



Polycopié pédagogique

Cours et TD

Agronomie II (Animale et Végétale)



Destiné aux étudiants de : 2^{ème} Année LMD

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production Végétale

Nom : ABAIDIA

Prénom : Abdelghafour

Grade : Maître de Conférences « B »

Année universitaire : 2021/2022

AVANT-PROPOS

Ce polycopié rédigé cible comme public les étudiants en deuxième année sciences agronomiques, conformément au programme du comité pédagogique national, dont l'objectif général est d'apporter une vue d'ensemble de conceptions de base et des préoccupations relatives à l'alimentation et nutrition des ruminants.

Ceci implique que l'apprenant doit avoir des pré-requis en anatomie et en physiologie de l'appareil digestif des ruminants domestiques. Dans le but d'assimiler les connaissances en nutrition animale et l'utilisation métabolique des nutriments; ce document cible doit avoir des compétences en biochimie structurale et en biochimie dynamique.

Ce module a été subdivisé en deux grandes parties, l'une **Animale** (la maîtrise de l'alimentation et la nutrition des animaux domestiques), l'autre **Végétale** (la maîtrise des principaux étapes de végétation), pour des objectifs de:

- ✚ Apporter des connaissances en profondeur sur la composition physico-chimique des aliments consommés par les ruminants, afin d'utiliser de façon appropriée les aliments pour le bétail et d'assurer une nutrition optimale de ces animaux.
- ✚ Exposer les particularités anatomo-physiologiques du tube digestif et les interactions du biotope ruminal.
- ✚ Décrire les processus de base de l'utilisation digestive et métabolique dans la nutrition des ruminants.

A l'issue de l'apprentissage de ce cours, l'étudiant sera capable de:

- ✚ Caractériser les différentes catégories d'aliments et leurs composantes chez les polygastriques.
- ✚ Déterminer la valeur nutritionnelle des aliments pour les ruminants et d'utiliser des tables de composition alimentaire.
- ✚ Enumérer les étapes de la digestion dans les différents compartiments gastriques.
- ✚ Connaître les produits terminaux du métabolisme des nutriments et leur devenir dans l'organisme.
- ✚ Enumérer les étapes de cycle d'une plante agricole.

LISTE DES ABREVIATIONS

ADF : Acide Détergent Fiber
ADL : Acide Détergent Lignine
AG : Acides Gras
AGL : Acides Gras Libres plasmatiques
AGV : Acides Gras Volatils
ANDE : Matières azotées non dégradées par les enzymes
ANP : Azote Non Protéique
BA : Besoins Alimentaires
BCS : Body Condition Score
BN : Besoin Net
C3 : Propionate
CB : Cellulose Brute
DE : Dégradation Enzymatique
dE: digestibilité de l'Energie
dMA : digestibilité de la Matière Azotée
dMO : digestibilité de la Matière Organique
dr : Digestibilité réelles des protéines
DT: Degradabilité Theorique
EB: Energie Brute (kcal /kg de MS);
ED: Energie Digestible (kcal / kg de MS)
EM : Energie Métabolisable en Kcal / kg de MS
EN : Energie Nette en Kcal / kg de MS
KI : Rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette pour la production laitière
MAT : Matière Azoté Totale
MG : Matière Grasse
MM : Matière Minérale
MOD : Matières Organiques Digestibles en g/kg de MS
MOF : Matière Organique Fermentescible
MSI : Matière Sèche totale Ingérée
NDF : Neutral Detergent Fiber

NEC : Note d'Etat Corporelle

PDI : Protéines Digestibles dans L'intestin

PDIA : Protéines Digestibles dans L'intestin d'origine Alimentaire

PDIM : Protéines Digestibles dans L'intestin d'origine Microbienne

PDIME: Protéines Digestibles dans L'intestin d'origine Microbienne permises par L'énergie

PDIMN : Protéines Digestibles dans L'intestin d'origine Microbienne permises par L'azote

q : Rendement de l'énergie brute en énergie métabolisable

UE : Unité d'Encombrement

UEB : Unité Encombrement Bovin

UEL : Unité Encombrement Lait

UEM : Unité Encombrement Mouton

UFL : Unité Fourragère Lait

UFV : Unité Fourragère Viande

UM : Rendement de L'utilisation Métabolique

UNT : Unités Nutritives Totales

VL : Vache Laitière

Sommaire

INTRODUCTION.....	01
-------------------	----

PARTIE I : Animale

1. Utilisation et constitution des aliments	02
1.1. Notion d'aliment et d'alimentation	02
1.2. Constitution des aliments	02
1.3. Anatomie comparée de l'appareil digestif et la digestion	08
2. Actions digestives des différentes espèces animales	24
2.1. La digestion chez les ruminants (Bovins)	24
2.2. La digestion chez le poulet	29
2.3. La digestion chez le lapin.....	31
3. Alimentation énergétique.....	35
3.1. Importance.....	35
3.2. Besoins alimentaires.....	36
3.3. Effets de carence en apports énergétiques	37
4. Alimentation Azotée	38
4.1. Importance.....	38
4.2. Besoins alimentaires.....	38
4.3. Effets de carence en apports azoté	40
5. Alimentation minérale et vitaminique.....	40
5.1. Importance.....	40
5.2. Besoins alimentaires.....	41
5.3. Effets de carence et symptômes des minéraux et vitamines.....	41

PARTIE II : Végétale

1. La plante agricole	50
1.1. Relation entre plantes cultivées.....	50
1.2. Les semences.....	52
1.3. Cycle de végétation d'une plante.....	54
2. La plante cultivée, dans son environnement	57
2.1. Conduite d'une culture.....	57
2.2. Rendement d'une culture.....	58
2.3. Préparation du sol.....	58

3. Principaux soins culturaux.....	58
3.1. Fertilisation	58
3.2. La lutte contre les adventices des cultures.....	59
3.3. La lutte contre les adventices des cultures.....	60
4. La récolte.....	60
5. La Fertilisation.....	61
5.1. Notions généraux.....	61
5.2. Les amendements.....	61
5.3. Engrais minéraux.....	62
CONCLUSION	63
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Introduction

Les ruminants domestiques sont des mammifères herbivores polygastriques appartenant à l'ordre des Artiodactyles caractérisés par un appareil digestif proximal composé de quatre compartiments. Aux ruminants vrais (bovins, ovins, caprins) sont associés les tylopodes (camélidés).

Ils occupent une place prépondérante chez les animaux domestiques utilisés en production animale. Ils possèdent la particularité de transformer les végétaux non utilisables par le reste du règne animal en produits de grandes valeurs nutritionnelles pour l'être humain, telles que les protéines contenues dans la viande et le lait (**Sauvant, 2004**).

L'alimentation représente la partie la plus importante des charges opérationnelles de la production animale, alors que l'aliment fourrager demeure le principal facteur limitant en Algérie, c'est ainsi que les charges ayant trait à l'alimentation sont élevées. L'alimentation des animaux est l'un des postes les plus coûteux d'élevage, variant de 25 à 70 % du coût total de production (**Phocas et al., 2014**).

Les éleveurs sont alors obligé d'alimenter leur cheptel avec des fourrages de moindre qualité mais surtout d'utiliser les concentrés d'une manière abusive ce qui déprécie la productivité, augmente les coûts de production et présente un risque élevé de troubles métaboliques (**Kadi et al., 2007; Bousbia et al., 2014**).

L'alimentation a pour objectif de fournir les éléments nutritifs permettant de satisfaire l'ensemble des besoins de l'animal. Ces besoins sont représentés par les besoins d'entretien, de croissance et/ou de production. La couverture de ces besoins permet de maintenir l'animal en bonne santé et d'obtenir une production optimale, si elle est réalisée en respectant la physiologie de l'animal.

Partie 1 : Animale

1. Utilisation et constitution des aliments

Les herbivores et plus spécialement les ruminants représentés par l'importance des bovins, ovins et caprins, occupent une place prépondérante chez les animaux domestiques utilisés à des fins de production.

Ils possèdent la particularité de transformer les végétaux non utilisables par le reste du règne animal en produits de grande valeur nutritionnelle pour l'être humain, telles que les protéines contenues dans la viande et le lait.

Les ruminants sont les seuls à pouvoir valoriser les constituants celluloseux des aliments d'origine végétale. Les ruminants domestiques tirent 90 à 95 % de leur nourriture de l'appareil végétatif aérien des plantes herbacées, des plantes vivrières après leur récolte et des arbustes.

Ces fourrages sont d'une extraordinaire diversité dans leur nature botanique et leurs caractéristiques morphologiques anatomiques et physico-chimiques qui toutes agissent sur leur ingestibilité, leur dégradation dans le rumen et leur digestibilité.

1.1. Notion d'aliment et d'alimentation

L'aliment se définit comme un mélange de différentes substances ou produits ingérés par les animaux, apportant les matières et l'énergie nécessaires à sa survie et son développement.

Un aliment unique est généralement incapable de faire face, seul, à l'ensemble des besoins nutritionnels pour l'entretien et les différentes productions. C'est la raison pour laquelle plusieurs aliments sont associés au sein d'une ration. Par contre, les nutriments sont des substances organiques ou minérales issues de l'alimentation, issues des processus de dégradation et de digestion. Ces molécules sont directement assimilables par l'organisme.

Les aliments seront caractérisés par les résultats de leurs analyses chimiques et par leur groupe d'appartenance typologique.

1.2. Constitution des aliments

Tous les aliments sont constitués des mêmes composants comme illustré dans le tableau 1. Ces éléments sont : l'eau, la matière minérale et la matière organique (glucides, lipides, protéides et composés azotés non protéidiques).

1.2.1. L'eau

Tous les aliments contiennent de l'eau, même ceux qui apparaissent très secs comme les grains et les graines.

L'eau représente un solvant idéal pour plusieurs constituants cellulaires et un grand nombre de molécules. Elle intervient dans de nombreuses réactions biochimiques. L'organisme ne peut pas faire des réserves d'eau et peut réagir très vite à un déficit d'apport ; ce qui confère à l'eau un rôle nutritionnel très important.

L'apport d'eau par les aliments est extrêmement variable en fonction de leur nature ; Chez les ruminants, les fourrages succulents comme l'herbe et les betteraves renferment entre 78 et 92% d'eau (8 à 22% de matière sèche (MS)), ce qui contribue à une couverture du besoin, par contre les foins et les graines ne contiennent que 15 à 20% d'eau (80 à 85% de MS).

Une vache laitière au pâturage consommant ainsi 70 kg d'herbe jeune ingère par cette voie 60 litres d'eau, alors que le même animal consommant 12 kg d'un foin d'excellente qualité n'absorbera que 1,5 litre d'eau. La quantité d'eau de boisson spontanément absorbée peut donc varier considérablement en fonction du degré d'hydratation de la ration et devenir même, dans certains cas, insignifiante.

1.2.2. La matière sèche

La matière sèche est composée de la matière organique et de la matière minérale, obtenue par dessiccation de l'aliment. La matière sèche est le résidu sec. Par ailleurs, du fait de ces grandes variations, la comparaison de la valeur des aliments n'est possible qu'exprimée par kg de MS et non par kg de produit brut.

1.2.2.1. Les substances minérales ou matières minérales

Quel que soit l'origine de l'aliment soit végétale ou animale, il contient des minéraux qui se trouvent sous forme de sels libres ou d'atomes au sein de combinaisons organiques (cas du phosphore dans les acides nucléiques, le soufre dans les acides aminés soufrés et le cobalt dans la vitamine B12).

Les matières minérales totales (ou cendres brutes) représentent de 8 à 15 % de MS des fourrages. Selon leur abondance, on distingue:

1.2.2.1.1. Les macroéléments ou minéraux majeurs

Ce sont les minéraux nécessaires en grandes quantités, ce sont majoritairement les chlorures, les phosphates, les sulfates, les carbonates de calcium, le magnésium et le potassium.

Les fourrages présentent des teneurs minérales variant de 0,2 à 7 g/kg de MS pour le phosphore ; 0,4 à 41 g/kg de MS pour le calcium et 0,3 à 10 g/kg de MS pour le magnésium.

1.2.2.1.2. Les micro-éléments ou oligoéléments

Retrouvés à des concentrations faibles dans l'organisme qui n'a besoin que de petites quantités. Ce sont : le fer, le cuivre, le cobalt, le manganèse, l'iode, le zinc, le sélénium. Les fourrages renferment $5,2 \pm 0,8$ mg/kg de MS en Cuivre et $29,1 \pm 0,4$ mg/kg de MS en Zinc. Il y a 13 autres éléments traces qui sont considérés comme essentiels (sous conditions pour certaines espèces animales), représentés par le chrome, le molybdène, le nickel, le fluor, l'arsenic, le lithium et le rubidium.

Les minéraux sont recommandés pour assurer les importantes fonctions organiques des animaux. Ils peuvent être :

- ✓ Des composants structuraux, des organes et tissus, comme l'os et les dents ;
- ✓ Des éléments constituant les fluides du corps.

Les minéraux peuvent être des électrolytes et joueraient un rôle physiologique important dans la pression osmotique, la balance acido-basique, la perméabilité de la membrane, la transmission nerveuse, la régulation des divisions cellulaires et dans leur différenciation. Les minéraux peuvent également jouer le rôle de cofacteurs, coenzymes et métallo enzymes, qui participent dans beaucoup d'activités du corps.

1.2.2.2. La matière organique

Caractérisée par la présence de carbone, associée à l'hydrogène, à l'oxygène, parfois à l'azote et à de petites quantités de phosphore et de soufre. Les composants de la matière organique sont des glucides, des lipides et des matières azotées.

La connaissance de la composition en constituants organiques d'un aliment et de leur devenir dans le tube digestif de l'animal est à la base de l'expression de sa valeur nutritive.

1.2.2.2.1. Les constituants glucidiques

a- Les glucides cytoplasmiques

Ce sont essentiellement des glucides hydrosolubles dont la digestibilité est totale. Le glucose, le fructose et le saccharose sont prédominants et représentent environ de 3 à 8% de la MS.

Cependant, il existe aussi des fructosanes qui s'accumulent à la base des tiges des graminées. La teneur des plantes fourragères reste en général assez faible. La concentration maximum est atteinte un peu avant le début de l'épiaison chez les graminées et un peu avant le bourgeonnement chez les légumineuses.

L'amidon est absent généralement dans les fourrages sauf dans certaines légumineuses où des teneurs allant de 0.5 à 3 % de la MS ont été observées.

b- Les glucides pariétaux

Dans cette famille de glucides, il faut distinguer les polysides proprement dits et les constituants pariétaux qui leur sont associés.

❖ **Les polysides sont formés de trois groupes:** la cellulose, les hémicelluloses et les substances pectiques

1- La cellulose : c'est un glucane formé de longues chaînes de molécules glucose aux environs de 1000 dans les plantes fourragères qui sont unies par des liaisons osidiques de type β (1-4). La liaison osidique β , contrairement à la liaison μ , est résistante à l'attaque des enzymes du suc digestif mais qui peuvent être attaquée par les enzymes des bactéries de l'appareil digestif des ruminants. Ces chaînes sont disposées parallèlement et associées en fibrilles.

Cette structure spécifique et sa configuration β lui confère une certaine résistance aux enzymes et ce qui explique en partie sa digestibilité inférieure à celle des glucides pariétaux.

La cellulose est le constituant principal des tissus de soutien (le collenchyme et le sclérenchyme) et d'une partie des tissus de conduction (le xylème).

Dans les fourrages, elle représente de 40 à 45 % de l'ensemble des parois et par rapport à la MS totale de la plante, la teneur varie de 15 à 40 % selon l'espèce et surtout selon l'âge de la plante. Cette proportion augmente avec l'âge de la plante et c'est ce qui explique en partie la diminution de la digestibilité lorsque la plante vieillit.

2- Les hémicelluloses : ils sont composés essentiellement de pentoses, xylose en particulier, de quelques hexoses et d'acides uroniques. Leur teneur varie de 12 à 25 % de la MS des fourrages. Plus la plante vieillit, plus la teneur en hémicelluloses augmente. Leur digestibilité est un peu inférieure à celle de la cellulose en raison de leur imprégnation par la lignine.

3- Les substances pectiques : qui sont des dérivés de l'acide galacturonique. On les retrouve dans les lamelles moyennes des cellules. Elles ont une teneur avoisinant les 2 % de la MS des graminées et ayant une digestibilité très élevée et proche de celle des glucides cytoplasmiques.

c- Les constituants non glucidiques

Le seul constituant intéressant est représenté par la lignine qui est une substance complexe formée de plusieurs alcools.

La lignine incruste progressivement les fibres polysaccharidiques des tissus de soutien et de conduction. Sa teneur varie de 2 % dans l'herbe jeune à 12 –13 % de la MS dans la paille. La lignine est pratiquement indigestible, elle protège une partie des polysaccharides membranaires, qu'elle incruste, de la dégradation microbienne. De ce fait la lignine est le facteur principal limitant de la digestibilité des aliments.

1.2.2.2. Les constituants azotes (ou matières azotées totales = protéines brutes)

On distingue :

- a- **Les matières azotées protidiques (MAP)** : Elles sont localisées dans les cellules chlorophylliennes et elles donnent par hydrolyse des acides aminés. Elles sont constituées de protéines, de peptides et des acides aminés libres.
- b- **Les matières azotées non protidiques (MANP)** : Elles sont localisées dans les vacuoles des cellules végétales, elles ne donnent pas à l'hydrolyse des acides aminés. Ce sont les amines, les amides (telle que l'urée,...), les formes azotées simples (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ ...), les bases azotées (formes cycliques constituants des acides nucléiques).

Dans les fourrages verts, elles représentent 15 à 35 % des matières azotées totales, cette proportion est plus élevée dans les tiges que dans les feuilles. Les légumineuses sont plus riches que les graminées. Les matières azotées non protidiques des foins récoltées dans de bonnes conditions ont en général une proportion comprise entre 30 et 40 % des matières azotées totales.

1.2.2.3. Les constituants lipidiques

Dans les plantes fourragères, on trouve des galactolipides qui sont des glycérides associés à du galactose. Ils sont localisés dans les chloroplastes, riches en acides gras non saturés et en particulier l'acide linoléique.

On rencontre également des cériques (qui sont des alcools à poids moléculaire élevé + des acides gras) dans la cuticule des feuilles où ils constituent la substance principale de la cutine qui est indigestible.

Les lipides représentent une très faible fraction de la MS des fourrages (2 à 5 %), ce qui explique le peu d'intérêt qu'il leur est accordé le plus souvent.

Tableau 1. Les différents constituants des aliments

	Eau			
MATIERE BRUTE	Matière sèche	Matières minérales	Macro-éléments : Chlore-phosphore-soufre-calcium -magnesium -potassium - sodium	
			Oligo-éléments : Fer -cuivre-zinc-cobalt Manganèse-iode-sélénium	
		Matière Organique	Glucides	Glucides cytoplasmiques : Pentoses- Hexoses (glucose –fructose ...) Saccharose –maltose-lactose Melibiose Fructosanes Amidon... Glucides pariétaux : Cellulose Hémicelluloses Substances pectiques (lignine)
			Lipides	Glycérides Stérides Cérides
Matières azotées	Matières azotées protidiques : Acides aminés libres Combinaisons d'acides aminés (peptides, polypeptides, protides) Matières azotées non protidiques : Amides (urée, ...) Amines Ammoniaque Bases azotées ...			

1.3. Anatomie comparée de l'appareil digestif et la digestion

❖ Variations entre espèces

La variation structurale digestive entre les espèces animales est en fonction du régime alimentaire. On peut distinguer 03 types ;

a. Herbivores : il existe deux genres des herbivores ;

a.1. Non Ruminant (Lapin) : elle ce caractérise par ; un estomac et un intestin relativement petit et un caecum assez développé (site de la digestion des fibres)

a.2. Ruminant (Vache) : elle ce présente par ; Un estomac complexe (digestion microbienne) et un long intestin grêle et un large colon.

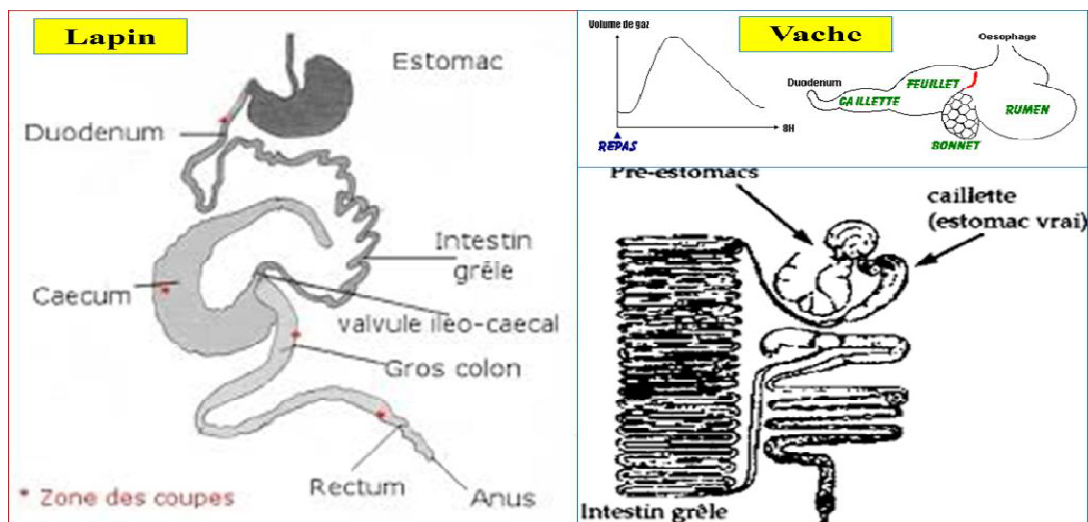


Figure 01. Appareil digestif d'un ruminant et un non ruminant.

b. Carnivores (Chat)

L'appareil digestif d'un carnivore ce caractérise par un court et petit intestin, ainsi qu'un Un petit caecum et un colon moyen (Figure 02).

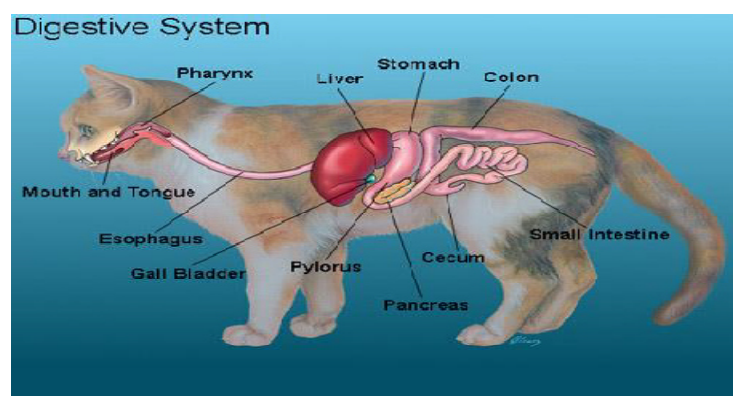


Figure 02. L'appareil digestif d'un chat

c. Omnivore

Ces espèces ont un colon intermédiaire (digestion microbienne) (figure 03).

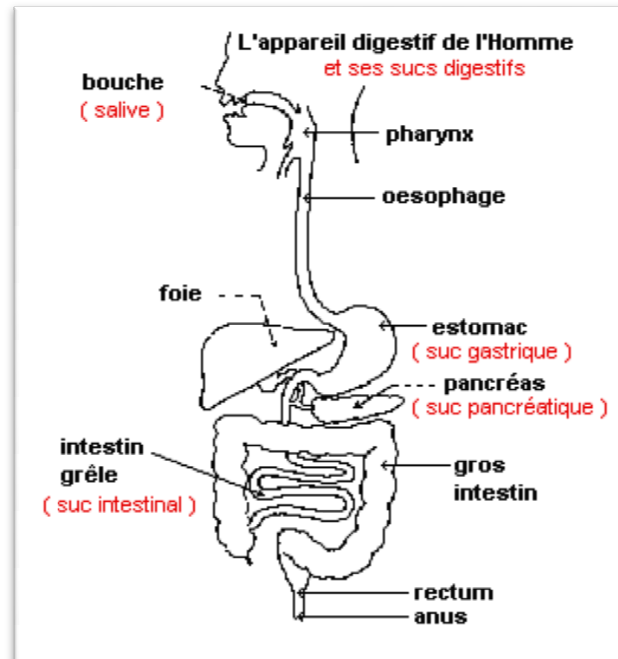


Figure 03. Appareil digestif d'un homme.

1.3.1. Particularités anatomiques du tube digestif des ruminants

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

Ce sont successivement le rumen (ou panse), le réseau (ou réticulum) et le feuillet (ou omasum). Ces trois premières représentent les pré-estomacs et sont placées avant l'estomac appelé la caillette. Toutes les parties de l'estomac des ruminants dérivent d'une ébauche simple et il faut les considérer comme le résultat d'une différenciation spécifique et d'une adaptation à la nature particulière de l'alimentation. Les ruminants sont des herbivores qui peuvent digérer les parois des tissus végétaux non lignifiés dont la cellulose est le constituant principal.

1- Le rumen ou la panse : c'est le plus volumineux, il renferme de 70 à 75 % du contenu du tube digestif et représente de 50 à 60 % de son volume. Son volume et celui du réseau sont d'environ 18 litres.

2- Le réseau (ou réticulum) qui doit son nom à sa muqueuse réticulée et parsemée de papilles absorbantes, joue un rôle central dans la circulation des particules. Les particules qui franchissent l'orifice réticulo-omasal doivent avoir une taille moyenne inférieure ou égale à 1

mm. De ce fait, les aliments solides sont donc séquestrés tant qu'ils n'ont pas atteints cette taille minimale.

3- Le feuillet (ou omasum) : il doit son nom de feuillet au fait qu'il est presque entièrement occupé par des lames parallèles, de hauteurs inégales, disposées dans le sens du transit alimentaire, d'un volume égal à 0,5 l, c'est un organe ovoïde chez le mouton à l'intérieur duquel on trouve de très nombreuses lames recouvertes d'un épithélium kératinisé possédant également des papilles.

Il communique en aval avec la caillette par un orifice large et dilatable.

4- La caillette : est le seul réservoir sécrétoire de l'estomac des ruminants .Sa cavité est tapissée par une muqueuse glandulaire, analogue à celle des monogastriques toujours recouverte d'une couche de mucus .Les fonctions digestives de la caillette des ruminants sont analogues à celles de l'estomac des mammifères monogastriques.

Elle a un volume inférieur à 2 litres, et l'ensemble de ces réservoirs ont une capacité de 12 à 20 litres chez le mouton.

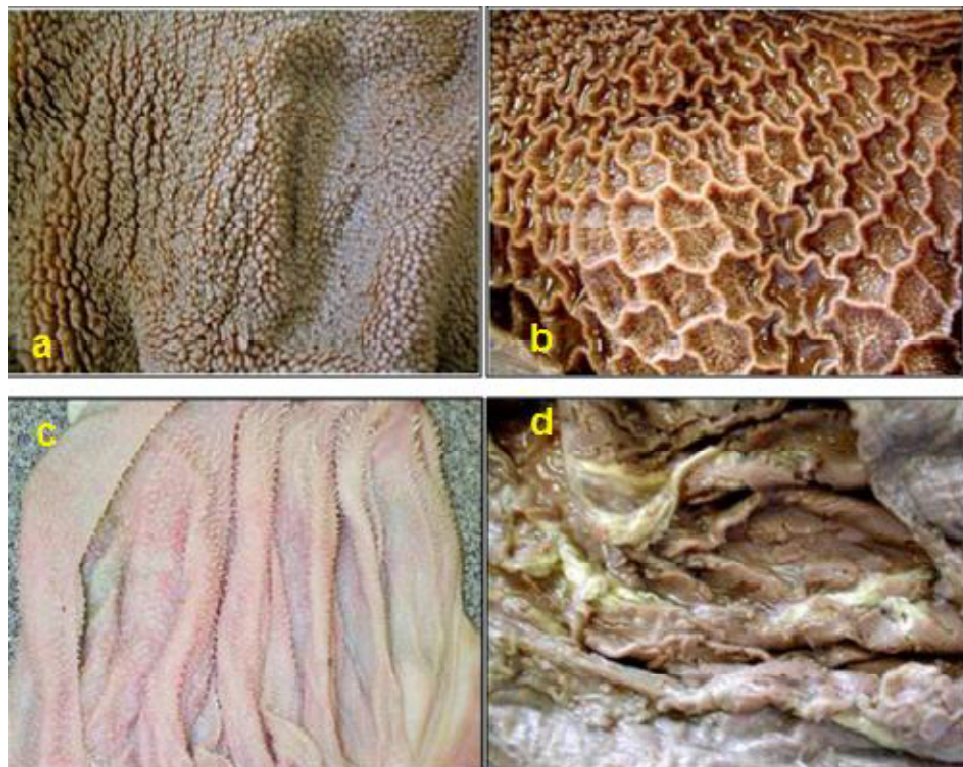


Figure 04. Aspect de la paroi de l'estomac : a- rumen ; b- reseau ; c- feuillet ; d : caillette

5- L'intestin : Il est divisé en deux parties :

- ❖ **L'intestin grêle** : est très long. Il comprend le duodénum (0,6 à 1,2 m) avec son anse duodénale qui reçoit les sécrétions biliaires et pancréatiques et l'ensemble jéjunum-iléon (17,5 à 34,0 m) 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 mono-gastriques.
- ❖ **Le gros intestin** : comprend le cæcum, le colon sigmoïde, le colon spiral, le colon flottant et le rectum .Le gros intestin ne secrète pas de sucs digestifs.

1.3.2. Digestion dans le rumen – réseau

La digestion est réalisée grâce à des enzymes cellulolytiques que les microorganismes du rumen, du réseau et du gros intestin peuvent sécréter. La présence de la dégradation microbienne dans les pré-estomacs avant la digestion (chimique) par les sécrétions digestives dans la caillette modifie fortement la digestion et l'utilisation des aliments par les ruminants par rapport aux mono-gastriques.

La digestion chez les ruminants met en jeu des phénomènes mécaniques, des phénomènes fermentaires ou encore biologiques en relation avec la présence d'une flore (au niveau du rumen - réseau) et enfin des sécrétions enzymatiques en relation avec les sécrétions digestives (dans la caillette et l'intestin grêle comme chez les monogastriques).

L'ingestion des aliments par les poly-gastriques (qui dure environ 8 heures par jour avec une mastication rapide au cours de laquelle les aliments s'entassent dans le rumen) est suivie par la rumination (**Martine et Yannik, 2012**).

La rumination est un état physiologique défini comme un phénomène cyclique qui se déroule en quatre étapes :

1- La régurgitation du bol alimentaire comportant deux phases

- ✓ 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.

2- La déglutition de la partie liquide servant de support.

3- La mastication mérycique (les mouvements sont lents et la salivation est abondante).

4- La phase de repos.

Il existe 6 à 8 périodes de rumination par jour, en moyenne de 40 à 50 minutes chacune.

La rumination est indispensable car elle fragmente les aliments et facilite l'attaque par les micro-organismes du rumen. La complexité anatomique de ces réservoirs est associée à la présence d'une population dense et stable de micro-organismes qui vivent en symbiose avec l'hôte et qui jouent un rôle dans la digestion et la nutrition de l'animal. La mise en place et le maintien de cette population microbienne sont dus au fait qu'il existe une séparation physique entre la zone de sécrétion acide (estomac) et le reste des pré estomacs où la digestion microbienne peut avoir lieu en permanence.

1.3.2.1. Le contenu du milieu ruminal

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

- Une concentration élevée en eau 85 à 90 % ;
- Une température constante de 39 à 40° C ;
- Un potentiel d'oxydo-réduction (milieu fortement anaérobique) ;
- Un pH généralement compris entre 6 et 7 qui sont tamponné par l'apport régulier de grandes quantités de bicarbonates et de phosphates contenus dans la salive ;
- Une pression osmotique constante proche de celle du sang ;
- 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.

Le rumen est donc un milieu particulièrement bien adapté au développement d'une population microbienne anaérobie dont les principaux constituants sont les bactéries et les protozoaires.

1.3.2.1.1. Les protozoaires

Ce sont principalement des ciliés dont la taille varie de 20 à 200 μ mais on observe aussi des flagellés en nombre réduit. Le nombre total des protozoaires se situe aux environs de 100.000 à 1000000 ou 2 à 5000000 par ml de jus de rumen. Les protozoaires ciliés sont capables de transformer un grand nombre de constituants alimentaires et bactériens en métabolites et en composés cellulaires qui seront ensuite utilisés par l'animal hôte.

Ces protozoaires sont capables pour la plupart d'entre eux de dégrader la cellulose, les hémicelluloses, les pectines pour les entodiniomorphes et les sucres solubles pour les Holotriches. Les ciliés sont également protéolytiques, ils utilisent aussi les acides aminés mais leurs besoins azotés sont en grande partie couverts par l'ingestion des bactéries. Les protozoaires sont généralement libres dans le liquide du rumen mais certains se fixent également aux particules alimentaires. Ils sont très sensibles aux conditions régnant dans le rumen et aux caractéristiques de la ration. Avec des rations riches en glucides solubles ou en amidon, ils peuvent représenter au maximum 50 % de la biomasse du rumen, et ils régressent avec les rations très pauvres en constituants solubles. Ils peuvent disparaître avec des rations créant des pH bas du rumen (< 5,5) aliments concentrés distribués à volonté et / ou séjournant pendant un temps très court dans le rumen (fourrages broyés).

1.3.2.1.2. Les bactéries

La population bactérienne du rumen est comprise entre 8 et 10 milliards cellules par ml de contenu ruminal. Elle constitue environ 50 % de la biomasse microbienne et représente la catégorie des micro-organismes la plus complexe et la plus importante.

Elle est composée essentiellement de bactéries anaérobies strictes non sporulées et elle est caractérisée par sa très grande diversité. En 1959 on en dénombrait 39 genres et 63 espèces et actuellement plus de 200 espèces bactériennes ont été isolées du rumen mais seulement une trentaine d'entre elles peuvent être considérées comme des bactéries authentiques du rumen alors que les autres sont apportées par les aliments et sont présentes d'une manière transitoire.

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, pectinolytiques, amylolytiques, uréolytiques ...

De nombreuses espèces sont protéolytiques, plusieurs d'entre elles utilisent ou dégradent les acides aminés ou les peptides.

Dans le rumen, les bactéries occupent trois biotopes distincts : elles peuvent être libres dans le liquide ruminal, ou attachées soit à la paroi interne du rumen, soit aux particules alimentaires alors que d'autres espèces vivent liées à la surface des protozoaires environ 1 à 10% de la flore totale.

Les bactéries attachées aux particules alimentaires représentent environ la moitié de la population bactérienne, elles concernent principalement celles qui hydrolysent les polymères pariétaux. Les bactéries adhérentes à la paroi du rumen appelée flore épimurale sont caractérisées par leur forte activité protéolytique et uréolytique.

Ses bactéries ont un rôle primordial parmi lesquels, on citera :

- ✓ L'hydrolyse de l'urée qui diffuse à travers la paroi du rumen.
 - ✓ La dégradation des cellules épithéliales fortement kératinisées provenant de la desquamation de la muqueuse du rumen.
 - ✓ L'élimination de l'oxygène qui diffuse à travers la paroi du rumen depuis la voie sanguine
- Ces bactéries sont aussi très riches en phosphatase alcaline.

Lorsqu'un animal consomme un régime alimentaire uniforme, il s'établit dans son rumen, après une période d'adaptation, une population microbienne de composition relativement constante, qu'on peut appeler un faciès microbien. L'état d'équilibre est assez fragile et conditionne l'efficacité de la digestion.

1.3.2.2. La dégradation des aliments

a- La dégradation des glucides

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

Les glucides solubles sont hydrolysés de manière très rapide et en totalité (amidon des céréales est dégradé à 90 – 95 % dans le rumen par une amylase bactérienne). La population

microbienne dégrade aussi les glucides des parois (cellulose, hémicelluloses et pectines) en oses qui sont ensuite fermentés en anaérobiose selon des voies bien connues (voir schéma du métabolisme des glucides pariétaux dans le rumen). Cette dégradation par des cellulases que seules les bactéries sont capables de synthétiser, est lente et partielle (de 80 à 90 % pour les fractions pariétales pour un aliment très peu lignifié comme l'herbe jeune, à 40 50 % pour une plante riche en lignine comme la paille). Cette hydrolyse libère du cellobiose (2 β glucose), du glucose et des pentoses.

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, 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 (C 2) 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.

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). La diminution du temps de séjour, modifie le temps de contact enzyme-substrat, accroît la surface pariétale accessible aux enzymes et réduit le nombre et la force des glucides –lignine qui limitent l'action des micro-organismes.

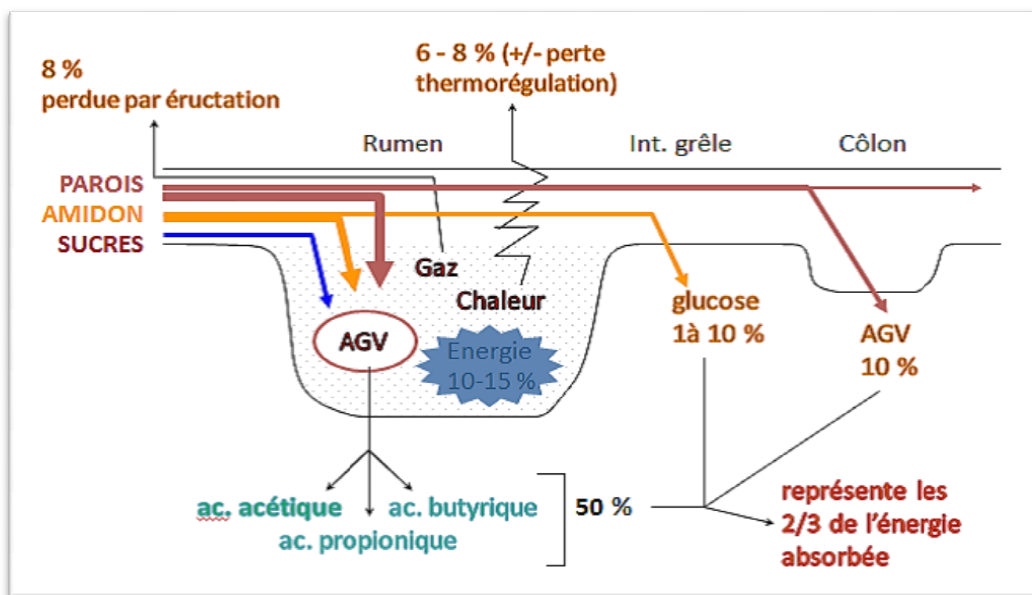


Figure 05. Bilan de la digestion des glucides chez les ruminants

c- La dégradation des matières azotées

Les matières azotées alimentaires subissent dans le rumen une dégradation plus ou moins intense et rapide dont l'ammoniac (NH_3) est le produit terminal le plus important. Cette dégradation en ammoniac (protéolyse microbienne) est rapide et totale pour les constituants non protidiques (urée, amides ...) ainsi que pour les constituants protidiques simples (acides aminés libres, peptides et polypeptides).

Les substrats carbonés et l'ammoniac peuvent ensuite être utilisés pour la synthèse des matières azotées de certaines bactéries (cellulolytiques) ce qui correspond à la phase de protéosynthèse microbienne. Dans la mesure où il n'est pas utilisé par les microorganismes pour cette synthèse de matières azotées microbiennes, la majeure partie de l'ammoniac restant est absorbé au niveau de la paroi du rumen, véhiculé au foie où il est transformé en urée.

Cette urée est en partie recyclée dans la salive ou par diffusion à travers la paroi de tout le tube digestif, et en partie éliminée par l'urine et donc perdue. L'uréogénèse à partir de l'ammoniac nécessite beaucoup d'énergie. Elle est estimée à 4 ATP / moles d'urée produite.

L'absorption d'ammoniac est conditionnée par sa concentration dans le rumen (50 à 80 mg/100 ml de jus de rumen) et par le pH du rumen (un pH élevé conduit à une absorption rapide, un pH bas à une absorption lente). Les bactéries qui vivent sous des concentrations basses d'ammoniac fixent l'ammoniac à deux étapes de la glutamine synthétase et la glutamate synthase

au cours desquelles il y'a transfert de l'amide-N de la glutamine au 2-oxoglutarate et cette étape nécessite de l'ATP.

La concentration en ammoniacque dans le rumen peut varier de 2 à 40 m moles /l mais on estime à 4-5 mmoles /l la teneur nécessaire pour que la production de protéines bactériennes soit maximum, de 2/3 à 3/4 des fractions azotées des fourrages sont dégradés dans le rumen .Chez les moutons normalement alimentés, l'absorption est en moyenne de 4 à 5 g d'N 2 par jour sous forme d'NH 3. Donc près de 50 % de l'urée synthétisée par le foie suit un cycle rumino-hépatique et ne constitue pas un produit final du métabolisme mais une véritable réserve d'azote pour les ruminants.

d- La dégradation des lipides

Les lipides, en général faiblement présents dans la ration, sont constitués d'acides gras en C18 non saturés, linoléique dans les fourrages, linoléiques dans les grains.

Le contenu du rumen possède in vivo comme in vitro, une forte activité lipolytique vis à vis des glycérides d'acides gras supérieurs .La population microbienne hydrolyse les triglycérides en acides gras et glycérol .Le glycérol est fermenté en acides gras volatils et rejoint le circuit des glucides. Par ailleurs, la flore ruminale hydrogène les doubles liaisons des acides gras insaturés et incorpore une partie dans leurs lipides et les transforment en acide stéarique (C18 saturé) qui sera digéré dans l'intestin (**Soltner, 1994**). Les acides gras à longue chaîne d'origine alimentaire sont fixés sur les particules alimentaires avec lesquelles ils passent dans le feuillet ou bien ils sont repris par les bactéries qui en élaborent leurs propres acides gras.

e- Les éléments minéraux et la digestion microbienne au niveau du rumen réseau

Comme tous les mammifères, les ovins 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 micro-organismes du rumen, des quels dépend l'utilisation des fourrages ont des besoins minéraux propres, notamment en P, S, Mg, Zn, Cu, Co. Si ces besoins ne sont pas couverts, l'efficacité de la ration sera faible.

Les plantes fourragères peuvent souffrir de carences en oligo-éléments avec une production diminuée dues essentiellement aux carences rencontrées principalement sur les sols.

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.

Les parois des bactéries sont capables de fixer des oligo-éléments par des liaisons plus ou moins réversibles en milieu acide.

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 ou font partie de ces molécules organiques comme :

- ✓ Cuivre : cytochrome oxydase.
- ✓ Manganèse : pyruvate carboxylase.
- ✓ Zinc : anhydrase carbonique, aldolase, peptidase, phosphatases alcalines, DNA et RNA.
- ✓ 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. Des études in vitro ont montré que l'activité cellulolytique est stimulée par des apports d'oligo-éléments, de même que la croissance des protozoaires en milieu continu peut être accrue par un apport de zinc ou de cobalt.

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, lorsque les apports de matières azotées fermentescibles, d'autres éléments nutritifs et de facteurs de croissance ne sont pas limitant. 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, elle serait la plus importante dans le cas des protozoaires.

1.3.3. Digestion après le rumen –réseau

1- Dans le feuillet : Longtemps considéré comme un lieu de passage et non d'absorption des nutriments. Le feuillet se remplit de façon cyclique par l'orifice réticulo-omasal qui laisse pénétrer les particules fines. Une partie des digesta s'écoule vers la caillette mais les deux tiers environ du flux digestif séjournent entre les lames du feuillet pendant une durée sans doute variable. La fraction ADF (Acid Detergent Fiber ou lignocellulose) indigestible séjourne environ 2 heures dans le feuillet.

L'absorption des nutriments au niveau du feuillet fut étudiée qui ont démontré l'absorption de l'eau à ce niveau chez le mouton et la chèvre. Beaucoup d'auteurs ont montré que l'absorption omasale est réelle pour l'eau, les électrolytes et les AGV qui ont échappé à l'absorption du rumen et qui représentent environ 10 % de la production totale des AGV dans les pré-estomacs du mouton.

En utilisant des marqueurs avant l'abattage des animaux, calculèrent une absorption omasale de l'eau séjournant dans l'espace interlamellaire de 15 % chez le mouton. Mais, en raison du passage direct d'une partie du liquide par le canal omasal, la proportion d'eau réellement absorbée dans le feuillet est de 8 %. Environ 50 % des AGV qui pénètrent dans le feuillet sont absorbés.

La concentration des micro-organismes en $\mu\text{g ADN/ml}$ est de 60 % supérieure à celle du rumen avec une activité fermentaire moindre et qui a une vitesse de 50 % inférieure à celle du rumen. Par contre la concentration des protozoaires n'est que de :

- ✓ 14 % du flux d'entrée omasal chez le mouton
- ✓ 11 à 17 % du contenu omasal
- ✓ 6.7 % de l'effluent omasal chez le mouton

2- Dans la caillette

Chez les ruminants, les aliments solides sont profondément dégradés dans le rumen réseau sous l'action des micro-organismes et les corps bactériens constituent une part très importante de produits qui arrivent dans la caillette. Les digesta arrivent librement dans la caillette et y séjournent très peu (30 à 60 minutes). Du fait du transit plus régulier et de la sécrétion plus importante d'acide chlorhydrique, le pH de la caillette fluctue moins et est en moyenne plus bas (2 à 3). Ces conditions sont plus favorables à la dénaturation des matières azotées et à l'hydrolyse des protéines sous l'action de la pepsine mais le temps de séjour très bref a l'effet

inverse. L'acidité du milieu tue les protozoaires. Le lysozyme joue un rôle important chez le ruminant puisqu'il est sécrété en abondance, il intervient dans la lyse des parois bactériennes et facilite ainsi la dissociation des bactéries fixées et des particules. On estime chez le mouton entre 30 à 70 % des microbes (bactéries et protozoaires) fixés aux particules provenant du rumen qui sont détachées dans la caillette. L'absorption porterait aussi sur les AGV non absorbés dans le feuillet.

3- Dans l'intestin grêle

Les mécanismes de digestion et de l'absorption dans l'intestin grêle sont les mêmes que chez les monogastriques. Les enzymes du suc pancréatique (les trypsines, les chymotrypsines A, B, C, l'élastase, les carboxypeptidases A, B, la lipase plus colipase, cholestérol estérase, l'amylase, la ribonucléase, la désoxyribonucléase) et de la muqueuse intestinale (aminopeptidase A et N, la phosphatase alcaline, la lactase, la maltase et l'isomaltase) sont les mêmes, par contre les substances pénétrant dans l'intestin grêle sont différentes. Il faut toutefois noter que le pancréas des ruminants secrète beaucoup plus de nucléases que celui des monogastriques.

❖ Les glucides : on trouve à l'entrée de l'intestin grêle

- De l'amidon qui est hydrolysé en maltose puis en glucose et il est absorbé. La quantité de glucose absorbée représente moins de 1 % de l'énergie des nutriments absorbés avec les fourrages seuls. Elle ne devient notable qu'avec des rations mixtes contenant du maïs et du sorgho. Le ruminant doit donc synthétiser la quasi-totalité ou la majeure partie du glucose dont il a besoin. On estime que l'apport alimentaire de glucose fournit en moyenne 5 % de l'énergie absorbée.
- Des glucides pariétaux non dégradés dans le rumen – réseau et qui ne seront pas aussi dégradés au niveau de l'intestin grêle.
- Les résidus des polyosides de réserve des bactéries.

❖ Les protéines

Les protéines qui arrivent au niveau du duodénum sont de deux types : alimentaires et microbiennes. Il est admis que 80 % des protéines microbiennes se trouvent sous forme de protéines vraies et 20 % sous forme d'acides nucléiques qui n'auraient aucune valeur pour l'animal. La digestion et l'absorption des protéines auraient lieu principalement dans le deuxième tiers de l'intestin grêle ; elles seraient donc faibles dans l'iléon malgré ses capacités élevées entre autre un pH de 7.5 favorable à l'action des enzymes protéolytiques.

L'analyse de 405 bilans réalisés sur des moutons, jeunes bovins et vache laitières recevant des rations mixtes ou des fourrages verts distribués seuls, le flux d'azote à l'entrée du duodénum est pour

- 56 % d'origine microbienne (37 à 88 %)
- 38 % d'origine alimentaire (10 à 60 %)
- 6 % d'origine endogène.

La digestibilité des protéines dans l'intestin grêle varie considérablement de 0.5 à 0.80. Elle est estimée à 0,80 pour les protéines d'origine microbienne et de 0.25 à 0.95 pour les protéines alimentaires.

Pour un niveau d'alimentation donné, elle est liée positivement au flux duodéal de protéines et négativement au flux iléal de matière non protidique.

Les protides qui échappent à la digestion dans l'intestin grêle sont donc constitués principalement de fractions communes d'origines bactérienne et endogène, auxquelles vient se rajouter une fraction d'origine alimentaire, moins importante et de composition variable.

❖ Les lipides

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 le mouton, la quantité totale de lipides ainsi sécrétée équivaut à environ 50 % de la quantité ingérée avec des rations classiques non supplémentées en lipides. La digestion des lipides se produit dans un milieu bi-phasique constitué d'une phase particulaire insoluble et d'une phase micellaire soluble. Cependant et contrairement à ce qui est observé chez les pré-ruminants, la phase insoluble n'est pas une émulsion de globules gras stabilisée par les phospholipides et les sels biliaires, puisque les lipides sortant de la caillette sont liés à des débris végétaux, à des corps microbiens ou à des cellules desquamées. Les acides gras non estérifiés sont progressivement transférés dans la phase micellaire soluble, grâce à l'action détergente des lyso-lécithines et des sels biliaires.

Cependant très peu de données sont disponibles sur la digestibilité des lipides dans l'intestin grêle. Le plus souvent, les mesures ont été effectuées à l'entrée du duodénum et dans les fèces or le passage dans le gros intestin entraîne des modifications profondes et variables.

1.3.4. Digestion dans le gros intestin

Le contenu du gros intestin constitue un milieu très favorable pour le développement d'une digestion microbienne. La température y est constante et le pH, peu variable, reste voisin de la neutralité (6.6 à 7.8). Le cæcum se remplit par intermittence chez le mouton : le flux digestif sortant de l'iléon terminal peut atteindre de 70 à 90 g en 10 mn, être suivi d'un arrêt de 30 à 60 mn, et n'est pas en liaison directe avec les activités d'ingestion ou de rumination.

Des contractions coordonnées péristaltiques et antipéristaltiques assurent le mélange du contenu du cæcum à la cadence de 3 à 7 par période de 10 mn, des vagues de 2 à 5 contractions intenses à des intervalles de 30mn à 4 heures assurent la vidange du cæcum.

Les céréales diminuent l'activité du cæcum chez les moutons et les bovins et ce vraisemblablement par suite d'une fermentation cæcale accrue ou anormale. Le temps de séjour des digesta dans le gros intestin du mouton varie de 10 à 29 heures, comparable à celui de la phase liquide du rumen réseau, mais plus court que celui de la phase solide dans le même compartiment. Il diminue quant le niveau de l'ingestion augmente. La population microbienne du gros intestin est caractérisée par des bactéries peu différentes de celles du rumen - réseau mais en quantités moins importantes. La présence de protozoaires reste incertaine et il existe peu de données sur les champignons bien que certains auteurs signalent leur présence dans le gros intestin des grands ruminants

❖ Les glucides

Seuls les glucides pariétaux (cellulose et hémicelluloses) non digérés dans le rumen arrivent dans le gros intestin, aucun glucide soluble n'est détecté dans les digesta de l'iléon lorsqu'on est en présence d'une ration à base de fourrages classiques. Cependant, la quantité de glucides solubles arrivant dans le gros intestin peut augmenter avec des rations à base de céréales et surtout le maïs et le sorgho où une grande quantité d'amidon peut échapper à la dégradation ruminale. La population microbienne du cæcum et du colon utilise ces glucides en produisant des acides gras volatils comme dans le rumen mais avec une quantité moindre.

Les AGV absorbés à ce niveau représentent une fraction très variable, de 4 à 26 % de l'énergie totale digérée la digestibilité de la cellulose et des hémicelluloses dans le gros intestin de mouton est estimée de :

- ✓ 18.5 à 49.5 % pour la cellulose
- ✓ 24.9 à 48.1 % pour les hémicelluloses

Cependant les quantités qui y sont digérées, représentent de :

- ✓ 3.0 à 29.6 % pour la cellulose
- ✓ 7.9 à 41.1 % pour les hémicelluloses, des quantités digestibles dans le tube digestif.

❖ Les protéines

La quantité d'azote qui arrive dans le cæcum représente: 25 à plus de 50 % de la quantité d'azote ingérée (surtout avec les rations pauvres en azote). Les protéines représentant 40 à 80 % de cet azote, sont d'origine alimentaire, microbienne et endogène.

Les bactéries du cæcum et du côlon proximal ont une importante activité de protéolyse, de désamination, de décarboxylation et d'uréolyse. La dégradation des protéines aboutit à la formation des acides aminés eux-mêmes dégradés en ammoniac, acides gras volatils et méthane.

Le gros intestin qui n'a fait l'objet que d'un nombre réduit d'études, comparativement au rumen, joue apparemment un rôle important dans le recyclage de l'ammoniaque avec un rôle non négligeable dans la digestion des parois végétales.

❖ Absorption d'eau et de minéraux

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

Chez les ruminants environ 90 % de l'eau entrant dans le gros intestin du mouton y est absorbée, le gros intestin est aussi un lieu d'absorption de nombreux éléments minéraux avec une prédominance d'absorption du sodium, en grande partie d'origine endogène, du phosphore, calcium et magnésium ainsi que le chlore alors que le potassium n'y est que faiblement absorbé. Il existe aussi une absorption importante des oligo-éléments comme le zinc, cobalt, cuivre et du manganèse

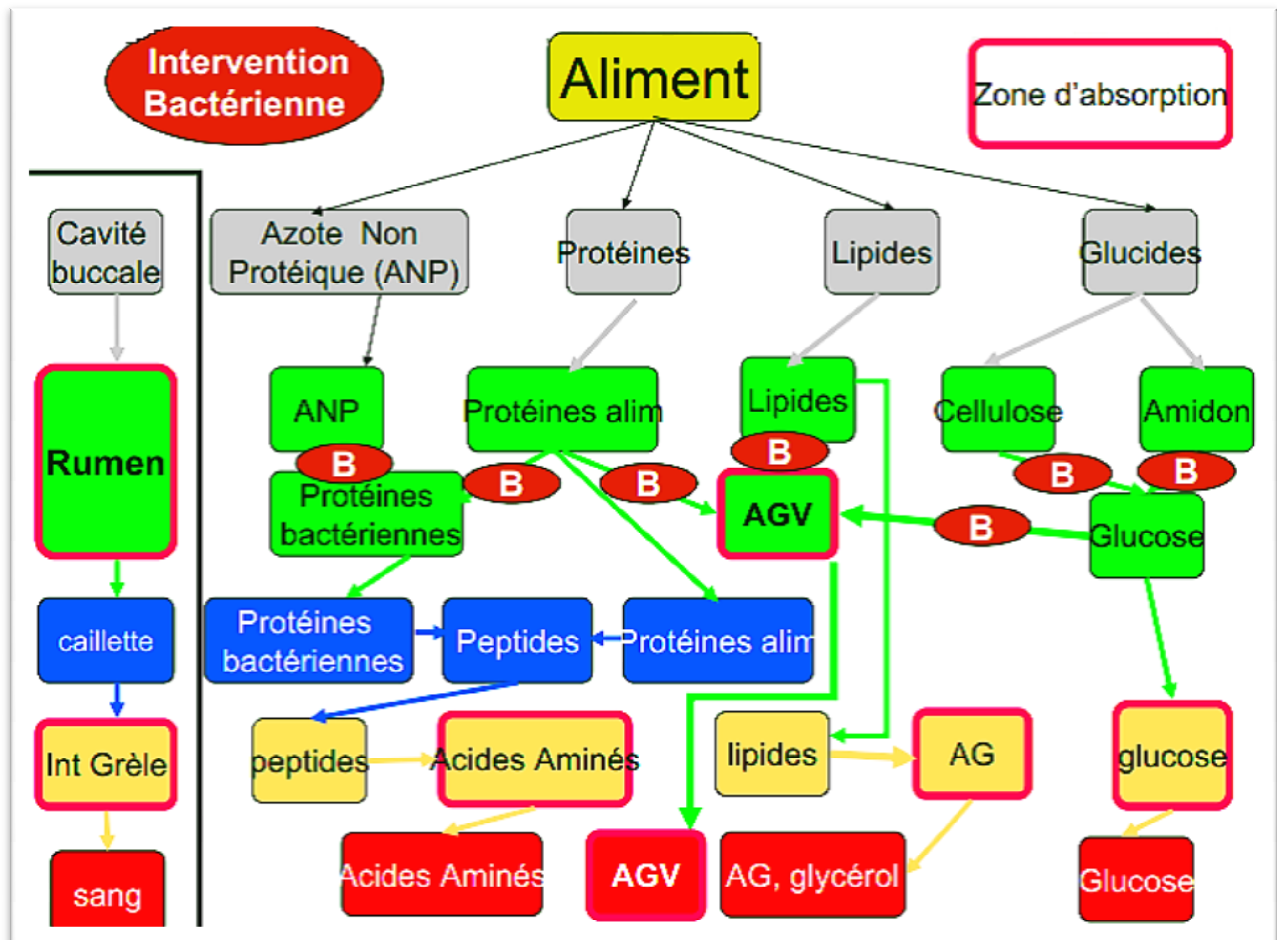


Figure 06. Utilisation digestive et métaboliques des nutriments chez les ruminants

2. Actions digestives des différentes espèces animales

2.1. La digestion chez les ruminants (Bovins)

a- L'appareil digestif des bovins adultes

❖ **La cavité buccale** : assure l'appréhension des aliments et la rémunération au mérycisme, la langue, longue et très mobile, est un muscle recouvert d'une muqueuse sèche qui permet l'appréhension de l'herbe au pâturage.

La denture est caractérisée par l'absence d'incisives supérieures, remplacé par un bourrelet cartilagineux, et des canines ; la formule dentaire et pour les bovins adultes $0/4 I, 0/0 c, 3/3 pm, 3/3 M$. Le condyle d'articulation permet des mouvements verticaux et latéraux.

❖ **L'œsophage** : un tube qui va du pharynx au rumen en se rétrécissant ; de ce fait, un bovin peut s'étrangler avec un objet arrondi tel qu'une pomme.

❖ **Les trois pré-estomacs** : occupe une grande partie de la cavité abdominale. Ce sont le rumen, le réseau et le feuillet.

❖ **Le rumen (panse) :** le plus volumineux des réservoirs, puisqu'il contient environ les trois quarts du contenu digestif total ; il est situé à gauche et s'étend du diaphragme jusqu'au bassin.

La musculature est importante et comporte des piliers charnus qui divisent le rumen en deux sacs, la muqueuse, non sécrétrices, porte de nombreuses papilles qui interviennent dans l'absorption.

❖ **Le réseau (réticulum ou bonnet) :** petits réservoirs situés entre le Rumen et le diaphragme, apparaît quand même diverticules du rumen. Sa muqueuse, non sécrétrices, présente des alvéoles ; sa paroi à une structure en nid d'abeilles très caractéristique. L'orifice de communication entre réseaux et feuillet (orifice réticulo-omasal), de petites tailles, étroites et contractiles, joue un rôle capital dans les prix des particules sortant du Rumen--réseau.

À ce niveau, on retrouve la gouttière œsophagienne, qui va du cardia au feuillet et qui se ferme que chez le veau recevant une alimentation Lacté ou chez l'adulte lorsqu'il a très soif.

❖ **Le feuillet (Omasum) :** présent une muqueuse, non sécrétrices, formé de lames disposées en série. Sa cavité se réduit à un canal qui communique en amont avec le réseau par l'orifice réticulo-omasal et en aval avec la caillette par un orifice beaucoup plus large et plus dilatables.

Le Rumen, le réseau, et à un moindre degré, le feuillet, héberge une population microbienne importante.

❖ **La caillette :** correspondant à l'estomac des monogastriques, sa muqueuse est sécrétrice.

❖ **L'intestin :** est divisé en deux parties :

- ✓ L'intestin grêle, très long, dont la structure et les rôles sont les mêmes que chez le porc ;
- ✓ Le gros intestin qui comprend le caecum, le colon et le rectum ; il ne sécrète pas de suc digestif.

❖ **Les glandes annexes**

Les glandes annexes sont les mêmes que celles du porc, Elle présente cependant quelques particularités.

- ✓ **Les glandes salivaires :** sont très développées ; secrétant 100 à 200 l par jour de salive chez les gros bovins (environ 10 l par jour chez les ovins), Elle joue un rôle essentiel dans les modifications du bol alimentaire. La sécrétion est continue, mais augmente fortement lors de la mastication. La salive ne contient pas de ptyaline. Elle constitue une véritable solution tampon de pH =8,2.
- ✓ **La bile :** n'a pas de rôle important chez les ruminants qui ingèrent peu de lipide.

b- Les phénomènes mécaniques de la digestion**❖ L'ingestion des aliments**

Le temps d'ingestion est de cinq à huit heures par jour, fractionnées en une dizaine de repas. La mastication est rapide : 70 à 80 mouvements par minute chez les bovins, 120 à 150 chez les petits ruminants. Les fragments alimentaires résultant de cette mastication digestive sont allés dans un flot de salive ; ils sont énergiquement poussés vers l'arrière du Rumen, quelque soit leur taille, par les contractions rumen--réseau, et s'immerge dans le contenu du Rumen.

c- La motricité rumen--réseau et la transit

Le Rumen--réseau est toujours empli d'une masse alimentaire fibreuse en cours de fermentation qui contient généralement 85 à 90 % d'eau et représente les trois--quarts du contenu digestif total. Elle subit simultanément :

- ✓ Une dégradation chimique sous l'action de la population microbienne ;
- ✓ Un brassage permanent selon des circuits obligatoires sous l'action de la motricité du Rumen--réseau :
- ✓ Un broyage poussé au cours de la rumination ou du mérycisme ;
- ✓ Un transit sélectif en direction du feuillet. La taille de l'orifice reticulo-omasal est faible, si bien que seules les particules fines peuvent franchir : particule d'une taille inférieure à 2 mm chez les ovins, 4 mm chez le bovins. Les particules fibreuses et de grande taille sont refoulées vers le réseau et le rumen. La même grande particule peut donc être soumise de nombreuses fois à la mastication mérycique : avec les rations courantes À base de fourrage, la quantité de matière sèche ainsi mastiquée sera deux à trois fois supérieure à la quantité ingérée.

C'est donc la mastication Mérycique qui permet la vidange du rumen-réseau par la réduction en petite particule des tissus végétaux les plus résistants à la mastication ; ils sont ensuite exposés à la dégradation microbienne.

La résistance à la mastication conditionne le temps de séjour des aliments dans le rumen--réseau.

La motricité du rumen-réseau comporte deux types de phénomènes :

- ✓ Les phénomènes permanents, aboutissons au brassage du contenu, effectuées grâce à environ 2500 vagues de contractions journalières ;
- ✓ Les phénomènes non permanent, constituée par :

- L'éructation de produits dans le rumen--réseau, gaz carbonique et méthane principalement, À raison de 400 à 600 l par jour pour un gros bovin. Une absence d'éructation de ces gaz provoque leur accumulation et la météorisation.
- La rémunération, phénomènes cycliques qui se déroule en plusieurs étapes : régurgitations du bol alimentaire, déglutitions de la partie liquide, mastication mérycique lente (40 à 60 mouvements par minute chez les bovins, 80 à 100 chez les ovins) et phase de repos. La durée totale d'un site de rumination et de l'ordre d'une minute.

Chaque période de ruminations, de 25 à 45 minutes chacune, commence après la fin d'un repas. On observe chez les bovins une quinzaine de période de ruminations par jour, La première commence de 10 minutes à 1 heures après la fin des grands repas.

Cependant, le temps total passé à ruminer dépend largement du régime alimentaire : jusqu'à 10 heures par jour avec un régime à base de foin et de pailles, seulement 30 minutes par jour avec un régime à base de concentré.

d- Les phénomènes fermentèrent dans le rumen--réseau

Le milieu ruminal représente un milieu de fermentation particulièrement favorable au développement d'une population de micro-organismes très dense est très active grâce aux éléments suivants :

- ✓ Un milieu a que dans l'eau provient de l'eau bue par l'animal, de l'eau contenue dans les aliments et plus encore d'une salivation abondante et continue ;
- ✓ Une température à peu près constante (38 à 42 °C) ;
- ✓ Une telle en oxygène très faible maintenant une anaérobiose permanente ;
- ✓ Un flux régulier de substrat ;
- ✓ Des particules dont la taille est réduite par la mastication Mérycique, permettant ainsi l'accroissement de la surface d'attaque par les micro-- organismes ;
- ✓ pH maintenue dans une zone assez étroite (6,2 à 6,5) grâce notamment au rôle tampon de la salive (PH de 8,2) ;
- ✓ Un brassage permanent assuré par la motricité du rumen-réseau.

Les micro-organismes du rumen-réseau vivent en symbiose avec le ruminant, ce sont principalement des bactéries et des protozoaires.

e- La digestion dans la caillette et l'intestin grêle

Le contenu ne séjourne que peu de temps dans la caillette (2 à 3 heures) et progresse rapidement dans les parties antérieures de l'intestin grêle où ont lieu la digestion et absorption ; les cellules microbiennes y sont digérées en quasi-totalité par les enzymes pancréatiques.

- ❖ **Parmi les glucides**, seul l'amidon non dégradé dans le Rumen-réseau est hydrolysé en glucose dans l'intestin grêle, les glucides pariétaux ne sont pas dégradés. En général, la quasi-totalité (90 à 95 %) de l'amidon est dégradé dans le rumen-réseau. De ce fait, les quantités de glucose absorbé dans l'intestin grêle sont nulles avec les rations de fourrages seuls, est faible avec les rations mixtes usuelles ; elles ne deviennent importantes qu'avec les rations riches en graines de Maïs et de sorgho, dont l'amidon est dégradé de façon moins complète dans le rumen-réseau que celui des graines d'orge, de blé d'avoine. L'apport alimentaire de glucose ne fournit en moyenne que 5 % de l'énergie absorbée.
- ❖ **Les matières azotées** arrivent dans le duodénum sous deux types : alimentaire, uniquement des protéines, et microbiennes, constituée à 80 % de protéines assez bien pourvues en acides aminés indispensables, sauf en acide aminé soufré.
- ❖ **Les lipides** des aliments contiennent des acides gras en majeure partie insaturés ; ils ont été hydrogénés dans le rumen-réseau mais peu ou pas détruits. S'y sont ajoutés les acides gras microbiens. La quantité absorbée est généralement faible, mais elle peut être accrue par l'incorporation dans l'aliment concentré de graisse ou de graines oléagineuses.

f- La digestion dans le gros intestin

Les contenus arrivent par intermittence, y séjournant dans 15 à 24 heures. Ils y subissent l'attaque d'une population microbienne assez voisine de celles du Rumen-réseau, riche en bactéries cellulolytiques mais sans protozoaires. La fermentation est peu active parce qu'il reste très peu de constituants dégradables. En l'absence de sécrétion digestive, les cellules bactériennes ne sont pratiquement pas attaquées, il n'y a donc pas, ou très peu, d'acides aminés absorbés. A ce niveau sont surtout absorbés de l'eau et des minéraux, de l'ammoniac et le mélange d'acides gras volatils en quantité environ dix fois plus faible que dans le rumen-réseau.

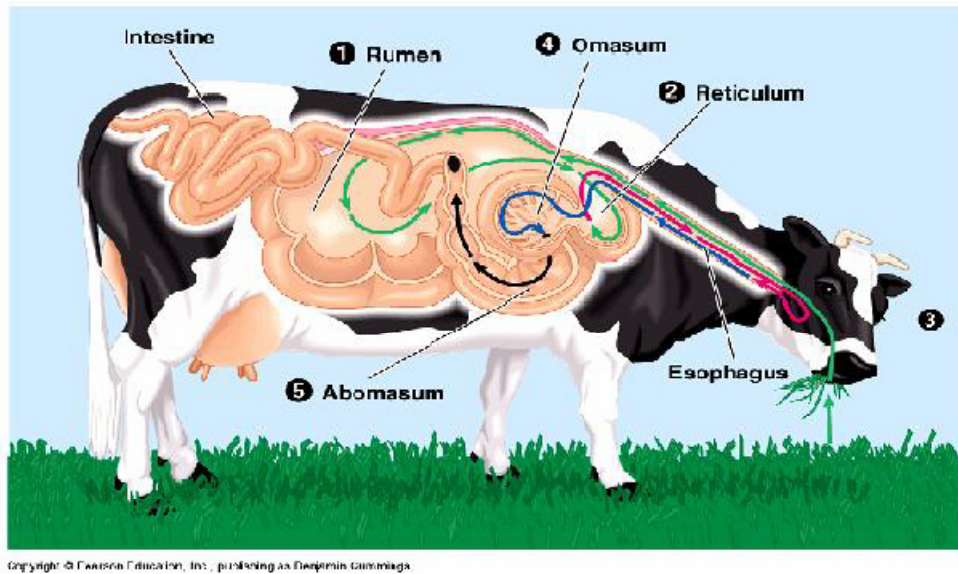


Figure 07. Tube digestif de la vache (Toutain et al., 2009).

2.2. La digestion chez le poulet

Il existe chez les oiseaux des différences notables de l'appareil digestif selon l'espèce ; c'est l'exemple du poulet qui est choisi ici.

a- L'appareil digestif du poulet

a-1- La cavité buccale : ne comprend ni des lèvres ni dents, mais un bec corné qui permet la préhension et une certaine fragmentation des aliments. Les glandes salivaires, le développement, sécrètent de la ptyaline. Il n'y a ni voile du palais ni épiglotte, si bien que la déglutition est un phénomène uniquement mécanique par redressement de la tête. L'œsophage contient un renflement dans l'épithélium est riche en glande à mucus : le jabot. Cet organe peut stocker des aliments qui s'y humectent et s'y ramollissent, il fonctionne chez le poulet alimenté à volonté.

a-2- L'estomac comprend deux parties :

- ❖ Un estomac chimique, le **ventricule succenturié**, dans la muqueuse est riche en glande sécrétrice à la fois l'acide chlorhydrique et le pepsinogène précurseur de la pepsine ;
- ❖ Un estomac mécanique, le **gésier**, peu sécréteur, caractérisé par une couche superficielle très dure entourée de muscles puissants. Il est y règne un pH très bas (deux à 3,5) et il peut contenir deux petits graviers, nécessaires aux animaux consommant des grains intacts.

a-3- L'intestin grêle est un tube d'environ 1,2 m de longueur dans la paroi est bien équipé en glande sécrétrice, il reçoit à son début les sécrétions du pancréas Du foie.

a-4- Le gros intestin : développer et se réduit pratiquement adossé école ou en lieu des fermentations bactériennes. Après un court rectum, on trouve le cloaque, carrefour des voies génitales, urinaire et intestinal.

La longueur totale du tube digestif est environ 2 m chez le poulet adulte.

b- La digestion

Les enzymes digestives des volailles sont similaires à celle des mammifères, en absence de lactase. Le transit des aliments est relativement rapide, il dure en moyenne 24 heures.

Dans la bouche, les aliments sont peu fragmentés et grossièrement un salivés ; l'action de la ptyaline sur l'amidon y débute et ceux poursuit dans le jabot.

- ❖ **Le jabot** ; Assure le stockage et le ramollissement des aliments grâce au mucus qui y est sécrété ; plus ou moins remplie, il participe au transit alimentaire en jouant le rôle de pompes aspirantes et foulantes ;
- ❖ **Le ventricule succenturié ou proventricule** ; c'est crête en abondance l'acide chlorhydrique mais le pH qui y règne n'est pas très bas (3 à 4,5) s'il bien que la fermentation de pepsinogène en pepsine n'est pas complète et que la protéolyse ne fait qu' débuté.

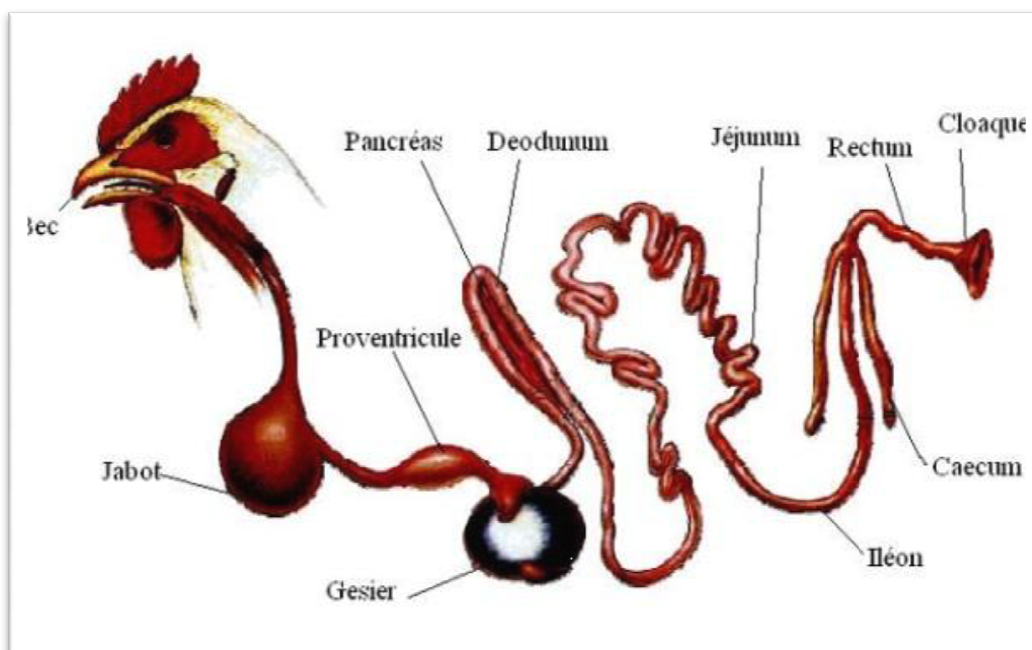


Figure 08. L'appareil digestif de poulet

- ❖ **Le Gésier** ; présente un pH bas (deux à 3,5), c'est donc pas que se produit véritablement là protéolyses sous l'action de la pepsine. En outre, la présence de petits cailloux dans cette poche permet à l'oiseau d'y broyer les graines. Si l'alimentation est à base de grains intacts, il importe de mettre des petits cailloux à disposition des animaux. Si les volailles sont nourries avec des farines, l'activité mécanique du gésier est très réduite.

- ❖ **L'intestin grêle** ; est le lieu préférentiel de la digestion chimique sous l'action des enzymes intestinales est pancréatique et de la bile.
- ❖ **Le caecum** ; est le siège de fermentation bactérienne sans doute d'importance secondaire, qui permet une utilisation partielle des glucides pariétaux des enveloppes de graines. Il s'y produit aussi une synthèse de vitamine B qu'ils pourraient profiter à l'oiseau.

Comme chez les autres espèces, Il y a à ce niveau une absorption importante d'eau et de sels minéraux.

2.3. La digestion chez le lapin

a- Appareil digestif du lapin

- ❖ **La cavité buccale** : le lapin possède une dentition comme suis : 2/1 incisive, pas de canines, 3/2 prémolaire, 3/3 molaire. Les glandes salivaires (parotides, mandibulaire, sublinguales et zygomatiques) produisent une salive contenant de la ptyaline ;
- ❖ **L'œsophage** ; est placé entre la trachée et la colonne vertébrale :

Il ne permet de mouvement du bol alimentaire que dans la direction de l'estomac. Il n'y a jamais de reflux de l'estomac vers la bouche, même de manière accidentelle.

- ❖ **L'estomac** ; est une poche allongée au revêtement muqueux. L'œsophage est relié à l'estomac par le **cardia** :
- ✓ La partie "aveugle" de l'estomac correspond au **fundus** et la zone opposée est l'**antrum** qui se termine par le **pylore**. Ce dernier est muni d'un sphincter puissant qui régule les sorties d'aliment en direction de l'intestin grêle. La paroi secrète principalement de l'**acide chlorhydrique**, de la **pepsine** et des **minéraux** (Ca, K, Mg et Na). Le pH toujours fortement acide varie, principalement dans la zone fundique ;
- ✓ Les pH les plus élevés sont observés en présence de cæcotrophes (pH de 3,5) alors que le pH le plus fréquent est situé entre 1,5 et 2,0. Mais aussi la sécrétion de pepsine et d'électrolytes varie également principalement en fonction du rythme d'ingestion des caecotrophes.
- ❖ **L'intestin grêle** ; mesure environ 3 m de longueur pour un diamètre d'environ 0,8 à 1 cm.
- ✓ Il est classiquement divisé en duodénum, jéjunum et iléon, la partie terminale. Le **canal cholédoque** qui apporte la bile en provenance du foie débouche au début du duodénum, immédiatement après le pylore. Son ouverture dans le duodénum est régulée par le sphincter d'Oddi. Rappelons que chez le lapin **la bile** est sécrétée pratiquement en continu par le foie, puis stockée dans **la vésicule biliaire** avant son évacuation ;

- ✓ **Le canal pancréatique** ; débouche vers la fin du duodénum à environ 40 cm du pylore. Sur la paroi, on observe de place en place des plaques de **tissu lymphoïde** d'environ 1 à 2 cm de diamètre. Il s'agit des **plaques de Peyer**.

Les multiples glandes présentes dans la paroi de l'intestin grêle secrètent de nombreuses enzymes qui viennent compléter celles sécrétées par le pancréas. Le contenu de l'intestin grêle est liquide, surtout dans la première partie. En outre, il est normal de trouver des portions d'une dizaine de centimètres, vides de tout contenu. Le pH est légèrement alcalin dans la première partie (pH 7,2 - 7,5) et s'acidifie progressivement pour atteindre 6,2 - 6,5 à la fin de l'iléon.

- ❖ **Le caecum** ; Cet intestin grêle débouche à la base du **caecum** par le "*sacculus rotondus*" qui contient la valvule iléo--cæcal. Sa paroi est constituée de tissu lymphoïde. **Le caecum** forme un second **réservoir** qui mesure environ 40--45 cm de longueur pour un diamètre moyen de 3 à 4 centimètres. Très près de l'abouchement de l'intestin grêle, c'est-à--dire de "l'entrée" du caecum, se trouve aussi le départ du côlon autrement dit la "sortie". De ce fait, le caecum apparaît comme une impasse branchée en diverticule sur l'axe intestin-grêle-côlon.
- ❖ **Le côlon** ; à une longueur de 1,5 m. Il est d'abord caractérisé par la présence d'haustra (petits renflements en forme de poche) sur environ 50 cm : c'est le côlon proximal. Après une zone d'environ 1 à 1,5 cm portant les seuls muscles striés du tube digestif et appelée *fusus coli*, la paroi devient lisse dans sa partie terminale; cette partie est appelée côlon distal. Sa dernière partie est appelée rectum et se termine à l'anus. Ce dernier est porteur des glandes anales.

b- Digestion chez le lapin

La principale originalité de la digestion chez le lapin réside dans le fonctionnement du colon proximal, aussi distinguerons--nous la digestion de la bouche au caecum d'une part et après le caecum d'autre part.

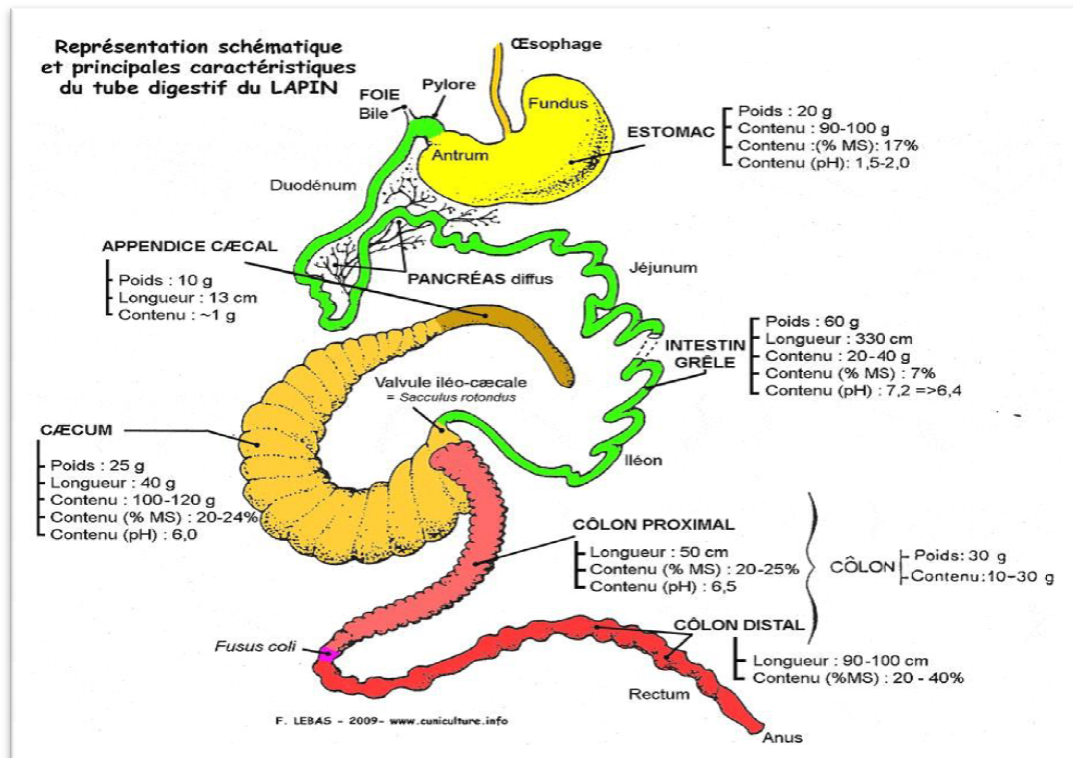


Figure 09. L'appareil digestif du lapin

La principale originalité de la digestion chez le lapin réside dans le fonctionnement du colon proximal, aussi distinguerons-nous la digestion de la bouche au caecum d'une part et après le caecum d'autre part.

❖ De la bouche au caecum :

Les particules alimentaires arrivent très rapidement dans l'estomac après mastications et insalivations ; Elles y séjournent 3 à 6 heures et y subissent peu de transformation sous l'action protéolytique de la pepsine.

Dans l'intestin grêle, au cours d'un séjour d'environ 1 heures 30 minutes, Sous l'action des enzymes intestinales et pancréatique et de la bile, les éléments aisément dégradables sont digérés et absorbés à ce niveau. Les particules non dégradées entrent dans le caecum où elle séjourne obligatoirement deux à 12 heures ; elles y subissent la hâte des bactéries.

L'activité qui règne dans le caecum du lapin est comparable à celle qui a lieu dans celui du cheval : Les glucides et les résidus de l'activité de l'intestin grêle donnent des acides gras volatils absorbés ; les bactéries utilisent les résidus azotés pour leur multiplication, produisant des protéines microbiennes riches en acides aminés indispensables ; Il y a production de vitamines B, C et K.

Évacué vers le colon, le contenu du caecum est constitué approximativement pour moitié de particules alimentaires non dégradé est pour moitié de corps bactériens.

Jusqu'à ce stade, Le fonctionnement de l'appareil digestif du lapin n'est pas réellement différent de celui des autres monogastriques (porc, cheval) ; l'originalité réside dans le fonctionnement du colon proximal.

❖ **Après le caecum**

A la sortie du caecum est à l'entrée du collant, il y a possibilité de tri des particules selon leur taille ; En outre, le colon est capable de deux types d'activités différentes selon le moment de la journée.

- ✓ Si le contenu du caecum s'engage dans le côlon au début de la matinée, Et il subit de transformation. La paroi sécrète un mucus qui enrobe progressivement les pelotes de contenu que les contractions de la paroi ont permis de former. C'est pelote, protégée par le mucus, se trouvent réunis en grappes de 5 à 10 .éliminés en général en cours de matinée, ce sont les crottes molles ou caecotrophes que le lapin ingère on les prélevant directement à l'anus. En référence au terme de caecotrophes (aliments du caecum), On appelle caecotrophes là coprophagie intermittente et sélective du lapin ;
- ✓ Si le continue caecale s'engage dans le côlon à un autre moment de la journée, sans s'en est différent et y est fractionné :
 - La fraction liquide, contenant les produits solubles, corps microbiens et les petites particules (<0,1 mm) est en grande partie refoulée vers le caecum ;
 - La fraction renfermant surtout les grosses particules (<0.3 mm) et acheminiez préférentiellement vers le côlon et le rectum, où elles forment les crottes dures et riche en glucides pariétaux. S en fabriquer la nuit, entre 18 :00 et 7 :00 et non ingérées.

Dans le côlon règne à ce moment une activité intense : la paroi sécrète des enzymes capables de dégrader une partie importante des cons en microbiens et peut absorber certains produits de cette bactériolyse, Vitamines et acides aminés notamment. L'absorption d'eau est importante.

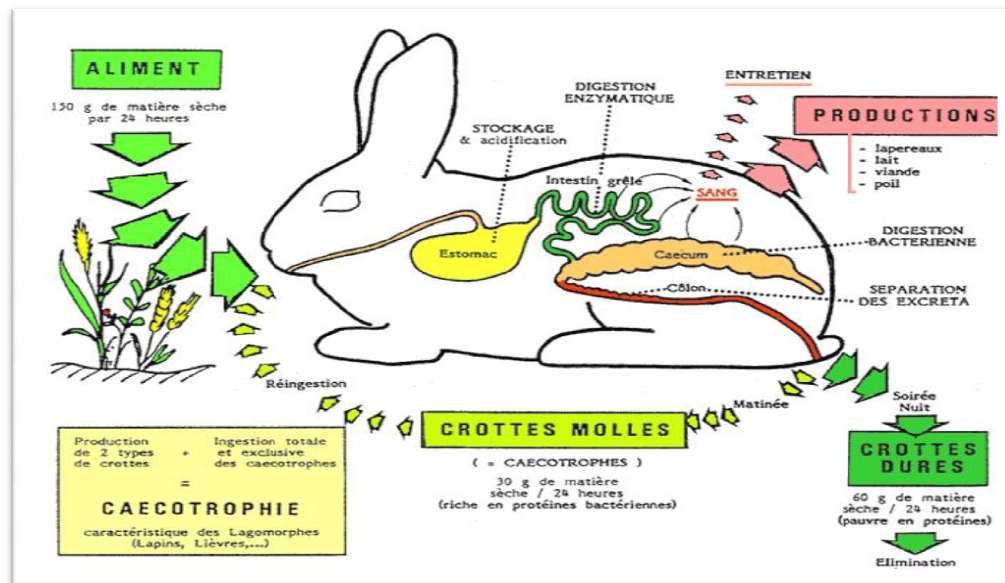


Figure 10. La digestion chez le lapin

3. Alimentation énergétique

3.1. Importance

Les ruminants ont besoin d'**Énergie** pour se déplacer, boire, respirer, manger et digérer, produire de la viande, du lait, un foetus.... Cette énergie est présente dans les sucres et les graisses (glucides et lipides) que l'on retrouve essentiellement dans l'alimentation des ruminants ainsi que dans les réserves corporelles.

Les besoins en énergie des ruminants sont exprimés en fonction d'une unité: **l'Unité Fourragère (UF)**; correspond à la quantité d'énergie contenue dans 1 kg d'orge.

Les ruminants ont également **besoin de protéines** afin de produire les protéines nécessaires à la production du lait, de viande, le développement du foetus, ect. Il synthétise des protéines à partir d'acides aminés arrivant dans l'intestin.

On peut dire que le ruminant à fort niveau de production a du **mal à trouver tout l'azote** dont il a besoin dans **son alimentation**, d'où la nécessité d'une complémentation azotée.

Les **besoins en protéines** sont exprimés en protéines digestibles dans l'intestin (**PDI**) en grammes.

Les **minéraux et vitamines** sont des éléments **obligatoires** utilisés dans de nombreux mécanismes du corps d'un ruminant.

Les besoins en minéraux sont exprimés en **gramme** ou **mg**.

L'animal trouve de l'énergie dans son alimentation (**EB**). Cette énergie n'est pas en totalité **utile aux cellules** à la suite des pertes diverses.

Lors de la digestion, une partie de l'énergie est *éliminée dans les fèces*. Les pertes sont autant plus importantes que l'aliment est *peu digestible* (la digestibilité varie principalement en fonction de la teneur en fibres (CB). Le reste est appelé énergie digestible.

L'énergie digérée est transmise aux cellules après des pertes énergétiques urinaire et gazeuse, c'est l'énergie métabolisable (EM).

Elles l'utilisent pour son fonctionnement (EN réellement profitable à l'animal) dont une partie est perdue sous forme de chaleur.

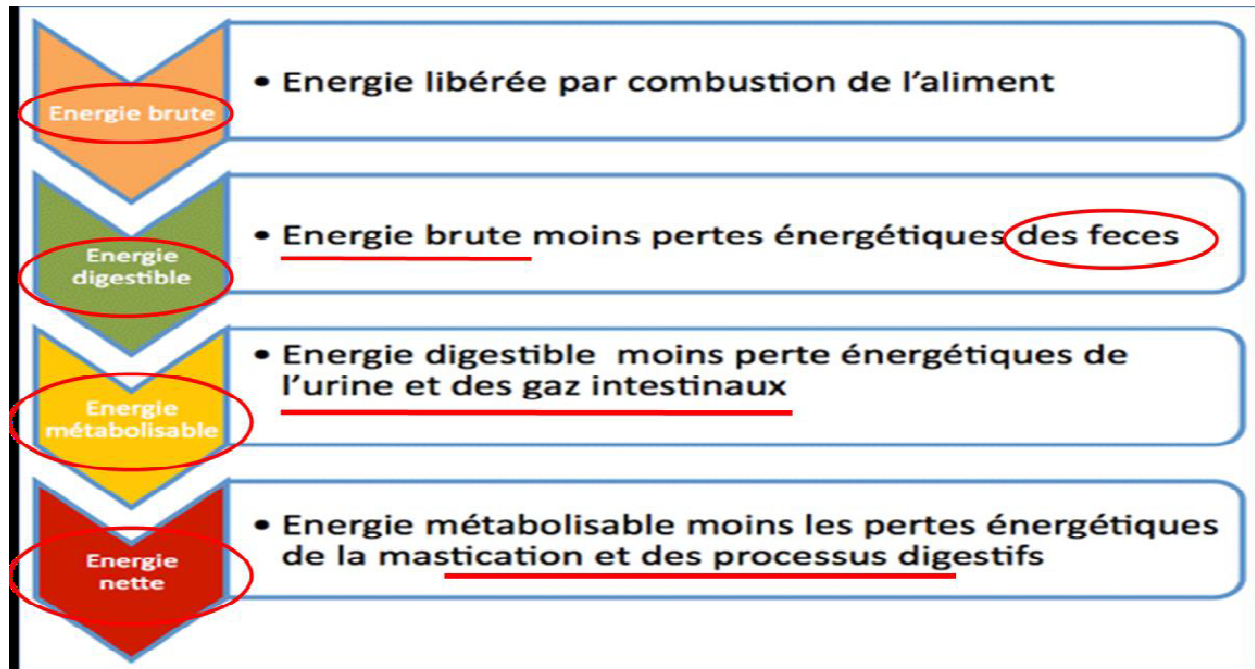


Figure 11. Etape de transformation d'un aliment en énergie nette.

3.2. Besoins alimentaires

La consommation en fourrages d'un ruminant est liée à sa **capacité d'ingestion** qui est définie comme la *quantité totale de matière sèche qu'un animal peut consommer par jour*.

La capacité d'ingestion d'un ruminant dépend du **Poids**, de l'**Age** et de l'**état physiologique** de l'animal.

Les premiers besoins à être satisfaits par un ruminant sont **les besoins d'entretien**; Un animal qui ne produit rien, par *exemple* une vache adulte tarie et non gestante, a cependant besoin de consommer une certaine quantité de nourriture pour couvrir les dépenses.

Ces dépenses correspondent aux besoins d'entretien lorsque l'animal maintient constant son poids et son état. Elles *augmentent* avec le poids de l'animal.

Les **besoins de production** correspondent à toutes les autres fonctions de l'animal, on distingue ainsi les besoins de:

- ✓ **Besoins de croissance** : (production de viande, constitution de réserves) ;
- ✓ **Besoins de lactation** : (production de lait pour allaiter le veau/agneau) ;
- ✓ **Besoins de reproduction** : (gestation, développement du fœtus) ; Les besoins pour la gestation n'est important que durant les 3 derniers mois.

3.3. Effets de carence en apports énergétiques

Dans le contexte de l'élevage des animaux domestiques allaitants, la sous-alimentation s'exprime d'abord en termes d'apports énergétiques totaux, avant de s'exprimer en termes d'apports azotés ou minéraux.

Une vache Charolaise adulte, sous-alimentée et de bon d'état corporel, présenterait une perte de masse corporelle composée essentiellement de lipides; par contre, une vache en mauvais état corporel, aurait une perte de masse corporelle composée de 20% de lipides, 16% de protéines et 64% d'eau et de minéraux (Début d'une famine).

Les conséquences de la sous-alimentation chez les vaches allaitantes dépendent, d'une part de l'intensité de la sous-alimentation et d'autre part de la fonction physiologique considérée. Les stades physiologiques qui sont ainsi touchés par la sous-alimentation sont le milieu et la fin de la gestation ainsi que le début de la lactation (**Martine et Yannick., 2014**).

Pendant la lactation, la sous-alimentation n'a que peu d'effets sur la production laitière sauf si celle-ci est de longue durée.

Ainsi, si la sous-alimentation conduit à **un état d'amaigrissement** trop poussé, la venue en chaleurs des vaches est retardée et la fertilité (fécondation, survie embryonnaire) réduite.

Pour **une bonne fertilité** ; le **flushing** est une technique d'alimentation qui permet d'améliorer la fertilité et la fécondité des animaux domestiques.

Un apport supplémentaire *d'aliments concentré* au cours des *3 à 4 semaines* qui précèdent et des *3 semaines* qui suivent *la fécondation*.

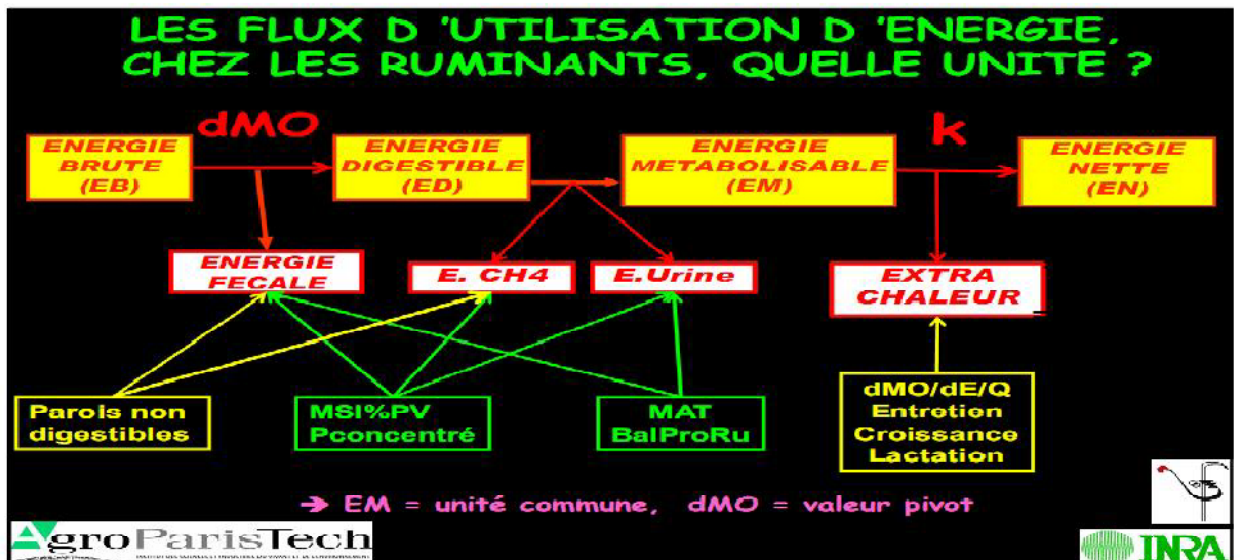


Figure 12. Flux d'utilisation d'énergie chez les ruminants (Sauvant et al., 2013)

4. Alimentation Azotée

4.1. Importance

L'Azote (N) est présent dans les protéines, ce groupe chimique comprend ; les protéines qui interviennent surtout à la construction de l'organisme (absorption intestinale A.A.) et des composés non protéiques (urée, A urique, ammoniacque; qui sont des éléments toxique pour le corps).

Les protéines dont l'animal a besoin sont différents de celles présentes dans son alimentation.

Par contre à l'énergie (stockage se forme des Graisse), l'animal stocke mal l'excès en azote. Il l'élimine avec les déjections ce qui peut nuire gravement l'environnement. Dans le sol, l'azote se transforme en nitrate NO_3^- (pollution des eaux). Par conséquent, il est important de maîtriser l'alimentation azotée pour le profit de l'exploitation et la conservation de l'environnement.

4.2. Besoins alimentaires

4.2.1. Cas des monogastriques

La protéogenèse (Synthèse des protéines) exige couramment la présence de 20 AA qui peuvent classées en **trois (03) catégories** :

- ❖ **AA banals** : Les dix acides aminés non-essentiels sont synthétisés par l'organisme lui-même. Il s'agit là de l'alanine, l'asparagine, l'acide asparaginique, la cystéine, la glutamine, les acides glutamiques, la glycine, la proline, la serine et la tyrosine ;

- ❖ **AA indispensables (AAE)**: souvent déficientes en aliment, l'animal ne peut pas les synthétiser, ces acides aminés sont constitués de huit acides aminés : L-phénylalanine, L-tryptophane, L-thréonine, L-lysine, L-valine, L-méthionine, L-leucine et L-isoleucine ;
- ❖ **AA semi indispensable** : L'arginine et l'histidine forment ce groupe des acides aminés. Dans certains cas, ils devront être assimilés au travers de l'alimentation.

Remarque : Si la ration est déficitaire en AAE, l'animal ne pourra pas synthétiser correctement ses protéines. Donc, pour raisonner l'alimentation azotée pour les monogastriques, on utilise le système MAT (PB) en tenant compte des AAE.

Acides aminés non protéiques: Il existe de nombreux autres acides aminés (*environ 250 AA*), qui ne sont jamais trouvés comme constituants de protéines, mais qui jouent des rôles métaboliques ou se produisent comme des produits naturels.

Exemple. L- Ornithine, L-Citrulline.

4.2.2. Cas des ruminants

Une part des protéides alimentaires subit le même trajet digestif comme chez les monogastriques. Mais il y a un phénomène important qui se produit dans la panse des ruminants.

La flore microbienne permet aux ruminants d'utiliser à la fois les sources **azotées protéiques et non protéiques**. Les microbes en bénéficiant de l'énergie et l'azote alimentaire et salivaire se multiplient et fabriquent leurs propres protéines.

Toutes ces matières seront ensuite entraînées par le transit et digérées dans l'intestin grêle.

Donc, le ruminant après avoir absorbé les protéines digérées sous formes des AA bénéficie alors à la fois de PDIA et PDIM.

Le système PDI ne tient pas compte des différents types des AA, par différence aux monogastriques.

Cela s'explique par le fait que la flore microbienne au rumen est capable d'en fabriquer pour son propre compte et le ruminant les récupère suite à la digestion et couvre ses besoins en AAE.

Si le ruminant est en production élevée, il faut lui apporter AAE (technique de fabrication des aliments les protègent de la dégradation bactérienne).

4.3. Effets de carence en apports azoté

Lorsqu'il y a **carence en un acide aminé**, les protéosynthèses corporelles sont diminuées, les carcasses deviennent plus grasses. Il est donc nécessaire de formuler des régimes contenant.

S'il existe un **excédent** de matières azotées par rapport à l'énergie présente, l'ammoniac excédentaire est absorbé puis transformé en urée dans le foie.

Les acides aminés sont tout à fait similaires aux consommations en O₂ calculées à partir de résultats in vivo sur agneaux.

De façon générale, des études de physiologie comparée entre espèces animales indiquent que les variations de débit sanguin sont les principaux facteurs de contrôle de l'intensité métabolique.

Diverses expériences ont montré que la sous-alimentation entraînait une baisse du volume plasmatique total.

5. Alimentation minérale et vitaminique

5.1. Importance

A- Les minéraux

Il existe deux groupes des minéraux

❖ **Les éléments majeurs** : présents dans l'organisme en quantités relativement importantes :

Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S ;

❖ **Les oligoéléments** : présents en très faibles quantités : Fe, Mo, Sé, Zn, Co, I.

Les minéraux interviennent dans :

- ✓ Composition du squelette : l'os contient 25% de matières minérales, principalement Ca et P ;
- ✓ Activateurs et constituants des enzymes, hormones, de vitamines, la plupart des oligoéléments participent à la régulation des réactions biochimiques.

B- Les vitamines

La vitamine A est indispensable pour la fabrication du pourpre rétinien intervenant dans la vision, nécessaire à la protection des tissus épithéliaux et des muqueuses, de plus est nécessaire à la croissance.

La vitamine D favorise la fixation du calcium et phosphore dans les os et intervient dans l'absorption intestinale du calcium.

La vitamine E favorise la défense immunitaire ; de plus, c'est un antioxydant biologique protégeant à la fois de l'oxydation des acides gras insaturés et l'oxydation de certaines vitamines (surtout vitamine A) des hormones et enzymes. En outre a un rôle synergétique avec le sélénium.

La vitamine K est indispensable à la synthèse de la prothrombine au niveau du foie, favorise la coagulation du sang en transformant cette vitamine en thrombine.

La vitamine B est un cofacteur enzymatique jouant un rôle essentiel dans le fonctionnement cellulaire.

La vitamine B₁, joue un rôle fondamental dans le métabolisme du glucide.

La vitamine B₂ intervient dans l'utilisation de l'oxygène et le transfert d'hydrogène par les cellules.

La vitamine B6 intervient dans le métabolisme des acides aminés.

Vitamine B12 joue un rôle dans la synthèse d'acides nucléiques, la multiplication cellulaire, fabrication des globules rouges reconnue comme vitamine antianémique.

5.2. Besoins alimentaires

La couverture des apports alimentaires recommandés en éléments minéraux nécessite pratiquement toujours une complémentation minérale de la ration à partir de matière première minérale.

Les teneurs des aliments en minéral sont toujours variables dans le cas du fourrages (+ Ca, -P et -Na) et plus stables pour les aliments concentrés (+ P, - Ca, -Na).

5.3. Effets de carence et symptômes des minéraux et vitamines

A- Les minéraux

Les éléments minéraux sont nécessaires (NaCl, Ca, P,). Mais certains ne sont présents qu'en très faible quantités dans l'organisme ; ce sont les oligo-éléments.

Mais leurs carences dans le régime alimentaire peuvent induire des grands problèmes dans la santé et la production, ainsi que leurs excès ; excès de cuivre pour les mouton.

Tableau 2. Principale rôle et symptômes de carences de quelques Macroéléments

(Drogoul et *al.*, 2010).

Minérale	Rôle principale	Symptômes de carences
Fer	Constituants de l'hémoglobine et de la myoglobine	Anémie, rend la viande blanchâtre pour les veaux de boucherie.
Cuivre	Intervient dans les systèmes enzymatiques	Troubles osseux et cardiaque, décoloration pigmentaire chez les bovins, ostéochondrose chez le poulain à croissance rapide.
Cobalt	Contenant de la vitamine B12	Cachexie (amaigrissement intense) surtout pour les ruminants.
Manganèse	Entre dans la formation du squelette	Défaut d'aplomb chez les ruminants, courbure et raccourcissement des pattes pour les volailles.
Iode	Constituant de la thyroxine (hormone de la thyroïde)	Goitre (hyperthyroïdie) ; ralentissement d'ossification ; raccourcissement des tendons des doigts et contraction des membres antérieurs et prognathisme mandibulaire pour le poulain.
Zinc	Rentre dans la fonction du système enzymatique cellulaire pour la respiration	Pelade (perte du système pileux), dermatite, lésion de la peau ; épiphyse, ostéochondrose chez le poulain
Sélénium	Antioxydant	Myopathie (dégénérescence des fibres musculaires), chez le bovin et poulain de boucherie, diathèse exsudative (œdème) chez la volaille.

B- Les vitamines

La carence en vitamine A entraîne : un retard de croissance, une perte d'appétit, une hyper kératinisation de la peau et des épithéliums, engendre des poils piqués ; sensibilité accrue aux infections et infestation parasitaire, héméralopie (cécité crépusculaire) est un abaissement de la vision lors d'une faible intensité lumineuse.

La carence en vitamine D entraîne chez les jeunes animaux le rachitisme qui se développe plus rapidement en obscurité (mise bas en saison hivernale). Cette maladie se manifeste par une démarche raide, des membres arqués, apparition de bourrelet dans les articulations des membres, chez l'adulte apparition d'ostéomalacie entraînant une fragilité de l'os, déformation du squelette et ponte d'œufs à coquilles amincies pour les poules.

Chez les vaches laitières en début de lactation entraîne une fièvre vitulaire.

Un excès de cette vitamine provoque une déminéralisation osseuse accompagnée d'une hypercalcémie surtout des tissus mous (cœur, reins...etc.).

La carence en vitamine E alterne les tissus musculaires (myopathie) surtout chez les jeunes animaux. Appelée vitamine anti stérilité mais aucune étude ne prouve cette appellation.

La carence en vitamine K entraîne une diminution accrue du taux sanguin accompagnée d'un allongement du temps de coagulation pouvant provoquer des hémorragies internes.

La carence en vitamine B1, entraîne une faiblesse généralisée, trouble du système nerveux dont des nécroses du cortex cervical.

La carence en vitamine B2 provoque un ralentissement de la croissance ; une boiterie et une déformation des doigts, recroquevillés vers l'intérieur chez la volaille.

La carence en vitamine B6 entraîne un ralentissement de la croissance, troubles nerveux et cutanés (dermite).

Travaux Dirigés

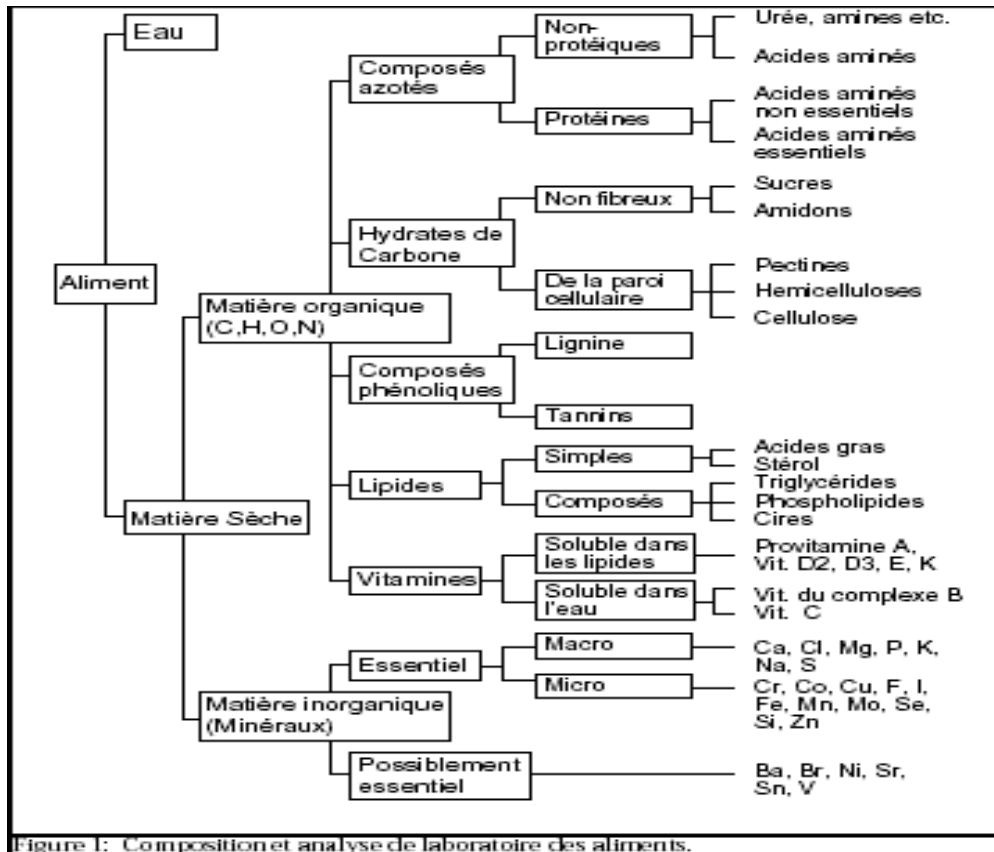
TD N° 01 : Caractérisation des aliments du bétail

(Les aliments concentrés et Les fourrages)

Objectifs :

- ❖ Détermination de la composition chimique des aliments.
- ❖ Détermination de différentes catégories des aliments avec leurs caractéristiques.

A- Constitution des aliments



B- Les catégories des aliments

1- Aliments concentrés

- ✓ Pauvres en fibre et riches en énergie ;
- ✓ Variables en protéines: grains de céréales < 12%; tourteaux > 30% ;
- ✓ Ingérés rapidement ;
- ✓ Faible volume par unité de poids (densité élevée), ne stimulent pas la rumination ;
- ✓ Fermentent plus rapidement dans le rumen et donc ils augmentent l'acidité de son contenu, => effet négatif sur la fermentation des fibres, acidose.
- **Sous produits (Pailles)**
- ✓ Caractérisées par leur forte teneur en parois lignifiées, leur faible teneur en MAT ;

- ✓ Ce st des « F » pauvres. Leur utilisation nécessite une complémentation énergétique, azotée, minérale et vitaminique.

2- Fourrages

- ✓ Les fourrages (F): souvent riches en glucides pariétaux ;
 - ✓ Ils sont nécessaires dans la ration sf de longues particules (+ 2,5 cm) pour un bon fonctionnement du rumen ;
 - ✓ Diverses familles botaniques: graminées, légumineuses, crucifères.
- On distingue:
- F verts contenant 10-30% de MS ;
 - Ensilages contenant 30-40% MS ;
 - F secs (foins et F déshydratés): 85-95% MS.

2-1- F verts

- ✓ Les ≠ parties constitutives d'un F ne présentent pas les mêmes caractéristiques ;
- ✓ Chez graminées: 1er cycle de végétation- la proportion de limbes décroît vite; celle des tiges, des gaines et des épis s'accroît.
- ✓ Chez légumineuses:
 - Au cours d'un cycle donné: la proportion de feuilles diminue moine vite que chez les graminées.
 - Au cours des cycles successifs, la part des feuilles s'accroît.
 - Stade de coupe optimal:
 - Début épiaison chez graminées ;
 - Milieu floraison chez légumineuses

2-2- Ensilages

Méthode de conservation qui met en œuvre la fermentation des glucides solubles par des bactéries anaérobies, notamment les bactéries lactiques

- ✓ Valeur alimentaire d'un F conservé = ou < F vert ;
- ✓ L'acide lactique élaboré fait baisser le pH, ce qui inhibe tout autre développement bactérien et assure ainsi la stabilisation de l'alt.
- ✓ La bonne conservation, pH <ou= 4.

Excellent ensilage si: installation précoce, rapide et intense de l'acidité lactique. Il faut donc :

- ✓ Une bonne et rapide anaérobiose (fort tassement, étanchéité des parois et de la couverture du silo) ;
- ✓ Le pH doit être abaissé le + vite possible (l'aliment doit contenir des sucres solubles utilisables par la flore lactique, les aliments ne doivent pas présenter de fort pouvoir-tampon) ;
- ✓ Pas de contamination par des spores de clostridies.

2-3- Foins

- ✓ Le fanage réalisé grâce: chaleur, ensoleillement, vent ;
- ✓ Qualité d'un foin fonction de: qualité de la plante coupée, conditions météo, techniques de fenaison (pertes).

Tableau 3. Valeurs d'encombrement de quelques aliments (/kg de MS).

(Drogoul et al., 2010).

Aliments	UEM	UEB	UEL
Fourrage vert de prairie permanente	1,05	1,04	1,02
Foin	1,40	1,13	1,08
Ensilage	1,30	1,16	1,09
Paille	2,41	1,80	1,60

Remarque : UEL peut être utilisée pour les vaches laitières mais aussi pour les caprins.

Tableau 4. Valeur nutritive des aliments (INRA, 2007)

Aliments disponibles	UFL	PDIN	PDIE	VEF
Ensilage de Maïs	0,85	51	71	1,34
Ensilage d'Herbe	0,86	86	69	1,42
Orge	1,16	82	103	/
Tourteau de soja	1,20	384	284	/
Tourteau d'arachide	1,06	344	188	/
Urée	/	1610	/	/

TD N° 02 : Caractérisation des aliments du bétail

(Graines oléagineuses et protéagineuses)

- **Graines oléagineuses (Protéines + Réserves lipidiques)** : (Soja, Arachide, Colza, Navette, Tournesol, Carthame, Lin, Coton ...) ;
Graines cultivées pour la production d'huile à destination humaine ↪ Tourteaux utilisés en alimentation animale.

Tableau 5. Composition physico-chimique des aliments oléagineux

Graine	MS (%)	MAT (% de MS)	MG (% de MS)	CB (% de MS)	MM (% de MS)
Soja	90	36	18	5,5	5
Lin	90	23	34,5	7	5
Colza	90	21	41	7	9
Tournesol	92	15	30	24	3

- **Graines protéagineuses (Protéines + Réserves amylacées)** : (Pois, Féverole, Vesce, Lupin doux, Haricot, Lentille, ...), les Graines protéagineuses sont cultivées en Europe pour leur richesse en Protéines.

Tableau 6. Composition physico-chimique des aliments protéagineux

Graine	MS (%)	MAT (% de MS)	MG (% de MS)	CB (% de MS)	MM (% de MS)
Pois	88	24	03	07	03
Féverole	88	26	1,5	7,5	03
Lupin	88	34	07	12	03
Vesce	88	25	1.5	3,5	03

❖ **Les sous-produits de l'industrie Agro-alimentaire**▪ **Les sous-produits de l'industrie du sucre**

- ✓ sont des aliments riches en fibres digestibles (les pulpes de betteraves) ou en sucres simples (la mélasse) ;
- ✓ Ce sont des aliments avec une grande palatabilité.

▪ **Tourteaux des oléagineux**

- ✓ Les plantes oléagineuses: soja, arachide, coton, lin, colza et tournesol ;
- ✓ Les tourteaux obtenus après extraction d'huile contiennent en général 30-50% de protéines.
- ✓ Ce sont des sources typiques de suppléments protéiques pour animaux.

▪ **Les sous produits de Brasserie : les drêches de brasserie**

- ✓ Enveloppes du grain d'orge récupérées après fermentation ;
- ✓ Valorisées fraîches ou déshydratées ;
- ✓ Riches en MAT (sources de PDIA) ;
- ✓ Valeur énergétique assez bonne ;
- ✓ Utilisation : vaches et chèvres laitières.

TD N° 03 : Rationnement (Lait)

Exercice : Soit une vache laitière, leur poids vif est de **600kg** à la deuxième lactation, produite **15kg** de lait (à 4%de MG), et en **7^{ème}** mois de gestation, leurs poids varie de **43,8kg/an**, on la donne ad-libitum d'ensilage de maïs de **12kg** de MS.

Valeur nutritive	UFL	PDIN	PDIE	VEF
Ensilage de maïs (1 Kg)	0,85	51	71	1,20

1- Critiquez la Ration ?

2- Proposer une autre ration de base à partir des aliments citer au tableau suivant (INRA, 2010).

Aliments disponibles	UFL	PDIN	PDIE	VEF
Ensilage d'herbe	0,86	86	69	1,42
Orge	1,16	82	103	/
Tourteau de soja	1,20	384	284	/
Tourteau d'arachide	1,06	344	188	/

Réponse

1- Détermination des différentes besoins

	UFL	PDI
BE	$1,4 + 0,006 (PV) = 5$	$100 + (PV/2) = 400$
BP	$0,44 * 15 = 6,6$	$50 * 15 = 750$
BC	$3,5 * 0,12 = 0,42$	$280 * 0,12 = 33,6$
B G	1	80
TOTAL	13,02	1263,6

2- Détermination de la valeur nutritive de l'aliment (ensilage de maïs) $12/1,2=10$ kg

Aliment	UFL	PDIN	PDIE
Ensilage Mais	8,5	510	710

3- Commentaires

La ration de base est déficitaire en **UFL (-4,52)**, **PDIN (-753,6g)** et **PDIE (-553,6)**

4- Proposition d'une nouvelle ration

D'après le déficit énergétique et protéique, on choisit l'orge et le tourteau de soja comme des aliments de correction, (Orge=O et Tourteau de soja=S)

Donc, on a manqué de 4,52 UFL et 753,6 g de PDIN

$$\left\{ \begin{array}{l} 4,52 \text{ UFL} = 1,16 \text{ Orge} + 1,20 \text{ Tourteau de Soja} \\ 753,6 \text{ PDIN} = 82 \text{ Orge} + 384 \text{ Tourteau de Soja} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 4,52 = 1,16 \text{ O} + 1,20 \text{ S} \\ 753,6 = 82 \text{ O} + 384 \text{ S} \end{array} \right.$$

D'après le calcul on obtient les valeurs suivantes

- ✓ La valeur de l'orge est de **2,5 Kg**
- ✓ La valeur de Tourteau de Soja est de **1,4Kg**

Aliment	UFL	PDIN	PDIE
Orge	1,16x 2,5 = 2,90	82x 2,5 = 205	103x 2,5= 257,5
Tourteau de Soja	1,2x 1,4 = 1,60	384x 1,4 = 537,6	284x 1,4= 397,5
Total	4,50 UFL	742,6 g	655g

Commentaire ; Aliment équilibré

Partie 2: Végétale

1. La plante agricole

Presque toute la nourriture que nous consommons aujourd'hui provient des végétaux, directement par les féculents, les fruits et les légumes ou indirectement à travers les animaux d'élevage qui se nourrissent également de plantes (fourragères). Les graines de céréales (riz, blé, avoine, orge, maïs, mil, sorgho...) fournissent dans presque tous les pays du monde la base énergétique de l'alimentation. Ce sont des plantes qui poussent presque partout et qui savent s'adapter à des climats différents. C'est pourquoi elles ont autant d'importance dans l'histoire des hommes. Comme les céréales, la pomme de terre est une culture essentielle pour notre alimentation.

Une plante agricole est constituée:

- ✓ D'une partie souterraine: le système racinaire est composé de racines plus ou moins ramifiées en racines secondaires, tertiaires... selon les plantes ;
- ✓ D'une partie aérienne: la tige, plus ou moins ramifiée en rameaux porte les feuilles, les fleurs et les fruits, ces derniers renfermant les graines.

La taille et la forme très variées de ces différents organes sont à l'origine de la très grande diversité morphologique des végétaux. Ces organes ne sont pas toujours tous présents en même temps sur la plante, car la vie de la plante se réalise selon un cycle appelé cycle de végétation.

1.1. Relation entre plantes cultivées

La prise en compte des multiples enjeux de l'agriculture nécessite de procéder à des techniques culturales favorisant l'augmentation du rendement et la protection du sol.

1.1.1. Assolement

L'assolement est la répartition sur l'exploitation des surfaces consacrées aux différentes productions végétales.

Il est établi avant chaque année de culture (ou campagne agricole) et résulte des choix de l'agriculteur quant à l'orientation technico-économique qu'il veut donner à son exploitation.

L'assolement est une répartition des cultures dans l'espace. La surface réservée à chaque culture porte le nom de sole. Une sole peut ainsi regrouper plusieurs parcelles (ex. : une exploitation céréalière de 80 ha produisant du blé, de l'orge, du maïs et du tournesol).

L'assolement peut être pour une année le suivant : 30 ha de blé; 20 ha de maïs ; 20 ha d'orge ; 10 ha de tournesol.

1.1.2. Rotation

La rotation est l'ordre de succession des cultures sur la même parcelle. Elle correspond à une répartition des cultures dans le temps. La rotation est une nécessité technique; en effet, de nombreuses cultures ne supportent pas d'être produites plusieurs années de suite sur la même parcelle. L'explication en est simple: chaque espèce végétale modifie le milieu environnant et la succession d'espèces différentes évite de trop perturber dans une seule direction les conditions de milieu initiales.

Les modifications du milieu peuvent se situer au niveau de :

- ❖ L'ameublissement du sol : le travail du sol, le développement racinaire et la couverture du sol par la végétation qui protège le sol des pluies sont autant de facteurs influençant le bon état physique du sol; or, ceux-ci sont variables selon les cultures.
- ❖ La richesse du sol en matières organiques : certaines cultures laissent beaucoup de résidus de récolte (ex : paille de maïs), d'autres moins (ex : blé dont la paille est vendue).
- ❖ La richesse minérale du sol: certaines plantes sont très exigeantes en éléments nutritifs qu'elles puisent dans le sol; elles sont dites épuisantes (ex : blé, maïs). D'autres ont la faculté d'enrichir le sol, elles sont dites améliorantes; c'est le cas des légumineuses (ex : luzerne) qui enrichissent le sol en azote grâce à une symbiose avec une bactérie appelée rhizobium:
- ❖ Le développement des adventices des cultures : certaines adventices sont difficiles à éliminer d'une culture, même avec les herbicides car elles ont une physiologie proche de celle de la plante cultivée (ex : folle avoine dans une culture de blé).
- ❖ Le développement du parasitisme : le principe est identique à celui des adventices; les parasites animaux et végétaux qui se sont développés culture ne peuvent pas, si l'on change de culture, retrouver leur hôte de choix.

Les parasites sont alors condamnés à fuir ou plus souvent à mourir d'autant plus que les pesticides utilisés pour la nouvelle culture peuvent être toxiques pour eux.

Ces perturbations du milieu existent même si elles peuvent être limitées grâce aux techniques culturales modernes :

- ✓ Epannage d'engrais ;
- ✓ Désherbage chimique;
- ✓ Lutte phytosanitaire à l'aide des pesticides.

La rotation dépend de l'assolement qui a été choisi par l'agriculteur. Mais il est également indispensable que l'assolement tienne compte de la rotation possible des cultures: en effet, de nombreux problèmes, surtout phytosanitaires ou d'épuisement des sols, pourraient être évités si l'agriculteur se souciait d'assurer une bonne rotation des cultures.

1.2. Les semences

1.2.1. Choix et préparation des semences

C'est sous la forme de semence que l'agriculteur confie, en général, la plante au sol, la semence qui, sous un petit volume, renferme en puissance la plante entière, intervient au même titre que le climat et le sol sur le rendement ultérieur de la récolte. On conçoit donc que son choix ait une importance particulière. Pourtant, cette précaution élémentaire est encore souvent fort négligée; il faut voir vraisemblablement dans ce fait une des causes de l'infériorité de nos rendements pour certaines cultures.

1.2.2. Classification des semences agricoles

Les organes de reproduction des végétaux cultivés se présentent sous deux aspects bien distincts

- ✓ Organes issus de la reproduction sexuée : fruits secs, graines. Ce sont les semences sèches qui renferment, en général, de 7 à 16% d'eau:
- ✓ Fragments de plantes résultant des divers processus de la multiplication végétative tubercules, bulbes, etc. Ce sont les semences aqueuses, renfermant de 70 à 80% d'eau.
- ✓ La physiologie de ces deux groupes de semences, leurs conditions de conservation et d'utilisation seront évidemment très différentes.

❖ Semences sèches

L'appellation commerciale « graine » qui s'applique à toutes les semences sèches, couvre, en fait, des organes botaniquement très différents :

- ✓ Des graines nues: haricot, pois, lentille, trèfle, luzerne, lin, chou, colza, etc;
- ✓ Des graines partiellement vêtues, plus ou moins complètement enfermées dans des fragments du fruit sainfoin d'Espagne ou Sulla.

❖ Semences aqueuses

Dans la pratique agricole, il s'agit surtout de tubercules (pomme de terre), des bulbes (ail et autres liliacées).

On peut y rattacher les plants, pour les cultures où le repiquage est de règle (chou, tabac..).

1.2.3. Morphologie des semences agricoles

- ❖ **Le tégument** a une structure et une épaisseur variables, suivant qu'il s'agit d'un fruit nu ou vêtu, d'une graine nue ou partiellement vêtue. L'étude anatomique des enveloppes de la semence n'ayant, du point de vue agricole, qu'un intérêt secondaire.

Signalons cependant, que la couleur et la texture du tégument, les ornements ou prolongements (poils, aigrettes) qu'il peut porter, constituent d'importants caractères distinctifs pour la détermination des semences.

En dehors des possibilités qu'il offre pour la détermination des espèces, le tégument joue essentiellement un rôle de protection à l'égard de l'embryon et de ses réserves. Il évite les altérations provenant de chocs modérés et peut, dans certains cas, limiter la pénétration des parasites végétaux et animaux.

En outre, par suite de son imperméabilité relative à l'eau et aux gaz, ralentit les échanges de la semence avec le milieu extérieur et en permet la conservation plus ou moins longue.

- ❖ **L'amande** : On a l'habitude d'englober sous ce nom l'ensemble constitué par l'embryon et les matières de réserve. Ces dernières peuvent être plus ou moins abondantes et rassemblées soit dans les cotylédons, soit dans un albumen. Citons quelques exemples :

- ✓ Embryon englobant toutes les réserves dans ses cotylédons (graines exalbuminées) : La plupart des dicotylédones, haricot, lin, etc ;
- ✓ Embryon réduit ; réserves dans l'albumen (graines albuminées) cotylédons foliacés : la plupart des monocotylédones (blé, maïs) et quelques dicotylédones (pavot, ricin) ;
- ✓ Les graines disposant à la fois d'un albumen et d'un périsperme ou d'un périsperme seul, n'existent pas chez nos plantes cultivées de la zone tempérée.

1.2.4. Physiologie des semences sèches

Bien que les échanges se trouvent très limités au travers du tégument, la semence, comme tout être vivant, respire et reste sous l'influence du milieu extérieur, La valeur d'une semence reposant, pour une large part, sur le maintien de la totalité des réserves, il importe d'examiner l'action de divers facteurs du milieu susceptibles d'intervenir sur la consommation de ces réserves et sur la vie même de la semence.

1.2.5. Valeur agricole des semences

D'un point de vue strictement pratique, cette valeur s'exprime par le pourcentage, en poids ou en nombre, des semences conformes à l'espèce, à la variété et capables de germer que renferme un échantillon donné.

La détermination précise met donc en jeu les paramètres suivants :

- ✓ Identité d'espèce et de variété;
- ✓ Pureté d'espèce et de variété;
- ✓ Vitalité (faculté et énergie germinatives);
- ✓ L'état sanitaire.

1.2.6. Identité et pureté.

Les deux critères, sont en général, déterminés conjointement, tout au moins pour ce qui concerne l'espèce.

- L'identité spécifique est facile à contrôler pour des personnes exercées.
- La pureté d'espèce s'exprime par le pourcentage en poids, de semences conformes à l'espèce considérée.

1.3. Cycle de végétation d'une plante

Le cycle de végétation est la succession de phases de croissance et de développement permettant à un végétal de s'implanter dans un milieu et d'y vivre jusqu'à sa mort. Le cycle de végétation d'une plante comprend deux grandes phases :

- La phase végétative;
- La phase reproductrice.

Ces phases se divisent en plusieurs étapes d'importance et de durée variable selon les plantes.

On distingue trois (3) groupes de plantes :

- ✓ Les plantes saisonnières ne vivent que durant une saison ou durant quelques mois avant de disparaître en ne laissant que leurs graines. Exemple : maïs, riz, mil, haricot, arachide.
- ✓ Les plantes bisannuelles – le cycle de végétation s'échelonne sur deux années ;
 - La première année, la graine donne une plante accumulant des réserves dans un organe (racine, tige, feuille) ;
 - La deuxième année, les réserves accumulées vont permettre, après le froid hivernal, d'obtenir les graines servant à multiplier la plante. Exemple : l'oignon.
- ✓ Les plantes pérennes ou vivaces restent durant de nombreuses saisons sur le terrain. Elles ont la particularité d'avoir une partie de leur cycle de végétation qui se renouvelle tous

les ans durant plusieurs années. A partir de la graine, il se forme une plante qui, arrivée à un certain stade de croissance va produire des graines ou fruits tous les ans.

Les cultures annuelles présentent deux phases: mise en place d'un appareil végétatif (tiges, feuilles, racines = phase végétative), puis mise en place d'un appareil reproducteur (épi, épillets, ovaires, étamines, grains). Mesurées en unités de biomasse c'est-à-dire en termes de croissance les deux phases se succèdent clairement dans le temps. La phase reproductive démarre un peu avant le maximum de biomasse foliaire.

❖ Principales étapes du cycle de végétation

1- La germination et la levée

La germination de la graine est la première étape du cycle de végétation. Elle consiste à la sortie de *l'embryon ou germe* de la graine hors des téguments.



Figure 13. Germination de *Phaseolus vulgaris*

2- Vigueur à la levée

Plusieurs facteurs peuvent occasionner collectivement ou individuellement une faible vigueur à la levée. Parmi ces facteurs on peut citer :

- ✓ L'excès ou le manque d'eau;
- ✓ Une faible fertilité du sol;
- ✓ L'acidité du sol;
- ✓ Une température trop élevée ou trop basse ou une brûlure occasionnée par le vent de sable.

3- Tallage

C'est la période à laquelle le jeune plant émet des tiges secondaires appelées talles. Une densité de semis trop forte inhibe le tallage. Ce dernier peut être :

- ✓ Encouragé par manque de compétition entre les plantes;
- ✓ Favorisé par l'apport de la fumure azotée;
- ✓ Stimulé par la destruction ou la mort du bourgeon de la tige principale occasionnée par les insectes ou les maladies. Il s'agit d'une réponse hormonale et d'un mécanisme de survie de la plante. Le tallage est aussi une caractéristique variétale ; certaines variétés de sorgho ne tallent pas.

4- Montaison

C'est la période où la tige se dégage du plateau de tallage et émet des nœuds et entre-nœuds. Cette phase est aussi caractérisée par la différenciation et le grossissement des *inflorescences* (épis ou panicules) qui montent dans les *gainés foliaires* (partie basale de la feuille qui entoure plus ou moins complètement la tige sur une longueur variable). La montaison se termine à la fécondation. Une faible fertilité du sol, le stress hydrique, les dégâts causés par les insectes et les maladies peuvent retarder l'élongation des entre-nœuds, ce qui résulte à l'obtention d'une plante courte.

5. La floraison

C'est un stade facilement observable et, il permet d'estimer le cycle de la plante. La floraison est le début de la phase reproductrice avec l'apparition des organes reproducteurs. Ce stade s'observe quand plus de la moitié (50%) des plantes d'une ligne ou d'une parcelle ont la moitié de leurs épis ou panicules (chez le sorgho) en fleur.

6. Nouaison

Transformation de la fleur fécondée en fruit, début de la formation du fruit.

7. La fructification

Elle correspond à la formation du fruit qui va contenir les graines.

8. La maturation de la graine

La graine est issue du développement de l'ovule fécondée par l'organe mâle. Dans le fruit, elle prend sa forme et sa taille définitive. Sa maturité passe par :

- ✓ La maturité de récolte : c'est le stade de maturité qui permettra une bonne conservation de la graine après la récolte ;
- ✓ La maturité physiologique : elle correspond à la maturité de la graine permettant sa germination. Elle peut être définie comme étant la date pendant laquelle le grain atteint son poids sec maximum.

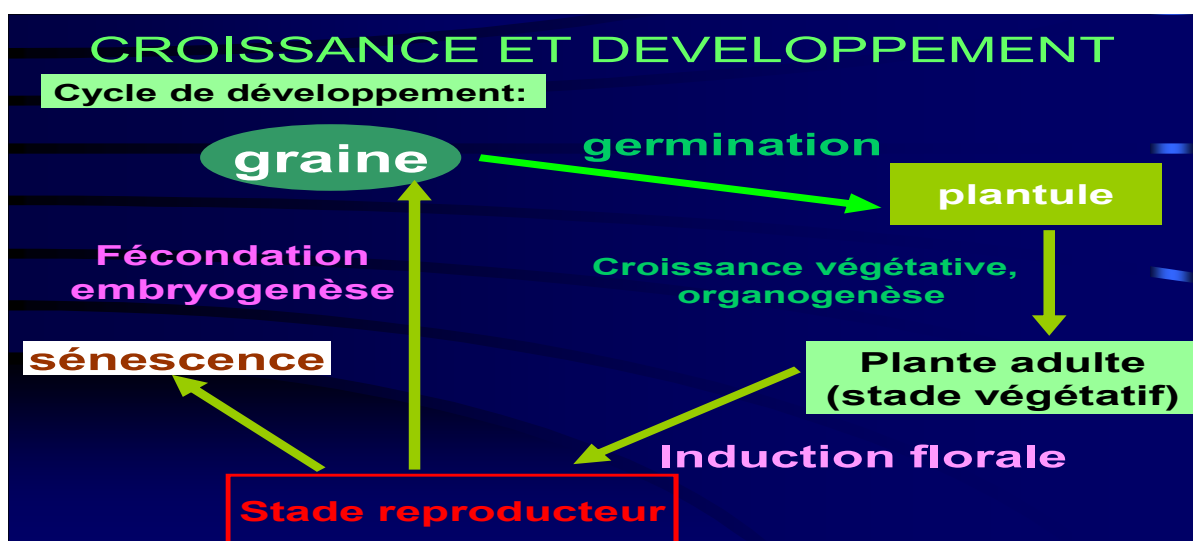


Figure 14. Cycle de développement d'une plante

2. La plante cultivée, dans son environnement

La plante cultivée, dans son environnement, doit trouver toutes les conditions idéales lui permettant de réaliser son cycle de culture et de satisfaire l'objectif de rendement que s'est fixé l'agriculteur.

Pour cela, l'agriculteur doit connaître tous les déterminants du rendement, afin de définir la conduite à suivre tout au long du cycle de culture.

2.1. Conduite d'une culture

La conduite d'une culture représente la mise en œuvre d'un itinéraire technique permettant à la culture de satisfaire au rendement de production désiré par l'agriculteur.

2.2. Rendement d'une culture

Le rendement représente la production de la culture à l'unité de surface.

La notion de rendement doit être liée à la notion de rentabilité de la culture, la recherche du meilleur rendement par l'agriculteur étant motivée par le désir d'obtenir le revenu maximal.

C'est pour cela que le rendement revêt deux aspects:

- ✓ Aspect quantitatif : la quantité de production à l'hectare (exprimée en tonnes, quintaux, kilogrammes ou hectolitres par hectare) est encore le critère le plus important dans le rendement des cultures ;
- ✓ Aspect qualitatif : de plus en plus la qualité de production entre en ligne de compte dans le revenu d'une culture. Les produits sont classés en catégories, chacune étant payée à un prix différent.

Exemple, les fruits sont classés en catégories extra, 1^{er} catégories, 2^{ème} catégories.

2.3. Préparation du sol

La préparation du sol consiste à travailler le sol à l'aide de différents outils aratoires dans les buts :

- ✓ Améliorer les propriétés physiques du sol et surtout régénérer la structure du sol et rétablir une bonne porosité. Avant la mise en place de la culture, l'ameublissement du sol permettra une meilleure circulation de l'eau et de l'air pendant toute la durée de la culture ;
- ✓ Préparer le lit de semence ou de plantation: l'émiettement du sol permet une bonne germination ou un bon enracinement du plant; une bonne ;
- ✓ Incorporer au sol les amendements, engrais et produits de traitement éventuels ;
- ✓ Détruire les plantes adventices présentes avant la mise en place de la culture.

3. Principaux soins culturaux

3.1. Fertilisation

Elle a pour objectif de la maîtrise de l'irrigation de la plante cultivée par la fourniture de ses éléments nutritifs en quantité, en qualité et au moment où elle en a besoin.

A. Principe de la fertilisation

La plante prélève ses éléments nutritifs en grande partie dans le sol sous forme d'éléments minéraux en solution dans l'eau. Dans une parcelle cultivée, la richesse en éléments minéraux doit être renouvelée continuellement.

La fertilisation consiste donc à apporter des éléments minéraux sous forme d'engrais afin de satisfaire les besoins de la culture.

B. Engrais

Un engrais est une substance contenant une certaine proportion d'éléments fertilisants qui, apportée au sol, est destinée à nourrir la plante cultivée.

C. Caractéristiques d'un engrais

La valeur fertilisante d'un engrais se caractérise par :

- ✓ Le nombre d'éléments fertilisants: on distingue les engrais simples contenant un seul élément (engrais azoté, phosphaté, potassique) et les engrais composés: (binaires, ex. phospho-potassique, ternaires: engrais NPK);
- ✓ Le dosage en éléments fertilisants: un engrais possède une certaine teneur en éléments fertilisants; on définit: Exemple. Engrais composé 10-10-20.

3.2. La lutte contre les adventices des cultures

On entend par adventice une plante qui se développe spontanément dans la parcelle contre le gré de l'agriculteur. Pour cela, elle est souvent appelée mauvaise herbes

Les adventices ont une influence néfaste sur la culture car :

- ✓ Elles exercent une compétition envers les plantes cultivées pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs, d'autant plus dangereuse que la plante cultivée est mal adaptée au milieu. Cette compétition peut commencer très tôt (dès la levée de la culture) car les adventices ont souvent, grâce à leur adaptation au milieu, un développement rapide ; elles favorisent le développement d'agents pathogènes ;
- ✓ Elles rendent difficile la récolte et salissent les produits récoltés.

En résumé, les adventices peuvent altérer la quantité et la qualité des productions ; il est donc indispensable d'éviter l'envahissement de la culture par ces plantes indésirables.

La chimie a mis au service des agriculteurs des pesticides efficaces contre les adventices :

- ✓ Respect d'une bonne rotation : La monoculture favorise le développement des adventices résistantes aux herbicides de la culture alors que l'alternance des cultures permet l'utilisation herbicides différents chacun détruisant un certain nombre d'espèces d'adventices.
- ✓ Amélioration du milieu de culture : Certaines adventices sont favorisées par un sol acide ou un sol trop humide; la correction du sol par l'apport d'amendement calcique ou le drainage limite immédiatement le développement de ce mauvaises herbes.

3.3. La lutte contre les adventices des cultures

- ✓ **Les champignons parasites** ; Certains sont microscopiques et invisibles à l'œil nu, d'autres sont plus imposants. Ils envahissent les plantes, infectent les tissus vivants, se nourrissent du contenu cellulaire et s'attaquent aussi bien aux branches, troncs, feuilles, fleurs, fruits et racines des végétaux.

- ✓ **Les bactéries phytophages** ; Les bactéries sont des microbes composés d'une cellule unique, qui ne possèdent pas de chlorophylle, et se multiplient par division cellulaire simple.
- ✓ **Les phytoplasmes** ; Moins fréquemment rencontrés, les phytoplasmes sont proches des bactéries mais ne possèdent pas de parois cellulaires.
- ✓ **Les virus** ; Ils sont constitués d'une molécule génétique enfermée dans une enveloppe protéique et vivent aux dépens de cellules vivantes de plantes hôtes.
- ✓ **Les insectes phytophages** ; Les insectes sont des invertébrés à 6 pattes. Ils occasionnent des dégâts le plus souvent en se nourrissant sur le végétal, soit en ponctionnant le contenu des cellules ou en dévorant certains organes (feuilles, tiges, fleurs, fruits, racines).
- ✓ **Les acariens phytophages** ; Très petits et invisibles à l'oeil nu, les acariens sont des arachnides, de proches parents des araignées. Ils possèdent donc quatre paires de pattes.
- ✓ **Les mollusques phytophages** ; Les mollusques sont des animaux au corps mou, qui portent parfois une coquille. Il s'agit notamment des fameuses limaces et escargots qui dévorent vos belles salades.
- ✓ **Les nématodes phytophages** ; Les nématodes sont de petits vers microscopiques allongés (généralement d'une taille inférieure au millimètre) et à section circulaire. Ils vivent notamment dans la terre et évoluent principalement en milieu liquide.

Selon les conditions de culture et le cortège de bio-agresseurs présent, les légumineuses peuvent aussi permettre une réduction de l'utilisation de pesticides à l'échelle de la succession, du fait de la diversification de la rotation (**Meynard et Messéan., 2014**).

4. La récolte

La récolte d'une culture représente toujours pour l'agriculteur le moment crucial du constat de la réussite de la culture avec la conséquence financière qu'elle entraîne. Mais elle est également, au plan agronomique, la dernière étape de la conduite de la culture et sa réalisation nécessite le respect de certaines conditions :

- ✓ Choix du meilleur stade de récolte ;
- ✓ Conditions climatiques ;
- ✓ Utilisation d'une main d'œuvre ou de matériels spécialisés.

Lors de la récolte, il faut faire attention à ne pas endommager les grains car c'est en fonction de leur bon état ainsi que de celui des sacs utilisés pour leur transport (qui doivent être traités en cas de besoin) et enfin du choix des entrepôts (qui doivent répondre à des conditions très strictes d'aération, de protection contre l'humidité et contre les attaques de tous ordres) que dépend leur bonne conservation. Toutes ces précautions sont d'autant plus importantes que les

grains peuvent être stockés sur de longues périodes grâce à leur faible teneur en eau au moment de la récolte.

5. La Fertilisation

5.1. Notions généraux

Fertiliser un sol, c'est assurer à la culture en place une alimentation correcte en tenant compte des réserves nutritives disponibles dans le sol et des besoins des cultures envisagées.

L'apport régulier de **matières fertilisantes** permet d'améliorer ou de maintenir les caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol et optimiser l'absorption par les plantes des éléments nutritifs. Il peut aussi assurer en cas de besoin un complément aux réserves présentes dans le sol. Les plantes ont besoin de quantités relativement importantes des éléments de base, les macro-éléments. L'azote, le phosphore et le potassium sont donc les éléments qu'il faut ajouter le plus souvent aux sols pauvres ou épuisés par l'agriculture intensive.

- **L'azote (N)** : Contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plante. L'azote permet à la plante de fabriquer en quantité et en vitesse accrue les acides nucléiques, aminées ainsi que la synthèse des protéines et de la chlorophylle pour permettre à la plante une croissance plus rapide.
- **Le phosphore (P)** : renforce la résistance des plantes et contribue au développement des racines.
- **Le potassium (K)** : contribue à favoriser la floraison et le développement des fruits.

Il existe deux types de matières fertilisantes :

- ❖ Les engrais qui fournissent aux plantes un ou plusieurs éléments venant compléter la fourniture du sol qui serait insuffisante ;
- ❖ Les amendements organiques ou minéraux qui sont destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (fumier, compost, amendement calcaire etc...).

5.2. Les amendements

Les amendements servent à améliorer l'état physique, chimique et biologique du sol, en favorisant le maintien d'une bonne structure. Ils sont incorporés à la plantation et lors du travail du sol annuel, et sont parfois appelés à tort « engrais de fond ».

Il existe deux types d'amendements :

- ✓ Les amendements organiques ;
- ✓ Les amendements minéraux.

Les amendements organiques : ont une origine végétale. Ils allègent les terres lourdes, donnent du corps aux terres légères et reconstituent le stock de matière organique du sol et l'humus du sol. Par leur minéralisation progressive, ils permettent de nourrir durablement les végétaux, sans

risque de lessivage, tout en assurant une meilleure circulation de l'air et de l'eau. Les principaux amendements organiques sont les fumiers d'animaux d'élevage... et le compost. Ils peuvent être utilisés dans toutes les situations et sont incorporés à la terre à l'automne, ou pour le compost, en fin d'hiver.

Les amendements minéraux : Les principaux amendements minéraux sont les suivants: chaux, gypse, cendres de bois. Ils améliorent certaines propriétés physico-chimiques du sol, telles que la correction de pH ou l'amélioration de la structure du sol, tout en facilitant son travail. Les principaux amendements minéraux sont les suivants: chaux, gypse, cendres de bois, soufre, sulfate de fer, sable, argile, marne.

5.3. Engrais minéraux

Les engrais minéraux sont des substances d'origine minérale, produites par l'industrie chimique, ou par l'exploitation de gisements naturels de phosphate et de potasse. L'industrie chimique intervient surtout dans la production des engrais azotés, passant par la synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote de l'air, moyennant un apport important d'énergie, fournie par le gaz naturel, principalement le méthane (cette synthèse produit également l'hydrogène). De l'ammoniac sont dérivés l'urée et le nitrate. Les engrais composés peuvent être de simples mélanges, on appelle ces mélanges du bulk blending.

On distingue **les engrais simples**, ne contenant qu'un seul élément nutritif, et les engrais composés, qui peuvent en contenir deux ou trois. L'appellation des engrais minéraux est normalisée, par la référence à leurs trois composants principaux : NPK. Les engrais simples peuvent être azotés, phosphatés ou potassiques. Les engrais binaires sont notés NP ou PK ou NK, les ternaires NPK.

Quelques exemples d'engrais simples qui ne fournissent que l'un des éléments du trio NPK, mais peuvent aussi contenir d'autres types éléments ayant une action sur les plantes ou les sols (chaux, magnésium, soufre, etc).

- ✓ **Azote (N) :** l'urée (46 % d'azote), le sulfate d'ammoniaque (SA, 21 % d'azote, et 24 % de soufre), l'ammonitrate (AN, 33,5 % d'azote) et le nitrate de chaux (jusqu'à 27 % d'azote, et 26 à 28 % de chaux) ;
- ✓ **Phosphore (P₂O₅) :** le superphosphate simple (SSP, 18 % de phosphore, et 12 % de soufre) ou le superphosphate triple (TSP, 46 % de phosphore) ;
- ✓ **Potasse (K₂O) :** le chlorure de potassium (60 % de potassium), le sulfate de potassium (50 % de K₂O, et 18 % de soufre).

Conclusion

La conduite alimentaire des élevages laitiers telle qu'elle est pratiquée (mauvaise utilisation des fourrages, non maîtrise de la conduite alimentaire des vaches se traduisant par une complémentation inadaptée à la physiologie des animaux), conjuguée à l'insuffisance de l'offre fourragère constitue un frein au développement de la production laitière.

Les grandes règles qui régissent l'alimentation des vaches laitières découlent de trois constatations:

- ✚ Le cycle de production de la vache laitière (VL) est étroitement lié à son cycle de reproduction ;
- ✚ L'appétit de la VL caractérisé par sa capacité d'ingestion n'est pas toujours suffisant pour lui permettre de satisfaire ses besoins, en particulier au début de la lactation ;
- ✚ Les fourrages, aliments de base de la VL, ne permettent pas, dans la plupart des cas, de faire face à des dépenses importantes dues à des niveaux élevés de productions laitières.

Le développement d'une production laitière intensive ou semi-intensive nécessite un encadrement technique de qualité.

Il est nécessaire de renforcer l'encadrement et l'accompagnement des éleveurs par une meilleure prise en charge de la formation vulgarisation notamment pour ce qui est des techniques modernes d'élevage laitiers particulièrement celles concernant la conduite alimentaire des troupeaux.

Références Bibliographiques

- Arab H., Haddi M.L., et Mehennaoui S. (2009).** Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones aride et semi-aride en Algérie. Revue Sciences & Technologie C – N°30, pp50-58.
- Araba A. (2006).** Cours d’Alimentation des animaux domestiques.1ère Année du Cycle Ingénieur et de 3ème Vétérinaire. Département de Productions et de Biotechnologies Animales. Institu Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- Bousbia A., Ghozlane F., Benidir M., Belkheir B. (2014).** Réponse quantitative de la production laitière bovine à la pratique de la complémentation alimentaire dans le Nord-est Algérien. Renc. Rech. Ruminants, 21.
- Drogoul C, Gaddoud G, Joseph MM, Jussiau R, Lisberney MJ, Mangeal B, Montméas B et Tarrit A. (2010).** Nutrition des animaux d’élevage. Tome 2.Ed 2 Educagri . Dijon. 270p.
- INRA (2007).** Alimentation des bovins ovins et caprins, besoins des animaux- valeurs des aliments. Tables 2007 mise à jour 2010. Ed Quae. Paris. 311p.
- INRA (2010).** Alimentation des bovins, ovins et caprins : Besoins des animaux – Valeurs des aliments. Tables Inra 2007. Mise à jour 2010. Éditions Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra. Quæ Éd., 2010. Paris. France .p315.
- Jarrige R. (1988).** Alimentation des bovins, ovins et des caprins.Edition INRA – France, p 476.
- Kadi S.A., Djellal F., et Berchiche M. (2007).** Caractérisation de la conduite alimentaire des vaches laitières dans la région de Tizi-Ouzou, Algérie. Livestock Research for Rural Développent. Volume 19, Article #51, from <http://www.lrrd.org/lrrd19/4/kadi19051.htm>
- kamoun M. (2008).** Recueil de méthode d’analyses et de mesures utilisées en alimentation animale. Ecole Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi-Thabet. Centre de Publication Universitaire. P103.
- Lemnouar-Haddadi N.F.Z. (2001).** Cours d’Alimentation des ruminants. 2^{ème} année Docteur vétérinaire. Institut des sciences vétérinaire Université de Constantine.
- Martine C, et Yannik C. (2012).** Alimentation animale. Besoins, aliments et mécanismes de la digestion des animaux d’élevage. Ed. Educagri. 110p

- Martine C, et Yannik C. (2014).** Alimentation animale. Raisonnement de l'alimentation animale d'élevage. Ed. Educagri. 110p
- Phocas F., Agabriel J., Dupont-Nivet M., Guerden I., Médale F., Mignon-Grasteau S., Gilbert H., Dourmad J.Y. (2014).** Le phénotype de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficacité des productions animales. INRA Prod. Anim., 27(3), 235-248. https://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/6853/92634/version/1/file/PA_texte+PHOCAS+EFFALIM_pour+Ozalides.pdf
- Sauvant D. (2004).** Principes généraux de l'alimentation animale. Polycope de cours, INAPG. http://www.inapg.fr/spip/IMG/pdf/dsa_nal_principes.pdf
- Sauvant D. (2005).** Polycopié de cours: Principes généraux de l'alimentation animale. département des sciences animales. Institut national agronomique Paris-Grignon.
- Sauvant D., Chapoutot P., Heuzé V., and Tran G. (2013).** Variations in composition and nutritional value for ruminants of by-products from bio-based energy, Book of Abstracts of the 63 rd Ann. Meet, p.190.
- Sauvant. D et Perez. J.M., (2004).** Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. Ed 2 INRA. Paris. 306p.
- Soltner D. (1988).** Alimentation des animaux domestiques. Tome 1. 18eme Ed. STA. Pays-bas. 400p.
- Soltner D. (1994).** Alimentation des animaux domestiques (tomes 1 et 2). Collection Sciences et Techniques Agricoles, 20ème édition.
- Soltner D. (1999).** Alimentation des animaux domestiques. Tome 1: Les principes de l'alimentation pour toutes les espèces. Ed. Sciences et techniques agricoles, Saint Gemmes Loire. pp129.
- Soltner D. (2008).** Alimentation des animaux domestiques Tome 1 Les principes de l'alimentation pour toutes les espèces. Ed. Sciences et techniques agricoles (22^{ème} édition).
- Toutain P.L., Bousquet-Melou A., et Gayard V. (2009).** La physiologie digestive chez les animaux domestiques. ENV Toulouse ,184.
- Wolter R. (1992).** Alimentation de la vache laitière. Editions France agricole, p 223.