

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف بالمسيلة

كلية العلوم

قسم العلوم الفلاحية

1.4.7. ا/ق ع ف/2024



المسيلة في: 2024-04-28

شهادة موافقة علمية على مطبوعة بيداغوجية

يشهد رئيس اللجنة العلمية لقسم العلوم الفلاحية بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة، أنه بعد الاطلاع على تقارير الخبرة الواردة من طرف الخبراء من صف الأستاذية:

- السيدة دغنوش كهرمان، أستاذ التعليم العالي بجامعة محمد خيضر بسكرة.

- السيد بعة عبد الحميد، أستاذ محاضر "أ" بجامعة محمد بوضياف مسيلة

والمعنيين من طرف اللجنة العلمية في الاجتماع المنعقد في دورته العادية يوم 2023/12/19 لإجراء الخبرة لمطبوعة بيداغوجية خاصة بالأستاذ معمرى عادل - أستاذ محاضر أ- بقسم العلوم الفلاحية وهي

معنونة كالتالي: Agro 2 (Alimentation et nutrition animale)

والمقررة في برنامج تكوين السنة الثانية جذع مشترك علوم فلاحية.

تمت الموافقة عليها شكلا ومضمونا

رئيس اللجنة العلمية لقسم العلوم الفلاحية



د. بعة عبد الحميد



Polycopié de cours et de travaux dirigés du module intitulé:

AGRO 2 (Alimentation et nutrition animale)

(Partie 1: Animale)

Dirigés vers les étudiants de 2^{ème} année Licence sciences agronomiques (LMD)

Rédigé par:

Dr. Mammeri Adel (Maître de Conférences A)



SOMMAIRE

	Page
Sommaire	I
Liste des abréviations	II
Liste des tableaux et figures	III
<i>Préambule</i>	IV
PARTIE A: COURS	
CHAPITRE I : UTILISATION ET CONSTITUTION DES ALIMENTS	1
A. Notions sur les les aliments et l'alimentation	1
1. Introduction	1
2. Différents types de régimes alimentaires	1
2.1. Régime végétarien	1
2.2. Régime carnivore	2
2.3. Régime omnivore	2
3. Variations des régimes alimentaires au cours de la vie d'un animal	2
4. Variations des régimes alimentaires en fonction des saisons	2
5. Alimentation des animaux domestiques de rente	2
5.1. Facteurs à prendre en considération lors du rationnement des animaux	3
5.1.1. Équilibre et disponibilité alimentaire	3
5.1.2. Conditions hygiéniques	4
5.1.3. Impact économique	5
6. Types d'aliments destinés aux animaux domestiques	5
6.1. Les fourrages	5
6.2. Les concentrés	7
6.3. Autres aliments	8
7. Analyses et composition des aliments	8
7.1. La teneur en eau	9
7.2. La teneur en matières minérales	9
7.3. La teneur en matières azotées totales	9
7.4. La teneur en matières grasses	10
7.5. Les constituants pariétaux	10
7.5.1. La méthode de Weende	10
7.5.2. La méthode de Van Soest	10

B. Anatomie comparée de l'appareil digestif des animaux	12
1. Différences dans l'appareil digestif des animaux domestiques	12
2. Impact des différences anatomiques de l'appareil digestif sur le devenir de l'espèce animale	12
CHAPITRE II: ACTIONS DIGESTIVES LES DIFFÉRENTES ESPÈCES ANIMALES	13
A. La digestion chez les ruminants	13
1. Définitions	13
2. Particularités de la digestion chez les ruminants	13
2.1. Adaptation à l'utilisation des fibres et l'azote non-protéique	15
2.2. Anatomie et physiologie des quatre estomacs des ruminants	15
2.2.1. Le rumen (la panse) et le réticulum (le réseau)	15
2.2.1.1. Les bactéries du rumen	16
2.2.2. Le feuillet (omasum)	17
2.2.3. La caillette (abomasum)	17
2.3. Principales fonctions du tractus digestif des ruminants	17
2.3.1. Bouche	17
2.3.2. Réticulo-rumen	18
2.3.3. Feuillet (omasum)	18
2.3.4. Caillette (abomasum)	18
2.3.5. Petit intestin	19
2.3.6. Cæcum et gros intestin	19
B. La digestion chez le lapin	20
1. Aperçu sur la digestion chez le lapin	20
2. Particularités anatomiques et physiologiques de l'appareil digestif du lapin	20
2.1. La cæcotrophie	20
2.2. Rôle du cæcum	21
2.3. Evolution du comportement alimentaire du lapin	21
C. La digestion chez la poule	23
1. Aperçu sur la digestion chez la poule	23
2. Particularités anatomiques et physiologiques de l'appareil digestif de la poule	23
2.1. Le bec	23
2.2. La langue	23
2.3. Les glandes salivaires	23

2.4.Le pharynx	24
2.5.L'œsophage	24
2.6. Le jabot	24
2.7.L'estomac	24
2.8.Le gros intestin	25
2.9.Le cloaque	26
D.Devenir des nutriments dans l'organisme animal (exemple des ruminants)	27
1.Principaux mécanismes d'absorption des aliments	27
2. Drainage du tube digestif par la circulation portale	28
3. Particularités de la digestion microbienne chez les ruminants	28
3.1.Digestion et métabolisme des glucides	29
3.2.Digestion et métabolisme des lipides	29
3.3.Digestion et métabolisme des matières azotées	29
3.4.Métabolisme des acides gras volatils	30
4.La digestibilité des aliments	30
5.Relations entre les nutriments et la production laitière	30
CHAPITRE III: ALIMENTATION ÉNERGÉTIQUE (EXEMPLE: LES BOVINS)	32
A.Indicateurs de l'efficacité alimentaire chez les vaches laitières	32
1. Le score de remplissage du rumen	32
2. Les indicateurs issus des données de la production laitière	33
2.1. L'urée du lait	33
2.2. Le taux butyreux	33
2.3. Le taux protéique	33
3.Les unités internationales de rationnement	34
B. Importance des aliments énergétiques chez les vaches laitières	35
1. Les glucides	35
2. Les lipides	35
3. Les protéines	36
C. Besoins énergétiques chez les vaches laitières	38
1. Aperçu sur les besoins énergétiques chez les bovins	38
2.Les différents types d'apport énergétiques	39
2.1.Énergie brute (E.B)	39
2.2.Énergie digestible (E.D)	39

2.3.Énergie métabolisable (E.M)	39
2.4.Énergie nette (E.N)	40
2.5. Calcul de l'énergie nette selon le nouveau système : UFL/UFV (de INRA de France)	
2.5.1.Énergie nette de lactation (UFL)	41
2.5.2.Énergie nette de production de viande (UFV)	41
D.Effets des déficits et des excès énergétiques chez les vaches laitières	41
1. Activités de l'organisme influencées par les troubles énergétiques chez les bovins	42
2.Déficits énergétiques chez les vaches laitières	42
2.1. Causes des déficits énergétiques chez les vaches laitières	43
2.2. Conséquences des déficits énergétiques chez les vaches laitières	43
2.2.1. L'acétonémie	43
3.Excès énergétiques chez les vaches laitières	43
3.1. Causes des excès énergétiques chez les vaches laitières	44
3.2. Conséquences des excès énergétiques chez les vaches laitières	44
3.2.1.L'acidose subaigue du rumen	44
CHAPITRE IV: ALIMENTATION AZOTÉE (EXEMPLE: LES BOVINS)	44
A.Importance de l' alimentation azotée des vaches laitières	46
1. Rôles des composés azotés dans l'organisme animal	46
B . Besoins azotés des vaches laitières	46
1. Aperçu sur les besoins azotés chez les bovins	48
2.Systèmes et unités d'évaluation de d'apport azoté des ruminants	48
2.1. Système des matières azotées digestibles (M.A.D)	48
2.2. Système des protéines digestibles dans l'intestin (P.D.I)	48
2.2.1.Principe du système P.D.I	49
2.2.2.Mode de calcul des P.D.I pour un aliment	49
C. Effets des déficits et des excès azotés chez les vaches laitières	51
1.Déficits azotés chez les vaches laitières	51
1.1. Causes des déficits azotés chez les vaches laitières	51
1.2. Conséquences des déficits azotés chez les vaches laitières	51
2.Excès azotés chez les vaches laitières	52
2.1. Causes des excès azotés chez les vaches laitières	52
2.2. Conséquences des excès azotés chez les vaches laitières	52

CHAPITRE V: ALIMENTATION MINÉRALE ET VITAMINIQUE DES ANIMAUX DOMESTIQUES	53
A.Importance des besoins en vitamines et en minéraux	53
1. Aperçu sur le métabolisme des vitamines dans l'organisme animal	53
2. Principaux vitamines et leurs rôles chez les bovins	54
3.Aperçu sur le métabolisme des minéraux dans l'organisme animal	55
4. Principaux minéraux et leur rôles chez les bovins	55
B.Besoins quantitatifs en vitamines et en minéraux	57
1.Aperçu sur les besoins en vitamines et minéraux dans l'organisme animal	57
2. Importance des apports fourragers en vitamines et minéraux	57
C. Effets des carences et des excès nutritionnels en vitamines et minéraux	59
1.Carences en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques	59
1.1. Causes des carences en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques	59
1.1.1. Carences primaires et secondaires	59
1.1.2. Carences cliniques et subcliniques	59
1.2. Conséquences des carences en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques	60
1.2.1.Chez la vache laitière	60
1.2.2. Chez le lapin	61
1.2.3. Chez les volailles	62
2.Excès en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques	64
2.1. Causes des excès en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques	64
2.2. Conséquences des excès en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques	64
2.2.1. L'hypervitaminose A	64
2.2.2.L'hypervitaminose D	65
2.2.3.L'hypervitaminose E	66
2.2.4. Intoxication par le cuivre	66
PARTIE B: TRAVAUX DIRIGES	
T D 1 : DIFFÉRENTS RÉGIMES ALIMENTAIRES CHEZ LES ANIMAUX DOMESTIQUES	67
T D 2 : LA PRÉVISION DES BESOINS ALIMENTAIRES DES BOVINS ET DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES ALIMENTS	70

T D 3 : ANALYSE DES ALIMENTS D'ORIGINE VÉGÉTALE	73
T D 4 : COMMENT PLANIFIER LA CONDUITE AU PÂTURAGE	77
T D 5 : CALCUL DES APPORTS ÉNERGÉTIQUES DES ALIMENTS VÉGÉTAUX	80
T D 6 : EFFETS DES EXCÈS ET DES CARENCES ÉNERGÉTIQUES CHEZ LES VACHES LAITIÈRES	84
T D 7 : CALCUL DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES ET AZOTÉS SPÉCIFIQUES CHEZ LES BOVINS	87
Références bibliographiques	

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AA : Acides aminés

ADF : Acid Detergent Fiber

ADL : Acid Detergent Lignine

AG : Acide Gras

AGV : Acides Gras Volatils

ANP : Azote Non Protéique

ATP : Adénosine Triphosphate

BACA : Bilan Alimentaire Cation-Anion

°C : Degré Celcius

C2 : Acide Acétique

C3 : Acide Propionique

C4 : Acide Butyrique

CB : Cellulose Brute

C.U.D : Coefficient d'utilisation digestive

E.B : Énergie Brute

E.D : Énergie Digestible

E.F : Énergie Fécale

E.M : Énergie Métabolisable

E.N : Énergie Nette

ENA : Extractif Non Azoté

E.U : Énergie Urinaire

Ex. : Exemple

FAO : Food And Agriculture Organization

I.C. : Indice de Conversion

M.A.T :Matières Azotées Totales

M.A.D : Matières Azotées Digestibles

M.G : Matières Grasses

M.G.B : Matières Grasses Brutes

MM : Matières Minérales

M.O : Matières Organiques

M.O.D : Matières Organiques Digestibles

MS : Matière Sèche

NDF : Neutral Detergent Fiber

PB : Protéines Brutes

PDI : Protéines Digestibles Intestinales

pH : Potentiel Hydrogène

TB : Taux Butyreux

TD : Travaux Dirigés

TP : Taux Protéique

UE : Unité d'encombrement

UFL : Unité Fourragère Lait

UFV : Unité Fourragère Viande

LISTE DES TABLEAUX	Page
Tableau 1 : Les constituants totaux d'un aliment végétal	37
Tableau 2 : Les constituants glucidiques d'un aliment végétal	38
Tableau 3 : Sources et utilisation de l'énergie chez les vaches laitières	42
Tableau 4 : Les constituants azotés d'un aliment végétal	47
Tableau 5 : Plages de variations des teneurs minérales dans les fourrages	57
Tableau 6 : Teneurs en oligo-éléments de quelques grains et fourrages	58
Tableau 7 : Teneur en oligo-éléments du fourrage dans la région de Parano en Colombie	58
Tableau 8 : Symptômes des carences en oligo-éléments chez les ruminants	63
Tableau 9 : Calcul des besoins énergétiques et azotés des bovins	87

LISTE DES FIGURES	Page
Figure 1: Paille d'orge mal-conservée	04
Figure 2 : Fourrages secs bien conservés	04
Figure 3 : Sorgho fourrager multicolore	05
Figure 4 : Fourrages hydroponiques	06
Figure 5 : Préparation de l'ensilage selon l'ancienne méthode	06
Figure 6 : Fourrages enrubannés	07
Figure 7 : Composition d'un fourrage	08
Figure 8 : Application de la méthode de Van Soest	11
Figure 9 : Le trajet des aliments lors de la rumination	14
Figure 10 : Structure histologique des quatre estomacs chez la vache	15
Figure 11 : Colonisation séquentielle du microbiote du rumen chez les pré-ruminants	16
Figure 12: Le processus de fermentation dans le rumen	18
Figure 13 : Anatomie de l'appareil digestif du lapin	22
Figure 14 : Anatomie de l'appareil digestif de la poule	25

Figure 15 : Anatomie des villosités intestinales	27
Figure 16 : Types de transports membranaires	28
Figure 17: Métabolisme général des nutriments chez les ruminants	31
Figure 18 : Scores de remplissage du rumen	32
Figure 19 : Fonctions des vitamines du groupe B chez les vaches laitières	54
Figure 20 : Les fonctions conjuguées des minéraux et des vitamines chez les bovins	56
Figure 21: Appareil digestif de la vache (exemple de ruminants)	68
Figure 22: Appareil digestif du cheval (exemple de monogastriques)	68
Figure 23: Appareil digestif du poulet (exemple d'oiseaux)	69
Figure 24: Appareil digestif et physiologie de la digestion chez le lapin	69
Figure 25: Facteurs de rentabilité de la ration alimentaire chez la vache laitière	70

Préambule

La matière AGRO2, fait partie de l'unité fondamentale du programme du 4^{ème} semestre, destiné aux étudiants de Licence sciences agronomiques (2^{ème} LMD) dans le parcours des sciences agronomiques. Cette matière inclut deux parties qui se complètent, la première ; concernée par ce présent polycopié, analyse les modalités d'alimentation et de rationnement, ainsi que les mécanismes de nutrition animale, alors que la deuxième partie (non incluse) ; expose les méthodes de production fourragère et les cycles de leur culture.

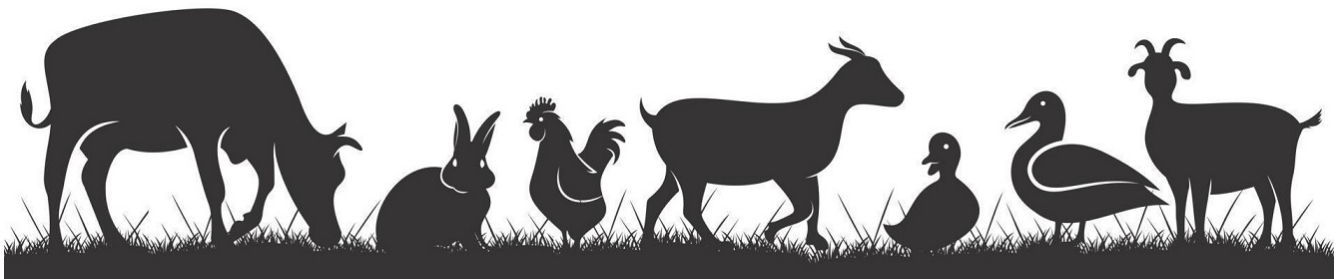
Parmi les objectifs de l'enseignement de cette partie de la matière AGRO2 (partie animale), on peut citer :

- la compréhension de la physiologie de la digestion, chez les différentes espèces animales de rente, en soulignant les grandes différences entre les monogastriques et les ruminants.*
- l'assimilation des phénomènes d'absorption et de distribution des nutriments dans l'organisme animal à l'état normal, en plus, des différents types de besoins d'un organisme vivant pour garantir son entretien, la production de lait et de viande.*
- connaître les conséquences de certains déséquilibres alimentaires, caractérisées, principalement, par : des cas de carences plus ou moins importantes (ex : avitaminoses, hypocalcémie), des maladies métaboliques (ex : acidose et alcalose du rumen, acétonémie), en plus des troubles du bilan énergétique, surtout chez les ruminants.*
- la compréhension des modalités de calcul de la valeur alimentaire des aliments (matière sèche, glucide, lipides, vitamines, minéraux...), afin de pouvoir proposer ou corriger les rations destinées aux animaux domestiques.*

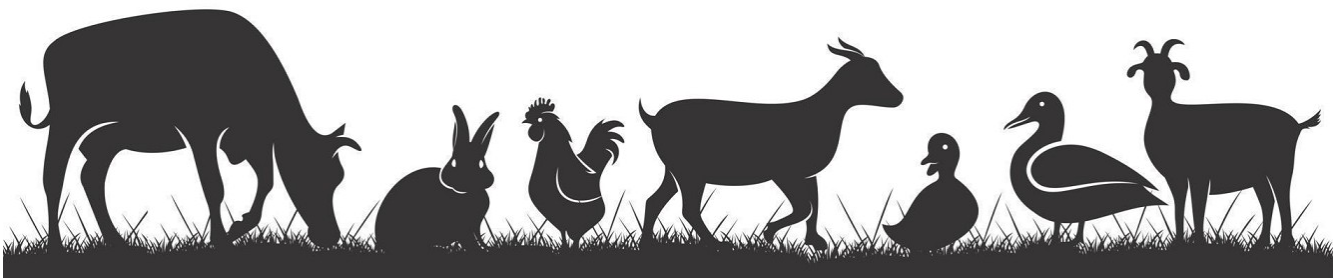
Afin, de pouvoir assimiler le contenu de cette matière, les étudiants devraient avoir certaines notions de physiologie animale, des pré-acquis en biochimie, chimie et en botanique, et certaines connaissances en zoologie.

Dr. Mammeri Adel

Partie A: Cours



Chapitre I
Utilisation et
constitution
des aliments



CHAPITRE I: UTILISATION ET CONSTITUTION DES ALIMENTS

A. Notions sur les aliments et l'alimentation

1.Introduction

Le secteur agroalimentaire produit chaque année des centaines de millions de tonnes d'aliments pour animaux à travers le monde. La qualité (microbiologique et nutritionnelle) de l'alimentation animale, est essentielle, car elle influence la santé des animaux et, dès lors, la sécurité alimentaire, ainsi que la santé publique. La législation en matière d'étiquetage et de circulation des aliments pour animaux, a été organisée de manière à mettre davantage l'accent sur la protection de la santé humaine et animale.

En ce qui concerne la qualité nutritionnelle des aliments destinés aux animaux, elle devrait respecter plusieurs profils, dont l'espèce animale visée, le type de production pour lequel d'animal est destiné, l'âge, voire même la race des animaux.

2. Différents types de régimes alimentaires

Les animaux se nourrissent toujours de matière minérale et organique provenant d'autres êtres vivants : les animaux et les végétaux. Le régime alimentaire d'une espèce peut donc être constitué d'animaux ou de végétaux, exclusivement, ou encore du mélange des deux. C'est sur la base de cette différence d'origine des aliments que l'on a établi une classification des régimes alimentaires (Voir TD1 dans la partie des travaux dirigés).

2.1.Régime végétarien

Certains animaux ont un régime alimentaire végétarien: ce sont des phytophages. Ils se nourrissent surtout de végétaux ou de substances produites par les végétaux (comme la sève, le nectar, etc.), comme par exemple; le puceron, le cerf, le lapin, le criquet, etc.Le régime alimentaire végétarien est parfois très spécialisé; où les animaux ne mangent qu'un seul type d'aliment, on peut en citer :

- **les herbivores** : qui consomment de l'herbe (ex: la vache) ;
- **les granivores** : qui mangent des graines (ex: oiseau à bec croisé) ;

- **les frugivores** : qui consomment des fruits (ex: le singe) ;
- **les nectarivores** : qui se nourrissent du nectar des fleurs (ex : l'oiseau colibri).

2.2. Régime carnivore

D'autres animaux ont un régime alimentaire carnivore; ce sont les zoophages. Ils se nourrissent surtout d'aliments d'origine animale (ex: le tigre, le lion, le chacal, etc.). Le régime alimentaire carnivore est parfois très spécialisé, pour aboutir à plusieurs types de régimes:

- **les insectivores** : ne consomment que des insectes (ex: l'hirondelle) ;
- **les piscivores** : ne mangent que des poissons (ex: l'oiseau balbuzard pêcheur, l'albatros) ;
- **les charognards** : mangeurs de cadavres abandonnés (ex:le vautour).

2.3.Régime omnivore

Certains animaux ont un régime alimentaire omnivore. Ils se nourrissent à la fois d'aliments d'origine animale et d'aliments d'origine végétale (ex: l'ours, le renard). Le régime alimentaire omnivore est parfois très spécialisé, ainsi, les planctophages ne consomment que du plancton animal et végétal (ex: la baleine bleue).

3. Variations des régimes alimentaires au cours de la vie d'un animal

Les jeunes mammifères se nourrissent du lait maternel au début de leur vie, puis ils adoptent progressivement le régime alimentaire des adultes de leur espèce. Les poussins avant l'éclosion se nourrissent du vitellus réservé dans la coquille de l'œuf, puis après l'éclosion, ils suivront le régime alimentaire de leur espèce.

4.Variations des régimes alimentaires en fonction des saisons

Certains animaux (ex: le renard, l'ours, etc.) ont un régime alimentaire qui varie avec les saisons. En effet, la quantité et le type de nourriture disponible, varient selon la saison : les insectes, abondants en été, sont absents en hiver ; les fruits sont plus nombreux en été, et moins en hiver. Le renard va ainsi adapter son régime alimentaire, selon la disponibilité saisonnière des aliments.

5.Alimentation des animaux domestiques de rente

A l'opposé des animaux sauvages ou de compagnie, l'alimentation chez les animaux de rente (ex: bovins, ovins, caprins, poules, lapins, etc...) est gérée, en général par les besoins alimentaires naturels des animaux, mais aussi par la rentabilité économique de tout régime alimentaire proposé.

Selon Dominique Soltner (2001), quels que soient les élevages étudiés, les grands principes de l'alimentation rationnelle à connaître, sont :

- la composition physico-chimique des aliments;
- les mécanismes digestifs et la digestibilité des aliments;
- les six qualités de toute ration : apport d'énergie, de matières azotées, de minéraux, de vitamines, d'eau et le volume trophique;
- les grandes familles d'aliments simples et composés, et leurs additifs.

En général, on utilise le terme rationnement, qui signifie la limitation de la consommation d'un produit alimentaire par le contrôle de sa distribution. Le terme rationnement est le plus descriptif de la mise en place d'un régime alimentaire pour les animaux de rente. Les recherches dans ce domaine, ont permis de concevoir des tables de calcul des besoins et de valeur des aliments, spécifiques aux élevages de bovins, ovins, caprins, lapins, poulets de chair, poules pondeuses etc...

5.1.Facteurs à prendre en considération lors du rationnement des animaux

5.1.1.Équilibre et disponibilité alimentaire

Quel que soit l'animal, sa ration journalière doit respecter un équilibre alimentaire afin de répondre à ses besoins d'entretien, de travail (ex: les chevaux de course) et de croissance. L'apport de tous les nutriments doit tenir compte de l'espèce animale, de la race, de l'âge, du type et du niveau de la production. De plus, pour les ruminants, la ration doit apporter une quantité suffisante de matière sous forme de fibres, afin d'assurer une bonne digestion de la ration.

Très souvent, l'éleveur assisté par un zootechnicien se sert de programmes informatiques spécialisés, pour calculer les rations de ses animaux. Il faut, en se servant de tables d'alimentation, définir les besoins de l'animal et calculer une ration équilibrée en fonction des apports en nutriments des aliments disponibles sur l'exploitation, ou disponible en dehors de l'exploitation, en tenant compte des coûts d'approvisionnement.

Les coûts des aliments sont très variables en fonction de la situation géographique de l'exploitation, de la pluviométrie, mais aussi en fonction des marchés mondiaux.

5.1.2. Conditions hygiéniques

Les aliments distribués aux animaux, doivent être sains pour préserver la santé de l'animal. L'éleveur devra toujours éliminer les aliments avariés ou mal conservés (ex: les foin contenant des moisissures, de la terre...etc) (Figure 1). La manutention des aliments, doit se faire sous un abri spécialisé (Figure 2).



Figure 1 : Paille d'orge mal-conservée (FAO, 1997)



Figure 2::Fourrages secs bien conservés (Milestones Building and Design, 2021)

5.1.3.Impact économique

Dans les exploitations d'élevage, l'alimentation et la production de fourrages, détient le poste de charges budgétaires, le plus élevé. Les coûts liés à la culture des surfaces fourragères et aux achats de produits alimentaires, représentent plus de 50 % du prix de revient des animaux. Pour pouvoir réduire ce coût, on peut introduire des matières premières moins chères comme les sous-produits de l'industrie agroalimentaire, ou encore effectuer la transhumance. Un moyen efficace de réduction du coût de l'alimentation animale qui consiste à supprimer autant que possible les achats de produits extérieurs à la ferme.

En fait, la fabrication d'aliments à la ferme, est très intéressante sur le plan économique, mais exige un élevage important, afin de pouvoir rester compétitif. De plus, l'éleveur doit faire appel à des techniciens spécialisés pour l'aider dans la formulation des aliments.

6. Types d'aliments destinés aux animaux domestiques

6.1.Les fourrages

Ce sont les feuilles et les tiges de végétaux herbacés spontanés ou cultivés. Ils constituent la base de l'alimentation des herbivores. On les classe selon leur teneur en matière sèche (MS) :

➤ Ayant 80 - 90 % d'eau : fourrages verts. Ils sont consommés en l'état dans la prairie, sur les parcelles cultivées ou dans l'étable (Figures 3 et 4).



Figure 3: Sorgho fourrager multicoupe (Web-agri, 2023)



Figure 4 : Fourrages hydroponiques (Sawant, 2023)

- Ayant 50 - 80 % d'eau: ensilages. Ce sont des fourrages récoltés puis acidifiés et stérilisés par des bactéries lactiques (Figure 5).



Figure 5 : Préparation de l'ensilage selon l'ancienne méthode (à bâche)(Wikipedia, 2023)

La méthode moderne de conservation des fourrages, est l'enrubannage ou la préparation d'aliments enrubannés. Elle consiste à récolter le grain de maïs ou de sorgho comme pour le commercialiser et on se contente de le stocker tel quel dans un boyau de plastique scellé. Le grain se conserve ainsi à l'abri de l'air durant les six mois nécessaires à sa consommation en hiver. Ce procédé économise le travail de transport et de manutention du produit consommable en hiver, tout en maintenant une grande partie de ses qualités nutritionnelles (Figure 6).



Figure 6 : Fourrages enrubannés (Deshager, 2022)

- Ayant 15 - 20 % d'eau : foin. C'est du fourrage récolté une fois sec.

6.2. Les concentrés

Ils sont à la base de l'alimentation des monogastriques non herbivores et des volailles. Ils sont produits à la ferme, ou achetés à des coopératives ou des organismes privés. Dans cette catégorie, on trouve des :

- graines de céréales, ex : l'orge, le maïs ;
- graines protéagineuses et oléagineuses, ex : les pois, la soja ;
- sous-produits industriels comme les brisures (grains cassés) ;
- farine de gluten qui est obtenue à partir du maïs, ou encore le tourteau de soja déshuilé ;
- granulés de végétaux ou bien constitués d'aliments pré-dosés et combinés.

Suite à l'épidémie de la vache folle en Europe (encéphalopathie spongiforme bovine), durant les années quatre-vingt-dix, et depuis l'an 2000, les farines d'origine animale, ne sont plus incorporées à des aliments pour bétail en France et dans d'autres pays européens.

6.3. Autres aliments

D'autres aliments peuvent être introduits dans la ration des animaux domestiques, comme les racines, les tubercules et les pulpes de fruits (agrumes, raisin, tomates), en plus du lactosérum. Pour les animaux de compagnie (chat, chien), les nouveaux animaux de compagnie (singe, écureuil, lézards, etc..) et les animaux de parcs zoologiques ; on préconise des pâtées, des croquettes, des paillettes, des proies déshydratées ou congelée, fraîches ou vivantes (insectes, poussins d'un jour, souris blanches).

7. Analyses et composition des aliments

Lorsqu'on place un aliment dans une étuve, l'eau contenue dans l'aliment s'évapore et il subsiste un résidu sec qui est la MS. La MS comprend d'une part la matière organique ; glucides pariétaux (communément appelés « fibres » : cellulose, hémicellulose et pectines) et glucides cytoplasmiques (amidon et sucres solubles), lignine, lipides, matières azotées et vitamines liposolubles et hydrosolubles ; et d'autre part la matière minérale incluant les macro-éléments et les oligo-éléments (Figure 7).

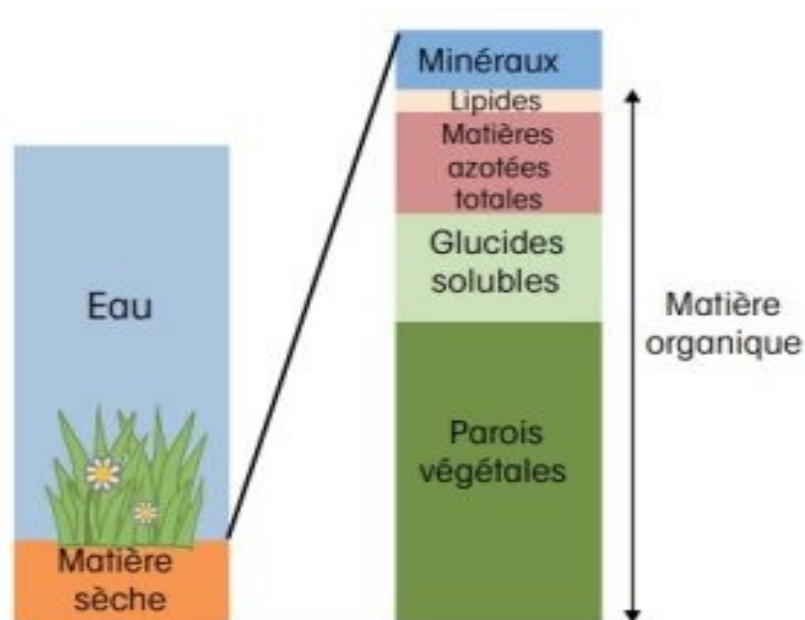


Figure 7 : Composition d'un fourrage (Anonyme, 2023)

L'analyse classique, dite fourragère, correspond à un ensemble de dosages simples universellement connus et appliqués; elle constitue un compromis entre la précision de l'information recherchée et le coût. On détermine les teneurs en eau (Humidité), en MS, en matières minérales (MM), en matières azotées totales (MAT), en matières grasses (MG) et en cellulose brute (CB).

Une fraction non dosée ; l'extractif non azoté (ENA), peut être calculée par différence:

$$\text{ENA} = \text{MO} - (\text{MAT} + \text{MG} + \text{CB})$$

L'ENA inclut les glucides, l'amidon en particulier, et souvent plus de la moitié des constituants pariétaux. Il englobe des glucides à valeur alimentaire très variable et n'a pas véritablement de signification nutritionnelle.

7.1. La teneur en eau

La teneur en eau d'un aliment est par convention, la perte de masse qu'il subit en étant maintenu pendant 4 heures dans une étuve à $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.2. La teneur en matières minérales

La teneur en MM (ou cendres brutes) est le résidu obtenu après calcination de la MS de l'aliment dans un four à moufle à $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, pendant 6 heures. Elle permet de calculer la teneur en matière organique par déduction (MO) : $\text{MO} = \text{MS} - \text{MM}$

On procède après ça, à des dosages spécifiques complémentaires pour connaître la teneur en éléments minéraux : Ca, P, Mg, Na, etc.

Pour estimer la quantité de terre présente dans un aliment, on détermine l'insoluble chlorhydrique, qui est un résidu siliceux obtenu après l'action de l'acide chlorhydrique sur les cendres brutes.

7.3. La teneur en matières azotées totales

La teneur en MAT ou protéines brutes (PB) résulte du dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl. L'azote organique de l'aliment est minéralisé par l'acide sulfurique sous forme de sulfates d'ammonium. L'ammoniac, déposé par la soude, est dosé en retour. On en déduit la teneur de l'échantillon en azote. Le taux de MAT est obtenu, par convention, en multipliant la teneur en azote N par 6,25. Le coefficient 6,25 suppose que les matières azotées analysées contiennent, en moyenne 16 % d'azote (N) d'où $100/16 = 6,25$.

En réalité, les acides aminés (AA) en contiennent 8 à 32 %, l'urée 46 % et l'ammoniac 82 %. Les MAT ainsi déterminées, regroupent des substances azotées de natures différentes, n'ayant pas la même signification alimentaire.

7.4. La teneur en matières grasses

Les matières grasses brutes (MGB), ou extrait étheré, correspondent aux substances extraites par un solvant, l'éther éthylique. Cet extrait ne contient pas tous les lipides, mais renferme des substances non lipidiques solubles dans les graisses, comme les pigments. Pour cette raison, la détermination des MG n'est pas réalisée dans les fourrages riches en pigments. Des analyses spécifiques permettent de connaître la composition en acides gras et leur degré de saturation. Les lipides ne représentent qu'une faible fraction de la MS des fourrages (2 à 5 %).

7.5. Les constituants pariétaux

Les constituants pariétaux peuvent être dosés selon plusieurs méthodes. Les résultats de ces dosages permettent de prévoir la digestibilité de la MO, avec une précision variable selon la méthode d'analyse retenue.

7.5.1. La méthode de Weende

La CB ou matières cellulosiques, est le résidu organique obtenu après une double hydrolyse, acide puis basique. La CB est constituée par la majeure partie de la cellulose, une fraction plus au moins importante de la lignine, ainsi que par une petite partie des hémicelluloses et même par des matières azotées. La CB ne représente donc pas une substance chimique précise. Pour un végétal donné, les relations entre les variations des teneurs en CB et en parois et lignine, sont constantes.

De ce fait, la teneur en cellulose est un bon critère prédictif de la digestibilité de la matière organique et de la valeur énergétique.

7.5.2. La méthode de Van Soest

Il s'agit d'une méthode d'analyse par fractionnement des différents constituants de la paroi végétale. Elle repose sur l'utilisation de détergents et permet de quantifier trois résidus (Figure 8):

- **le résidu 1 " parois cellulaires" ou NDF (Neutral Detergent Fiber)** : contient la majeure partie des parois, mais il comprend aussi des matières azotées et de l'amidon.

- le résidu 2 "ligno-cellulose" ou ADF (Acid Detergent Fiber) : peut encore contenir des matières azotées et des tannins. Il correspond à une estimation de l'ensemble (lignine et cellulose).
- le résidu 3 "lignine" ou ADL : peut aussi contenir des matières azotées et des tannins.

Comme la teneur en CB, ces critères sont donc imparfaits, mais leur utilisation permet tout de même d'améliorer la précision de l'estimation de la digestibilité de la matière organique des aliments (1 % de lignine supplémentaire accroît en moyenne de 3,8 % la quantité de parois non digérées).

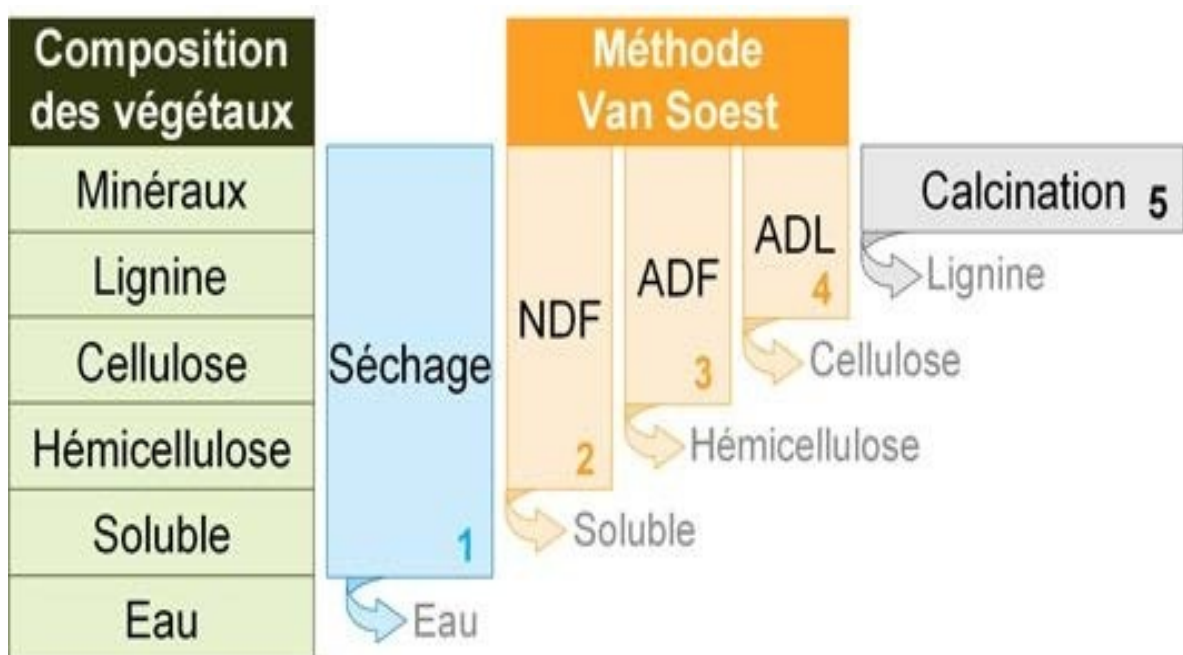


Figure 8 : Application de la méthode de Van Soest (Viel, 2018)

B. Anatomie comparée de l'appareil digestif des animaux

1. Différences dans l'appareil digestif des animaux domestiques

Généralement, l'anatomie de l'appareil digestif diffère d'une espèce animale à une autre, cependant les grandes différences existent entre la structure et la physiologie de l'appareil digestif, chez les monogastriques, les ruminants et les oiseaux.

Ces différences sont dues, surtout, aux différences de régimes alimentaires, et à la disparité entre les conditions de vie des différentes espèces animales, ce qui va de paire avec la position de chacune de ces espèces animales, dans la systématique de la règne animale.

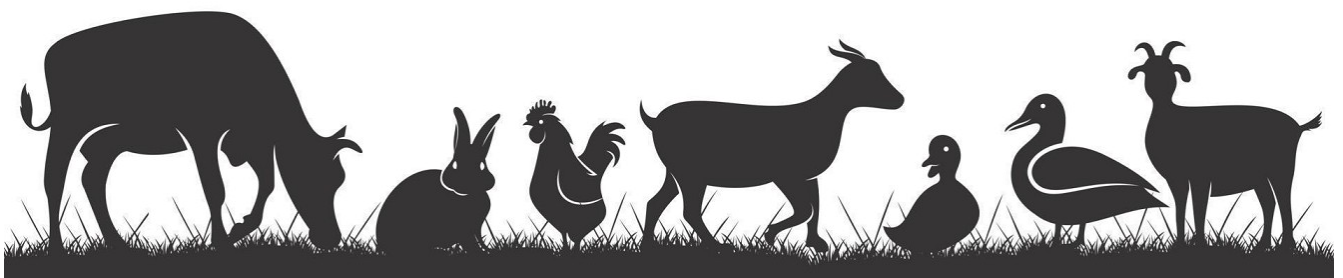
2. Impact des différences anatomiques de l'appareil digestif sur le devenir de l'espèce animale

L'anatomie de l'appareil digestif influe d'une manière importante sur le devenir d'une quelconque espèce animale, avec des conséquences nutritionnelles et pathologiques différentes, d'une espèce à l'autre. En fait, la structure et la physiologie de l'appareil digestif, impose un régime alimentaire bien défini pour une quelconque espèce animale, ce qui se reflète sur les méthodes de rationnement en élevage d'animaux domestiques, d'une part. D'une autre part, les sensibilités en vers un aliment ou un autre, sont variables, lors des excès ou des déficits d'apports alimentaires, en fonction de l'espèce animale. Alors que les ruminants, par exemple, sont généralement sensibles à des excès en apport glucidiques, donnant des acidoses du rumen, surtout les bovins ; ceci à cause de leur taille et de leurs besoins alimentaires trophiques, on remarque que le cheval, étant monogastrique, est plus sensible à un excès d'aliments ligneux ou contenant beaucoup de sables.

Aussi, la diversité des micro-organismes de la flore ruménale chez les ruminants, impose une période de transition lors de tout changement du régime alimentaire, afin d'éviter des troubles métaboliques, parfois fatals, alors que les monogastriques sont généralement moins sensibles aux changements rapides du régime alimentaire, car le mécanisme de digestion est principalement enzymatique.

Pour plus de détails, des schémas détaillés de l'appareil digestif des différentes espèces animales domestiques, sont rapportés dans les planches du TD 1. Aussi, les différences anatomiques entre les principales espèces animales de rente, seront exposées en détail dans le deuxième chapitre.

Chapitre II
Actions digestives des
différentes espèces
animales



CHAPITRE II: ACTIONS DIGESTIVES LES DIFFÉRENTES ESPÈCES ANIMALES

A.La digestion chez les ruminants

1.Définitions

- **Absorption:** le passage des produits de la digestion et d'autres composés simples à travers la paroi du tube digestif pour aboutir dans le sang.
- **Tampons:** composés chimiques sécrétés par la salive ou ajoutés dans la ration pour maintenir une acidité neutre qui favorise la digestion des fibres et la croissance bactérienne.
- **Digestion:** série de processus qui décomposent les particules (aliments et microbes) en substances simples et nutritives qui peuvent être utilisées par les cellules du corps. Un acide fort et beaucoup d'enzymes digestives sont sécrétés dans le tube digestif pour digérer les aliments.
- **Métabolisme:** transformations des substances nutritives et autres produits intermédiaires qui en dérivent, lors de leur utilisation par les cellules du corps après absorption. Les substances nutritives peuvent être dégradées pour en extraire l'énergie nécessaire afin de maintenir les fonctions vitales et accomplir certaines activités (manger, marcher, ruminer, etc.). Elles peuvent aussi être utilisées pour la synthèse de tissus corporels (muscles, tissus adipeux) et chez la vache laitière en production, elles peuvent servir pour la synthèse des composants du lait (lactose, protéines et matières grasses).

2. Particularités de la digestion chez les ruminants

Les ruminants sont des animaux facile à reconnaître parce qu'ils mastiquent leurs aliments non seulement pendant les repas, mais aussi, la plupart du temps, entre les repas. Après avoir été avalés, les aliments reviennent dans la bouche (régurgitation) où ils sont mélangés avec de la salive et mastiqués à nouveau (Figure 9). Cette activité, qui s'appelle *ruminaton*, fait partie du processus d'adaptation qui permet aux ruminants d'obtenir de l'énergie des parois cellulaires végétales, ou fibres alimentaires.

Il faut noter qu'en pratique :

- les ruminants peuvent utiliser une variété d'aliments plus grande que les non-ruminants. Les microbes qui vivent dans le rumen permettent aux ruminants d'utiliser des aliments fibreux (fourrages, résidus de récoltes et sous-produits industriels) et l'azote non-protéique (ammoniac, urée).

L'énergie et les protéines ainsi produites peuvent servir pour faire du travail (traction, pré, marche, etc.) et pour la synthèse d'aliments nutritifs et de saveur désirés par beaucoup d'être humains (produits laitiers).

- les aliments fibreux sont nécessaires pour la bonne santé de la vache, parce qu'ils provoquent la rumination et la production de salive, deux aspects essentiels du bon fonctionnement du rumen.
- une vache peut manger des fourrages (aliments pauvres en énergie) et des concentrés (en général, aliments riches en énergie), cependant, l'addition de grandes quantités de concentrés dans la ration doit être très progressive et étalée sur une période de transition de 4 à 5 jours, pour permettre aux bactéries du rumen de s'adapter à la nouvelle ration.
- les matières fécales des ruminants sont des engrais riches en matières organiques (débris microbiens non digérés, azote) et en matières minérales (phosphore et potassium).

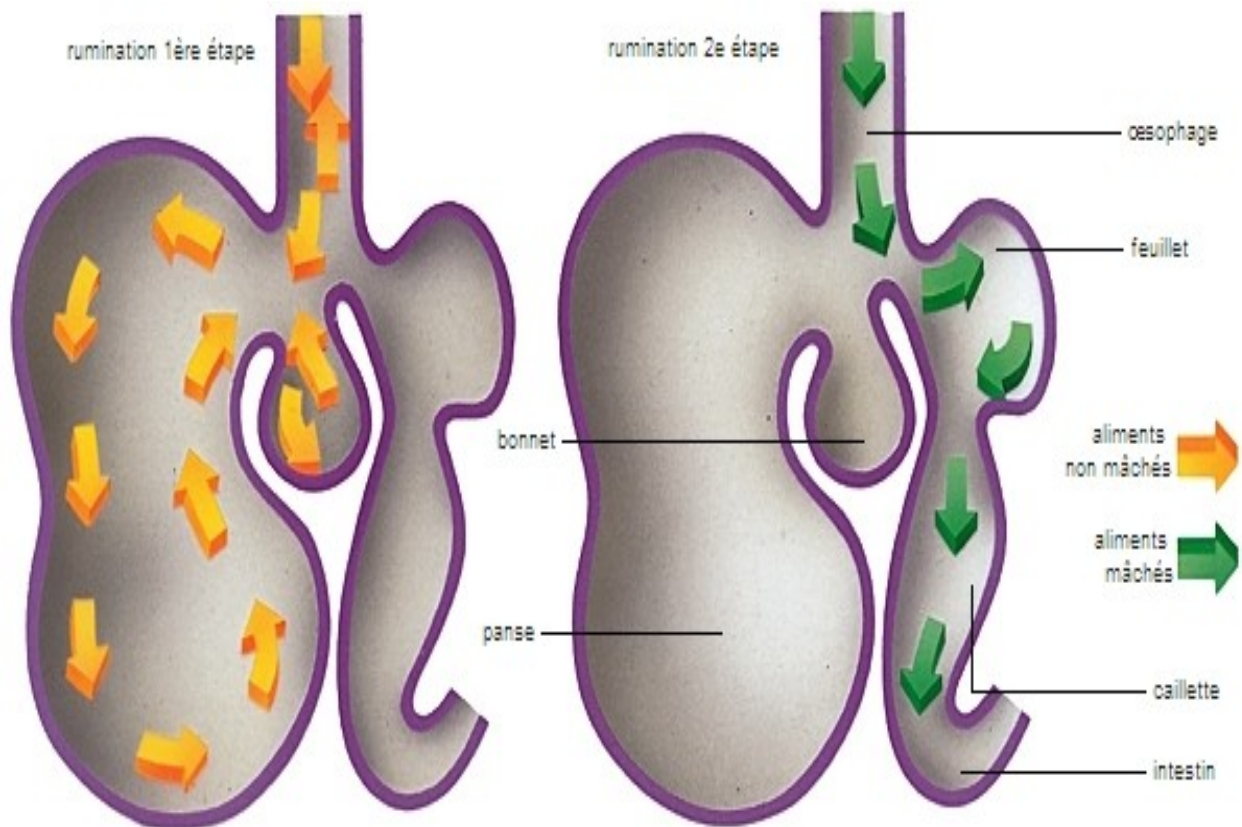


Figure 9 : Le trajet des aliments lors de la rumination (Encyclopédie du Larousse, 2023)

2.1. Adaptation à l'utilisation des fibres et l'azote non-protéique

La fibre est le composant principal des tiges végétales; c'est une structure rigide qui joue un rôle important dans la croissance et la protection contre les prédateurs. Certains sucres tels que la cellulose et les hémicelluloses sont emprisonnés dans la paroi cellulaire végétale. Ces sucres sont inaccessibles aux animaux non-ruminants, mais ils peuvent être utilisés par les ruminants. La population microbienne qui vit dans le réseau et le rumen permet aux ruminants d'extraire de l'énergie de la fibre.

Alors que l'azote dans la ration des non ruminants, ne peut provenir que d'acides aminés préfabriqués et assemblés en protéines, les ruminants peuvent utiliser d'autres sources d'azote non protéique (ANP). L'ammoniac ou l'urée, par exemple, sont utilisés par les bactéries du rumen pour synthétiser les acides aminés et leurs propres protéines. Ces protéines bactériennes sont ensuite digérées dans l'intestin et elles fournissent la majorité des acides aminés dont la vache a besoin.

2.2. Anatomie et physiologie des quatre estomacs des ruminants

2.2.1. Le rumen (la panse) et le réticulum (le réseau)

Le rumen et le réseau (Figure 10) sont les deux premiers estomacs des ruminants. Chaque minute, le réseau se contracte et son contenu se mélange avec celui du rumen. Ces deux estomacs sont donc souvent appelés le réticulo-rumen parce qu'ils partagent une population dense de micro-organismes (bactéries, protozoaires, et champignons) qui fermentent les aliments. Le rumen est un réservoir de fermentation d'un contenu qui varie d'environ 35 kg pour une vache de 250 kg à plus de 90 kg chez une vache de 600 kg. La fermentation des particules fibreuses est un processus lent et celles-ci restent donc dans le rumen de 20 à 48 h avant de passer dans l'*omasum*. Les particules qui sont fermentées plus rapidement ont tendance, cependant, à rester dans le rumen moins longtemps.

Le réseau peut être comparé à un carrefour où s'effectue le triage des particules qui entrent dans le rumen et celles qui en sortent. Avant de pouvoir quitter le rumen et entrer dans l'*omasum*, les particules doivent être d'une dimension inférieure à 1 ou 2 mm de longueur et d'une densité supérieure à plus ou moins 1,2 g/ml.



Figure 10 : Structure histologique des quatre estomacs chez la vache (Segarra et al., 2014)

2.2.1.1. Les bactéries du rumen

Le rumen fournit un environnement idéal avec, en général, une quantité d'aliments quasi illimitée pour la croissance et la reproduction bactérienne. L'absence d'air (oxygène) dans le rumen favorise la croissance de certaines espèces de bactéries, en particulier celles capables de dégrader les fibres végétales.

Les microbes fermentent les sucres de la paroi cellulaire végétale pour en obtenir de l'énergie. Durant ce processus, ils produisent les acides gras volatils (AGV) qui sont les produits finaux de leur fermentation. Les AGV qui sont sans valeur pour les microbes traversent la paroi du rumen et deviennent la source d'énergie principale dans les cellules du corps de la vache.

L'énergie disponible aux bactéries du rumen leur permet d'utiliser l'ammoniac pour synthétiser les acides aminés et leurs propres protéines. La plupart des protéines bactériennes ainsi formées dans le rumen sont digérées dans le petit intestin où elles deviennent la source principale d'acides aminés pour la vache.

Quand le jeune ruminant né, le rumen est considéré comme un environnement stérile qui ne contient pas de bactéries ou autres vies microbiennes. Le jeune ruminant est naturellement exposé à différents micro-organismes à travers le canal de naissance (le vagin...), la salive, la peau et les fèces de la mère. La colonisation séquentielle du microbiote du rumen chez les pré-ruminants (Figure 11) se fait ainsi :

- les bactéries anaérobies apparaissent quelques heures après la naissance ;
- les bactéries cellulolytiques et les archées méthanogènes apparaissent à 2-4 jours d'âge ;
- les champignons anaérobies colonisent le rumen pendant la seconde semaine ;
- les protozoaires ciliés s'installent seulement à partir de la troisième semaine d'âge.

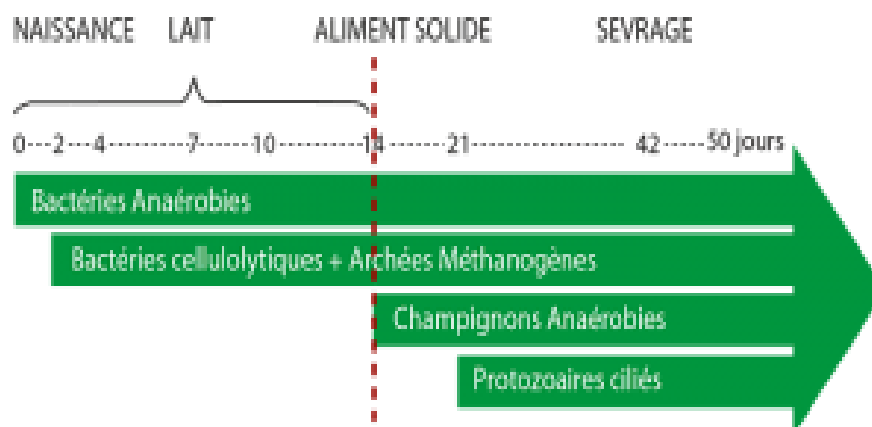


Figure 11 : Colonisation séquentielle du microbiote du rumen chez les pré-ruminants (Suthar, 2021)

2.2.2.Le feuillet (*omasum*)

Le troisième estomac ou *omasum* est un organe de forme sphérique (Figure 9) d'une capacité d'environ 10 litres. En dépit de sa petite dimension, cet organe a une grande capacité d'absorption.

Il permet le recyclage de l'eau et de certains minéraux, tels que le sodium et le phosphore, qui sont absorbés dans le sang et retournent dans le rumen via la salive.

Le feuillet est un organe de transition entre le rumen et l'*abomasum* qui ont des modes de digestion très différents. Cependant, le feuillet n'est pas un organe essentiel. En fait, il est absent chez les chameaux, les lamas et les alpacas (pseudo-ruminants).

2.2.3.La caillette (*abomasum*)

Le quatrième estomac est l'*abomasum*. Cet estomac est similaire à celui des non-ruminants. Il sécrète un acide fort et de nombreuses enzymes digestives. Chez les non-ruminants, les aliments ingérés y arrivent directement et y sont digérés. Par contre, le matériel qui entre dans l'*abomasum* d'un ruminant provient du rumen. Les produits de la fermentation ruminale qui passent dans la caillette sont donc composés de particules alimentaires résiduelles, de certains sous-produits de la fermentation bactérienne, et d'une masse microbienne (bactéries, protozoaires) qui a crû et s'est multipliée dans le rumen.

2.3. Principales fonctions du tractus digestif des ruminants

2.3.1.Bouche

Il faut noter que le processus de digestion commence dans la bouche, dont les principaux rôles sont :

- Réduction de la dimension des particules, ce qui facilite l'attaque de la fibre pendant la fermentation microbienne ;
- Production de 160 à 180 litres de salive lorsque la vache mastique entre 6 et 8 h/jour, mais moins de 30 litres si la rumination n'est pas stimulée (si trop de concentré dans la ration ou mouture trop fine du fourrage) ;
- Production de tampons dans la salive (bicarbonates et phosphates) qui neutralisent les acides produits par la fermentation microbienne, et ainsi favorisent la digestion des fibres et la croissance microbienne grâce au maintien d'une acidité neutre dans le rumen.

2.3.2.Réticulo-rumen

Cette partie du tractus digestif détient des rôles primordiaux, dont principalement ;

- Rétention de longues particules fibreuses qui stimulent la rumination et la salivation ;
- Activité microbienne intense conduisant à la production d'AGV qui sont des produits terminaux de la fermentation des sucres et à la production d'une masse microbienne riche en protéine ;
- Absorption des AGV à travers la paroi du rumen, pour être utilisés comme source d'énergie dans les cellules corporelles et pour la synthèse du lactose, des protéines et de la matière grasse du lait ;
- Production et expulsion par éructation de plus de 1000 litres de gaz par jour (CH₄, principalement) ;
- Absorption de l'eau, du sodium, du phosphore et des AGV (Figure 12).

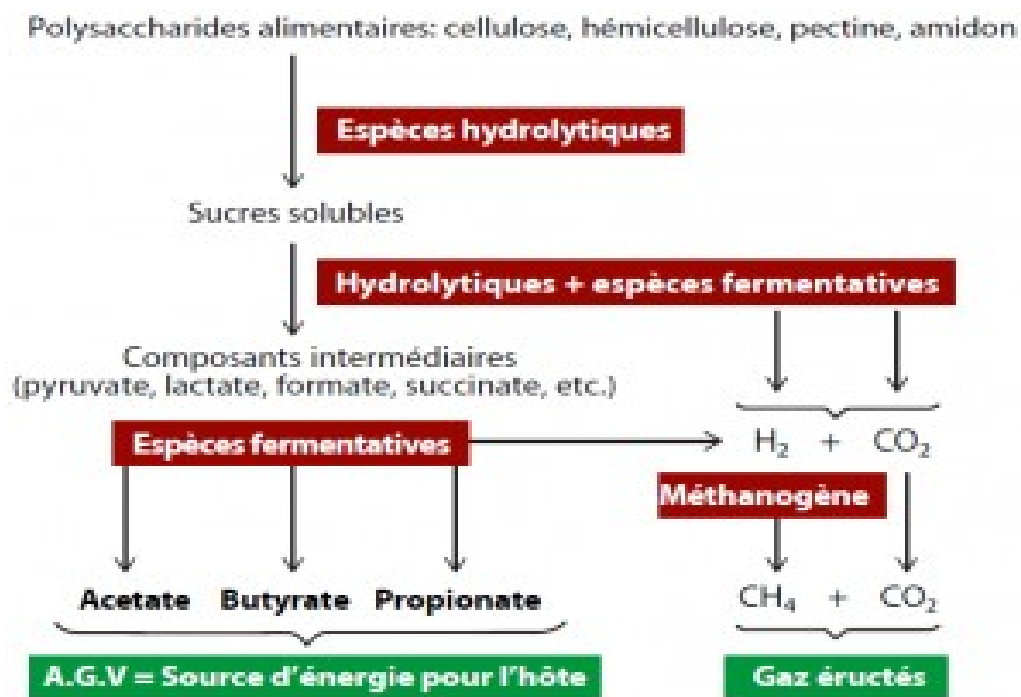


Figure 12 : Le processus de fermentation dans le rumen (Ruminant digestive system, 2023)

2.3.3.Feuillet (*omasum*)

- Il permet le recyclage de certains nutriments essentiels;
- Absorption de l'eau, du sodium, du phosphore et des AGV.

2.3.4.Caillette (*abomasum*)

Elle a un rôle très important chez les pré-ruminants, et est caractérisée essentiellement par une digestion acide, parmi ses fonctions:

- Sécrétion de l'acide chlorhydrique (H Cl) et de nombreuses enzymes digestives;
- Digestion des protéines qui ont échappé à la fermentation ruménale et de la majorité des lipides;
- Digestion des protéines bactériennes produites dans le rumen (0,5 à 2,5 kg/jour).

2.3.5.Petit intestin

Il participe dans la digestion des aliments et l'absorption des nutriments:

- Sécrétion des enzymes digestives par la paroi de l'intestin, le foie et le pancréas ;
- Digestion enzymatique des hydrates de carbone, des protéines et des lipides ;
- Absorption de l'eau, de minéraux et des produits de la digestion intestinale (glucose, AA et AG).

2.3.6.Cæcum et gros intestin

Ils participent dans la fermentation des aliments et l'absorption des nutriments:

- Fermentation, par une population bactérienne, des produits de la digestion intestinale non absorbés ;
- Absorption de l'eau et formation des matières fécales.

B.La digestion chez le lapin

1. Aperçu sur la digestion chez le lapin

La digestion chez le lapin va dépendre de ce qu'il ingère chaque jour. Une alimentation riche en fibres est primordiale pour assurer à son tube digestif une bonne tonicité. À l'inverse, une alimentation riche en sucres va ralentir son transit et favoriser la prolifération de bactéries et de crottes molles. Il s'agit souvent de lapins nourris de mélanges de graines inappropriés et dont le foin est donné en faible quantité. En ne respectant pas les besoins du lapin, ce dernier risque de souffrir de carences, d'obésité et d'importants troubles digestifs.

2. Particularités anatomiques et physiologiques de l'appareil digestif du lapin

- ✓ Contrairement à d'autres animaux, le lapin a un estomac volumineux avec une paroi fine. Son estomac est refermé par le cardia, qui est la jonction entre l'œsophage et l'estomac. Mais le cardia a pour particularité d'être très étroit chez le lapin, ce qui a pour conséquence qu'il ne peut pas vomir.
- ✓ L'autre particularité de l'appareil digestif du lapin, est son taux élevé d'acidité (l'acide chlorhydrique), de pepsine et de minéraux, qui entraîne souvent des ulcères et des distensions de sa paroi stomacale. Cet excès d'acidité a pour conséquence une mauvaise assimilation des médicaments.
- ✓ En dépit de sa petite taille, le lapin a un tube digestif pouvant mesurer jusqu'à cinq mètres de long, pour les plus grands, qui est composé de l'intestin grêle (environ trois mètres), du cæcum d'une quarantaine de centimètres et du côlon. Ce sont surtout l'estomac et le cæcum qui servent de réservoirs pour la nourriture (Figure 13).

2.1.La cæcotrophie

La cæcotrophie fait référence aux deux sortes d'excréments que produit le lapin dans une même journée (Voir TD 1):

- ✘ la nuit ou tôt le matin, il va produire des crottes molles et luisantes qui sont recouvertes d'une couche de mucus et sont très odorantes. Ce sont ces crottes que le lapin va ingérer en les prenant directement à la sortie de son anus. Aussi peu ragoûtant que cela puisse paraître, ce phénomène est normal et nécessaire : car le lapin les mange pour une seconde digestion des fibres et l'absorption de nutriments telles que les vitamines K et B.
- ✘ ensuite le lapin produit en journée des crottes sèches et dures, peu odorantes, qui sont riches en fibres, qui seront éliminées sans récupération.

* en général, les lapins mangent l'ensemble de leurs caecotrophes à partir de l'âge de six mois. Si ce n'est pas le cas, c'est que leur alimentation est trop riche et que le problème vient de la composition des graines ou granulés.

2.2.Rôle du cæcum

Le cæcum est l'un des deux réservoirs les plus importants du système digestif du lapin. Il représente à lui seul 40 % du tube digestif et est composé de trois replis. C'est dans le cæcum qu'est digérée la cellulose et que sont fabriqués les AGV et synthétisés les vitamines, ainsi que les acides aminés.

Le cæcum est en symbiose avec le côlon pour diviser les particules nutritives et permettre une digestion en deux temps. Selon les mouvements faits par le côlon, les particules iront soit dans le cæcum, soit vers l'anus. Quand elles sont dirigées dans le cæcum, celui-ci les rejette dans le côlon où elles sont à nouveau synthétisées. Comme elles ne sont pas déshydratées, elles donnent des crottes caecotrophes (molles).

2.3.Evolution du comportement alimentaire du lapin

Le rythme des tétées est imposé par la mère aux lapereaux nouveau-nés, mais à partir de la troisième semaine, on note une modification extraordinaire du comportement alimentaires des nouveaux-nés.

Le lapereau passe d'une seule tétée par jour à une multitude de repas solides et liquides plus ou moins alternés et répartis régulièrement le long de la journée: 25 à 30 repas solides ou liquides par 24 heures, soit plus de 3 h de repas dont les deux tiers sont nocturnes.

L'évolution des quantités de nourriture et d'eau ingérées, est fonction de la nature des aliments présentés aux lapins, du type d'animal, de son âge et de son stade de production.

Lorsque le lapin se trouve face à plusieurs aliments, il choisit en fonction de critères parfois difficilement prévisibles. La répartition et la prise de repas n'est pas homogène au cours des 24 h. La part de l'alimentation quotidienne consommée chaque heure en période d'obscurité est nettement plus importante que la part correspondante ingérée en période d'éclairément, tant pour l'aliment solide que pour l'eau de boisson.

Au fur et à mesure que les lapins vieillissent, le caractère nocturne du comportement alimentaire s'accroît.

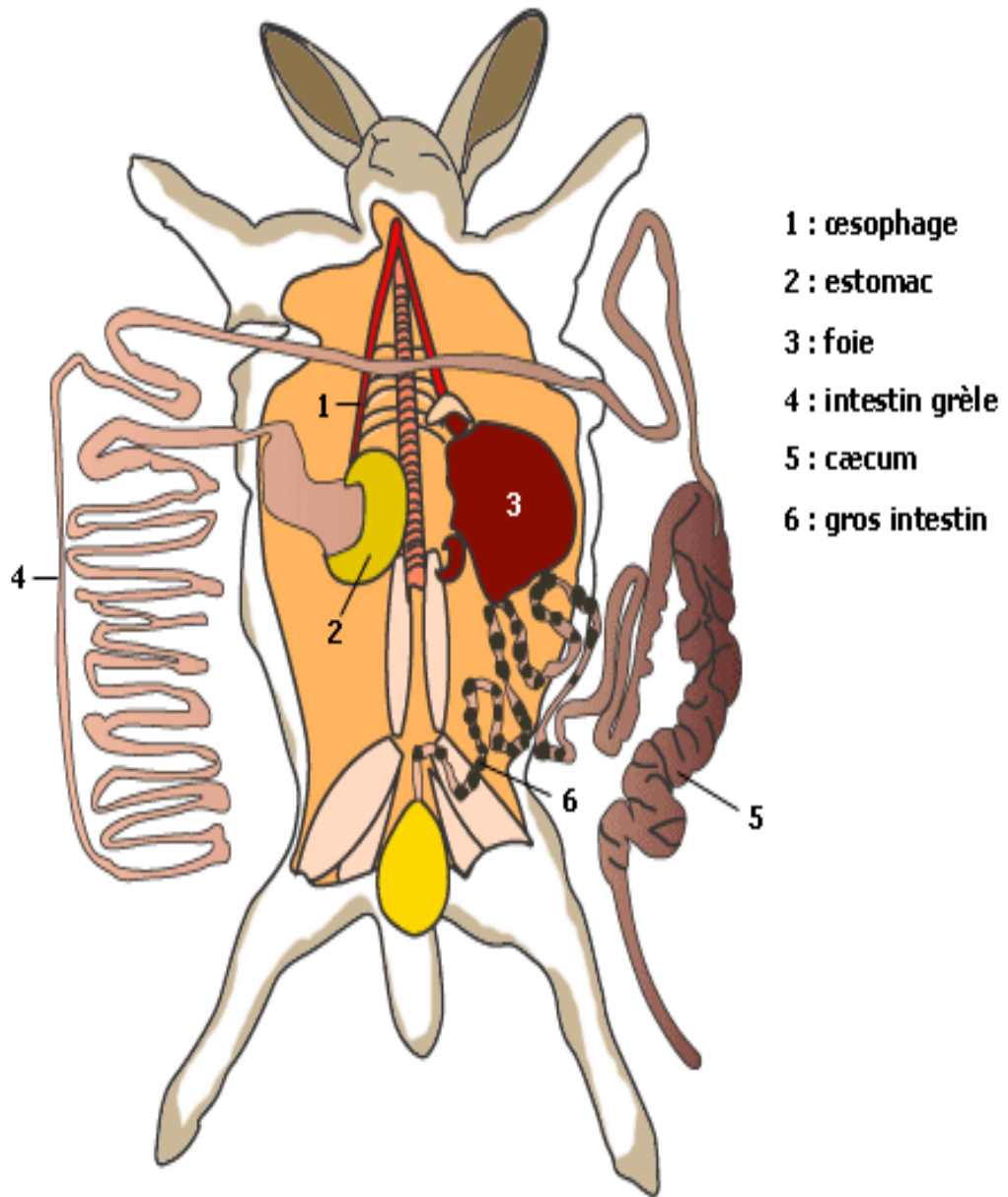


Figure 13 :Anatomie de l'appareil digestif du lapin
(Maxicours, 2023)

C.La digestion chez la poule

1.Aperçu sur la digestion chez la poule

Anatomiquement l'appareil digestif des oiseaux est constitué par: un bec, une cavité buccale dépourvue de dents, un gosier, un œsophage, un jabot, des estomacs sécrétoire et musculaire, l'intestin débouchant dans le cloaque puis l'anus (Figure 14). Il comprend bien sûr toutes les glandes annexes : le foie et le pancréas.

2.Particularités anatomiques et physiologiques de l'appareil digestif de la poule

2.1.Le bec

Le bec est utilisé avant tout pour la préhension des aliments, il offre une grande diversité de formes dans la classe des oiseaux qui est souvent le reflet d'une adaptation à un régime alimentaire particulier. Les becs forts et coniques (ex: poules, dindon, canaris, etc...) sont les moins spécialisés mais témoignent plutôt d'un régime granivore.La forme du bec est un des éléments importants utilisés pour la classification scientifique ou taxonomie des oiseaux. La partie visible du bec est une production cornée.Au même titre que les griffes, sa croissance est continue. Elle doit être compensée par une usure régulière par frottement des deux mâchoires entre elles, sur les aliments ou sur des objets non comestibles. Le bec est composé de deux parties: dorsalement la mandibule supérieure ; ventralement la mandibule inférieure.

2.2.La langue

La langue est un organe mobile situé sur le plancher de la cavité buccale. La langue présente une grande variabilité de taille, de forme et de motilité dans la classe des oiseaux. Triangulaire chez la poule, elle est limitée en arrière par des papilles filiformes (du goût), cornée et possède à son apex un pinceau de soies tactiles. Elle est recouverte d'un épithélium corné qui lui donne une apparence dure.

2.3.Les glandes salivaires

Sont groupées en massifs éparpillés. Chaque glande possède plusieurs fins canaux excréteurs, soit une centaine en tout. On distingue :les glandes mandibulaires, palatines, maxillaires, sublinguales,

linguales, angulaires, crico-aryténoïdes, et sphéno-ptérygoïdes. Les glandes salivaires sont réduites chez certains oiseaux (ex : canards). La salive de la poule possède une amylase mais son rôle essentiel est de lubrifier et de ramollir les aliments.

2.4.Le pharynx

C'est le carrefour du tube digestif et des voies respiratoires. C'est un organe difficile à délimiter chez les oiseaux (d'où le nom de buccopharynx). D'un point de vue anatomique, on le limite rostralement à la dernière rangée de papilles filiformes du palais (après les choanes) et de la langue, et caudalement, à l'entrée de l'œsophage, marquée également d'une petite rangée de papilles.

2.5.L'œsophage

C'est un organe tubuliforme musculo-muqueux qui assure le transport des aliments de la cavité buccale à l'estomac. Avant de pénétrer dans la cavité thoracique chez certaines espèces dont la poule et le pigeon, il se renfle en un réservoir ; le jabot. Il possède une musculature longitudinale interne très développée et est très dilatable (surtout chez les rapaces et les oiseaux piscivores).

2.6.Le jabot

C'est un élargissement de l'œsophage en forme de réservoir situé à la base du cou, au ras de l'entrée de la poitrine. Rudimentaire chez de nombreux oiseaux, il est bien développé chez les espèces domestiques (sauf chez le canard). Il se présente chez la poule sous la forme d'un sac ventral très extensible qui adhère dans sa partie ventrale à la peau et aux muscles sous-cutanés du cou et dans sa partie caudo-dorsale aux muscles pectoraux droits. Sa paroi, qui est très mince, a une musculature lisse peu développée, mais qui est riche en fibres élastiques.

2.7.L'estomac

Il est divisé en deux parties (Figure 14 et TD1):

- le proventricule (estomac glandulaire) ;
- le gésier ou ventricule (estomac musculaire).

La digestion commence dans le proventricule grâce aux sucs gastriques et à l'activation des pepsinogènes. Ensuite les aliments passent dans le gésier qui possède une paroi épaisse et musculaire.

Le gésier peut contenir de petits cailloux (grits) qui facilitent le broyage de la nourriture (remplaçant l'absence de dents chez la poule). Le gésier est non glandulaire. Il sert de filtre en isolant les éléments non digestibles (os, plumes, poils), des particules digestibles qui progressent vers l'aval grâce à ses contractions. Les aliments peuvent aller et venir entre le gésier et le proventricule.

2.8.Le gros intestin

Est relativement court et sa fonction primaire est d'absorber l'eau et les électrolytes. Son contenu est réduit chez les oiseaux avec un transit rapide (3h chez le poulet), en tant qu'une adaptation au vol.

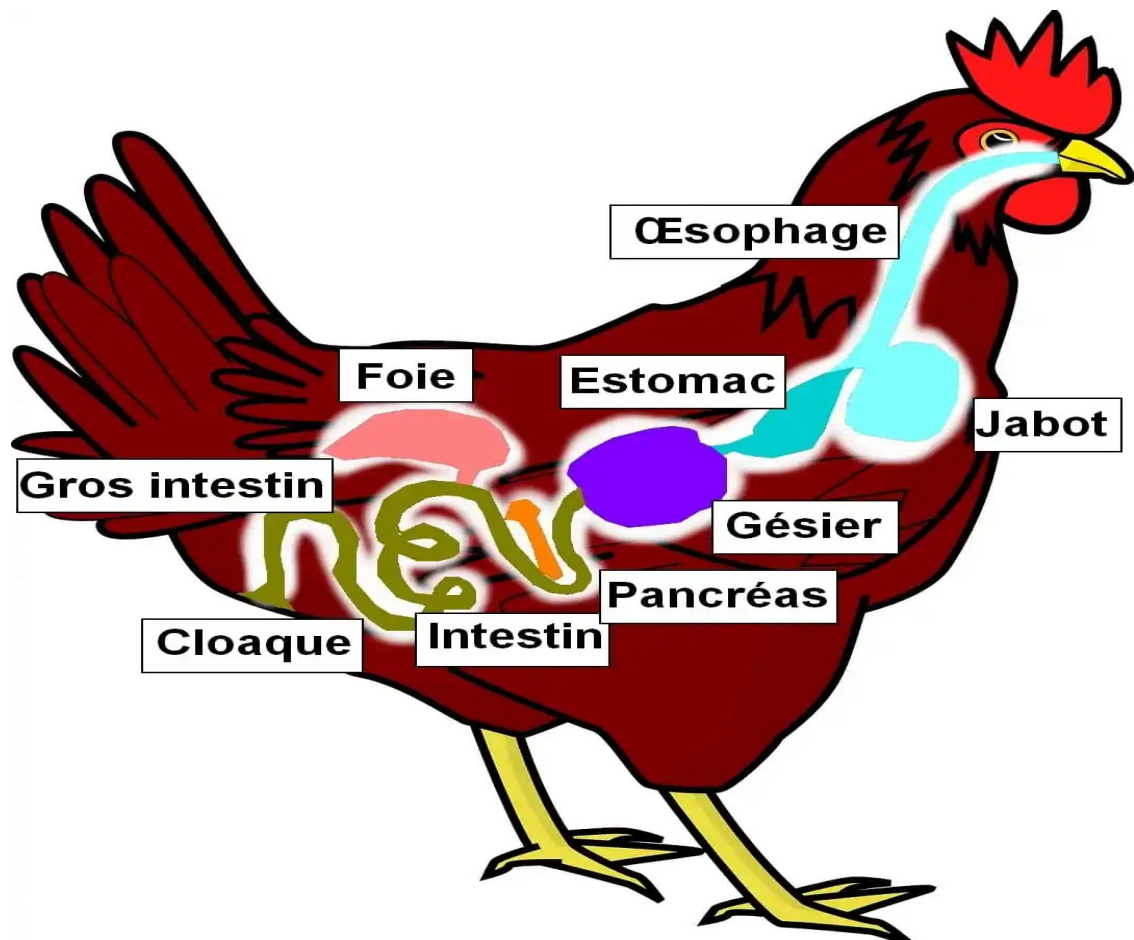


Figure 14 :Anatomie de l'appareil digestif de la poule
(Poulailler bio, 2023)

2.9.Le cloaque

Composé de trois parties :

- **le coprodaeum** : qui reçoit les déchets du gros intestin;
- **l'urodaeum** : qui reçoit l'urine des reins via les uretères, le sperme et les œufs;
- **le proctodaeum** : qui stocke temporairement et éjecte les déchets .

La bourse de Fabricius est située sur la partie dorsale du cloaque, elle n'a pas de rôle dans la digestion, mais plutôt un rôle immunitaire par la production de lymphocytes B.

D.Devenir des nutriments dans l'organisme animal (exemple des ruminants)

1. Principaux mécanismes d'absorption des nutriments

L'absorption des nutriments se fait à travers les villosités du tractus digestif (Figure 15). Elle peut se faire par différents mécanismes (Figure 16) :

- **Les transports actifs** : nécessitant une source d'énergie fournie par de l'ATP) ;
- **Les transports passifs**: grâce à un gradient de concentration. L'absorption passive peut être une simple diffusion transmembranaire ou faire appel à des transporteurs spécialisés (diffusion facilitée).

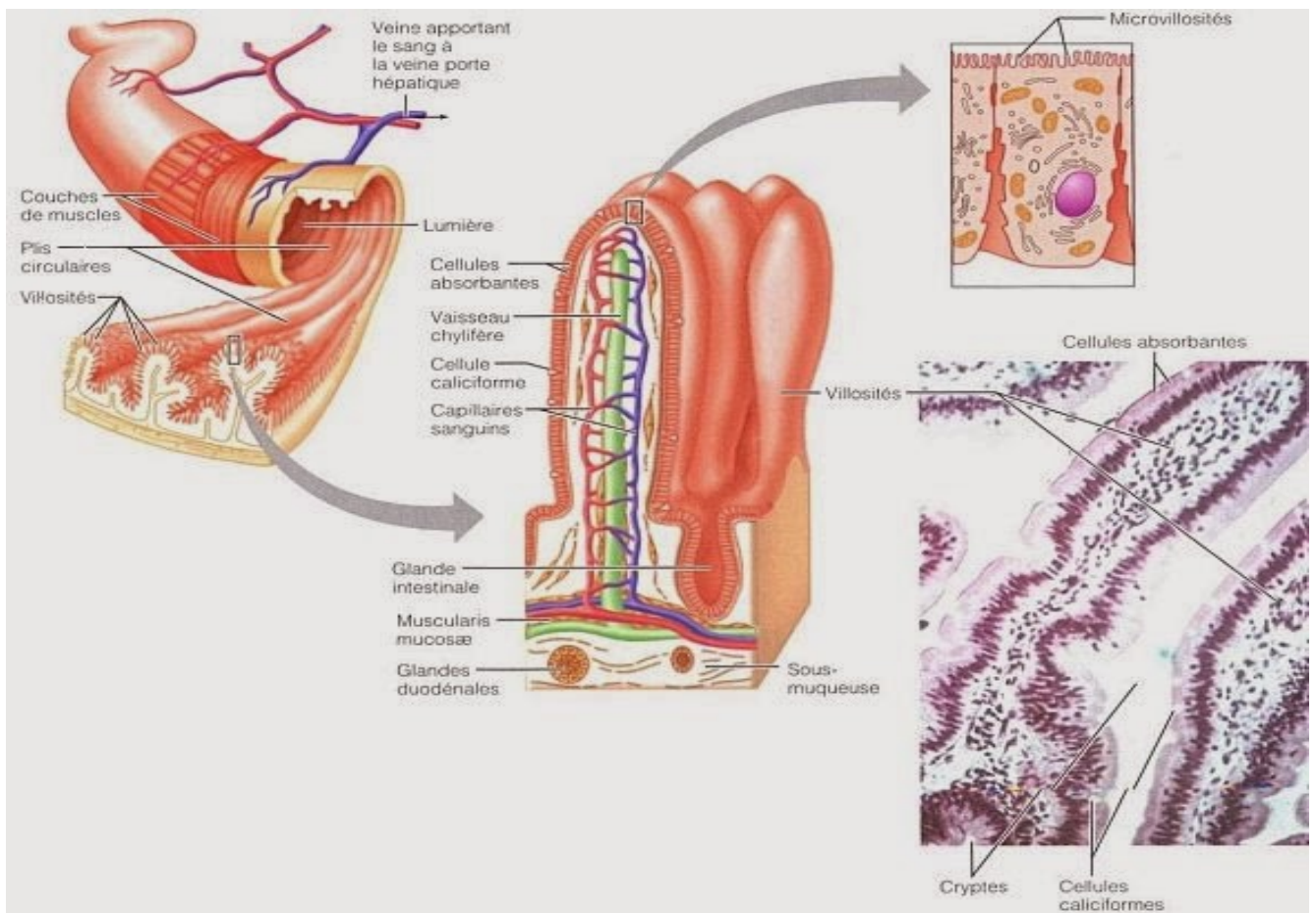


Figure 15 : Anatomie des villosités intestinales (Maria et Mousques, 2012)

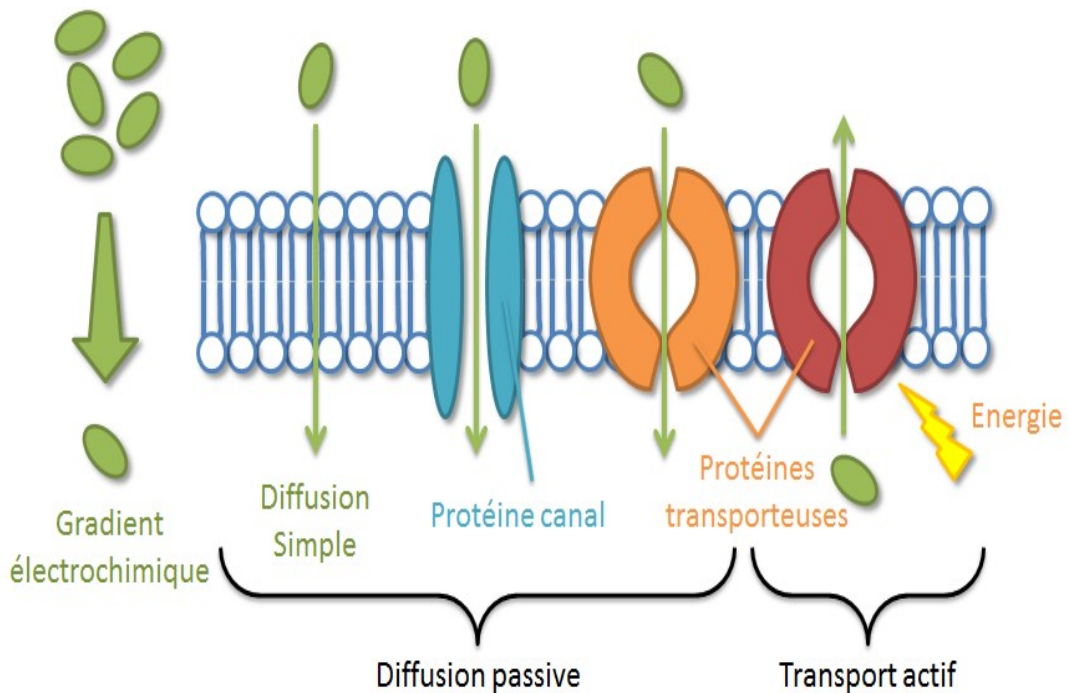


Figure 16: Types de transports membranaires (Auvray, 2020)

2. Drainage du tube digestif par la circulation portale

La totalité du sang veineux (chargé avec les nutriments) est drainé par le système porte (veine porte) qui arrive directement au foie qui est le passage obligatoire pour toutes molécules issues du tube digestif (sauf celles qui passent par voie lymphatique). Au niveau du foie, une métabolisation peut s'effectuer alors même que le nutriment n'a pas encore gagné la circulation générale. On parle d'effet de premier passage hépatique. Les acides gras (à longue chaîne) et les triglycérides (reconstitués dans l'entérocyte) sont drainés par la circulation lymphatique et évitent ainsi le foie, puis ils vont rejoindre la circulation générale au niveau de la veine jugulaire droite.

3. Particularités de la digestion microbienne chez les ruminants

Le système digestif des ruminants (ex: bovins) permet d'effectuer une pré-digestion microbienne des aliments, facilitant une utilisation poussée des fibres présentes dans la ration. Le rumen est un écosystème peuplé de micro-organismes qui vivent en symbiose avec le ruminant. Ces micro-organismes, adaptés à vivre dans un environnement caractérisé par un pH de 6,0 à 7,0, dégradent, via des processus d'hydrolyse et de fermentations, la plupart des composants de la ration alimentaire (Figure 17).

3.1.Digestion et métabolisme des glucides

Une fois arrivés dans le rumen, les glucides subissent une fermentation microbienne conduisant à la formation d'un mélange d'AGV : acide acétique (C2 : 65 %), acide propionique (C3 : 20 %) et acide butyrique (C4 : 15 %). Ces différents AGV sont ensuite absorbés à travers la paroi du rumen.

Le glucose contribue à la synthèse du lactose, principal constituant glucidique du lait. Chez le ruminant, la synthèse du glucose (néoglucogénèse) est assurée principalement à partir de l'acide propionique (C3), provenant des fermentations liées à l'amidon. Lorsque la ration est trop peu énergétique, la néoglucogénèse se fait davantage à partir des acides aminés (AA). Ce recours aux AA peut entraîner une baisse du taux protéique (TP) du lait (Figure 17).

3.2.Digestion et métabolisme des lipides

Les lipides alimentaires sont hydrolysés par les micro-organismes du rumen, ce qui permet la production de glycérol et d'acides gras libres. A côté de leur activité de dégradation des lipides alimentaires, les micro-organismes synthétisent également, au sein de leur organisme, des lipides microbiens. Lorsque ces micro-organismes quittent le rumen et passent dans la caillette, ils sont détruits par le suc gastrique. Ceci entraîne la libération des lipides microbiens ; les acides gras libres microbiens rejoignent le pool d'acides gras libres d'origine alimentaire, pour subir une digestion et une absorption intestinales.

Les triglycérides constituent la majeure partie des lipides du lait. Les acides gras qu'ils contiennent ont 2 origines possibles :

- Une origine intra-mammaire : la mamelle synthétise des acides gras à courte et moyenne chaînes ;
- Une origine extra-mammaire : les acides gras sont prélevés au niveau du sang par la mamelle. Il s'agit alors d'acides gras à longue chaîne provenant directement de l'alimentation ou bien de la mobilisation des réserves corporelles.

3.3.Digestion et métabolisme des matières azotées

Les matières azotées alimentaires subissent dans le rumen une dégradation dont le produit terminal est l'ammoniac (NH₃) qui est utilisé par les micro-organismes du rumen pour synthétiser leurs propres protéines, appelées protéines microbiennes. Cette synthèse ne peut cependant avoir lieu qu'en présence d'une quantité suffisante d'énergie. C'est principalement la dégradation des glucides via les fermentations microbiennes qui va fournir l'énergie nécessaire à cette synthèse protéique (Figure 17).

S'il existe un excédent de matières azotées par rapport à l'énergie présente, l' NH_3 excédentaire est absorbé puis transformé en urée dans le foie. Les protéines microbiennes subissent une digestion enzymatique dans la caillette, conduisant à la formation d'AA (Figure 17).

Chez les bovins, les AA présents sont utilisés pour synthétiser des protéines, mais aussi pour synthétiser du glucose lorsque cela est nécessaire. Par conséquent, il existe une compétition pour l'utilisation des AA entre la voie de la synthèse des protéines et la voie de la synthèse du glucose.

3.4.Métabolisme des acides gras volatils

L'acide acétique sert de précurseur au niveau de la mamelle pour la synthèse des acides gras à courte chaîne et à chaîne moyenne du lait. L'acide butyrique est quant à lui transformé quasi totalement en corps cétoniques lors de son absorption à travers la paroi du rumen. Ces corps cétoniques sont utilisés comme fournisseurs d'énergie, mais participent aussi à la synthèse des acides gras à courte et moyenne chaînes du lait au niveau de la mamelle (Figure 17).

4. La digestibilité des aliments

Les aliments ingérés par l'animal ne sont jamais digérés et absorbés en totalité : une partie se retrouve au niveau des matières fécales. On définit ainsi la digestibilité apparente d'un aliment comme la proportion d'aliments qui disparaît apparemment dans le tube digestif :

$$\text{Digestibilité apparente} = \frac{\text{Quantité ingérée (kg)} - \text{Quantité excrétée dans les fèces (kg)}}{\text{Quantité ingérée (kg)}}$$

5.Relations entre les nutriments et la production laitière

La composition chimique du lait est proche de 87 % d'eau, 5 % de lactose, 4 % de matières grasses (MG), 3 % de protéines et 1 % de minéraux. Hormis l'eau, ces constituants sont quasi tous synthétisés par la mamelle à partir d'éléments précurseurs prélevés dans le sang : glucose, acétate, corps cétoniques, acides gras à longue chaîne et AA.

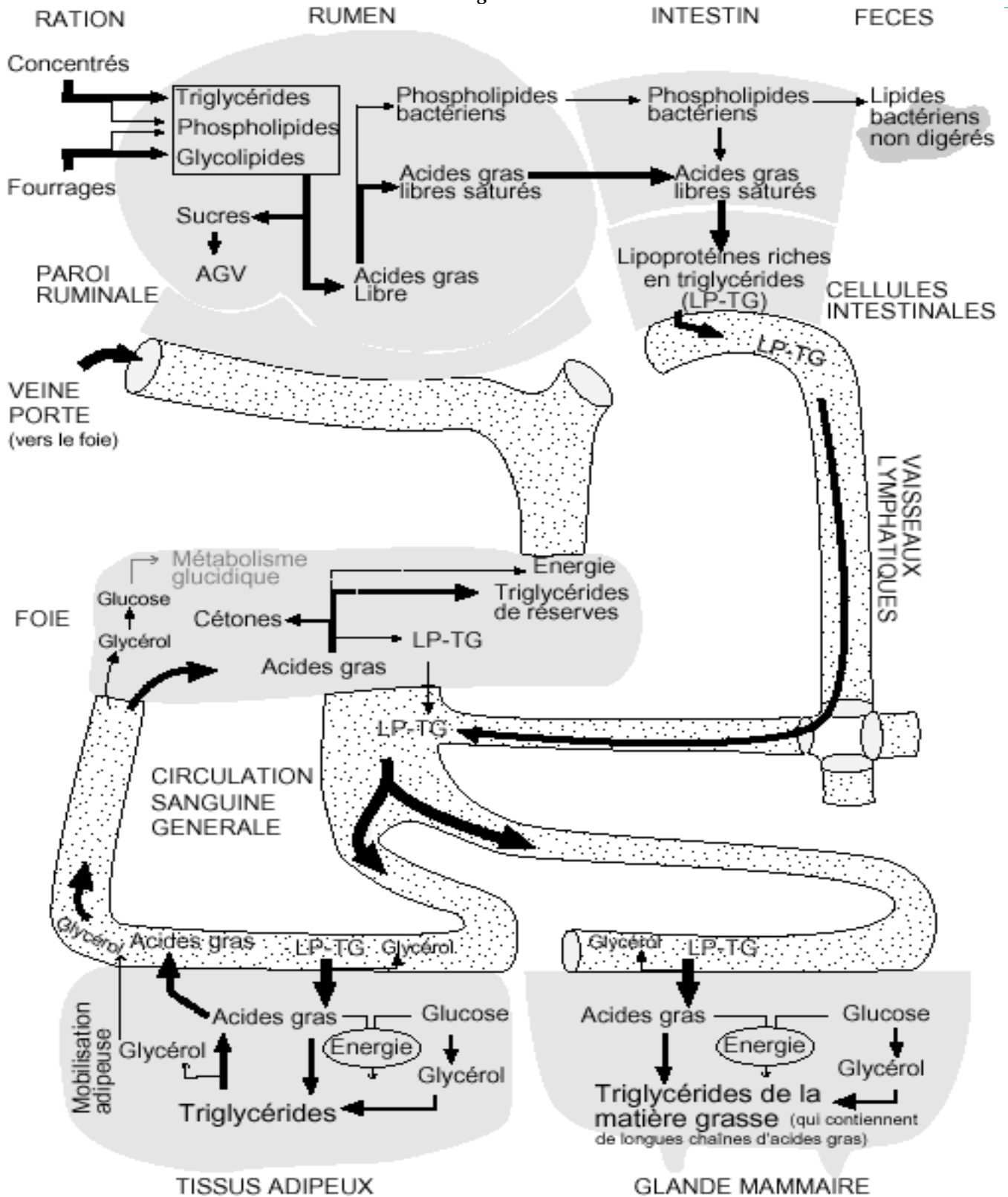
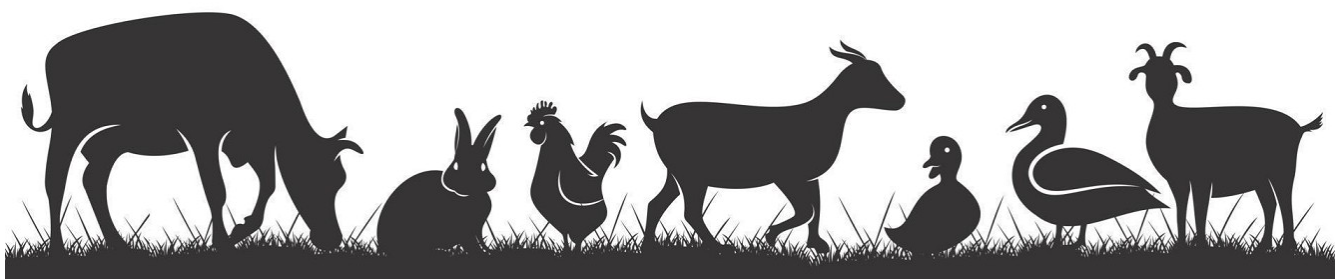


Figure 17: Métabolisme général des nutriments chez les ruminants (Monette, 2017).

Chapitre III
Alimentation
énergétique



CHAPITRE III: ALIMENTATION ÉNERGÉTIQUE (EXEMPLE: LES BOVINS)

A.Indicateurs de l'efficacité alimentaire chez les vaches laitières

1. Le score de remplissage du rumen

Est une évaluation de l'état de remplissage du rumen, permettant d'obtenir des informations d'une part sur la prise de nourriture de l'animal, et d'autre part, sur la digestion, et plus particulièrement, sur la vitesse de transit au cours des dernières heures. La mesure s'effectue en se plaçant à l'arrière de l'animal, côté gauche. Le score de rumen est évalué sur une échelle de 1 à 5 (Figure 18):

- 1 correspondant à un flanc gauche très creux;
- 5 correspond à un rumen bien plein avec une continuité entre le flanc et les côtes.






	note 1	note 2	note 3	note 4	note 5
observation flanc gauche					
observation	triangle très marqué	triangle apparent	triangle aux contours flous	triangle à peine perceptible	triangle disparaît
stade repère		après vêlage	15 j à 200j après vêlage	fin lactation, tarissement	
interprétation	mauvaise ingestion des fourrages		bonne ingestion, transit élevé	fin de lactation	

Figure 18 : Scores de remplissage du rumen (Zaaijer et Noordhuizen, 2003)

2. Les indicateurs issus des données de la production laitière

Ce sont l'urée du lait, le taux butyreux (TB) et le taux protéique (TP) constituent des indicateurs de l'équilibre énergétique et azoté de la ration.

2.1. L'urée du lait

L'urée est synthétisée dans le foie, principalement, à partir de l'ammoniac issu des fermentations des matières azotées dans le rumen et de l'excès des protéines digestibles dans l'intestin. L'urée passe dans le sang et est éliminée par les reins dans les urines, mais diffuse également dans le lait et dans les sécrétions génitales. Lorsqu'il y a un excès de protéines dégradables dans la ration, l'élévation des teneurs en urée dans le sang peut avoir un impact sur l'incidence des mammites et, selon certains auteurs, influencer négativement la fécondité.

Les teneurs en urée donnent une indication sur l'efficacité de l'utilisation des protéines dégradables dans le rumen. On peut donc dire que le taux d'urée dans le lait est un indicateur de l'équilibre énergie/azote de la ration, dont la connaissance constitue un outil utile permettant de gérer l'alimentation. Le dosage de l'urée dans le lait peut être facilement réalisé, soit au niveau du tank à lait pour une évaluation à l'échelle du troupeau, soit au niveau individuel dans le cadre du contrôle laitier.

2.2. Le taux butyreux

Rappelons que l'origine des MG du lait est double. Les acides gras ont en effet une origine intramammaire ou une origine extra-mammaire. Par exemple, Le TB du lait varie en général chez une vache de race Holstein entre 3,5 et 4,2 %. Il peut être influencé par l'alimentation. Ainsi, la proportion de concentrés, la fibrosité de la ration, le niveau énergétique de la ration et le niveau d'apport des lipides alimentaires, peuvent moduler le taux en MG.

2.3. Le taux protéique

Le TP du lait se situe en général entre 3,1 et 3,4 %. L'alimentation peut moduler ce taux. On considère qu'un taux inférieur à 3,1 % est signe d'un déficit énergétique (manque d'amidon), accompagné éventuellement d'un déficit protéique.

3.Les unités internationales de rationnement

- **La capacité d'ingestion** : qui est exprimée en unités d'encombrement (UE) ;
- **L'aliment de référence du système des UE** : est une bonne herbe de pâturage ayant les propriétés suivantes :
 - 15 % de matière azotée ;
 - 25 % de cellulose brute dans la matière sèche ;
 - 77 % de digestibilité de la matière organique.Par définition : 1 Kg de matière sèche de cette herbe est égale à 1 UE.
- Les unités fourragères sont spécifiques des espèces animales et du type de production, par exemple :
Unité fourragère lait : UFL
Unité fourragère viande : UFV

B. Importance des aliments énergétiques chez les vaches laitières

1. Les glucides

Formés grâce à l'énergie lumineuse captée par les feuilles, les glucides sont des aliments énergétiques. La combustion d'un g de glucide dégage 4,1 calories. Ils servent donc de combustibles à toutes les cellules du corps, qui les utilisent pour accomplir leurs multiples fonctions :

- la multiplication et la croissance cellulaires aboutissent à la croissance animale;
- le maintien constant de leur température, donc de celle de tout le corps;
- leurs mouvements, se manifestant surtout par la contraction musculaire;
- leurs sécrétions : sécrétion lactée, sécrétions hormonales, sécrétions de sucs digestifs.

La sécrétion lactée surtout nécessite de l'énergie, à la fois:

- pour entretenir l'activité des cellules sécrétrices;
- pour élaborer le lactose du lait;
- pour élaborer les matières grasses du lait, puisque les glucides peuvent se transformer en lipides.

En fait, les glucides sont la source principale des matières grasses synthétisées par l'organisme, qu'il s'agisse de celles du lait ou des graisses de réserve.

Les glucides permettent le métabolisme des graisses, en évitant l'accumulation dans l'organisme de l'acétone, composé de transition se formant au cours du catabolisme des lipides et des protides. Un régime trop pauvre en glucides par rapport aux matières azotées et grasses, serait responsable de troubles d'acétonémie.

Enfin la cellulose agit également par son volume : c'est un aliment de lest, indispensable aux herbivores, surtout aux ruminants.

Aliments généralement moins coûteux que les lipides et les protides, les glucides caractérisent l'alimentation animale (Tableaux 1 et 2). Le rôle des animaux est d'ailleurs de les transformer en lipides ou en protides, puisqu'à l'exception du lactose du lait, les produits animaux sont surtout des matières grasses et des protéines.

2. Les lipides

Comme les glucides, les lipides sont des éléments énergétiques, mais leur pouvoir calorifique est plus élevé: 1 g de lipide dégage 9,3 calories.

C'est ce qui rend leur emploi de plus en plus fréquent dans les aliments composés, notamment pour volailles, pour augmenter la concentration énergétique des rations. D'autre part, certains acides gras sont indispensables à l'organisme.

Cependant, mis à part les tourteaux déshuilés, les laits reconstitués et certains aliments du bétail à haute teneur en énergie, les aliments du bétail sont assez pauvres en matières grasses, le rôle des animaux étant précisément de les synthétiser à partir des glucides.

Chez les végétaux, les constituants lipidiques sont localisés dans les chloroplastes des cellules, les germes des grains, la cuticule des feuilles (Tableau 1). Ce sont en général des triglycérides, c'est-à-dire des esters d'acides gras (AG) et de glycérol. Une MG est caractérisée par les différents AG qui la composent. Les AG sont classés en fonction:

✓ du nombre d'atomes de carbone:

-AG courts ou volatils (C_1 à C_4) ;

-AG moyens (C_6 à C_{14}) ;

- AG longs (C_{16} à C_{22}).

✓ du nombre de doubles liaisons dans leur chaîne carbonée, c'est-à-dire du degré de saturation:

- **Les acides gras saturés:** ne possèdent que des simples liaisons. Leur point de fusion augmente avec le nombre d'atomes de carbone, ex: l'acide stéarique ($C_{17}H_{35}COOH$).

- **Les acides gras insaturés comportent une ou plusieurs doubles liaisons:**

✗ une double liaison (acide mono-insaturé) comme l'acide oléique $C_{17}H_{33}COOH$;

✗ deux doubles liaisons comme l'acide linoléique $C_{17}H_{31}COOH$;

✗ trois doubles liaisons comme l'acide linoléique $C_{17}H_{29}COOH$.

Le point de fusion diminue avec le nombre de doubles liaisons.

3. Les protéines

Quand ils sont en excès, les acides aminés peuvent être aussi dégradés en énergie, mais avec élimination de l'azote sous forme d'urée: 1 g de protide dégage 5,65 calories.

Chez les bovins, les AA présents sont utilisés pour synthétiser des protéines, mais aussi pour synthétiser du glucose lorsque cela est nécessaire. Ce recours aux AA peut entraîner une baisse du taux

protéique du lait chez la vache laitière. Les protéines sont surtout important pour la croissance des nouveaux nés, jusqu'à aboutir à un animal de boucherie.

L'utilisation des protéines corporelles pour donner de l'énergie, commence après la consommation totale des graisses et des glucides de réserve, ce qui correspond aux cas d'émaciation et de cachexie, survenant lors de carences alimentaires accrues ou durant de pathologies graves.

Le Tableau 1 représente les constituants protéiques d'un aliment végétal.

Tableau 1: Les constituants totaux d'un aliment végétal (Meziane, 2004)

		Eau		H ₂ O
		Matière Brute	MS	MM
Oligoéléments essentiels	Fer, cuivre, zinc, Cobalt, Manganèse, Iode, Sélénium, chrome, molybdène, fluor, Silicium.			
Possiblement essentiels	Baryum, Béryllium, Nickel, Strontium, Vanadium.			
MO	Glucides		Glucides cytoplasmiques	Pentoses-Hexoses (Glucose, Fructose, etc)- Saccharose-Maltose-Lactose- Mélibiose- Fructosanes-Amidon, etc.
			Glucides pariétaux des végétaux	Cellulose- hémicellulose-Substances pectiques (Lignine, Tanins)
	Lipides		Lipides	Glycérides-Stérides-Cérides
	Matières Azotées		Matières azotées protidiques	Acides aminés libres-Combinaisons d'acides aminés-(peptides, polypeptides, protéines)
			Matières azotées protidiques	Amides (urée)-Amines-Ammoniaque- Bases azotées
	Vitamines		Solubles dans les graisses	Vitamines A, D ₂ , D ₃ , E, K
			Solubles dans l'eau	Vitamines du groupe B et vitamine C

MM : Matière minérale ; MS : Matière sèche ; MO : Matière organique

C. Besoins énergétiques chez les vaches laitières

1. Aperçu sur les besoins énergétiques chez les bovins

L'énergie est une composante essentielle de l'alimentation et de la nutrition des animaux. En effet, elle est souvent le facteur limitant le plus important des régimes alimentaires, de plus elle représente un élément coûteux de la ration alimentaire. L'énergie des aliments est contenue dans leur matière organique. Les nutriments absorbés suite à la digestion sont oxydés et stockés sous forme de molécules d'ATP qui servent au processus de la synthèse et à des fins énergétiques. Il faut signaler que la carence d'énergie est fréquente chez les animaux et peut être due à des apports insuffisants de matière énergétique ou à une faible consommation par manque d'appétit. Aussi, des excès en apports énergétiques sont souvent observés, et ont des conséquences sanitaires graves surtout chez les bovins. Le Tableau 2 représente les constituants glucidiques d'un aliment végétal.

Tableau 2: Les constituants glucidiques d'un aliment végétal (Meziane, 2004)

Localisation	Dénomination		Unités constitutives
Contenu cellulaire	Sucres libres	Glucose-Fructose- Saccharose-Mélibiose	Glucose- fructose -Galactose
	Polyosides de réserve	Fructosanes-Amidon	Fructose-Glucose
Parois	Polyosides	Cellulose	Glucose
		Hémicelluloses	Xylose-Arabinose- Galactose- Mannose Glucose-Acide gluconique
		Substances pectiques	Acide galacturonique- Arabiose-Galactose
	Substances non organiques	Lignine	Alcool coumarylique Alcool coniférylique Alcool synapylique
		Cires (cutine)	Alcools et acides gras à longue chaîne

2. Les différents types d'apport énergétiques

2.1. Énergie brute (E.B)

C'est la quantité de chaleur correspondante à la combustion d'un g de produit sous pression de l'oxygène dans un calorimètre. Elle dépend de la composition chimique du produit, en particulier de sa teneur en matière organique. L'E.B peut être considérée comme le contenu énergétique potentiel d'un aliment. Cette énergie n'est pas totalement utilisée en réalité, en raison des pertes intervenant tout au long du processus digestif. Les valeurs à retenir pour les produits les plus connus sont :

- ✓ Glucose : 3,74 kcal / g (MS).
- ✓ Saccharose : 3,95 kcal / g (MS).
- ✓ Cellulose : 4,20 kcal / g (MS).
- ✓ Amidon : 4,20 kcal / g (MS).
- ✓ Protides : 5,65 kcal / g (MS).
- ✓ Lipides : 9,50 kcal / g (MS).

L'E.B peut être évaluée à partir de la composition du produit par la formule suivante :

$$\mathbf{E.B \text{ (kcal / 1 kg MS)} = 5,72 \times M.A.T \text{ (g)} + 9,50 \times M.G \text{ (g)} + 4,79 \times C.B \text{ (g)} + 4,17 \times E.N.A \text{ (g)} + \Delta.}$$

Δ : correctif variable en fonction de l'aliment.

2.2. Énergie digestible (E.D)

L'aliment ne peut pas être totalement digéré et absorbé dans le tube digestif. Une partie est excrétée dans les fèces (énergie fécale : E.F). La partie restante constitue l'E.D qu'on peut exprimer par la formule suivante:

$$\mathbf{E.D = E.B - E.F}$$

2.3. Énergie métabolisable (E.M)

L'E.D n'est pas toute utilisée par l'organisme de l'animal. En effet, il y a des pertes qui se produisent au cours de la digestion des aliments sous différentes formes : CO₂, CH₄ (énergie gazeuse : E.G) et dans les urines (énergie urinaire : E.U).

On peut, donc, dire que l'E.M est le contenu énergétique de l'aliment qui peut être métabolisée dans l'organisme d'un animal pour couvrir ses dépenses énergétiques. On peut l'exprimer à partir de l'E.B en ôtant toutes les pertes (équation1) ou à partir de l'E.D en soustrayant E.G et E.U (équation 2) :

$$\mathbf{E.M = E.B - (E.F + E.G + E.U).} \quad (1) \quad \text{Puisque : } \mathbf{E.B - E.F = E.D}, \text{ on peut donc}$$

écrire (1) sous la forme :

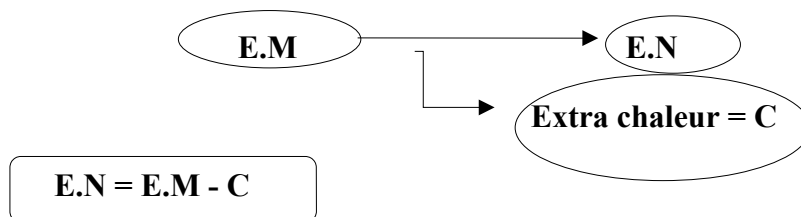
$$\mathbf{E.M = E.D - (E.G + E.U).} \quad (2)$$

La production de gaz est beaucoup plus importante chez les polygastriques que chez les monogastriques, en raison de la fermentation microbienne au niveau des pré-estomacs. La perte d'énergie correspondante est aussi plus importante chez les polygastriques (E.G). L'énergie qui se perd sous forme de gaz (E.G) représente une moyenne de 8% de l'E.B et 12% de l'E.D. Elle diminue lorsque la proportion riche en amidon augmente dans la ration.

L'énergie perdue dans les urines (E.U) correspond à l'énergie des composés azotés excrétés dans les urines comme l'acide urique. Elle représente 2 à 8% de l'E.B alimentaire et varie avec la teneur en matière azotée de la ration. Elle est, donc, plus élevée pour les fourrages des légumineuses (riches en azote) que pour les céréales et les graminées étant en général des aliments énergétiques.

2.4.Énergie nette (E.N)

C'est le contenu énergétique de l'aliment qui contribue à couvrir les dépenses d'entretien et de production de l'animal. L'énergie nette (E.N) traduit la valeur énergétique réelle d'un aliment. Au cours de l'utilisation des aliments, une partie de l'énergie produite est perdue sous forme de chaleur. Le reste est utilisé ou fixé sous forme de tissus adipeux de réserve.



L'extra-chaueur traduit la somme des pertes d'énergie sous forme de chaleur non récupérable, utilisée à des fins autres que la lutte contre le froid. Ces pertes ont pour origine :

- ✓ Les phénomènes moteurs liés à l'ingestion et à la digestion de l'aliment ;
- ✓ Les fermentations dans les réservoirs digestifs ;
- ✓ Les réactions accompagnant l'utilisation métabolique des produits terminaux de la digestion pour l'entretien et la production chez l'animal.

2.5. Calcul de l'énergie nette selon le nouveau système : UFL/UFV (de INRA de France)

Dans le nouveau système, une valeur différente est donnée à l'extra-chaueur, selon que l'aliment est destiné à la production laitière ou à la production de viande.

2.5.1.Énergie nette de lactation (UFL) : ce niveau d'énergie se calcule par la formule suivante :

$$\text{UFL} = \text{E.N.L} = \text{E.M} \times k_l$$

Avec k_l : coefficient de rendement métabolique lait exprimé en fonction du coefficient de rendement métabolique q .

$$\text{Avec } q = \text{E.M}/\text{E.B}$$

$$\text{et } k_l = 0,463 + 0,24q.$$

2.5.2.Énergie nette de production de viande (UFV) : ce niveau d'énergie se calcule par la formule suivante :

$$\text{ENEV} = \text{UFV} = \text{E.M} \times k_{mf}$$

$$\text{Avec: } K_{mf} = (K_f \times k_m \times N_p) / (k_f + k_m(N_p - 1))$$

N_p : niveau de production :

$$N_p = (\text{E. entretien} + \text{E. production}) / \text{E. entretien}$$

k_f : coefficient de rendement métabolique pour l'engraissement (En anglais engraissement : fattening d'où f) :

$$k_f = 0,780q + 0,006$$

k_m : coefficient de rendement métabolique pour la production de viande (En anglais viande : meat d'où m) :

$$k_m = 0,287q + 0,554$$

D.Effets des déficits et des excès énergétiques chez les vaches laitières**1. Activités de l'organisme influencées par les troubles énergétiques chez les bovins**

L'apport énergétique est vital pour toutes les activités d'entretien et de production chez les bovins. En fait les réactions métaboliques nécessitant de l'énergie, sont très diverses, comme présenté sur le Tableau 3 et les déficits énergétiques peuvent endommager plusieurs organes vitaux.

Tableau 3: Sources et utilisation de l'énergie chez les vaches laitières (Meziane, 2004)

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

2.Déficits énergétiques chez les vaches laitières

2.1. Causes des déficits énergétiques chez les vaches laitières

Une vache laitière est en déficit énergétique lorsque son alimentation ne couvre pas ses besoins énergétiques. Pour combler ses besoins, la vache laitière mobilise ses réserves corporelles qui seront utilisées comme nouvelle source d'énergie pour assurer les fonctions vitales et la production laitière. Cet état peut s'observer :

- Dans les semaines suivant le vêlage. Il est dans ce cas lié à la mise en place de la lactation qui nécessite beaucoup d'énergie à un moment où l'ingestion est limitée.
- Lorsque les vaches laitières sont sous-alimentées. Cela peut être à cause d'un rationnement trop sévère, d'une pénurie de stock fourrager, ou d'une pousse de l'herbe trop faible.
- À la suite d'un trouble sanitaire (par exemple une boiterie, une acidose...) ou d'un stress provoquant une baisse d'ingestion.

2.2. Conséquences des déficits énergétiques chez les vaches laitières

Ce sont des conséquences à court et long terme qui entraînent des pertes économiques:

- **Sur la santé des animaux** : apparition plus fréquente de maladies (troubles digestifs, problèmes locomoteurs, maladies utérines), en particulier les cétozes, hausse des comptages de cellules somatiques, perte d'état d'embonpoint, voire amaigrissement.
- **Sur la production laitière** : baisses de rendement laitier pouvant être très fortes, hausse du taux butyreux et diminution du taux protéique et du taux de lactose.
- **Sur la mise à la reproduction des vaches** : baisse de la fertilité, anœstrus, retard à la fécondation.
- **Réforme des vaches** : un fort déficit énergétique en début de lactation peut conduire à des conséquences durables, d'une baisse de production rémanente sur l'ensemble de la lactation jusqu'à une possible réforme surtout lors d'apparition d'acétonémie sévère.

2.2.1. L'acétonémie

En début de lactation, un certain déficit énergétique est inévitable, en raison d'une part de l'augmentation brutale et conséquente des besoins énergétiques de l'animal, et d'autre part, de sa

capacité d'ingestion limitée ; dans certains cas, ce déficit énergétique de début de lactation peut conduire au développement d'une acétonémie. Cette pathologie, que l'on appelle également cétose, touche principalement les vaches laitières à forte production.

- ✓ Schématiquement, on peut résumer le mécanisme de l'acétonémie de la façon suivante : la lactation étant prioritaire sur le plan physiologique, l'animal mobilise ses réserves corporelles, c'est-à-dire ses graisses, pour combler le déficit énergétique. Un certain amaigrissement s'opère donc en début de lactation. Si le déficit en énergie est fort important, par exemple lors de l'administration d'une ration très peu énergétique, la mobilisation est massive et entraîne la formation de corps cétoniques, des composés chimiques utilisés comme source d'énergie par la vache, mais qui sont toxiques pour l'animal lorsqu'ils sont produits en excès. L'acétonémie se caractérise donc par une accumulation de corps cétoniques dans le sang. Elle s'observe la plupart du temps entre la 3^{ème} et la 6^{ème} semaine après le vêlage, et les animaux atteints présentent une note d'état corporel plutôt faible.
- ✓ L'acétonémie, lorsqu'elle est liée à une ration déficitaire en énergie, est dite « primaire ». Elle peut également être « secondaire », lorsqu'elle est consécutive à une autre pathologie (fièvre de lait, mammite, métrite,...) entraînant une baisse des ingestions alimentaires de l'animal.
- ✓ Notons enfin qu'il existe une forme particulière d'acétonémie, qui touche les vaches présentant un état d'embonpoint marqué en fin de gestation (note d'état corporel > 4, en général), et qui apparaît le plus souvent dans les 2 premières semaines après le vêlage. Chez ces vaches « grasses », la mobilisation des graisses corporelles est telle qu'elle provoque une surcharge graisseuse du foie.

3.Excès énergétiques chez les vaches laitières

3.1. Causes des excès énergétiques chez les vaches laitières

Les excès d'énergie chez les bovins peuvent être dus à une alimentation anarchique, sans utiliser les règles du rationnement. Aussi, accidentellement, les vaches pourraient être conduites à un excès d'alimentation donnant un surplus énergétique lors du pré ou dans les enclos.

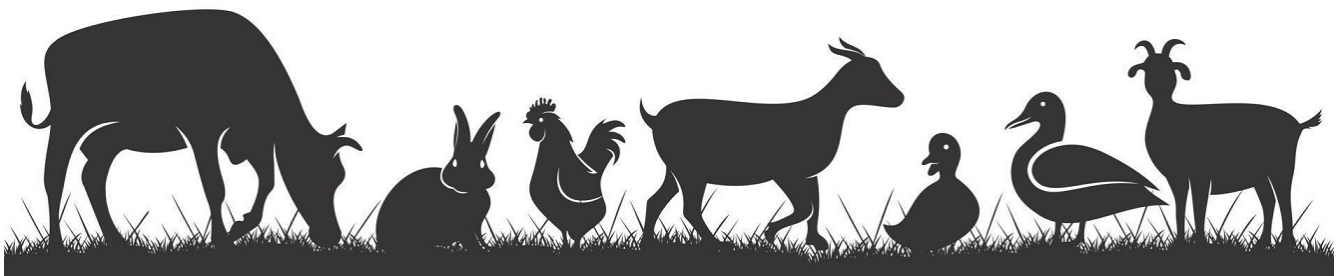
3.2. Conséquences des excès énergétiques chez les vaches laitières

3.2.1.L'acidose subaigue du rumen

- ✓ L'acidose subaigue du rumen, également appelée acidose chronique ou acidose latente, est une pathologie qui concerne préférentiellement les vaches laitières hautes productrices, c'est-à-dire les vaches ayant une production laitière moyenne supérieure à 9 000 litres en 305 jours.

- ✓ Elle apparaît en général entre la mise bas et le pic de lactation, lorsque la ration est très riche en amidon et en sucres solubles. En début de lactation, la capacité d'ingestion est limitée, alors que les besoins sont en forte croissance. Dans ce contexte, l'administration de quantités importantes de concentrés riches en énergie (tels que les céréales, qui contiennent une part importante d'amidon) peut conduire à l'acidose.
- ✓ L'augmentation de la quantité d'amidon dans la ration via les concentrés au détriment des fourrages a en effet pour conséquences une production rapide d'AGV et une production moindre de salive (dont nous avons évoqué antérieurement le rôle tampon) qui conduisent à une chute du pH ruméral, et donc à une augmentation du risque d'acidose.
- ✓ La capacité d'absorption des AGV est proportionnelle au nombre et à la longueur des papilles du rumen, et ces caractéristiques dépendent du régime alimentaire distribué pendant la période de tarissement : un régime riche en fibres et pauvre en énergie provoque une diminution du nombre et de la taille des papilles du rumen, et donc, une diminution de la capacité d'absorption de celui-ci. Donc, après la réintroduction d'un régime riche en énergie, il faut compter 4 à 5 semaines pour que les papilles récupèrent un développement maximal. Une transition brutale ne laisse donc pas le temps aux papilles de s'adapter, et augmente de ce fait le risque d'acidose.

Chapitre IV
Alimentation
azotée



CHAPITRE IV: ALIMENTATION AZOTÉE (EXEMPLE: LES BOVINS)

A.Importance de l' alimentation azotée des vaches laitières

1. Rôles des composés azotés dans l'organisme animal

Si les glucides et les lipides fournissent aux cellules l'énergie nécessaire à leurs multiples fonctions, les protides, ou plutôt les acides aminés qui en résultent et passent dans le sang, sont les matériaux de construction de ces cellules et de leurs sécrétions. Servant donc à façonner l'organisme, ce sont des aliments « plastiques ».

Les composés azotés assurent :

- x le renouvellement des cellules (rôle d'entretien) ;
- x l'accroissement de leur nombre et de leur taille (rôle de croissance) ;
- x les sécrétions nécessaires au fonctionnement de l'organisme, sécrétions de nature généralement protidique : hormones, diastases digestives, enzymes intra-cellulaires ;
- x les productions riches en protéines : lait, fœtus, poils, etc.

D'autres rôles des matières azotées ont été déjà rapportées dans le chapitre III (Partie B).

Enfin, quand ils sont en excès, les acides aminés peuvent être aussi dégradés en énergie, mais avec élimination de l'azote sous forme d'urée : 1 g de protide dégage 5,65 calories.

L'unité de calcul, quantitative est ; les Protéines Digestibles Intestinales (PDI), qualitativement, le besoin chez les ruminants est peu important , alors que chez les monogastriques pour certaines espèces, les besoins s'expriment en acides aminés indispensables.

Les constituants azotés d'un aliment végétal sont résumés dans le Tableau 4.

Tableau 4: Les constituants azotés d'un aliment végétal (Meziane, 2004)

	Constituants azotés	Classification	
		Matières Azotées Totales	Protéines (de plus de 100 A.A)
-Hétéroprotéines	Matières Azotées Protidiques		Matières Azotées Protéiques ou protéiniques
-holoprotéines			
Polypeptides complexes (10 à plus de A.A)			
Acides aminés (**)			
	Bases azotées (formes cycliques, constituants des acides nucléiques)	Matières Azotées non Protidiques	Matières Azotées non protéiques non Protéiniques
	Amines, amides		
	Formes azotées simples (NO ₂ -, NO ₃ -, NH ₄ +		

(**) Les acides aminés sont au nombre de 20: Glycocolle, alanine, sérine, thréonine, valine, leucine, isoleucine, acide aspartique, acide glutamique, acide hydroxyglutamique, arginine, lysine, cystine, méthionine, phenylalanine, tyrosine, tryptophane, histidine, proline, hydroxyproline.

B . Besoins azotés des vaches laitières

1. Aperçu sur les besoins azotés chez les bovins

La notion du besoin azoté d'entretien repose sur le fait que tout organisme vivant subi un renouvellement, donc des pertes obligatoires d'azote. Ses propres constituants sont éliminés sous forme de déchets azotés par différentes voies et avec des proportions variables selon les espèces.

Pour que la ration alimentaire soit efficace l'apport de matière azotée, exprimé en gramme ou en pourcentage de l'aliment, doit être fonction de la disponibilité énergétique de la ration. Des unités de mesure de la matière azotée s'imposent pour pouvoir chiffrer les besoins des animaux et la valeur des aliments.

2.Systèmes et unités d'évaluation de d'apport azoté des ruminants

2.1. Système des matières azotées digestibles (M.A.D)

$$\text{M.A.T} = \text{N} \times 6,25 \text{ (Méthode KJELDAHL)}$$

$$\text{M.A.D} = \text{M.A.T} \times \text{C.U.D}$$

Avec : M.A.T :Matières azotées totales ; M.A.D : Matières azotées digestibles ;

C.U.D : Coefficient d'utilisation digestive (différent d'une espèce animale à une autre).

2.2. Système des protéines digestibles dans l'intestin (P.D.I)

De nouvelles unités de mesure de la matière azotée pour les polygastriques sont adoptées actuellement par (I.N.R.A de France), car le système des M.A.D présente des insuffisances, puisqu'il ne tient pas compte de l'apport énergétique de la ration ni de la solubilité des matières azotées. La véritable valeur azotée d'une ration ou d'un aliment qu'il serait utile de connaître, est la quantité des acides aminés réellement absorbée par l'intestin et qui dépend de :

- La teneur de l'aliment en protéines qui traversent l'estomac sans y être dégradées ;
- La teneur de cet aliment en azote fermentescible (qu'il soit d'origine protidique ou non protidique) ;
- La qualité d'énergie disponible dans le rumen pour la synthèse microbienne.

2.2.1.Principe du système P.D.I

Les apports alimentaires et les besoins azotés des polygastriques (uniquement) sont exprimés en gramme de protéines réellement digestibles dans l'intestin grêle.

$$\text{P.D.I} = \text{P.D.I.A} + \text{P.D.I.M}$$

P.D.I.A = P.D.I d'origine alimentaire.

P.D.I.M = P.D.I d'origine microbienne. Il existe deux types de P.D.I.M :

- P.D.I.M.E : c'est la valeur des P.D.I.M permise par la teneur en énergie fermentescible dans le rumen (cette teneur est proportionnelle de la matière organique digestible).
- P.D.I.M.N : c'est la valeur des P.D.I.M permise par la teneur en azote fermentescible dans le rumen.

Ceci permet d'exprimer les P.D.I.M sous deux formes :

$$\text{P.D.I.E} = \text{P.D.I.A} + \text{P.D.I.M.E}$$

$$\text{P.D.I.N} = \text{P.D.I.A} + \text{P.D.I.M.N}$$

Il faut noter que dans les tables des valeurs alimentaires, la valeur azotée est définie par deux valeurs P.D.I.E et P.D.I.N.

2.2.2.Mode de calcul des P.D.I pour un aliment

Plusieurs formules permettent d'obtenir les valeurs P.D.I.E et P.D.I.N à partir de l'analyse et des mesures de :

- ✓ La teneur en azote (N) ;
- ✓ La teneur en M.O et sa digestibilité ;
- ✓ La solubilité des matières azotées (S) ;
- ✓ La digestibilité réelle des protéines (dr).

$$\text{P.D.I.A (g/kg MS)} = \text{M.A.T} \times (1-S) \times 0,65 \times \text{dr.}$$

Avec : M.A.T (g/kg MS)= N x 6,25.

0,65 signifie que 65% des matières azotées échappent à la dégradation dans le rumen.

$$\text{P.D.I.M.E (g/kg MS)} = 135 \times 0,80 \times 0,70 \times \text{M.O.D} = 0,75 \times \text{M.O.D.}$$

M.O.D : Matières organiques digestibles

Remarque: Ces chiffres signifient que la quantité de protéines microbiennes synthétisée par kg de M.O.D est estimée à 135 g dont 80% se trouve sous forme de protéines vraies et que la digestibilité est estimée à 70%.

$$\text{P.D.I.M.N (g/kg MS)} = [\text{M.A.T} - (\text{MAT}) \times (1-\text{S}) \times 0,65] \times 0,80 \times 0,70 = \text{M.A.T} \times (0,196 - 0,364 \times \text{S}).$$

C. Effets des déficits et des excès azotés chez les vaches laitières

1. Déficits azotés chez les vaches laitières

1.1. Causes des déficits azotés chez les vaches laitières

Le déficit azoté peut être observé dans différentes situations, parmi lesquelles :

- Le manque d'appétit ou l'anorexie suite à d'éventuelles pathologies ;
- La qualité médiocre des aliments que les animaux répugnent de consommer, surtout si elle est contaminée par les bouses ou les urines ;
- Certains troubles de la digestion, surtout dus aux déséquilibres de la flore digestive, donnant des troubles du métabolisme protéique ;
- Déficit azoté dans la composition de la ration distribuée.

1.2. Conséquences des déficits azotés chez les vaches laitières

Les matières azotées sont, par l'intermédiaire des acides aminés, parmi les molécules les plus impliquées dans les processus vitaux essentiels tels que la croissance, la régulation hormonale, les sécrétions enzymatiques et les processus d'hérédité. Il est donc nécessaire de leur accorder une place importante dans l'alimentation animale en raison, notamment, du rôle indispensable que jouent certains acides aminés indispensables. L'organisme animal renferme de 15% à 20% de matières azotées. Une carence en matières azotées peut provoquer :

- ✓ Une diminution de la vitesse de croissance avec tendance aux dépôts de gras si l'animal reçoit, par ailleurs, assez d'énergie. L'effet de carence sera particulièrement grave chez les jeunes animaux.
- ✓ Une augmentation de l'indice de consommation (c.-à-d. la quantité nécessaire pour assurer un certain gain de poids. Ex : 2 kg aliments / 1 kg gain de poids = 2).
- ✓ Une diminution des productions, surtout du laitier, engendrant des pertes économiques.
- ✓ Une perte de l'appétit et des troubles de la reproduction.

2.Excès azotés chez les vaches laitières

2.1. Causes des excès azotés chez les vaches laitières

Les excès d'azote ne sont pas fréquents comme les excès de glucides, mais on peut les observer dans certains cas :

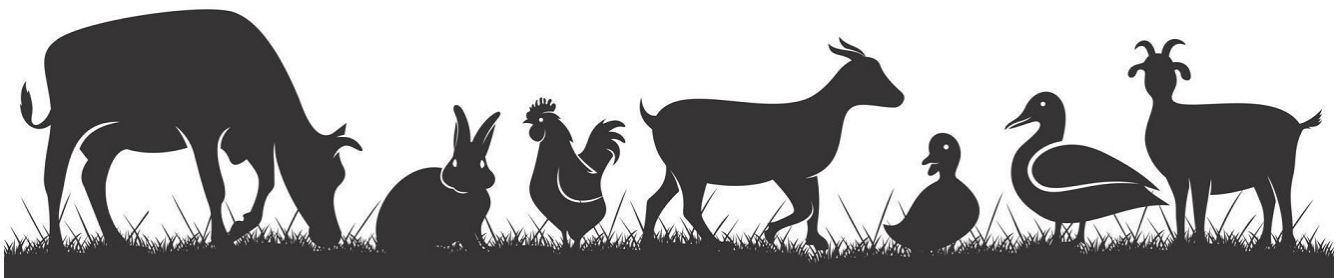
- Certains troubles de la digestion, surtout dus aux déséquilibres de la flore digestive, donnant des troubles du métabolisme protéique ;
- Excès d'azote dans la composition de la ration distribuée ;
- Distribution excessive d'aliments riches en azote ou augmentation de la fréquence des repas.

2.2. Conséquences des excès azotés chez les vaches laitières

Un excès de matières azotées dans l'alimentation peut provoquer :

- ✓ Une augmentation de l'indice de consommation;
- ✓ Des troubles métaboliques avec le risque d'apparition de certaines maladies, surtout au niveau du foie ;
- ✓ Des pertes économiques, dus aux conséquences pathologiques et à la perte directe en aliments.
- ✓ Enfin, il y a risque d'intoxication par l'urée via l'utilisation d'engrais dans les fourrages donnant une intoxication ammoniacale, ou alcalose aiguë. L'alcalose est une maladie métabolique qui touche surtout les ruminants et qui se traduit surtout par une augmentation du pH du rumen et une météorisation. Cette pathologie peu être mortelle.

Chapitre V
Alimentation
minérale et
vitaminique



CHAPITRE V: ALIMENTATION MINÉRALE ET VITAMINIQUE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

A.Importance des besoins en vitamines et en minéraux

1. Aperçu sur le métabolisme des vitamines dans l'organisme animal

Certains chercheurs ont observé que les cas d'avitaminoses sont très rares chez les animaux sauvages, car leur alimentation est naturellement équilibrée. Mais ce n'est pas le cas pour les animaux domestiques, en captivité et qui sont alimentés par l'homme.

C'est en observant les poules nourries exclusivement des restes de riz poli qu' EIJKMANN mit en évidence, en 1896, les méfaits d'une alimentation trop simplifiée, et découvrit l'existence des vitamines : les volailles ainsi nourries, paralysées par la polynévrite aviaire, étaient guéries par adjonction à leur ration des enveloppes du riz (riches en vitamines du complexe B).

Aujourd'hui on peut obtenir expérimentalement toutes sortes de troubles graves en distribuant à des animaux des régimes très simplifiés .Ces troubles sont le plus souvent des avitaminoses, c'est -à-dire des carences en vitamines, substances organiques complexes, différentes des oligo- éléments, et apportées par les aliments.

Comme il semble que ces substances soient nombreuses, et que chaque aliment ne les contienne pas toutes, la variété de l'alimentation s'impose. Le problème vitaminique peut donc ainsi se poser :

- **Les bovins, ovins et chevaux :** élevés dans des conditions encore naturelles, et recevant une alimentation assez variée, seront rarement carencés en vitamines. Mais surtout leur flore microbienne sera là, encore une fois, pour synthétiser à leur intention de nombreuses vitamines (les vitamines B, C, E, et K).
- **Les porcs et volailles :** par contre, ainsi que les veaux de boucherie, au mode de vie artificiel, à l'alimentation simplifiée, et moins pourvus de flore microbienne, risqueraient de graves avitaminoses si la supplémentation en vitamines n'était devenue de règle dans leur alimentation.

Les vitamines présentent des caractéristiques communes, malgré beaucoup de différences structurales et métaboliques (Figure 19). Les vitamines sont des substances organiques appartenant à diverses familles chimiques (glucides, lipides, protides). Si leur formule contient souvent des oligo-éléments, elles sont différentes de ces minéraux.Elles sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme animal, qui ne peut, dans la plupart des cas, les synthétiser lui -même.

Elles doivent donc en général se trouver dans l'alimentation. Mais cette règle subit bien des exceptions.

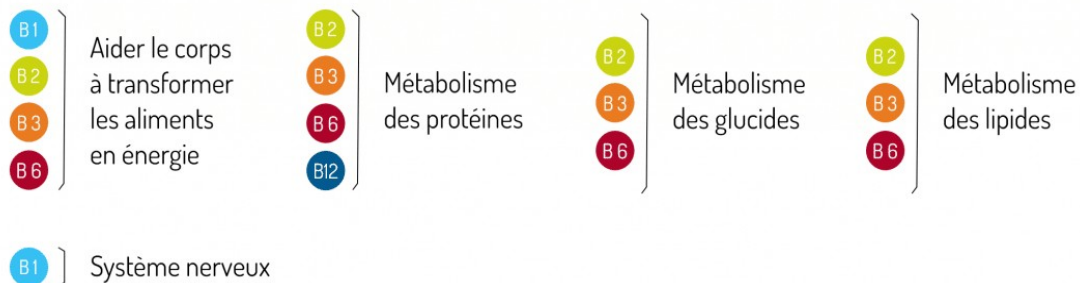
2. Principaux vitamines et leurs rôles chez les bovins

Parmi les vitamines, on distingue deux catégories : les vitamines hydrosolubles (B et C) dont les ruminants assurent la couverture des besoins par synthèse microbienne du rumen. La synthèse de la vitamine B, par exemple, se fera si la ration n'est pas carencée en cobalt. Les autres vitamines, les liposolubles (A, D3 et E) doivent être apportées par l'alimentation. La vitamine D3 sert à fixer le calcium et la vitamine E améliore l'immunité des animaux.

Les vitamines du groupe B sont apportées en petites quantités dans les aliments. Il existe huit vitamines B possédant des structures et des fonctions distinctes (Figure 19):

- | | |
|-----------------|----------------------------|
| - Thiamine (B1) | - Vitamine B6 |
| - Biotine (B8) | - Acide folique (B9) |
| - Vitamine B12. | - Riboflavine (B2) |
| - Niacine (B3) | - Acide pantothénique (B5) |

Les fonctions de la Vitamine B



Les suppléments de la Vitamine B

- Augmentation de la production de lait
- Augmentation des composantes de lait
- Réduction des cellules somatiques
- Réduction des pertes de poids et des conditions de chair après vêlage
- Réduction de l'incidence des problèmes au vêlage

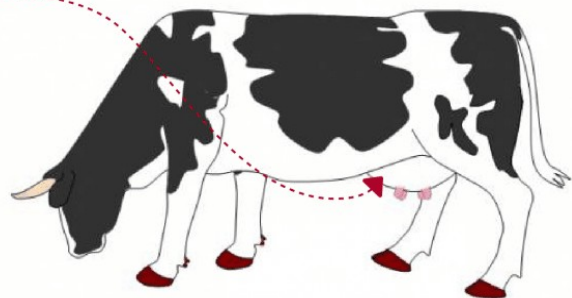


Figure 19: Fonctions des vitamines du groupe B chez les vaches laitières (Difagri, 2022)

La vitamine C est un antioxydant jouant un rôle d'importance majeure dans le fonctionnement immunitaire. Les principaux rôles de la vitamines C viennent de sa capacité d'oxydo-réduction. Ceci lui donne donc les intérêts suivants :

- Sa capacité antioxydante ;
- Son rôle de recyclage de la vitamine E ;
- Sa capacité à rendre le Fer plus biodisponible (peut être intéressant pour reconstituer le stock de globules rouges à la suite de la mise-bas et éventuellement en cas de légère anémie) ;
- Son soutien des fonctions immunes en protégeant les neutrophiles des radicaux libres.

La vitamine E, quant à elle, sera essentielle pour l'intégrité et le fonctionnement des muscles de la reproduction, de la circulation sanguine et lymphatique, des systèmes nerveux et immunitaires.

3.Aperçu sur le métabolisme des minéraux dans l'organisme animal

Les minéraux sont classés en 2 groupes :

- **Les minéraux majeurs ou macro -éléments** : Calcium (Ca), Phosphore (P), Soufre (S), Potassium (K), Sodium (Na), Magnésium (Mg), Chlore (Cl);
- **Les oligo -éléments, ou micro -éléments** : contenus en très faibles quantités, mais indispensables. Les plus fréquemment cités sont: Fer (Fe), Cuivre (Cu), Cobalt (Co), Manganèse (Mn), Zinc (Zn), Iode (I), Sélénium (Se).

D'autres oligo -éléments sont moins souvent cités, leur rôle étant sans doute moins bien connu, bien que leur présence ne soit certainement pas indifférente : l'arsenic, l'aluminium, l'étain, le nickel, le silicium, le vanadium, et peut -être aussi le bore, le baryum, l'or, l'argent le rubidium, le strontium, le titane.

4. Principaux minéraux et leur rôles chez les bovins

Les principaux rôles des matières minérales dans l'organisme animal, sont :

- Rôle plastique dans l'organisme et soutiennent ses productions ; les éléments majeurs, et certains oligo-éléments se combinent aux substances carbonées pour l'élaboration de nombreuses substances organiques :
- **Le squelette** : représentant 10 % du poids du corps, et constitué de 2/3 de matières minérales. Celles - ci représentent 99 % du calcium de l'organisme, et 80 % du phosphore.

- **Les liquides internes** (sang et lymphe) : contiennent 8 à 9 pour mille de sels minéraux dissous chlorure de sodium, sels de calcium, phosphates, carbonates et bicarbonates alcalins. Ces sels minéraux participent aux grandes fonctions vitales : absorption cellulaire, élimination du CO₂.
- **Les productions** (lait, veau, laine, fœtus...) exportent toutes d'importantes quantités de substances minérales.
- Rôle de régulateurs des fonctions de l'organisme :

Les éléments minéraux, surtout les oligo-éléments, mais aussi des éléments majeurs, entrent dans la constitution moléculaire des enzymes, des hormones, et de certaines vitamines. Ces trois séries de substances organiques, tantôt commandent, tantôt régularisent les grandes fonctions de l'organisme : digestion, croissance, productions, reproduction. C'est pourquoi la carence de ces minéraux, comme celle de certaines vitamines, se traduisent par des perturbations, souvent très graves, de ces fonctions :

 - Elles agissent à des doses infimes (millionième de gramme), comme catalyseurs d'un grand nombre de réactions du métabolisme cellulaire.
 - Leur action est spécifique : aucun élément ne peut remplacer l'autre, ou être remplacées par d'autres substances (Figure 20).

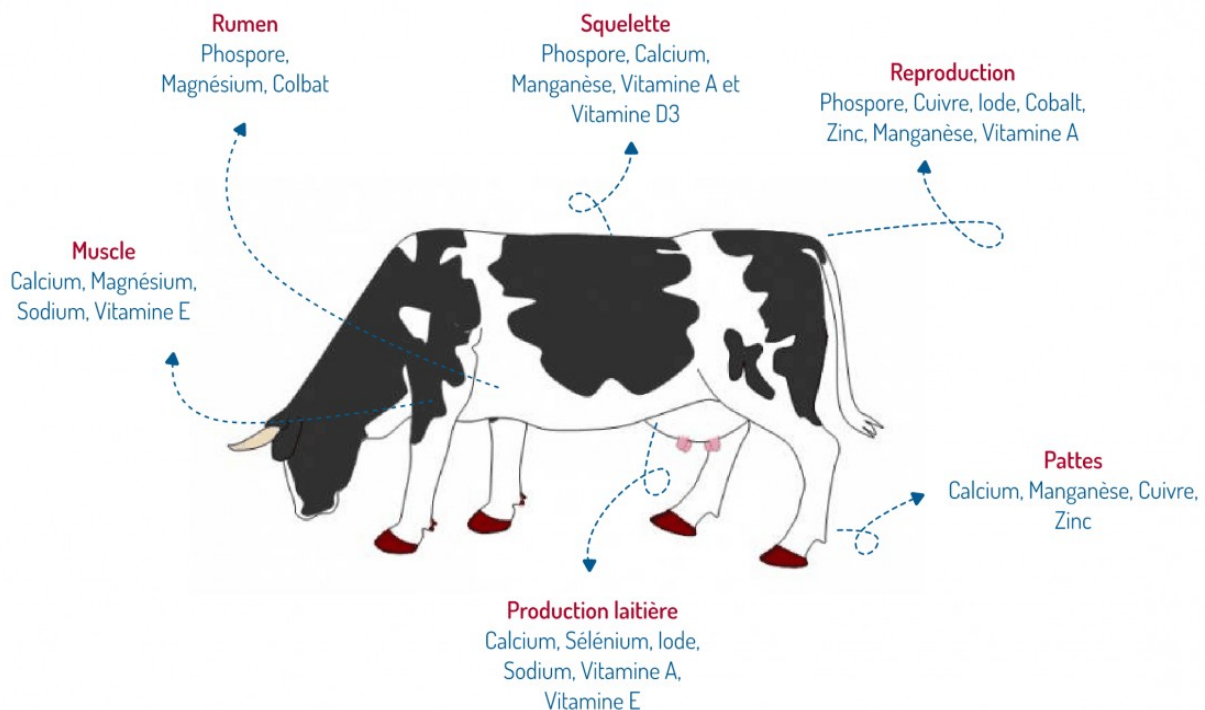


Figure 20: Les fonctions conjuguées des minéraux et des vitamines chez les bovins (Difagri, 2022)

B.Besoins quantitatifs en vitamines et en minéraux

1.Aperçu sur les besoins en vitamines et minéraux dans l'organisme animal

Il faut d'abord noter que la majorité des vitamines et des minéraux travaillent conjointement, afin d'accomplir des fonctions bien précises dans l'organisme. Par exemple, le calcium ne peut se fixer sur l'os dans l'intervention de la vitamine D3. En plus, le sélénium est toujours dépendant de la vitamine E. Ainsi, on doit parler d'apport global équilibré et simultané en sels minéraux et en vitamines, afin que l'organisme animal soit en bon équilibre, mais avec des différences dans les quantités nécessaires, d'un élément à un autre, et d'une espèce animale à une autre.

2. Importance des apports fourragers en vitamines et minéraux

L'apport des fourrages en minéraux et en vitamines, dépend de plusieurs facteurs, entre autres :

- le type de végétation (Tableaux 5 et 6) ;
- la saison et la pluviométrie (Tableau 7) ;
- le type du sol et les pratiques culturales ;
- les conditions et les méthodes de manutention et de conservation des aliments.

Il est important de signaler que les vitamines sont très fragiles, et sont sensibles à : la chaleur, l'oxydation, la lumière, qui peuvent les inactiver rapidement. Mais cette fragilité est très variable selon les vitamines. Concernant les besoins en vitamines et en minéraux, elles sont spécifiques et dépendent de certains facteurs, dont principalement :

- l'espèce animale, voire la race ;
- l'âge, le poids, le sexe et l'état physiologique de l'animal ;
- le type de production animale (lait, viande, trait...).

Tableau 5: Plages de variations des teneurs minérales dans les fourrages (Meschy et Gueguen, 1995)

Macro-éléments	Teneur en g /kg de MS
P	0,2 à 7
Ca	0,4 à 41
Mg	0,3 à 10
Na	0,01 à 21
K	10 à 60
S	0,5 à 4

Tableau 6 : Teneurs en oligo-éléments de quelques grains et fourrages
(en mg /kg de MS ou ppm) (Chapuis, 1991).

Aliment	Cu	Zn	Mn
Fourrage sec prairie naturelle	5,2 ± 0,8	29,1 ± 0,4	158,2 ± 5,3
Fourchette des valeurs (min - max)	2,8 - 8,0	13 - 60	12 - 580
Foin de luzerne	7,1 ± 0,3	24,6 ± 2,1	29,0 ± 2,4
Paille d'orge	3,1 ± 0,9	7,3 ± 3,9	17,6 ± 9,2
Fourchette des valeurs(min max)	2,3 - 4,7	3 - 12	4,0 -26,3
Orge	4,1 ± 1,0	24,4 ± 3,5	17,6 ± 5,9
	2,6 – 5,5	20 - 30	11 - 33
Avoine	3,5 ± 0,5	25,2 ± 4,1	38,4 ± 13,0
	2,7 - 4,9	17 - 37	21 - 78

Tableau 7: Teneur en oligo-éléments du fourrage dans la région de Parano en Colombie
(Pastrana et al., 1991b)

Aliment	Cu	Fe	Mn	Zn
Pâturage mixte				
Ray grass – trèfle (mg /kg MS)	7,8	338	117	26
Fourrage tropical				
-saison humide	7,52	113	167	24,4
-saison sèche	2,92	119	211	18,3

C. Effets des carences et des excès nutritionnels en vitamines et minéraux

1. Carences en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques

1.1. Causes des carences en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques

L'évolution de l'agriculture et des modes de production a favorisé l'apparition de carences en minéraux, en particulier pour les ruminants, par l'appauvrissement des fourrages en éléments minéraux. Ce phénomène impacte plus particulièrement les bovins et les petits ruminants car, dans la majorité des élevages, les troupeaux sont nourris grâce aux fourrages produits localement ; contrairement aux élevages industriels de porcs ou de volailles qui reçoivent des aliments complets dont la composition en minéraux est étroitement contrôlée et équilibrée. Par ailleurs, la sélection de races hyper-performantes comme la Prim'Holstein en élevages laitiers, ou encore la Blanc Bleu Belge en élevages allaitants, est à l'origine d'une augmentation des besoins des animaux en oligo-éléments. On a donc une augmentation des besoins et une diminution des apports, ceci explique en partie, l'apparition de plus en plus fréquente de troubles dus à des carences en minéraux.

1.1.1. Carences primaires et secondaires

Bien qu'une complémentation minérale soit aujourd'hui effectuée par un certain nombre d'éleveurs de ruminants, celle-ci n'est pas toujours maîtrisée et plusieurs types de carences sont encore parfois rencontrées :

- * **des carences primaires** : par défaut d'apport, leur origine peut être soit une diminution de la quantité d'oligo-éléments disponibles dans le sol, soit une diminution de cette quantité dans les fourrages, soit un défaut de prise par l'animal,
- * **des carences secondaires** : dues à des interactions entre deux éléments, comme par exemple les carences en cuivre par excès de molybdène et/ou de soufre dans la ration.

1.1.2. Carences cliniques et subcliniques

D'un point de vue symptomatologie, on distingue deux types de carences :

- * **les carences cliniques**, carences graves avec des signes cliniques marqués et reconnaissables. Ces carences sont de plus en plus rares mais subsistent dans certains élevages.
- * **les carences subcliniques**, évoluant à bas bruit et se traduisant par des pertes économiques importantes, plus ou moins facilement identifiables.

1.2. Conséquences des carences en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques

1.2.1.Chez la vache laitière

Des déséquilibres minéraux peuvent avoir des conséquences importantes chez la vache laitière. Parmi les troubles et les signes cliniques les plus observés (Tableau 8), on peut citer:

✓ la fièvre de lait : également appelée fièvre vitulaire ou hypocalcémie puerpérale, est une hypocalcémie clinique *peripartum*. Il s'agit d'une chute importante, en tout début de lactation, de la concentration sanguine en calcium, qui entraîne l'apparition de signes cliniques chez l'animal. Elle résulte de l'incapacité de l'animal à mobiliser ses réserves de calcium pour faire face aux besoins accrus de la lactation.

En moyenne, la fièvre de lait touche 4 à 7 % des vaches laitières. Il est cependant important de comprendre que lorsque dans un troupeau, quelques cas de fièvre de lait sont recensés, cela signifie qu'une fraction importante des vaches du troupeau développe vraisemblablement une hypocalcémie subclinique lors du part. Ceci doit inciter l'éleveur à vérifier la ration alimentaire de ses vaches au tarissement.

Lorsque la fièvre de lait apparaît chez des vaches taries en prairie, il convient de dresser un bilan des apports en fertilisants réalisés sur les parcelles. Un excès de potassium dans l'herbe, et donc une ration avec une BACA positive (Bilan Alimentaire Cation-Anion: signe l'équilibre acido-basique au niveau sanguin), augmente en effet le risque de fièvre de lait.

Il faut noter que la fièvre de lait a des conséquences importantes sur la santé animale et la reproduction. Elle est en effet souvent associée à des difficultés au vêlage, une rétention placentaire, une métrite, et un retard d'involution utérine. Indirectement, elle augmente également le risque de certaines pathologies, telles que les mammites et les déplacements de caillette.

✓ l'apport du manganèse, de sélénium et de vitamine A, a également un impact direct sur les performances de reproduction. Leur faible biodisponibilité entraînera des chaleurs discrètes ou encore un pourcentage accru de retours en chaleur.

✓ la fertilité des vaches est certainement multifactorielle, mais les oligo-éléments ont un rôle direct : le zinc, pour son intervention dans la synthèse des prostaglandines, le cobalt avec la vitamine B12, pour leur action sur la néoglucogénèse. L'iode, quant à lui, influence les hormones thyroïdiennes et gonadotropes. Le sélénium et la vitamine C ont une action immunitaire et un effet positif sur la reprise du cycle ovarien.

1.2.2. Chez le lapin

Chez le lapin, la cœcotrophie permet de couvrir les besoins des petits mammifères en riboflavine, en niacine, en acide pantothénique, en cobalamine, ainsi qu'en biotine. Il existe peu de données concernant les autres vitamines, mais en général, les petits mammifères de compagnie parviennent à satisfaire leurs besoins en vitamine B grâce à l'ingestion des cœcotrophes. Par ailleurs, les vitamines A, D, E, K et C sont ajoutées en quantité adéquate dans les aliments commerciaux. Il faut cependant être prudent car certaines vitamines (E et C notamment) sont instables et se dégradent progressivement au cours du stockage de l'aliment. Dans l'idéal, les granulés ne devraient pas être stockés plus de 3 à 6 mois. Cependant, le lapin est particulièrement sensible à certaines carences, parmi lesquelles :

- ✓ Carence en vitamine E donnant une dystrophie musculaire nutritionnelle : l'animal affecté est prostré, réticent aux déplacements ; il présente une faiblesse musculaire généralisée ainsi qu'une raideur des membres, pouvant se manifester par des troubles de l'équilibre. La plupart des femelles gravides carencées présentent, en plus des difficultés à se déplacer, une baisse de fertilité, des avortements, et une diminution du nombre de naissances. Plusieurs femelles mettent bas des morts nés, et les survivants sont souvent maigres et chétifs. La mortalité néonatale est élevée. Les animaux atteints peuvent également présenter une dépression de l'état général. Ils sont généralement maigres et développent un pelage terne. Des troubles cardiaques sont parfois rapportés. L'évolution peut aller jusqu'à la mort chez les sujets carencés très affaiblis.
- ✓ Carence en vitamine E à l'origine de stérilité chez les mâles : cette carence mène à une dégénérescence des tubes séminifères et à une disparition progressive des spermatozoïdes, ceci chez la plupart des espèces mammifères.
- ✓ Carence en vitamine A et affections ophtalmiques : entraînant d'une part une sécheresse de la cornée, d'autre part un défaut de synthèse de la rhodopsine. Elle se manifeste par une xérophtalmie, pouvant évoluer en kératite, avec un écoulement oculaire associé. L'hypovitaminose A est une des causes classiques de kératoconjonctivite sèche chez les petits mammifères. Une carence en vitamine A peut aussi être l'origine d'une héméralopie, ou cécité crépusculaire et nocturne.
- ✓ Carence en vitamine A et troubles de la reproduction : les femelles présentent un mauvais taux de fertilité, des résorptions fœtales, des avortements, une mortalité néonatale élevée, et la naissance de petites portées d'animaux chétifs. Les apports recommandés en vitamine A chez les lapins sont de 6000 à 12000 UI/kg. Chez les lapins, les valeurs normales de la vitamine A plasmatiques sont de 300 ng/mL environ, et la teneur hépatique de 50 à 300 µg/g.

Des études ont montré qu'une supplémentation en β -carotènes permettait d'améliorer les performances de reproduction chez les lapins, même si l'apport en vitamine A est adéquat.

✓ Carences en vitamines du groupe B et affections dermatologiques: les vitamines les plus couramment impliquées dans les troubles dermatologiques sont celles du groupe B : la biotine (vitamine H), la riboflavine (vitamine B2), la niacine (vitamine B3), l'acide pantothénique (vitamine B5) et la pyridoxine (vitamine B6). Les carences en vitamines B vont plutôt concerner les sujets ayant des difficultés pour se nourrir correctement (malocclusion dentaire), ceux qui sont privés de leurs caecotrophes (grillage sur la litière), ou encore ceux sous antibiothérapie prolongée. Les troubles dermatologiques engendrés peuvent se manifester de différentes façons : par une alopecie, un pelage terne, une hyperkératose ou encore une dépigmentation du poil.

1.2.3. Chez les volailles

Comme les besoins vitaminiques varient selon l'espèce et l'état physiologique des animaux (jeunes en croissance, pondeuses), les recommandations pratiques doivent tenir compte de ces paramètres. Il apparaît ainsi qu'un apport vitaminique, notamment en élevage intensif, permet non seulement de prévenir et de traiter les hypovitaminoses, mais aussi d'améliorer notablement les performances (augmentation de la capacité de ponte et de la production de viande).

Les carences sont observés généralement en élevages industriels mal-conduits. Parmi les carences dominantes, on peut citer :

✓ Carences en vitamines hydrosolubles (C, B1, B2, acide pantothénique, B6, B12, acides foliques, biotine, PP, choline, inositol) : n'entraînant pas de symptômes spécifiques, une supplémentation de précaution peut systématiquement être mise en place.

✓ Carences en vitamines liposolubles (A, D, E, K) : est plus facile à diagnostiquer car les symptômes observés sont plus spécifiques. Une carence en vitamine D provoque du rachitisme chez le jeune. Une diminution de la calcification osseuse peut également être constatée lorsque les taux de calcium ou de vitamine D dans la ration sont faibles.

Tableau 8 : Symptômes des carences en oligo-éléments chez les ruminants (Lamand et Périgaud,1973).

★ Symptômes pathognomoniques ● Symptômes moins spécifiques

	Fer		Cuivre		Cobalt		Iode		Manganèse		Zinc		Sélénium	
	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J
Déficit de croissance ou d'engraissement		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		
Chute de production du lait			●		●		●				●			
Inappétence		●	●	●	●	●	●	●			●	●		
Pica			●	●	●	●								
Cachexie			●	●	★	★					●	●		
Anémie		●	●	●	●	●								
Défaut d'aplomb			●	●					★	★	●	●		
Fractures spontanées			●	●										
Boiterie			●	●					●	●	●	●		●
Troubles cardiaques			★	★										●
Dyspnée			●	●										●
Diarrhée			●		●	●								
Décoloration des poils			★	★										
Poils piqués			●	●	★	★		●			●	●		
Pelade								●			★	★		
Dermites											★	★		
Goître							★	★						
Infécondité			●		●		●		●		●			
Déformation des sabots											●	●		
Dégénérescence musculaire														★

2.Excès en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques

2.1. Causes des excès en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques

Dans l'alimentation hors élevage industriel, les risques de surdosages et de toxicité, dus à l'absorption de sels minéraux ou de vitamines par les animaux, sont rares. Cependant, en élevages selon un mode intensif et industriel, ces risques ne sont pas écartés. Les causes de ces risques pourraient être dus à :

- Une distribution excessive de sels minéraux et/ou de vitamines dans l'alimentation animale, sans prendre compte des besoins spécifiques des animaux;
- Un apport répété et non justifié des vitamines A, D et E par les suppléments nutritionnels;
- Apport des vitamines A , D et E , et des sels de calcium par les médicaments vétérinaires.

2.2. Conséquences des excès en vitamines et minéraux chez les animaux domestiques

Les vitamines A et D peuvent être toxiques pour l'animal lorsqu'elles sont liées à des apports excessifs. La toxicité de la vitamine D est plus spécifiquement sous la dépendance de plusieurs facteurs (forme, mode d'apport...). En ce qui concerne la vitamine E, les seuls cas d'hypervitaminose connus sont liés à des apports massifs utilisés expérimentalement.

Concernant le risque pour le consommateur de produits animaux, la vitamine A est la vitamine la plus susceptible d'être préoccupante puisqu'elle s'accumule dans le foie. Les vitamines D et E sont stockées de manière diffuse dans l'ensemble des lipides constitutionnels de l'organisme, ce qui limite le risque de surexposition de l'homme par consommation de denrées animales

2.2.1. L'hypervitaminose A

L'hypervitaminose A apparaît comme un processus pathologique résultant d'une perturbation de la voie métabolique qui met l'organisme en présence de rétinol ou d'acide rétinoïque (dérivé du rétinol) libres, donc non liés à une protéine. Il est possible de distinguer 2 types de toxicité chez l'animal liée à une hypervitaminose A :

- **une toxicité aiguë** : déterminée par des doses massives (> 1000 fois le besoin minimum). Elle se manifeste par un malaise général, de l'anorexie, des nausées, de l'hyper-irritabilité, des desquamations cutanées, de la faiblesse musculaire, des convulsions, des paralysies et la mort. La rémission est rapide

dès la suppression de l'apport vitaminique.

- **une toxicité chronique** : souvent décrite lors d'ingestion, durant une période prolongée, de quantités de l'ordre de 100 à 1000 fois le besoin minimum. Les signes les plus caractéristiques sont ceux de malformations du squelette, de fractures spontanées et d'hémorragies internes. De nombreux autres symptômes découlant d'une perturbation du métabolisme des épithéliums et des muqueuses, des glandes endocrines... sont également décrits. La littérature rapporte des troubles correspondant à des doses plus faibles, supérieures à 10 fois le besoin.

2.2.2.L'hypervitaminose D

La toxicité de la vitamine D par hypervitaminose consécutive à des apports excessifs est bien connue chez l'animal. L'augmentation du taux sérique de calcium avec des dépôts calcaires métastatiques (calcinose cardiovasculaire, rénale, pulmonaire et salivaire) par résorption osseuse sont caractéristiques de l'hypervitaminose D. Dans un premier temps, l'hypercalcémie n'est pas apparente car la filtration rénale joue pleinement son rôle avec cependant le risque de néphrolithiase par hypercalciurie. Lors d'un excès massif ou durable, l'augmentation de la mobilisation du calcium va entraîner un abaissement de la filtration glomérulaire. Il en résulte une augmentation de la calcémie et un arrêt de la calciurie avec perturbation de la fonction rénale, de la polyurie et des vomissements.

- * Chez le cheval: la vitamine D3 est 10 à 20 fois plus toxique que la vitamine D2.
- * Chez les volailles: un apport excessif en vitamine D peut entraîner une hypervitaminose à l'origine de graves lésions parfois létales (hypercalcinose et infarctus lors d'hypervitaminose D).
- * Chez le lapin : qui est beaucoup plus sensible aux excès de vitamine D que la plupart des autres mammifères.L'absorption intestinale du calcium n'est pas régulée en fonction des besoins de l'organisme comme chez les autres mammifères, mais est directement corrélée à la quantité de calcium présente dans l'alimentation.Il en résulte que la calcémie reflète directement la teneur en calcium de la ration. Des calcifications métastatiques apparaissent dans les tissus mous. Cependant, les aliments industriels pour petits mammifères sont de mieux en mieux formulés et ont réduit l'incidence de cette maladie.Chez les lapins, l'apport recommandé en vitamine D3 est particulièrement faible et ne devrait pas, dans les conditions habituelles, excéder 1000 UI de cholécalférol/kg MS d'aliment (ou 25 µg/kg poids).

La toxicité de la vitamine D dépend de sa forme (toxicité de la vitamine D3 supérieure à la toxicité de la vitamine D2), du mode d'administration (la voie parentérale est au moins 10 fois plus active que la voie orale), de la dose et de la durée de distribution, du mode d'élevage (lors d'exposition à la lumière solaire les apports ne sont pratiquement pas nécessaires), de la teneur phosphocalcique de la ration (les rations riches en calcium sont plus sensibles), de l'équilibre vitaminique (des doses élevées de vitamine A et/ou de vitamine E protègent de l'excès de vitamine D).

2.2.3. L'hypervitaminose E

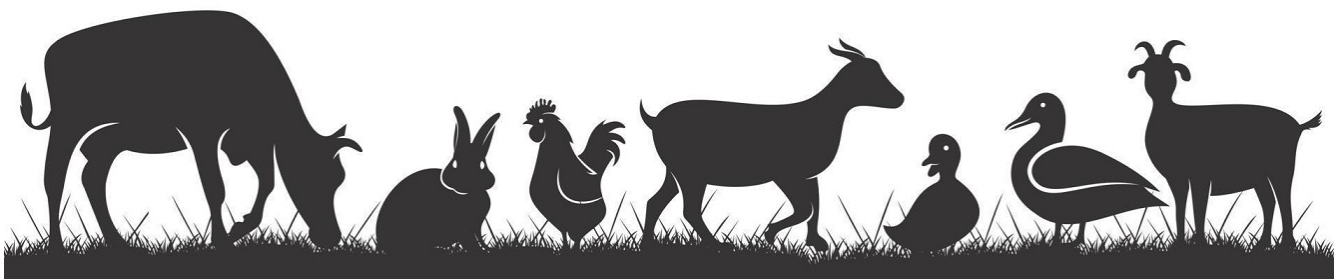
Il n'est pas signalé de cas d'intoxication aiguë à la vitamine E dans la littérature chez les espèces animales domestiques. Quelques études chez le poulet décrivent des troubles liés à des distributions massives. Chez le poulet, il faut une dose de 2200 UI/kg de vitamine E dans l'aliment pour entraîner une dépression de la croissance, une réduction de l'hématocrite, une réticulocytose et une augmentation du temps de coagulation. Certains chercheurs ont confirmé l'action antivitaminique D chez le poulet avec des taux de 10 000 UI/kg d'aliment de vitamine E. D'autres auteurs ont montré que des doses supérieures à 4 000 UI/kg de vitamine E entraînaient une hépatomégalie, une diminution de la pigmentation de la chair et donnaient un aspect cireux aux plumes.

2.2.4. Intoxication par le cuivre

Les ovins sont les ruminants domestiques les plus prédisposés au risque d'intoxication au cuivre, vu leur métabolisme hépatique différent des autres ruminants (bovin, caprin). L'organisme de l'animal absorbe le cuivre du régime en fonction de la quantité de cuivre offerte dans l'alimentation et non en fonction des besoins du corps comme c'est le cas dans l'absorption d'autres minéraux. Tout cuivre supplémentaire absorbé est entreposé dans les cellules du foie, atteignant parfois des niveaux toxiques. Cet entreposage dans le foie peut prendre des mois ou même des années avant d'atteindre un niveau toxique. L'élimination du cuivre du corps par les reins est lente. Parmi les symptômes de l'intoxication par le cuivre chez les ovins:

- ✘ les animaux refusent toute nourriture ; ils sont apathiques ;
- ✘ ils se couchent sur le flanc et présentent des contractions musculaires spasmodiques ;
- ✘ les muqueuses prennent une coloration brun-jaune ;
- ✘ les fréquences cardiaque et respiratoire sont très élevées et en un à deux jours l'animal peut succomber par asphyxie.

Partie B: Travaux dirigés



TD 1 : Différents régimes alimentaires chez

les animaux domestiques

1) Parmi les animaux qui figurent dans les schémas ci-dessous, précisez quels animaux sont des;

- Végétariens.....
- Carnivores.....
- Omnivores.....
- Herbivores.....
- Granivores.....
- Frugivores.....
-
- Nectarivores.....
- Insectivores.....
- Piscivores.....
- Charognards.....
- Planctophages.....

2) A votre avis, quelles seraient les causes des ces différences ?

3) Ces différences exigent-elles des variabilités sur le plan anatomique ?

4) Quelles sont les principales différences anatomiques entre les quatre appareils digestifs ?

5) Y'aurait-il une possibilité de changement du régime alimentaire de l'espèce ? et dans quelles Circonstances ?

6) Quelles sont vos conclusions ?

Remarque : Les solutions du TD1 existent dans les cours du chapitre 1.

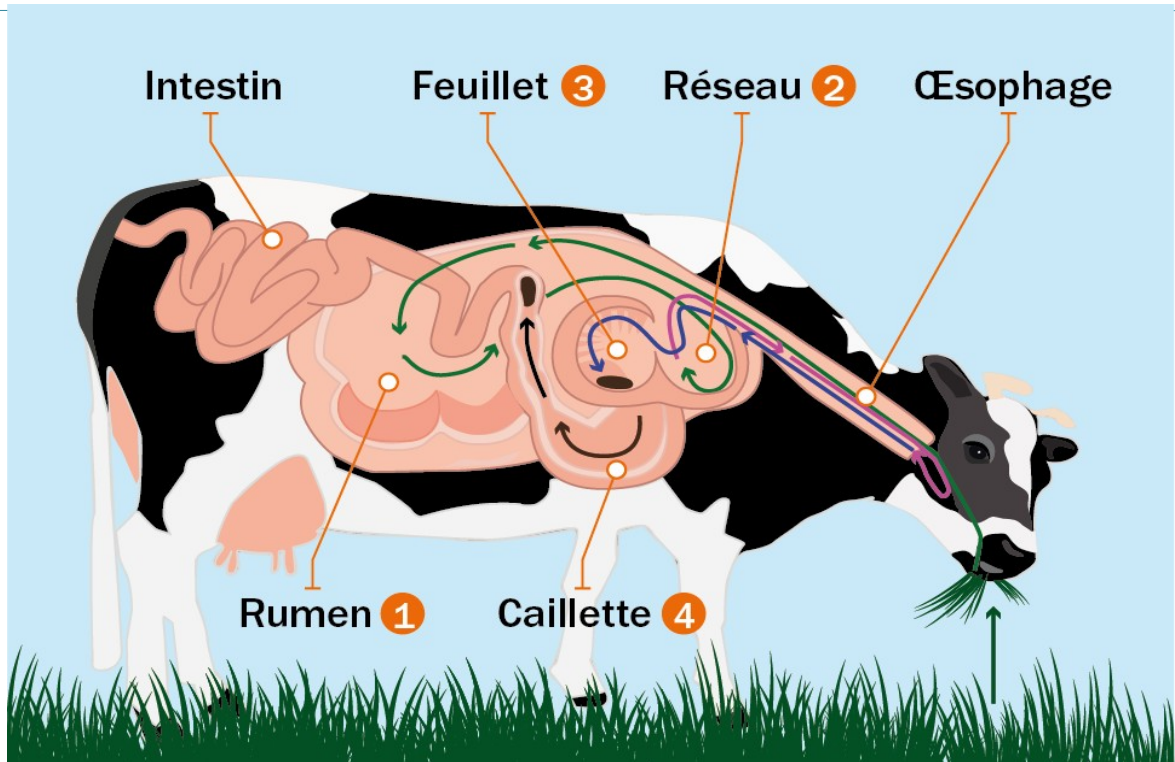


Figure 21: Appareil digestif de la vache (exemple de ruminants) (Dico du lait, 2022)

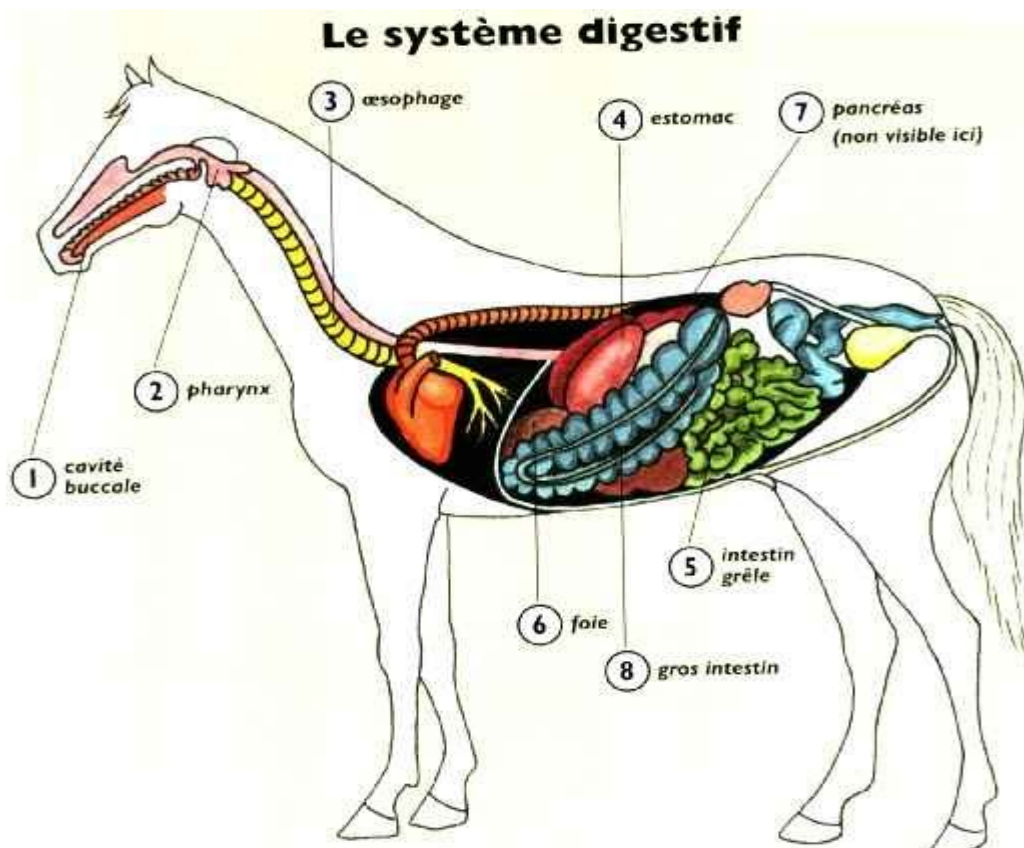


Figure 22: Appareil digestif du cheval (exemple de monogastriques) (ALTER EQUUS, 2014)

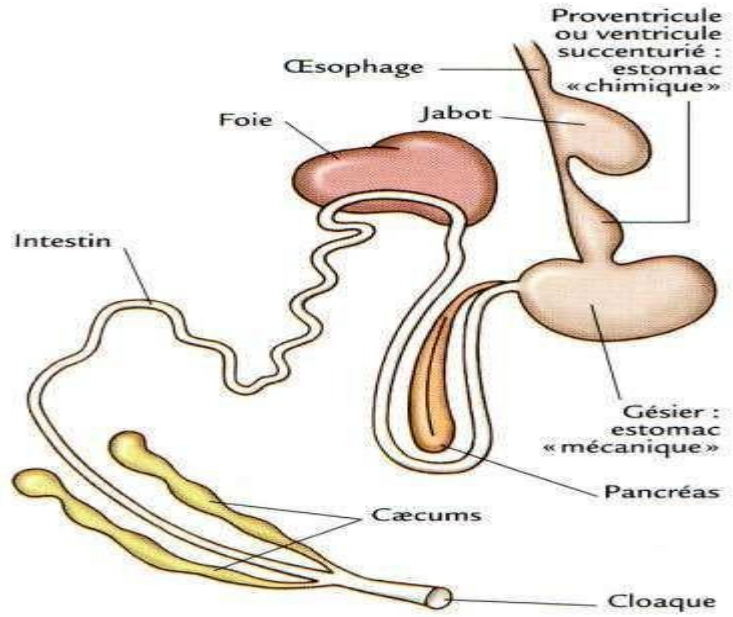


Figure 23 : Appareil digestif du poulet (exemple d'oiseaux)(Van Eekeren et al., 2004)

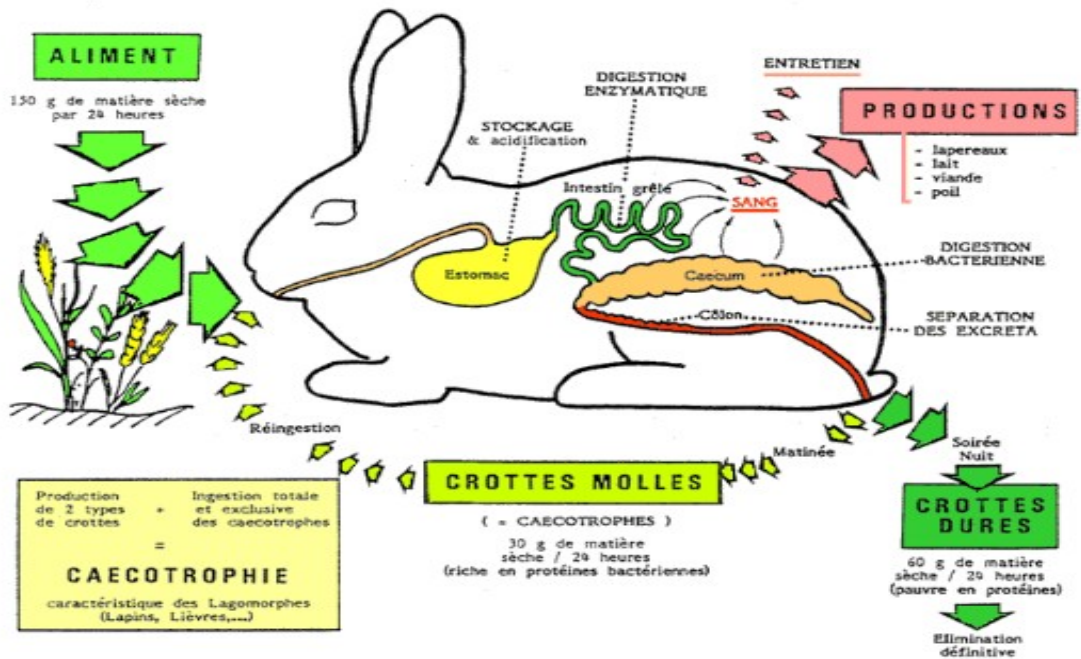


Figure 24 : Appareil digestif et physiologie de la digestion chez le lapin (Lebas, 2021)

T D 2 : La prévision des besoins alimentaires des bovins et de la valeur alimentaire des aliments

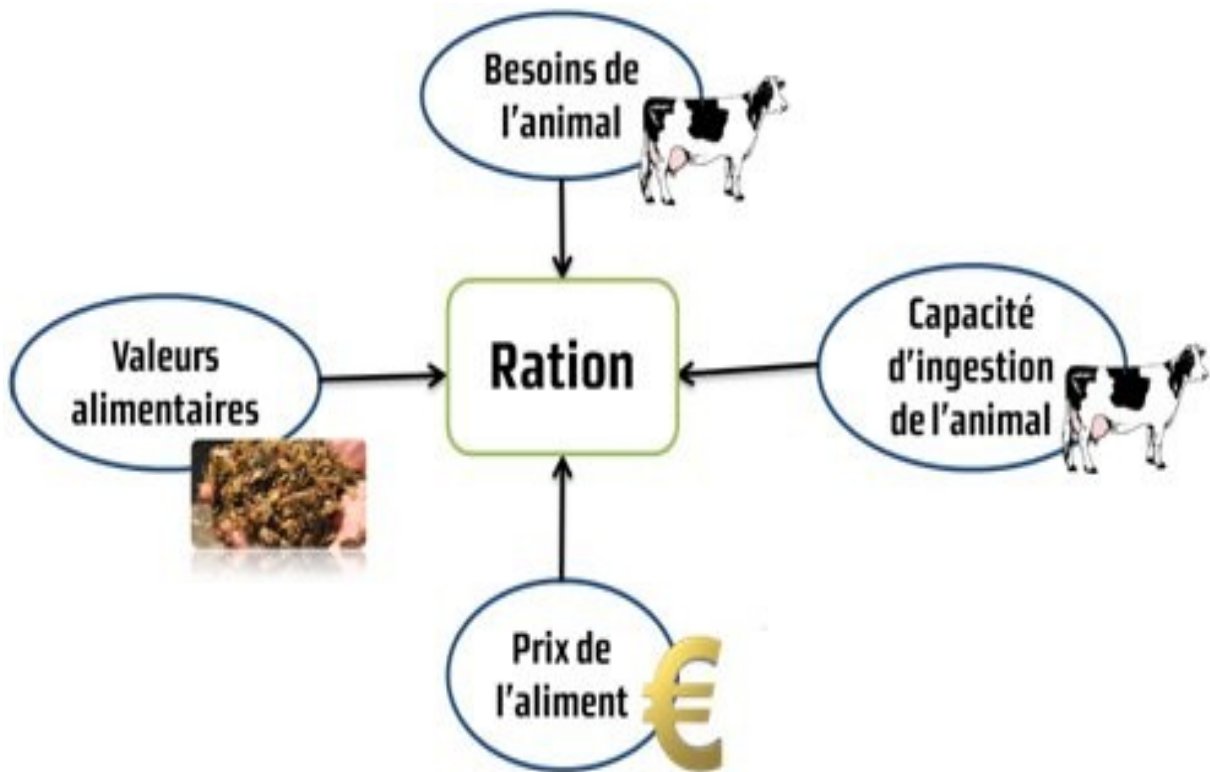


Figure 25 :Facteurs de rentabilité de la ration alimentaire chez la vache laitière (Anonyme, 2015)

1) D'après le schéma ci-dessus, à votre avis, quel serait l'influence de chacun de ces facteurs sur la rentabilité de la ration (expliquez) :

a.Besoins de l'animal

.....

b.Capacité d'ingestion de l'animal.....

.....

c.Valeur alimentaire des aliments

.....

d.Prix des aliments.....

.....

2) **Quelles sont vos conclusions ?**

.....

.....

3) Pourrait-on généraliser ces observations sur toutes les espèces animales domestiques ?

.....
.....

4) Selon vous, comment connaître les apports réels des aliments en nutriments et en énergie ?

.....
.....

Solutions du TD2

1)

a.Besoins de l'animal ; diffère selon l'âge, le type de production (lait, viande, travail), l'espèce, la race, l'état physiologique (gestation, non gestation).

b.Capacité d'ingestion de l'animal ; variable d'un animal à un autre, et est influencée par l'ingestibilité de chaque aliment (taux des composantes protéiques et ligneuses).

c.Valeur alimentaire des aliments ; la valeur alimentaire comprend deux grandes composantes, l'ingestibilité, c'est-à dire l'aptitude d'un aliment à être ingéré en plus ou moins grande quantité et la valeur nutritive qui représente le vecteur des concentrations en éléments nutritifs du kg de matière sèche d'aliment.

La valeur nutritive des aliments, dépend :

- de la fertilité des sols ;
- de la durée de stockage des aliments ;
- des méthodes d'agriculture (arrosage, fertilisation, système de rotation des parcours) ;
- de la saison de récolte ;
- de l'exploitation successive des sols sans repos ou de la désertification.

d.Prix des aliments ; dépend de l'équilibre entre la **production/demande** internationale et nationale en aliments de bétail, des conditions météorologiques (pluviométrie, chaleur). En Algérie, la quasi-totalité des aliments sont importés (U.S.A, France, Russie...).

2) Conclusions ; synthèse cohérente entre les points suscités a, b, c et d.

3) Oui, on peut généraliser ces observations sur toutes les espèces animales domestiques.

4) L'estimation de la valeur alimentaire des aliments sur la base d'informations quantitatives (résultats des analyses de laboratoires) ou qualitatives (n° de cycle végétal, stade physiologique) constitue un des trois pôles d'un système d'alimentation.

Les analyses effectuées doivent respecter les points suivants :

- **s'appliquer universellement** à tous les types d'aliments utilisables pour nourrir les animaux ;
 - **être standardisées et officialisées**, en particulier lorsqu'elles s'appliquent à des aliments commercialisables (aspects législatifs) ;
 - **être répétables et reproductibles avec précision** ;
 - **être simples et peu coûteuses** à mettre en œuvre pour pouvoir être largement diffusées et appliquées. Ceci signifie, en particulier, que les méthodes chimiques utilisées doivent rester simples et compréhensibles.
- en pratique, **normalement pour chaque pays, des équations de prévision** des valeurs alimentaires sont proposées par la recherche sur la base d'expérimentations conduites sur des animaux. En outre, des **tables de composition et de valeur nutritive** des aliments sont disponibles pour les différentes espèces. Ces tables doivent être régulièrement actualisées. Par exemple : en France, la **Banque de données de l'Alimentation Animale (AFZ-INAPG)** qui regroupe une vingtaine de partenaires actualise les valeurs de composition et contribue à leur interprétation. Le calcul des valeurs nutritives sur la base de la composition relève de **l'expertise de l'INRA**. En octobre 2002, des tables multi-espèces de valeur nutritive des aliments établies par l'AFZ et l'INRA ont été présentées aux utilisateurs.

T D 3 : Analyse des aliments d'origine végétale**Exercice n°01 :**

Quelle est la différence entre la matière sèche et la matière organique d'un aliment ?

Exercice n°02 :

Pourquoi considère-t-on les lipides comme la fraction la plus énergétique de la matière organique ?

Exercice n°3:

Un échantillon de 10g d'aliment est broyé et mis dans une capsule de porcelaine pesant 2,5g. Après un séjour de 24h dans l'étuve à une température de 105°C, la capsule est retirée et pesée (P1); ensuite elle est placée dans un four à une température de 550°C pendant 5h. Enfin, elle est retirée et pesée pour la deuxième fois (P2).

Sachant que P1 = 11,5g et P2 = 3,5g, déterminez la proportion de M.S, M.M et M.O dans l'échantillon.

Exercice n°4: Soit un aliment dont la composition est la suivante :

M.S	M.O (g/kg)	M.A.T (g/kg)	C.B (g/kg)	Ca (g/kg)	P (g/kg)
80%	640	240	160	12	4

- Convertir ces données en fonction de la matière sèche.

Exercice n°5: Après analyse fourragère d'un échantillon d'aliment de 100g dont la teneur en M.S est 90%, la quantité d'azote trouvée par la méthode KJELDAHL (Nx6,25) est de 5g.

- Déterminez la proportion de protéine brute (P.B) de cet échantillon :

- Par rapport à l'échantillon frais ;
- Par rapport à la M.S.

Exercice n° 6 : Soit un aliment dont la composition est la suivante :

M.S	M.O (g/kg)	M.A.T (g/kg)	C.B (g/kg)	Ca (g/kg)	P (g/kg)
80%	560	180	160	12	4

- Convertir ces données en fonction de la M.S.

Exercice n° 7:

Après analyse fourragère d'un échantillon d'aliment de 1000g dont la teneur en M.S est 90%, la quantité d'azote trouvée par la méthode KJELDAHL (Nx6,25) est de 50g.

- Déterminez la proportion de protéine brute (P.B) de cet échantillon :

- Par rapport à l'échantillon frais ;
- Par rapport à la M.S.

Solutions du TD3**Exercice 1 :**

La matière organique est une fraction de la M.S. d'un aliment, puisque :

$M.S = M.O + M.M$ (Matière sèche = Matière organique + Matière Minérale).

Exercice 2:

Les lipides sont considérées comme la fraction la plus énergétiques parce que :

- La combustion de 1g de lipides donne 9,3 calories, alors que ;
- La combustion de 1g de protides donne 5,65 calories et ;
- La combustion de 1g de glucides donne 4,1 calories.

Exercice 3:

Le poids total de l'échantillon $Pt = 10g + 2,5g = 12,5g$.

Le poids à la sortie de l'étuve est $P1 = 11,5g$ c'est-à-dire il y'a eu perte de 1g, donc

$Pt - P1 = 12,5g - 11,5g = 1g$ représentant le poids d'eau. Ceci veut dire que l'échantillon contient 1g d'eau, donc dans 10g d'échantillon on a 1g d'eau. La quantité de M.S est égale à

$$10g - 1g = 9g. M.S = 9g.$$

A la sortie du four l'échantillon pèse $P2 = 3,5g$, ceci veut dire qu'on ôtant les 2,5g du poids du capsule, on obtient 1g de M.M.

$$MM = 3,5g - 2,5g = 1g.$$

Comme $M.S = M.O + M.M$, ceci veut dire $M.O = M.S - M.M = 9g - 1g = 8g$.

Exercice 4:

1Kg d'aliment frais contient 80% de M.S, c'est-à-dire 800g de MS.

1Kg d'aliment frais contient 640g de M.O, c'est-à-dire 800g de M.S contiennent 640g de M.O.

$$800g \text{ M.S} \longrightarrow 640g \text{ M.O}$$

$$1000 \text{ g M.S} \longrightarrow X \text{ g M.O}$$

$$X = (640 \times 1000)/800 = 800g \text{ M.O}$$

$$800g \text{ M.S} \longrightarrow 240g \text{ M.A.T}$$

$$1000 \text{ g M.S} \longrightarrow X \text{ g M.A.T}$$

$$X = (240 \times 1000)/800 = 300g \text{ M.A.T}$$

800g M.S —————> 160g C.B

1000 g M.S —————> X g C.B

$$X = (160 \times 1000)/800 = 200\text{g C.B}$$

800g M.S —————> 12g Ca

1000 g M.S —————> X g Ca

$$X = (12 \times 1000)/800 = 15\text{g Ca}$$

800g M.S —————> 4g P

1000 g M.S —————> X g P

$$X = (4 \times 1000)/800 = 5\text{g P}$$

On peut multiplier par 1,25 dans tous les résultats.

Exercice n°5:

Considérant que 100g de l'échantillon contient 5g de N.

M.A.T = P.B.

100g P.B —————> 16g N

X g P.B —————> 5g N

$$X = (5 \times 100)/16 = 5 \times 6,25 = 31,25\text{g P.B}$$

100g de l'échantillon contient 90g de M.S.

90 g M.S —————> 31,25g P.B

100g M.S —————> X g P.B

$$X = (31,25 \times 100)/90 = 34,72 \text{ g P.B (par 100g M.S).}$$

Exercice n° 6 :

M.S	M.O (g/kg)	M.A.T (g/kg)	C.B (g/kg)	Ca (g/kg)	P (g/kg)
80%	560	180	160	12	4

1Kg d'aliment frais contient 80% de M.S, c'est-à-dire 800g de MS.

1Kg d'aliment frais contient 640g de M.O, c'est-à-dire 800g de M.S contiennent 640g de M.O.

800g M.S —————> 560 g M.O

1000 g M.S —————> X g M.O

$$X = (560 \times 1000)/800 = 700 \text{ g M.O}$$

800g M.S —————> 180 g M.A.T

1000 g M.S —————> X g M.A.T

$$X = (180 \times 1000)/800 = 225 \text{ g M.A.T}$$

$$800\text{g M.S} \longrightarrow 160 \text{ g C.B}$$

$$1000 \text{ g M.S} \longrightarrow X \text{ g C.B}$$

$$X = (160 \times 1000)/800 = 200 \text{ g C.B}$$

$$800\text{g M.S} \longrightarrow 12 \text{ g Ca}$$

$$1000 \text{ g M.S} \longrightarrow X \text{ g Ca}$$

$$X = (12 \times 1000)/800 = 15 \text{ g Ca}$$

$$800\text{g M.S} \longrightarrow 4 \text{ g P}$$

$$1000 \text{ g M.S} \longrightarrow X \text{ g P}$$

$$X = (4 \times 1000)/800 = 5 \text{ g P}$$

Exercice n° 7 :

1000g de l'échantillon contient 50g de N.

$$\text{M.A.T} = \text{P.B.}$$

$$1000\text{g P.B} \longrightarrow 160\text{g N}$$

$$X \text{ g P.B} \longrightarrow 50\text{g N}$$

$$X = (50 \times 1000)/ 160 = 50 \times 6,25 = 312,5\text{g P.B}$$

1000g de l'échantillon contient 900g de M.S.

$$900 \text{ g M.S} \longrightarrow 312,5\text{g P.B}$$

$$1000\text{g M.S} \longrightarrow X \text{ g P.B}$$

$$X = (312,5 \times 1000)/ 900 = 347,2 \text{ g P.B (par 1000g M.S).}$$

T D 4 : Comment planifier la conduite au pâturage**Problématique:**

En **pâturage tournant**, la mesure des hauteurs d'herbe à l'entrée des animaux dans la parcelle et à la sortie permet à l'éleveur d'évaluer la disponibilité fourragère, et donc de mieux planifier la conduite du pâturage.

En exploitation, l'outil le plus adapté pour mesurer la hauteur d'herbe est l'**herbomètre**. Afin d'évaluer la disponibilité fourragère, il faut également connaître **la densité de l'herbe**, c'est-à-dire la quantité d'herbe présente par hectare sur 1 cm de hauteur d'herbe compressée. On utilise en général le chiffre de 250 kg de MS/cm.ha. Celui-ci constitue une moyenne, des variations pouvant être observées avec le mois de pâturage, les espèces botaniques présentes, le climat, la région, ect.

Prenons des exemples pour illustrer ceci :

Exercice n°1:

Soit une parcelle de 5 ha, dont la hauteur d'herbe à l'entrée est de 15 cm, et la hauteur de sortie 5 cm.

- 1) Calculez le stock d'herbe présent ?
- 2) Quelle serait la durée permise par cette herbe (en jour), si l'éleveur disposerait 80 vaches consommant en moyenne 17 kg de MS/jour (= besoins en MS pour une vache de 650 kg produisant \pm 20 L) ?

Exercice n°2:

Calculez le stock d'herbe disponible par vache consommant en moyenne 17 kg de MS/jour (= besoins en MS pour une vache de 650 kg produisant \pm 20 L), avec une entrée dans la parcelle à 10 cm et une sortie à 4 cm ?

Exercice n°3:

Soit une ration de base pour vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP.L'éleveur a choisi de réaliser un apport de fourrages complémentaires (ensilage de maïs et ensilage d'herbe) et de concentrés (tourteau de soja, orge et pulpes séchées), en plus du pâturage.

Il possède 80 vaches laitières et 80 ha. Les vaches laitières sont au pâturage la journée et à l'étable la nuit. Il pratique un pâturage tournant, avec une entrée sur la parcelle approximativement à 14-15 cm de hauteur d'herbe et une sortie approximativement à 4-5 cm. La hauteur d'herbe disponible est donc de 10 cm. Les animaux sont actuellement sur une pâture de 4 ha, et ce pour une durée totale de 5 jours.

- 1) La ration journalière pratiquée par l'éleveur, serait-elle déficitaire ?
- 2) Si oui, quelles seraient les corrections possibles ?

Solutions du TD4

Exercice n°1:

1) La hauteur pâturable est donc de 10 cm. Avec une densité de l'herbe de 250 kg de MS/cm.ha, le stock d'herbe présent est de 10 cm x 250 kg MS/cm.ha x 5 ha = 12 500 kg MS.

2) Avec 80 vaches consommant en moyenne 17 kg de MS/jour (= besoins en MS pour une vache de 650 kg produisant ± 20 L) : les besoins sont de 80 x 17 kg = 1 360 kg.

L'éleveur dispose donc de 12 500/1 360, soit ± 9 jours de réserve d'herbe sur cette parcelle (hors croissance de l'herbe durant les 9 jours de pâturage).

Exercice n°2:

Avec une entrée dans la parcelle à 10 cm et une sortie à 4 cm, la hauteur pâturable est de 7 cm. Le stock d'herbe présent est donc de 7 cm x 250 kg MS/cm.ha = 1 750 kg MS/ha. Si on considère qu'une vache ingère en moyenne 17 kg de MS/jour, on peut mettre :

$$1\,750/17 \approx 100 \text{ vaches/ha/jour, soit } 1 \text{ are/vache/jour.}$$

Exercice n°3:

1) Méthodologie de la correction d'une ration (Bilan des M.S)

a. Étape n°1 : Évaluer les besoins de l'animal. Pour évaluer les besoins de l'animal, nous utilisons les formules de calcul.

b. Étape n°2 : Évaluer les apports de la ration :

Vu que les fourrages ensilés et les concentrés se substituent totalement (pour les fourrages) ou partiellement (pour les concentrés) à l'herbe, nous évaluons d'abord les apports liés aux aliments ajoutés par l'éleveur. Dans un second temps, nous évaluons le déficit en M.S et estimons que celui-ci sera comblé par les ingestions d'herbe. Ce raisonnement est uniquement valable si les ressources au pâturage sont suffisantes.

On commence d'abord par calculer les apports en M.S des aliments ajoutés par l'éleveur.

Puis, sur base de la M.S apportée par chaque aliment, nous calculons les apports nutritionnels.

c. Étape n°3 : Comparer les apports actuels de la ration et les besoins de l'animal, et évaluer la quantité d'herbe ingérée par l'animal.

Apports actuels de la ration	Besoins de la vache	Différence
---	--------------------------------	-------------------

Au pâturage, la teneur en M.S de l'herbe étant faible (17,8 %), les quantités d'herbe fraîche à ingérer sont élevées. Le calcul de la ration doit tenir compte de cette contrainte, ceci est la raison pour laquelle l'équilibre de la ration se fait prioritairement sur base du déficit en M.S.

Pour combler un déficit de 6,65 kg de M.S, la vache doit ingérer $6,65/0,178 = \pm 37$ kg d'herbe fraîche.

Nous pouvons à présent évaluer les apports totaux de la ration.

d. Étape n°4 : Critique de la ration.

✓ La disponibilité totale en herbe de la parcelle peut donc être évaluée à :

$250 \text{ kg de MS/cm.ha} \times 10 \text{ cm} \times 4 = 10\,000 \text{ kg de M.S d'herbe.}$

La disponibilité en herbe/vache/jour est donc de $10\,000 \text{ kg}/80 \text{ vaches.}$

$5 \text{ jours} = 25 \text{ kg de MS/vache/jour.}$

✓ Ce premier chiffre est d'emblée interpellant. Les besoins totaux en M.S d'une vache laitière se situent en effet approximativement entre 15 et 20 kg de M.S/jour, selon sa production laitière. Par conséquent, nous pouvons déjà conclure que les disponibilités en herbe sont largement supérieures aux besoins des animaux. L'éleveur est donc dès le départ dans un contexte de sous-valorisation de la pâture. En ajoutant des fourrages complémentaires à la ration, il va donc encore aggraver la situation, puisque la M.S apportée par ceux-ci va entraîner une diminution des ingestions d'herbe.

T D 5 : Calcul des apports énergétiques des aliments végétaux**Problématique :**

L'énergie brute (E.B) peut être considérée comme le contenu énergétique potentiel d'un aliment. Cette énergie n'est pas totalement utilisée en réalité, en raison des pertes intervenant tout au long du processus digestif. Elle dépend de la composition chimique du produit, en particulier de sa teneur en matière organique.

Énergie digestible (E.D) l'aliment ne peut être totalement digéré et absorbé dans le tube digestif. Une partie est excrétée dans les fèces (**énergie fécale : E.F**). La partie restante constitue l'énergie digestible (**E.D**).

Énergie métabolisable (E.M) est le contenu énergétique de l'aliment qui peut être métabolisée dans l'organisme d'un animal pour couvrir ses dépenses énergétiques, car l'énergie digestible (**E.D**) n'est pas toute utilisée par l'organisme de l'animal. En effet, il y a des pertes qui se produisent au cours de la digestion des aliments sous différentes formes : CO₂, CH₄ (**E.G**) et dans les urines (**E.U**).

L'ENA l'extractif non azoté : inclut les glucides, l'amidon en particulier, et souvent plus de la moitié des constituants pariétaux. Il englobe des glucides à valeur alimentaire très variable et n'a pas véritablement de signification nutritionnelle. On peut prendre quelques exemples :

Exercice n°1:

Soit une quantité de balles de foin pesant 380 kg. Le taux de M.S est estimé à 65 %.

L'analyse totale du foin a donné ces résultats pour 1 kg de MS :

- M.O : 90 %
- C.B : 25 %
- P.B : 18 %
- Lipides : 5 %

- 1) Calculez l'E.B permise par 1 kg de MS pour $\Delta = 2.5$?
 - 2) Calculez l'E.D permise par 1 kg de MS, si EF = **12 % de EB** ?
 - 3) Calculez l'E.M permise par 1 kg de MS, si **EU= 5 % de EB, EG= 8 % de EB** ?
 - 4) Calculez l'E.B, E.D et E.M permises toute la quantité du foin ?
 - 5) Faites une comparaison entre l'E.B, E.D et E.M permises par le foin ?
- Quelle est votre conclusion ?

Avec : E.M : énergie métabolisable, E.D : énergie digestible, E.F : énergie fécale , E.U : énergie urinaire, E.G : énergie gazeuse.

Solutions du TD5

Exercice n°1:

1) Calcul de l'E.B permise par 1 kg de MS pour $\Delta = 2.5$?

- M.O : 90 %
- C.B : 25 %
- P.B : 18 %
- Lipides : 5 % (M.G)

$$EB \text{ (kcal / 1 kg MS)} = 5,72 \times M.A.T \text{ (g)} + 9,50 \times M.G \text{ (g)} + 4,79 \times C.B \text{ (g)} + 4,17 \times E.N.A \text{ (g)} + \Delta$$

Δ : correctif variable en fonction de l'aliment.

a. Calcul des quantités des composantes de MS :

- M.O : 90 % de MS donc M.O= 900 g
- C.B : 25 % de MS donc C.B= 250 g
- P.B : 18 % de MS donc P.B= 180 g
- Lipides : 5 % de MS donc M.G= 50 g

b. Calcul de l'ENA = MO – (MAT + MG + CB)

$$= 900 - (180 + 50 + 250) = 420 \text{ g}$$

Donc ;

$$EB \text{ (kcal / 1 kg MS)} = 5,72 \times 180 \text{ (g)} + 9,50 \times 50 \text{ (g)} + 4,79 \times 250 \text{ (g)} + 4,17 \times 420 \text{ (g)} + 2,5.$$

$$EB = 4,456 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

2) Calcul de l'E.D permise par 1 kg de MS, si EF = 12 % de EB ?

(E.F : énergie fécale , E.U : énergie urinaire, E.G : énergie gazeuse)

a. Calcul de E.F

EF = 12 % de EB donc ;

$$EF = 0,12 \times 4,456 \text{ kcal / 1 kg MS} = 0,535 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

b. Calcul de E.D

$$E.D = E.B - E.F$$

$$E.D = 4,456 - 0,535 = 3,921 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

3) Calcul l'E.M permise par 1 kg de MS, si EU= 5 % de EB, EG= 8 % de EB ?

a. Calcul de E.U

EU= 5 % de EB donc;

$$EU = 0,05 \times 4,456 \text{ kcal / 1 kg MS} = 0,223 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

b. Calcul de E.G

EG= 8 % de EB donc ;

$$EG = 0,08 \times 4,456 \text{ kcal / 1 kg MS} = 0,356 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

$$E.M = E.B - (E.F + E.G + EU)$$

$$E.M = 4,456 - (0,535 + 0,356 + 0,223) = 3,342 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

4) Calcul l'E.B, E.D et E.M permises toute la quantité du foin ?

a. Calcul du poids de M.S :

- Le taux de M.S est estimé à 65 %.
- Les balles de foin pèsent 380 kg

$$\begin{array}{l} 380 \text{ kg} \xrightarrow{\hspace{2cm}} 100 \% \\ \mathbf{X} \xleftarrow{\hspace{2cm}} 65 \% \end{array}$$

$$\mathbf{X} = \frac{380 \text{ kg} \times 65 \%}{100 \%} = 247 \text{ kg de M.S}$$

b. Calcul l'E.B permise toute la quantité du foin

$$1 \text{ kg MS} \longrightarrow \text{EB} = 4,456 \text{ kcal}$$

$$247 \text{ kg MS} \longrightarrow \text{X} = 247 \text{ kg} \times 4,456 \text{ kcal / kg} = 1100,63 \text{ kcal}$$

c. Calcul l'E.D permise toute la quantité du foin

$$1 \text{ kg MS} \longrightarrow \text{ED} = 3,921 \text{ kcal / 1 kg MS}$$

$$247 \text{ kg MS} \longrightarrow \text{X} = 247 \text{ kg} \times 3,921 \text{ kcal / 1 kg MS} = 968,49 \text{ kcal}$$

d. Calcul l'E.M permise toute la quantité du foin

$$1 \text{ kg MS} \longrightarrow \text{EM} = 3,342 \text{ kcal}$$

$$247 \text{ kg MS} \longrightarrow \text{X} = 247 \text{ kg} \times 3,342 \text{ kcal / kg} = 825,47 \text{ kcal}$$

5) Comparaison entre l'E.B, E.D et E.M permises par le foin ?

$$\text{E.B} > \text{E.D} > \text{E.M}$$

Conclusion: $\text{EB} - \text{EM} = 1,114 \text{ kcal} = 25 \% \text{ de l'EB par kg de M.S qui est perdu sans être métabolisée par l'organisme.}$

T D 6 : Effets des excès et des carences énergétiques chez les vaches laitières**Problématique :**

L'alimentation équilibrée des ruminants détient une place primordiale pour maintenir leur vies, ainsi que leurs productions (viande, lait, travail). Cependant, le non respect du poids et du stade physiologique, lors du rationnement de chaque animal, pourrait avoir plusieurs conséquences dramatiques, tant lors des excès ou de carences en énergie. Pour ceci, il vaut mieux, maîtriser certains signes cliniques et paracliniques de ces troubles éventuels.

Exercice n°1:

Une vache pesant 650 kg et produisant ± 20 L de lait/j (besoins 17 kg de MS/jour), en 3^{ème} lactation, et dont la notation d'embonpoint est 4, avait reçu 3 jours après la mise-bas une ration journalière composée de : 6 kg d'herbe verte+ 5 kg de maïs. Après 15 jours de pratique de ce régime, la vache a présenté les signes cliniques suivants :

- ✓ Amaigrissement prononcé avec notation d'embonpoint égale à 2
- ✓ Biochimie du sang : fort taux de corps cétoniques
- ✓ Arrêt de la sécrétion lactée
- ✓ Coma hypoglycémique
- ✓ Troubles digestifs

Les investigations primordiales suggèrent des défauts de la ration alimentaire.

- 1) Quelle maladie suspectez-vous ?
- 2) Quelles sont les phases d'évolution de cette maladie ?
- 3) Quelles sont les corrections ou les traitements que vous proposez, dans ce cas ?

Exercice n°2:

Un lot de 10 vaches de race HOLSTEIN Hautes Productrices, produisant ± 40 L de lait/j, avait reçu 7 jours après la mise-bas une ration journalière totale composée de : 100 kg de maïs broyé+ 50 kg de betteraves. Après 12 jours de pratique de ce régime, 3 vaches ont présenté les signes cliniques suivants :

- ✓ Diarrhée profuse puis déshydratation prononcée
- ✓ 2 parmi ces trois vaches, sont mortes après 24 h de l'apparition des premiers symptômes

- ✓ 4 autres vaches ont présenté des météorisations chroniques (excès gaz dans le rumen) après 3 semaines.

Les investigations primordiales suggèrent des défauts de la ration alimentaire.

- 1) Quelle maladie suspectez-vous ?
- 2) Quelle sont les phases d'évolution de cette maladie ?
- 3) Quelles sont les corrections ou les traitements que vous proposez, dans ce cas ?

Solutions du TD 6

Exercice n°1:

1) Diagnostic :

Cette pathologie s'appelle l'**acétonémie** ou **cétose** et touche principalement les vaches laitières à forte production (Voir Chapitre 3).

2)Pathogénie de l'acétonémie (Voir Chapitre 3).

Schématiquement, on peut résumer le mécanisme de l'acétonémie de la façon suivante : la lactation étant prioritaire sur le plan physiologique, l'animal mobilise ses réserves corporelles, c'est-à-dire ses graisses, pour combler le déficit énergétique. Un certain amaigrissement s'opère donc en début de lactation. Si le déficit en énergie est fort important, par exemple lors de l'administration d'une ration très peu énergétique, la mobilisation est massive et entraîne la formation de corps cétoniques, des composés chimiques utilisés comme source d'énergie par la vache, mais qui sont toxiques pour l'animal lorsqu'ils sont produits en excès. L'acétonémie se caractérise donc par une accumulation de corps cétoniques dans le sang. Elle s'observe la plupart du temps entre la 3ème et la 6ème semaine après le vêlage, et les animaux atteints présentent une note d'état corporel plutôt faible.

3) Corrections proposées :

- Traitement d'urgence pour la vache : apport de solutions glucosées par voie intraveineuse.
- Corrections de la ration : il faut respecter le niveau de production et le poids de la vache.
 - Ration actuelle : 6 kg d'herbe verte+ 5 kg de maïs : **déficit évident en M.S.**
 - Donc la ration doit contenir au moins **17 kg de MS/Jour.**

Exercice n°2:**1) Diagnostic:**

- ✓ **Acidose aiguë** pour les 3 vaches présentant des signes de diarrhée profuse puis déshydratation prononcée.
- ✓ **Acidose chronique** pour les 4 vaches présentant des signes de météorisations chroniques.

2) Pathogénie (Voir Chapitre 3)

L'augmentation de la quantité d'amidon dans la ration *via* les concentrés (maïs broyé et betteraves) au détriment des fourrages a en effet pour conséquences une production rapide d'AGV et une production moindre de salive (rôle tampon) qui conduisent à une chute du pH ruménal, et donc à une augmentation du risque d'acidose. La capacité d'absorption des AGV est proportionnelle au nombre et à la longueur des papilles du rumen, et ces caractéristiques dépendent du régime alimentaire distribué pendant la période de tarissement : un régime riche en fibres et pauvre en énergie provoque une diminution du nombre et de la taille des papilles du rumen, et donc, une diminution de la capacité d'absorption de celui-ci. Après la réintroduction d'un régime riche en énergie, il faut compter 4 à 5 semaines pour que les papilles récupèrent un développement maximal. Une transition brutale ne laisse donc pas le temps aux papilles de s'adapter, et augmente de ce fait le risque d'acidose.

3) Corrections proposées :

- Alcaliniser le contenu du rumen par la carbonate ou bicarbonate de calcium
- Antibiothérapie à large spectre (Tétracyclines)+corticoïdes+ méthio-B12
- Diminuer l'apport énergétique (glucides hautement fermentescibles) selon les besoins et incorporer des fourrages dans l'alimentation pour tamponiser le pH ruménal.

T D 7 : Calcul des besoins énergétiques et azotés spécifiques chez les bovins**Problématique :**

Les matières azotées sont, par l'intermédiaire des acides aminés, parmi les molécules les plus impliquées dans les processus vitaux essentiels tels que la croissance, la régulation hormonale, les sécrétions enzymatiques et les processus d'hérédité. Il est donc nécessaire de leur accorder une place importante dans l'alimentation animale en raison, notamment, du rôle indispensable que jouent certains acides aminés indispensables. L'organisme animal renferme de 15% à 20% de matières azotées.

Prenons quelques exemples en utilisant les données de ce tableau :

Tableaux 9 : Calcul des besoins énergétiques et azotés des bovins (VL et veaux en croissance) (Cuvelier et Dufrasne, 2014).

Types de besoins	Besoins quantitatifs /j	
	Energétiques ; UF	Azotés g de PDI
Entretien	$1.4+0.6 \times Pv/100$	$100+ Pv/2$
Production	0.44 UF/kg de lait	48 g/kg de lait
Croissance	3.5 UF / kg croît	250 g/ kg croît
7 ^{ème} mois de gestation	1 UF	80g
8 ^{ème} mois de gestation	2 UF	130 g
9 ^{ème} mois de gestation	3 UF	200 g
Pv=Poids vif (kg)		

Exercice n°1: en utilisant les données du Tableau 1 :

Calculez les besoins d'entretien et de production (énergétiques et azotés) pour une vache non gravide, en 3^{ème} lactation pesant **680 kg** et produisant \pm **11 kg** de lait/j ?

Exercice n°2: en utilisant les données du Tableau 1 :

Calculez les besoins (énergétiques et azotés) d'une génisse pesant **520 kg**, en 7^{ème} mois de gestation et dont le **GMQ= 60 g/j** ?

Exercice n°3: en utilisant les données du Tableau 1 :

Calculez les besoins (énergétiques et azotés) d'une vache multipare pesant **730 kg**, tarie et en 9^{ème} mois de gestation ?

Exercice n°4: en utilisant les données du Tableau 1 :

Calculez les besoins (énergétiques et azotés) d'un veau pesant **80 kg**, dont le **GMQ= 180 g/j** ?

Exercice n°5: en utilisant les données du Tableau 1 :

Calculez les besoins (énergétiques et azotés) d'une vache non gravide pesant **580 kg**, destinée à la réforme après une sclérose définitive et totale de la glande mamelle ?

Solutions du TD 7

Exercice n°1 :

Types de besoins	Besoins quantitatifs /j	
	Energétiques ; UF	Azotés g de PDI
Entretien	$1.4+0.6 \times 680/100=5.48$ UF	$100+ 680/2= 440$ g/j
Production	0.44 UF/kg de lait $\times 11=4.84$	48 g/kg de lait $\times 11=528$
Croissance=0	0	0
Gestation=0	0	0
Total	10.32 UF	968 g/j
Pv=680 (kg)		

Exercice n°2 :

Types de besoins	Besoins quantitatifs /j	
	Energétiques ; UF	Azotés de PDI g/j
Entretien	$1.4+0.6 \times 520 /100= 4.52$ UF	$100+ 520 / 2= 360$ g/j
Production=0	0	0
Croissance	0.21 UF	15 g/j
7 ^{ème} mois de gestation	1 UF	80 g/j
Total	5.73 UF	455 g/j
Pv= 520 (kg)		

Exercice n°3 :

Types de besoins	Besoins quantitatifs /j	
	Energétiques ; UF	Azotés de PDI g/j
Entretien	$1.4+0.6 \times 730/100= 5.78$ UF	$100+ 730/2=465$ g/j
Production=0	0	0
Croissance=0	0	0
9 ^{ème} mois de gestation	3 UF	200 g/j
Total	8.78 UF	665 g/j
Pv=730 (kg)		

Exercice n°4 :

Types de besoins	Besoins quantitatifs /j	
	Energétiques ; UF	Azotés g de PDI
Entretien	$1.4+0.6\times 80/100=1.88$ UF	$100+ 80/2=140$ g/j
Production =0	0	0
Croissance	0.63 UF	45 g/j
Gestation=0	0	0
Total	2.51 UF	185 g/j
Pv=80 (kg)		

Exercice n°5 :

Types de besoins	Besoins quantitatifs /j	
	Energétiques ; UF	Azotés g de PDI
Entretien	$1.4+0.6\times 580/100=4.88$ UF	$100+ 580/2= 390$ g/j
Production =0	0	0
Croissance	0	0
Gestation=0	0	0
Total	4.88 UF	390 g/j
Pv=580 (kg)		

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- 1.AFNOR (1993).**Contrôle de la qualité des produits alimentaires : laits et produits laitiers ; analyses physicochimiques. NF EN ISO 1211 ; détermination de la MG du lait. Paris la défense : Agence Française de Normalisation, 4ème Edition. 581 p. 7. AFNOR (1993).Contrôle de la qualité des produits alimentaires : laits et produits laitiers ; analyses physicochimiques. NF V04 207 ; détermination de la MS du lait. Paris la défense : Agence Française de Normalisation, 4ème Edition. 581 p
- 2.AFSSA (2004).**Evaluation des besoins nutritionnels des animaux en vitamines A, D et E ainsi que des risques pour la santé animale et la santé du consommateur, liés à des apports élevés chez les animaux producteurs d'aliments. Rapport vitamines A D E – janvier 2004.77 p.
- 3.Anonyme (2012).**Catalogue II Funke-Gerber des instruments de laboratoire d'analyse du lait. FunkeDr.N.Gerber Labortechnik GmbH.Ringstrabe 42-12105-Berlin. 293 p. Disponible sur <http://www.Funke-gerber.de>
- 4.Anonyme (2004).**Cours d'alimentation.Chapitre 1- Quelques rappels.50 p.
- 5.Anonyme (2008).**Les minéraux dans la nutrition animale.Book Chapter.25 p.
- 6.Araba A.(2006).**L'alimentation de la vache laitière pour une meilleure qualité du lait : comment augmenter le taux butyreux et protéique du lait. Bulletin mensuel de liaison et d'information du PNTTA. Transfert de Technologie en Agriculture. MADR/DERD, N° 142.
- 7.Auza, N.(1983).** Le cuivre chez les ruminants : Une revue. Annales de Recherches Vétérinaires, 1983, 14 (1), pp.21-37. fahal-00901397
- 8.Baumont R., Aufrère J., Meschy F. (2009).**La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation.Fourrages , 198,pp ; 153-173.
- 9.Biston R., Dardenne P. (1985).** Application de la Spectrophotométrie de Réflexion dans le Proche Infrarouge. Préviation de la qualité des fourrages en vue de leur exploitation rationnelle, Bull. Rech. Agron.Gembloux. vol. 20 (1/2): 23-35.
- 10.Bonnier P., Maas A., Rijks J. (2004).**L'élevage des vaches laitières.2ème édition, Fondation Agromisa, 87 p.
- 11.Bony J., Contamin V., Gousseff M., Metais J., Tillard E., Juanes X., Decruyenaere V., et Coulon J.B.(2005).** Facteurs de variation de la composition du lait à la réunion. INRA Prod.Anim., 18 (4), p: 255-263.
- 12.Casse JP. et Delbouys P.(2000).**Ministère de l'agriculture et de la pêche (France).Alimentation des animaux domestiques.71 p.
- 13.Cécile D.(2001).**Vitaminothérapie chez les volailles.Première partie : Vitamines et carences vitaminiques.Thèse de Doctorat vétérinaire.Toulouse France.169 p.
- 14.Chapuis P.(1991).** Les oligo-éléments en médecine et biologie, Lavoisier, Tec &Doc, Edition Médicales internationales , Paris sedex , 684 p.
- 15.Cuvelier C. et Dufrasne I. (2014).**L'alimentation de la vache laitière. Aliments, calculs de ration, indicateurs d'évaluation des déséquilibres de la ration et pathologies d'origine nutritionnelle. Livret de l'agriculture-Université de Liège.105 p.
- 16.Duchadeau, Cécile.(2001).**Vitaminothérapie chez les volailles.Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 166 p. <https://oatao.univ-toulouse.fr/603/>

17. **Férard A., Couffignal M., Carel Y., Kardacz P.(2015)**. Analyse technique et économique de l'utilisation d'enrubannage ou d'ensilage de graminées et de légumineuses pour la finition des bovins. Renc. Rech. Ruminants, 22.
18. **Gourreau J.M., Bendali F.(2008)**. Maladies des bovins. 4^{ème} Ed. Paris (France), Editions France Agricole. 797 p.
19. **Institut de l'élevage (France)**. Guide pratique de l'alimentation du troupeau bovin laitier .Hors Série. 8 p.
20. **INRA (1984)**. Alimentation des bovins. Edition ITEB 42, 43, pp 129-190.
21. **INRA (1988)**. Alimentation des bovins, ovins et caprins, INRA Editions, Versailles. 315 p.
22. **INRA (1978)**. Tableaux de la valeur nutritive des aliments. In Alimentation des ruminants. Ed. INRA Publications, route de Saint Cy, 78000 versailles, pp. 519-555.
23. **INRA (1981)**. Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages. In : Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Ed. INRA Publications, route de Saint Cyr, 78000 Versailles, pp. 363-549.
24. **INRA (2007)**. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Edition Quae. 315 p.
25. **Jarrige R., Demarquilly C., Duphy J.P., (1973)**. L'ingestibilité des fourrages : Ses variations et ses conséquences. Rapport présenté à la 5^{ème} assemblée générale de la fédération européenne des herbages.
26. **Jarrige R., (1980)**. Principe de la nutrition et de l'alimentation des ruminants. In Besoins alimentaires des animaux, valeur nutritive des aliments. 413 P.
27. **Jarrige R., (1988)**. Alimentation des bovins, ovins, caprins, INRA. Paris. 426 p.
28. **Julian K.(2007)**. Rationnement de la vache laitière. Travaux pratiques de Nutrition animale Séquence 1. 25 p.
29. **Kayoueche F.Z. (2001)**. Relation condition d'élevage – profils métaboliques des vaches laitières et impact dans la filière lait dans la région de Constantine. Magister en nutrition appliquée, Université de Constantine, 212 p.
30. **Labarthe, C. (2012)**. Carence et toxicité des vitamines chez les reptiles et les petits mammifères de compagnie. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2012, 138 p. https://oatao.univ-toulouse.fr/5962/1/labarthe_5962.pdf
31. **Lamand, M., Simone Périgaud.(1973)**. Carences en oligo-éléments chez les ruminants en France : éléments d'enquête obtenus dans la pratique vétérinaire. Annales de Recherches Vétérinaires, 4 (4), pp.513-534. fhal-00900780f
32. **Martial J.P., Copin Y.(1987)**. Niveau de complémentation des foins pour les vaches laitières. In: « Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation ». INRA Paris, 463-469.
33. **Marie Viel (2018)**. Développement de composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments. Matériaux. Université Rennes 1, 2018. Français. NNT : 2018REN1S122. tel-02377632 . (17) (PDF) Développement de composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments. Available from: https://www.researchgate.net/publication/337561742_Developpement_de_composites_bio-sources_destines_a_l%27isolation_des_batiments [accessed Dec 26 2023].
34. **Maxin G., Glasser f., Rulquin H.(2008)**. Prédire les variations de la matière grasse du lait de vache à partir des variations de flux digestifs, consécutives à des changements d'alimentation. Renc. Rech. Ruminants, 15.
35. **Meschy F., Guengen L(1995)**. Ingestion et absorption des éléments minéraux majeurs. In Jarrige R., Ruckebusch Y., Demarquilly C., Farce M.-H., Journet M. (éd.) : Nutrition des ruminants domestiques, Paris, Inra Éditions: 720-758.
36. **Meschy, F. (2010)**. Nutrition minérale des ruminants, 2010. Edition Quæ, Versailles, 208 p.
37. **Meziane T. (2004/2005)**. Cours d'alimentation et nutrition animale. 2^{ème} année sciences vétérinaire. Université Hadj Lakhdar. Batna. 140 p.

- 38.Nedjraoui D. (2001).** Profil fourrager. FAO, disponible on-line sur :
<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/counprof/PDF%20files/AlgeriaFrench.pdf>.
- 39.Pastrana R, McDowell L R, Conrad J H and Wilkinson N S (1991b).** Mineral status of sheep in the Paramo region of Colombia. II Trace minerals. Small Ruminant Research (1991) 5, p 23–34.
- 40.Payne, J.M.(1983).** Maladies métaboliques des ruminants domestiques. Imprimerie du Point Vétérinaire. Maisons Alfort, France. 190p.
- 41.Poncelet JL.(2006).** Les bases de l'alimentation. Fiche n 99: Ovins. Commission ovine. 29 p.
- 42.Roudaut H., et Lefrancq É. (2005).** Alimentation théorique, Édition : Doin, France, 303 p.
- 43.Secchiari P., Conte G., Mele M., Serra A.(2009).** A propos des acides gras du lait des vaches de race Holstein Italienne et Brune Italienne. Renc. Rech. Ruminants, 16.
- 44.Soltner D., (2001).** La reproduction des animaux d'élevage. Tome 1. Editions Sciences et Techniques Agricoles. Près D'Angers-Maine-Et-Loire. France. 3ème Edt. 224 p.
- 45.Srairi M.T., Hasni Alaoui I., Hamama A. et Faye B.(2005).** Relations entre pratiques d'élevage et qualité globale du lait de vache en étables suburbaines au Maroc. Rev. Méd. Vét., 156, 3 ; 155-162.
- 46.Tlidjane M., Alloui N., Deghnouche K., Alloui O.(2004).** Cas de cétose subclinique en Algérie. Renc. Rech. Ruminants, 11.
- 47.Zaaijer et Noordhuizen.(2003).** A novel scoring system for monitoring the relationship between nutritional efficiency and fertility in dairy cows. Irish veterinary Journal, 56 (3).

WEBOGRAPHIE

- 48.ALTER EQUUS.(2014).** Le fonctionnement du système digestif.
http://alter-equus.org/files/2014/05/Logo_web.png
- 49.An Eekeren, N., Maas, A., Saatkamp, H., & Verschuur, M. (2004).** L'aviculture à petite échelle dans les zones tropicales. (éd. Fondation Agromisa). (Digigrafi, Éd.) Wageiningen, Pays-bas
 (18) (PDF) *Caractérisation des poulets locaux au Niger: Etude biométrique et phanéroptique des poulets Kolonto en Station..* Available from:
https://www.researchgate.net/publication/362761468_Caracterisation_des_poulets_locaux_au_Niger_Etude_biometrique_et_phaneroptique_des_poulets_Kolonto_en_Station [accessed Jan 01 2024].
- 50.Anonyme.(2023).** Calculatrice de conversion matière sèche en matière brute. Conseil en Agriculture.
<https://conseilenagriculture.fr/wp-content/uploads/2023/06/composition-fourrage-300x278.jpg>
- 51.Anonyme (2015).** Facteurs de rentabilité de la ration alimentaire chez la vache laitière.
- 52.Auvray, I. (2020).** Le transport ionique au travers de la membrane. CM et TD. La Rochelle Université. France. <https://pod.univ-lr.fr/video/1060-cm-et-td-tlde2-n-imberty-auvray/>
- 53.Deshager N. (2022).** Soccer field. Photos stock AZOTE LIBRARY.
<https://www.azotelibrary.com/en/image/soccer-field/3907>
- 54.Dico du lait (2022).** Digestion des vaches. 152 définitions.
<https://dico-du-lait.fr/wp-content/uploads/Digestion-des-vaches.png>
- 55.Difagri (2022).** L'importance des aliments complémentaires pour les bovins en élevage.
<https://www.difagri.fr/>
- 56.Encyclopédie du Larousse (2023).** Le trajet des aliments lors de la rumination.
<https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Rumination/1002070>

- 57.FAO. (1997).CHAPTER IX : Dry crop residues. <https://www.fao.org/3/X7660E/x7660e0d.htm>.
- 58.Lebas F. (2021).Biologie du lapin. 4ème chapitre de la Biologie du lapin consacré à la digestion et au comportement alimentaire.www.CUNICULTURE.info
- 59.Maria, E.D., & Mousques, C. (2012). Microbiote et maladie de Crohn : états des lieux en 2011 : place du pharmacien dans la prise en charge. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00667010/document>
- 60.Maxicours .(2023).Anatomie de l'appareil digestif du lapin. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.maxicours.com%2Fse%2Fcour%2Fl-appareil-digestif>
- 61.Milestones Building and Design (2021).Industrial Fabric Covered Buildings.Grain, Hay Storage Photo Gallery. <https://mbdbuildings.com/20-fabricbuildings-agriculturalhaygrainfeedstorage-images.htm>
- 62.Monette, S.(2017).Métabolisme chez les ruminants.<https://docplayer.fr/66182131-Metabolisme-chez-les-ruminants.html>
- 63.Poulailler bio.(2023).Appareil digestif de la poule. <https://i0.wp.com/poulailler-bio.fr/wp-content/uploads/2015/11/Appareil-digestif-de-la-poule.jpg>
- 64.Ruminant digestive system (2023).Le processus de fermentation dans le rumen. _____ <https://ruminantdigestivesystem.com/fr/sante-rumen/rumen-fermentation/>
- 65.Sawant, A. (2023). Growing Hydroponic Fodder Step By Step Guide (7 Days). [https://agricultureguruji.com/hydroponic-fodder/\(August 26, 2023\)](https://agricultureguruji.com/hydroponic-fodder/(August%2026,%202023)).
- 66.Segarra, J. (dir.), E. Chauvet, C. Colson-Proch, M. Huille, M. Labrousse, F. Louet, F. Metz & E. Piètre (2014). Biologie BCPST 1re année. Ellipses, Paris.900 p. <https://www.editions-ellipses.fr/accueil/9241-biologie-bcpst1-conforme-au-nouveau-programme-2013-9782729885373.html>
- 67.Suthar RS.(2021).Student à College of Veterinary Sciences, LLRUVAS,Hisar.Functional development rumen. https://pt.slideshare.net/ramsaarooop1/functional-development-of-rumen?next_slideshow=true
- 68.Web-agri.(2023).Sorgho fourrager.<https://www.web-agri.fr/sorgho-fourrager/t912?page=2>
- 69.Wikipedia.(2023).Ensilage.<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fahrsilo.JPG?uselang=fr>
-

