** (amidon des céréales) : sont dégradés de 90 à 95 % dans le rumen par les bactéries amylolytiques.
- **Les glucides pariétaux** (cellulose, hémicellulose et pectines) ; par les bactéries cellulotiques

La dégradation des glucides se fait en deux étapes : hydrolyse et fermentation.

- **Phase d'hydrolyse :**

Grâce aux enzymes bactériennes, les glucides de la ration peuvent être hydrolysés en oses. Le degré de dégradation des glucides dans le rumen dépend de leurs propriétés physiques et chimiques. Ainsi les glucides solubles sont totalement hydrolysés, donc ils disparaissent totalement du rumen.

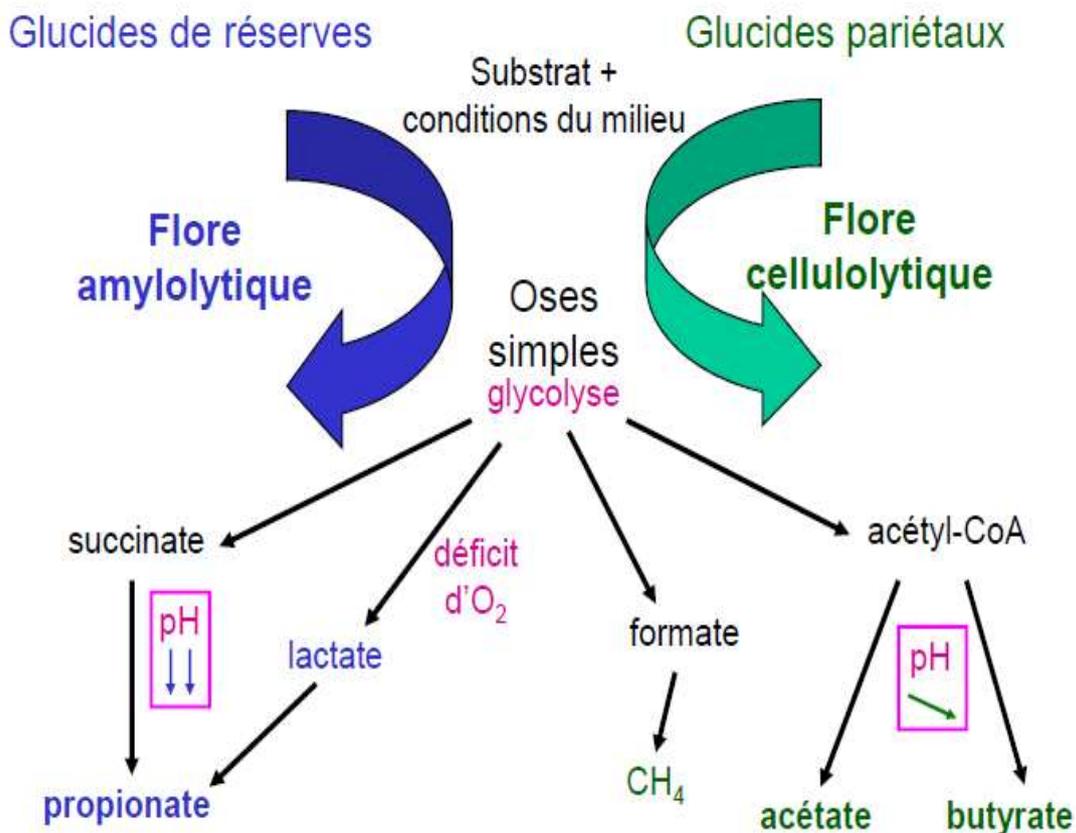


Figure 14 : Fermentation microbienne des glucides

- **Phase de fermentation :**

Le glucose ainsi formé, va ensuite être converti par des fermentations microbiennes en un métabolite intermédiaire, **l'acide pyruvique**. Celui-ci subit une dégradation ultérieure, qui va aboutir à la formation :

- des AGV,
- de la chaleur
- et des gaz de fermentation (CO₂, CH₄).

En effet, la population microbienne du rumen-réseau tire de la fermentation des oses provenant de l'hydrolyse des glucides pariétaux, l'énergie (ATP) et le carbone qui lui sont nécessaires pour son entretien, sa croissance et sa prolifération.

Les produits de cette fermentation sont un mélange d'acides organiques à courte chaîne, dits **acides gras volatils (AGV)**, essentiellement acétique, propionique et butyrique, et des gaz (gaz carbonique et méthane). Les produits intermédiaires (acides succiniques et lactique) sont généralement utilisés par les microbes au fur et à mesure de leur formation.

Le ruminant trouve la majeure partie de l'énergie dont il a besoin dans les acides gras volatils (AGV) issus de la dégradation des glucides. Ils peuvent lui fournir de 65 à 75 % de l'énergie absorbée.

Avec les régimes habituels à base de fourrage utilisés par les ruminants, les proportions relatives des AGV sont les suivantes (en % molécules)

- Acide acétique (C₂) 60 à 70 %
- Acide propionique (C₃) 15 à 20 %
- Acide butyrique (C₄) 10 à 15 %
- Autres AGV 2 à 5 %

Les gaz formés au cours des processus fermentaires, CO₂ et CH₄ représentent des pertes énergétiques pour les ruminants et sont rejetés par éructation.

N.B : La production de ces gaz dépend de l'intensité des fermentations microbiennes ; elle augmente ainsi avec la digestibilité de la matière organique de la ration et diminue en fonction des facteurs qui limitent le temps de séjour des aliments dans le rumen (comme le broyage, l'agglomération, l'action des agents chimiques ou biologiques).

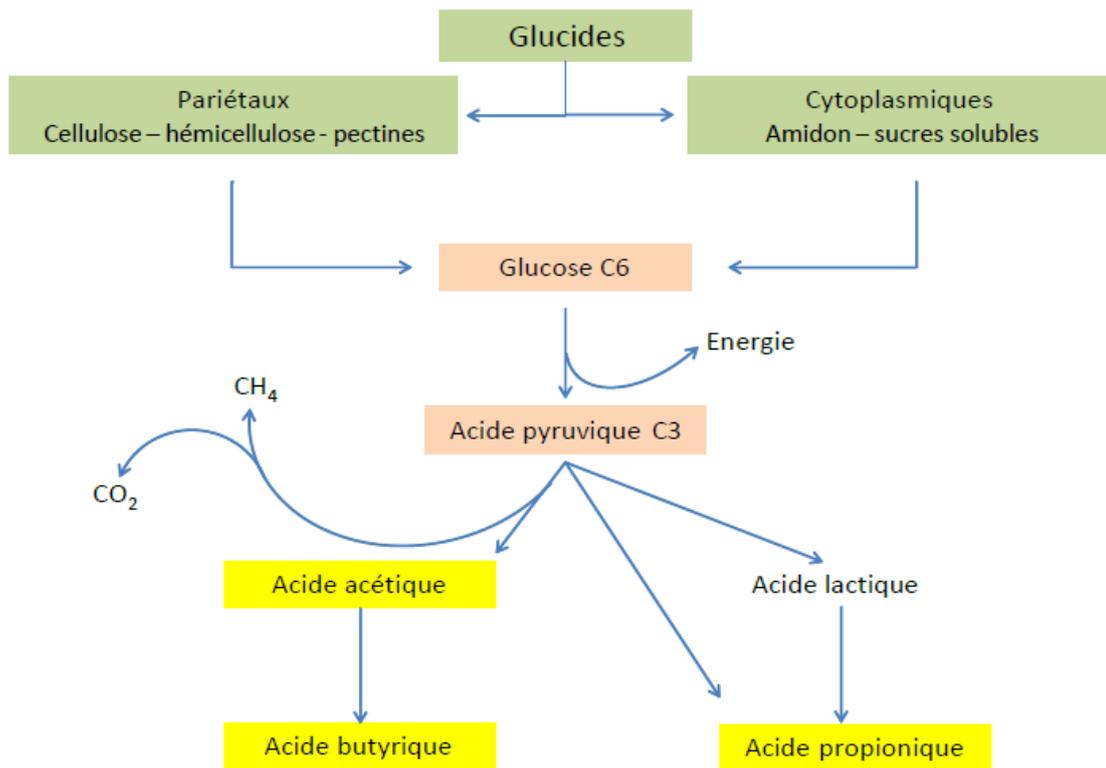


Figure 15: Schéma de la digestion des glucides dans le rumen

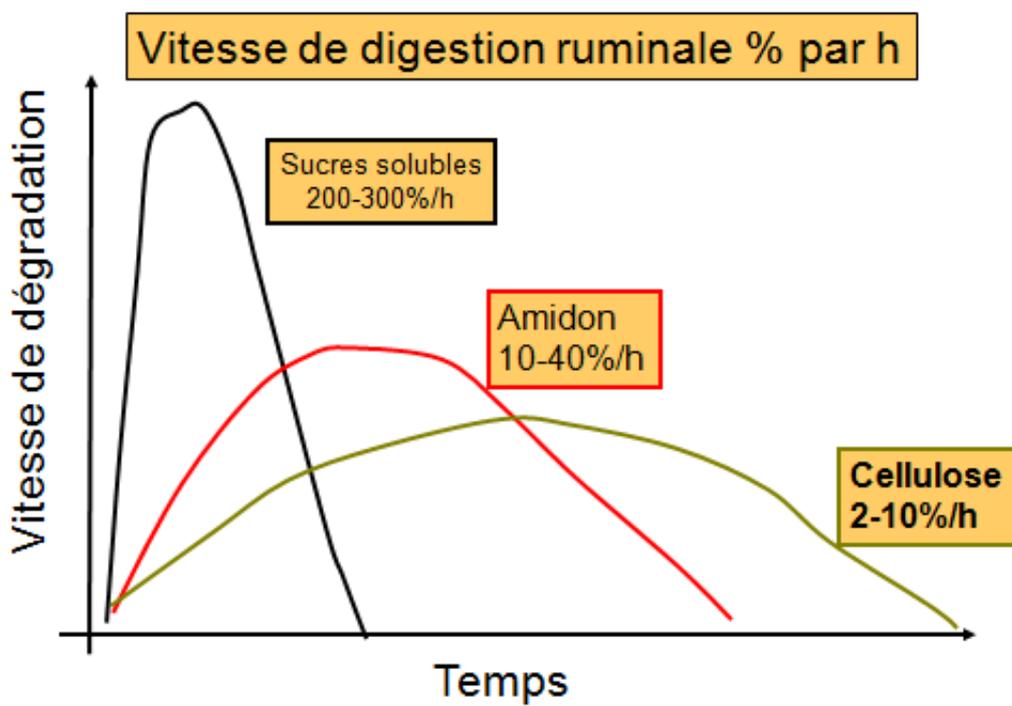


Figure 16 : Vitesse de digestion des glucides ruminale en % par heure

IV.2. Digestion des matières azotées (figure 17 et 18) :

Les ruminants peuvent utiliser non seulement les matières azotées protéiques (acides aminés libres, peptides et polypeptides), mais également les matières azotées non protéiques (amides, amines, urée). L'utilisation des matières azotées est le résultat de deux phénomènes : dégradation et synthèse.

IV.2.1. Dégradation (protéolyse) : toutes les matières azotées non protéiques et une partie des protéines alimentaires (fermentescibles) sont décomposées en ammoniac (NH_3) par les microbes, l'autre partie des protéines alimentaires (insolubles) passe dans l'intestin grêle où elles constituent les protéines digestibles intestinales d'origine alimentaires (PDIA) et donnera des acides aminés sous l'action des sucs digestifs.

L'**ammoniac** formé lors de la protéolyse va suivre deux principales voies :

- Si l'ammoniac formé est en excès lors du régime riche en matières azotées, une partie va être absorbée par la muqueuse du rumen et sera transformé en urée par le foie.

Dans ce cas près de 50% de l'urée synthétisé dans le foie suit le cycle rumino-hépatique c'est-à-dire revient par diffusion dans le rumen. Une autre est recyclée dans la salive où elle peut également retourner dans le rumen (urée endogène). Une dernière fraction sera éliminée avec les urines.

- Si l'ammoniac (NH_3) formé n'est pas en excès et si la ration contient suffisamment d'énergie, l'ammoniac est repris par les microbes et subit une resynthèse.

IV.2.2. Synthèse (la protéosynthèse microbienne) : les réactions de synthèse consistent en une néoformation des protéines à partir de l'ammoniac, des éléments carbonés (C,H,O) provenant des glucides et de la dégradation des matières azotées, les micro-organismes synthétisent leurs propres protéines. Ces protéines microbiennes constituent les PDIM qui sont avec les PDIA les principaux fournisseurs d'acides aminés pour l'animal.

IV.2.3. Digestion gastrique et intestinale de toutes les protéines :

A la sortie du rumen-réseau, le contenu de la panse trouve les mêmes diastases gastriques et intestinales que celles des monogastriques, diastases chargées de digérer les protéines : Pepsine gastrique, la trypsine pancréatiques et l'érepsine intestinale. Ces diastases transforment en polypeptides puis en acides aminés l'ensemble des protéines (d'origine alimentaires non décomposées par la micro-flore du rumen et les protéines microbiennes).

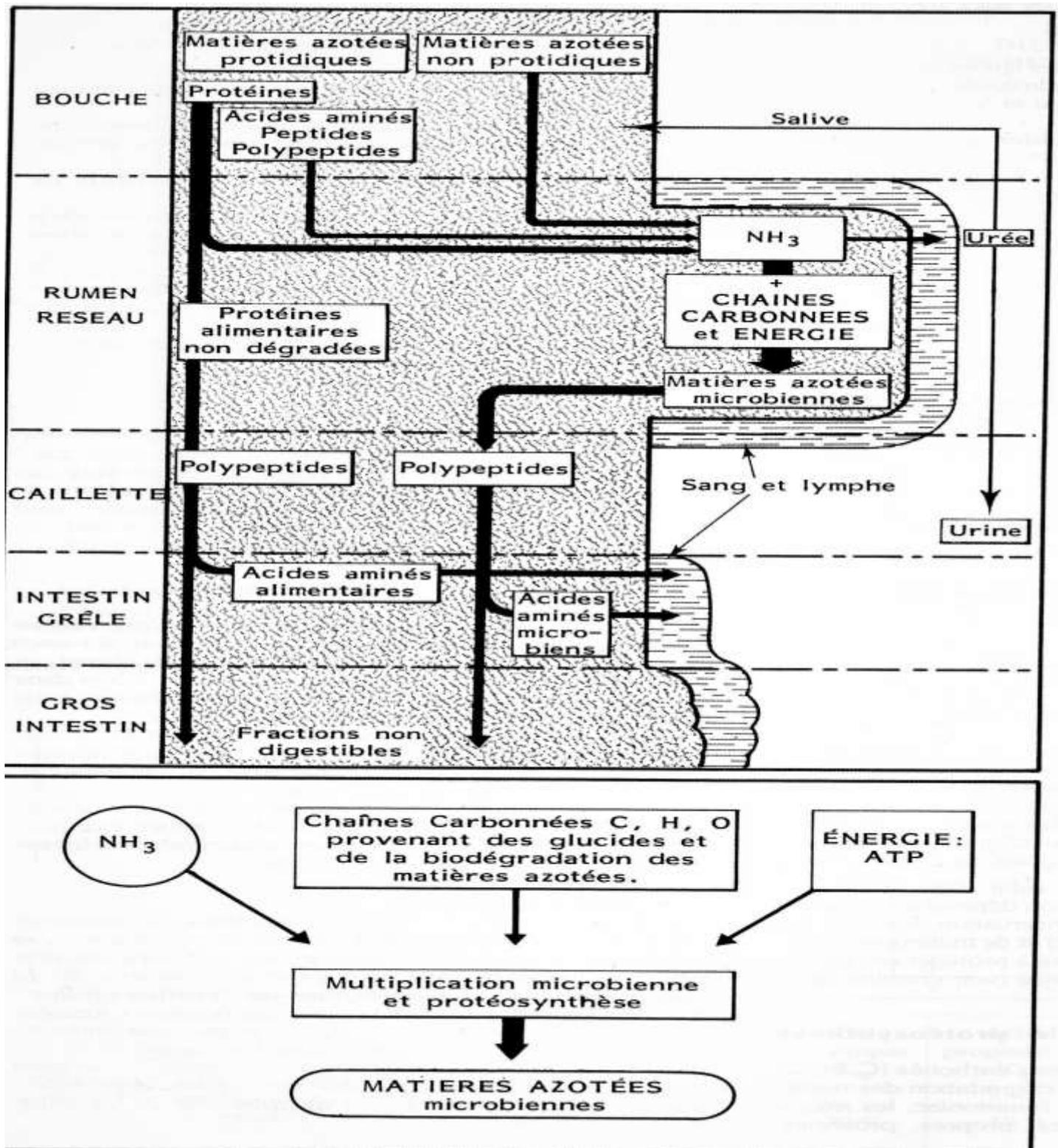


Figure 17 : La digestion des matières azotées par les ruminants (Soltner, 2016)

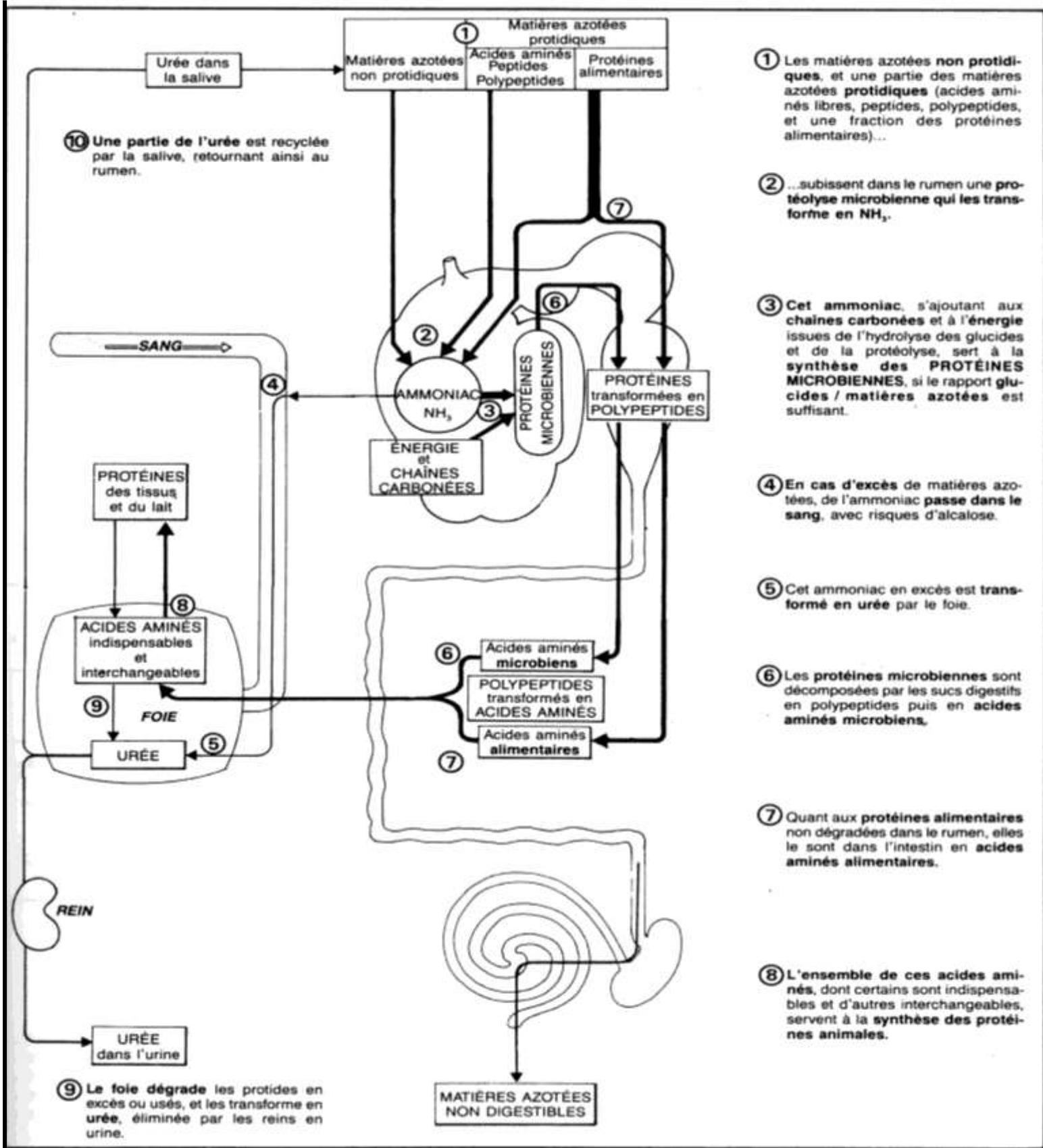


Figure 18: Une autre présentation de la digestion des matières azotées et l'absorption des produits obtenus (Soltner, 2016)

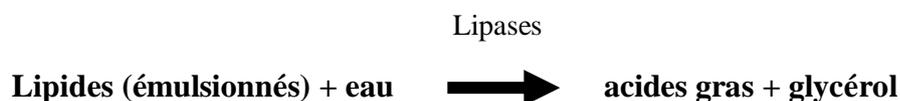
NB : Grâce à cette microflore le problème de la qualité des protéines ne se pose pas chez les ruminants. L'éleveur ne doit jamais oublier qu'avant nourrir l'animal, il nourrit la flore microbienne de celui-ci. En plus de la matière azotée il faudrait fournir l'énergie indispensable au bon fonctionnement de la microflore.

IV.3- Digestion des lipides

Présents en faible quantité (2 à 6%) dans la MS de la plupart des aliments des ruminants, les lipides arrivant dans le rumen sont constitués par des triglycérides et des acides gras libres. Les lipides des fourrages, des grains et des graines sont caractérisés par leur richesse en acides gras longs insaturés.

Les lipides sont efficacement digérés dans l'intestin, grâce à la bile et au suc pancréatique ; la bile joue un rôle particulièrement important en apportant des phospholipides qui facilitent la mise en solution micellaire des acides gras insaturés. Dans le duodénum, l'apport de lipides par la bile entraîne une augmentation marquée des quantités d'acides gras insaturés, de phospholipides et de cholestérol.

Chez les non ruminants, les lipides ou corps gras sont émulsionnés par la bile et hydrolysés en glycérol et acides gras par le suc pancréatique et le suc intestinal :



IV.4. Les éléments minéraux et la digestion microbienne au niveau du rumen-réseau.

Comme tous les mammifères, les herbivores doivent trouver dans leur régime alimentaire tous les éléments minéraux indispensables en quantités suffisantes. Compte tenu des risques d'insuffisance d'apport en éléments minéraux des rations à base de fourrages des ruminants, l'attention des nutritionnistes est attirée sur les éléments minéraux suivants : P, Ca, Na, Mg, S (Pour la laine), Zn, Cu, Co.

Les plantes fourragères peuvent souffrir de carences en oligo-éléments. Ces carences sont responsables de la baisse des productions et de la reproduction des animaux qui y pâturent. Les teneurs en oligo-éléments des micro-organismes du rumen sont généralement bien supérieures à celles des aliments que l'animal prend.

Certains oligo-éléments comme le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cobalt (Co), le molybdène (Mo) régulent de nombreuses activités enzymatiques bactériennes.

Certains minéraux majeurs (P et S) jouent un rôle essentiel dans l'optimisation des fermentations dans le rumen.

Certains d'entre eux rentrent dans la composition d'éléments cellulaires comme les ribosomes ou les membranes.

Devenir des corps microbiens

La quantité de substances microbiennes formée est en moyenne proportionnelle à la quantité d'énergie disponible dans le rumen, ou à la quantité de matière organique digestible qui y disparaît.

La majeure partie des corps bactériens formés passe dans le feuillet en suspension dans le liquide ou fixée sur les résidus alimentaires. Une partie est détruite à l'intérieur du rumen par différents mécanismes.

Par contre la totalité des corps microbiens formés dans le gros intestin sont excrétés avec les déjections dont ils représentent la majeure partie de l'azote.

CHAPITRE V. Absorption et l'utilisation des produits de la digestion

A la fin de la digestion, le contenu digestif se réduit aux substances suivantes, provenant des aliments et des corps microbiens :

a- Des nutriments

- ❖ Eau, des vitamines, des sels minéraux
- ❖ Sucres simples (C6), glucose, lévulose, galactose
- ❖ Acides gras, volatils ou à nombre de C élevé, et du glycérol
- ❖ Acides aminés

b- Des produits non digérés

- ❖ Constituent les excréments

V.1. L'absorption

L'absorption (le passage des nutriments dans le sang et la lymphe) a principalement lieu au niveau de l'intestin grêle. Mais elle s'effectue également à travers les muqueuses des pré-estomacs des ruminants et de gros intestin.

- **La muqueuse du rumen/réseau** : absorbe les AGV provenant de la dégradation de la cellulose, l'ammoniac en excès, mais avec des risques d'intoxication en cas de forte absorption, en plus de l'absorption de certains minéraux (Mg, S, P, Ca).
- **La muqueuse du feuillet** : absorbe beaucoup d'eau et de sels minéraux (Mg, Na). Leur résorption favorise l'acidification des aliments dans la caillette.

Les muqueuses du feuillet et de la caillette absorbent le reste des AGV qui n'auraient pas eu le temps d'être absorbés par le rumen, soit 18 à 30 % du total.

- **La muqueuse de l'intestin grêle** : absorbe tous les nutriments (glucose, glycérol, acides gras à longues chaînes issus des corps gras, acides aminés, minéraux (Ca, P, K, Cl), vitamines et eau. Son rôle est prépondérant chez les monogastriques.
- **La muqueuse du gros intestin** absorbe surtout de l'eau et des sels minéraux (Na, Cl, Mg, Ca), des AGV (essentiellement de l'acide acétique), de l'acide lactique et du NH₃.

V.2. Utilisation métabolique des nutriments

Les nutriments énergétiques et plastiques sont transportés par le sang jusqu'au foie, puis apportés aux cellules où ils vont participer à une multitude de réactions chimiques nécessaires à la vie et qui constituent le métabolisme.

V.2. 1. Les nutriments énergétiques :

-Les ruminants tirent leur énergie des acides gras volatils (AGV) issus de la dégradation de la cellulose, ils constituent la principale source d'énergie des ruminants 66 à 75 % de l'énergie disponible pour l'organisme.

A cet effet, le taux de glucose sanguin des ruminants est inférieur à celui des monogastriques alors que leur taux d'acides gras volatils est plus élevé.

Notons que, que les AGV absorbés sont partiellement métabolisés par l'épithélium ruminal. Environ 30 % de l'acétate, 50 % du propionate, et 75 à 85 % du butyrate produits dans le rumen sont utilisés ou métabolisés par la paroi du tube digestif.

Les AGV, amenés au foie par le sang et y transformés en glycogène et en glucose seront :

- Soit oxydés par les cellules avec production d'énergie, notamment dans les muscles
- Soit utilisés pour la synthèse des acides gras du lait
- Soit utilisés pour la synthèse des glucides du lait

-Les monogastriques utilisent le glucose comme source d'énergie. Stockés dans le foie sous forme de glycogène, il est régulièrement mis à la disposition des cellules grâce à une chaîne de réactions connues sous le nom de cycle de Krebs.

Le glucose peut également servir à

- La synthèse du glycérol et des acides gras, aboutissant à la mise en réserve des graisses et à la synthèse des MG du lait.
- La synthèse de glucides du lait (le lactose)

V.2.2. Les nutriments plastiques :

Ils servent à façonner l'organisme

- Les acides aminés : servent à la synthèse des protéines. Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires pour le maintien des fonctions vitales, la croissance, la reproduction et la lactation. Les animaux non-ruminants ont besoin d'acides aminés préformés dans leur ration. Par contre, grâce aux microbes présents dans le rumen, les ruminants possèdent la capacité de synthétiser les acides aminés à partir d'azote non-protéique (ANP) telles que l'ammoniac ou l'urée qui peuvent donc être utilisés dans leur ration.
- L'eau et les sels minéraux entrent dans la constitution des liquides cellulaires et intercellulaires, des sécrétions de l'organisme et du squelette.

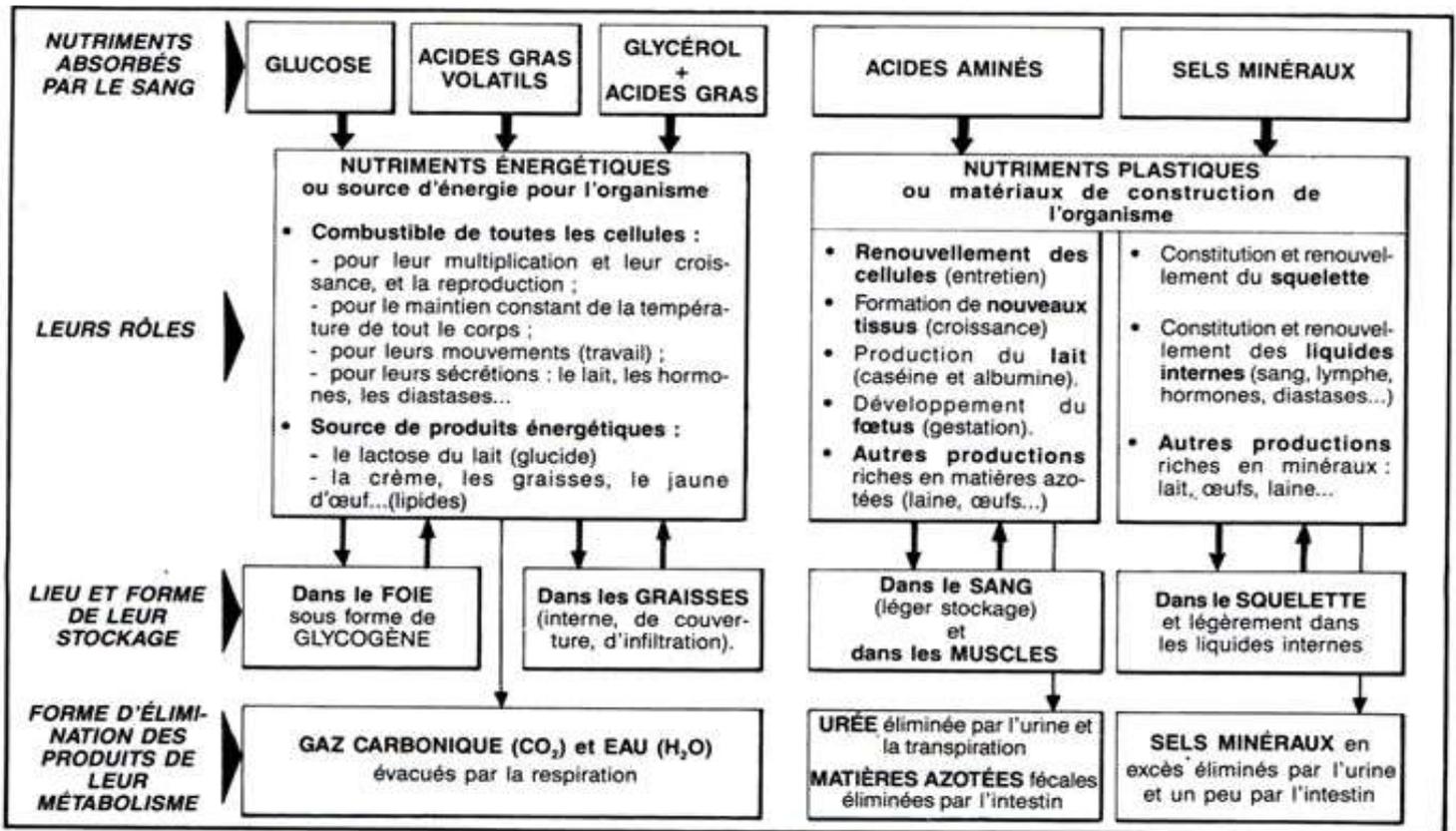


Figure 19 : Rôles, stockage, élimination des produits de la dige (Soltner, 2016)

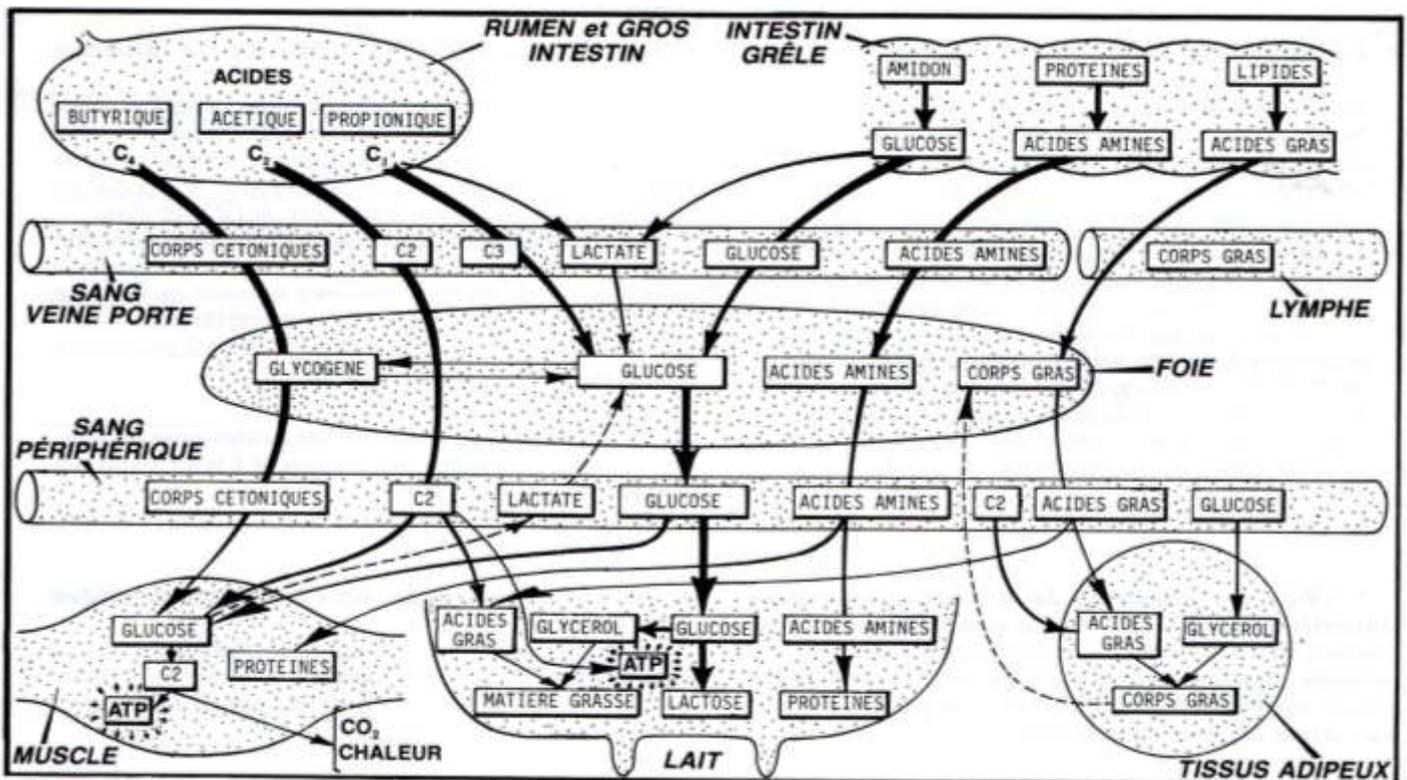


Figure 20 : Schéma simplifié du métabolisme des produits de la digestion chez les ruminants

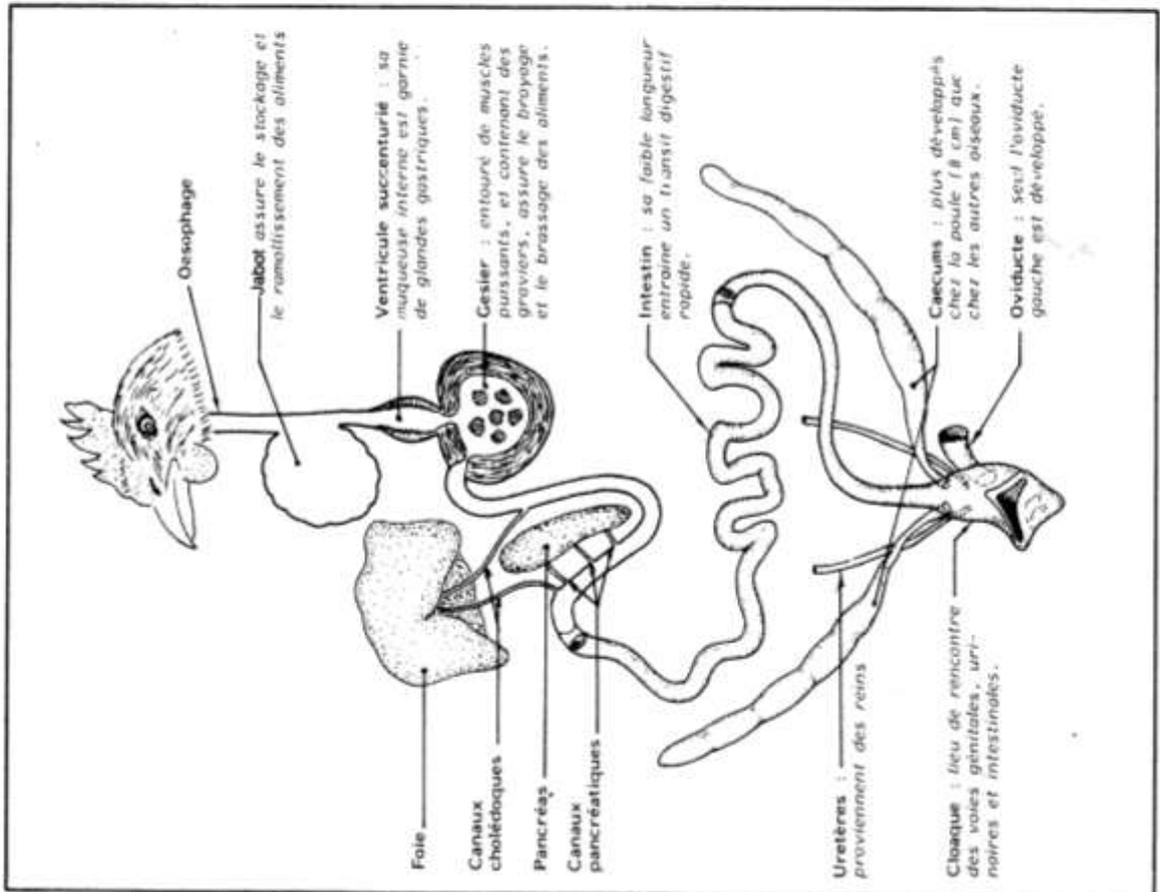
(Soltner, 2016)

Références bibliographiques

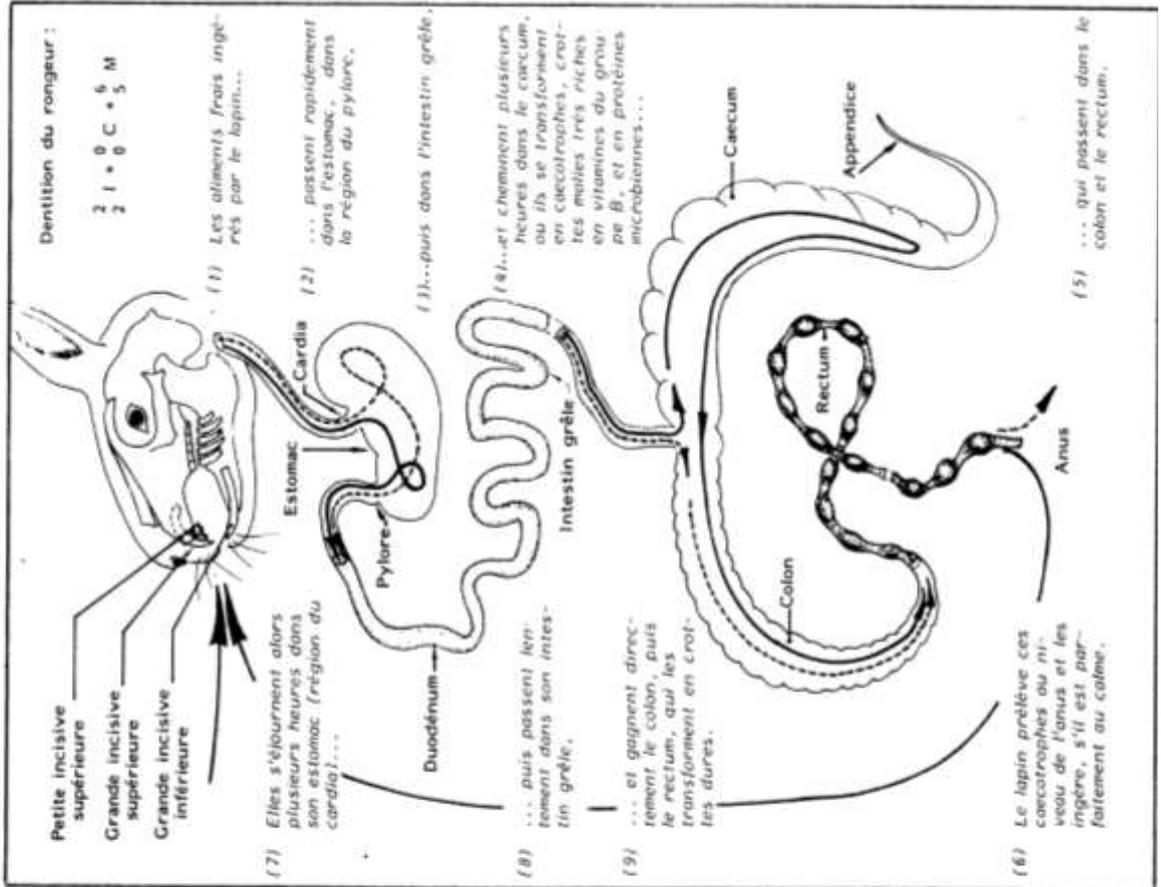
- **Barone R. 1997.** Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 3: Splanchnologie 1. Appareil digestif. Appareil respiratoire. 3^{ème} édition Paris : Vigot. 853 p.
- **Delteil L, Brechet C., Fournier E., Leborgne M.C. 2012.** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Tome 1 . Educagri éditions. 3^e édition. 287 pages.
- **Drogoul C., Gadoud R., Joseph M.M., Jussiau R., Lisberney M.J ., Mangeol B., Montaméas L., Tarrit A. 2004.** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Edicagri édition. T1 : 270p
- **Drogoul C., Gadoud R., Joseph M.M., Jussiau R., Lisberney M.J ., Mangeol B., Montaméas L., Tarrit A. 2012.** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Edicagri édition. T1. 3^{ème} Ed. 287p.
- **Gallouin F., Focant M.1980.** Bases physiologiques du comportement alimentaire chez les ruminants. Reproduction Nutrition Développement, 1980, 20 (5B), pp.1563-1614.
- **Ginane C., Dumont B. , Baumont R., Prache S., Fleurance G., Farruggia A. 2008.** Comprendre le comportement alimentaire des herbivores au pâturage : intérêts pour l'élevage et l'environnement. Renc. Rech. Ruminants,315-322.
- **Jarrige R., Ruckebusch Y., Demarquilly C., Farce M.-H., Journet M. 1995.** Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion . INRA Editions. Paris. 921 pages.
- **Meuret M. 1997.** Préhensibilité des aliments chez les petits ruminants sur parcours en landes et sous-bois.INRA Prod. Anim., 1997, 10 (5), 391-401
- **Nickel R., Schummer A., Seiferle E. 1979.** The Viscera of the Domestic Mammals. Second revised edition Berline, Germany: Verlag Paul Parey;. 393p.
- **Soltner D. 2016.** Alimentation des animaux domestiques. Tome I : les principes de l'alimentation des bovins, ovins, caprins, porcins. 23^eédition. 180 pages.
- **Ruckebusch Y., Demarquilly C., Farce M.H., Journet M., Jarrige R. 1995.** Nutrition des ruminants domestiques : Ingestion et digestion. 1^e édition, INRA. 922 pages.
- **Toutain P.L., Bousquet-Mélou A., Gayrard V. 2006.** La physiologie digestive chez les animaux domestiques. ENV Toulouse. 184 pages.
- Revue INRA productions animales <http://www6.inra.fr/productionsanimales/>

ANNEXES

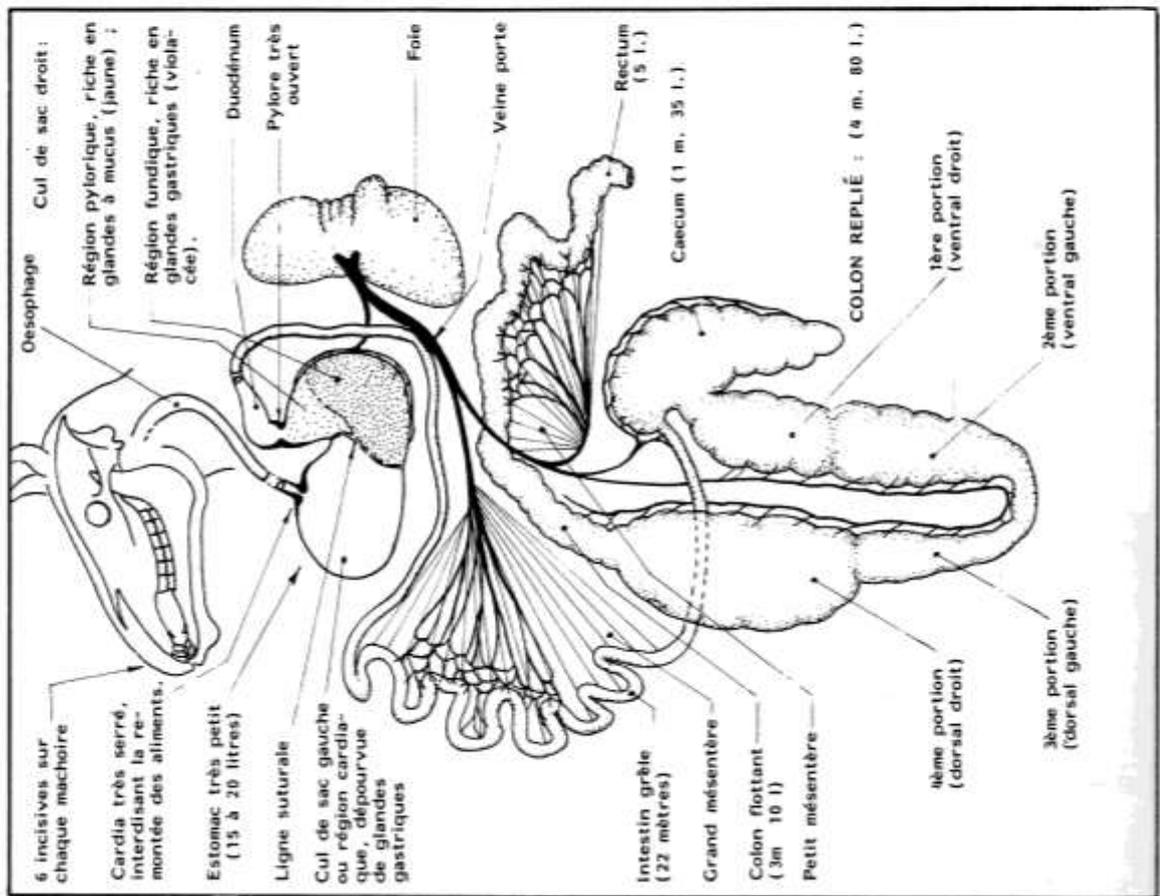
L'APPAREIL DIGESTIF DE LA POULE



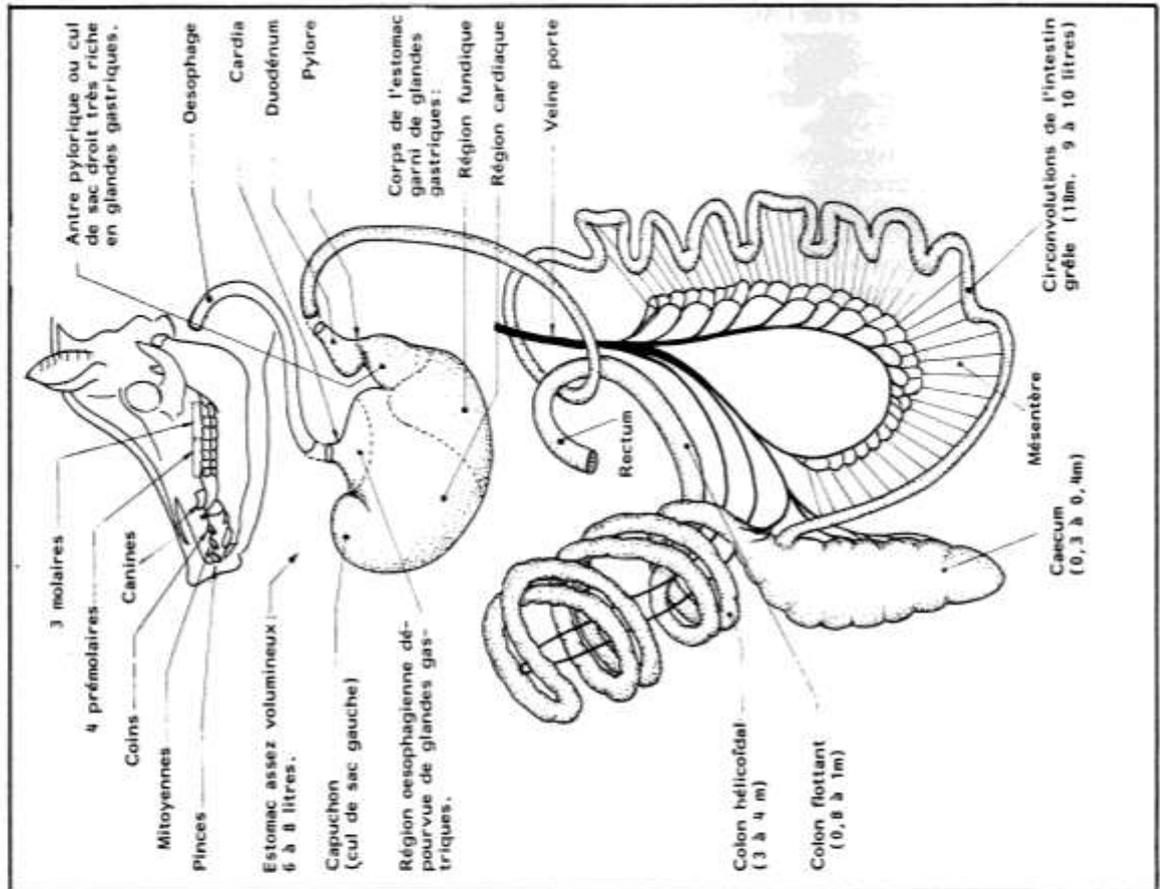
L'APPAREIL DIGESTIF DU LAPIN et le mécanisme de la caecotrophie.



L'APPAREIL DIGESTIF DU CHEVAL



L'APPAREIL DIGESTIF DU PORC

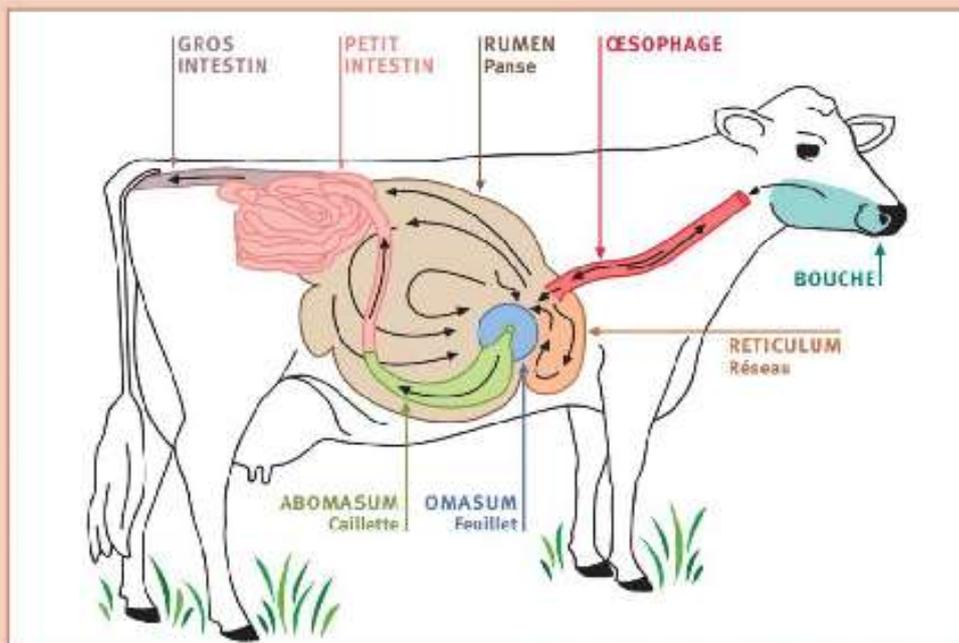


7) **Le gros intestin : formation de fèces**
absorption de l'eau et formation des matières fécales.

6) **Le caecum : fermentation**
> fermentation, par une population bactérienne, des produits de la digestion intestinale non absorbés.

5) **L'intestin grêle (petit intestin) : digestion et absorption**
> sécrétion d'enzymes digestives par la paroi de l'intestin et le pancréas.
> digestion enzymatique des hydrates de carbone, des protéines et des lipides.
> absorption de l'eau, de minéraux et des produits de la digestion intestinale (glucose, acides aminés et acides gras).

1) **la bouche : rumination et production de salive**
> la mastication permet la réduction de la dimension des particules et facilite l'attaque de la fibre pendant la fermentation microbienne.
> entre 160 et 180 litres de salive sont produits par jour (durant les 6 à 8 heures de mastication). La salive est une substance tampon (contenant des bicarbonates et phosphates) qui neutralise des acides produits par la fermentation microbienne et maintient le pH du rumen à une acidité neutre (proche de 6,5 - 7), ce qui favorise la croissance microbienne et donc favorise la digestion.



4) **L'abomasum (caillette) : digestion acide**
> estomac similaire à celui des non-ruminants.
> sécrétion d'acide chlorhydrique et de nombreuses enzymes digestives.
> digestion des protéines qui ont échappé à la fermentation ruminale.
> digestion des protéines bactériennes produites dans le rumen (0,5 à 2,5 kg par jour).

3) **L'omasum (feuillet) : recyclage de certains nutriments**
> organe de forme sphérique de 10 litres environ.
> absorption de l'eau, du sodium, du phosphore et des AGV.

2) **Le reticulo-rumen : fermentation**
> rumen : cuve à fermentation de 130 à 180 litres dans la partie antérieure du tube digestif.
> réseau : carrefour où s'effectue le triage des particules qui entrent dans le rumen et celles qui en sortent.
> Rétention des longues particules fibreuses qui stimulent la rumination et la salivation. Ne quittent le rumen pour aller dans l'omasum que les particules de moins de 2 mm de longueur.
> activité microbienne intense qui conduit à la production d'acides gras volatils (AGV qui sont les produits terminaux de la fermentation des sucres) et à la production d'une masse microbienne riche en protéines.
> absorption des AGV à travers la paroi du rumen. Les AGV sont utilisés comme source d'énergie par les cellules du corps ainsi que pour la synthèse du lactose, des protéines et de la matière grasse du lait.
> production et expulsion par éructation de plus de 1000 litres de gaz par jour.

- (-) action faible
- + action notable
- ++ action importante
- +++ action très importante

: absence totale

		BOUCHE	ESTOMAC			INTESTIN GRÈLE	GROS INTESTIN & CÆCUM	
PORC	transit : 4 - 5 jours							
	phénomènes mécaniques	++	+		+		+	
	phénomènes enzymatiques	+	+		+++			
	phénomènes microbiens						+	
	absorption				+++		+	
RUMINANTS	transit : 3 - 12 jours							
	phénomènes mécaniques	+++	++	+		+	+	
	phénomènes enzymatiques					++		
	phénomènes microbiens		+++	+			+	
	absorption		+++	+		++	+	
CHEVAL	transit : ≈ 48 heures							
	phénomènes mécaniques	+++	+		+		+	
	phénomènes enzymatiques		+		+++			
	phénomènes microbiens						++	
	absorption				+++		++	
LAPIN	transit : ≈ 18 heures							
	phénomènes mécaniques	++	+		+			++
	phénomènes enzymatiques	+	+		+++			+
	phénomènes microbiens						++	+
	absorption				+++		+	+
POULET	transit : ≈ 24 heures							
	phénomènes mécaniques	+		+++	+		+	+
	phénomènes enzymatiques	+		+	+++			
	phénomènes microbiens						+	
	absorption				+++		+	

Importance relative des phénomènes digestifs chez différentes espèces.

Tableau: Utilisation des différents substrats par les principaux tissus de l'organisme

Organe	Sources d'énergie	Utilisation de l'énergie	Sources de carbone pour les synthèses
Foie	- A. G courts, moyens - A. G longs	- Néoglucogénèse - Uréogénèse - Protéosynthèse - Synthèse des lipoprotéines	- AGV - AG longs - Acides aminés - Lactose, <u>glycérol</u>
Tube digestif R= Rumen i = intestin	- <u>Acétate</u> , butyrate(R) - AG longs (R) - Glucose (i) - Glutamine (i) - Corps cétoniques (i)	- Absorption - Motricité - Synthèse sécrétions digestives - Renouvellement cellulaire.	- Acides aminés
Rein	- AG longs - Acides aminés	- Excrétion, Réabsorption - Néoglucogénèse - Lutte contre l'acidose	- acides aminés
Tissus adipeux	- Acétate - Glucose - Lactate (±)	- Lipogénèse - Fourniture de NADPH	Acétate principalement Glucose (pour la synthèse de <u>glycérol</u>)
Glande mammaire	- Acétate - Glucose	- Lipogénèse - Protéosynthèse - Synthèse du lactose	- Acétate - Corps cétoniques - AG Longs - Glucose - Acides aminés
Muscles	- AG Longs - Acétate - Corps cétoniques - Glucose	- Contraction musculaire - Protéosynthèse	- Acides aminés
Cerveau et cellules sanguines	- Glucose	- Fonctionnement cellulaire	

Planche 3-8 COMPARAISON DE LA DIGESTION CHEZ LES RUMINANTS ET CHEZ UN MONOGASTRIQUE, LE PORC.

Afin de ne pas surcharger le dessin, la digestion de la cellulose par le porc n'a pas été mentionnée. Cette digestion a lieu cependant partiellement dans le gros intestin : la cellulose est hydrolysée en glucose et le glucose fermente avec formation d'acides gras volatils absorbés par la muqueuse du gros intestin. Cette aptitude n'est exploitée que dans les régimes comportant de la cellulose (pâturage, betteraves, et pailles celluloseuses des céréales et tourteaux).

