

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université ibn Khaldoun de Tiaret

Institut des sciences vétérinaires

Département de santé animale



Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

De docteur vétérinaire

Sous le thème

L'AMELIORATION DE LA PRODUCTION LAITIERE A BASE

NATURELLE

Présentés par :

Mr Bakel Miloud

Mr Dardabou Oussama

Encadré par :

P^r Benallou Bouabdellah

Année universitaire :2018 - 2019

Avant tout, je remercie DIEU tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans mes études, et qui m'a donné courage et patience pour passer toute les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever ce travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements :

A notre encadreur Professeur BENALLOU Bouabdellah de l'institut vétérinaire de Tiaret qui a accepté de nous encadrer et de nous aider à finaliser ce travail. Qu'il voit dans cet aboutissement le témoignage de notre gratitude.

A Monsieur BENALLOU Bouabdellah directeur de l'institut vétérinaire de Tiaret.

Et plus personnellement :

A nos parents, pour leur confiance et leurs soutiens au quotidien et qui ont sacrifié leur jeunesse et qui n'ont jamais su dire non pour subvenir à nos besoins au cours de nos études, ce travail n'existerait sans vous par ce que vous avez veillé nos nuits et vous avez tous fait pour nous voir un jour réussir ; qu'il soit le témoignage de mon amour le plus sincère.

A nos sœurs et frères qui nous ont toujours entourés. L'occasion de leur témoigner à nouveau nos sentiments.

Enfin, on dédie ce modeste travail à notre promotion 2019.

Figure 1: Composition et analyse de laboratoire des aliments.	12
Figure 2: Vue générale du métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière.....	15
Figure 3: Basic structure of triglycerides. The radicals (R1, R2, and R3) are made of a carbon chain with variable lengths and degrees of saturation.....	19
Figure 4: Vue générale du métabolisme lipidique chez la vache.....	23
Figure 5: Vue générale du métabolisme protéique chez la vache laitière	26

Tableau 1: Utilisation de différentes sources d'énergies et de protéines chez le ruminant et le non-ruminant	4
Tableau 2: Minéraux nécessaires dans la ration des ruminants ainsi que leur symbole chimique.....	11
Tableau 3: Acides gras volatiles produits durant la fermentation ruminale	16
Tableau 4: Acides gras libres communs dans la ration des vaches laitières.	20
Tableau 5: Composition (%) et digestibilité intestinale (%) de l'azote microbien1	26
Tableau 6: Quantité de concentrés à offrir aux vaches en fonction du niveau de production et de la qualité du fourrage dans la ration1.....	36

Sommaire

Remerciements I

Liste des illustrations II

Liste des tableaux III

Introduction 1

Chapitre I : Généralité

I.1. les races bovines exploitées en Algérie : 2

I.1.1. la race améliorée : BLA..... 2

I.1.2. La race moderne : BLM..... 2

I.1.3. la race locale : BLL 2

I.2. Les systèmes d'élevage bovin en Algérie : 3

I.2.1. Le système d'élevage extensif : 3

I.2.2. Le système d'élevage intensif 3

I.3. Répartition du cheptel bovin national : 3

I.3.1. Répartition du cheptel bovin selon les secteurs juridique : 3

I.3.2. Répartition du cheptel bovin par zone agro écologiques..... 3

I.4. Digestion chez la vache laitière 3

I.4.1. Adaptation a l'utilisation des fibres et l'azote non-protéique5

I.4.2. Les quatre estomacs.....	5
I.4.2.1. Le rumen (la panse) et le réticulum (le réseau):.....	5
I.4.2.2. L'omasum (le feuillet):.....	6
I.4.2.3. Les Bactéries du rumen.....	6
I.4.3. Les organes du tractus digestif et leurs fonctions.....	6
I.4.3.1. Bouche (ruminantion et production de salive).....	6
I.4.3.2. Réticulo-rumen (fermentation).....	7
I.4.3.3. Omasum (recyclage de certains nutriments).....	7
I.4.3.4. Abomasum (digestion acide).....	7
I.4.3.5. Petit intestin (digestion et absorption).....	7
Résumé.....	7
I.4.3.6. Caecum (fermentation) et le gros intestin (formation des fèces).....	7

Chapitre II : Alimentation et nutrition

II.1. Composition et analyse des aliments.....	9
II.1.1. introduction.....	9
II.1.2. Composition des aliments.....	10
II.1.2.1. L'eau et la matière sèche.....	10
II.1.2.2. La matière organique et minérale.....	10
II.1.2.2.1. La matière sèche.....	10

II.1.2.2.2.Les minéraux	11
II.1.2.2.3.L'azote	12
II.1.2.2.4.Les matières lipidiques	13
II.1.2.2.5.Les vitamines.....	14
II.2.Métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière.....	14
II.2.1.Types d'hydrates de carbone.....	14
II.2.2.Les acides gras volatils	16
II.2.3.Production de glucose dans le foie.....	17
II.2.4.Synthèse du lactose et des matières grasses dans le pis	17
II.2.5.Influence de la ration sur la fermentation ruminale et la production laitière.....	17
II.3.Métabolisme des lipides chez la vache laitière	19
II.3.1.Types de lipides.....	19
II.3.2.Hydrolyse et saturation des lipides dans le rumen.....	21
II.3.3.Absorption des lipides	21
II.3.4.Utilisation des lipides par le pis	22
II.3.5.Le rôle du foie et la mobilisation des tissus adipeux.....	24
II.3.6.Addition de lipides dans la ration	24
II.4.Métabolisme protéique chez la vache laitière.....	25
II.4.1.Introduction	25

II.4.2. Transformation des protéines dans le rumen	25
II.4.3. Métabolisme dans le foie et recyclage de l'urée.....	27

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

Introduction.....	29
III.1. Fourrages.....	29
III.2. Graminées et légumineuses	30
III.3. Concentre	32
III.3.1 Exemples de concentrés	33
III.3.1.1. Les graines de céréales	33
III.3.1.2. Les sous-produits des brasseries	33
III.3.1.3. Les racines et tubercules	33
III.3.1.4. Les sous-produits de l'industrie du sucre	33
III.3.1.5. Les farines ou tourteaux des oléagineux	34
III.3.1.6. Les semences de légumineuses	34
III.3.1.7. Les sous-produits des laiteries et fromageries	34
III.4. Minéraux et vitamines.....	34
III.5. Une ration équilibrée.....	35
III.5.1. la qualité des fourrages.....	35
III.5.2. le besoin en énergie de la vache.	35

III.5.3.le prix des concentrés.....	37
III.6.Quantité de concentres a offrir	38
III.7.Ingrédients et pourcentage de protéines dans le mélange concentre	39
III.8. Les indicateurs pratiques pour l'évaluation des déséquilibres de la ration	40
III.8.1. Les indicateurs à observer	40
III.8.2. La note d'état corporel.....	40
III.8.3. Le score de remplissage du rumen.....	41
III.8.4. La rumination	41
III.8.5. Les matières fécales	42
III.8.6. La production laitière	43
III.8.7. Le nombre de maladies métaboliques	43
III.8.8. L'urée du lait	43
III.8.9. Le taux butyreux	44
III.8.10. Le taux protéique.....	47
III.9. Les principales pathologies d'origine nutritionnelle et leur prévention	48
III.9.1. La fièvre de lait	48
III.9.2. L'acétonémie	48
III.9.3. L'acidose subaigüe du rumen.....	49
Conclusion	51

Introduction

Par rapport aux autres animaux laitiers, les bovins présentent de nombreux avantages en termes de facilité de traite, de taille de la mamelle, de capacité de stockage du lait et de rendement laitier. En fait, le lait de vache constitue la plus grande part de la production mondiale de lait. Il y a beaucoup plus de vaches laitières dans les pays en développement que dans les pays développés, mais les animaux dans les pays en développement ont souvent des rendements laitiers plus faibles et des périodes de lactation plus courtes. Les faibles performances dans les petites exploitations laitières des pays en développement sont le résultat de plusieurs facteurs tels que le climat (température ambiante et humidité élevées), les fourrages de qualité médiocre, les rations alimentaires faiblement complémentées avec des concentrés, le faible potentiel génétique des animaux polyvalents pour la production laitière (en plus du lait et de la viande, ces bovins servent aussi pour la traction animale), et l'incidence élevée des maladies.

Chapitre I : Généralité

I.1. les races bovines exploitées en Algérie :

Le cheptel bovin est constitué de trois races de vaches laitières suivantes :

I.1.1. la race améliorée :

C'est une population issue de croisement de la race locale avec les races importées. En l'an 2000, le BLA représentait 74,31% de l'effectif national et assurait environ 30,74% de la production locale totale de lait de vache. Cette race est détenue en majeure partie par le secteur privé. Elle est localisée essentiellement dans les zones potentielles de production fourragères, au niveau des plaines et des périmètres irrigués.

I.1.2. La race moderne :

Contrairement au bovin local amélioré, le bovin laitier moderne n'a subi ni croisement, ni métissage, il désigne les individus de la race étrangère, importés principalement d'Europe (*la Holstein, la Montbéliarde, pie noire...*) et pouvant s'adapter aux différentes zones d'élevage locales telles que les régions du centre comme la Mitidja, Chlef, les régions de l'Est notamment Annaba les régions de l'Ouest, Maghnia, Tlemcen et Saida. Elle est conduite en semi intensif, détenue en grande partie par le secteur public. En l'an 2000, le BLM représentait 25,69% de l'effectif national et assurait environ 69,26% de la production locale totale de lait de vache.

I.1.3. la race locale :

C'est une race autochtone ayant la qualité de résistance et d'adaptation aux conditions difficiles du milieu des monts, assurant une production mixte, mal nourrie et mal logée, la vache locale est présentée comme une mauvaise laitière (3 à 4 litres/jour) avec une durée de lactation n'excédant pas les cinq mois. Elle procure l'autoconsommation familiale. La principale race bovine locale est la Brun de l'Atlas, elle a donné naissance à des rameaux tels que : la Guelma, la Cheurfa, la Sétifienne, la Chélifienne, la kabyle, la Tlemceniéenne, marqués par l'influence du milieu propre à chaque région. L'alimentation de ce cheptel est constituée par le pâturage des jachères, des parcours et des chaumes avec parfois une complémentation sous forme de paille. Cette race est retrouvée dans les zones potentielles de production fourragère au niveau des plaines.

I.2. Les systèmes d'élevage bovin en Algérie :

En Algérie, l'élevage bovin est pratiqué selon deux principaux modes de fonctionnement distincts : l'un dit traditionnel et qualifié de système mené en extensif, l'autre plus moderne et qualifié de système d'élevage intensif.

I.2.1. Le système d'élevage extensif :

Ce système de production est traditionnel, il concerne les ateliers privés de taille relativement réduite allant de 1 à 6 vaches, localisé dans les zones montagneuses et forestières basé sur des races améliorées et les races locales.

La production est destinée généralement à l'autoconsommation, les ventes sont dictées par les besoins de l'exploitation et loin des réalités du marché, il est qualifié de système d'autosubsistance.

I.2.2. Le système d'élevage intensif

La localisation de ce système se limite aux zones à pluviométrie importante (supérieur à 400mm), autrement dit le littoral, les périmètres irrigués et les zones périurbaines. Cette répartition est déterminée par les ressources fourragères elles même déterminées par celles de l'eau. L'élevage bovin intensif en Algérie (12 à 15%) a été orienté principalement vers la production laitière. Ainsi, les races qui composent ce type d'élevage sont exclusivement des bovins laitiers modernes d'importation exigeant un affouragement considérable en vert en continu et apport en concentré.

I.3. Répartition du cheptel bovin national :

I.3.1. Répartition du cheptel bovin selon les secteurs juridique :

Au point de vue répartition au niveau du territoire, le cheptel bovin se localise dans la partie nord du pays, détenu par les éleveurs privés en sa majeure partie. Selon les éleveurs du secteur privé détiennent 50 à 60% de l'effectif bovin laitier moderne de race pie noire et pie rouge en élevage de taille réduite, du fait de leur dimension faible, ils enregistrent des performances exceptionnelles.

I.3.2. Répartition du cheptel bovin par zone agro écologiques

La répartition du cheptel au point de vu territorial, il est présent en majeure partie dans le nord du pays. Cette répartition obéit à divers critères bioclimatiques et géomorphologiques. Elle présente des aspects différents selon les lieux considérés. Dans les plaines et les vallées nous retrouvons les races introduites (pie noire et pie rouge). Selon les races pures

Chapitre I : Généralité

Ont commencées à occuper une place importante dans le sud du pays (Bechar, Adrar...) durant les dix dernières années). D'après la revue l'élevage bovin est:

- Fortement présent dans la zone littorale et la zone tellienne du nord, représenté par 816000 têtes bovines dont 607000 femelles soit 70% de l'effectif national bovin total.

-La seconde zone où le cheptel bovin est concentré, est au niveau de la zone céréalière, dans la zone sub humide avec un effectif de 26,07% bovin femelle.

Selon; 58,84% du cheptel bovin est localisé à l'Est ; 22,10% au centre ; 23% à l'Ouest et 1% au sud.

I.4. Digestion chez la vache laitière

Les vaches laitières, ainsi que d'autres animaux tels que les moutons, les chèvres, les buffles, les chameaux et les girafes, sont des herbivores parce que leur alimentation est composée principalement de matières végétales. Certains herbivores sont aussi des 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. Cette activité, qui s'appelle rumination, fait partie du processus d'adaptation qui permet aux ruminants d'obtenir de l'énergie des parois cellulaires végétales, ou fibres alimentaires.

Tableau 1: Utilisation de différentes sources d'énergies et de protéines chez le ruminant et le non-ruminant.

	Exemple d'aliments	Non- ruminant (porcs)	Ruminant (vache)
L'ÉNERGIE			
Sucres simples	Mélasse	+	+
Amidon	Racines	+	+
Cellulose	Pailles	0	+/-
L'AZOTE			
ANP1	Urée	0	+
Protéine	Soya	+	+

I.4.1. Adaptation a 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 (Figure 1) permet aux ruminants d'extraire de l'énergie de la fibre.

Figure 1: Le système digestif de la vache est composé de quatre estomacs. Le rumen peut être comparé à un lac dont un coin est traversé par une rivière

ANP = azote non protéique
+ complète, +/- partielle, 0 nulle

L'azote dans la ration des non ruminants ne peut provenir que d'acides aminés préfabriqués et assemblés en protéines. Par contre, 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.

I.4.2. Les quatre estomacs

I.4.2.1. Le rumen (la panse) et le réticulum (le réseau):

Le rumen et le réseau 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 heures 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.

I.4.2.2. L'omasum (le feuillet):

Le quatrième estomac est l'abomasum. Cet estomac est similaire à celui des non ruminants. Il secrète 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 crût et s'est multipliée dans le rumen.

I.4.2.3. 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 et elles deviennent la source principale d'acides aminés pour la vache.

I.4.3. Les organes du tractus digestif et leurs fonctions

I.4.3.1. Bouche (ruminantion et production de salive)

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 heures par jour, mais moins de 30 litres si la ruminantion n'est pas stimulée (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.

I.4.3.2. Réticulo-rumen (fermentation)

Rétention de longues particules fibreuses qui stimulent la rumination et la salivation. Activité microbienne intense qui conduit à la production d'acides gras volatils (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. Les AGV sont utilisés comme source d'énergie dans les cellules du corps ainsi que pour la synthèse du lactose, des protéines et de la matière grasse trouvés dans le lait. Production et expulsion par éructation de plus de 1000 litres de gaz par jour.

I.4.3.3. Omasum (recyclage de certains nutriments)

Absorption de l'eau, du sodium, du phosphore et des AGV.

I.4.3.4. Abomasum (digestion acide)

Sécrétion de l'acide chlorhydrique et de nombreuses enzymes digestives. Digestion de protéines qui ont échappés à la fermentation ruminale et de la majorité des lipides. Digestion des protéines bactériennes produites dans le rumen (0.5 à 2.5 kg par jour).

I.4.3.5. Petit intestin (digestion et absorption)

Sécrétion d'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, acides aminés et acides gras).

I.4.3.6. Caecum (fermentation) et le gros intestin (formation des fèces)

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

Résumé

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, portage, etc.) et pour la synthèse d'aliments nutritifs et de saveur désirés par beaucoup d'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).

Chapitre I : Généralité

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) et en matières minérales (azote, phosphore et potassium)

Chapitre II :
Alimentation et nutrition

II.1.Composition et analyse des aliments

II.1.1.introduction

Les aliments contiennent des substances nutritives qui sont utilisées pour subvenir aux besoins des animaux. La plupart des aliments pour les vaches laitières consistent en tiges, feuilles, graines et racines de nombreuses plantes. Les vaches peuvent aussi être nourries avec des sous-produits industriels (farines ou tourteaux d'oléagineux, mélasses, drêches de brasseries ou distilleries, etc.) et leur ration doit souvent être complétée avec de petites quantités de minéraux et vitamines. Les aliments pour vaches sont souvent classifiés comme suit:

- **Fourrages**
- **Concentrés**
- **suppléments énergétiques**
- **suppléments protéiques**
- **suppléments minéraux et vitaminés.**

Quoiqu' arbitraire, cette classification est basée sur la richesse d'un aliment en substances nutritives qui servent pour le maintien, la croissance, la production, la reproduction et la santé de l'animal. Il y a cinq catégories de substances nutritives:

- **Eau**
- **Energie (hydrates de carbone, protéines, lipides)**
 - **provenant des fibres (celluloses)**
 - **provenant des sucres de réserves (amidons)**
- **Protéines (composés azotés)**
- **Minéraux**
- **Vitamines.**

Par exemple, les fourrages sont, en général, des aliments riches en fibres qui sont essentielles pour la santé de l'animal. Par contre, les concentrés sont en général riches en énergie

provenant des sucres de réserves mais pauvres en fibres. Les aliments peuvent aussi contenir des substances sans valeur nutritive (Figure 1). Certaines de ces substances ont des structures complexes qui sont indigestibles (par exemple, la lignine, les tannins) et elles peuvent interférer avec la digestion de certaines substances nutritives. En plus, certaines plantes et certains aliments mal conservés peuvent contenir des toxines détritantes à la santé de l'animal.

II.1.2. Composition des aliments

II.1.2.1. L'eau et la matière sèche

Lorsqu' un échantillon d'aliments est placé dans une étuve maintenue à 105°C pendant 24 heures, toute l'eau (H₂O) s'évapore et le résidu sec s'appelle la matière sèche (MS). Les aliments contiennent des quantités variables d'eau. Une jeune plante contient de 70 à 80% d'eau (c'est-à-dire, 20 à 30% de MS). Cependant, les semences ne contiennent pas plus de 8 à 10% d'eau (c'est-à-dire, 90 à 92% de MS). La quantité d'eau dans un aliment est en général peu importante. Les vaches laitières boivent de 4 à 5 kg d'eau par kg de MS ingérée. Cette eau doit être fraîche, propre et disponible à toute heure de la journée. A l'exception de l'eau, toutes les substances nutritives se trouvent dans la MS de l'aliment. La concentration d'une substance nutritive, comme par exemple la protéine, est en général exprimée sur base de la quantité de MS contenue dans l'aliment et non sur base de la matière fraîche (le poids de la MS et de l'eau que l'aliment contient) parce que: La quantité d'eau dans les aliments est variable et donc la concentration d'une substance nutritive apparaît moins variable lorsqu'elle est exprimée sur base de son contenu en MS. Ceci facilite la comparaison de la valeur nutritive de différents aliments. La concentration d'une substance nutritive exprimée sur base de la MS peut être comparée directement à la concentration recommandée dans la ration de la vache. Ceci donne une appréciation de la valeur d'un aliment pour subvenir au besoin de la vache.

II.1.2.2. La matière organique et minérale

II.1.2.2.1. La matière sèche d'un aliment contient de la matière organique et de la matière inorganique, ou minérale. Les composés qui contiennent du carbone (C), de l'hydrogène (H), de l'oxygène (O) et de l'azote (N) sont des composés organiques. Par contre, les autres éléments chimiques trouvés dans les aliments (calcium, phosphore, sodium, etc.,) font partie de la matière minérale. Lorsqu' un échantillon d'aliment est placé dans un four maintenu à 550°C pendant 24 heures, la matière organique est consumée et la matière résiduelle est minérale (cendres). Chez les plantes, le contenu minéral varie de moins de 1% à plus de 12%.

Chapitre II : Alimentation et nutrition

Les fourrages contiennent en général plus de minéraux que les concentrés. Les sous-produits animaux contenant des os peuvent contenir plus de 30% de minéraux (principalement le calcium et le phosphore).

II.1.2.2.2. Les minéraux sont souvent classifiés en deux classes: les macro minéraux et les micro minéraux (Tableau 1). Cette distinction est basée sur la quantité requise par l'animal. Les macros minérales sont nécessaires dans l'ordre d'une ou quelques dizaines de grammes par jour. Par contre, le besoin en micro minéraux ne dépasse pas les quelques milligrammes par jour. Certains minéraux sont connus pour leur effet négatif sur la digestibilité des aliments (par exemple, la silice). Nous devons enfin signaler que les besoins en certains minéraux

Tableau 2: Minéraux nécessaires dans la ration des ruminants ainsi que leur symbole chimique.

Macro Minéral	Symbole chimique		Macro Minéral	Symbole chimique
Calcium	Ca		Fer	Fe
Phosphore	P		Cuivre	Cu
Magnésium	Mg		Cobalt	Co
Sodium	Na		Manganèse	Mn
Potassium	K		Molybdène	Mo
Chlore	Cl		Zinc	Zn
Sulfure	S		Sélénium	Se
Iode	I			

comme par exemple le baryum, le brome et le nickel, sont encore incertains.

II.1.2.2.3. L'azote est présent dans les protéines et dans d'autres composés qui font partie de la matière organique. Les protéines sont composées d'une ou plusieurs longues chaînes d'acides aminés. La séquence des 20 acides aminés trouvés dans les protéines est déterminée par le code génétique. Cette séquence détermine la structure et la fonction de chaque protéine dans le corps. Certains acides aminés sont essentiels; ils doivent se trouver dans la ration parce que les cellules du corps ne savent pas les synthétiser. Par contre, d'autres acides aminés peuvent être synthétisés dans le corps; ils ne sont donc pas requis dans la ration.

Un chimiste danois, J. G. Kjeldhal, a développé en 1883 une méthode précise pour quantifier l'azote dans les aliments. En moyenne, les protéines contiennent 16% d'azote et le pourcentage de protéines dans un aliment est souvent calculé comme le pourcentage d'azote multiplié par 6,25 ($100/16=6,25$). Cette mesure s'appelle la protéine brute totale (PBT).

Chapitre II : Alimentation et nutrition

Cependant, il est rare que tout l'azote dans l'aliment soit sous forme de protéines. Donc, la PBT surestime souvent le pourcentage réel de protéine dans l'aliment. La PBT dans les fourrages varie de moins de 5% (résidus de cultures tels que les pailles) à plus de 20% (légumineuses de bonnes qualités). Les farines ou tourteaux des graines d'oléagineux (soya, tournesol, etc.) contiennent de 30 à 50% de PBT et les sous-produits d'origine animale (sous-produits d'abattoirs ou de poissonneries) contiennent plus de 60% de PBT.

Nutriments contenant de l'énergie d'un aliment qui peut être utilisée par un animal ne peut pas être déterminée par simple analyse de laboratoire mais plutôt par expérimentation animale. Dans le corps, le carbone (C), l'hydrogène (H) et l'oxygène (O) des hydrates de carbone, des lipides et des protéines peuvent être convertis en eau (H₂O) et dioxyde de carbone (CO₂) avec une libération d'énergie. La mégacalorie (Mcal) est une unité d'énergie commune, mais le joule (J) est l'unité officielle de mesure. Pour les vaches laitières, l'énergie est exprimée en Mcal d'énergie net de lactation (ENI). Cette unité représente la quantité d'énergie de l'aliment qui peut être utilisée pour l'entretien du corps et la production laitière. Par exemple, il faut 0,74 Mcal ENI pour produire 1 kg de lait et l'énergie dans les aliments varie de 0,9 à 2,2 Mcal ENI/kg de MS.

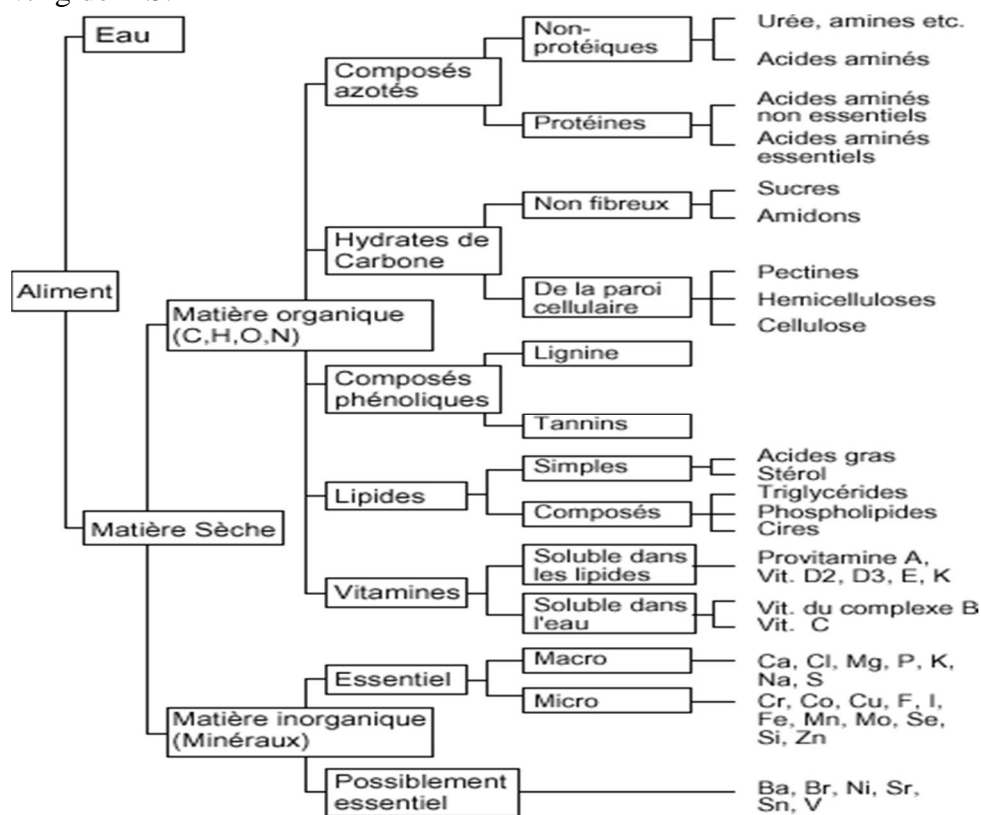


Figure 1: Composition et analyse de laboratoire des aliments.

II.1.2.2.4. Les matières lipidiques contiennent les lipides et d'autres substances (par exemple, des pigments) qui sont solubles dans les solvants organiques. Elles sont souvent mesurées par la méthode d'extraction à l'éther. Les lipides produisent environ 2,25 fois plus d'énergie que les hydrates de carbone. Cependant la grande majorité de l'énergie des fourrages et des concentrés provient des hydrates de carbone. Les aliments pour vaches contiennent, en général, moins de 5% de lipides, mais plus de 50 à 80% d'hydrates de carbone. Il y a trois classes majeures d'hydrates de carbone dans les plantes:

- Les sucres simples (glucose, fructose)
- Les sucres de réserve (amidon), aussi appelés hydrates de carbone "non-structuraux" ou non-fibreux
- Les sucres de la paroi cellulaire végétale (la cellulose et les hémicelluloses), aussi appelés hydrates de carbone fibreux, ou hydrates de carbone de structure.

Le glucose se trouve en forte concentration dans certains aliments (mélasses et lait écrémé). L'amidon est le composant principal des graines de céréales (froment, orge, avoine, maïs, etc.). La cellulose et les hémicelluloses se trouvent principalement dans la tige des plantes. L'amidon et la cellulose sont composés de longues chaînes de glucose. Dans l'amidon, le lien entre deux unités de glucose peut être rompu facilement, mais, dans la cellulose, ce lien résiste l'attaque des enzymes digestives. C'est grâce aux bactéries du rumen qui possèdent les enzymes requises que les unités de glucose peuvent être extraites de la cellulose chez le ruminant.

La cellulose et les hémicelluloses sont associées avec la lignine qui est un composé phénolique de la paroi cellulaire végétale. L'ensemble cellulose, hémicellulose et lignine s'appelle la fibre. La quantité de fibre dans la plante influence fortement sa valeur nutritive. En général, l'augmentation des fibres, typique du vieillissement des plantes, est associée à une diminution de la valeur énergétique de la plante. Les fibres sous forme de longues particules sont nécessaires dans la ration des vaches parce que:

Elles stimulent la rumination qui est essentielle pour le maintien d'une bonne digestion ruminale et pour la bonne santé de l'animal. Elles sont essentielles pour éviter une réduction de la quantité de matière grasse sécrétée dans lait. Dans de nombreux pays, la fibre brute est encore la méthode officielle pour mesurer le contenu en fibre d'un aliment, mais la fibre de détergent neutre (FDN) est une méthode de laboratoire récente qui permet de mesurer de

manière exacte la quantité de cellulose, d'hémicelluloses et lignine dans un aliment. Vu que le FDN est une structure volumineuse, plus un fourrage en est riche, moindre est la quantité de ce fourrage que la vache peut ingérer. Les sucres de la FDN sont fermentés lentement par les bactéries du rumen, mais le contenu cellulaire est en général fermenté rapidement. Le contenu en fibre de détergent acide (FDA) qui mesure la cellulose et lignine, est parfois utilisé comme un indicateur de la digestibilité d'un fourrage. Enfin, les sucres non fibreux (SNF) dans un aliment sont souvent estimés en supposant que ce qui n'est pas matière minérale (MM), matière lipidique (MM), protéines (PBT), et fibres (FDN) sont les SNF.

II.1.2.2.5. Les vitamines

L'analyse des **vitamines** dans un aliment n'est pas routinière; cela n'empêche que les vitamines sont essentielles pour maintenir une bonne santé. Les vitamines sont classées en deux groupes: celles qui sont solubles dans l'eau (les 9 vitamines du complexe B et la vitamine C) et celles qui sont solubles dans les lipides (b-carotène, ou provitamine A, et les vitamines D2, D3, E et K). Chez les vaches, les vitamines du complexe B ne sont en général pas nécessaires parce que les bactéries du rumen les synthétisent.

II.2. Métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière

II.2.1. Types d'hydrates de carbone

Les sucres ou hydrates de carbone sont les sources principales d'énergie et la base de la matière grasse et du sucre du lait (lactose). Les micro-organismes qui vivent dans le rumen permettent à la vache d'extraire de l'énergie des hydrates de carbone fibreux (cellulose et hémicellulose) qui sont emprisonnés dans la paroi cellulaire végétale (fibre). Les fibres sont retenues dans le rumen où elles sont fermentées lentement. Lorsqu'une plante vieillit, son contenu en lignine augmente et la quantité de cellulose et hémicellulose qui peut être fermentée diminue. Les fibres longues sont essentielles pour stimuler la rumination. La rumination, à son tour, favorise la fragmentation et la fermentation des fibres dans le rumen. De plus, elle stimule les contractions du rumen et y augmente le flux de salive. La salive contient du bicarbonate de soude et des sels phosphatés qui aident à maintenir l'acidité (pH) du rumen presque neutre. L'insuffisance de fibre dans la ration conduit à la production d'un lait pauvre en matière grasse et contribue à certains troubles digestifs (par exemple, déplacement de la caillette, acidose du rumen). Les hydrates de carbone non fibreux (amidon et sucres simples) sont fermentés rapidement et presque complètement dans le rumen. Ils augmentent la "densité" énergétique d'une ration, ce qui améliore la quantité d'énergie

Chapitre II : Alimentation et nutrition

disponible et la synthèse microbienne dans le rumen. Cependant, les hydrates de carbone non fibreux ne stimulent pas la rumination ni la production de salive. En excès dans la ration, ils peuvent avoir un effet négatif sur la fermentation des fibres et ils provoquent les mêmes symptômes que ceux dus au manque de fibres. Ainsi, l'équilibre entre les hydrates de carbone fibreux et non fibreux est un aspect important de l'alimentation de la vache laitière. La figure 1 montre la transformation des hydrates de carbone dans certains organes du corps. Chez la vache, le rumen, le foie, et la glande mammaire (le pis) sont les organes les plus importants qui participent au métabolisme des hydrates de carbone.

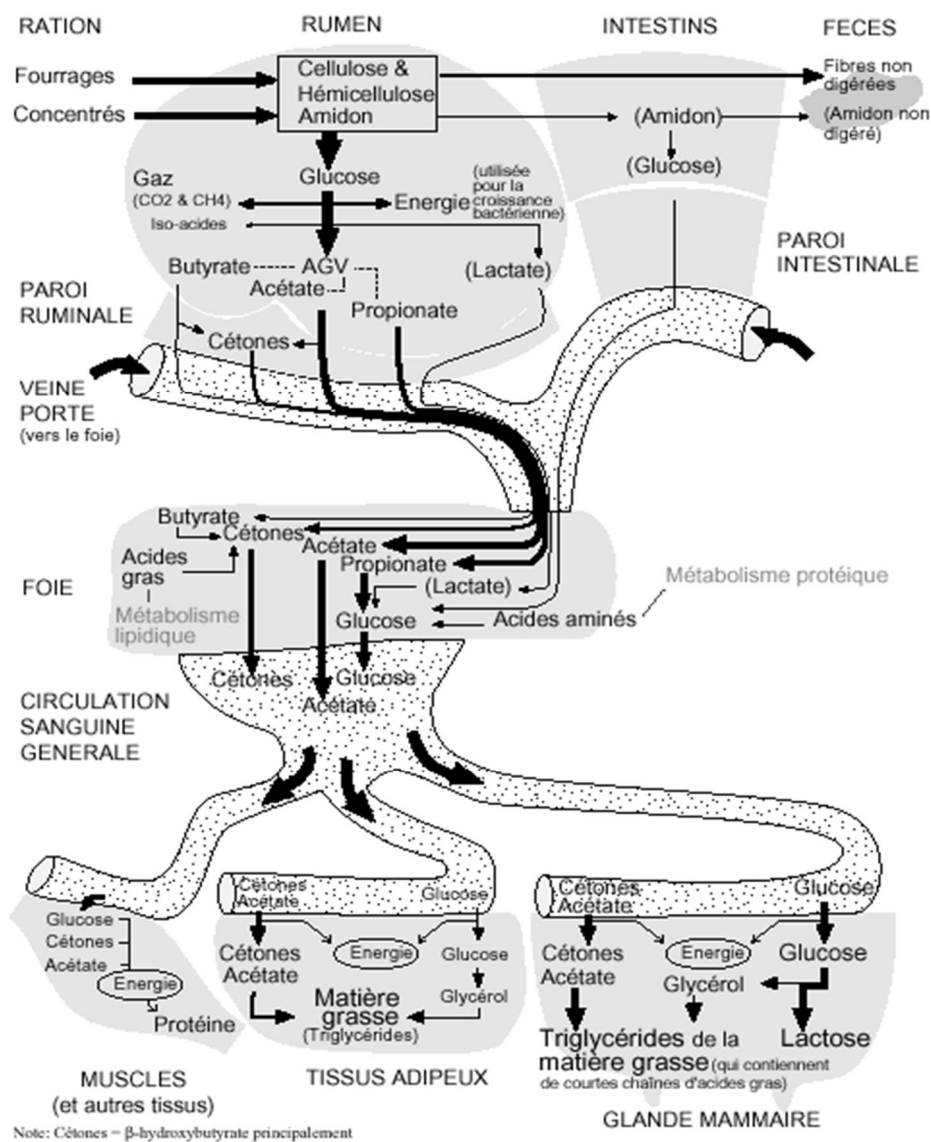


Figure 2: Vue générale du métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière.

II.2.2. Les acides gras volatils

Au cours de la fermentation ruminale, la population de micro-organismes (surtout les bactéries) fermentent les hydrates de carbone et produisent de l'énergie, des gaz (le méthane - CH₄ - et le dioxyde de carbone - CO₂), de la chaleur et des acides. **L'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique** sont les trois acides gras volatils (AGV) qui représentent plus de 95% des acides produits dans le rumen (Tableau 1). La fermentation de certains acides aminés produit des acides appelés "iso acides" ou "acides gras branchés". L'énergie et les iso-acides produits sont alors utilisés par les bactéries pour croître (c'est-à-dire former des protéines). Le CO₂ et CH₄ sont éliminés par éructation et l'énergie du CH₄ est perdue. A moins que la chaleur soit nécessaire pour maintenir la température du corps, la chaleur produite pendant la fermentation se dissipe. Les AGV qui sont les produits finaux de la fermentation bactérienne sont absorbés à travers la paroi ruminale.

Alors que presque tout l'acétate et tout le propionate sont transportés jusqu'au foie, la majorité du butyrate est converti dans la paroi du rumen en un corps cétonique appelé b-hydrox butyrate. Les corps cétoniques sont des sources d'énergie (matériel de combustion) pour de nombreux tissus dans le corps. Les corps cétoniques proviennent principalement du butyrate produit dans le rumen, mais en début de lactation, ils proviennent aussi de la mobilisation des réserves lipidiques corporelles.

Tableau 3: Acides gras volatiles produits durant la fermentation ruminale.	
Nom	Structure
Acétique	CH ₃ -COOH
Propionique	CH ₃ -CH ₂ -COOH
Butyrique	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -COOH

II.2.3. Production de glucose dans le foie

Normalement, tous les sucres sont fermentés dans le rumen et il n'y a pas de glucose absorbé au niveau intestinal. Tout le lactose sécrété dans le lait (à peu près 900 g lorsqu'une vache produit 20 kg de lait) doit être produit par le foie. Le propionate, le lactate et certains acides aminés sont à la base du glucose produit par le foie. Le lactate est un acide normalement formé en faible quantité dans le rumen. Il se trouve aussi dans les ensilages bien préservés. Ainsi, une ration à base d'ensilage complétementée avec des concentrés riches en amidon peut conduire à un excès de lactate dans le rumen. Ceci n'est pas désirable parce que le contenu du rumen devient acide, la fermentation des fibres s'arrête et, dans les cas extrêmes, la vache refuse d'ingérer sa ration (acidose ruminale). Lorsque la ration contient un excès de concentrés riches en amidon (céréales) ou une source d'amidon résistante à la dégradation ruminale, une partie de l'amidon peut atteindre l'intestin. Le glucose formé par la digestion intestinale est absorbé et transporté au foie où il contribue à subvenir au besoin de la vache.

II.2.4. Synthèse du lactose et des matières grasses dans le pis

Pendant la lactation, le pis a un besoin important en glucose pour synthétiser le lactose. La quantité de lactose synthétisée dans le pis est associée étroitement avec la quantité totale de lait produite par jour. La concentration de lactose dans le lait est constante et l'eau est sécrétée par les cellules du pis pour diluer le lactose et obtenir une concentration de plus ou moins 4,5%. Ainsi, la quantité de lait produite par une vache dépend directement de la quantité de propionate formé au niveau du rumen. Au niveau du pis, le glucose peut aussi être converti en glycérol, le "squelette" de la matière grasse du lait. L'acétate et le b-hydroxybutyrate sont utilisés pour synthétiser les acides gras qui plus tard sont unis au glycérol pour former un triglycéride (la matière grasse). Le pis synthétise des acides gras saturés qui contiennent de 4 à 16 unités de carbone (acides gras courts). Environ la moitié de la matière grasse du lait est synthétisée dans le pis. L'autre moitié provient des lipides de la ration qui habituellement ont une forte teneur en acides gras insaturés contenant plus de 18 unités de carbone (acides gras longs). L'énergie nécessaire pour la synthèse de la matière grasse et du lactose du lait dans le pis provient de la combustion des corps cétoniques; cependant, le glucose et l'acétate peuvent aussi être utilisés comme sources énergétiques dans les cellules de nombreux tissus du corps.

II.2.5. Influence de la ration sur la fermentation ruminale et la production laitière

Le type d'hydrates de carbone dans la ration (fibreuse ou non fibreuse) influence la quantité et le rapport des AGV produits dans le rumen. Lorsque la ration contient une quantité suffisante d'hydrates de carbone fibreux, la population microbienne produit principalement l'acide

Chapitre II : Alimentation et nutrition

acétique (65% du total des AGV). L'acide propénoïque est produit en faible proportion (20%) ainsi que l'acide butyrique (15%). Dans ce cas, la quantité d'acétate procurée est adéquate, mais la quantité de propionate est faible et elle limite probablement la quantité de lait produite à cause d'une faible disponibilité en glucose (ceci est vrai principalement en début de lactation). Alors que les hydrates de carbone fibreux favorisent la production d'acide acétique, les hydrates de carbone non fibreux, présents principalement dans les concentrés, favorisent la production d'acide propénoïque dans le rumen. De plus, les hydrates de carbone non fibreux produisent une plus grande quantité d'AGV (c'est à dire d'énergie) parce qu'ils fermentent plus rapidement et plus complètement que les hydrates de carbone fibreux. Ainsi, l'alimentation de concentrés augmente la production d'AGV et le pourcentage d'acide propénoïque mais diminue la proportion d'acide acétique (Figure 2). Lorsqu'une grande quantité de concentrés est ingérée ou lorsque le fourrage est moulu finement, le pourcentage d'acétate peut chuter en dessous de 40% alors que le pourcentage de propionate augmente au delà de 40%. La production de lait augmente grâce à la plus grande disponibilité du glucose, mais maintenant, l'acétate disponible pour la synthèse de la matière grasse est limité. Cette limitation conduit en général à une réduction du pourcentage de matière grasse dans le lait. De plus, l'excès de propionate comparé à l'acétate conduit la vache à utiliser l'énergie qui lui est disponible pour la synthèse de tissus adipeux c'est à dire le gain de poids vif plutôt que pour la production de lait. Les vaches nourries avec un excès de concentrés deviennent rapidement obèses. L'alimentation continue de ce type de ration a des effets détritimaux sur la santé de l'animal (acétonémie, foie gras) et augmente la probabilité de difficultés au vêlage. D'un autre coté, une insuffisance de concentrés limite l'ingestion d'énergie et la production de lait et de ses composants, en particulier la protéine.

En résumé, la proportion de fourrages et de concentrés dans la ration a un effet profond sur la quantité et le pourcentage d'AGV produits dans le rumen. A leur tour, les AGV influencent:

La quantité de lait produite

Le pourcentage de matière grasse et de protéine dans le lait

La bonne conversion des aliments en lait

La valeur d'une ration qui favorise la production de lait par comparaison avec une ration qui favorise l'engraissement.

II.3. Métabolisme des lipides chez la vache laitière

II.3.1. Types de lipides

En général, la ration des vaches ne contient que de 2 à 4% de lipides. Malgré leur faible quantité dans la ration, ils sont importants parce qu'ils ont un contenu énergétique élevé et ils contribuent directement à environ 50% de la matière grasse du lait. La concentration en lipides des fourrages et des graines de céréales est en général faible. Cependant, les semences des plantes oléagineuses (coton, soya, tournesol) peuvent accumuler plus de 20% de lipides. Les farines ou tourteaux (sous-produits de l'extraction des lipides) sont riches en protéines et s'utilisent couramment dans l'alimentation du bétail. Néanmoins, les semences non extraites peuvent aussi servir d'aliments. Les lipides sont des substances insolubles dans l'eau, mais solubles dans les solvants organiques (éther, chloroforme, hexane, etc.). Les triglycérides se trouvent principalement dans les graines de céréales, les semences d'oléagineux et les graisses animales. Un triglycéride est composé d'une unité de glycérol (un sucre avec trois carbones) et de trois unités d'acides gras (Figure 1).

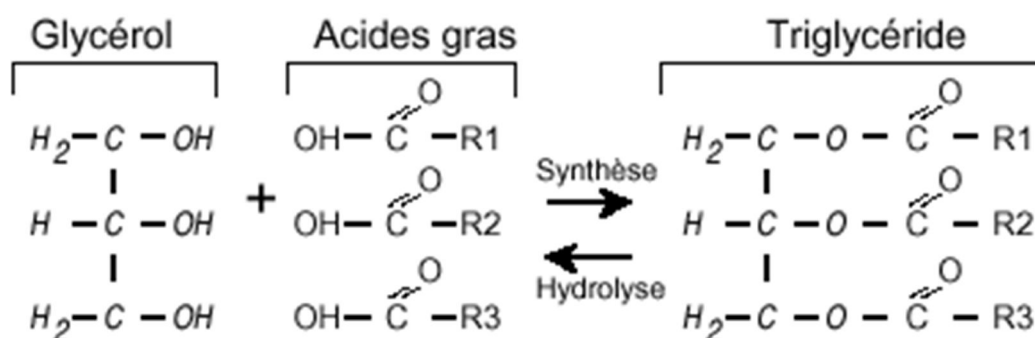


Figure 3: Basic structure of triglycerides. The radicals (R1, R2, and R3) are made of a carbon chain with variable lengths and degrees of saturation.

Les glycolipides se trouvent principalement dans les fourrages (graminées et légumineuses). Ces composés ont une structure similaire aux triglycérides, sauf que l'une des trois unités d'acide gras est remplacée par un sucre (habituellement le galactose). Lorsqu'une unité de phosphate unie à une autre structure complexe remplace l'une des unités d'acide gras, le lipide devient un phospholipide. Les aliments sont pauvres en phospholipides, mais ceux-ci se trouvent en forte concentration dans les bactéries du rumen. Les acides gras des lipides végétaux possèdent de 14 à 18 carbones (Tableau 1). La forme liquide ou solide d'un lipide dépend de son point de fusion. Le point de fusion dépend en premier lieu du degré de saturation et en second lieu de la longueur de la chaîne de carbone. Les lipides des plantes

Chapitre II : Alimentation et nutrition

contiennent de 70 à 80% d'acides gras insaturés et ils ont tendance à rester sous forme liquide (huiles). Par contre, les lipides d'origine animale contiennent de 40 à 50% d'acides gras saturés et ils ont tendance à rester à l'état solide (graisses). Chez le ruminant, les lipides ne sont pas digérés dans le rumen, mais ils y sont hydrolysés et saturés. L'excès de lipides dans la ration a un effet négatif sur la digestion des fibres et l'intensité de cette interférence dépend du degré de saturation des acides gras.

Tableau 4: Acides gras libres communs dans la ration des vaches laitières.			
Nom commun	Structure	Abréviation*	Point de fusion
Acides saturés			
Myristique	CH ₃ -(CH ₂) ₁₂ -COOH	(C14:0)	54
Palmitique	CH ₃ -(CH ₂) ₁₄ -COOH	(C16:0)	63
Stéarique	CH ₃ -(CH ₂) ₁₆ -COOH	(C18:0)	70
Acides insaturés			
Palmitoléique	CH ₃ -(CH ₂) ₅ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	(C16:1)	61
Oléique	CH ₃ -(CH ₂) ₇ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	(C18:1)	13
Linoléique	CH ₃ -(CH ₂) ₄ -CH=CH-CH ₂ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	(C18:2)	-5
Linoléinique	CH ₃ -CH ₂ -CH=CH-CH ₂ -CH=CH-CH ₂ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	(C18:3)	-

II.3.2.Hydrolyse et saturation des lipides dans le rumen

Dans le rumen, la majorité des lipides sont hydrolysés, c'est-à-dire que le lien entre le glycérol et les acides gras est rompu. Le glycérol est fermenté rapidement en acide gras volatil (voir métabolisme des hydrates de carbone). Certains acides gras sont utilisés par les bactéries pour la synthèse des phospholipides de la membrane bactérienne. De plus, les bactéries hydrogénéisent les acides gras insaturés. L'hydrogénation consiste à remplacer un double lien par un atome d'hydrogène. Par exemple, l'hydrogénation de l'acide oléique conduit à la formation de l'acide stéarique (Tableau 1). Les acides gras libres dans le rumen ont tendance à s'attacher aux microbes et empêchent la fermentation normale des hydrates de carbone fibreux (la cellulose et les hémicelluloses). En conséquence, un excès de lipides dans la ration (plus de 8%) entraîne souvent une diminution de la production de lait et une réduction de son pourcentage de matière grasse. Les lipides insaturés ont un effet négatif plus important que les lipides saturés. Cependant, la "protection" des lipides pour ralentir leur vitesse d'hydrolyse peut les rendre plus "inertes" dans le rumen. Par exemple, les membranes externes et autres tissus des graines ont un effet protecteur sur les lipides qui s'y trouvent intacts. Ceux-ci sont donc relativement inertes dans le rumen, comparés aux lipides "libres" tels que les graisses animales ou les huiles végétales. De plus, les traitements industriels, qui souvent font appel à la formation de savons (sel calcique d'acides gras), rendent les acides gras insolubles et donc plus inertes dans le rumen. Les phospholipides représentent de 10 à 15% des lipides qui quittent le rumen; le restant (85 à 90%) sont des acides gras saturés (acides palmitique et stéarique principalement) qui se trouvent attachés aux particules microbiennes.

II.3.3.Absorption des lipides

Les phospholipides microbiens sont digérés dans le petit intestin et absorbés avec d'autres acides gras à travers la paroi intestinale. La bile sécrétée par le foie et le jus pancréatique (riche en enzymes et en bicarbonate) sont mélangés avec le contenu du petit intestin. Ces sécrétions sont essentielles pour l'absorption des lipides qui doivent se trouver à l'intérieur de particules miscibles dans l'eau (micelles) pour pouvoir pénétrer et traverser la paroi intestinale. Dans les cellules intestinales, la majorité des acides gras sont unis au glycérol (provenant du sang) pour former des triglycérides. Ces triglycérides, certains acides gras libres, le cholestérol et d'autres substances lipidiques sont couvertes d'une protéine pour former les lipoprotéines riches en triglycérides (LP-TG), aussi appelées chylomicrons ou lipoprotéines de très faible densité. Les lipoprotéines riches en triglycérides sont absorbées dans les vaisseaux lymphatiques. Ce n'est qu'à la jonction thoracique (la jonction entre le

système lymphatique et le système sanguin) qu'elles joignent la circulation sanguine (Figure 2). Cette voie d'absorption est unique parce que, contrairement à la plupart des autres nutriments, les lipides entrent dans la circulation sanguine générale et sont utilisés par les tissus du corps sans être d'abord métabolisés par le foie.

II.3.4. Utilisation des lipides par le pis

Environ la moitié des acides gras de la matière grasse du lait provient des LP-TG formées durant l'absorption intestinale des lipides. L'augmentation des acides gras longs (c'est-à-dire, ceux contenant plus de 16 carbones) dans la ration accroît donc leur sécrétion dans le lait. Cependant, la présence d'acides gras longs ralentit la synthèse des acides gras courts et moyens par le tissu mammaire. En conséquence, l'ajout de lipides dans la ration ne compense que partiellement la réduction de matière grasse dans le lait lorsque la vache est nourrie avec une ration pauvre en fibre.

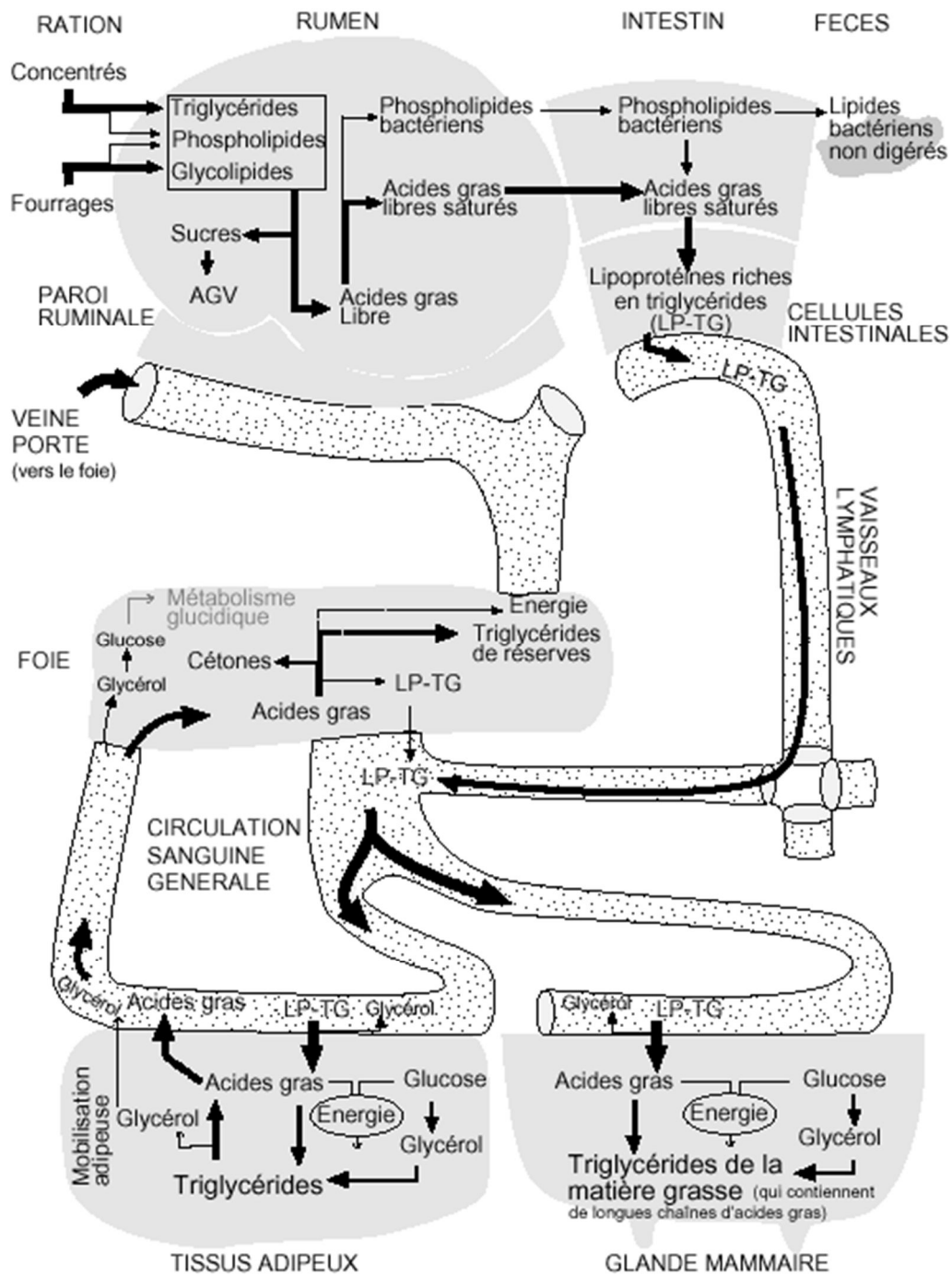


Figure 4: Vue générale du métabolisme lipidique chez la vache

II.3.5. Le rôle du foie et la mobilisation des tissus adipeux

Pendant les périodes de sous-alimentation ou en début de lactation, la vache obtient de l'énergie grâce à la mobilisation de ses tissus adipeux. Cette source d'énergie complète celle provenant de la ration. Les acides gras provenant des triglycérides de réserve (qui se trouvent principalement dans l'abdomen, sur les reins et sous la peau) sont libérés dans le sang. Les acides gras ainsi mobilisés sont pris par le foie et utilisés comme une source d'énergie. Ils peuvent aussi être convertis en corps cétoniques qui sont libérés dans le sang et utilisés par de nombreux tissus comme combustible énergétique. Le foie n'a pas une grande capacité pour former et exporter les LP-TG et l'excès d'acides gras mobilisés y sont mis en réserve sous forme de triglycérides. La déposition de graisse dans le foie contribue au développement de maladies métaboliques en début de lactation (par exemple, acétonémie et syndrome du foie gras).

II.3.6. Addition de lipides dans la ration

En moyenne, les lipides contiennent 2,25 fois plus d'énergie que les hydrates de carbone. De plus, les lipides produisent moins de chaleur que les hydrates de carbone et les protéines durant leur digestion et leur utilisation par les cellules du corps. Pour cette raison, ils sont parfois appelés "nutriments froids". Ainsi, l'addition de lipides dans la ration peut avoir plusieurs bénéfices: Ça permet d'augmenter la densité énergétique de la ration, surtout lorsque l'ingestion est limitée par une forte concentration de fibre dans la ration. Ça permet aussi de limiter la quantité de concentrés riches en amidon qui sont habituellement nécessaires pour minimiser le déficit énergétique en début de lactation. Lorsque les températures sont élevées, les lipides peuvent réduire le stress dû à la chaleur.

De plus, l'addition de petites quantités de lipides dans un mélange concentré tend à diminuer la formation des poussières. L'ingestion totale et la production laitière répondent différemment en fonction du type de lipide ajouté dans la ration. Les vaches ne doivent pas être nourries plus de 1,5 kg/jour de lipides en plus à ceux présents naturellement dans la ration. Cette quantité de lipides représente plus ou moins de 6 à 8% de la ration. Au delà de cette limite, les effets négatifs deviennent évidents. La production laitière est maximale lorsque la ration contient à peu près 5% de lipides. L'addition de lipides réduit légèrement (0,1%) le pourcentage de protéine dans le lait. L'excès de lipides peut diminuer l'ingestion totale, la production laitière et modifier la composition de la matière grasse du lait.

II.4.Métabolisme protéique chez la vache laitière

II.4.1.Introduction

Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires pour le maintien des fonctions vitales, la croissance, la reproduction et la lactation. Les animaux non ruminants ont besoin d'acides aminés préformés dans leur ration. Par contre, grâce aux microbes présents dans le rumen, les ruminants possèdent la capacité de synthétiser les acides aminés à partir d'azote non protéique (ANP). Des sources d'ANP telles que l'ammoniac ou l'urée peuvent donc être utilisées dans leur ration. De plus, les ruminants possèdent un mécanisme pour conserver l'azote lorsque leur ration est déficiente en azote. L'urée est le produit final du métabolisme des protéines dans le corps et elle est normalement sécrétée dans les urines. Cependant, en cas de déficit azoté, l'urée retourne de préférence dans le rumen où les bactéries peuvent en faire usage. Chez les non ruminants, l'urée produite dans le corps est toujours entièrement perdue dans les urines. Des recherches ont montré qu'il est possible de nourrir une vache avec une ration qui contient uniquement de l'ANP et pas de protéines. Malgré l'absence de protéines, ces vaches produisirent plus de 15 kg de lait contenant 0,580 kg de protéine de haute qualité.

II.4.2.Transformation des protéines dans le rumen

Les protéines alimentaires sont dégradées par les micro-organismes du rumen d'abord en acides aminés et ensuite en ammoniac et acides gras branchés (Figure 1). L'azote non protéique des aliments et l'urée recyclée dans le rumen par l'intermédiaire de la salive ou la paroi du rumen contribuent aussi à la formation de l'ammoniac dans le rumen. Lorsque la quantité d'ammoniac est insuffisante pour le besoin des microbes, la digestibilité des aliments tend à diminuer. Par contre, trop d'ammoniac dans le rumen entraîne un gaspillage d'azote et la possibilité d'intoxication, ce qui dans les cas extrêmes peut entraîner la mort de l'animal. La population bactérienne utilise l'ammoniac pour sa croissance. La quantité d'ammoniac transformée en protéine bactérienne dépend surtout de la quantité d'énergie générée par la fermentation des hydrates de carbone. En moyenne, il y a une synthèse de 20 g de protéines bactériennes pour 100 g de matières organiques fermentées dans le rumen. La quantité de protéine bactérienne synthétisée par jour varie de moins de 400 g à plus de 1500 g en fonction de la digestibilité de la ration. Le pourcentage de protéine dans les bactéries varie de 38 à 55% (Tableau 1). Cependant, lorsqu'une vache ingère plus d'aliments, les bactéries sont plus riches en protéines et celles-ci passent plus rapidement du rumen dans la caillette.

Chapitre II : Alimentation et nutrition

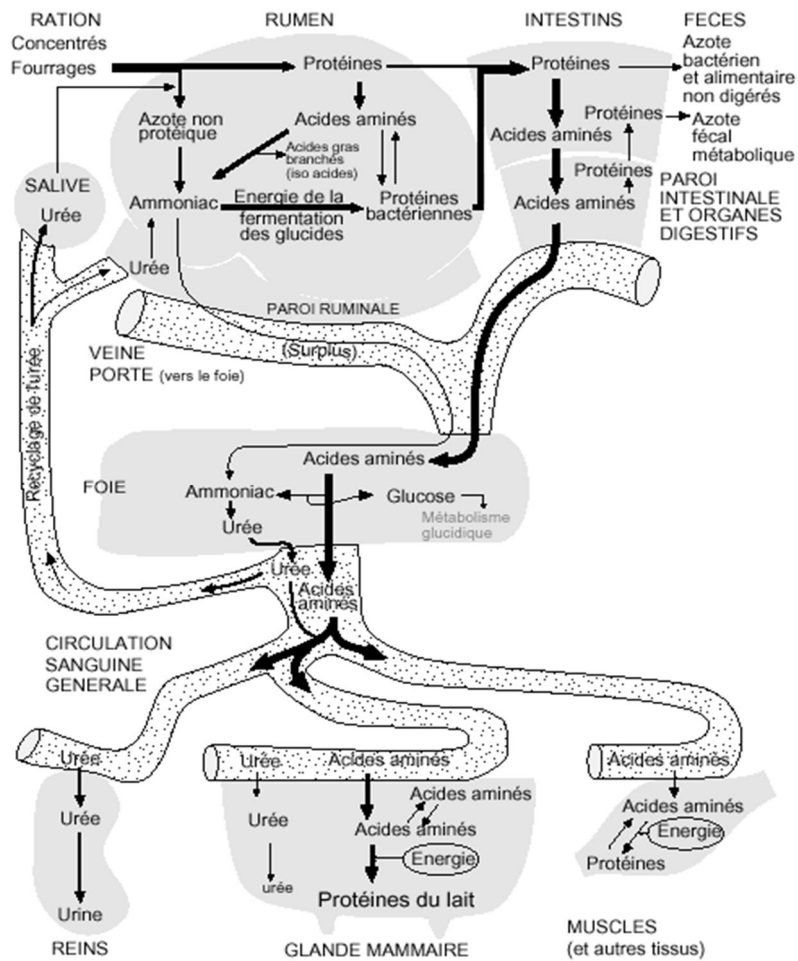


Figure 5: Vue générale du métabolisme protéique chez la vache laitière

	Bactérie		Protozoaire
	Moyenne	Variation	
Protéine	47.5	38 - 55	-
Acides nucléiques ²	27.6	-	-
Lipides	7.0	4 - 25	-
Hydrates de carbone	11.5	6 - 23	-
Peptidoglycanes ³	2.0	-	-
Minéraux	4.4	-	-
Protéine brute Totale	62.5	31 - 78	24 - 49
Digestibilité intestinale	71.0	44 - 86	76 - 85

Une partie des protéines alimentaires résiste à la dégradation ruminale et passe non dégradée dans le petit intestin. La résistance des protéines à la dégradation ruminale varie fortement en fonction de la nature de la protéine et de nombreux autres facteurs. En général, les protéines des fourrages sont plus dégradées (60 à 80%) que celles des concentrés et sous-produits industriels (20 à 60%). Une partie de la population bactérienne est dégradée dans le rumen, mais la majorité (qui se trouve attachée aux particules alimentaires) passe dans la caillette. L'acide sécrété par cet organe arrête toutes activités microbiennes et les enzymes de la vache digèrent les protéines bactériennes ainsi que les protéines alimentaires qui ont survécu l'attaque des microbes du rumen.

En moyenne, 60% des acides aminés absorbés dans l'intestin proviennent des bactéries qui sont créés dans le rumen et les 40% qui restent sont les protéines alimentaires qui ont résisté à la dégradation ruminale.

La composition en acides aminés des protéines bactériennes est relativement constante. Tous les acides aminés, y compris ceux qui sont essentiels, sont présents dans les protéines bactériennes en proportion proche de celle requise par la glande mammaire pour la synthèse du lait. La conversion des protéines alimentaires en protéines bactériennes est en général un processus bénéfique. L'exception se produit lorsqu'une protéine de haute qualité est dégradée en ammoniac sans que la synthèse microbienne puisse capter cet azote à cause du manque d'énergie dans la ration. L'art de bien nourrir une vache consiste à lui offrir des aliments qui maximisent la croissance bactérienne dans son rumen.

II.4.3.Métabolisme dans le foie et recyclage de l'urée

Lorsqu'il y a un manque d'énergie fermentescible ou un excès de protéines dans la ration, l'ammoniac produit dans le rumen n'est pas complètement converti en protéine bactérienne. L'excès d'ammoniac traverse la paroi du rumen et est transporté au foie. Le foie convertit l'ammoniac en urée, qui est libérée dans le sang. L'urée peut suivre deux voies:

- Elle peut retourner dans le rumen via la salive ou via la paroi du rumen.
- Elle peut être excrétée dans les urines par les reins.

Lorsque l'urée retourne dans le rumen, elle est convertie à nouveau en ammoniac et peut donc servir pour la croissance bactérienne. Cependant, l'urée excrétée dans les urines est perdue. Lorsque la ration est pauvre en protéines, beaucoup d'urée est recyclée dans le rumen, et peu

Chapitre II : Alimentation et nutrition

d'azote est perdu. Cependant, lorsque le contenu protéique de la ration augmente, moins d'urée est recyclée et la perte d'azote urinaire est plus importante.

Chapitre III :

Alimentation des vaches laitières

Introduction

En général, les aliments sont groupés dans l'une des trois catégories suivantes:

- **fourrages,**
- **concentrés (aliments énergétiques ou protéiques),**
- **vitamines et minéraux.**

Quoique cette manière de classer les aliments est commode, elle est arbitraire. Ce qui importe en réalité est de connaître la valeur nutritive des aliments et les facteurs qui influencent leur utilisation dans la ration.

III.1. Fourrages

En général, les fourrages sont les parties végétatives des plantes herbacées qui contiennent une proportion importante de fibre de détergent neutre (FDN; voir Composition et Analyse des Aliments dans cette série de publication). Ils sont nécessaires dans la ration sous forme de longues particules (plus de 2,5 cm en longueur) pour maintenir le bon fonctionnement du rumen.

En général, les fourrages sont produits à la ferme. Ils peuvent être pâturés ou récoltés et préservés sous forme d'ensilage ou de foin. La ration des vaches tarées peut être composée presque entièrement de fourrages. Par contre, chez la vache en début de lactation la ration doit contenir au moins 35% de fourrages pour y maintenir suffisamment de fibres. Les fourrages ont les caractéristiques principales suivantes:

Ils possèdent un grand volume par unité de poids (une faible densité). Cette caractéristique est importante parce que la vache ne peut ingérer un fourrage que jusqu'à la limite permise par la capacité (le volume) de son rumen. Un fourrage de faible densité comme la paille est donc ingéré en moindre quantité qu'une jeune herbe dense.

Ils sont riches en fibre et pauvres en énergie par comparaison avec les concentrés. Le contenu en fibre des fourrages varie de 30 à 90% de FDN. En général, un aliment riche en fibre est un aliment pauvre en énergie.

Ils possèdent un contenu variable en protéines. Les légumineuses contiennent de 15 à 23% de protéines en fonction du stade de maturité; les graminées par contre varient en général de 8 à

18% de protéines (en fonction du stade de maturité et du niveau de fertilisation azotée); et les résidus de récoltes (pailles) contiennent de 3 à 4% de protéines.

Donc, la valeur nutritive des fourrages peut varier fortement. D'un côté, une jeune herbe est riche en protéine et elle contient une fibre jeune très digestible. D'un autre côté, la paille, par exemple, est un aliment très pauvre à cause de sa richesse en fibre indigestible et sa faible teneur en protéines.

III.2.Graminées et légumineuses

Les fourrages de bonne qualité peuvent intervenir pour deux tiers de la ration d'une vache qui ingère 2,5 à 3% de son poids vif sous forme de fourrage (par exemple, une vache de 600 kg peut ingérer entre 15 et 18 kg de matière sèche d'un fourrage de bonne qualité. En général, les vaches ingèrent plus de matière provenant d'une légumineuse (luzerne, trèfle, lotier, lespedeza) que d'une graminée (ray-grass, dactyle, fléole, fétuque, etc.) au même stade de maturité. Les fourrages de bonne qualité dans une ration équilibrée fournissent la majorité de l'énergie et des protéines nécessaires pour la production laitière.

Le type de sol et les conditions climatiques sont les facteurs principaux qui influencent le type de fourrages produits dans une région. Les graminées ont besoin d'engrais azoté et de beaucoup d'humidité. Cependant, les légumineuses sont plus résistantes à la sécheresse. De plus, elles améliorent la fertilité du sol parce qu'elles y ajoutent jusque 200 kg d'azote par an par hectare. Ceci est possible parce que leurs racines vivent en association avec des bactéries qui convertissent l'azote de l'air en azote minéral (engrais azoté).

La valeur nutritive des fourrages est influencée fortement par le stade de maturité de la récolte. La croissance végétale peut se résumer en trois stades successifs:

- **stade végétatif,**
- **stade de floraison,**
- **stade de formation des semences.**

En général, la valeur nutritive d'un fourrage est la plus élevée pendant le stade végétatif et elle est la plus faible au stade de formation des semences. Au cours du vieillissement de la plante, la teneur en énergie digestible, en protéine, en calcium et en phosphore diminue alors que la teneur en fibre augmente (ainsi que la quantité de lignine dans la fibre). La lignine est indigestible et restreint la digestibilité de la cellulose et des hémicelluloses par les microbes

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

du rumen. Donc, les fourrages récoltés à un stade de maturité précoce sont en général de bonne qualité mais leur valeur nutritive diminue au cours de la maturation de la plante. Le maïs et le sorgho, récoltés pour l'ensilage, sont deux exceptions parce que la diminution de la valeur nutritive des tiges et feuilles pendant le stade de formation des graines est plus que compensée par l'accumulation d'amidons dans les graines. La quantité maximale de matière sèche digestible d'une culture fourragère est obtenue:

- **Au début de l'épiaison chez les graminées,**
- **Au stade final du bourgeonnement chez les légumineuses,**
- **Lorsque la graine de maïs et du sorgho arrivent au stade vitreux.**

La perte de valeur nutritive avec le vieillissement de la plante est inévitable. Le potentiel de production laitière à partir du fourrage diminue chaque jour que le stade optimal de récolte est dépassé. Cependant, diverses stratégies peuvent être utilisées pour maintenir la disponibilité des fourrages de bonne qualité. Le fermier peut:

- Ajuster le nombre d'animaux en pâture en fonction de la croissance végétale et de la disponibilité du fourrage au champ
- Ensemencer les pâtures avec un mélange de graminées et légumineuses qui possèdent des périodes de croissance complémentaires au cours des saisons
- Récolter les fourrages à un jeune stade de maturité et les préserver sous forme d'ensilage ou de foin
- Alimenter les fourrages de moindre qualité aux vaches tarées ou aux vaches en fin de lactation et réserver le fourrage de bonne qualité pour les vaches en début de lactation
- Résidus de récolte et sous-produits industriels de pauvre qualité. Les résidus de récolte sont les parties des plantes qui, en général, restent au champ après la récolte du produit principal (graines ou racines); par exemple, les tiges et feuilles de maïs, les feuilles de betteraves, les pailles de céréales, la bagasse de canne à sucre, les tiges et feuilles d'arachides. Les résidus de récolte peuvent être "pâturés", récoltés comme aliment sec ou ensilés. Leurs caractéristiques principales comme aliments sont les suivantes:

- Ce sont des aliments bon marché, mais souvent trop riches en fibre

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

- Leur fibre est souvent indigestible à cause d'une forte teneur en lignine (certains traitements peuvent être utilisés pour améliorer leur valeur nutritive)
- Ils sont pauvres en protéines brutes totales
- Ils doivent être combinés avec des sources protéiques et minérales
- De préférence, ils devraient être moulus grossièrement ou hachés avant d'être offerts aux animaux
- De préférence, ils devraient être utilisés dans la ration de vaches en fin de lactation ou en période de tarissement.

III.3. Concentre

Il est difficile de définir ce qu'est un concentré. Cependant, ils peuvent être décrits par leurs caractéristiques et leurs effets sur le fonctionnement du rumen. Les concentrés, en général, ont les caractéristiques suivantes:

Ils sont pauvres en fibre et riches en énergie (par comparaison aux fourrages).

Il ont un contenu variable en protéines; les graines de céréales contiennent moins de 12% de protéines, mais les farines ou tourteaux d'oléagineux (soya, arachide, etc.) contiennent en général plus de 40% de protéines.

Ils ont une grande palatabilité et sont donc ingérés rapidement.

Au contraire des fourrages, les concentrés ont un faible volume par unité de poids (densité élevée).

Au contraire des fourrages, ils ne stimulent pas la rumination.

Ils fermentent plus rapidement que les fourrages dans le rumen et donc ils augmentent l'acidité de son contenu (réduction du pH), ce qui peut avoir un effet négatif sur la fermentation des fibres et provoquer l'acidose ruminale.

Les vaches qui possèdent un grand potentiel de production laitière ont aussi un grand besoin en énergie et en protéines. Etant donné que la quantité de fourrage ingérée par jour est limitée, les fourrages seuls ne peuvent pas fournir l'énergie et les protéines requises. Donc, la ration de la vache laitière doit souvent être complétée avec des sources concentrées en énergie et protéines pour pouvoir couvrir ses besoins. Les concentrés sont donc des aliments importants parce qu'ils permettent de formuler des rations qui maximisent la production laitière. La limite de concentrés dans la ration d'une vache de 600 kg est d'environ 12 kg, ce qui correspond à 60

- 70% de la matière sèche ingérée. Au-delà de cette limite, l'acidose ruminale apparaît et la santé de la vache se détériore.

III.3.1 Exemples de Concentrés

III.3.1.1. Les graines de céréales (orge, avoine, maïs, riz, froment) sont des concentrés riches en énergie, mais pauvres en protéine. L'amidon des graines de céréales moulues est, en général, fermenté facilement dans le rumen et libère beaucoup d'énergie. Les graines de céréales dans la ration augmentent donc sa "densité énergétique". Cependant au-delà de 10 à 12 kg par jour, le temps de rumination et la quantité de salive produite sont fortement réduits. Ceci perturbe le bon fonctionnement du rumen et provoque une diminution de la matière grasse dans le lait.

Les traitements industriels des céréales procurent de nombreux sous-produits qui peuvent être utilisés dans l'alimentation des vaches. Cependant, leur composition et donc leur valeur nutritive sont très variables.

Le gluten meal de maïs est obtenu après extraction de l'amidon. C'est une excellente source de protéine (40 à 60%) et d'énergie. Le "gluten feed" est aussi un sous-produit de l'extraction de l'amidon, mais il est plus pauvre en protéines et plus riche en fibre. Le son (membrane externe des graines de riz ou de froment) est riche en fibre et contient de 14 à 17% de protéines. De plus, le son est riche en phosphore et il a un effet laxatif. Par contre, les membranes externes d'autres céréales (avoine, orge et riz) ne contiennent que 3 à 4% de protéines mais 85 à 90% de fibre indigestible.

III.3.1.2. Les sous-produits des brasseries et distilleries sont de bonnes sources d'hydrates de carbone digestibles et de protéines (20 à 30%). Le malte (les radicules produites par la germination de l'orge) a un goût amer et il est souvent mélangé avec d'autres aliments.

III.3.1.3. Les racines et tubercules (carottes, manioc, betteraves, pommes de terre, radis) sont des aliments avec une grande palatabilité; ils sont riches en hydrates de carbone digestibles (énergie) mais pauvres en protéines (moins de 10%).

III.3.1.4. Les sous-produits de l'industrie du sucre sont des aliments riches en fibres digestibles (les pulpes de betteraves) ou en sucres simples (la mélasse). Ce sont des aliments avec une grande palatabilité.

III.3.1.5. Les farines ou tourteaux des oléagineux. La plupart des plantes oléagineuses, lesquelles sont riches en lipides, croissent bien dans les régions tropicales et subtropicales (le soya, l'arachide et le coton), mais d'autres croissent mieux en climat tempéré (le lin, le colza et le tournesol). Ces semences peuvent être utilisées comme telles (c'est-à-dire avant l'extraction d'huile), mais la plupart contiennent des substances anti-nutritives qui peuvent être toxiques. Les farines ou tourteaux obtenus après extraction de l'huile contiennent en général de 30 à 50% de protéines et ce sont des sources typiques de suppléments protéiques pour vaches laitières.

III.3.1.6. Les semences de légumineuses (pois, haricots, dolique) contiennent aussi des substances anti-nutritionnelles, mais après certains traitements opportuns (en général la cuisson), ils constituent de bonnes sources d'énergie et de protéines.

III.3.1.7. Les protéines d'origine animale (farine de viande et d'os, plumes de volailles, farines de poisson) sont riches en protéines résistantes à la dégradation ruménale, en phosphore et en calcium. Ces produits doivent être stockés de manière adéquate pour éviter la contamination bactérienne.

III.3.1.7. Les sous-produits des laiteries et fromageries. Le lait écrémé est un sous-produit de laiterie qui contient une grande quantité de sucre (lactose), un peu de protéines et des minéraux. Ces nutriments sont très dilués lorsque le lait écrémé n'est pas déshydraté. De plus, le lait écrémé est instable et ne se conserve pas bien.

III.4. Minéraux et vitamines

Les minéraux et vitamines sont très importants pour la santé, la production et la reproduction des animaux. Par exemple, la fièvre de lait en début de lactation est due à un excès ou à un déficit en calcium et une pauvre fertilité des animaux peut être due à un déficit en phosphore. Les déficiences produisent des pertes économiques importantes. Chez les vaches en lactation, il faut faire particulièrement attention aux macro-minéraux suivants: le sel (chlorure de sodium: Na Cl), le calcium (Ca), le phosphore (P), et parfois le potassium (K), le magnésium (Mg) et le soufre (S). De plus, les micro-minéraux (fer, sélénium, iode, zinc, etc.) sont pratiquement toujours requis sous forme de suppléments dans la ration. Ils sont souvent mélangés avec des vitamines et ce "prémix" est à son tour mélangé avec les concentrés. Parfois, les micro-minéraux sont inclus dans des blocs de sel à lécher.

Tous les aliments, à l'exception de l'urée et des lipides, contiennent des minéraux. Les légumineuses sont plus riches en calcium que les graminées. Donc, les rations à base de

légumineuses nécessitent une supplémentation en calcium moins grande que celles basées sur les graminées. La mélasse est riche en calcium et les sous-produits d'origine animale qui contiennent des os sont particulièrement riches en calcium et phosphore. Le sel sous forme de supplément peut être offert en "libre service". Un minéral contenant du calcium et du phosphore (par exemple, le phosphate bi-calcique) est souvent nécessaire. La quantité à offrir dépend des autres ingrédients dans la ration. Par exemple, les fourrages verts sont souvent pauvres en phosphore comparé au besoin de la vache. Un supplément riche en phosphore sera donc nécessaire. Par contre, le maïs contient peu de calcium et de phosphore et le supplément minéral devra donc contenir ces deux éléments. La quantité de minéraux supplémentaire dans la ration peut varier de 0 à +/-150 g par vache par jour.

Les vitamines A, D, et E sont aussi importantes. En absence de supplémentation, la vitamine A est probablement déficiente dans la ration des vaches lorsque les fourrages sont produits dans des régions caractérisées par de longs hivers ou de longues saisons sèches. Les microbes du rumen synthétisent les vitamines du complexe B, la vitamine C et la vitamine K. En général, ces vitamines ne sont donc pas requises dans la ration.

III.5. Une ration équilibrée

D'un point de vue pratique, équilibrer une ration consiste à répondre aux trois questions suivantes:

1- Quelles sont les quantités de fourrages et de concentrés à offrir pour que la vache puisse ingérer la quantité d'énergie dont elle a besoin?

Les fourrages sont souvent offerts sans restriction et la quantité de concentrés à offrir dépend principalement des facteurs suivants:

III.5.1. la qualité des fourrages

Le contenu énergétique des fourrages récoltés à un stade avancé de maturité est moindre que celui des fourrages récoltés à un stade de maturité précoce (stade végétatif). Donc la quantité de concentrés nécessaire pour fournir l'énergie dont la vache a besoin dépend fortement de la qualité des fourrages (Tableau 1)

III.5.2. le besoin en énergie de la vache.

Le besoin énergétique de la vache augmente avec l'augmentation de la production laitière. Donc, les vaches qui produisent une quantité élevée de lait nécessitent plus de concentrés par comparaison avec celles qui produisent moins de lait (Tableau 1). Une vache en période de

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

tarissement peut ingérer une ration contenant 90 à 100% de fourrages (c'est-à-dire, 0 à 10% de concentrés), mais une vache qui produit une grande quantité de lait en début de lactation nécessite une ration contenant de 50 à 60 % de concentrés (c'est-à-dire, 40 à 50% de fourrages).

Tableau 6: Quantité de concentrés à offrir aux vaches en fonction du niveau de production et de la qualité du fourrage dans la ration¹.

Production de lait lorsque la qualité du fourrage est:			Vache de 600 kg			Vache de 500 kg			
			Matière grasse du lait (%)			Matière grasse du lait (%)			
Pauvre ²	Moyenne ³	Excellente ⁴	3.0	3.5	4.0	4.0	4.5	5.0	5.5
--	4	13	--	--	--	--	--	--	--
--	6	15	--	--	--	0.5	0.7	0.8	1.0
--	8	17	0.2	0.5	0.7	1.3	1.6	1.8	2.0
2	10	19	1.0	1.2	1.5	2.2	2.5	2.7	3.0
4	12	21	1.7	2.0	2.4	3.0	3.4	3.7	4.0
6	14	23	2.4	2.8	3.2	3.9	4.3	4.6	5.0
8	16	25	3.2	3.6	4.0	4.7	5.1	5.6	6.0
10	18	27	3.9	4.4	4.9	5.6	6.0	6.5	7.0
12	20	29	4.6	5.2	5.7	6.4	6.9	7.5	8.0
14	22	31	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0
16	24	33	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4	10.1
18	26	35	6.8	7.5	8.3	8.9	9.6	10.3	11.1
20	28	37	7.6	8.3	9.1	9.8	10.5	11.3	12.15
22	30	39	8.3	9.1	9.9	10.6	11.4	12.2	13.1
24	32	41	9.0	9.9	10.8	11.4	12.3	13.2	14.1
26	34	43	9.8	10.7	11.6	12.3	13.2	14.1	15.1
28	36	45	10.5	11.5	12.5	13.1	14.1	15.1	16.1
30	38	47	11.2	12.3	13.3	14.0	15.0	16.0	17.1
32	40	49	11.9	13.0	14.1	14.8	15.9	17.0	--

1 On a supposé que la concentration énergétique du concentré est de 1,75 Mcal NE l /kg de matière sèche (MS). Cependant, la concentration énergétique du concentré peut être aussi basse que 1,5 Mcal NE l /kg MS s'il contient des aliments tels que les balles d'avoines ou de riz, ou de la mélasse de canne à sucre. Dans ce cas, la quantité de

concentrés à offrir doit être augmentée de 15%. D'un autre côté, la concentration énergétique du concentré peut être aussi élevée que 1,9 Mcal NE l /kg MS lorsqu'il contient des aliments riches en énergie tels que des graines de céréales ou des semences d'oléagineux. Dans ce cas, la quantité de concentrés à offrir peut être réduite par 8%.

2 Pauvre : Vaches mangeant 1,5 % de leur poids vif (c'est-à-dire 9 kg de matière sèche pour une vache de 600 kg) d'un fourrage de pauvre qualité (par exemple, paille, tiges de maïs) contenant 0,9 Mcal NE l /kg MS.

3 Moyenne : Vaches mangeant 2,0 % de leur poids vif (c'est-à-dire 12 kg de matière sèche pour une vache de 600 kg) d'un fourrage de qualité moyenne (par exemple, graminées en début d'épiaison) contenant 1,2 Mcal NE l /kg MS.

4 Excellente: Vaches mangeant 2,5 % de leur poids vif (c'est-à-dire 15 kg de matière sèche pour une vache de 600 kg) d'un fourrage de bonne qualité (par exemple, légumineuses en début de floraison) contenant 1,45 Mcal NE l /kg MS.

5 Offrez les quantités de concentrés dans la zone grise en prenant garde aux problèmes associés aux grandes quantités de concentrés offertes (indigestion, acidoses du rumen, faible pourcentage de matière grasse dans le lait, etc.).

III.5.3. le prix des concentrés

La production laitière augmente de 1,5 à 2 kg par kg de concentré offert pour les quelques premiers kilos de concentré. Cependant, à mesure que la quantité de concentrés dans la ration augmente,

l'augmentation de lait par kilo de concentré offert diminue (Figure 1). Par exemple, la réponse au cinquième ou au sixième kg de concentré peut être moins de 0,2 kg de lait, et la production laitière peut rester inchangée lorsque le septième kilo de concentré est offert. Chaque kilo de concentré, cependant, coûte le même prix. Donc, la quantité de concentré à offrir dépend de son prix et de la prévision de la quantité de lait supplémentaire obtenue avec chaque kilo additionnel de concentré dans la ration.

2- Quel doit être le pourcentage de protéines dans le concentré pour couvrir les besoins en protéines?

Le pourcentage de protéines dans le mélange concentré dépend du type de fourrage dans la ration. Les fourrages riches en protéines tels que les légumineuses peuvent être combinés avec

un mélange concentré de faible contenu protéique. Par contre, une vieille graminée pauvre en protéines doit être complétée avec un mélange riche en protéines pour équilibrer la ration (voir Tableau 2).

3- Quel type de supplément minéral et quelle quantité doit être offerte?

Le sel et le minéral contenant le calcium et le phosphore peuvent être offerts en "libre service". Cependant, il est préférable d'ajuster le type et la quantité de minéraux offerts pour couvrir les besoins et éviter des excès ou déficits minéraux. La quantité de suppléments minéraux dépend des facteurs suivants:

Type of fourrage dans la ration. Les légumineuses sont riches en calcium et donc demandent moins de supplémentation calcique que les graminées.

La quantité de concentrés dans la ration. En général, les concentrés sont pauvres en minéraux. Donc, plus il y a de concentrés dans la ration, plus le besoin en supplémentation minéral est grand.

Le besoin de la vache en minéraux. Pour l'entretien, la vache a besoin de 30 à 50 g de calcium et 10 à 30 g de phosphore par jour. De plus, chaque kg de lait produit demande 3 g de calcium et 2 g de phosphore. Lorsqu'une ration est basée sur un fourrage de haute et moyenne qualité, de 0 à 150 g d'un minéral riche en phosphore (monosodium phosphate) est nécessaire. Par contre, avec un ensilage de maïs ou un fourrage vert de pauvre qualité, il est nécessaire d'utiliser un minéral supplément riche en calcium et en phosphore (50 à 200 g par vache par jour).

En général, la vache doit aussi recevoir de 10 à 25 g par jour d'un prémix de micro-minéraux enrichi en vitamines.

III.6. Quantité de concentrés à offrir

Le Tableau 1 est un guide de la quantité de concentrés à offrir aux vaches en fonction de leur production et de la qualité des fourrages. Les concentrés sont des aliments qui complètent l'énergie et les protéines des fourrages. En général, plus d'un ingrédient est nécessaire. Ceux-ci peuvent être mélangés ou offerts séparément (Tableau 2).

Pour utiliser le Tableau 1, il faut d'abord identifier la qualité du fourrage disponible en choisissant l'une des trois colonnes intitulées "Production laitière lorsque la qualité du fourrage est" (trois premières colonnes de gauche). Dans cette colonne, trouvez la production laitière

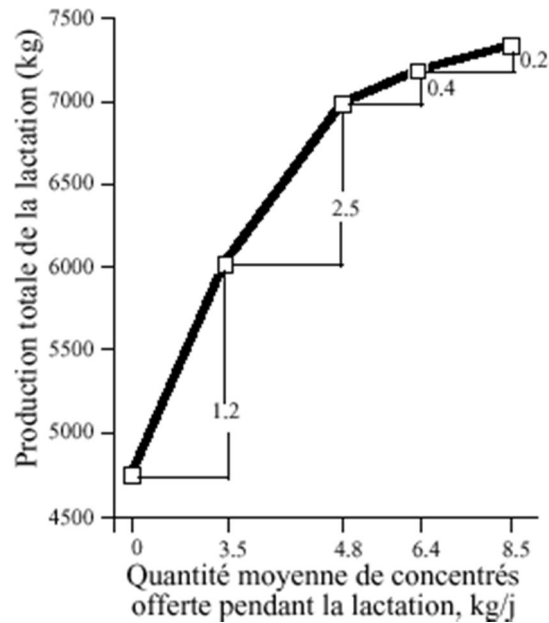
désirée. Enfin, suivez la rangée horizontalement pour trouver le nombre qui correspond au poids vif de la vache et le pourcentage de matière grasse dans son lait. Le nombre ainsi trouvé est la quantité de concentrés (kilo de matière sèche) à offrir par jour. Par exemple, une vache de 600 kg nourrie avec un fourrage de haute qualité et produisant 23 kg de lait contenant 4% de matière grasse doit recevoir 3,2 kg de matière sèche de concentré par jour. Le tableau indique aussi que si la même vache est nourrie avec un fourrage de qualité moyenne mais la même quantité de concentrés, la production de lait chutera probablement à 14 kg par jour. Une production de 23 kg de lait par jour avec un fourrage de qualité moyenne nécessiterait 7 kg de concentrés.

III.7.Ingrédients et pourcentage de protéines dans le mélange concentré

Pouvoir déterminer la quantité de concentré à offrir est important; cependant, il est tout aussi important de connaître le pourcentage de protéine brute totale (PBT) nécessaire dans le mélange concentré et la quantité de différents ingrédients à mélanger pour obtenir un mélange avec le pourcentage de PBT désiré.

La partie supérieure du Tableau 2 donne des exemples d'aliments concentrés classifiés en cinq groupes selon leur teneur en PBT¹. La colonne de droite du Tableau 2 indique le pourcentage de PBT nécessaire dans le mélange concentré en fonction du type de fourrage dans la ration. Lorsque le fourrage est une légumineuse à un stade de maturité jeune, une graminée jeune bien fertilisée, ou un mélange des deux, un mélange concentré contenant de 12 à 14% de PBT est adéquat. Cependant, lorsque les plantes vieillissent, leur concentration en protéine brute totale diminue et la concentration protéique du mélange concentré doit être augmentée entre 15 et 18%. Pour les fourrages de pauvres qualités, les résidus de cultures et l'ensilage de maïs, il est nécessaire d'utiliser un mélange concentré contenant entre 18 et 23% de PBT. La partie inférieure du Tableau 2 présente des exemples de quantités d'aliments concentrés à mélanger pour obtenir 1000 kg d'un mélange avec une concentration en PBT désirée. Par exemple, un mélange concentré de 14% en PBT peut être préparé en mélangeant 600, 200, et 200 kg d'un ingrédient pauvre, pauvre-moyen, et moyen-riche en PBT comme il est indiqué dans la partie supérieure du tableau.

¹ Pour une liste plus complète d'aliments concentrés groupés de manière similaire, voir M. A. Wattiaux, Guide Technique Laitier, Institut Babcock, Madison, Wisconsin. Publication TDG-NF-030794-F.



III.8. Les indicateurs pratiques pour l'évaluation des déséquilibres de la ration

Aucune ration calculée ne correspond en pratique tout à fait à ce qu'une vache mange. Par conséquent, le point de départ de l'alimentation doit toujours être le calcul de ration, mais il doit être suivi par une évaluation sur le terrain.

Une bonne gestion de troupeau implique donc d'observer régulièrement ses animaux et d'être réceptif aux signes émis par ceux-ci. Les données de production laitière sont également une source d'informations importante pour l'éleveur. L'objectif de ce chapitre est précisément de voir quels sont les signes émis par la vache qui indiquent un déséquilibre de la ration, mais aussi comment détecter, à partir des données de production laitière, un possible déséquilibre.

III.8.1. Les indicateurs à observer

Quels sont les signes extérieurs de la vache qui indiquent une bonne gestion de l'alimentation?

Certains signes extérieurs constituent des indicateurs importants d'une bonne ou d'une mauvaise efficacité alimentaire. Repérer ces signes est donc important car cela peut permettre de corriger certaines fautes dans la conduite de l'alimentation de l'animal ou du troupeau.

III.8.2. La note d'état corporel

La note (ou score) d'état corporel est une évaluation subjective de la quantité de gras sous-cutané de l'animal : elle diminue lorsque la vache ingère trop peu d'énergie et augmente

lorsque la prise énergétique est trop importante. Il s'agit donc d'un indicateur permettant de piloter les apports énergétiques de la ration. L'évaluation de l'état corporel est généralement réalisée en se plaçant derrière l'animal, côté droit. Il est cependant parfois nécessaire d'évaluer l'état corporel arrière et avant, et de faire une moyenne des 2 valeurs, les animaux ne mobilisant pas tous leurs réserves corporelles suivant le même ordre. L'état corporel est évalué sur une échelle de 5 points, 1 correspondant à un animal émacié, et 5, à un animal obèse. Au cours d'une lactation, l'état corporel varie. Il chute en effet au cours des 2 voire des 3 premiers mois de lactation, avec une reprise lors de la 2ème période de lactation. L'ampleur de la variation doit cependant rester dans certaines limites. On considère ainsi qu'une perte d'état corporel supérieure à 1 point est relativement inquiétante.

III.8.3. Le score de remplissage du rumen

Une évaluation de l'état de remplissage du rumen, également appelé score de rumen, permet 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, 1 correspondant à un flanc gauche très creux, et 5, à un rumen bien plein avec une continuité entre le flanc et les côtes. Le pli de peau sous la pointe de la hanche tombe verticalement. La vache n'a pas mangé ou a peu mangé. 0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5 83

Score 2 Le pli de peau sous la pointe de la hanche tombe obliquement en avant vers les côtes. C'est le signe d'une prise insuffisante de nourriture ou d'un transit alimentaire trop rapide. Score fréquent chez les vaches ayant vêlé depuis < 1 semaine.

Score 3 Le pli de peau tombant de la pointe de la hanche n'est plus visible. Le creux du flanc reste présent derrière les côtes. Note idéale pour les vaches en lactation avec une prise de nourriture suffisante et un bon transit.

Score 4 Le creux du flanc derrière les côtes a disparu. Note souhaitée pour les vaches en fin de lactation/début de tarissement.

Score 5 Le rumen est bien rempli. Il n'y a plus rien pour arrêter le regard entre le flanc et les côtes. Note idéale pour les vaches tarées.

III.8.4. La rumination

Le temps de rumination est un indicateur de la fibrosité de la ration. Il doit être au moins égal à environ 8 heures/jour. Concrètement, la méthode d'évaluation de la rumination repose sur une observation du troupeau : au moins 50 % des vaches couchées dans des logettes doivent ruminer. Ce taux doit par ailleurs atteindre 90 % 2 heures après l'affouragement. Si on observe des valeurs inférieures, la ration manque alors de fibrosité.

III.8.5. Les matières fécales

Les matières fécales sont le reflet de la digestion. Ainsi, inspecter l'apparence et la consistance de celles-ci permet de se faire une idée sur la qualité de la digestion. Deux méthodes d'évaluation existent, selon que l'on se place à l'échelle individuelle ou à l'échelle du troupeau. A l'échelle individuelle, l'éleveur peut évaluer la fraction fécale non digérée. Cette méthode consiste à recueillir les matières fécales fraîches de l'animal et à réaliser une inspection visuelle et manuelle, visant à détecter la présence de restes non digérés. En principe, en effet, quasiment tous les éléments de la ration doivent avoir été digérés. La fraction fécale non digérée s'évalue sur une échelle de 1 à 5

Matières fécales brillantes, avec une consistance homogène. Aucun élément non digéré n'est visible ou palpable. Score idéal pour les vaches en lactation et les vaches tarées.

Score 2 **Matières fécales brillantes**, avec une consistance homogène. Quelques éléments non digérés sont visibles et palpables. Score acceptable pour les vaches en lactation et les vaches tarées.

Score 3 **Matières fécales légèrement mates**, avec une consistance hétérogène. Des fibres non digérées collent aux doigts. Score acceptable pour des génisses pleines et des vaches tarées, mais inacceptable pour des vaches en lactation.

Score 4 **Matières fécales mates**, avec des éléments non digérés clairement visibles. Score inadéquat, nécessitant une révision de la ration.

Score 5 **Matières fécales mates**, avec des particules grossières facilement reconnaissables. Score inadéquat, nécessitant une révision de la ration.

A l'échelle du troupeau, l'éleveur peut évaluer la consistance des matières fécales, c'est-à-dire le rapport entre la MS et l'eau (figure 21). Cette méthode repose simplement sur l'observation des matières fécales fraîches au niveau du caillebotis. Le piétinement des matières fécales avec des bottes permet d'affiner l'évaluation.

Score 1 **Matières fécales très liquides**, qui disparaissent aussitôt entre les lames du caillebotis ou qui s'étalent comme de l'eau. Il s'agit des matières fécales d'un animal très malade.

Score 2 **Matières fécales liquides**, qui produisent des éclaboussures sur un sol dur et disparaissent entre les lames du caillebotis. Il s'agit des matières fécales d'une ration mal équilibrée ou issues d'un pâturage sur une prairie jeune et riche.

Score 3 **Matières fécales plus épaisses**, d'une hauteur de 2 à 3 cm, qui gardent leur forme. En les piétinant avec la botte, l'empreinte de la semelle ne reste pas. Ce sont les matières fécales idéales, indiquant que la ration est bien digérée.

Score 4 **Matières fécales épaisses**, d'une hauteur d'un doigt ou plus. Elles gardent leur forme et s'entassent en anneaux. En les piétinant avec la botte, l'empreinte reste bien marquée. Ce sont les matières fécales d'une ration mal équilibrée (parfois acceptables chez les vaches tarées et les génisses pleines).

Score 5 **Matières fécales**

ressemblant aux crottins de cheval. Ces matières fécales sont souvent observées chez les vaches tariées et les génisses pleines, mais reflètent une ration déséquilibrée qui doit être revue.

III.8.6. La production laitière

Le suivi de la production laitière individuelle ou par lot d'animaux (primipares versus pluripares ; ≤ 100 jours de lactation, entre > 100 jours et < 200 jours, ≥ 200 jours ; 1^{re}, 2^{ème} ou 3^{ème} lactation et plus) constitue une source précieuse d'informations pour évaluer la qualité de la ration alimentaire. Cet outil est malheureusement souvent peu utilisé, sauf si l'éleveur a recours au contrôle laitier.

III.8.7. Le nombre de maladies métaboliques

Un taux d'incidence élevé pour certaines maladies doit amener l'éleveur à vérifier les rations des animaux. C'est notamment le cas pour la fièvre de lait (hypocalcémie puerpérale), l'acidose et l'acétonémie, 3 pathologies que nous détaillerons plus loin.

Les indicateurs issus des données de la production laitière L'urée du lait, le TB et le TP constituent des indicateurs de l'équilibre énergétique et azoté de la ration. Nous les explicitons ci-dessous, et dressons préalablement un tableau de synthèse, qui récapitule les différents scénarios pouvant se rencontrer dans le cadre d'une analyse du lait, sur base de ces 3 indicateurs (tableau 20). Tableau 20 : Valeurs seuils des indicateurs issus des données de la production laitière (urée, TB et TP) et leur interprétation (adapté de Wolter, 1997)

Indicateur	Valeur inférieure	Moyenne	Valeur supérieure
Urée	Carence en protéines	150-300 mg/litre	Excès de protéines
TB	Excès de concentrés ;	présentation hachée des fourrages	3,5-4,2 %
TP	Carence énergétique	Carence énergétique ; carence en protéines ; carence en AA limitants (lysine, méthionine)	3,1-3,4 % Plafond génétique

III.8.8. L'urée du lait

Rappelons que 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. A l'échelle individuelle, il faut rester prudent quant à l'interprétation des valeurs obtenues: il existe en effet, à côté de l'effet du régime, une variabilité individuelle importante, 88 certaines vaches présentant systématiquement des taux d'urée plus faibles ou plus forts. Le taux d'urée dans le lait ne doit donc pas être considéré comme un outil de diagnostic, mais bien comme un indicateur, dont l'interprétation doit être contextualité. En général, on recherche un taux d'urée dans le lait se situant entre 150 et 300 mg/litre, les valeurs les plus hautes étant associées à des niveaux de production laitière plus élevé. Notons qu'on observe en Wallonie des disparités entre les régions agricoles : des teneurs plus élevées sont en effet observées dans les régions herbagères par rapport aux régions de grandes cultures. Ces variations s'expliquent principalement par la différence entre les rations distribuées aux animaux. Ainsi, une ration constituée en majeure partie d'herbe présente souvent un excès de protéines par rapport à l'énergie, ce qui entraîne une augmentation de la teneur en urée dans le lait. Similairement, la saison a une influence également, des teneurs plus élevées étant observées en période estivale. A nouveau, la différence de régime alimentaire entre la période de stabulation, en hiver, et la période de pâturage, en été, explique ces disparités. Enfin, la qualité de l'herbe, et en particulier les pourcentages de feuilles et de tiges, 2 facteurs qui sont influencés par le temps de pâturage, influencent également le taux d'urée du lait. Des concentrations plus élevées en urée sont ainsi observées lorsque le pourcentage de feuilles est plus important, et plus faibles lorsque le pourcentage de tiges est plus important. Par conséquent, le schéma de rotation des parcelles choisi est lui aussi un facteur de variation du taux d'urée du lait.

III.8.9. Le taux butyreux

Rappelons que l'origine des MG du lait est double. Les acides gras ont en effet une origine intra-mammaire ou une origine extra-mammaire. 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. Effet de la proportion de concentrés, de la fibrosité de la ration et du niveau énergétique de la ration Tous les facteurs alimentaires qui conduisent à l'acidose ruminale — excès de concentrés et manque de fibrosité — sont responsable d'une chute du TB dans le lait Le niveau seuil de pH confirmant un état d'acidose subclinique dépend de la méthode de détermination du pH ruminale. Lors de prélèvement du jus de rumen par sonde or pharyngienne, le seuil est fixé à

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

pH 6,0. Lors de ruminocentèse, ce seuil est fixé à 5,5. Ration Acides gras absorbés Acides gras mobilisés Réserves corporelles Prélèvement dans le sang (60 %) Acides gras à longue chaîne MG du lait Synthèse (40 %) Acides gras courts et moyens Fermentations ruménale des glucides Acide acétique C2 Acide butyrique C4 90 Lors de l'administration d'une ration riche en fourrages, avec présence importante de cellulose, la proportion d'acide acétique dans le rumen est d'environ 70 %, et celle d'acide butyrique de 10 %. Si une ration riche en concentrés est distribuée, la proportion de cellulose dans la ration diminue au profit de l'amidon, et, ce faisant, on observe une diminution de la proportion d'acide acétique en faveur de l'acide propionique. L'acide acétique étant le principal précurseur pour la synthèse des acides gras dans la mamelle, sa diminution dans le rumen entraîne une diminution de la synthèse d'acides gras dans la mamelle, et donc, une diminution du TB du lait. Dans cette situation, l'excès de concentrés entraîne donc une diminution de la fibrosité de la ration, via la proportion moindre de cellulose, et ceci a des répercussions sur le TB du lait. L'administration de quantités importantes de concentrés influence également le TB du lait par une seconde voie. Une forte proportion de concentrés modifie en effet également la structure physique de la ration. La durée de mastication est ainsi réduite, ce qui entraîne une diminution de la production de salive. La salive jouant un rôle tampon par rapport aux acides du rumen, sa diminution est responsable d'une diminution du pH ruminale, qui elle-même, entraîne une diminution des fermentations acétiques au profit des fermentations propénoïque. Ce faisant, la production d'acide acétique est diminuée, ainsi que la synthèse de MG dans la mamelle. Par cette seconde voie, l'excès de concentrés entraîne donc également une diminution de la fibrosité de la ration, via une structure physique de la ration plus fine, avec à nouveau des répercussions sur le TB du lait. Concentrés en quantités importantes avec une présentation « fine » Teneur faible de la ration en cellulose avec une présentation peu grossière et peu fibreuse Ingestion rapide et rumination réduite entraînant une salivation peu importante Fourrages à forte teneur en glucides cytoplasmiques avec une présentation hachée Libération rapide et intense d'acides propénoïque et butyrique (et parfois d'acide lactique) Acidification importante du rumen Acidification non compensée par les substances tampons de la salive Situation favorable à la prolifération de la flore se développant à pH bas avec fermentations propénoïque et lactiques Le pH du rumen reste $\leq 6,0$ Acidose subclinique \downarrow production d'acide acétique \downarrow TB 91 La finesse de hachage des fourrages a également un effet sur la fibrosité de la ration, et donc sur le risque d'acidose ruminale et le TB du lait. On conseille parfois aux éleveurs de hacher finement leurs fourrages — et notamment l'ensilage de maïs — afin d'accroître les ingestions. Ces conseils doivent être accueillis avec la plus grande

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

prudence. En effet, d'une part, contrairement aux idées reçues, la finesse de hachage des fourrages n'accroît pas toujours les quantités ingérées. D'autre part, la réduction de la longueur des particules a des effets similaires à ceux observés avec l'accroissement de la teneur en amidon rapide : elle réduit le pH ruminale et favorise la chute du TB du lait. Les effets de la réduction de la longueur des particules s'expliquent par la réduction de la durée de mastication et donc de l'afflux de salive, mais aussi par l'accélération des fermentations, étant donné l'accroissement du rapport surface/masse des particules. Le tableau 21 présente précisément les recommandations en termes de finesse de hachage pour l'ensilage de maïs et l'ensilage d'herbe. Muni de 2 ou 3 tamis à mailles de diamètre décroissant : 19 mm, 8 mm et 1,2 mm. Figure 24 : Séparateur de particules muni de 2 tamis

Dans ce contexte, pour éviter une chute du TB du lait, il faut idéalement veiller à respecter certaines consignes, présentées dans le tableau 22. Tableau 22 : Règles d'or à respecter afin d'éviter une chute du TB du lait

1. Un rapport fourrages/concentrés supérieur à 60/40 (en % de la MS totale ingérée) 92
2. Une teneur en cellulose brute dans la ration supérieure à 18 % (dans la MS)
3. Une teneur en fibres de type hémicellulose + cellulose + lignine (fibres « NDF » 13) au moins égale à 30 % (dans la MS)
4. Une distribution des concentrés de façon progressive et fractionnée, à fermentescibilité modérée. On recommande ainsi de limiter l'apport d'amidon à dégradation rapide (orge, avoine, blé,...) à moins de 25 % de la MS de la ration
5. Une proportion suffisante de fibres longues (plus de 19 mm) au niveau des fourrages

Une chute du TB du lait en-dessous de 3,2 % peut avoir différentes causes, dont l'acidose subclinique du rumen. Un diagnostic différentiel d'acidose devra donc toujours être envisagé lors de chute du TB. A l'inverse, un TB dans le lait > 4,2 % est en général le signe d'un déficit énergétique de la ration alimentaire par rapport aux besoins de l'animal. C'est la situation fréquemment observée chez une vache en début de lactation, où l'intense mobilisation des réserves corporelles crée un afflux dans le sang d'acides gras longs, prélevés par la mamelle. Ce prélèvement accru a pour effet d'augmenter le TB du lait. Remarquons que les rations riches en sucres solubles, comme par exemple celles contenant des betteraves, des pulpes ou de la mélasse, si elles ne sont pas distribuées en excès, favorisent la production ruminale d'acide butyrique, ce qui a pour effet d'augmenter le TB du lait. Effet du niveau des lipides alimentaires dans la ration L'effet de l'incorporation de MG dans la ration sur le TB du lait est variable : Avec une ration alimentaire pauvre en MG, comme par exemple une ration à base— d'ensilage d'herbe, une supplémentation entraîne une augmentation du TB, avec une proportion plus élevée d'acides gras à longue chaîne. Lorsque le taux de MG de la ration dépasse les 5 % de la MS totale, tout apport— supplémentaire entraîne une diminution du TB.

On considère en général qu'une teneur en MG de 3 – 3,5 % de la MS dans la ration est optimale chez les bovins laitiers.

III.8.10. 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 < 3,1 % signe un déficit énergétique (manque d'amidon), accompagné éventuellement d'un déficit protéique. Effet du niveau énergétique de la ration Le TP du lait dépend essentiellement du niveau énergétique de la ration, un déficit énergétique se traduisant par un taux amoindri, en parallèle souvent avec une diminution de la production laitière. Par conséquent, la ration doit contenir suffisamment d'énergie pour permettre la protéosynthèse.

13 NDF : Neutral Detergent Fiber 93 Lors de déficit énergétique, comme par exemple en début de lactation chez les vaches laitières hautes productrices, les besoins en glucose de la vache n'étant pas couverts par la transformation du propionate disponible (issu, pour rappel, de la dégradation de l'amidon), les AA sont déviés vers la voie de la néoglucogenèse, au détriment de la protéosynthèse. Ce recours aux AA entraîne une diminution du TP du lait. Par conséquent, en début de lactation, il est primordial de veiller à un apport énergétique suffisant pour limiter le recours aux AA, mais il faut également bien sûr veiller à réaliser un apport en AA adéquat. Par ailleurs, comme pour le TB du lait, des teneurs en MG dans la ration totale dépassant le seuil des 5 % de la MS sont également préjudiciables pour le TP du lait. Effet de l'apport en protéines dans la ration et de leur nature Il est important de comprendre qu'une ration excessive en protéines n'améliore pas le TP du lait, mais augmente le taux d'urée de celui-ci (cf. supra). Certains AA, la méthionine et la lysine, sont considérés comme limitants chez la vache laitière : leur synthèse via les microorganismes du rumen ne couvre pas toujours les besoins de l'animal. Ainsi, les régimes couplant ensilage de maïs, tourteau de soja et céréales sont souvent associés à un déficit en méthionine, voire en lysine. Ces déficits sont susceptibles de provoquer une chute du TP du lait. Aussi, il est important de veiller à couvrir les besoins azotés de l'animal, mais aussi à couvrir ses besoins en AA limitants. Rappelons quelques aliments déficitaires en méthionine et en lysine : le maïs grain, le tourteau de lin déshuilé ou expeller, les drèches de brasserie et le lupin blanc extrudé. Le tourteau de soja expeller ou déshuilé, le lupin blanc, le pois, la féverole, le blé et la luzerne déshydratée sont quant à eux déficitaires en méthionine. Pour autant que les besoins azotés de l'animal soient couverts, le recours à des aliments mieux équilibrés en AA et/ou à des protéines by-pass permet d'éviter une chute du TP du lait. Ainsi, substituer le tourteau de soja par du tourteau de colza, mieux pourvu en méthionine, peut avoir un effet bénéfique sur le TP du lait.

III.9. Les principales pathologies d'origine nutritionnelle et leur prévention

III.9.1. La fièvre de lait

Des déséquilibres minéraux peuvent avoir des conséquences importantes chez la vache laitière. La fièvre de lait est un exemple assez illustratif. La fièvre de lait, également appelée fièvre vitulaire ou hypocalcémie puerpérale, est une hypocalcémie clinique peripartum. En d'autres termes, 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, c'est-à-dire une hypocalcémie moins prononcée, qui n'est pas associée à des signes cliniques. Par conséquent, l'apparition de quelques cas de fièvre de lait dans un troupeau doit être considérée comme l'arbre qui cache la forêt, et 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 la(les) parcelle(s). Un excès de potassium dans l'herbe, et donc une ration avec une BACA positive, augmente en effet le risque de fièvre de lait. Notons 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.

III.9.2. 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, mammites, 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.

III.9.3. L'acidose subaigüe du rumen

L'acidose subaigüe du rumen, également appelée acidose chronique, acidose latente, acidose subclinique du rumen ou SARA (acronyme issu de la terminologie anglaise, Sub acute ruminale acidoses), est une pathologie qui concerne préférentiellement les vaches laitières hautes productrices, c'est-à-dire les vaches ayant une production laitière moyenne > 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'amidon¹⁴) 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 ruminal, et donc à une augmentation du risque d'acidose. Notons que ce risque est d'autant plus élevé en début de lactation que la transition entre une ration riche en fibres et peu énergétique de fin de gestation et une ration hautement énergétique de début de lactation aura été brutale. En effet, la production massive d'AGV dans le rumen peut être, dans une certaine mesure, contrebalancée par leur absorption par 14 Certaines variétés de céréales sont plus acidogènes que d'autres. Ceci est lié à leurs teneurs en amidon, qui peut

Chapitre III : Alimentation des vaches laitières

varier d'une céréale à l'autre, mais aussi à la structure de l'amidon présent, qui influence fortement la vitesse de digestion de celui-ci. 96 la paroi ruminale. 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. L'acidose subaigüe peut également survenir entre la 10ème et la 14ème semaine, lorsque la capacité d'ingestion est restaurée. Elle est alors la conséquence de l'administration de rations hautement énergétiques, riches en glucides facilement fermentescibles, ou d'erreurs de gestion alimentaire. A titre d'exemples, citons ainsi comme erreurs fréquentes: la distribution des concentrés avant celle des fourrages ; tout facteur favorisant des comportements de tri de la part des animaux ou des comportements de compétition entre les animaux (mise à disposition de fourrages de mauvaise qualité, manque de places à table et/ou rang hiérarchique des animaux) ; et tout facteur susceptible d'empêcher une rumination efficace, telle qu'une mauvaise qualité du logement (logettes en nombre insuffisant ou inconfortables). Le diagnostic de l'acidose subaigüe est complexe. La mesure du pH ruminale est importante, mais doit toujours être mise en relation avec la présence de signes cliniques. Ainsi, des éléments tels que la note d'état corporel, le score de remplissage du rumen, le score de consistance des matières fécales, le score de fraction fécale non digérée, l'analyse de la ration (proportion fourrages/concentrés, longueur des fibres, ...), l'analyse de la fréquence de certaines pathologies dans le troupeau (boiteries, fourbures, déplacement de caillette,...) et l'analyse du TB du lait, notamment, permettent d'orienter le diagnostic.

Références

1. OFLIVE, 2001 *in* AID M, 2007
2. ABDELGUERFI et al ,2002 *in* AID M., 2007,
3. KORCHI, 1986 *in* AID, 2007
4. ANONYME, 1999 *in* HASSAS TOUAMI, 2000
5. SHTALI, 1991 *in* AID, 2007.
6. ZEMANI, 2003
7. DJORHLAL, 2002
8. Wallonie Elevages, 2012, n°6, pp 5-6. ARVALIS – INSTITUT DU VEGETAL.
9. http://www.afpf-asso.fr/files/fichiers/Recolte_conservation_herbe.pdf. Consulté le 18/11/2013. BECKERS Y.
10. <http://www.cipf.be/fr/files/maisration.pdf>. Consulté le 14/11/2013. BECKERS Y.
11. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/122663/1/Betteraves%20fourrag%C3%A8res.pdf>; Consulté le 06/01/2014. BROCARD V, BRUNSCHWIG P, LEGARTO J, PACCARD P, ROUILLE B, BASTIEN D, LECLERC M-C.
12. Guide pratique de l'alimentation du troupeau bovin laitier. L'Institut de l'élevage : Paris, 2010, 268 pages. BRUNSCHWIG P, CHENAIS F, MOEL D'ARLEUX F
13. Institut de l'élevage, 2000 : <http://idele.fr/domaines-techniques/produire-ettransformer-de-la-viande/alimentation/publication/idelesolr/recommends/la-complementationazotee-des-regimes-pour-vaches-laitieres.html>. Consulté le 19/11/2013. CARROUEE B.
14. Fourrages, 2003, 174, 163-182. CAUTY I, PERREAU JM.

15. La conduite du troupeau laitier. Editions France Agricole, 2003, 288 p.
CENTRE INDEPENDANT DE PROMOTION FOURRAGERE.