

les livrets

DE L'AGRICULTURE

N° 22

L'ALIMENTATION DE LA VACHE LAITIÈRE

Christine CUVELIER, Jean-Luc HORNICK, Yves BECKERS, Eric FROIDMONT,
Émilie KNAPP, Louis ISTASSE, Isabelle DUFRASNE



les livrets

DE L'AGRICULTURE

N° 22

L'ALIMENTATION DE LA VACHE LAITIÈRE

Physiologie et besoins¹

Aliments, calculs de ration, indicateurs d'évaluation des déséquilibres
de la ration et pathologies d'origine nutritionnelle²

¹Christine CUVELIER*, Jean-Luc HORNICK*, Yves BECKERS*, Eric FROIDMONT**,
Emilie KNAPP*, Louis ISTASSE*, Isabelle DUFRASNE*

²Christine CUVELIER*, Isabelle DUFRASNE*

*Université de Liège

**Centre Wallon de Recherches Agronomiques



Wallonie

Présentation

Le secteur laitier wallon est soumis à de multiples contraintes et défis: rentabilité, libéralisation croissante, traçabilité des produits, qualité des produits, sécurité d'approvisionnement, augmentation du prix des intrants, respect de l'environnement, bien-être animal... Une réflexion approfondie sur les modes de production actuels et sur les alternatives à développer est nécessaire pour faciliter l'adaptation du secteur.

Le Service Public de Wallonie souhaite aider les éleveurs, en leur donnant des outils qui leur permettront de faire face à ces nouveaux enjeux et de s'inscrire dans une démarche proactive de gestion de leur troupeau. Ce Livret de l'Agriculture, dédié à l'alimentation de la vache laitière, illustre cette volonté. Il doit être considéré comme un outil de formation des éleveurs, un véritable guide pratique, s'adressant tant aux novices qu'aux éleveurs plus expérimentés.

Sont décrites: la physiologie de la vache laitière et l'expression de ses besoins qui sont les bases nécessaires à la compréhension du rationnement

pratique sont d'abord rappelés: besoins d'entretien, besoins liés à la production laitière et/ou à la gestation.

Ensuite, les principaux aliments utilisés en production laitière sont caractérisés et des exemples de calculs de ration sont donnés. Ce livret aborde également les principaux indicateurs permettant d'évaluer les déséquilibres d'une ration et les pathologies d'origine nutritionnelle les plus fréquentes.

Il s'agit d'un véritable guide pratique, qui s'adresse à tout éleveur soucieux à la fois de comprendre les notions qui sous-tendent les calculs de ration des troupeaux laitiers et de pouvoir réaliser au quotidien un meilleur suivi de ses animaux et de sa production, mais aussi de mieux intégrer les critères environnementaux dans sa gestion de l'alimentation.

Ce livret présente en outre des alternatives à envisager afin de diminuer les achats d'intrants au sein de l'exploitation, et donc d'augmenter l'autonomie alimentaire de celle-ci. Le fil conducteur

est ainsi l'utilisation, la valorisation et l'optimisation de l'herbe et des pâturages. La substitution du tourteau de soja – aliment souvent incontournable durant ces trente dernières années – par des protéines végétales produites localement est également mise en avant.

Ce livret a été rédigé dans le cadre d'une subvention supervisée par le département de l'Environnement et de l'Eau. Il est le fruit d'un travail concerté entre différents acteurs actifs dans le domaine de l'alimentation de la vache laitière :

— Yves BECKERS, du Département des Sciences agronomiques de Gembloux Agro-Bio Tech-Université de Liège

— Christine CUVELIER, l'auteur, du Service de Nutrition des Animaux domestiques de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège ;

— Jean-Pierre DESTAIN, du Centre Wallon de Recherches Agronomiques

— Isabelle DUFRASNE, du Service de Nutrition des Animaux domestiques de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège, promoteur du projet de rédaction du livret ;

— Eric FROIDMONT, du Département 'Productions et Filières' du Centre Wallon de Recherches Agronomiques

— Louis ISTASSE, du Service de Nutrition des Animaux domestiques de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège ;

— David KNODEN, de l'ASBL Fourrages Mieux ;

— Françoise LESSIRE, du Service de Nutrition des Animaux domestiques de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège ;

— Pierre LUXEN, de l'ASBL Agra-Ost ;

— Pierre RONDIA, du Département 'Productions et Filières' du Centre Wallon de Recherches Agronomiques

— Marc THIRION, du Département du Développement, de la Ruralité et des Cours d'eau, et du Bien-être animal du SPW Agriculture, Ressources naturelles et Environnement

— Dimitri WOUEZ, de l'ASBL Nitrawal.

Les auteurs remercient la Professeure Annick Gabriel de la faculté de Médecine vétérinaire (ULiège) pour la mise à disposition des figures 3, 4, 5 et 6.

Table des matières

1. Introduction.11

Liste des abréviations12

Partie I: La composition des aliments13

 I.1 La matière organique14

 I.2 La matière minérale17

 En bref17

Partie II: La digestion des aliments chez le ruminant18

 II.1 Anatomie et physiologie digestive des ruminants18

 La rumination21

 II.2 La digestion des aliments.26

 II.3 La digestibilité des aliments35

 En bref37

PARTIE III: Les particularités du métabolisme des principaux nutriments38

 III.1 Métabolisme des glucides.39

 III.2 Métabolisme des AGV39

 III.3 Métabolisme des lipides40

 III.4 Métabolisme des protéines.40

 En bref41

PARTIE IV: Expression des besoins et des apports	42
IV. 1 Les systèmes utilisés pour exprimer les besoins et les apports	42
IV. 2 Les besoins des animaux	61
En bref	75
PARTIE V: Les aliments et leur utilisation en production laitière	78
V.1 Les fourrages.	79
V.2 Les concentrés	110
V.3 Les mélanges minéraux vitaminés.	124
PARTIE VI: Le calcul de ration en production laitière	127
VI.1 La distribution des rations	127
VI.2 Rations	128
PARTIE VII: Les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration	155
VII.1 Les indicateurs à observer	155
VII.2 Les indicateurs issus des données de la production laitière.	164
PARTIE VIII: Les principales pathologies d'origine nutritionnelle	173
VIII.1 La fièvre de lait	173
VIII.2 L'acétonémie	174
VIII.3 L'acidose subaigüe du rumen	175
BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES	178
ANNEXE 1 : tableau de composition des aliments (données à titre indicatif) . . .	186
Liens utiles	191

1. Introduction

L'alimentation a pour objectif de fournir les éléments nutritifs permettant de satisfaire l'ensemble des besoins. Pour une vache laitière, ces besoins sont représentés par les besoins d'entretien, de production, de gestation et le cas échéant de croissance s'il s'agit d'une primipare. La couverture de ces besoins permet d'obtenir une production optimale si elle est réalisée en respectant la physiologie générale du ruminant et particulièrement celle de la vache en lactation. Grâce à la présence d'une population microbienne variée au sein du rumen, les ruminants peuvent valoriser des aliments riches en fibres tels que les fourrages, que d'autres animaux comme les monogastriques ne peuvent digérer. Ils sont donc à même de valoriser la prairie dans le cadre de leur alimentation. Les développements de la recherche de ces dernières années ont permis de mieux connaître

l'activité microbienne dans le rumen, et, de ce fait, d'orienter les fermentations vers la formation de produits intéressants pour la vache laitière. Par ailleurs, les rejets azotés de l'animal dans l'environnement font actuellement l'objet d'une attention croissante, les éleveurs étant invités à mettre en place des stratégies visant à les réduire.

Ce livret a précisément pour but de jeter les bases de l'alimentation de la vache laitière. Il présente ainsi brièvement l'anatomie digestive de la vache et les processus impliqués au cours de la digestion, et explicite les notions de besoins alimentaires. Rédigé dans un langage accessible à tous et toutes, il fournira à tout éleveur les outils pour comprendre les mécanismes et les principes qui sous-tendent le rationnement des troupeaux laitiers.

Liste des abréviations

AA: Acide aminé

ADF: *Acid Detergent Fiber*

AGV: Acide Gras Volatil

BACA: Balance alimentaire cations/anions

DAC: Distributeur automatique d'aliments

DVE: *Darmverteerbaar Eiwit*

EB: Énergie brute

ED: Énergie digestible

EM: Énergie métabolisable

EN: Énergie nette

MAT: Matières azotées totales

MG: Matières grasses

MS: Matière sèche

NDF: *Neutral Detergent Fiber*

NEL: Énergie nette Lait

OEB: *Onbestendige Eiwit balans*

TB: Taux butyreux

TP: Taux protéique

UI: Unité Internationale

VEM: *Voeder eenheid voor melk*

Partie I: La composition des aliments

Les aliments distribués aux bovins sont composés d'eau et de divers nutriments¹ : des glucides, des lipides, des matières azotées, des vitamines et des minéraux, ainsi que des substances totalement dépourvues de valeur nutritive, telle que la lignine.

Lorsqu'on place un aliment dans une étuve, l'eau contenue dans l'aliment s'évapore et il subsiste un résidu sec, appelé matière sèche (MS). Tous les aliments contiennent une certaine fraction de MS. Ainsi, la teneur en MS de l'herbe varie aux alentours

de 20 %, alors que celle du foin et des céréales se situe plutôt respectivement aux environs de 85 et 90 %.

La MS comprend d'une part la matière organique, caractérisée par la présence d'atomes de carbone, et d'autre part la matière minérale. Les composants de la matière organique sont les glucides, la lignine, les lipides, les matières azotées et les vitamines. La matière minérale comprend quant à elle les minéraux (figure 1).

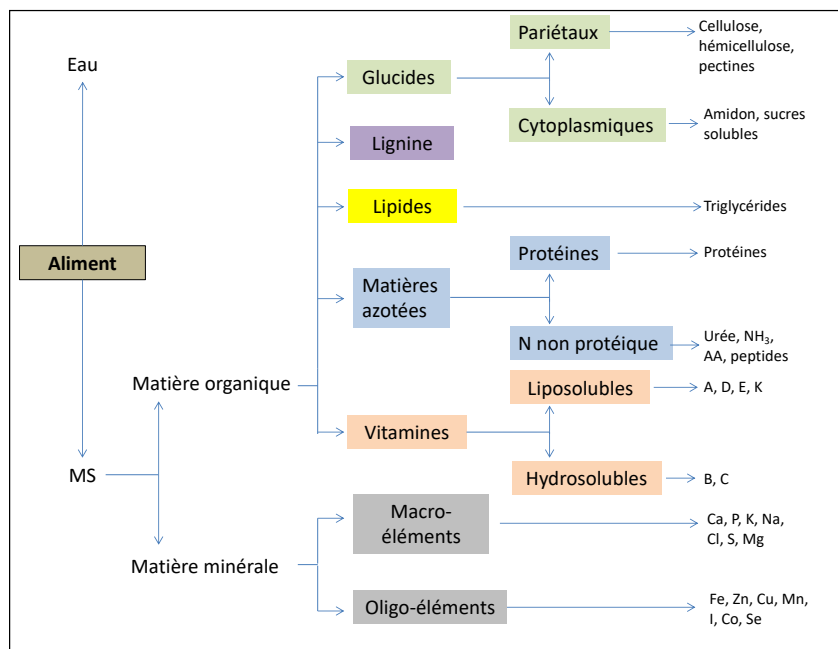


Figure 1 : Composition des aliments (à partir de Brocard et al 2010)

1. Nutriments : substance chimique contenue telle quelle dans les aliments ou provenant de leur digestion, et que les cellules utilisent directement dans leur métabolisme.

I.1 La matière organique

I.1.1 Les glucides et la lignine

On utilise fréquemment le terme *sucres* pour désigner les glucides. Il s'agit d'une dénomination quelque peu erronée, le terme *sucres* désignant en réalité une catégorie bien précise de glucides, les sucres solubles. Aussi, dans ce livret, nous utiliserons le terme correct pour désigner cette catégorie de nutriments, et nous parlerons de *glucides*.

On peut distinguer schématiquement deux catégories de glucides (figure 1) :

- les glucides constituant la paroi des cellules végétales, les *glucides pariétaux* (appelé communément « les fibres »), qui comprennent la cellulose, l'hémicellulose et les pectines ;
- les glucides contenus à l'intérieur des cellules végétales, les *glucides cytoplasmiques*, qui comprennent l'amidon et les sucres solubles (glucose, lactose,...).

La paroi des cellules végétales comprend également un composé non glucidique, la lignine (figure 1). Cette substance, qui s'associe aux glucides pariétaux et dont la teneur augmente avec l'âge de la plante, est presque totalement non dégradable dans le tube digestif du ruminant.

Lorsqu'une analyse de fourrage est réalisée auprès d'un laboratoire, les résultats relatifs aux teneurs en glucides précisent en général d'une part la teneur en « cellulose brute » par « la méthode de Weende », et d'autre part les teneurs en fibres « NDF » (*Neutral Detergent Fiber*) et en fibres « ADF » (*Acid Detergent Fiber*), en lignine et en hémicellulose (figure 2).

la composition des aliments

Figure 2 : Extrait d'une analyse de fourrage (Herbe à pâturer)

NATURE : Herbe prairie fraîche à pâturer		N° identification	
Origines : Indéterminée	Type de Prairie :	Coupe :	Préfanage :
Matériel de récolte :		Produit(s) de conservation :	non précisé
Mode de conservation :	Non précisé		
Date(s) de coupe : __/__/__	et __/__/__	Date(s) de récolte : __/__/__	et __/__/__
	Votre ECHANTILLON	sur MATIERE SECHE	MOYENNES
Poids frais de l'échantillon (g)	191		
Matière sèche (g/kg)	178	1000	
CONSERVATION			
pH			
Azote ammoniacal (%)			
VALEUR ALIMENTAIRE (g/kg)			
Cendres brutes	20	115	
Mat. azotées tot. (Kjeldahl, NIR)	34	188	
Cellulose brute (Weende, NIR)	40	224	
NDF (cellulose + hémicellulose + lignine NIR)		471	
ADF (Nir)		264	
Lignine (Nir)		28	
Hémicellulose (Nir estimation)		207	

Contrairement à ce que sa dénomination évoque, l'analyse de la cellulose brute par la méthode de Weende ne dose pas fidèlement la cellulose. Cette méthode extrait un résidu organique composé majoritairement de cellulose et de lignine et contenant une partie de l'hémicellulose. Les teneurs en NDF, ADF, lignine et hémicellulose sont

quant à elles déterminées par une autre méthode d'analyse, la méthode Van Soest. Schématiquement, retenons que la teneur en NDF représente la teneur en hémicellulose, cellulose et lignine, et que la teneur en ADF représente la teneur en cellulose et en lignine.

2. Les acides gras sont des acides carboxyliques à chaîne aliphatique hydrophobe, saturés ou non saturés selon qu'ils ne contiennent pas ou contiennent des doubles liaisons. Il existe de nombreux acides gras différents, qui se différencient par la longueur de leur chaîne carbonée, mais aussi par le nombre, la position et la configuration spatiale des doubles liaisons.

I.1.2 Les lipides

Les lipides sont également appelés *matières grasses*. Il existe différentes classes de lipides. Les principaux constituants lipidiques des végétaux sont en général des triglycérides, c'est-à-dire des molécules comprenant 1 glycérol + 3 acides gras².

Les matières grasses sont caractérisées par la nature des acides gras qui les composent. Ainsi, on peut classer les acides gras selon leur longueur:

- les acides gras volatils (AGV) avec 2, 3 ou 4 atomes de C
- les acides gras à courte chaîne (entre 5 et 10 atomes de C)
- les acides gras à chaîne moyenne (12 à 16 atomes de C)
- les acides gras à longue chaîne (18 ou plus de 18 atomes de C)

On peut également les classer en fonction de la présence ou de l'absence de double liaison sur leur chaîne carbonée: les acides gras saturés d'une part (sans double liaison) et les acides gras insaturés d'autre part (avec une double liaison ou plus).

Notons encore que certains acides gras sont considérés comme « essentiels » pour toutes les espèces animales. Ceci signifie qu'ils doivent impérativement être apportés par l'alimentation car l'animal ne peut les synthétiser. Ils peuvent par contre être synthétisés par les micro-organismes hébergés dans leur tube digestif. Ainsi chez les ruminants, cette synthèse s'opérant dans le rumen, il n'est pas indispensable d'apporter ces acides gras dans leur alimentation.

I.1.3 Les matières azotées

Les matières azotées sont représentées par des protéines et de l'azote non protéique.

Une protéine est constituée d'une longue chaîne d'acides aminés (AA). En alimentation, 20 AA différents sont pris en considération, dont pratiquement la moitié d'entre eux sont considérés comme essentiels car ne pouvant être synthétisés par l'animal. Ils doivent donc être impérativement présents dans les aliments consommés.

À nouveau le ruminant se distingue des autres espèces animales car une part substantielle des acides aminés digérés dans l'intestin a été synthétisée dans le rumen grâce aux micro-organismes hébergés. Nonobstant, des AA, tels que la méthionine et la lysine, sont cependant considérés comme « limitants »: leur synthèse *via* les micro-organismes du rumen ne couvre pas toujours les besoins de la vache en production.

L'azote non protéique comprend quant à lui notamment les peptides (chaînes d'AA limitées), les AA, l'urée et l'ammoniaque (NH₃) (figure 1).

I.1.4 Les vitamines

Les vitamines se définissent comme des constituants de la matière organique que l'animal est en général incapable de synthétiser, et qui, à faible dose, sont indispensables au développement, à l'entretien et aux fonctions de l'organisme. On distingue deux catégories de vitamines (figure 1): les vitamines liposolubles,

c'est-à-dire solubles dans les graisses: vitamines A, D, E et K;

- les vitamines hydrosolubles, c'est-à-dire solubles dans l'eau: vitamine C et vitamines du groupe B (B1: thiamine; B2: riboflavine; B3: niacine; B5; B6; B8: biotine; B9: acide folique; B12).

Les vitamines liposolubles font l'objet d'un stockage au niveau du foie. Même s'il y a mise en réserve, il est certain qu'un apport régulier par l'alimentation permet à l'animal d'extérioriser son potentiel de production. Chez le ruminant, il n'est pas nécessaire d'apporter *via* la ration alimentaire les vitamines du groupe B ainsi que les vitamines C et K. Les micro-organismes du rumen sont en effet capables de les synthétiser. Les autres vitamines doivent par contre impérativement être apportées par les aliments distribués.

I.2 La matière minérale

La matière minérale, ou matière inorganique, correspond au résidu sec d'un aliment lorsque celui-ci a été calciné dans un four à 550°C. Ce résidu est également appelé cendres brutes ou cendres totales. Celles-ci comprennent les minéraux, que l'on peut diviser en deux catégories (figure 1):

- les macroéléments, présents en quantités relativement importantes et pour lesquels l'unité de mesure est le g. Ce sont ainsi le calcium (Ca), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na), le chlore (Cl), le soufre (S) et le magnésium (Mg);
- les oligoéléments, présents en quantités très faibles ou à l'état de traces, pour lesquels l'unité de mesure est le mg. Ce sont le fer (Fe), le sélénium, (Se), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), l'iode (I), le cobalt (Co) et le manganèse (Mn).

En bref

Lorsqu'on place un aliment dans une étuve, l'eau contenue dans l'aliment s'évapore et il subsiste un résidu sec, appelé matière sèche.

La MS comprend d'une part la matière organique et d'autre part la matière minérale. Les composants de la matière organique sont les glucides (pariétaux et cytoplasmiques), la lignine, indigestible dans l'intestin du ruminant, les lipides, les matières azotées et les vitamines (liposolubles et hydrosolubles). La matière minérale comprend quant à elle les minéraux (macroéléments et oligoéléments).

Partie II: La digestion des aliments chez le ruminant

II.1 Anatomie et physiologie digestive des ruminants

II.1.1 L'anatomie du tube digestif des ruminants

D'un point de vue anatomique, le système digestif des bovins se compose de la bouche, de la langue, des dents, du pharynx digestif, de l'œsophage, des estomacs, des intestins, du rectum et de l'anus. Les estomacs se composent du réseau, du rumen, du feuillet et de la caillette. Ils sont particulièrement adaptés à la digestion d'aliments riches en fibres, tels que les fourrages. Le rôle de la digestion est d'extraire les nutriments contenus dans les aliments pour les rendre absorbables par le tube digestif et disponibles pour le métabolisme des cellules animales. La digestion combine des mécanismes physiques et chimiques.

Bouche et œsophage

Les bovins n'ont ni canines ni incisives à la mâchoire supérieure. Ils possèdent cependant à la place un « bourrelet gingival ». Ils ont une langue épaisse et rugueuse qui permet une préhension optimale de l'herbe qui est pincée entre les incisives inférieures et le bourrelet gingival et ensuite arrachée du pré. Des glandes salivaires volumineuses aident à imprégner le

bolus. La salive, contenant des bicarbonates et des phosphates, possède un rôle tampon, d'imbibition des aliments, et de lubrification. La production de salive peut atteindre 150 litres par jour chez une vache laitière. Elle dépend de la mastication, elle-même liée à la fibrosité de la ration. On distingue la mastication liée à l'ingestion (30 à 95 mouvements par minute) et la mastication mérycique³, liée à la rumination (55 mouvements par minute). Au total, cela fait 40.000 mouvements par jour !

Estomac

Les estomacs des ruminants sont volumineux, au point d'occuper les 4/5 de la cavité abdominale. Ils comprennent trois compartiments, appelés également « préestomacs », le réseau (ou *réticulum*), le rumen, et le feuillet (ou *omasum*). Ceux-ci précèdent un 4^e compartiment, la caillette (ou *abomasum*), qui correspond à l'estomac proprement dit. Cette configuration particulière permet au ruminant d'effectuer une prédigestion microbienne des aliments, avec une utilisation particulièrement poussée des fibres présentes dans la ration.

3. **Mastication mérycique** : les aliments sont ramenés dans la bouche, mastiqués et imprégnés de salive une deuxième fois.

la digestion des aliments chez le ruminant

Réseau et rumen.

Le réseau et le rumen (figure 3) sont souvent considérés ensemble car leur contenu se mélange fréquemment. Le rumen a une capacité d'environ 150 litres et représente 80 % du volume total des estomacs. Sa paroi interne est constituée de papilles qui augmentent la surface de contact avec la masse alimentaire et qui permettent l'absorption de certains nutriments. Le rumen est situé sur le côté gauche de l'animal et s'étend du diaphragme au bassin (figure 4). Il communique de façon large avec le réseau.

Le réseau est quant à lui un petit réservoir situé entre le rumen et le diaphragme (figure 3), dont la paroi présente une apparence réticulaire en nids d'abeilles tout à fait caractéristique (figure 5). Sur la paroi droite et dorsale du réseau, cette structure fait place à un sillon relativement large et profond, appelé gouttière œsophagienne, qui s'étend du cardia⁴ jusqu'à l'orifice de communication entre le réseau et le feuillet — l'orifice réticulo-omasal.

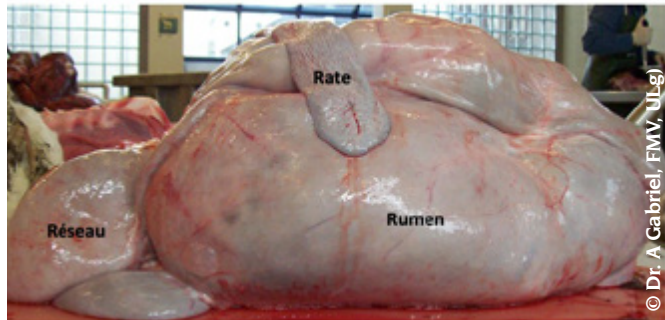


Figure 3: Rumen et réseau

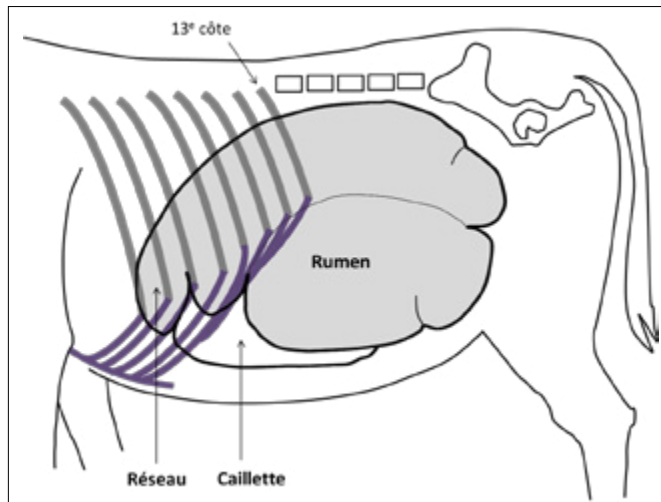


Figure 4: Schéma de l'abdomen de la vache, côté gauche

4. Cardia: orifice de communication entre l'œsophage et l'estomac.



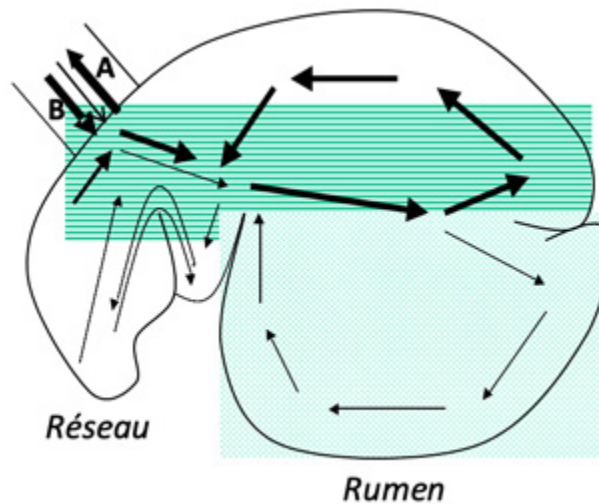
Figure 5 : La paroi interne du réseau et sa structure en nids d'abeille

Le rumen-réseau assure l'essentiel de la prédigestion que subissent les aliments avant d'atteindre la caillette. La masse alimentaire subit en effet à ce niveau d'une part un brassage permanent *via* la motricité du rumen-réseau, d'autre part les fermentations microbiennes, et enfin, un broyage poussé *via* la rumination. La rumination consiste en effet en la régurgitation du bol alimentaire vers la bouche et sa mastication. Elle permet donc une réduction de la taille des particules et une bonne imprégnation du bol alimentaire avec la salive, ce qui a pour effet d'augmenter la densité des particules. Le réseau peut être considéré comme un véritable carrefour qui régule la circulation des particules alimentaires

entre l'œsophage, le rumen et le feuillet. Ainsi, les particules suffisamment petites, de l'ordre de quelques millimètres, passent à travers l'orifice réticulo-omasal pour atteindre le feuillet, tandis que les particules de grande taille sont refoulées vers le réseau et le rumen, ce qui a pour effet de stimuler la rumination et la production de salive. Notons que l'orifice réticulo-omasal se trouvant en position basse, seules les particules ayant acquis une densité suffisante pour couler, et non plus flotter dans le rumen, passent à travers celui-ci. La rumination permet donc la vidange du rumen-réseau par la réduction en petites particules des végétaux les plus résistants à la mastication.

la digestion des aliments chez le ruminant

La rumination



Dans le rumen, on distingue des mouvements de brassage permanents au nombre de deux par minutes (flèches fines). D'autres mouvements sont indispensables au bon fonctionnement : la rumination et l'éruclation (flèches épaisses). On distingue quatre étapes principales au cours de la rumination : la régurgitation du bol alimentaire par la contraction du réseau (flèche épaisse A), la déglutition de la partie liquide du bol alimentaire (flèche épaisse B), la mastication mérycique lente (40 à 60 mouvements par minute) qui prend place dans la bouche, et une phase de repos de cinq à six secondes entre deux phases de mastication. L'observation des mouvements de mastication mérycique – appelé communément rumination – est intéressante car elle permet de donner une indication sur la digestion de la ration et donc sur la santé de la vache. Un arrêt de la rumination est ainsi le signe d'un dysfonctionnement digestif important.

Feuillet.

Le feuillet est le 3^e préestomac des ruminants. Il fait suite au réseau et précède la caillette. D'une capacité d'environ 10 litres, cet organe, dont les parois sont constituées de fines lamelles qui lui ont donné son nom (figure 6),

constitue une zone de transition entre le rumen-réseau où la digestion est initiée par des fermentations, et la caillette, où la digestion est essentiellement enzymatique.

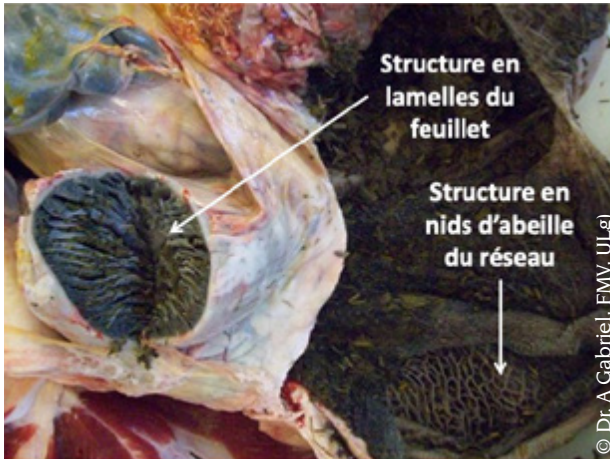


Figure 6: La paroi interne du feuillet et sa structures en lamelles (à gauche: le feuillet; à droite: le réseau)

Caillette.

La caillette est le véritable estomac des ruminants. Le bolus alimentaire n'y séjourne que deux ou trois heures. Il est pourvu, comme chez les monogastriques, d'une muqueuse⁵ glandulaire qui sécrète le suc gastrique. La sécrétion de suc gastrique, en conjonction avec les contractions de la musculature de la caillette, permettent une digestion enzymatique des particules alimentaires. Comme nous le verrons plus loin, la caillette est surtout le lieu où débute la digestion des protéines, qu'il s'agisse des protéines apportées directement par la ration et qui ont échappé à la dégradation microbienne, des protéines produites par les micro-organismes du rumen ou encore de ces derniers eux-mêmes, qui sont lysés et digérés à leur tour par le suc gastrique. Le suc gastrique contient principalement de l'acide chlorhydrique (HCl), ainsi que différentes enzymes, qui débute la digestion des matières grasses et des protéines. Etant donné la présence de HCl, le pH de la caillette est acide (2 à 2,5). Notons que ce pH acide permet la stérilisation du bolus alimentaire: de nombreux micro-organismes venant du rumen y sont détruits.

5. **Muqueuse**: membrane qui tapisse l'intérieur des organes creux tels que ceux qui constituent le tube digestif.

la digestion des aliments chez le ruminant

Et chez le veau ?

L'estomac du veau nouveau-né est sensiblement différent de celui de l'adulte. Chez le nouveau-né, le rumen est très peu développé et non fonctionnel. La caillette est par contre de loin la partie la plus volumineuse de l'estomac et la gouttière œsophagienne présente un développement considérable. Ainsi, les lèvres qui bordent la gouttière œsophagienne sont capables de se refermer pour former un véritable canal reliant directement le cardia à l'orifice réticulo-omasal. Ce mécanisme est déclenché de façon réflexe lors de l'ingestion d'aliments liquides. Le lait arrive donc directement dans la caillette et est digéré comme chez un animal monogastrique. À la naissance, le veau nouveau-né doit donc être considéré comme un monogastrique ou un pré-ruminant. L'ingestion d'aliments solides n'induit par contre pas ce réflexe. Par conséquent, les aliments solides ingérés par le veau arrivent dans le rumen et permettent son développement. On peut considérer que le veau devient un ruminant vrai vers l'âge de trois mois, pour autant que des aliments solides aient été distribués dès les premiers jours.

23

Intestin grêle

L'intestin grêle fait suite à l'estomac. Il s'agit d'un long tube cylindrique et flexueux, d'une longueur moyenne de 40 m chez le bovin adulte, dans lequel s'effectuent la digestion et l'absorption. Refoulé dans le flanc droit de l'animal par le rumen, l'intestin grêle est composé de trois parties : le duodénum, le jéjunum et l'iléum. Le duodénum est pourvu de glandes dites duodénales, qui sécrètent diverses enzymes. Il reçoit en outre les sécrétions du foie (la bile) et du pancréas (le suc pancréatique). L'ensemble de ces sécrétions permettent de poursuivre et de compléter la digestion déjà entamée au niveau de la caillette par le suc gastrique. Les glucides, les protéines et les lipides sont ainsi scindés en petites molécules qui vont être absorbées dans le jéjunum et l'iléum.

Gros intestin

Le gros intestin fait suite à l'intestin grêle et se termine au niveau de l'anus. Il est formé de trois segments successifs : le caecum, le colon et le rectum. C'est dans le gros intestin que se termine la digestion. Le caecum est un cul-de-sac cylindrique de petite taille (50 à 70 cm de long sur 10 à 12 cm de large), porté par l'intestin et situé à la limite de l'iléon et du colon. Le colon constitue quant à lui la majeure partie du gros intestin. Il se présente comme un tuyau d'une dizaine de mètres environ, qui fait suite à l'iléon et au caecum et qui se termine au niveau du rectum. Il n'y a pas de sécrétion enzymatique au niveau du gros intestin et les mouvements y sont faibles. Par contre, des fermentations similaires à celles du rumen s'y produisent, en moindre proportion toutefois, contribuant à la digestion des fibres

la digestion des aliments chez le ruminant

jusque-là non digérées. Une importante absorption d'eau a lieu dans le gros intestin, de même qu'une absorption de certains nutriments. Les résidus non digérés passent ensuite dans le

rectum où se forment les matières fécales, évacuées par l'anus.

Le trajet du bol alimentaire dans le tractus digestif prend de 24 à 48 heures.

II.1.2 Le fonctionnement du rumen : l'écosystème ruminal

Le rumen est un écosystème anaérobie strict⁶, peuplé par trois catégories de micro-organismes qui vivent en symbiose avec le ruminant : des bactéries, des protozoaires et des champignons. Ces micro-organismes dégradent, *via* des processus d'hydrolyse⁷ et de fermentations, la plupart des composants de la ration alimentaire du ruminant, dans le but de couvrir leurs besoins et d'assurer ainsi leur survie. Simultanément, ils synthétisent différentes molécules nécessaires à leur développement, telles que des AA et des protéines.

Les bactéries

Les bactéries sont très nombreuses dans le rumen : de l'ordre de 10 milliards par ml de jus de rumen. Plus de 200 espèces bactériennes sont présentes. Les bactéries sécrètent dans le milieu ruminal des enzymes qui assurent l'hydrolyse des protéines (protéolyse) et des glucides : cellulose (cellulolyse), hémicelluloses (hémicellulolyse),

pectines (pectinolyse) et amidon (amylolyse). Certaines bactéries sont également responsables de l'hydrolyse des lipides (lipolyse) et de leur hydrogénation⁸. Notons que le rumen ne peut fonctionner en l'absence des bactéries.

Les protozoaires

Les protozoaires constituent la moitié de la biomasse du rumen. Ils sont cependant moins nombreux que les bactéries, de l'ordre de 1 million/ml de jus de rumen, mais plus grands. Ils sont plus sensibles aux conditions qui règnent dans le rumen, surtout le pH, que les bactéries. À la différence des bactéries qui sécrètent dans le milieu ruminal des enzymes hydrolytiques, les protozoaires ingèrent les particules alimentaires ainsi que les bactéries du rumen, et les dégradent. Ils participent spécifiquement au métabolisme des glucides. Ils s'attaquent ainsi à tous les constituants des parois, et sont donc en concurrence avec les bactéries, qu'ils peuvent aussi consommer.

6. **Anaérobie strict** : qui ne peut vivre qu'en l'absence d'oxygène.

7. **Hydrolyse** : décomposition d'un composé chimique par l'eau.

8. **Hydrogénation** : fixation d'hydrogène.

la digestion des aliments chez le ruminant

Les champignons

Les champignons présents dans le rumen sont des champignons anaérobies cellulolytiques. Ils dégradent donc la cellulose et les hémicelluloses, et sont particulièrement abondants lors de rations riches en fourrages.

Chaque micro-organisme se caractérise par la nature du substrat auquel il est capable de s'attaquer, et est donc spécialisé dans des fonctions métaboliques précises, qui peuvent être parfois assez limitées. On trouve ainsi par exemple des bactéries cellulolytiques, capables de dégrader les glucides pariétaux, des bactéries amylolytiques, capables de dégrader l'amidon, et des bactéries lipolytiques, capables de dégrader les lipides. Par conséquent, la nature de la ration influence significativement la nature de la population microbienne : un régime riche en fourrages favorisera le développement des bactéries cellulolytiques, alors qu'un régime riche en céréales favorisera celui des bactéries amylolytiques. La diversité des micro-organismes présents fait néanmoins en sorte que les différentes espèces se complètent mutuellement – les produits terminaux du métabolisme d'une espèce servant de substrat pour le métabolisme d'une autre espèce –, se chevauchent et se substituent les unes aux autres.

Remarquons qu'étant donné que les composants de la ration sont dégradés par des espèces microbiennes bien spécifiques, un changement dans la ration doit toujours être fait graduellement. Une transition alimentaire est donc nécessaire. En cas de changement brutal de la ration, des perturbations sévères peuvent parfois survenir. On considère en général qu'un changement de la population microbienne du rumen prend au minimum trois semaines.

Bactéries, protozoaires et champignons sont adaptés à vivre dans un environnement caractérisé par un pH⁹ de 6,0 à 7,0, en l'absence d'oxygène, à une température de 39 à 40°C et en présence de métabolites¹⁰ issus des fermentations. Les principaux produits terminaux des fermentations microbiennes sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'ammoniaque (NH₃) et les AGV. Ces fermentations s'accompagnent en outre d'un dégagement important de chaleur. Pour permettre un bon maintien et le développement des micro-organismes du rumen favorables à une bonne digestion, il est important que le rumen présente des conditions de vie assez standard. Le pH, comme on vient de le voir, est l'un des paramètres les plus importants. Physiologiquement, il varie en général entre 6 et 7, des valeurs

9. **pH (ou potentiel hydrogène)** : mesure de l'acidité ou basicité d'un milieu, sur une échelle de 0 à 14. Une solution est acide si son pH est inférieur à 7, basique si son pH est supérieur à 7, et neutre si son pH est égal à 7.

10. **Métabolite** : produit de transformation d'une substance dans l'organisme.

la digestion des aliments chez le ruminant

plus extrêmes pouvant s'observer marginalement. Les fermentations du rumen constituent la principale source de variation du pH. Leur intensité est liée à la composition des aliments ainsi qu'au rythme de distribution des repas (figure 7):

- après un repas, le pH diminue, car la concentration en AGV augmente fortement;
- entre les repas, le pH augmente. En effet, d'une part, la concentration en AGV diminue suite à leur absorption progressive, et d'autre part, la rumination amène des aliments imprégnés de salive riche en bicarbonates, qui constituent un tampon efficace.

26

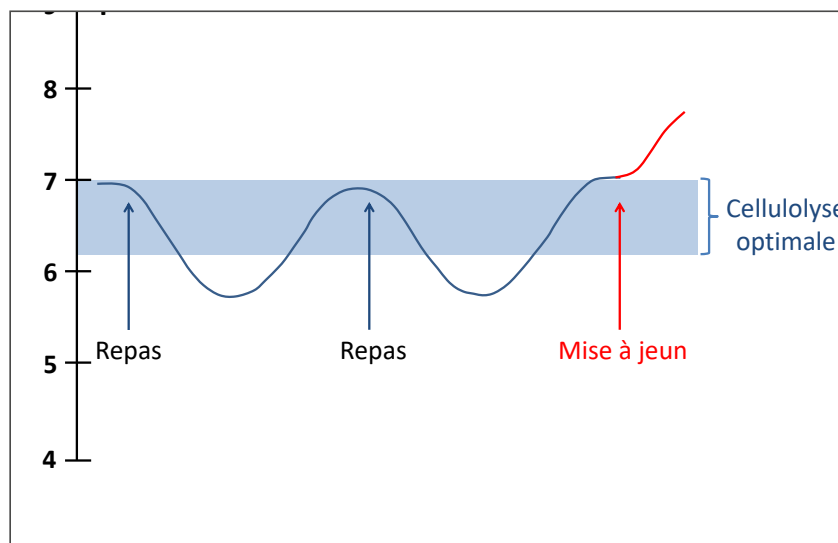


Figure 7: Évolution du pH intra-ruminal au cours du temps

II.2 La digestion des aliments

Lors du processus de digestion, les nutriments subissent des transformations aboutissant à leur absorption ou à leur élimination par les matières fécales. Ces transformations sont décrites schématiquement ci-dessous.

L'acide lactique est quant à lui un intermédiaire de cette chaîne de dégradation. Du CO_2 , du CH_4 et de la chaleur sont également produits au cours de ce processus (figure 8).

la digestion des aliments chez le ruminant

II.2.1 La digestion des glucides

Une fois arrivés dans le rumen, les glucides sont hydrolysés sous l'action des enzymes hydrolytiques microbiennes. Le glucose représente le principal produit terminal de ce processus de dégradation. Ce glucose va ensuite être converti par le jeu des fermentations microbiennes en un métabolite intermédiaire, l'acide pyruvique. Celui-ci subit une dégradation ultérieure, qui va

aboutir à la formation d'un mélange d'AGV :

- acide acétique (C2 : 0)
- acide propionique (C3 : 0)
- acide butyrique (C4 : 0)

L'acide lactique est quant à lui un intermédiaire de cette chaîne de dégradation. Du CO_2 , du CH_4 et de la chaleur sont également produits au cours de ce processus (figure 8).

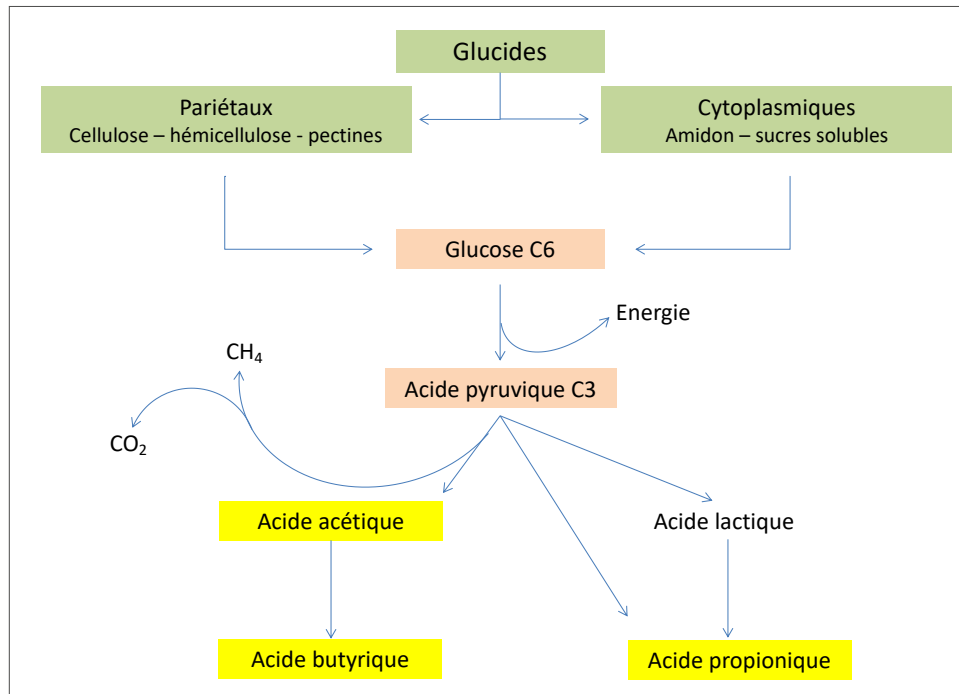


Figure 8 : Schéma de la digestion des glucides dans le rumen

la digestion des aliments chez le ruminant

Différents facteurs influencent la production des AGV. Citons ainsi la nature de la ration alimentaire, le pH intra-ruminal et le niveau d'ingestion de l'animal.

- La ration alimentaire. Il est important de rappeler que les différents glucides (cellulose, hémicellulose, amidon...) sont dégradés par des populations bactériennes spécifiques; la cellulose et l'hémicellulose sont attaquées par les bactéries cellulolytiques, alors que l'amidon est dégradé par les bactéries amylolytiques. Chaque population bactérienne utilise, pour ce faire, des voies de dégradation qui lui sont propres et qui aboutissent à la formation préférentielle de tel ou tel type d'AGV. Par conséquent, les proportions des différents AGV produits sont principalement fonction de la composition de la ration ali-

mentaire. L'acide acétique est majoritaire (45 à 70 % des AGV totaux), l'acide propionique représente de 15 à 25 % des AGV totaux, et l'acide butyrique 5 à 15 %.

- Avec un régime riche en fourrages, les proportions d'acide acétique, propionique et butyrique sont généralement respectivement de 70: 20: 10.
- Avec un régime riche en céréales, la proportion d'acide acétique diminue, et celle d'acide propionique augmente, les proportions des trois acides gras étant plutôt aux alentours de 40: 40: 20.
- La production d'acide butyrique est quant à elle augmentée lorsque des aliments riches en sucres solubles, tels que les betteraves, sont distribués (tableau 1).

Composition en AGV (%)			
	Acide acétique C2	Acide propionique C3	Acide butyrique C4
Foin de graminées	72	17	7
Foins (44%) + Orge (56)%	61	30	8
Foins (18 %) + betteraves (82 %)	56	26	17

Tableau 1 : Influence du régime alimentaire sur la composition du mélange d'AGV dans le rumen de la vache laitière (à partir de Jarrige et al 1995)

la digestion des aliments chez le ruminant

- Le pH. Le pH intra-ruminal est un élément déterminant dans l'équilibre entre les micro-organismes du rumen et dans les fermentations qui en résultent. Ainsi, une chute du pH liée au développement des bactéries amy-

lolytiques inhibe l'activité des bactéries cellulolytiques. Ce faisant, la production d'acide acétique diminue et celle d'acide propionique et d'acide lactique augmente (figure 9).

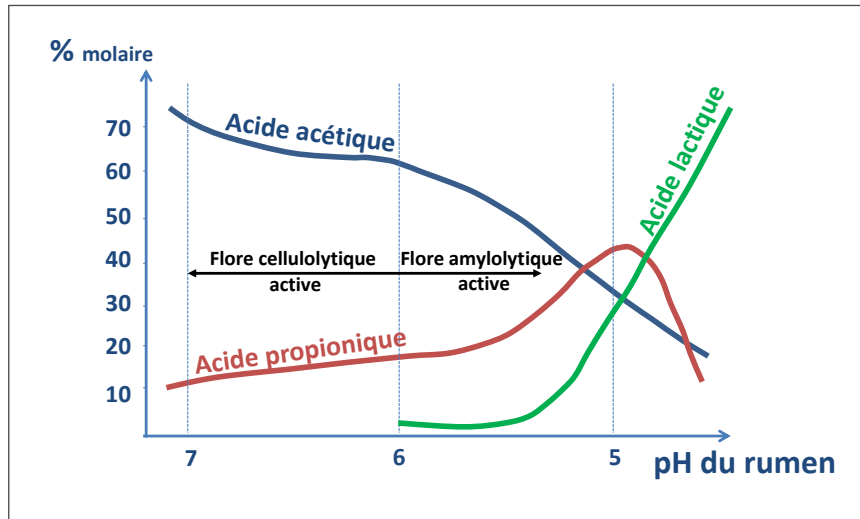


Figure 9 : Proportions des différents AGV dans le rumen en fonction du pH (à partir de Jarrige et al 1995)

- Le niveau d'ingestion. La production des AGV est liée à la quantité de matières organiques digérées dans le rumen : plus le niveau d'ingestion augmente, plus la production d'AGV augmente.

Les différents AGV produits sont absorbés à travers la paroi du rumen. Ces AGV constituent pour le ruminant une source majeure d'énergie, puisqu'ils fournissent 60 à 80 % de l'énergie totale dont il a besoin à l'entretien. Les gaz

produits lors des fermentations, le CO_2 et le CH_4 , sont quant à eux éliminés par éructation (figure 8). La vache évacue approximativement de 300 à 400 g de gaz/jour, certaines vaches laitières à haut niveau d'ingestion pouvant aller jusqu'à 700 g/jour.

Notons que la vitesse et l'ampleur de la digestion ruminale des glucides varie selon la nature de ceux-ci et selon l'origine botanique. Les sucres solubles et l'amidon sont rapidement

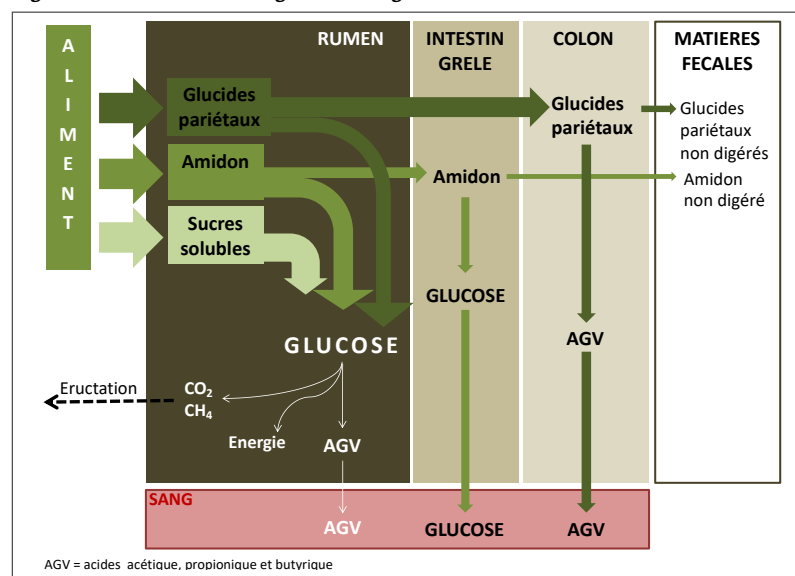
la digestion des aliments chez le ruminant

fermentés. La vitesse de digestion ruminale de l'amidon varie cependant selon son origine botanique. L'amidon de l'avoine, de l'orge et du blé, par exemple, est dégradé très rapidement, et est donc rapidement mis à disposition des micro-organismes. On parle ainsi souvent «d'amidon à dégradation rapide» ou, plus simplement, «d'amidon rapide». À l'inverse, le maïs, le sorgho et la pomme de terre possèdent un amidon qui est dégradé plus lentement. On parle «d'amidon lent». L'ampleur de la dégradation de l'amidon dans le rumen est quant à lui également fonction de l'origine botanique : l'amidon de l'orge est dégradé dans le rumen à raison de 90 à 95 %, alors que celui du maïs est dégradé selon des proportions nettement

moindres (50 à 90 %). Les glucides pariétaux (cellulose et hémicellulose) sont quant à eux dégradés lentement et partiellement (de l'ordre de 30 à 50 %) (figure 10). Enfin, rappelons que la lignine n'est pas dégradée par le ruminant.

Une fraction de l'amidon non digéré dans le rumen subit une digestion enzymatique dans l'intestin grêle qui entraîne la formation de glucose, absorbé à travers la paroi. L'amidon non digéré dans l'intestin grêle est en partie dégradé par les micro-organismes du gros intestin. Les glucides pariétaux qui ont échappé aux fermentations microbiennes peuvent quant à eux subir une seconde fermentation dans le colon (figure 10).

Figure 10 : Schéma de la digestion des glucides chez le ruminant



la digestion des aliments chez le ruminant

II.2.2 La digestion des lipides

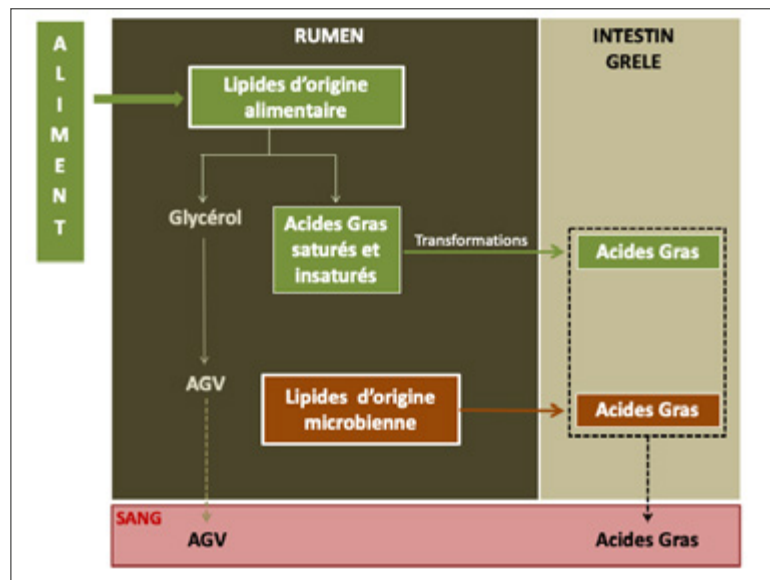
Les rations de ruminants contiennent généralement de l'ordre de 3 à 5 % de lipides dans la MS, c'est-à-dire relativement peu par rapport aux teneurs en glucides et en matières azotées. Le rumen est le siège d'une lipolyse intense et rapide : les lipides alimentaires sont hydrolysés par les micro-organismes du rumen, ce qui permet la production de glycérol et d'acides gras libres. Le glycérol formé est rapidement fermenté en AGV, alors que les acides gras insaturés sont fortement remaniés par les micro-organismes du rumen (figure 11).

Les acides gras libres, fixés aux particules alimentaires, quittent le rumen, passent dans la

caillette, puis dans l'intestin grêle, où ils sont digérés et absorbés (figure 11).

Notons qu'à côté de leur activité de dégradation des lipides alimentaires, les micro-organismes du rumen synthétisent des lipides microbiens, caractérisés notamment par la présence d'acides gras ramifiés¹¹. Lorsque ces micro-organismes quittent le rumen et passent dans la caillette, ils sont tués et désintégrés par le suc gastrique. Ceci permet la libération des lipides microbiens, les acides gras libres microbiens rejoignant le pool d'acides gras libres pour subir la digestion et l'absorption intestinales (figure 11).

Figure 11 : Schéma de la digestion des lipides chez le ruminant



11. Acides gras non linéaires.

la digestion des aliments chez le ruminant

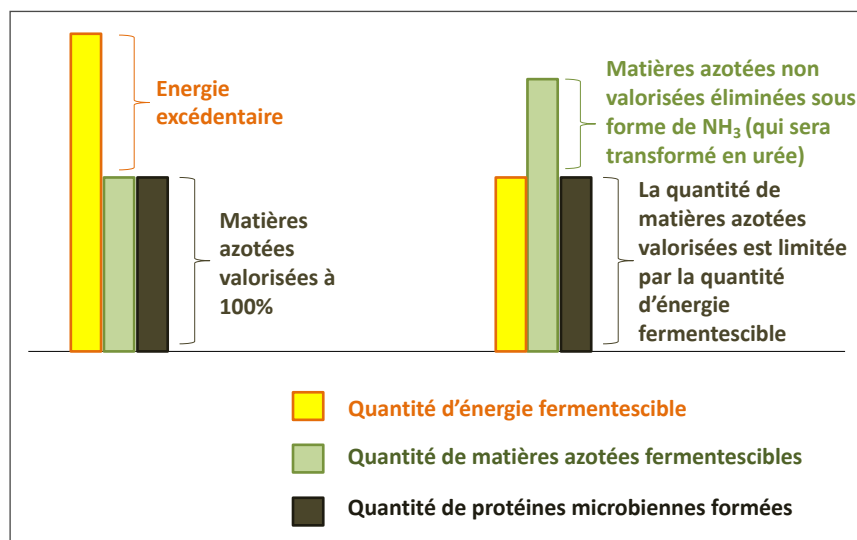
II.2.3 La digestion des matières azotées

Les matières azotées alimentaires (composées des protéines et de l'azote non protéique) subissent dans le rumen une dégradation plus ou moins importante, dont le produit terminal est l'ammoniaque (NH_3): les protéines alimentaires sont ainsi transformées en AA puis subissent une fermentation jusqu'au stade NH_3 , alors que l'azote non protéique est directement transformé en NH_3 . Cette dégradation génère la production d'une faible quantité d'énergie.

Cet ammoniaque est utilisé par les micro-organismes du rumen pour synthétiser leurs propres protéines, appelées protéines microbiennes.

Cette synthèse ne peut cependant avoir lieu qu'en présence d'une quantité suffisante d'énergie disponible pour les micro-organismes. Deux éléments doivent donc être présents en même temps pour qu'il y ait synthèse de protéines microbiennes: des matières azotées et de l'énergie. Si l'un est présent en quantités plus faibles que l'autre, il sera le facteur limitant et déterminera la quantité de protéines microbiennes formées (figure 12).

Figure 12: Quantités de protéines microbiennes formées dans le rumen selon la quantité d'énergie et de matières azotées fermentescibles



la digestion des aliments chez le ruminant

C'est principalement la dégradation des glucides qui va fournir l'énergie nécessaire à cette synthèse protéique. Par conséquent, en schématisant, on peut dire que pour se développer, la population microbienne du rumen a besoin de sources d'azote et de sources d'énergie, qui lui permettront de synthétiser les protéines nécessaires. Et pour que la totalité des matières azotées fermentescibles soit utilisée, il est nécessaire qu'il y ait suffisamment d'énergie. Dans le cas contraire, les matières azotées excédentaires seront éliminées sous forme de NH_3 potentiellement toxique. Le NH_3 en excédent est en effet absorbé par la paroi du rumen et transporté jusqu'au foie où il est transformé en urée (figure 13). Cette urée est principalement excrétée par les reins et éliminée par les urines et le lait chez la vache laitière. Elle peut cependant également retourner au rumen *via* la salive¹². On la retrouve aussi dans les sécrétions génitales, où un excès peut perturber la nidation de l'embryon, et dans le lait, où un excès peut contribuer à l'apparition de mammite. L'urée du lait, corrélée à l'urée du sang, peut facilement être mesurée par infrarouge. Elle constitue par conséquent un précieux indicateur de l'équilibre énergie/azote de la ration et des excès d'azote dégradables. Quel est le devenir de ces protéines microbiennes ? Une partie de la population microbienne (et donc

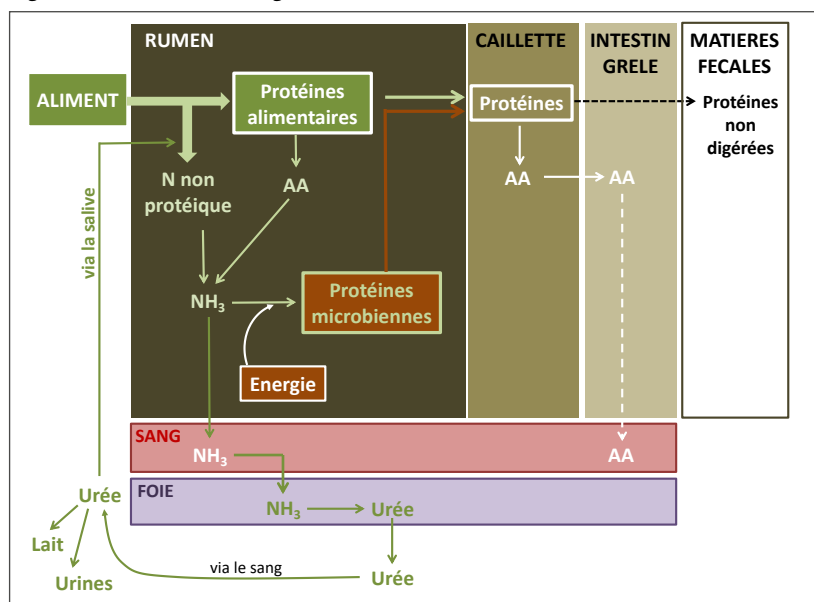
de leurs protéines) est dégradée au sein du rumen ; une autre partie reste libre dans le liquide ruminal, et enfin une dernière partie est accrochée aux particules alimentaires. Une partie des bactéries libres et fixées aux particules alimentaires quitte le rumen et passe dans la caillette, où elle subit alors une digestion enzymatique (figure 13). Remarquons qu'une partie des protéines de la ration résiste à la dégradation ruminale et passe dans la caillette, où elle est alors dégradée par voie enzymatique (« protéines *by-pass* »). Les matières azotées de la ration présentent donc une grande variabilité au niveau de leur dégradation dans le rumen-réseau : certaines sont dégradées en NH_3 dans le rumen-réseau, tandis que d'autres sont épargnées par cette dégradation. La résistance des protéines alimentaires à l'action des micro-organismes ruminiaux dépend précisément de la nature de la protéine. Les protéines végétales crues (telles que celles présentes dans les fourrages) sont ainsi généralement très dégradables, celles ayant subi un traitement par la chaleur le sont moins.

Par conséquent, au niveau de la caillette et de l'intestin grêle, toutes les protéines, qu'elles soient microbiennes ou bien encore alimentaires, subissent l'action des enzymes digestives et sont dégradées en AA.

12. Un phénomène de recyclage de l'urée à travers la paroi du rumen existe également.

la digestion des aliments chez le ruminant

Figure 13: Schéma de la digestion des matières azotées chez le ruminant



II.2.4 La digestion des minéraux

Les macroéléments et les oligoéléments se trouvent sous des formes chimiques variées dans les aliments. La forme sous laquelle ils se trouvent conditionne leur absorption au niveau du tube digestif. Par exemple, l'absorption du calcium est limitée lorsqu'il est présent dans l'aliment sous forme d'oxalates de calcium.

En outre, de nombreuses interactions existent entre les minéraux. Ainsi, au niveau de l'intestin grêle, l'absorption du Ca est corrélée positive-

ment à la concentration en phosphore inorganique, mais négativement à celle en magnésium. Enfin, l'absorption de certains éléments peut également être modulée par le statut physiologique de l'animal en cet élément. Par exemple, l'absorption intestinale du Ca est augmentée lorsque les concentrations en calcium dans le sang sont faibles, et ce, grâce à la sécrétion de vitamine D active.

la digestion des aliments chez le ruminant

II.3 La digestibilité des aliments

II.3.1 Définitions

Les aliments ingérés par l'animal ne sont quasiment jamais digérés et absorbés en totalité: une partie se retrouve au niveau des matières fécales.

On définit ainsi la digestibilité apparente d'un aliment comme la proportion d'aliments qui disparaît apparemment dans le tube digestif:

$$\text{Digestibilité apparente} = \frac{\text{quantité ingérée} - \text{quantité excrétée dans les matières fécales}}{\text{Quantité ingérée}}$$

La digestibilité apparente est toujours inférieure à 1. Dans les revues spécialisées, le terme coefficient de digestibilité est parfois employé. Il s'agit de la digestibilité apparente multipliée par 100 et exprimée en pourcentage:

Coefficient de digestibilité (%) = digestibilité apparente × 100.

Par convention, nous assimilerons les deux termes dans la suite du document.

La digestibilité apparente varie selon la nature de l'aliment, sa composition chimique et la présence éventuelle de facteurs antinutritionnels. Sa détermination peut être effectuée par différentes méthodes. On distingue des méthodes sur l'animal (*in vivo* par récolte des matières fécales, ou par sachet de nylon incubé dans le rumen et l'intestin grêle) ou en laboratoire (*in vitro*).

II.3.2 La digestibilité des aliments

Pour les aliments d'origine végétale, il faut distinguer, sur le plan de la digestibilité, les constituants des parois des cellules végétales (glucides pariétaux et lignine) et les constituants du contenu cellulaire (glucides cytoplasmiques, lipides et protéines). Ainsi, on peut classer les constituants selon l'ordre décroissant de digestibilité suivant: sucres solubles > amidon > hémicellulose > cellulose > lignine. La lignine, qui apparaît au cours du processus de maturation des végétaux, est indigestible. En se liant à la cellulose et à l'hémicellulose, elle rend ces constituants inaccessibles aux micro-organismes et limite donc leur digestibilité. Le degré de dégradation des parois évolue donc en sens inverse de leur teneur en lignine: la digestibilité des parois d'un ray-grass jeune est de l'ordre de 90 %, alors que celle de la paille de blé n'est que de 40 %.

la digestion des aliments chez le ruminant

36

Selon les proportions de chaque constituant, la digestibilité des aliments varie. Ainsi, les concentrés, riches en amidon, auront une digestibilité élevée, de même que des fourrages jeunes, riches en sucres solubles. Par contre, un fourrage à un stade de végétation avancé, riche en lignine, aura une digestibilité faible.

À côté du stade de végétation, il existe d'autres facteurs affectant la digestibilité des fourrages, tels que le mode de conservation, le mode de présentation, ainsi que la composition de la ration. Ainsi, la fenaison, si elle est réalisée lors de mauvaises conditions climatiques, a pour effet de diminuer la digestibilité des fourrages car ces derniers auront été « lavés » de leurs constituants solubles. L'ensilage et la déshydratation

n'ont par contre que peu d'effets sur la digestibilité globale des aliments. Concernant le mode de présentation, le broyage excessif des fourrages et leur éventuelle agglomération entraîne une diminution de leur digestibilité. Les fourrages ont en effet des temps de séjour relativement longs dans le rumen, d'autant plus s'ils sont présentés sous forme de longs brins. Si les fourrages sont broyés, le temps de séjour dans le rumen est écourté et les dégradations par fermentations sont diminuées. La diminution de la production de salive favorise de plus la chute du pH intra-ruminal, ce qui entraîne une diminution de l'activité des bactéries cellulolytiques, et donc une nouvelle diminution de la digestibilité.

la digestion des aliments chez le ruminant

En bref

Le système digestif des bovins présente la particularité d'être pourvu de quatre estomacs: trois «préestomacs» (réseau, rumen et feuillet), et un estomac proprement dit, la caillette. Cette configuration particulière permet au ruminant d'effectuer une prédigestion microbienne des aliments, avec une utilisation poussée des fibres présentes dans la ration.

Le rumen est un écosystème peuplé de micro-organismes qui vivent en symbiose avec le ruminant. Ces micro-organismes, adaptés à vivre dans un environnement caractérisé par un pH de 6,0 à 7,0, dégradent la plupart des composants de la ration alimentaire.

Ainsi, les glucides subissent une fermentation microbienne conduisant à la formation d'un mélange d'acides gras volatils (AGV): acide acétique (C2: 0), acide propionique (C3: 0) et acide butyrique (C4: 0). L'amidon non digéré dans le rumen subit quant à lui une digestion enzymatique dans l'intestin grêle.

Les lipides alimentaires sont hydrolysés par les micro-organismes du rumen, ce qui permet notamment la production d'acides gras libres. Après transformation, ceux-ci sont digérés et absorbés dans l'intestin grêle. Les micro-organismes synthétisent par ailleurs des lipides microbiens. Lorsque ces micro-organismes quittent le rumen et passent dans la caillette, ils sont tués et désintégrés par le suc gastrique. Ceci permet la libération des lipides microbiens; les acides gras libres microbiens rejoignant le pool d'acides gras libres pour subir la digestion et l'absorption intestinales.

Enfin, une partie importante des matières azotées alimentaires subit dans le rumen une dégradation dont le produit terminal est principalement l'ammoniaque (NH_3). Celui-ci est utilisé par les micro-organismes du rumen pour synthétiser leurs propres protéines, appelées protéines microbiennes. Cette synthèse ne peut cependant avoir lieu qu'en présence d'une quantité suffisante d'énergie. C'est principalement la dégradation des glucides qui va fournir l'énergie nécessaire à cette synthèse protéique. De même que les protéines de la ration qui ont résisté à la dégradation ruminale, les protéines microbiennes subissent une digestion enzymatique dans la caillette, conduisant à la formation d'AA.

Les aliments ingérés par l'animal ne sont quasiment jamais digérés et absorbés en totalité. La digestibilité varie ainsi principalement selon la nature de l'aliment et sa composition chimique. La lignine, qui apparaît au cours du processus de maturation des végétaux est indigestible. Aussi, le degré de dégradation des parois évolue en sens inverse de leur teneur en lignine.

PARTIE III : Les particularités du métabolisme des principaux nutriments

Les métabolismes complets de ces quatre groupes de substances ne seront pas vus dans ce livret, seules quelques spécificités liées à la vache laitière seront mentionnées, en particulier celles liées à la production des constituants du lait. Les différents métabolismes sont étroitement liés. Certaines molécules issues d'un métabolisme peuvent ainsi constituer des précurseurs pour un autre métabolisme. Par exemple, retenons que les AA (métabolisme des matières azotées) peuvent servir de précurseur pour la synthèse de glucose (métabolisme des glucides), et ainsi être utilisés dans le métabolisme énergétique.

Ceci explique pourquoi, lors de carence énergétique, le taux protéique du lait diminue. La composition chimique du lait est la suivante : $\pm 87\%$ d'eau, 5% de lactose, $\pm 4\%$ de matières grasses, un peu plus de 3% de protéines et $\pm 1\%$ de minéraux. Ces constituants sont quasi tous synthétisés par la mamelle à partir d'éléments précurseurs prélevés dans le sang : glucose, acide acétique, corps cétoniques, acides gras à longue chaîne et AA (figure 14).

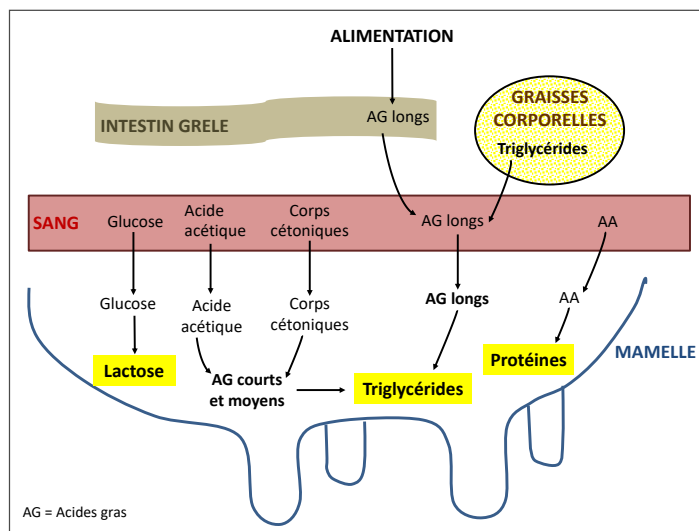


Figure 14 :
Schéma des métabolismes
permettant la synthèse du lait
au sein de la mamelle

III.1 Métabolisme des glucides

Chez le ruminant, le glucose apporté par la ration représente en général moins de 5 % de l'énergie absorbée, puisque celui-ci est transformé dans le rumen en AGV (*cfr supra*). Par conséquent, la vache doit synthétiser du glucose à partir d'autres substances. Ce processus s'appelle la «néoglucogenèse». Les principaux précurseurs qui vont être utilisés pour synthétiser ce glucose sont notamment l'acide propionique et certains AA. L'acide propionique est issu de la digestion microbienne des glucides. Sa transformation permet de couvrir 50 à 60 % des besoins en glucose de la vache. Comme il provient davantage des fermentations liées à l'amidon, il est possible que certaines rations trop peu énergétiques ou constituées de fourrages (qui favorisent la production d'acide acétique au détriment de l'acide propionique), comme du foin, n'en produisent pas suffisamment pour des vaches en lactation. Dans ce cas, la néoglucogenèse se fait à partir d'AA. Chez la vache en lactation, ce recours aux AA peut entraîner une baisse du taux protéique du lait.

Chez la vache en lactation, le glucose revêt une importance toute particulière. Le glucose contribue en effet à la synthèse du lactose, principal constituant glucidique du lait: le lactose résulte de l'union d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose, cette dernière étant elle-même formée au niveau de la mamelle exclusivement à partir de glucose (figure 14). En finalité, la

quantité de lait sécrétée par une vache dépend de la quantité de glucose mis à la disposition de la glande mammaire, le taux de lactose variant peu dans le lait. Une vache laitière produisant 30 L de lait doit fournir à sa glande mammaire pratiquement 2 kg de glucose en plus des 500 g nécessaires à satisfaire ses besoins d'entretien.

III.2 Métabolisme des AGV

Les AGV (acide acétique, acide propionique et acide butyrique) sont issus de la digestion microbienne des glucides. Comme nous venons de le voir, l'acide propionique est principalement utilisé pour la néoglucogenèse. Penchons-nous à présent sur le sort de l'acide acétique et de l'acide butyrique.

Retenons que l'acide acétique, après transformation, est utilisé tout d'abord pour fournir de l'énergie à l'animal. Au niveau de la mamelle, il sert de précurseur pour la synthèse des acides gras à courte chaîne et à chaîne moyenne du lait (figure 14).

L'acide butyrique est quant à lui transformé quasi totalement en corps cétoniques (acétoacétate et β -hydroxybutyrate) lors de son absorption à travers la paroi du rumen. Ces corps cétoniques sont utilisés comme fournisseurs d'énergie, mais participent aussi à la synthèse des acides gras à courte et moyenne chaînes du lait au niveau de la mamelle (figure 14). Ces deux AGV ne peuvent pas fournir du glucose par néoglucogenèse.

III.3 Métabolisme des lipides

Les triglycérides (1 glycérol + 3 acides gras) constituent la plus grande partie des réserves de graisses de l'animal. Ils constituent aussi la majeure partie des lipides du lait. Les acides gras qu'ils contiennent ont deux origines possibles (figure 14):

- une origine extra-mammaire (60 % des acides gras du lait): les acides gras sont prélevés au niveau du sang par la mamelle, et il s'agit alors d'acides gras à longue chaîne provenant directement de l'alimentation (aliments et synthèses microbiennes) ou bien de la mobilisation des réserves corporelles,
- une origine intra-mammaire (40 % des acides gras du lait): la mamelle synthétise elle-même des acides gras, à partir d'acide acétique et de β -hydroxybutyrate, et il s'agit alors d'acides gras à courte et moyenne chaînes.

Notons que lors de carence énergétique, la vache puise dans ses réserves corporelles, et donc dans ses graisses. Ce faisant, on observe un afflux supplémentaire dans le sang d'acides gras à longue chaîne, qui vont être prélevés par la mamelle. Ceci explique que lorsque les besoins de la vache en énergie ne sont pas couverts, comme cela est fréquemment le cas en début de lactation chez les vaches laitières de haut niveau, le taux en matières grasses du lait augmente.

Précisons enfin qu'au niveau des acides gras du lait, il existe d'une part, une composante relativement fixe, constituée par les acides gras à chaîne courte et à chaîne moyenne, et d'autre part, une composante variable, constituée par les acides gras longs. Il est possible d'influencer dans une certaine mesure cette dernière fraction.

III.4 Métabolisme des protéines

Chez les bovins, les AA présents sont utilisés pour synthétiser des protéines, celles-ci ont une composition en AA stricte, déterminée génétiquement. Une carence en un AA essentiel (méthionine, lysine) peut limiter la production de protéines dans le lait. Les AA peuvent aussi être utilisés pour synthétiser du glucose lorsque cela est nécessaire (*cfr supra*). Par conséquent, il existe une compétition pour l'utilisation des AA entre la voie de la synthèse des protéines et la voie de la synthèse du glucose. Cette compétition est l'une des raisons qui explique le faible taux en protéines du lait lors de déficit énergétique chez la vache: les AA sont préférentiellement utilisés pour synthétiser du glucose au lieu d'être utilisés pour synthétiser les protéines du lait.

En bref

Le lait se compose de $\pm 87\%$ d'eau, 5% de lactose, $\pm 4\%$ de matières grasses, un peu plus de 3% de protéines et $\pm 1\%$ de minéraux. Ces constituants sont quasi tous synthétisés par la mamelle à partir d'éléments précurseurs prélevés dans le sang: glucose, acide acétique, corps cétoniques, acides gras à longue chaîne et AA.

Chez le ruminant, la néoglucogenèse est assurée principalement à partir de l'acide propionique, provenant en grande partie des fermentations liées à l'amidon. Chez la vache en lactation, le glucose contribue à la synthèse du lactose, principal constituant glucidique du lait.

L'acide acétique sert de précurseur au niveau de la mamelle pour la synthèse des acides gras à courte et à moyenne chaînes du lait. L'acide butyrique est quant à lui transformé quasi totalement en corps cétoniques, qui participent eux aussi à la synthèse des acides gras à courte et moyenne chaînes du lait.

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

- une origine extra-mammaire: les acides gras sont prélevés au niveau du sang par la mamelle, et il s'agit alors d'acides gras à longue chaîne provenant directement de l'alimentation ou bien de la mobilisation des réserves corporelles,
- une origine intra-mammaire: la mamelle synthétise elle-même des acides gras, à partir de l'acide acétique et des corps cétoniques, et il s'agit alors d'acides gras à courte et moyenne chaînes.

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

PARTIE IV : Expression des besoins et des apports

IV. 1 Les systèmes utilisés pour exprimer les besoins et les apports

Les animaux se caractérisent par cinq catégories de besoins différents, qui doivent être couverts par l'alimentation : l'énergie, les matières azotées, les minéraux, les vitamines et l'eau.

Pour pouvoir calculer des rations, il faut que les besoins des animaux et les apports alimentaires soient exprimés dans la même unité de mesure.

IV.1.1 Expression des besoins et des apports en MS

La capacité d'ingestion.

Quelle est la quantité d'aliments qu'une vache peut physiquement manger ? Comment prédire les quantités qu'elle va ingérer ? La notion de capacité d'ingestion répond à ces questions.

La capacité d'ingestion d'une vache correspond à la quantité d'aliments distribués à volonté qu'elle ingère volontairement. Elle est influencée par plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- la taille du rumen/le format de la vache. Une

génisse en croissance présente une capacité d'ingestion plus faible qu'une vache adulte ; de même, la capacité d'ingestion d'une vache primipare est plus faible que celle d'une pluri-pare. Un stade de gestation avancé (au-delà de la 30^e semaine) diminue également la capacité d'ingestion, le développement du fœtus dans l'abdomen réduisant la place disponible ;

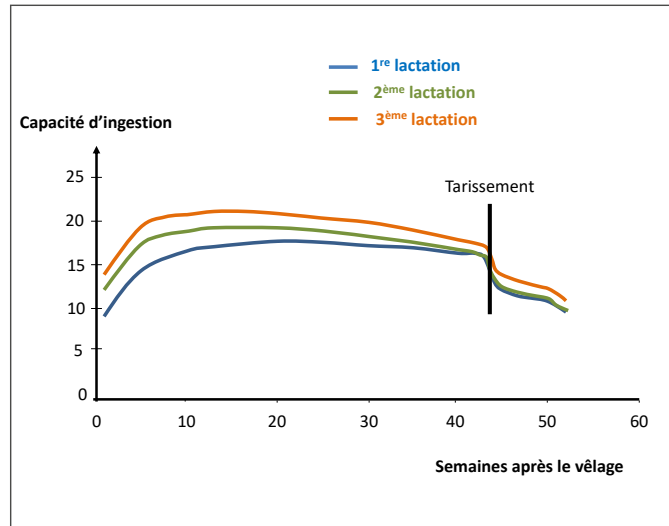
- les besoins énergétiques de la vache. Chez la vache laitière, le principal facteur de variation de la capacité d'ingestion est la production laitière ;
- l'état des réserves corporelles. La capacité d'ingestion diminue lorsque la vache s'engraisse.

Notons également que la capacité d'ingestion d'une vache laitière varie également avec le stade de lactation : elle est plus faible en début et en fin de lactation (figure 15).

expressions des besoins et des apports

Figure 15 : Évolution de la capacité d'ingestion d'une vache laitière (potentiel adulte de 9 000 kg, en 305 jours) selon le stade de lactation et le nombre de lactations (à partir de Faverdin 2006)

En résumé, on peut dire que la capacité d'ingestion d'une vache laitière dépend de son poids, de sa production laitière, de son état corporel, de sa semaine de lactation, de sa semaine de gestation et de son âge.



Estimation précise de la capacité d'ingestion

Le système de calcul des rations français emploie une formule mathématique pour calculer précisément la capacité d'ingestion d'une vache, en tenant compte des différents paramètres qui influencent celle-ci. L'unité utilisée pour exprimer cette capacité chez la vache en lactation est alors l'UEL, pour Unité d'Encombrement Lait, 1 UEL correspondant à la consommation de 1 kg de MS du fourrage de référence (une herbe jeune au stade pâture).

Les besoins des animaux et les apports alimentaires de la ration sont toujours exprimés dans la même unité, afin de pouvoir les comparer et les faire coïncider au mieux. Aussi, les fourrages possèdent une « valeur d'encombrement », exprimée elle aussi en UEL. Cette valeur d'encombrement s'exprime par rapport à l'aliment de référence, l'herbe jeune au stade pâture : la « valeur d'encombrement d'un fourrage » est ainsi égale à la quantité consommée du fourrage de référence divisée par la quantité consommée du fourrage considéré. Ainsi, un fourrage possédant par exemple une valeur d'encombrement de 1,25 UEL sera relativement encombrant (et dans tous les cas plus encombrant que le fourrage de référence). La valeur d'encombrement d'un fourrage dépend de plusieurs facteurs : l'espèce concernée, son stade végétatif (et donc son taux de cellulose brute) et la finesse de hachage (un hachage fin diminue la valeur d'encombrement et augmente donc la quantité ingérée).

À titre d'exemple, une vache laitière de 700 kg en pleine lactation a une capacité d'ingestion de ± 17 UEL. Ceci correspond à la consommation de 17 kg de MS de l'aliment de référence, l'herbe jeune au stade pâture à 1 UEL. Ceci correspond également à la consommation de 15,6 kg de MS d'un ensilage de maïs à 25 % de MS et 1,09 UEL ($17/1,09 = 15,6$ kg de MS).

Cet exemple permet de comprendre que la connaissance de la capacité d'ingestion de l'animal et de la valeur d'encombrement du fourrage permet de déterminer la quantité de MS volontairement ingérée par cet animal.

Le tableau ci-dessous présente la valeur d'encombrement de différents fourrages (en UEL/kg de MS).

Herbe jeune au stade pâture	1
Foin fané au sol par beau temps, 1 ^{er} cycle, début épiaison	1,02
Paille de blé	1,60
Ensilage d'herbe préfané, coupe fine, 1 ^{er} cycle début épiaison	1,06
Ensilage de maïs, hachage fin sans conservateur, stade laiteux-pâteux (25 % de MS)	1,09
Betteraves fourragères (19 % de MS)	0,50
Ensilage de pulpes surpressées	1,05

Remarquons enfin qu'à l'opposé de bien des fourrages, les aliments concentrés sont plus intensément et rapidement digérés. En conséquence, leur valeur d'encombrement est toujours inférieure à celle des fourrages. Leur valeur est de plus variable et dépend de facteurs liés aux animaux et à la ration.

expressions des besoins et des apports

Si la capacité d'ingestion varie beaucoup entre le début de lactation et la fin de celle-ci, il en va de même pour les besoins énergétiques (figure 16). Ainsi, en début de lactation, et surtout au moment du pic de lactation, les besoins énergétiques sont très élevés, alors que la capacité d'ingestion est réduite. Les besoins de la vache ne sont donc pas couverts et l'animal doit puiser dans ses réserves corporelles afin de combler le déficit énergétique.

Le niveau d'ingestion réel.

Les quantités d'aliments réellement ingérées par une vache laitière dépendent d'abord de sa capacité d'ingestion. Mais d'autres facteurs influencent le niveau d'ingestion réel :

- les caractéristiques de la ration distribuée : quantité, qualité et valeur d'encombrement des fourrages et des concentrés offerts,
- la stratégie de distribution de la ration : distribution restreinte ou à volonté, facilité d'accès des vaches à la ration.

L'ingestion réelle s'exprime toujours en kg de MS/jour.

À quoi cela sert-il d'évaluer l'ingestion réelle d'un animal ? La capacité d'ingestion permet de prévoir la ration. La mesure de l'ingestion réelle permet, elle, d'évaluer les quantités réellement ingérées et d'ajuster si nécessaire les quantités distribuées.

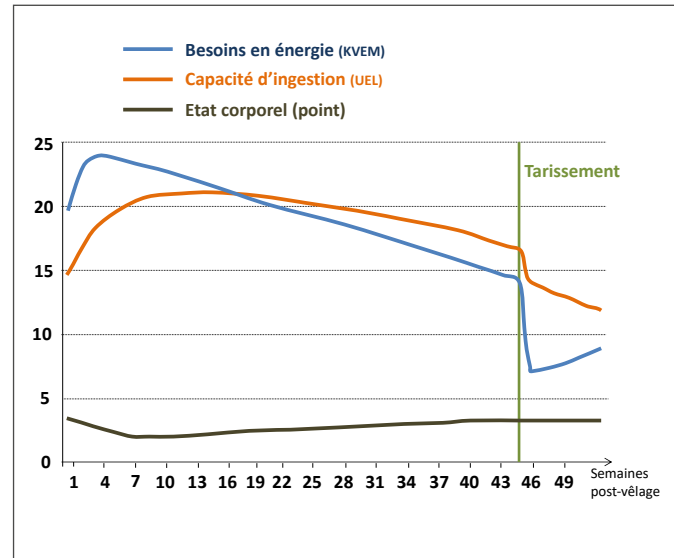


Figure 16 : Evolution des besoins énergétiques, de la capacité d'ingestion et du score corporel d'une vache laitière multipare produisant 9 500 kg de lait/an en fonction du stade physiologique (à partir de Brocard et al 2010)

Quantités réellement ingérées = quantités distribuées – les refus

Remarquons qu'étant donné que les quantités sont exprimées en kg de MS, il sera nécessaire de connaître d'une part les quantités distribuées de chaque aliment, et d'autre part, leur taux respectif en MS.

- Quantités distribuées : il existe différents outils permettant d'évaluer les quantités distribuées (pont bascule, mesure de la longueur prélevée sur un silo d'ensilage,...). Par ailleurs, il faut considérer qu'un fourrage est distribué « à volonté » lorsque l'on peut constater qu'à la distribution suivante, il subsiste un surplus consommable. Les refus sont en effet un indicateur indirect de l'ingestion, à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif : ils permettent d'une part d'ajuster les quantités, d'autre part d'évaluer si les vaches effectuent un tri, et enfin, au pâturage, de déterminer si le changement de parcelle s'impose (refus entamés).
- Taux de MS : pour les fourrages, seule une

analyse en laboratoire permet de connaître avec exactitude le taux en MS. Nous soulignons ici ce faisant l'importance de réaliser cette démarche pour tout éleveur souhaitant mieux contrôler le rationnement de son troupeau. Il existe néanmoins une méthode empirique permettant une estimation du taux en MS du fourrage. Celle-ci consiste à placer dans un four à micro-ondes un échantillon du fourrage de 100 g et un verre d'eau. On règle ensuite la minuterie sur trois minutes. On pèse alors l'échantillon et on le remet au four pendant deux minutes supplémentaires. On pèse l'échantillon à nouveau et on reprend le processus jusqu'à ce que le poids ne change plus. Le pourcentage de MS est alors égal au poids final divisé par le poids initial et multiplié par 100.

- La teneur en MS des concentrés est quant à elle relativement constante et oscille la plupart du temps entre 87 et 90 %.

expressions des besoins et des apports

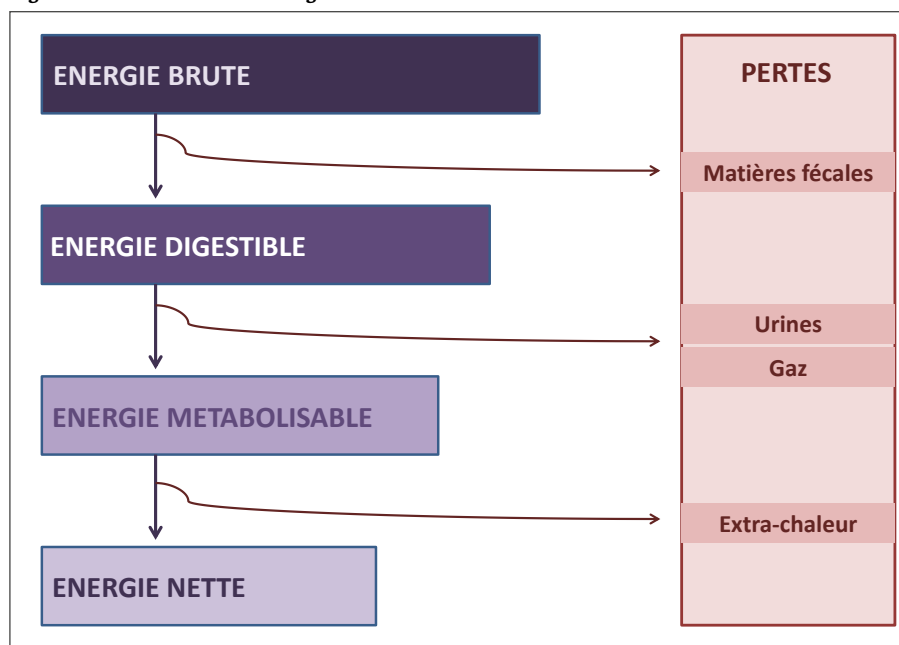
IV.1.2 Expression des besoins et des apports en énergie

La quantité totale d'énergie contenue dans un aliment est appelée l'énergie brute (EB). Elle varie selon la nature de l'aliment, en fonction des nutriments présents dans celui-ci.

L'EB n'est jamais valorisée complètement par l'animal (figure 17). En effet, selon la digestibilité de la ration, une fraction plus ou moins importante de l'EB se retrouve dans les matières

fécales et est donc perdue. L'énergie résiduelle s'appelle l'énergie digestible (ED). Une fraction de l'ED est ensuite perdue *via* les urines et les gaz, l'énergie restante s'appelant l'énergie métabolisable (EM). Au niveau cellulaire, l'EM est en partie dissipée sous forme d'extra-chaueur, c'est-à-dire un surplus de production de chaleur chez l'animal qui a fait un repas, le solde étant l'énergie nette (EN), soit l'énergie disponible pour les cellules animales.

Figure 17: Utilisation de l'énergie des aliments chez les ruminants



expressions des besoins et des apports

L'EN est utilement employée pour les besoins d'entretien ou de production. Ceci explique que les valeurs énergétiques des aliments sont toujours exprimées en EN.

L'unité de référence de l'énergie est classiquement la calorie (cal) ou le joule. Cependant, en Belgique, pour le secteur des productions laitières, on utilise un système hollandais d'unité énergétique: le VEM (pour *Voeder Eenheid voor Melk*).

1 VEM correspond à la quantité d'EN contenue dans 1 g d'orge. Pour faciliter les calculs et matérialiser l'énergie, il a en effet été convenu de prendre un aliment de référence, en l'occur-

rence l'orge, et de comparer les autres aliments à sa valeur énergétique.

Ainsi, 1 kg d'orge correspond à 1 000 VEM, ou encore, à 1 KVEM. Par rapport à l'unité énergétique de référence qui est la calorie, retenons que 1 kg d'orge contient 1 650 Kcal d'EN.

Il est important de préciser ici que nous parlons bien de 1 kg d'orge, et non pas de 1 kg de MS d'orge.

Les teneurs énergétiques des aliments distribués aux bovins sont très variables. Le tableau 2 donne quelques exemples.

ALIMENT	TENEUR EN KVEM dans l'aliment frais	TENEUR EN KVEM dans la MS
1 kg d'orge	1	1,13
1 kg de maïs grain	1,07	1,23
1 kg de pulpes séchées	0,87	0,96
1 kg de tourteau de soja	0,99	1,13
1 kg d'ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité	0,36	0,81
1 kg d'ensilage de maïs	0,28	0,89
1 kg d'ensilage de pulpes surpressées	0,21	1,01

Comme on le voit aisément dans le tableau ci-dessus, plus l'aliment est riche en MS (orge, maïs grain, pulpes séchées, tourteau de soja,...), plus sa teneur en énergie exprimée dans l'aliment frais se rapproche de celle exprimée dans

la MS. À l'opposé, pour un aliment tel que l'ensilage de pulpes surpressées de betteraves, pourvu d'une teneur en MS de 21 %, les différences sont considérables (0,21 KVEM/kg *versus* 1,01 KVEM/kg de MS).

Attention ! l'EN d'un aliment ou d'une ration correspond à l'énergie potentielle contenue dans cet aliment ou cette ration. En effet, pour qu'une valorisation optimale de l'énergie présente dans l'aliment ou la ration ait lieu, il faut que simultanément, dans le rumen, il y ait présence de cette énergie et de matières azotées, afin de permettre une synthèse de protéines microbiennes. Enfin, il importe aussi que tous les mécanismes digestifs soient opérants. De ce point de vue, les mécanismes de la digestion dans le rumen sont de la plus haute importance (ingestion, rumination, fermentation) puisque pratiquement 2/3 de l'énergie fournie à l'animal l'est sous forme d'AGV issus des fermentations microbiennes.

IV.1.3 Expression des besoins et des apports en matières azotées

Pour rappel, les matières azotées qui quittent le rumen-réseau peuvent être schématiquement classées en deux catégories : les protéines microbiennes d'une part, et les protéines alimentaires non dégradées d'autre part. Pour qu'il y ait synthèse de protéines microbiennes, deux éléments sont nécessaires : de l'N, essentiellement sous forme de NH_3 , et de l'énergie. À partir de la caillette et au niveau de l'intestin grêle, toutes les protéines, qu'elles soient microbiennes ou alimentaires, subissent une digestion enzymatique similaire.

Le système utilisé en Wallonie pour exprimer les apports et les besoins en matières azotées des ruminants est celui utilisé en Hollande et appelé système DVE/OEB (DVE : *DarmVerteerbaar Eiwit* ; OEB : *Onbestendige Eiwit Balans*), élaboré en 1991. Il s'agit d'un système à deux composantes. Les DVE désignent les protéines digestibles dans l'intestin. Celles-ci qualifient les apports en AA digestibles dans l'intestin pour la vache laitière et comprennent d'une part les protéines alimentaires non dégradées dans le rumen-réseau et qui vont être digérées dans l'intestin, et d'autre part les protéines microbiennes qui viennent d'être synthétisées et qui vont, elles aussi, être digérées dans l'intestin.

Il faut toutefois savoir que ce système d'unité prend en compte les protéines microbiennes qui peuvent être théoriquement formées à partir de l'énergie fermentescible. La valeur DVE suppose donc qu'il y ait suffisamment d'N fermentescible dans le rumen, une situation qui n'est évidemment pas toujours rencontrée dans le rumen de la vache. Par conséquent, il peut arriver que la valeur DVE soit en partie constituée par des protéines « virtuelles », s'il existe dans le rumen un excès d'énergie par rapport à l'N présent.

expressions des besoins et des apports

La valeur DVE se calcule en additionnant les protéines alimentaires non dégradées dans le rumen-réseau et les protéines microbiennes, et en soustrayant les protéines endogènes présentes dans les matières fécales. Cette dernière

fraction correspond aux protéines nécessaires pour la fabrication des enzymes assurant la digestion et des cellules de la paroi intestinale, qui sont perdues avec l'excrétion fécale.

$$\text{DVE} = \text{protéines alimentaires non dégradées} + \text{protéines microbiennes} - \text{protéines endogènes}$$

L'OEB constitue quant à lui le bilan des protéines dégradables dans le rumen. Il qualifie la nutrition azotée et énergétique des micro-organismes du rumen. Il représente la différence

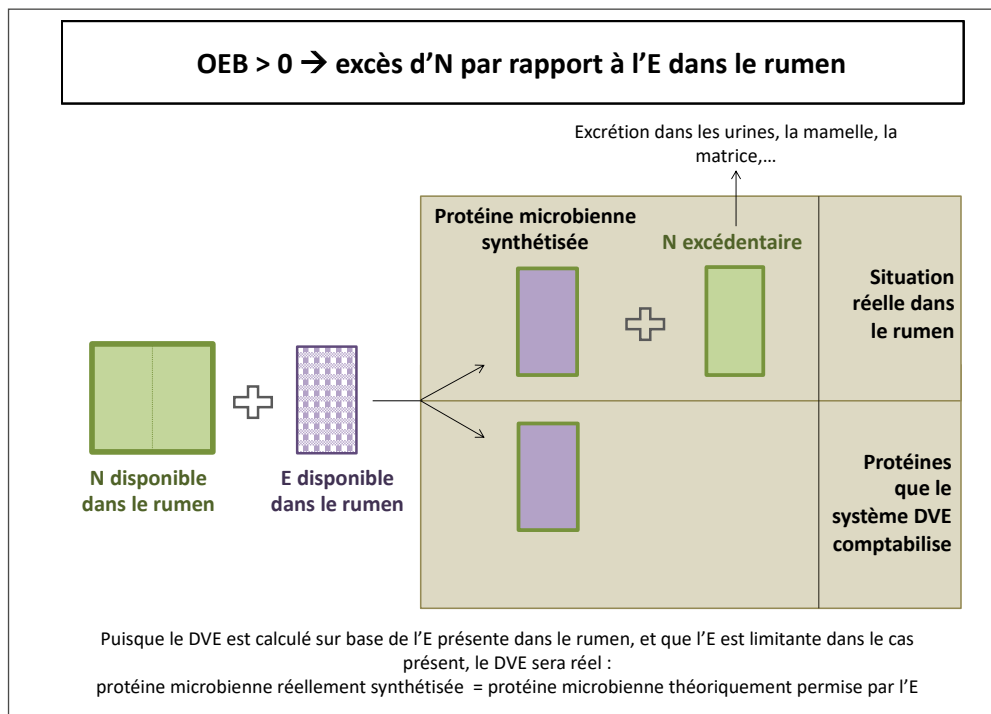
entre la quantité théorique de protéines microbiennes permise par l'N fermentescible et la quantité théorique de protéines microbiennes permise par l'énergie fermentescible.

$$\text{OEB} = \text{protéines microbiennes permises par l'N} - \text{protéines microbiennes permises par l'énergie}$$

Chaque aliment possède donc une valeur de DVE et une valeur d'OEB. Comme pour l'énergie, lors du calcul de la ration, les apports en DVE et en OEB des différents aliments présents dans la ration sont additionnés. L'apport total en DVE de la ration est alors comparé aux besoins en DVE de la vache. Dans une ration correctement formulée, les apports en DVE correspondent aux besoins en DVE de la vache. Une fois cet équilibre atteint, trois cas de figure sont possibles :

① L'OEB de la ration est positif. Dans ce cas, il existe un excès d'N dans le rumen, c'est-à-dire de l'N fermentescible non transformé en protéines microbiennes. Le DVE exprime alors une protéine vraie. Puisque le DVE est réel, les besoins de la vache en DVE sont donc réellement couverts par la ration. L'excès d'N, qui se présente sous la forme de NH_3 , est éliminé par les urines et le lait, après transformation au niveau du foie en urée.

expressions des besoins et des apports



51

Un excès d’N, s’il est limité, est acceptable. Un excès important d’N aura par contre des impacts non négligeables sur la santé de la vache : risques accrus de mammites, de métrites, diminution de la fertilité,... En outre, vu que cet N n’a pas été valorisé par l’animal mais qu’il a néanmoins été incorporé dans la ration, ceci re-

présente une perte économique pour l’éleveur. Enfin, l’excrétion d’urée dans les urines étant augmentée, cette situation aura également des conséquences néfastes pour l’environnement. On considère en général que chez la vache laitière, l’OEB de la ration doit être positif mais inférieur à 200 g/jour dans une ration.

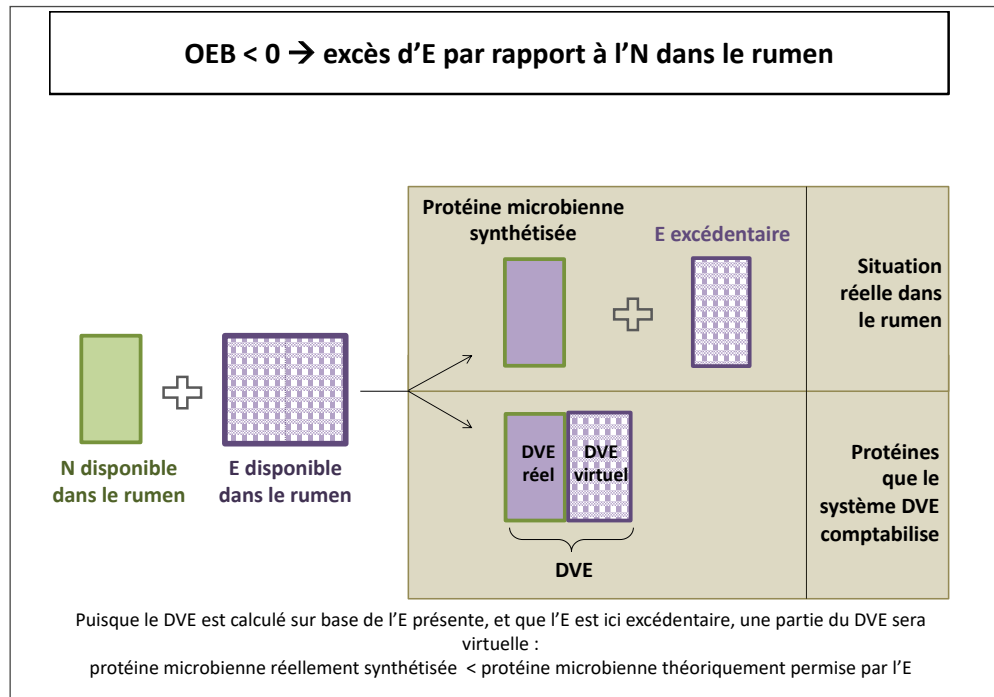
expressions des besoins et des apports



52

② L'OEB de la ration est négatif. Dans ce cas, il existe un excès d'énergie fermentescible dans le rumen. Une partie du DVE est alors constituée de protéines virtuelles. Ce faisant, les besoins de la vache en DVE ne sont pas

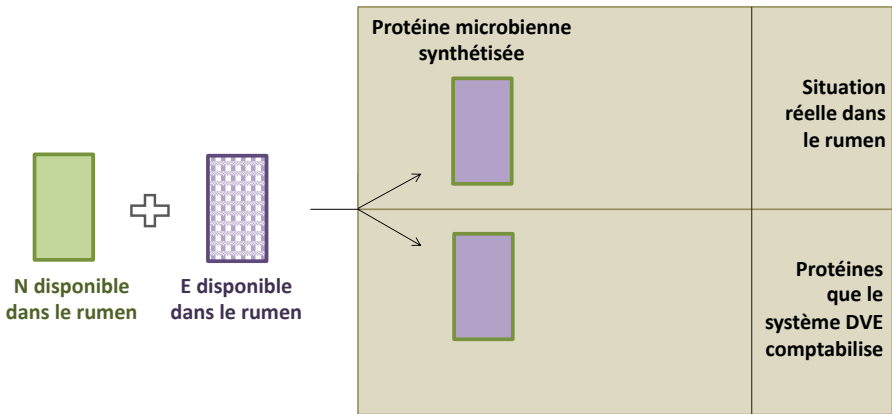
totallement couverts. Une telle situation doit toujours être évitée chez la vache laitière. Seul un OEB très légèrement négatif (OEB se rapprochant de 0) est acceptable.



expressions des besoins et des apports

- ③ L'OEB de la ration est égal à 0. Il y a alors autant d'énergie que d'N fermentescible dans le rumen. Le DVE est réel, les besoins de la vache sont donc couverts par la ration.

OEB = 0 → quantité d'E présente dans le rumen = quantité d'N présent dans le rumen



Ici, le DVE est réel car l'E n'est pas limitante :
protéine microbienne réellement synthétisée = protéine microbienne théoriquement permise par l'E

Les teneurs en DVE et en OEB des aliments distribués aux vaches laitières sont très variables. Le tableau ci-dessous donne quelques exemples.

ALIMENT	KVEM dans la MS	DVE g/kg MS	OEB g/kg MS
Orge	1,13	94	-23
Maïs grain	1,23	98	-30
Pulpes séchées	0,96	111	-67
Tourteau de soja	1,13	261	195
Ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité	0,81	71	65
Ensilage de maïs	0,89	49	-19
Ensilage de pulpes surpressées	1,01	100	-65

expressions des besoins et des apports

Comme on peut le voir, l'orge, le maïs grain, les pulpes séchées, l'ensilage de maïs et l'ensilage de pulpes surpressées de betteraves ont un OEB négatif. Cela signifie qu'il s'agit d'aliments apportant au niveau du rumen davantage d'énergie que d'azote fermentescible. Par conséquent, une partie de leur DVE est virtuelle, ou, autrement dit, la teneur en DVE affichée dans

le tableau ne reflète pas l'apport réel en protéines digestibles dans l'intestin de l'aliment. En combinant de manière pertinente les aliments à teneur en OEB positive et négative, il est possible d'obtenir une ration dont la teneur en OEB est proche de zéro ou inférieure à 200 g/jour et d'exprimer ainsi les DVE virtuels.

54

Évolution du système DVE/OEB

Dans le système DVE/OEB utilisé actuellement, que nous appellerons le système DVE/OEB1991, deux données sont calculées pour chaque aliment : les protéines digestibles dans l'intestin (le DVE) et le bilan des protéines dégradables dans le rumen (l'OEB). Le DVE représente la valeur protéique vraie de l'aliment, alors que l'OEB est la différence entre la quantité théorique de protéines microbiennes permise par l'N disponible et la quantité théorique de protéines microbiennes permise par l'énergie disponible.

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées sur les systèmes d'évaluation de la protéine. Suite à ces développements, il est apparu qu'une mise à jour et une amélioration du système DVE/OEB₁₉₉₁ étaient nécessaires. Différentes modifications destinées à mieux évaluer la valeur protéique des aliments ont ainsi été apportées en 2010. Ces modifications concernent principalement :

- 1. la distinction de différentes fractions dans les composants des aliments, caractérisées par une dégradabilité et un taux de passage spécifiques,*
- 2. l'efficacité de la synthèse protéique microbienne dans le rumen,*
- 3. l'ajustement des besoins de production laitière et de gestation.*

Les deux premières modifications interviennent dans le calcul des protéines microbiennes synthétisées dans le rumen (équation DVE). La troisième intervient dans le calcul des besoins de l'animal.

1. *La dégradabilité des aliments peut être mesurée par la technique dite des sachets de nylon. Ces sachets contiennent des aliments mis en incubation dans le rumen pendant différentes périodes de temps. La pesée des aliments avant et après cette incubation permet de mesurer la dégradabilité dans le rumen. De plus, chacun des composants d'un aliment – par exemple, l'amidon ou les fibres NDF – peut être séparé en plusieurs fractions distinctes, caractérisées par des dégradabilités différentes. Alors que le système DVE/OEB₁₉₉₁ comptabilisait trois fractions différentes pour chaque composant, le système DVE/OEB₂₀₁₀ en compte quatre : une fraction soluble, une fraction lessivable, une fraction non lessivable mais potentiellement dégradabile et une fraction non lessivable et non dégradabile. Chacune des quatre fractions s'exprime en g/g de MS. Et pour chacune de ces fractions, un taux de dégradation dans le rumen est calculé.*

À côté de cette première nouveauté, le système DVE/OEB₂₀₁₀ tient également compte de façon plus précise de la dynamique des particules alimentaires, ou, plus précisément, des mécanismes impliqués dans l'évacuation des particules alimentaires hors du rumen. Cette évacuation se mesure via ce que l'on appelle le taux de sortie ou, plus communément, le taux de passage. Les taux de passage des particules alimentaires sont d'importants déterminants de la disponibilité et de l'utilisation des composants alimentaires par les micro-organismes du rumen, de même que de l'efficacité de la croissance microbienne. Des études menées ces dernières années ont montré que non seulement les fourrages et les concentrés avaient des taux de passage différents, mais leurs composants (protéines, amidon, ...) également. Par conséquent, dans le système DVE/OEB₂₀₁₀, des taux de passage spécifiques sont utilisés pour les différents composants de l'aliment, en plus de la distinction entre liquides, petites particules solides (les concentrés) et grandes particules solides (les fourrages).

2. *Pour leur synthèse protéique, les micro-organismes ont besoin d'énergie ; celle-ci est principalement fournie par les fermentations des glucides contenus dans les aliments, la dégradation par fermentation des protéines alimentaires fournissant elle aussi de l'énergie, mais en quantités nettement*

moindres. Dans le système DVE/OEB₁₉₉₁, on considèrerait qu'une quantité fixe de 150 g de protéines microbiennes était produite par kg de matière organique fermentescible (ce terme désigne la matière organique qui fermente, c'est-à-dire les glucides et les protéines). Cependant, des recherches ultérieures ont montré que l'efficacité de cette **synthèse protéique** et de la croissance microbienne était principalement fonction du type de substrat fermenté et de son taux de passage, ainsi que du type de micro-organismes présents dans le rumen. Le système DVE/OEB₂₀₁₀ tient compte de ces deux éléments. Il module donc l'efficacité de la synthèse protéique en fonction des composants des aliments de la ration. Ce faisant, il différencie la quantité d'énergie apportée suite à la fermentation de chaque type de composant de l'aliment : amidon, glucides pariétaux, protéines, ... Il permet ainsi une meilleure prise en compte de la synchronisation entre les apports en protéines et les sources d'énergie pour les micro-organismes du rumen.

3. Dans le système DVE/OEB₂₀₁₀, l'évaluation des besoins en protéines de la vache liés à la production laitière et à la gestation, exprimés en g de DVE/jour, ont été revus.

Les besoins en DVE pour la production laitière sont ainsi calculés de la manière suivante :
$$\text{DVE (g/jour)} = 1,396 \times \text{MP} + 0,000195 \times \text{MP}^2$$

Où MP = la quantité de protéines dans le lait, exprimée en g/jour

Les besoins en DVE pour la gestation sont adaptés pour les quatre derniers mois de gestation, et sont ainsi les suivants : 62 g au 6^e mois, 107 g (au lieu de 105 g) au 7^e mois, 177 g (au lieu de 170 g) au 8^e mois et 278 g (au lieu de 270 g) au 9^e mois, pour une vache de 650 kg qui aura un veau pesant 44 kg.

Bien qu'il permette une meilleure prise en compte de la physiologie digestive du ruminant, notons que ce nouveau système n'est pas encore d'application en Wallonie. L'évaluation des DVE auprès des laboratoires classiques, lors d'une analyse de fourrage par exemple, repose donc encore sur le système DVE/OEB₁₉₉₁.

IV.1.4 Expression des besoins et des apports en minéraux et en vitamines

Comme c'est le cas pour l'énergie et les matières azotées, les apports en minéraux et en vitamines des différents aliments de la ration doivent être évalués et additionnés, et comparés aux besoins de l'animal. Si les besoins ne sont pas couverts, un apport complémentaire en minéraux et en vitamines est alors réalisé, généralement sous la forme d'un complexe minéral-vitaminé, dont la composition sera choisie en fonction des déficits existants. Cette démarche suppose de connaître préalablement d'une part la teneur en minéraux et en vitamines des aliments de la ration, et d'autre part les besoins de l'animal.

Les apports en minéraux des aliments sont exprimés en g/kg de MS d'aliment pour les macroéléments (Ca, P, K, Na, Cl, S et Mg). Pour les oligo-éléments (Fe, Se, Zn, Cu, I, Co, Mn), ils sont exprimés en mg/kg de MS d'aliment ou en ppm¹³. Les apports en vitamines sont quant à eux exprimés en mg/kg de MS d'aliment ou en UI¹⁴/kg de MS d'aliment. Les teneurs en minéraux et en vitamines des aliments destinés aux bovins laitiers sont très variables. Le tableau ci-dessous illustre ceci en présentant les teneurs en Ca, P, Na, Mg, Cu, Zn, Mn et vitamine A de quelques aliments couramment utilisés en rationnement laitier.

	Ca g/kg MS	P g/kg MS	Na g/kg MS	Mg g/kg MS	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Vit A UI/kg MS
Foin de luzerne	15,3 élevé	2,4	1,5	1,8	7	25	29	20 000
Feuilles et collets de betteraves	8,5 élevé	1,7	8,5 élevé	2,3	11	54	123	50 000
Ensilage de maïs	2,4	2,5	0,3 faible	1 faible	4	32	30	0
Ensilage d'herbe préfané bon	6,2	4,1	2,7	1,9	8	45	106	0
Luzerne déshydratée	17 élevé	2,5	1,2	1,5	9	65	67	80 000 élevé
Pulpes séchées	12	1,2	1,1	2	8	17 faible	66	0
Son	1,2 faible	12,3 élevé	0,1 faible	4,4	15 élevé	90 élevé	128 élevé	0
Tourteau de lin	4,7	9,4 élevé	1,1	5,4 élevé	21 élevé	73 élevé	59	0

13. ppm (partie par million) : unité de mesure désignant une concentration d'une substance égale à un millionième. Ainsi, cette unité désigne par exemple des mg/kg, des g/tonne, ...
14. UI (Unité Internationale) : unité de mesure permettant d'évaluer la quantité d'une substance sur base de son activité biologique.
L'UI diffère donc d'une substance à l'autre. Ainsi, 1 UI de vitamine A = 0,33 µg de vitamine A et 1 UI de vitamine D = 0,025 µg de vitamine D.

expressions des besoins et des apports

Les modalités d'expression des besoins en minéraux et en vitamines sont différentes selon que l'on s'intéresse aux macroéléments et aux vitamines d'une part, ou aux oligoéléments d'autre part :

- pour les macroéléments et les vitamines, les besoins de l'animal sont exprimés en termes de besoins absolus, c'est-à-dire en g/jour (ou parfois en UI pour les vitamines). Par exemple, les besoins en Ca d'une vache laitière de 650 kg produisant 25 L sont de 107,5 g/jour. Ses besoins en vitamine A sont quant à eux de 90 000 UI/jour ;
- pour les oligoéléments, il en va différemment. Les besoins en oligoéléments des animaux ne sont en réalité pas connus avec précision. Aussi, ils sont exprimés en termes de besoins relatifs, et font l'objet de recommandations à suivre quant à la teneur en oligoéléments à atteindre dans la MS de la ration de l'animal, avec fixation d'un seuil de carence et d'un seuil de toxicité. Les besoins en oligoéléments sont donc exprimés en ppm ou en mg/kg de MS ingérée. Par exemple, les besoins en Cu d'une vache laitière de 650 kg produisant 25 L sont de 8 à 10 mg/kg de MS de ration ou 8 à 10 ppm.

Certains minéraux et vitamines doivent faire l'objet d'une surveillance attentive lors du calcul de ration de la vache laitière, afin précisément que les besoins soient couverts et qu'une situation d'excès ou de carence – clinique ou subclinique – apparaisse. Ainsi, au niveau des macroéléments, il faut être particulièrement vigilant pour le Ca, le P, le Mg et le Na. Le Cl, le K et le S posent par contre rarement des problèmes. Au niveau des vitamines, il convient de vérifier la couverture des besoins de l'animal en vitamines A, D et E. Les autres vitamines (K, B et C) sont rarement problématiques puisqu'elles sont synthétisées par les micro-organismes du rumen. Au niveau des oligoéléments, une attention particulière doit être portée au cours du rationnement pour le Cu, le Zn et le Mn. L'I et le Se peuvent quant à eux parfois être problématiques. Le Fe et le Co ne le sont en général pas. Le tableau 2 indique précisément les apports recommandés dans la MS pour le Cu, le Zn, le Mn, l'I et le Se, ainsi que les seuils de carence et de toxicité.

	Seuil de carence mg/ kg MS	Apports recommandés mg/kg MS	Seuil de toxicité mg/kg MS
Cu	7	8-10	30
Zn	45	50-75	250
Mn	45	50-75	1 000
I	0,15	0,2-0,8	8
Se	0,1	0,1	0,5

Tableau 2. Apports recommandés et seuils de carence et de toxicité pour les principaux oligoéléments (en mg/kg MS dans la ration).

En termes d'apports alimentaires, il faut retenir que pour les minéraux, les teneurs des fourrages sont assez variables, alors que celles des aliments concentrés sont relativement stables. Par conséquent, il est toujours souhaitable de réaliser une analyse de la composition chimique de son fourrage, alors que pour les aliments concentrés, l'utilisation des tables de composition (annexe 1) permet une estimation assez fiable des teneurs. Schématiquement retenons que pour les minéraux, au niveau des macroéléments, les rations pour vaches laitières (sans complément minéral-vitaminé) sont souvent déficitaires en P et/ou Ca, et elles sont toujours carencées en Na. Le Mg pose en général problème chez les vaches au pâturage. Au niveau des oligoéléments, les carences en Cu, Zn et Se sont assez courantes en Wallonie, mais on peut parfois observer également des carences en I et en Co. Concernant les vitamines, pour la vitamine A

tout d'abord, retenons que la couverture des besoins ne pose pas de problème lorsque les vaches sont au pâturage, les fourrages verts étant de bonnes sources de vitamine A. Par contre, l'utilisation de fourrages conservés rend nécessaire un apport supplémentaire en vitamine A. Si un foin récolté dans de bonnes conditions contient de la vitamine A, ce n'est en effet pas le cas pour les ensilages, qui n'en contiennent que peu, voire pas du tout, ou pour un foin mal récolté. En outre, la vitamine A contenue dans le foin disparaît au cours du temps, si bien qu'un foin correctement récolté présente une teneur quasi nulle après quatre à six mois de stockage. Les aliments concentrés (céréales, tourteaux...), de même que les racines et tubercules, en sont également quasiment dépourvus. Une supplémentation en période hivernale est donc toujours indiquée. Concernant la vitamine D, la situation est relativement similaire: les besoins des animaux au pâturage sont en général

couverts; mais les rations hivernales sont souvent déficitaires. Les céréales, les tourteaux, les racines et les tubercules ne contiennent en effet pas de vitamine D, et les teneurs des fourrages sont quant à elles mal connues. Pour la vitamine E, les fourrages verts présentant des teneurs élevées, la couverture des besoins des animaux au pâturage est assurée. Par contre, dès qu’une ration à base de fourrages conservés est distribuée, une complémentation s’impose, les teneurs des fourrages conservés et des céréales étant variables et souvent faibles.

IV.1.5 Expression des besoins et des apports en eau
L’eau est un élément indispensable de la ration : il doit être fourni avec le moins de restriction possible car il conditionne l’ingestion et donc les productions. En moyenne, une vache laitière consomme 3 à 4 l d’eau/l de lait collecté. Ces quantités peuvent cependant varier grandement. Les principaux facteurs de variation sont les suivants (tableau 3) :

- le type d’alimentation (pâturage *versus* zéro pâturage, foin, ensilage d’herbe, ensilage de maïs...), et plus précisément, le contenu en eau des aliments ingérés par l’animal. Une herbe jeune est en effet riche en eau (jusqu’à 850 g d’eau pour 1 kg d’herbe ingéré), alors qu’un fourrage tel que du foin est un aliment relativement sec (\pm 150 g d’eau pour 1 kg de foin ingéré) ;
 - la température extérieure ;
 - le gabarit de l’animal ;
 - le statut physiologique de l’animal (génisse, vache en lactation, vache tarie gestante).
- Un nombre suffisant d’abreuvoirs doit être prévu : on conseille un abreuvoir individuel pour dix vaches ou une longueur minimale de 65 cm si l’eau est présentée dans un bac. Il faut veiller à ce que le débit soit suffisant ($>$ 10 l/minute) et que les abords des points d’eau soient facilement accessibles (pas de sols glissants ou boueux). L’idéal est de disposer de deux points d’eau pour un même groupe de vaches afin de diminuer les problèmes d’accès pour les vaches dominées.

Température maximale	Production de lait à 4 % (kg)	Ensilage d’herbe	Foin	Pâturage
< 20 °C	20 à 30 kg de lait	72	96	51
	30 à 35 kg de lait	72		
20 à 25 °C	20 à 30 kg de lait	93		56

Tableau 3 : Références d’abreuvement chez des vaches laitières en lactation (en litres/vache/jour) selon la température extérieure, le niveau de production laitière et le type d’alimentation (à partir de Conté 2012).

Une gestion de la quantité d'eau consommée à l'échelle de l'exploitation ?

Actuellement, peu d'élevages ont installé un compteur d'eau sur leur réseau privé. Et pourtant, c'est la première étape pour tout éleveur soucieux de maîtriser la quantité d'eau consommée. Bien gérer l'eau sans gaspillage sera en effet sans nul doute une nécessité dans un avenir plus ou moins proche. L'abreuvement, qui représenterait ± 74 % de la consommation, est incompressible. Cependant, des économies peuvent être réalisées en détectant précocement les fuites, en étant vigilant par rapport aux autres postes de consommation : nettoyage du bloc de traite, du tracteur et de ses équipements, ... ou en récupérant les eaux de toiture.

La qualité de l'eau est aussi très importante : elle doit être fraîche et propre tant au niveau chimique que bactériologique. Les normes de potabilité humaine relatives aux critères bactériologiques devraient idéalement être reprises : une eau est considérée comme conforme si elle ne contient pas d'E. coli ou d'entérocoque dans un échantillon de 100 ml d'eau. Ces deux micro-organismes sont en effet utilisés comme des bactéries indicatrices d'une pollution fécale. Il est donc nécessaire de vérifier l'état de propreté des abreuvoirs – qui peuvent contenir des matières fécales, des restes d'aliments, des feuilles... – et de les nettoyer régulièrement.

IV. 2 Les besoins des animaux

IV.2.1 Besoins d'entretien et besoins de production

Tout animal effectue des dépenses pour son entretien et ses productions. On parle donc de besoins d'entretien et de besoins de production.

- Les besoins d'entretien d'une vache laitière correspondent aux besoins de l'animal pour se maintenir en vie à un poids constant et sans production aucune. Ils comprennent les besoins du métabolisme basal, c'est-à-dire ceux de l'animal strictement au repos et les besoins liés au mode de vie (activité physique). Ainsi, le pâturage, qui requiert des déplacements de la part de l'animal, génère

expressions des besoins et des apports

des dépenses plus élevées que la stabulation libre ou encore entravée, et correspond donc à des besoins plus élevés.

- Les besoins de production correspondent aux besoins de la vache pour assurer ses productions : croissance, gestation, production laitière et engraissement.
- Lors du calcul de rations, il convient de prendre en compte ces différents besoins. Ils sont calculés en utilisant des formules. Chez la vache laitière, schématiquement, on distingue deux cas de figure possibles : soit la vache est en lactation, soit elle est tarie et gestante.
- Vache en lactation : ce premier cas de figure correspond aux vaches en lactation non gestantes, mais aussi aux vaches en lactation gestantes (Tableau 4).
- Vache tarie et gestante : ce cas de figure correspond aux vaches qui sont tarées et gestantes (Tableau 4). D'un point de vue pratique, il s'agit donc des vaches tarées qui sont au 8^e ou 9^e mois de gestation.

Précisons enfin que préalablement au calcul de ration, il convient de connaître idéalement le poids de l'animal. On considère qu'en général, une vache laitière Holstein a un poids se situant entre 650 (petit gabarit) et 750 kg (grand gabarit). La pesée de l'animal est évidemment toujours souhaitable afin d'éviter de sous-alimenter ou de suralimenter les animaux.

Ci-contre :

Tableau 4 : Recommandations alimentaires d'une vache laitière à l'entretien, d'une vache laitière en lactation et d'une vache laitière tarie en gestation

*L= kg de lait produit par la vache/jour

**FCL (facteur de correction du lait) =
 $(0,337 + 0,116 \times \% \text{ matières grasses du lait} + 0,06 \times \% \text{ protéines du lait})$

***MP = quantité de protéines dans le lait (g/jour)
 $= \text{kg de lait/jour} \times \% \text{ protéines} \times 10^+ = \text{gestation gémellaire}$

Pour aller plus loin :

(1) Formule non simplifiée des besoins en MS à l'entretien : $0,09 \times \text{Poids}^{0,75}$

(2) Formule non simplifiée des besoins en VEM à l'entretien : $0,0425 \times \text{Poids}^{0,75}$

(3) Formule non simplifiée des besoins en DVE à l'entretien : $(2,75 \times \text{Poids}^{0,5} + 0,2 \times \text{Poids}^{0,6}) / 0,67$

expressions des besoins et des apports

Encomb	Vache à l'entretien	Vache en lactation	Vache tarie en gestation (8 ^e ou 9 ^e mois)
Paramètres			
MS (kg) (1)	1,4 x (poids/100 + 2)	1,4 x (poids/100 + 2) + 0,30 x L*	1,4 x (poids/100 + 2) - 1,5
VEM (2)	6,45 x poids + 1 265	Si production ≤ 15 kg: 6,45 x poids + 1 265 + 442 x FCL** x L Si production > 15 kg: (6,45 x poids + 1 265 + 442 x FCL x L) x [1 + 0,00165 x (FCL x L – 15)] Si gestation au 6 ^e mois: + 450 Si gestation au 7 ^e mois: + 850 Si 1^{ère} lactation: + 330 Si 2^e lactation: + 660	6,45 x poids + 1 265 8 ^e mois: + 1 500 9 ^e mois: + 2 700 (Idéalement, une à deux semaines avant le vêlage: + 4 000)
DVE (g) (3)	Poids/10 + 54	Poids/10 + 54 + 1,396 x MP*** + 0,000195 x MP² Si gestation au 6 ^e mois: + 62 (+ 112 ⁺) Si gestation au 7 ^e mois: + 107 (+ 193 ⁺) Si 1^{ère} lactation: + 38 Si 2^e lactation: + 19	Poids/10 + 54 8 ^e mois: + 177 (+ 319 ⁺) 9 ^e mois: + 278 (+ 500 ⁺)
Macroéléments (g)			
Ca	5 x poids/100	5 x poids/100 + 3 x L	5 x poids/100 + 15
P	3 x poids/100	3 x poids/100 + 2 x L	3 x poids/100 + 9
Na	2 x poids/100	2 x poids/100 + L	2 x poids/100 + 5
Mg	1,6 x poids/100	1,6 x poids/100 + 0,5 x L	1,6 x poids/100 + 5
Oligoéléments (ppm)			
Cu		8 – 10	
Zn		50 – 75	
Mn		50 – 75	
Vitamines (UI)			
A	10 000 x poids/100	10 000 x poids/100 + 1 000 x L	10 000 x poids/100 + 100 000
D	1 000 x poids/100	1 000 x poids/100 + 100 x L	1 000 x poids/100 + 10 000
E	30 x poids/100	30 x poids/100 + 3 x L	30 x poids/100 + 0

expressions des besoins et des apports

Prenons quatre exemples pour illustrer ce tableau. Le 1^{er} concerne une vache laitière en lactation à 30L/jour non gestante ; le second, une vache laitière en lactation à 20L/jour gestante de 3 mois ; le 3^e, une vache laitière en lactation à 20L/jour gestante de 6 mois ; et le 4^e, une vache laitière tarie au 9^e mois de gestation. On

considère que ces vaches sont en 3^e lactation et sont gestante d'un seul veau. Après avoir utilisé les formules ci-dessus pour calculer les besoins respectifs de ces quatre types de vaches, nous comparerons leurs besoins en termes relatifs (en %, par rapport au cas n° 2, la vache à 20L/jour gestante de trois mois).

1. Soit une vache laitière de 650 kg en lactation produisant 30 L de lait/jour (non gestante) avec un taux de matières grasses de 4 % et un taux protéique de 3,2 %.

Besoins totaux de la vache	
MS	$1,4 \times (650/100 + 2) + 0,30 \times 30 = \mathbf{20,9 \text{ kg}}$
VEM	$FCL = 0,337 + 0,116 \times 4,0 + 0,06 \times 3,2 = 0,993$ $(6,45 \times 650 + 1\,265 + 442 \times 0,993 \times 30) \times [1 + 0,00165 \times (0,993 \times 30 - 15)] = 19\,079 \text{ VEM}$ $= \mathbf{19,1 \text{ KVEM}}$
DVE	$MP = 30 \times 3,2 \times 10 = 960$ $\rightarrow 650/10 + 54 + 1,396 \times 960 + 0,000195 \times 960^2 = \mathbf{1\,639 \text{ g}}$
Ca	$5 \times 650/100 + 3 \times 30 = \mathbf{122,5 \text{ g}}$
P	$3 \times 650/100 + 2 \times 30 = \mathbf{79,5 \text{ g}}$
Na	$2 \times 650/100 + 30 = \mathbf{43 \text{ g}}$
Mg	$1,6 \times 650/100 + 0,5 \times 30 = \mathbf{25,4 \text{ g}}$
Cu	$\mathbf{8 - 10 \text{ ppm}}$
Zn	$\mathbf{50 - 75 \text{ ppm}}$
Mn	$\mathbf{50 - 75 \text{ ppm}}$
Vit A	$10\,000 \times 650/100 + 1\,000 \times 30 = \mathbf{95\,000 \text{ UI}}$
Vit D	$1\,000 \times 650/100 + 100 \times 30 = \mathbf{9\,500 \text{ UI}}$
Vit E	$30 \times 650/100 + 3 \times 30 = \mathbf{285 \text{ UI}}$

expressions des besoins et des apports

2. Soit une vache laitière de 650 kg en lactation (gestante de trois mois) produisant 20 L de lait/jour avec un taux de matières grasses de 4 % et un taux protéique de 3,2 %.
- La gestation étant peu avancée (< 6^e mois), elle n'entre pas en ligne de compte dans le calcul des besoins.

Besoins totaux de la vache	
MS	$1,4 \times (650/100 + 2) + 0,30 \times 20 = \mathbf{17,9 \text{ kg}}$
VEM	$FCL = 0,337 + 0,116 \times 4,0 + 0,06 \times 3,2 = 0,993$ $(6,45 \times 650 + 1\,265 + 442 \times 0,993 \times 20) \times [1 + 0,00165 \times (0,993 \times 20 - 15)] = 14\,350 \text{ VEM}$ $= \mathbf{14,4 \text{ KVEM}}$
DVE	$MP = 20 \times 3,2 \times 10 = 640$ $\rightarrow 650/10 + 54 + 1,396 \times 640 + 0,000195 \times 640^2 = \mathbf{1\,092 \text{ g}}$
Ca	$5 \times 650/100 + 3 \times 20 = \mathbf{92,5 \text{ g}}$
P	$3 \times 650/100 + 2 \times 20 = \mathbf{59,5 \text{ g}}$
Na	$2 \times 650/100 + 20 = \mathbf{33 \text{ g}}$
Mg	$1,6 \times 650/100 + 0,5 \times 20 = \mathbf{20,4 \text{ g}}$
Cu	$\mathbf{8 - 10 \text{ ppm}}$
Zn	$\mathbf{50 - 75 \text{ ppm}}$
Mn	$\mathbf{50 - 75 \text{ ppm}}$
Vit A	$10\,000 \times 650/100 + 1\,000 \times 20 = \mathbf{85\,000 \text{ UI}}$
Vit D	$1\,000 \times 650/100 + 100 \times 20 = \mathbf{8\,500 \text{ UI}}$
Vit E	$30 \times 650/100 + 3 \times 20 = \mathbf{255 \text{ UI}}$

expressions des besoins et des apports

3. Soit une vache laitière haute productrice de 650 kg en lactation (gestante de six mois) produisant 20 L de lait/jour avec un taux de matières grasses de 4 % et un taux protéique de 3,2 %. Dans ce cas de figure, la vache étant à son 6^e mois de gestation, un ajustement des besoins en VEM et en DVE est nécessaire: + 450 VEM et + 62 g de DVE. Par contre, les besoins en MS, minéraux et vitamines ne sont pas modifiés par la gestation.

Besoins totaux de la vache	
MS	$1,4 \times (650/100 + 2) + 0,30 \times 20 = \mathbf{17,9 \text{ kg}}$
VEM	$FCL = 0,337 + 0,116 \times 4,0 + 0,06 \times 3,2 = 0,993$ $(6,45 \times 650 + 1\,265 + 442 \times 0,993 \times 20) \times [1 + 0,00165 \times (0,993 \times 20 - 15)] + 450 = 14\,800 \text{ VEM}$ $= 14,8 \text{ KVEM}$
DVE	$MP = 20 \times 3,2 \times 10 = \mathbf{640}$ $\rightarrow 650/10 + 54 + 1,396 \times 640 + 0,000195 \times 640^2 + 62 = \mathbf{1\,154 \text{ g}}$
Ca	$5 \times 650/100 + 3 \times 20 = \mathbf{92,5 \text{ g}}$
P	$3 \times 650/100 + 2 \times 20 = \mathbf{59,5 \text{ g}}$
Na	$2 \times 650/100 + 20 = \mathbf{33 \text{ g}}$
Mg	$1,6 \times 650/100 + 0,5 \times 20 = \mathbf{20,4 \text{ g}}$
Cu	8 – 10 ppm
Zn	50 – 75 ppm
Mn	50 – 75 ppm
Vit A	$10\,000 \times 650/100 + 1\,000 \times 20 = \mathbf{85\,000 \text{ UI}}$
Vit D	$1\,000 \times 650/100 + 100 \times 20 = \mathbf{8\,500 \text{ UI}}$
Vit E	$30 \times 650/100 + 3 \times 20 = \mathbf{255 \text{ UI}}$

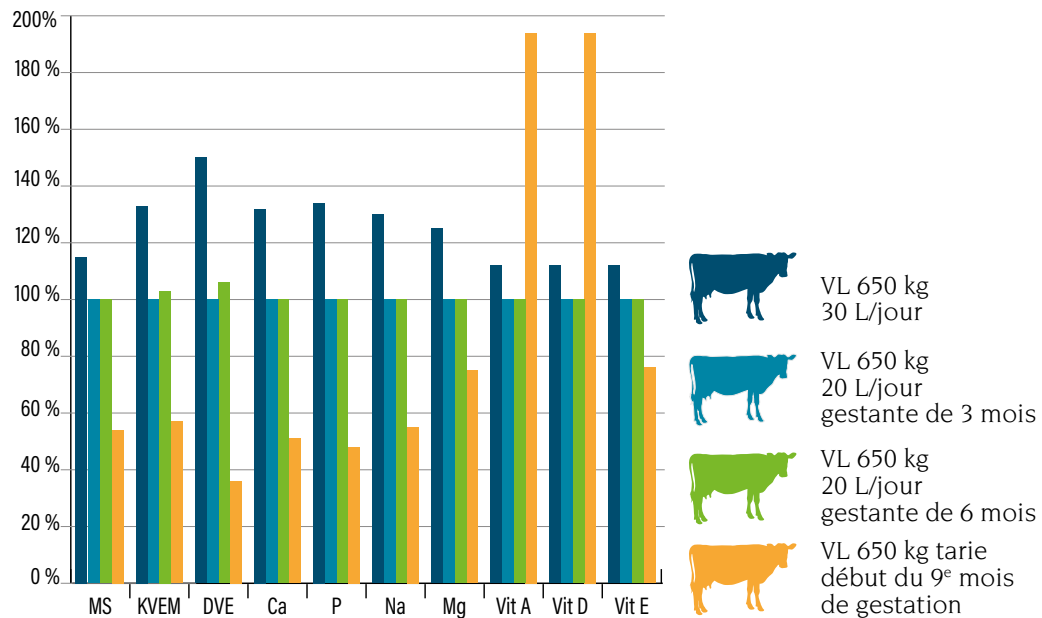
expressions des besoins et des apports

4. Soit une vache laitière de 650 kg, tarie, au début du 9^e mois de gestation. .

Besoins totaux de la vache	
MS	$1,4 \times (650/100 + 2) - 1,5 = \mathbf{10,4 \text{ kg}}$
VEM	$6,45 \times 650 + 1\,265 + 2\,700 = 8\,158 \text{ VEM}$ $= \mathbf{8,2 \text{ KVEM}}$
DVE	$650/10 + 54 + 278 = \mathbf{397 \text{ g}}$
Ca	$5 \times 650/100 + 15 = \mathbf{47,5 \text{ g}}$
P	$3 \times 650/100 + 9 = \mathbf{28,5 \text{ g}}$
Na	$2 \times 650/100 + 5 = \mathbf{18 \text{ g}}$
Mg	$1,6 \times 650/100 + 5 = \mathbf{15,4 \text{ g}}$
Cu	$\mathbf{8 - 10 \text{ ppm}}$
Zn	$\mathbf{50 - 75 \text{ ppm}}$
Mn	$\mathbf{50 - 75 \text{ ppm}}$
Vit A	$10\,000 \times 650/100 + 100\,000 = \mathbf{165\,000 \text{ UI}}$
Vit D	$1\,000 \times 650/100 + 10\,000 = \mathbf{16\,500 \text{ UI}}$
Vit E	$30 \times 650/100 + 0 = \mathbf{195 \text{ UI}}$

expressions des besoins et des apports

Comparons à présent à l'aide d'un graphique les besoins dans ces quatre conditions physiologiques différentes, en prenant comme point de référence le cas de figure n°2, à savoir la vache laitière à 20L/jour gestante de trois mois, dont les besoins sont fixés à 100 %.



Il est aisé de voir que :

- lorsqu'on passe d'une production de 20 à 30 L, les besoins en KVEM et DVE augmentent considérablement (+ 33 % pour les KVEM et + 50 % pour le DVE), de même que ceux en minéraux (plus ou moins + 30 % pour chacun d'entre eux). Les besoins en MS augmentent quant à eux de 15 % ; par conséquent, la densité énergétique de la ration doit idéalement augmenter considérablement pour faire face à l'augmentation plus importante des besoins en KVEM et DVE ;
- à production laitière identique (20 L), le passage du 3^e mois de gestation au 6^e mois de gestation n'augmente que très légèrement les besoins en KVEM (+ 3 %) et en DVE (+ 6 %), les autres besoins étant inchangés ;
- les besoins de la vache au tarissement sont beaucoup plus faibles que lorsqu'elle est en production (- 38 % pour la MS, - 43 % pour les KVEM, - 64 % pour les DVE) à l'exception de ses besoins en vitamine A et D qui sont multipliés approximativement par deux.

IV.2.2 Des besoins aux apports alimentaires

Le rationnement consiste à couvrir les besoins de l'animal – besoins énergétiques, azotés, minéraux et vitaminiques – en maximisant la fraction fourragère.

D'un point de vue pratique, il convient d'ajuster au mieux les apports alimentaires aux besoins, en prenant une certaine marge de sécurité. Ces « *apports alimentaires recommandés* » sont donc supérieurs aux besoins. Cette marge de sécurité se justifie notamment en raison des incertitudes sur les caractéristiques des aliments (valeurs nutritionnelles variables, imprécisions de l'analyse), sur les quantités réelles consommées et sur la valeur exacte des besoins. Le rationnement est en effet la plupart du temps calculé pour un lot d'animaux ou un troupeau, au sein duquel il existe en général une certaine hétérogénéité des performances. Les besoins sont calculés pour une performance moyenne au sein du lot d'animaux ou du troupeau. Pour des vaches laitières en lactation, on calcule ainsi en général des « besoins moyens » en prenant en compte la production laitière moyenne du lot ou du troupeau. Les vaches avec une haute

production ont cependant des besoins plus élevés, alors que celles avec une basse production ont des besoins plus faibles. En pratique, pour les vaches traites, on établit ainsi une « ration de base » à un niveau qui permet de couvrir la production de la plupart des vaches traites du troupeau. Les vaches ayant une production supérieure recevront en plus de la ration de base un concentré de production.

Pour terminer, mettons les différentes notions vues ci-dessus en application en prenant un exemple simple : soit une ration pour une vache laitière de 650 kg produisant 25 L de lait, contenant 20 kg d'ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité, 20 kg d'ensilage de maïs, 2 kg de tourteau de soja et 1 kg d'orge.

Quelles sont les questions que nous devons nous poser ?

1. Quels sont les apports en KVEM et en DVE de cette ration et quel est son OEB ?
2. Ces apports couvrent-ils les besoins de la vache ?
3. Si ce n'est pas le cas, cette ration pourrait-elle être améliorée ?

expressions des besoins et des apports

Pour répondre à la question 1, nous devons commencer par calculer les apports en MS des différents aliments :

RATION	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)
20 kg d'ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité	45	9
20 kg d'ensilage de maïs	32	6,4
1 kg d'orge	87,4	0,87
2 kg de tourteau de soja	87,9	1,76

Nous pouvons ensuite calculer les apports en KVEM et en DVE et l'OEB de la ration :

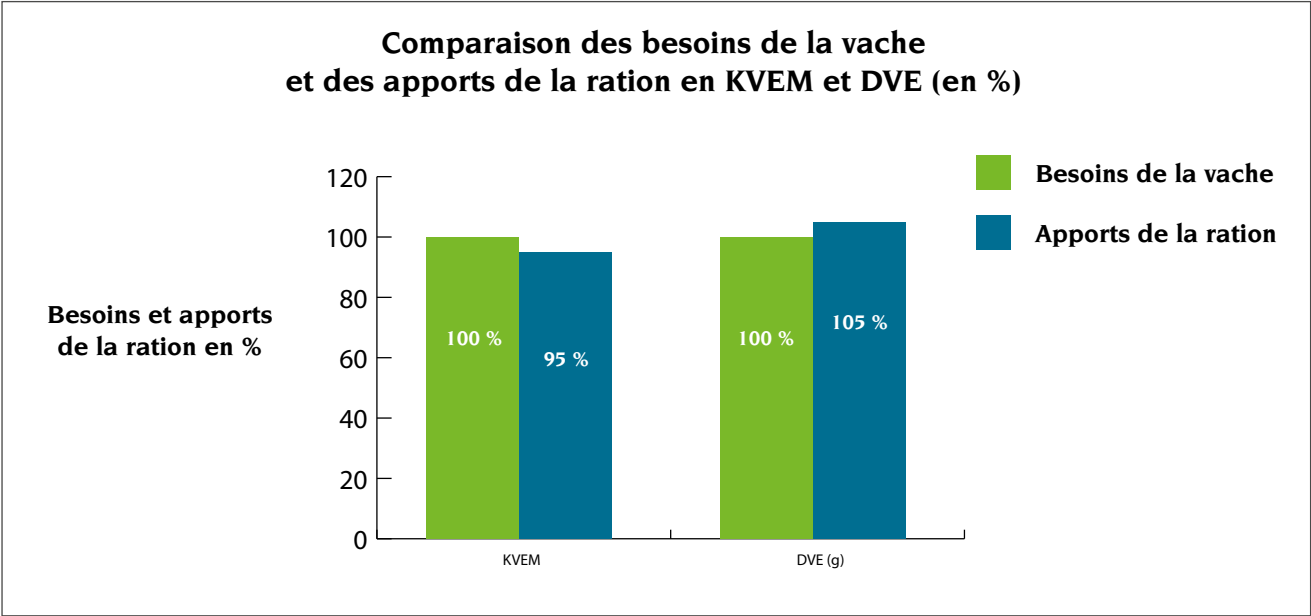
RATION	Teneur en KVEM	Apports en KVEM	Teneur en DVE g/kg MS	Apports en DVE (g)	Teneur en OEB g/kg MS	Apports en OEB (g)
9 kg de MS d'ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité	0,81	$9 \times 0,81 = 7,29$	71	$9 \times 71 = 639$	65	$9 \times 65 = 585$
6,4 kg de MS d'ensilage de maïs	0,89	$6,4 \times 0,89 = 5,70$	49	$6,4 \times 49 = 314$	-19	$6,4 \times (-23) = -147$
0,87 kg de MS d'orge	1,13	$0,87 \times 1,13 = 0,98$	94	$0,87 \times 94 = 82$	-23	$0,87 \times (-23) = -20$
1,76 kg de MS de tourteau de soja	1,13	$1,76 \times 1,13 = 1,99$	261	$1,76 \times 261 = 459$	195	$1,76 \times 195 = 343$
TOTAL		15,96		1494		760

expressions des besoins et des apports

Nous pouvons à présent comparer les apports de la ration avec les besoins de la vache et répondre à la question 2.

Les besoins en énergie de cette vache sont de 16,89 KVEM et ses besoins en DVE sont de 1422 g.

Paramètres de la ration	Besoins de la vache	Apports de la ration	Différence
KVEM	16,89	15,96	-0,93
DVE (g)	1422	1494	+ 72
OEB (g) = 760			



expressions des besoins et des apports

Nous pouvons donc conclure que :

- les besoins en KVEM de la vache ne sont pas satisfaits, puisqu'il manque 0,93 KVEM. Elle risque donc de maigrir ou de ne pas produire ses 25 L de lait ;
- les besoins en DVE de la vache sont apparemment satisfaits – il existe même un léger excès de 72 g de DVE. Mais ce DVE est-il réel ? Pour répondre à cette question, regardons la valeur de l'OEB : 760. L'OEB de la ration étant positif, les protéines exprimées par le DVE sont réelles. Par conséquent, les besoins de la vache en protéines sont effectivement satisfaits. Les protéines nécessaires pour produire 25 L de lait sont donc bel et bien présentes. L'OEB étant cependant très élevé, il existe un excès important d'N au niveau du rumen, qui aura un impact sur la santé de la vache et sur l'environnement.

En conclusion, la ration n'est pas assez riche en énergie pour le niveau de production de la vache et est trop riche en N fermentescible, ce qui va occasionner, pour l'animal, un excès d'urée. Cet excès aura un impact sur la santé de la vache et sur l'environnement, et représente une perte économique pour l'éleveur, d'une part *via* la perte de

production et les frais vétérinaires éventuels liés à l'état de santé de l'animal, et d'autre part, *via* la non valorisation de l'N incorporé dans la ration.

Enfin, répondons à la question 3 : puisque cette ration n'est pas optimale, voyons comment nous pouvons procéder pour l'améliorer.

Nous sommes face à une ration présentant les déséquilibres suivants :

- Carence modérée en KVEM
- Léger excès de DVE
- Large excès d'OEB

Vu la nécessité d'utiliser et de valoriser les fourrages disponibles dans l'exploitation, nous allons plutôt modifier la nature et les quantités des concentrés distribués. Actuellement, la vache reçoit 1 kg d'orge (1,13 KVEM/kg MS ; 94 g DVE/kg MS ; OEB = -23) et 2 kg de tourteau de soja (1,13 KVEM/kg MS ; 261 g DVE/kg MS ; OEB = 195).

Le tourteau de soja étant riche en DVE et présentant une valeur d'OEB très élevée, il est le principal responsable des déséquilibres rencontrés. Nous allons donc établir une ration sans tourteau de soja. Voyons les apports réalisés si nous supprimons le tourteau de soja, et comparons-les aux besoins :

RATION	Apports en KVEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
9 kg de MS d'ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité	7,29	639	585
6,4 kg de MS d'ensilage de maïs	5,70	314	-147
0,87 kg de MS d'orge	0,98	82	-20
TOTAL	13,97	1035	418

expressions des besoins et des apports

Paramètres de la ration	Besoins de la vache	Apports de la ration	Différence
KVEM	16,89	13,97	-2,92
DVE (g)	1422	1035	- 387
OEB (g) = 418			

Sans tourteau de soja, la ration est déficitaire en KVEM et en DVE. L'OEB est toujours en excès, mais cet excès est moindre. Nous devons donc compléter la ration à l'aide d'un aliment, qui, idéalement, sera riche en KVEM, moyennement riche en DVE et aura un OEB négatif. Les pulpes séchées ont des caractéristiques nutri-

tionnelles semblables. Ajoutons-les à la ration, à raison de 3,5 kg.
Les pulpes séchées ayant une teneur en MS de 90,2 %, ceci correspond à un apport de 3,2 kg de MS de pulpes séchées. Quels sont les apports en KVEM, DVE et OEB des pulpes séchées ?

Pulpes séchées	Teneur en KVEM /kg MS	Apports en KVEM	Teneur en DVE g/kg MS	Apports en DVE (g)	Teneur en OEB g/kg MS	Apports en OEB (g)
3,2 kg de MS de pulpes séchées	0,96	3,2 x 0,96 = 3,07	111	3,2 x 111 = 355	-67	3,2 x (-67) = -214

Calculons à présent les apports en KVEM et DVE de la ration complète corrigée, et voyons quel est son OEB :

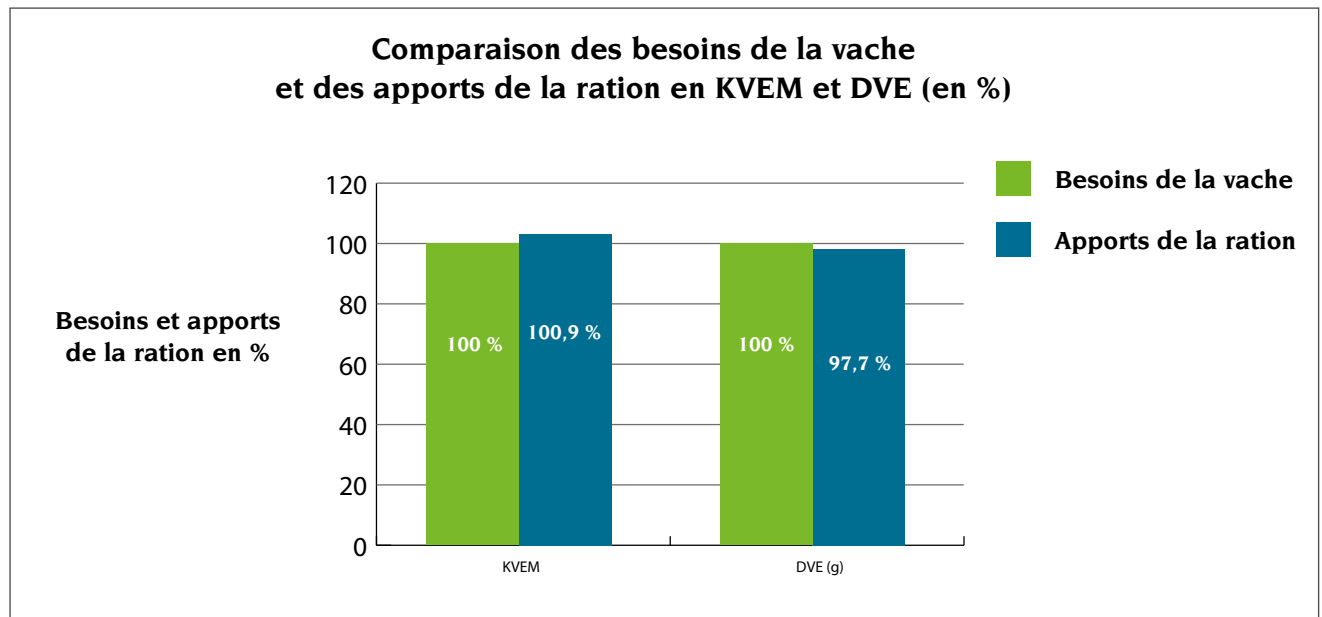
RATION CORRIGEE	Apports en KVEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
9 kg de MS d'ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité	7,29	639	585
6,4 kg de MS d'ensilage de maïs	5,70	314	-147
0,87 kg de MS d'orge	0,98	82	-20
3,2 kg de MS de pulpes séchées	3,07	355	-214
TOTAL	17,04	1390	204

expressions des besoins et des apports

Comparons enfin ces apports aux besoins de la vache :

Paramètres de la ration	Besoins de la vache	Apports de la ration	Différence
KVEM	16,89	17,04	+ 0,15
DVE (g)	1422	1390	- 32
OEB (g) = 418			

74



Oui, car :

- les besoins en KVEM de la vache sont satisfaits, il existe un très léger excès de 0,15 KVEM,
- les besoins en DVE de la vache sont quasiment satisfaits – il subsiste un très léger déficit de 32 g de DVE,
- l'OEB de la ration est égal à 204, soit une valeur proche de la limite maximale souhaitable qui est de 200.

En bref

La capacité d'ingestion d'une vache correspond à la quantité d'aliments distribués à volonté qu'elle ingère volontairement. Elle varie beaucoup entre le début de lactation et la fin de celle-ci, et il en va de même pour les besoins énergétiques. En début de lactation, les besoins énergétiques sont très élevés, alors que la capacité d'ingestion est réduite. Les besoins de la vache ne sont donc pas couverts et l'animal doit puiser dans ses réserves corporelles afin de combler le déficit énergétique. Les quantités d'aliments réellement ingérés par une vache laitière dépendent d'abord de sa capacité d'ingestion. Mais d'autres facteurs influencent le niveau d'ingestion réel : les caractéristiques de la ration distribuée (quantité, qualité et valeur d'encombrement des fourrages) et la stratégie de distribution de la ration (distribution restreinte ou à volonté, facilité d'accès des vaches à la ration). L'ingestion réelle s'exprime toujours en kg de MS/jour. Si la capacité d'ingestion permet de prévoir la ration, la mesure de l'ingestion réelle permet quant à elle d'évaluer les quantités réellement ingérées et d'ajuster si nécessaire les quantités distribuées.

En Wallonie, pour le secteur des productions laitières, on utilise un système hollandais d'unité énergétique : le KVEM.

Les apports et les besoins en matières azotées sont eux aussi exprimés selon un système hollandais, appelé le *système DVE/OEB*.

- Les DVE désignent les protéines digestibles dans l'intestin.
- $DVE = \text{protéines alimentaires non dégradées} + \text{protéines microbiennes} - \text{protéines endogènes}$
- Ce système d'unité prend en compte les protéines microbiennes qui peuvent être théoriquement formées à partir de l'énergie fermentescible. La valeur DVE suppose donc qu'il y ait suffisamment d'N fermentescible, une situation qui n'est évidemment pas toujours rencontrée dans le rumen de la vache. Il peut donc arriver que la valeur DVE soit en partie constituée par des protéines « virtuelles », s'il existe dans le rumen un excès d'énergie par rapport à l'N fermentescible.

expressions des besoins et des apports

- L'OEB constitue quant à lui le *bilan des protéines dégradables* dans le rumen.
- OEB = protéines microbiennes permises par l'N – protéines microbiennes permises par l'énergie
- Dans une ration correctement formulée, les apports en DVE correspondent aux besoins en DVE de la vache. Une fois cet équilibre atteint, trois cas de figure sont possibles :

1. L'OEB de la ration est > 0 . Il existe alors un excès d'N fermentescible dans le rumen. Le DVE exprime alors une protéine vraie et les besoins de la vache en DVE sont donc réellement couverts par la ration. L'excès d'N, qui se présente sous la forme de NH_3 , est éliminé par les urines et le lait, après transformation en urée.

Un excès important d'N aura des impacts non négligeables sur la santé de la vache. En outre, vu que cet N n'a pas été valorisé par l'animal mais qu'il a néanmoins été incorporé dans la ration, ceci représente une perte économique pour l'éleveur.

On considère en général que chez la vache laitière, il est souhaitable de ne pas dépasser un OEB de + 200/jour dans une ration.

2. L'OEB de la ration est < 0 . Il existe un excès d'énergie fermentescible dans le rumen. Une partie du DVE est alors constituée de protéines virtuelles. Les besoins de la vache en DVE ne sont donc pas totalement couverts. Une telle situation doit toujours être évitée chez la vache laitière.

3. L'OEB de la ration est $= 0$. Il y a alors autant d'énergie que d'N fermentescible dans le rumen. Le DVE est réel, les besoins de la vache sont donc couverts par la ration.

Les apports en minéraux des aliments sont exprimés en g/kg de MS d'aliment pour les macroéléments (Ca, P, K, Na, Cl, S et Mg) et en mg/kg de MS d'aliment ou en ppm pour les oligoéléments (Fe, Se, Zn, Cu, I, Co, Mn). Les apports en vitamines sont quant à eux exprimés en mg/kg de MS d'aliment ou en UI/kg de MS d'aliment.

Quant aux besoins, s'il s'agit de macroéléments ou de vitamines, ils sont exprimés en termes de besoins absolus, c'est-à-dire en g/jour (ou parfois en UI pour les vitamines), alors que s'il s'agit d'oligoéléments, ils sont exprimés en termes de besoins relatifs et font l'objet de recommandations à suivre quant à la teneur à atteindre dans la MS de la ration et sont exprimés en ppm ou en mg/kg de MS ingérée.

expressions des besoins et des apports

Les besoins en eau d'une vache laitière peuvent s'exprimer sur base des litres de lait produits. En moyenne, une vache laitière boit ainsi entre 3 et 4 l d'eau/L de lait collecté. Ces quantités peuvent varier selon le contenu en eau des aliments ingérés, la température extérieure, le gabarit et le statut physiologique de l'animal (génisse, vache en lactation, vache tarie gestante).

Tout animal effectue des dépenses pour son entretien et ses productions. On parle donc de besoins d'entretien et de besoins de production. Lors du calcul de rationnement, il convient de prendre en compte ces différents besoins. Ils sont calculés en utilisant des formules de calcul. Chez la vache laitière, schématiquement, on distingue deux cas de figure possibles: soit la vache est en lactation, soit elle est tarie et gestante.

Le rationnement consiste à couvrir les besoins de l'animal – besoins énergétiques, azotés, minéraux et vitaminiques – en maximisant la fraction fourragère.

D'un point de vue pratique, il convient d'ajuster au mieux les apports alimentaires aux besoins, en prenant une certaine marge de sécurité. Ces « *apports alimentaires recommandés* » sont donc supérieurs aux besoins. Le rationnement est la plupart du temps calculé pour un lot d'animaux ou un troupeau, au sein duquel il existe une certaine hétérogénéité des performances. Les besoins sont donc calculés pour une performance moyenne au sein du lot d'animaux ou du troupeau.

PARTIE V: les aliments et leur utilisation en production laitière

78

L'aliment le plus adapté et le plus économique pour nourrir des bovins est l'herbe pâturée. Ces dernières décennies, le pâturage a cependant été souvent peu encouragé, au profit de systèmes d'exploitation à haut niveau d'intrants (fertilisation, concentrés...). Cette évolution a été favorisée d'une part par la simplicité d'utilisation de l'ensilage de maïs, et d'autre part par l'incapacité du pâturage à maximiser les performances individuelles des vaches laitières. Et pourtant, aujourd'hui, nous sommes amenés à repenser notre système de production et à reconsidérer l'intérêt du pâturage. Tout d'abord, le coût des matières premières, et notamment des protéines végétales, ne cessant d'augmenter, les éleveurs essaient de s'orienter de plus en plus vers une autonomie alimentaire. Le pâturage, s'il est réalisé en suivant certaines lignes directrices, peut les y aider. D'autre part, les éleveurs sont de plus en plus sollicités par rapport aux conséquences environnementales de leurs activités. Le pâturage répond partiellement à cette problématique: les surfaces enherbées fournissent en effet des biens et services à la collectivité, en termes de stockage de carbone, de qualité des eaux, de qualité paysagère et de maintien de la biodiversité. Le pâ-

turage, et d'une façon plus générale l'utilisation de l'herbe et de ses dérivés, se présente ainsi comme un système de production plus durable. Par conséquent, nous insisterons tout au long de ce livret sur l'intérêt, en production laitière, de l'utilisation de l'herbe et de ses dérivés. Retenons déjà ce chiffre interpellant: dans les régions tempérées, l'herbe consommée par les vaches laitières au pâturage permet à elle seule une production journalière de 20 kg de lait/vache. Pour les animaux à potentiel de production élevé, un apport d'aliments concentrés permettra d'encore accroître la production.

Dans cette partie, nous allons nous pencher sur les caractéristiques des différents aliments utilisés en production laitière, en commençant par l'herbe. Nous évoquerons ensuite les différents ensilages utilisés en rations laitières (herbe, maïs, pulpes surpressées, céréales immatures), les fourrages secs et les racines et tubercules et leurs dérivés. Nous aborderons également les caractéristiques des aliments concentrés, tels que les céréales, les graines de protéagineux et d'oléagineux et leurs co-produits, les tourteaux. Ensuite, nous décrirons une 3^e catégorie d'aliments, les mélanges minéraux.

les aliments et leur utilisation en production laitière

V.1 Les fourrages

On distingue classiquement trois catégories de fourrages, sur la base de leur mode de conservation et de leur teneur en MS: les fourrages verts, les ensilages et les fourrages secs. Une 4^e catégorie d'aliments peut être assimilée aux fourrages: il s'agit des racines et tubercules et de leurs dérivés.

V.1.1 Les fourrages verts

Les fourrages verts comprennent les herbes. Dans nos régions, l'herbe pâturée est un fourrage de valeur nutritionnelle élevée, peu coûteux à produire, et qui peut constituer, comme nous allons le voir, le seul aliment de la ration de la vache laitière.

Composition chimique, valeur nutritionnelle et qualité de l'herbe

La qualité de l'herbe est variable. De nombreux facteurs influencent celle-ci. Citons notamment le stade de végétation (l'âge de l'herbe), la composition botanique de la prairie, la saison (le cycle de végétation), mais aussi le sol et le climat, et la fertilisation. Penchons-nous plus spécifiquement sur la composition botanique, sur le stade et le cycle de végétation.

Composition botanique de la prairie et qualité de l'herbe.

La flore des prairies cultivées par l'homme se compose en général d'un mélange de graminées (ray-grass anglais, fléole, dactyle, fétuque des prés, pâturins...), de légumineuses (trèfle blanc, trèfle violet) et de plantes diverses (pissenlits, renoncules...) (figure 2).

Figure 2: Prairie riche en légumineuses



©Fourrages Mieux ASBL

les aliments et leur utilisation en production laitière

80

D'une manière générale, les légumineuses contiennent plus de protéines et de minéraux (particulièrement du calcium et du manganèse) que les graminées. Les légumineuses permettent également l'alimentation azotée de la végétation. Certains micro-organismes qui se fixent sur leurs racines sont en effet capables de transformer l'azote atmosphérique en azote ammoniacal, permettant un enrichissement du sol en azote qui profite à l'ensemble de l'écosystème prairial, dont les graminées. Une prairie associant légumineuses et graminées nécessitera donc moins d'engrais azoté qu'une prairie de graminées pures¹⁵. Ces caractéristiques rendent les légumineuses relativement attractives. En effet, vu l'augmentation constante des coûts des intrants, l'autonomie alimentaire est de plus en plus envisagée par les éleveurs. Dans ce contexte, la production d'un fourrage mixte légumineuses/graminées permet de diminuer d'une part les achats de protéines végétales telles que le tourteau de soja, et d'autre part la quantité d'intrants azotés. La composition idéale de la prairie permanente devrait ainsi tendre vers un minimum de 10 à 20 % de légumineuses et de 75 % de graminées (avec un minimum de 50 % de bonnes graminées : ray-

grass anglais, fléole, dactyle, fétuque des prés et fétuque élevée) et un maximum de 15 % d'autres dicotylées (renoncles, pissenlits, plantains...).

Stade/cycle de végétation et qualité de l'herbe. Légumineuses et graminées présentent plusieurs cycles de croissance successifs. Le premier cycle désigne la pousse de printemps, c'est-à-dire le cycle par lequel la plante passe de l'état végétatif (feuille) à l'état reproducteur (épi). Ce premier cycle est en général incomplet puisqu'il est interrompu par la coupe, *via* le pâturage ou le fauchage. On distingue sept stades de végétation : la feuille, le tallage, la montaison, l'épiaison, la floraison, le stockage et la maturation (tableau 2). La durée entre le départ en végétation et le stade début épiaison est appelée soulesse d'exploitation. Plus elle sera longue, plus il sera possible d'exploiter une herbe feuillue et donc de faire pâturer la 1^{ère} pousse dans de bonnes conditions (ou plus le nombre de jours pour faucher au stade optimal sera grand), le but du pâturage étant la valorisation de la production de fourrage feuillu, il faut favoriser le stade végétatif (avant la montaison), ce qui peut être obtenu avec un pâturage précoce.

¹⁵ Pour plus d'informations, consulter Les Livrets de l'Agriculture, n°15, Fertilisation raisonnée des prairies

les aliments et leur utilisation en production laitière

Stade de végétation		Morphologie	Composition chimique	Utilisation
1	Feuille	Quelques feuilles Très court	MS faible (± 15 %) MAT +++ Peu de cellulose/hémicellulose Sucres solubles +++	Idéal pour effectuer un pâturage court
2	Tallage	5-6 feuilles/racine Hauteur 10-15 cm	MAT +++ Cellulose, hémicellulose + Sucres solubles +++	Stade de pâturage idéal
3	Montaison	Apparition de tiges Hauteur 20-25 cm	MAT ++ Cellulose, hémicellulose +++ Sucres solubles ++	Ensilage
4	Epiaison	L'épi se dégage de la dernière feuille Stade de courte durée	MS ↑(± 17 %) MAT + Cellulose, hémicellulose +++	Foin
5	Floraison	Lignification de la tige	MS ↑(± 19 %) Cellulose↑↑↑ Minéraux et oligo-éléments ↓	Foin
6	Stockage	L'épi se charge de subs- tances de réserve dans la graine	MAT ↓↓↓	Refus
7	Maturation	Les graines mûrissent	Cellulose↑↑ Lignine ↑↑ MAT ±	Refus

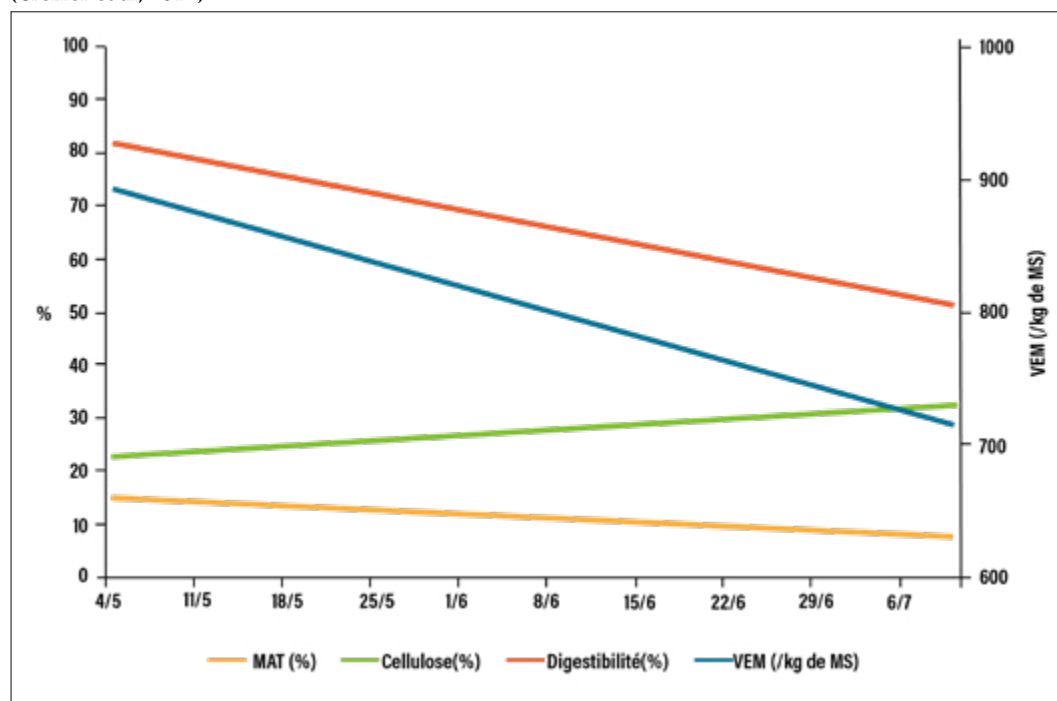
Tableau 2 : Caractéristiques de l'herbe selon le stade de végétation

les aliments et leur utilisation en production laitière

La date de coupe, ou plus précisément le stade de végétation au moment de la coupe, influence fortement la valeur alimentaire du fourrage (figure 3). Ainsi, en général, plus une plante est âgée, plus ses teneurs en MS et en fibres augmentent. En effet, plus la plante avance dans les différents stades de développement, plus les parois cellulaires s'épaississent, et donc plus les teneurs en cellulose et hémicellulose augmentent. Parallèlement, les parois s'imprègnent de

lignine, ce qui a pour effet de rendre la cellulose et l'hémicellulose moins accessibles aux fermentations du rumen, et donc de diminuer la digestibilité du fourrage. L'herbe contient également des sucres solubles, dont la teneur diminue avec l'âge de la plante. La teneur en MAT de l'herbe diminue quant à elle également avec le stade de développement, de même que la teneur en énergie (figure 3). Par conséquent, la valeur alimentaire de l'herbe diminue avec l'âge de la plante.

Figure 3 : Évolution des teneurs en MAT (%), cellulose (%), digestibilité (%) et énergie (VEM/kg de MS) dans les ensilages et les foins, en fonction de la date de récolte, pour l'année 2011, en province de Luxembourg (Crémer et al, 2012)



les aliments et leur utilisation en production laitière

Il est important de noter que, comparativement aux légumineuses, la valeur alimentaire des graminées chute plus rapidement après le stade idéal d'exploitation. Par conséquent, il faut retenir deux éléments: d'une part, une prairie riche en légumineuses sera plus souple d'exploitation qu'une prairie de graminées pure, et d'autre part, ce sera surtout le stade de développement de la (des) graminée(s) principale(s) qui déterminera le moment d'exploitation.

Enfin, précisons que chaque cycle de végétation induit une herbe de qualité différente. Chez les graminées, les espèces remontantes (ray-grass d'Italie, ray-grass anglais) donnent, lors des repousses, de nouveaux épis. À l'inverse, les espèces non remontantes (dactyle, fétuque élevée) ne donnent que des repousses feuillues. La date de 2^e coupe pour celles-ci n'est donc pas fonction d'un stade végétatif repère mais bien de l'appréciation du rendement désiré. Ceci améliore la qualité du fourrage, qu'il s'agisse de pâturage ou de fauche. Les feuilles subissant les effets du vieillissement, la qualité du fourrage sera déterminée par l'âge des repousses, mais aussi bien sûr par les conditions météorologiques.

Nous venons de voir les effets de la composition botanique de la prairie, du stade et du cycle de végétation sur la qualité de l'herbe. Voyons à

présent comment évolue la qualité de l'herbe si un pâturage tournant par parcellement est réalisé. Dans un système de pâturage tournant, où l'entrée dans la parcelle se produit systématiquement lorsque la hauteur d'herbe est d'environ 15 cm maximum à l'herbomètre (figure 4), on peut observer une modification de la composition chimique et de la qualité de l'herbe tout au long des saisons, qui n'a rien de semblable avec l'évolution observée au cours des différents stades de végétation: la teneur en sucres solubles diminue, tandis que celle en matières azotées totales (MAT) ne fait qu'augmenter (figure 5). L'OEB de l'herbe augmente quant à lui de façon considérable, passant d'une valeur légèrement négative à une valeur franchement positive, alors que le DVE augmente très légèrement (figure 6). Ce type de pâturage est assez répandu dans nos régions. L'éleveur qui le pratique devra donc tenir compte de ces modifications de composition chimique et de valeur nutritionnelle lors de l'établissement de la ration des animaux, tout particulièrement s'il opère une complémentation des vaches au pâturage à l'aide de concentrés riches en protéines. Dans ce contexte, nous insistons donc ici sur l'importance de réaliser régulièrement des analyses d'herbe.



Figure 4 : Herbomètre Jenquip®

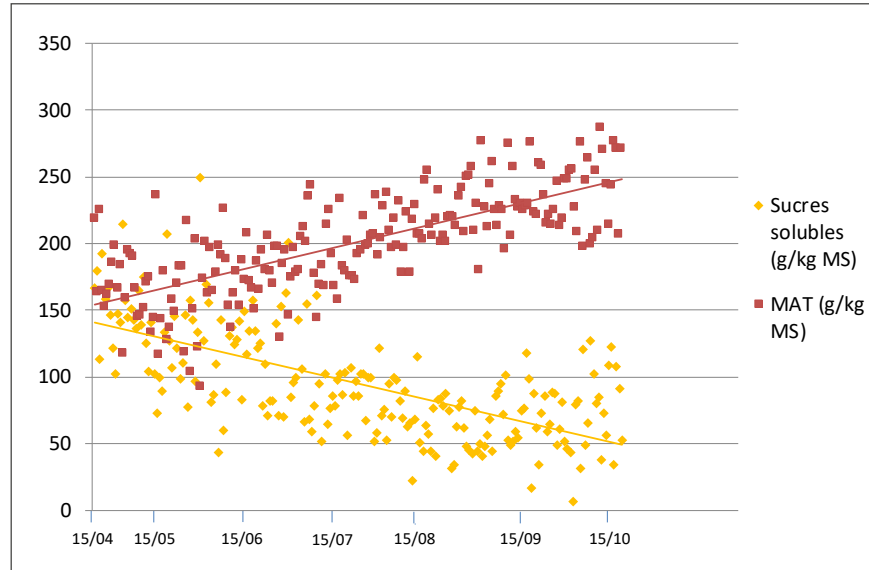


Figure 5 : Évolution des teneurs en sucres solubles (g/kg de MS) et en MAT (g/kg de MS) de l'herbe depuis mi-avril jusqu'à fin octobre, lors de pâturage tournant avec entrée dans la parcelle à 15 cm (résultats entre 1996 et 2007)

les aliments et leur utilisation en production laitière

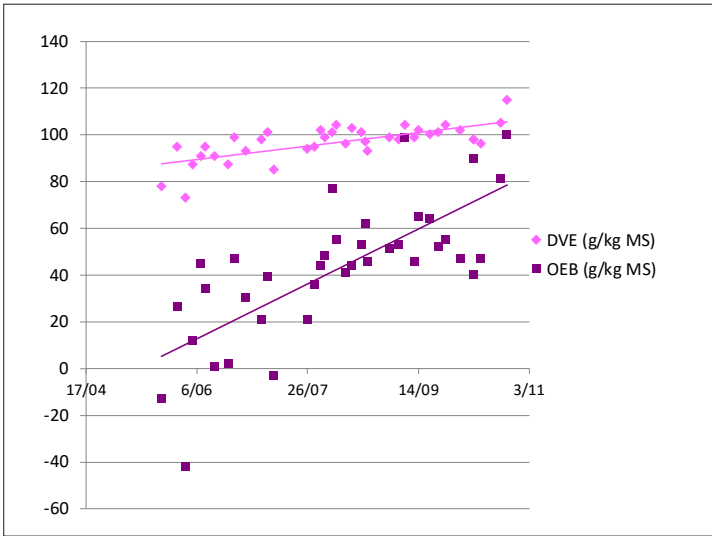


Figure 6 : Évolution du DVE (g/kg de MS) et de l'OEB (g/kg de MS) de l'herbe depuis mi-mai jusqu'à fin octobre 2011, lors de pâturage rotatif avec entrée dans la parcelle à 15 cm

Performances des vaches laitières au pâturage

Les performances des vaches laitières au pâturage sans complémentation sont élevées. Lorsque l'herbe est disponible en qualité et en quantité, le pâturage peut en effet permettre la production moyenne de 20 kg de lait/jour (de l'ordre de 25 kg

au printemps et 15 kg en arrière-saison). Pour atteindre cette production de 20 kg de lait uniquement avec le pâturage, la vache laitière doit ingérer entre 16 et 18 kg de MS d'une herbe qui doit présenter certaines caractéristiques, résumées dans le tableau ci-dessous.

Teneur en MS (%)	15 – 20
Teneur en énergie (VEM/kg de MS)	Au moins 850
Teneur en protéines (g de DVE/kg de MS)	Au moins 80
Teneur en minéraux (g/kg de MS)	Calcium : 7,1
	Phosphore : 4,0
	Magnésium : 2,0
	Sodium : 1,5
	Soufre : 1,5

les aliments et leur utilisation en production laitière

Dans ce contexte, et pour garantir des performances optimales tout au long de la saison de pâturage, il est primordial de respecter certaines règles de conduite du pâturage ; celles-ci concernent la mise à l’herbe, la fertilisation, la gestion du troupeau et du pâturage en général (tableau 4).

Tableau 4 : Règles d’or de la conduite des prairies permanentes pâturées (adapté de Decruyenaere et Belge, 2006)

①	Sortir les animaux le plus tôt possible, c’est-à-dire lorsque les conditions climatiques et surtout de portance du sol le permettent (peu importe la hauteur et la quantité d’herbe) en réalisant une transition alimentaire de deux à trois semaines idéalement
②	Dans les systèmes de pâturage tournant, faire entrer les animaux sur la nouvelle parcelle lorsque la hauteur d’herbe y est de 15 cm maximum ; dans les systèmes de pâturage continu, ne pas dépasser 15 % de refus
③	Effectuer un broutage ras (hauteur de sortie de l’ordre de 5 cm) pour garantir une production optimale
④	Raisonner la fertilisation azotée¹⁶
⑤	Ensiler le plus tôt possible les parcelles réservées à la fauche afin de hâter les repousses
⑥	Faucher les refus en fin de printemps si nécessaire
⑦	Éviter tout ce qui peut occasionner des vides dans le gazon et sursemer dès apparition de ceux-ci
⑧	Réaliser une gestion raisonnée du parasitisme des animaux

Moyennant le respect de ces règles simples, il est possible de disposer de prairies de qualité, permettant aux vaches laitières de développer des performances optimales. Notons que la production de 20 kg de lait/vache.jour permise par le pâturage seul constitue une production moyenne. Des écarts importants entre animaux d’un même troupeau peuvent en effet être observés. Les performances individuelles des vaches laitières au pâturage sans complémentation

¹⁶ Pour plus d’informations, consulter le site de Nitrawal (www.agreau.be)

dépendent en effet des performances observées à la mise à l'herbe, qui varient avec le stade de lactation de l'animal et son potentiel génétique. Précisément, au-delà d'une production de 15 kg de lait/jour, l'herbe seule permet de produire plus de 50 % de chaque kg de lait attendu supplémentaire. Concrètement, cela signifie qu'une vache laitière dont on attend 40 kg de lait/jour au pic de lactation est capable de produire quasiment 30 kg de lait/jour sans aucun apport de concentré.

Pour ces animaux à haut potentiel, la complémentation au pâturage à l'aide de concentrés est largement pratiquée, de même aussi que la complémentation à l'aide de fourrages. Mais comment les animaux répondent-ils à cette complémentation ?

L'effet de l'apport de fourrages.

Beaucoup d'éleveurs maintiennent un apport de fourrages complémentaires aux vaches laitières au pâturage, même lorsque la surface disponible par animal est suffisante. Il faut savoir que l'apport de fourrages complémentaires entraîne une diminution importante des ingestions d'herbe, les fourrages se substituant à l'herbe. Cet apport peut ainsi compromettre la valorisation de l'herbe produite, en créant des situations incontrôlables : refus abondants, herbe trop haute... À moyen terme, il existe donc un risque de dégradation de la qualité de

la prairie, qui, ce faisant, pousserait l'éleveur à accentuer la complémentation, ce qui aurait pour effet d'aggraver encore le problème. Par ailleurs, cela a peu d'effet sur la production laitière. Des études ont montré qu'un apport de foin au pâturage – souvent recommandé pour ralentir le transit des herbes – ne permettait pas d'influencer la production laitière ou la teneur en MS des bouses. L'intérêt d'un apport de fourrages complémentaires dépend donc des conditions de pâturage : lorsque la disponibilité en herbe est garantie, comme cela est souvent le cas au printemps, l'apport de fourrages complémentaires (foin, ensilage d'herbe ou de maïs...) a un intérêt quasiment nul.

À l'inverse, lors de pénuries d'herbe et en fin de saison, une complémentation à l'aide de fourrages conservés peut s'avérer pertinente. D'une part car elle permet de maintenir la production laitière à son niveau optimal, et d'autre part, car elle offre la possibilité de recréer des stocks d'herbe pour les périodes de pâturage suivantes. Le choix se portera alors sur un fourrage riche en énergie mais pauvre en matières azotées.

L'effet de l'apport de concentré.

La distribution d'un aliment concentré entraîne dans la plupart des cas une réduction des quantités d'herbe ingérées, avec cependant une augmentation de la quantité totale ingérée. En d'autres termes, le concentré se substitue

partiellement à l'herbe. Par conséquent, l'administration d'un concentré diminue la valorisation des surfaces enherbées, tout en représentant un coût certain pour l'éleveur.

Outre le fait que l'administration d'un concentré au pâturage conduit toujours à une moins bonne ingestion de l'herbe, l'efficacité du concentré est extrêmement variable. Dans notre région, chez des vaches ne recevant pas d'autre fourrage que l'herbe pâturée et produisant 20 kg de lait/jour, elle est en moyenne de 1 kg de concentré équilibré pour 1,5 litre de lait. Mais cette moyenne cache en réalité des valeurs allant de 0 à 3,5 litres de lait. Parmi les facteurs qui influencent l'efficacité du concentré, citons le stade de lactation et la saison. L'efficacité du concentré est ainsi élevée chez les vaches en début de lactation (1 kg de concentré pour 3,5 litres de lait chez les animaux à moins de 100 jours en lactation), mais quasi nulle chez les vaches à plus de 200 jours en lactation. Par ailleurs, la saison, et donc les conditions climatiques, influence aussi fortement l'efficacité du concentré, *via* ses effets sur la croissance, la valeur nutritionnelle et l'appétabilité de l'herbe. Ainsi, en tout début de saison, au mois de mai, lorsque l'herbe est présente en quantité et en qualité suffisantes, l'efficacité du concentré est nulle, l'administration d'un concentré n'apportant aucune augmentation de la production laitière. Lorsque la saison avance et que les disponibilités en herbe ne sont plus garanties et/ou que la valeur

nutritionnelle de l'herbe chute, on note un effet du concentré sur la production laitière, de l'ordre de 1 kg de concentré pour 1,3 à 2,3 litres de lait.

Les données présentées ci-dessus nous permettent de conclure qu'un apport de concentré au pâturage, d'une part, n'est pas systématiquement suivi par une augmentation de la production laitière, et d'autre part, est une stratégie qui doit toujours être réfléchie et adaptée au contexte de l'exploitation.

Par ailleurs, lors d'apport d'un concentré au pâturage, une diminution du taux butyreux (TB) du lait est le plus souvent observée (de l'ordre de $-0,5$ g/kg pour chaque kg de MS de concentré), de même qu'une augmentation du TP du lait (de l'ordre de $+0,2$ g/kg pour chaque kg de MS de concentré). Enfin, notons aussi que la supplémentation au pâturage à l'aide d'un concentré a également pour effet d'augmenter le gain de poids vif ou la reprise d'état corporel tout au long de la saison de pâturage. L'énergie supplémentaire apportée par le concentré se répartit de façon à couvrir les besoins de production d'une part et les besoins d'entretien d'autre part.

La nature du concentré apporté au pâturage a-t-elle une influence sur les performances des animaux ?

- Pour des apports de concentré < 5 kg/jour, la nature de l'énergie présente dans le concentré (par exemple, orge *versus* pulpes de betteraves) a un impact très modéré sur les performances.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Avec des quantités de concentrés plus élevées (> 8 kg/jour), une diminution du TB du lait s'observe, d'autant plus importante que le concentré est riche en amidon.

- Du point de vue de la complémentation protéique, gardons à l'esprit que dans nos régions, de nombreuses prairies pâturées sont généralement des prairies fertilisées ou comportant des légumineuses. Par conséquent, la teneur en protéines de l'herbe est rarement le facteur limitant la production laitière. Dans ce cas de figure, lors d'introduction d'un concentré protéique, la quasi-totalité de l'azote supplémentaire ingéré n'est pas valorisée et est excrétée dans l'urine. En réalité, une complémentation à l'aide de concentrés protéiques au pâturage ne se justifie que dans des situations particulières, avec des prairies pauvres en MAT (< 130 g de MAT/kg de MS), comme par exemple des prairies de graminées peu/pas fertilisées. Retenons donc que dans la majorité des cas, une complémentation à base de céréales ou avec un concentré dont la teneur en MAT est < 140 g/kg de MS est tout aussi efficace, et que l'apport de concentrés protéiques ne se justifie que dans certaines circonstances bien précises.

Comment planifier la conduite au pâturage?

En pâturage tournant, la mesure des hauteurs d'herbe à l'entrée des animaux dans la parcelle et à la sortie permet à l'éleveur d'évaluer la dis-

ponibilité fourragère, et donc de mieux planifier la conduite du pâturage.

En exploitation, l'outil le plus adapté pour mesurer la hauteur d'herbe est l'herbomètre (figure 4). Afin d'évaluer la disponibilité fourragère, il faut également connaître la densité de l'herbe, c'est-à-dire la quantité d'herbe présente par hectare sur 1 cm de hauteur d'herbe compressée. On utilise en général le chiffre de 250 kg de MS/cm.ha. Celui-ci constitue une moyenne, des variations pouvant être observées avec le mois de pâturage, les espèces botaniques présentes, le climat, la région...

Prenons un exemple pour illustrer ceci.

Soit une parcelle de 5 ha, dont la hauteur d'herbe à l'entrée est de 15 cm, et la hauteur de sortie 5 cm. La hauteur pâturable est donc de 10 cm. Avec une densité de l'herbe de 250 kg de MS/cm.ha, le stock d'herbe présent est de $10 \text{ cm} \times 250 \text{ kg MS/cm.ha} \times 5 \text{ ha} = 12\,500 \text{ kg MS}$.

Avec 80 vaches consommant en moyenne 18 kg de MS/jour (= besoins en MS pour une vache de 650 kg produisant $\pm 20 \text{ L}$), les besoins sont de $80 \times 18 \text{ kg} = 1\,440 \text{ kg}$.

L'éleveur dispose donc de $12\,500/1\,440$, soit \pm neuf jours de réserve d'herbe sur cette parcelle (hors croissance de l'herbe durant les neuf jours de pâturage).

les aliments et leur utilisation en production laitière

On peut également retenir le chiffre de 1 are/vache.jour. En effet, avec une entrée dans la parcelle à 11 cm et une sortie à 4 cm, la hauteur pâturable est de 7 cm. Le stock d'herbe présent est

donc de 7 cm x 250 kg MS/cm.ha = 1 750 kg MS/ha. Si on considère qu'une vache ingère en moyenne 18 kg de MS/jour, on peut mettre $1\,750/18 \approx 100$ vaches/ha.jour, soit 1 are/vache.jour.

Et le pâturage court?

Le pâturage court est une technique qui vise à maintenir continuellement la hauteur d'herbe entre 5 et 7 cm. Il s'agit donc d'un pâturage continu intensif sur prairie permanente, qui consiste à laisser le troupeau pâturer en permanence l'ensemble de la prairie. Dans ce système, la charge en bétail est élevée (minimum 4 vaches/ha) et les apports en azote relativement importants. Ainsi, la charge est adaptée régulièrement en fonction de la production d'herbe (6 à 8 animaux/ha au printemps, 4 à 5 en été), le contrôle s'opérant via l'observation des refus.

V.1.2 Les ensilages

L'ensilage est un système de conservation des fourrages par fermentation anaérobie¹ dans un silo: des bactéries transforment les sucres solubles en acides organiques (principalement de l'acide lactique et de l'acide acétique) qui font chuter le pH dans l'ensilage. Celui-ci devient alors stable. Les sucres solubles étant consommés par les bactéries, un ensilage se caractérise par une teneur en sucres solubles quasi nulle. Les principaux aliments ensilables sont l'herbe, le maïs plante entière (ou grain humide), les dérivés de betteraves (principalement pulpes

humides et pulpes surpressées) et les céréales immatures. On rencontre également parfois de l'ensilage de protéagineux, et plus précisément de l'ensilage de pois plante entière.

L'ensilage est réalisé soit dans différents types de silos: les silos horizontaux (silo taupinière et silo tranchée) et le silo tour, ou soit par enrubannage de balle ronde ou carrée. Remarquons que le type de silo utilisé par l'exploitant peut avoir un impact sur la qualité de son ensilage (tableau 5).

¹ Fermentation en l'absence d'oxygène

les aliments et leur utilisation en production laitière

	Impacts potentiels
Silo taupinière	Terre souvent introduite par les roues du tracteur Difficultés de tasser le fourrage sur les côtés
Silo tranchée	Offre de meilleures possibilités de tassement du fourrage Tassement régulier et consciencieux nécessaire pour obtenir un ensilage de bonne qualité Si silo rempli en plusieurs fois, différentes qualités superposées → les animaux en self-service peuvent faire leur choix
Balle ronde ou carrée enrubannée	Bonne qualité Fermentations variables entre les différentes balles Fragile → difficultés de garder les ballots hermétiques (rongeurs)

Indépendamment des analyses qui peuvent être effectuées sur les ensilages par les laboratoires, il est possible d'évaluer la qualité de son ensilage en l'examinant à l'œil nu. Différents éléments doivent ainsi être examinés: l'odeur, la couleur, la structure, l'hygiène et la température (tableau 6).

Tableau 6 : Critères d'évaluation sensorielle de la qualité d'un ensilage par l'éleveur

	Ensilage de bonne qualité	Ensilage de mauvaise qualité
Odeur	Agréable (acidulée, aromatique)	Désagréable, odeur d'acide butyrique, d'ammoniaque, odeur de renfermé ou de moisi
Couleur	Similaire au fourrage initial, légèrement plus brunâtre	Différente du fourrage initial, jaunâtre
Structure identique au fourrage ensilé	Oui	Non
Hygiène	Propre et exempt de moisissures	Souillé, moisi
Température	Pas d'échauffement	Échauffement dans le silo et l'aire de chargement

L'ensilage d'herbe

L'ensilage d'herbe préfané consiste à éparpiller l'herbe et à la laisser séjourner sur le sol durant une période limitée pendant laquelle elle sèche partiellement. L'herbe préfanée est ensuite mise en andain, puis récoltée afin de réaliser le silo. Une fois le silo réalisé, les fermentations démarrent rapidement, et il faut compter une période de quatre à six semaines pour avoir une stabilisation. La production totale sur l'année varie en général entre 10 et 15 T de MS/ha.

Les facteurs de variation de la qualité de l'ensilage sont identiques à ceux de l'herbe, à savoir la composition botanique de la prairie, le cycle et le stade de végétation (cf. *supra*). Un autre facteur spécifique doit être cité : l'intensité du préfanage. Le préfanage influence de façon très importante la teneur en MS de l'ensilage, qui peut passer de 30 % pour un ensilage faiblement préfané à 60 % pour un ensilage très

préfané. Le préfanage n'influence par contre pratiquement pas ni la composition chimique, ni la valeur nutritionnelle de l'ensilage d'herbe. Ainsi, les teneurs dans la MS en MAT, en cellulose, en DVE et en énergie, par exemple, ne sont pratiquement pas modifiées par l'intensité du préfanage.

Dans ce contexte, il est aisé de comprendre qu'il est toujours souhaitable de réaliser une analyse de son ensilage d'herbe pour le calcul des rations, puisque des variations de la teneur en MS ont des répercussions importantes sur les apports de nutriments dans la ration. Prenons un exemple pour illustrer ce dernier point, soit une vache laitière de 650 kg qui reçoit 25 kg d'ensilage d'herbe/jour. Selon l'intensité du préfanage réalisé, les apports en MS et en nutriments seront très différents, de même donc que la production laitière qui sera permise (tableau 7).

les aliments et leur utilisation en production laitière

Tableau 7 : Comparaison des apports en MS, MAT, cellulose, DVE et énergie et de la production laitière permise par 25 kg d'ensilage d'herbe très préfané (60 % MS) et 25 kg d'ensilage d'herbe peu préfané (30 % MS) chez une vache laitière de 650 kg

	Ensilage d'herbe très préfané		Ensilage d'herbe peu préfané	
	Teneurs	Apports	Teneurs	Apports
MS	60 %	25 x 0,6 = 15 kg	30 %	25 x 0,3 = 7,5 kg
MAT	185 g/kg MS	15 x 185 = 2 775 g	185 g/kg MS	7,5 x 185 = 1 388 g
DVE	70 g/kg MS	15 x 70 = 1 050 g	70 g/kg MS	7,5 x 70 = 525 g
Cellulose	252 g/kg MS	15 x 252 = 3 780 g	252 g/kg MS	7,5 x 252 = 1 890 g
Énergie	905 VEM/kg MS	15 x 905 = 13 575 VEM	905 VEM/kg MS	7,5 x 905 = 6 788 VEM
Production laitière permise	± 18,5 litres*		± 3 litres	
	*Production laitière permise par l'énergie présente. Même si les apports en énergie sont 2 x plus élevés avec l'ensilage d'herbe très préfané (13 575 VEM) par rapport à l'ensilage d'herbe peu préfané (6 788 VEM), la production laitière permise, elle, n'est pas 2 x plus élevée, mais bien ± 6 x plus élevée. C'est tout à fait logique, puisque l'énergie apportée sert d'abord à couvrir les besoins d'entretien de l'animal (5 458 VEM), seul le surplus permet d'assurer la production laitière.			

L'analyse de l'ensilage se justifie également en raison des facteurs de variation évoqués précédemment. La qualité de l'herbe modifie en effet de manière très importante la composition chimique et les valeurs nutritionnelles. La

complémentation à faire chez une vache laitière nourrie avec un ensilage d'excellente qualité n'est ainsi pas la même que celle qui se fera à partir d'un ensilage de mauvaise qualité. Un ensilage d'excellente qualité sera ainsi riche en

les aliments et leur utilisation en production laitière

MAT et pauvre en fibres, et caractérisé par des teneurs en DVE et en énergie élevées. À l'inverse, un ensilage de mauvaise qualité sera faible en MAT et riche en fibres, et pourvu de teneurs en DVE et en énergie faibles. Reprenons notre exemple pour illustrer ceci: une vache laitière de 650 kg qui reçoit 25 kg d'ensilage d'herbe/

jour. Partons du principe que l'intensité du préfanage était identique pour les deux ensilages, et qu'ils ont la même teneur en MS. Selon la qualité de l'ensilage d'herbe, les apports en nutriments seront très différents, de même que la production laitière qui serait permise (tableau 8).

Tableau 8 : Comparaison des apports en MS, MAT, DVE, cellulose et énergie et de la production laitière permise par 25 kg d'ensilage d'herbe préfané d'excellente qualité et 25 kg d'ensilage d'herbe préfané de mauvaise qualité chez une vache laitière de 650 kg

	Ensilage d'herbe préfané d'excellente qualité		Ensilage d'herbe préfané de mauvaise qualité	
	Teneurs	Apports	Teneurs	Apports
MS MAT	45 %	25 x 0,45 = 11,25 kg	45 %	25 x 0,45 = 11,25 kg
	223 g/kg MS	11,25 x 223 = 2 509 g	159 g/kg MS	11,25 x 159 = 1 789 g
DVE Cellulose	84 g/kg MS	11,25 x 84 = 945 g	44 g/kg MS	11,25 x 44 = 495 g
	220 g/kg MS	11,25 x 220 = 2 475 g	300 g/kg MS	11,25 x 300 = 3 375 g
Énergie Production laitière permise	880 VEM/kg MS	11,25 x 880 = 9 900 VEM	630 VEM/kg MS	11,25 x 630 = 7 088 VEM
	± 10,1 litres*		± 3,7 litres*	
	*Production laitière permise par l'énergie présente			

Lorsqu'il est le seul fourrage de la ration, l'ensilage d'herbe peut être incorporé à raison d'environ 3 kg de MS/100 kg de poids vif. Une vache de 650 kg peut donc théoriquement recevoir 20 kg de MS d'ensilage d'herbe. Chez une vache laitière à haut niveau, il est impératif de distribuer un ensilage d'herbe de composition et de

conservation excellentes. Par contre, ce type d'ensilage sera distribué en quantités limitées chez une vache gestante tarie, car il induit des excès de matières azotées et d'énergie, entraînant des pathologies au vêlage. Dans ce cas de figure, un foin de première coupe sera préféré.

Règles d'or pour réussir son ensilage d'herbe

- ① Date de coupe optimale: stade début épiaison des graminées
- ② Hauteur de coupe: 5-7 cm
- ③ Réaliser un préfanage: teneur en MS idéale entre 30 et 40 %
- ④ Longueur des brins: 2 à 5 cm
- ⑤ Mise en tas dans le silo: par couche de 30 cm
- ⑥ Tassage méticuleux de chaque couche
- ⑦ Ajout de conservateurs si nécessaire
- ⑧ Couverture du silo immédiate après le tassement final
- ⑨ Fermeture du silo pendant un temps assez long (minimum six semaines)

L'ensilage de maïs

Le maïs est un aliment qui permet la production d'un fourrage énergétique au sein de l'exploitation. On le récolte soit sous forme de plante entière, d'épi broyé, ou de grain humide.

La culture du maïs se pratique partout en Wallonie, mais à faible échelle en Ardenne et Haute Ardenne, où les conditions climatiques sont rarement propices à l'obtention d'un maïs de qualité satisfaisante. Le temps de culture étant en effet limité (gelées tardives au printemps, empêchant un semis précoce, et gelées précoces en automne), il est très difficile d'obtenir une maturité suffisante dans la plante. Par ailleurs, en cas de gel, la teneur en MS peut apparaître suffisante (30 %), alors que les teneurs en amidon sont relativement faibles.

La culture du maïs et son utilisation comme fourrages présentent quelques spécificités:

- En termes de facilités d'utilisation, il faut rappeler que l'ensilage de maïs présente de nombreux atouts: la culture est aisée et nécessite peu d'interventions, la récolte s'effectue en une seule fois, les problèmes de conservation sont peu nombreux pour autant que le tassement du silo ait été bien réalisé, et la distribution est relativement aisée.
- D'un point de vue environnemental, la culture du maïs présente, si elle est mal conduite, des performances mitigées. Elle génère en effet un risque d'érosion des sols et de pollution des eaux. L'utilisation de produits phytosanitaires est en effet systématique avec le maïs, alors qu'elle est nettement moins fréquente en prairies. De plus, les produits utilisés sur prairies sont mieux retenus par le système sol-plante. Lorsque le sol est à nu

ou en présence d'un grand interligne, comme cela est le cas pour le maïs, les pesticides sont en effet sujets à un entraînement par les eaux de ruissellement et de percolation, entraînant un risque de pollution des eaux. Le maïs supporte des surfertilisations, avec, dans ce cas, des risques de pertes en azote plus élevées que sous les autres cultures fourragères. En effet, même si le maïs présente une efficacité élevée d'utilisation de l'azote, son alimentation azotée diminue fortement à partir de la floraison alors que la minéralisation de la matière organique est encore bien active. Cela peut conduire à des teneurs en nitrate élevées dans les sols en entrée d'hiver, augmentant de la même manière les risques de lessivage. Aussi, ce phénomène peut être accentué dans le cas de la monoculture par la courte durée d'occupation du sol.

La qualité de l'ensilage de maïs dépend de plu-

sieurs facteurs. Citons ainsi la variété de maïs utilisée et la densité de plants sur la parcelle. Une forte densité entraîne ainsi généralement une augmentation de la proportion de tiges et de feuilles, au détriment des carottes et des grains. Le stade de végétation au moment de la coupe a également un impact majeur sur la qualité du futur ensilage. Enfin, les différents types d'ensilage – plante entière, épi broyé ou grain humide – présentent des compositions chimiques et des caractéristiques nutritionnelles qui leur sont spécifiques, et qui affectent également la qualité de l'ensilage (tableau 9).

D'une façon générale, retenons que l'ensilage de maïs est un fourrage riche en énergie et pauvre dans tous les autres nutriments. Les teneurs en DVE sont ainsi assez faibles, et l'OEB est négatif. L'énergie est apportée d'une part par l'amidon présent dans les épis et d'autre part par la cellulose et l'hémicellulose, présentes dans les parois cellulaires.

Tableau 9 : Rendement, composition chimique et valeurs nutritionnelles de l'ensilage de maïs plante entière, épi broyé et grain humide (adapté de CIPF, 2010 ; CIPF, communication personnelle)

	Plante entière (coupe à hauteur normale)	Epi broyé	Grain humide
Rendement en MS (t/ha)	18*	12	10
MS (%)	35	55	62
Amidon (g/kg MS)	350	550	750
VEM (/kg MS)	949	1154	1272
DVE (g/kg MS)	46	66	82
OEB (g/kg MS)	-23	-41	-39
*De fortes variations existent cependant entre les régions			

les aliments et leur utilisation en production laitière

Ensilage de maïs plante entière.

Le stade pâteux (grains s'écrasant difficilement, rayables à l'ongle) constitue le stade de végétation privilégié pour réaliser un bon ensilage de maïs plante entière. Ceci correspond à une teneur en MS entre 30 et 35 %. A ce stade de récolte, on peut s'attendre à une bonne conservation du silo, un tassement du silo plus facile et des pertes modérées par écoulement de jus. Notons que la qualité de l'ensilage sera cependant conditionnée à un hachage correct des grains : si les grains ne sont pas broyés, ils échappent à la digestion du rumen, sont fermentés partiellement dans le gros intestin et ne profitent donc pas pleinement à l'animal.

L'ensilage de maïs plante entière est un aliment grossier humide dont l'utilisation est relativement courante dans les rations pour vaches laitières. Etant donné qu'il est déficitaire dans la majorité des nutriments, il s'utilise en général en complément d'une ration à base d'ensilage d'herbe. Dans tous les cas, la quantité maximale à administrer est de 5 à 5,5 kg d'aliment frais/100 kg de poids vif, soit 30 à 33 kg pour une vache de 600 kg. Chez la vache gestante tarie, il est préférable de ne pas distribuer plus de 15 kg, car cela risquerait d'induire un excès d'énergie et de conduire à un état d'embonpoint.

L'ensilage de maïs épi broyé.

Il s'agit ici de récolter la partie noble de la plante entière : rafles, grains et spathes. Le stade de ré-

colte optimal est atteint lorsque la teneur en MS de l'épi est de l'ordre de 55 à 65 %. Cette teneur permet en effet une bonne conservation du silo et un tassement aisé, et garantit un meilleur éclatement des grains. L'ensilage de maïs épi broyé présente une densité énergétique plus élevée que l'ensilage plante entière (tableau 9), puisque sa proportion d'amidon est plus importante. Il apporte par contre moins de structure dans la ration. Chez la vache laitière, on recommande des quantités allant de 2 à 12 kg.

L'ensilage de maïs grain humide.

Ce type d'ensilage est réalisé en ne récoltant que les grains, c'est-à-dire la partie noble de l'épi. Le stade idéal de récolte se situe entre 60 et 65 % de MS. La proportion d'amidon étant encore plus élevée que pour l'épi broyé, l'ensilage de maïs grain humide est un véritable concentré d'énergie (tableau 9). Parallèlement, il apporte encore moins de structure que l'épi broyé ensilé. Les quantités recommandées chez la vache laitière vont de 2 à 6 kg.

L'ensilage de maïs épi broyé et l'ensilage de maïs grain humide sont en général réservés aux animaux à niveau de production élevé, en raison de leur densité énergétique élevée. Ils permettent en outre une plus grande utilisation de l'herbe dans la ration, en raison de leur encombrement moindre. Les quantités à incorporer dans la ration doivent toutefois être limitées, en raison du risque accru d'acidose (cf. *infra*).

L'ensilage de pulpes humides et l'ensilage de pulpes surpressées

Ces deux types d'ensilage sont issus des co-produits récupérables de la sucrerie. L'extraction des sucres hors des cossettes de betteraves sucrières donne en effet d'un côté le jus riche en sucre, et de l'autre, les pulpes. Après une 1^{re} pression, on obtient des pulpes humides, qui peuvent éventuellement retourner en exploitation pour y être ensilées. Les pulpes humides peuvent également subir une 2^e pression, qui permettra d'obtenir des pulpes surpressées, qui peuvent elles aussi retourner en exploitation pour être ensilées (figure 7), ou subir une déshydratation qui permettra d'obtenir des pulpes séchées (cf. *infra*).



Figure 7 : Pulpes surpressées ensilées

Tableau 10 : Composition chimique et valeurs nutritionnelles de l'ensilage de pulpes humides et de l'ensilage de pulpes surpressées, en comparaison avec l'ensilage de maïs

	Ensilage de pulpes humides	Ensilage de pulpes surpressées	Ensilage de maïs plante entière
MS (%)	12	21	32
VEM (/kg MS)	920	1 010	890
DVE (g/kg MS)	101	100	49
OEB (g/kg MS)	-66	-65	-19
Calcium (g/kg MS)	8,4	8,9	2,4

les aliments et leur utilisation en production laitière

Les céréales immatures

Dans les régions agricoles froides où la culture du maïs est non rentable, ou bien en agriculture biologique, les céréales immatures représentent une opportunité intéressante.

Les céréales immatures ensilées, par la quantité de glucides que leur grain renferme, sont un complément énergétique adapté aux ensilages d'herbe, pouvant se substituer à l'ensilage de maïs dans les rations pour vaches laitières.

Il faut distinguer, en fonction du stade de récolte de la plante, d'une part la céréale fauchée en vert, et d'autre part la céréale immature à proprement parler, récoltée à 30-40 % de MS, au stade laitieux-pâteux. Dans ce dernier cas, les céréales sont ensilées avant maturité, avec une partie des tiges et du feuillage. La qualité de ce fourrage dépendra fortement du stade auquel il sera récolté :

- Pour une culture de céréales seules, le stade optimum de récolte se situe entre 30 et 40 % de MS, ce qui correspond à la fin du stade laitieux-début du stade pâteux, qui survient en général 30 à 40 jours après la floraison, soit 3 à 4 semaines avant la date de récolte du grain en sec. Les feuilles du bas de la céréale sont à ce stade desséchées.
- Pour un mélange céréales/pois fourragers (figure 8), le point de repère pour la date de récolte reste le stade laitieux-pâteux de la céréale. S'il y a plusieurs céréales, on observera le stade

de la céréale dominante. Étant donné que la floraison du pois est indéterminée, il y a au même moment des gousses à différents stades. Ce n'est donc pas un bon indicateur de stade de récolte.

- Pour une culture de pois protéagineux seuls, la récolte a lieu lorsque la majorité des gousses sont remplies et que les petits pois sont encore pâteux, c'est-à-dire une centaine de jours après le semis. L'incorporation des pois dans le fourrage est motivée par le souhait d'une part, d'obtenir un aliment plus riche en protéines, en amidon et une meilleure digestibilité, et d'autre part, de réduire la fertilisation azotée.

Figure 8 : Mélange de céréales et de pois fourragers



© Fourrages Mieux ASBL

À côté du stade de récolte et de l'espèce utilisée, la valeur nutritionnelle des céréales immatures ensilées dépend aussi de la fraction récoltée: épi versus épi et fraction végétative. Vu ces multiples facteurs de variation, il sera toujours souhaitable d'effectuer une analyse d'un

échantillon représentatif du silo. Le tableau 11 présente les principales caractéristiques nutritionnelles des céréales immatures ensilées, en comparaison avec celles de l'ensilage de maïs et de l'ensilage d'herbe.

Tableau 11 : Caractéristiques nutritionnelles des céréales immatures ensilées, de l'ensilage de maïs et de l'ensilage d'herbe (adapté de Stilman et al, 2005)

	Céréales immatures ensilées	Maïs ensilé	Herbe ensilée
VEM (/kg MS)	800 à 1 000	833 à 957	747 à 902
DVE (g/kg MS)	60 à 80	29 à 46	46 à 80
OEB (g/kg MS)	- 60 à - 30	- 28 à 9	8 à 98

Un des avantages de la culture de céréales immatures est son rendement relativement constant, garantissant une certaine sécurité alimentaire. Précisément, le rendement attendu se situe, pour des céréales de printemps, aux alentours de 8 T de MS/ha, alors qu'il est de 11 T de MS/ha pour les céréales d'hiver. La hauteur de coupe influence évidemment celui-ci.

Les systèmes auxquels s'adresse la culture de céréales immatures sont principalement des systèmes herbagers au sein desquels cette céréale, déficiente en protéines, se substituerait à de l'ensilage de maïs, souvent acheté à l'extérieur, en tant que ressource énergétique. La culture de céréales immatures peut également s'inscrire en agriculture biologique.

V.1.3 Les fourrages secs

Les fourrages secs comprennent les foin et les pailles. La luzerne, qui peut notamment être valorisée sous forme de foin, est également vue ici. Il s'agit d'aliments ayant en commun une teneur en MS élevée, supérieure ou égale à 85 %, riches en fibres, et issus de l'exploitation des herbes à des stades assez avancés, c'est-à-dire soit l'épiaison/floraison pour les foin, soit la maturation pour les pailles. Dans le cas de la production de foin, on utilise les tiges et feuilles des graminées et des légumineuses, tandis que la paille est le coproduit de la production des céréales.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Le foin

Le foin est un aliment résultant de la déshydratation des produits herbacés dont la teneur en eau passe de 80 à 15 %. Un bon foin se caractérise donc par une teneur en MS élevée, de l'ordre de 85 à 90 %.

La période de récolte du foin varie selon la localisation géographique: début juin pour le centre du pays et plutôt mi-juin en Ardenne, en raison de l'évolution plus tardive des stades de végétation. Quelle que soit la région concernée, la récolte doit impérativement s'effectuer par temps sec. La qualité d'un foin est variable. Les principaux facteurs de variation sont les mêmes que ceux de l'herbe. Citons ainsi, à côté des conditions climatiques lors de la récolte, le stade de récolte et la composition botanique de la prairie. Les foins de légumineuses (luzerne et trèfle) seront ainsi plus riches en MAT et en calcium que les foins de graminées. Vu la variabilité de la qualité du foin, une analyse en laboratoire est toujours une option intéressante. Il faut cependant savoir que l'obtention d'un échantillon représentatif de tout le foin est

une opération délicate. Dans tous les cas, retenir que la qualité du foin est souvent médiocre lorsqu'il est récolté tardivement ou dans de mauvaises conditions (pluie).

Du point de vue de la composition chimique et de la valeur nutritionnelle, le foin se caractérise par une teneur en MAT variable, plutôt élevée lorsqu'il s'agit d'un foin de légumineuses ou d'un foin de bonne qualité, mais néanmoins inférieure aux teneurs importantes que l'on peut observer dans l'ensilage d'herbe, et ce en raison du stade de récolte plus tardif. La teneur en énergie du foin est en général plus faible que celle de l'ensilage d'herbe, pour la même raison que celle évoquée pour les MAT. Il faut relever la présence de sucres solubles et de vitamine A, deux nutriments absents dans les ensilages d'herbe. Le tableau ci-dessous compare précisément ces teneurs pour un foin de bonne qualité, un ensilage d'herbe préfané de très bonne qualité et de l'herbe fraîche de 1^{er} cycle au stade tallage.

	Foin de prairie	Ensilage d'herbe préfané	Herbe 1 ^{er} cycle stade tallage
MS (%)	86	45	15,5
MAT (g/kg MS)	140	223	210
Sucres solubles	++	~ 0	++
Vitamine A (UI)	20 000	0	150 000
VEM (/kg MS)	760	880	980
DVE (g/kg MS)	72	84	100
OEB (g)	-8	71	41

Les foins sont des fourrages secs utilisés généralement chez des animaux à faibles besoins, tels que la vache gestante tarie. Utilisé seul, il est incorporé à raison de 1,5 à 2 kg de foin frais/100 kg

de poids vif. Il est cependant conseillé d'utiliser une quantité moindre, afin de permettre l'utilisation d'autres aliments qui apporteront une diversification de la ration.

Le séchage du foin en grange: principes de base et avantages

Le séchage en grange consiste en la récolte d'un fourrage préfané dont le séchage se poursuit en grange par ventilation d'air chaud.

D'un point de vue technique, de l'air chaud est pulsé via un ventilateur situé à la base d'une cellule de stockage. L'air circule donc de bas en haut à travers le tas de foin reposant sur un caillebotis en bois. Après deux à trois semaines, on obtiendra un fourrage complètement sec, fort appétent pour les animaux et présentant une très bonne qualité nutritionnelle. Il n'est pas nécessaire d'attendre que la 1^{re} couche soit sèche pour en ajouter une nouvelle. Aussi, les couches de foin s'empilent dans la cellule au fur et à mesure des récoltes, en couches successives de ± 1 m de hauteur.

Cette technique de récolte nécessite une organisation très différente du schéma classique, puisqu'elle est davantage axée sur de petites fauches en chantier individuel. Elle offre ainsi une grande souplesse dans la gestion des prairies, avec la possibilité de débrayer à tout moment une parcelle dont le stade de pâture serait trop avancé.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Le foin ventilé est un fourrage d'excellente qualité. D'une part, l'herbe est moins travaillée et moins abîmée par les engins de fanage que lors de la réalisation d'un foin séché au champ, et d'autre part, les pertes via les feuilles, surtout des légumineuses, sont réduites. Le foin produit est donc plus riche en protéines, ce qui permet une diminution des achats de protéines végétales par l'exploitant, et donc une augmentation de son autonomie alimentaire. Plus d'infos sur :

https://www.reseau-pwdr.be/sites/default/files/TRAME_carnet_sechagelaitdefoin_web.pdf

103

La paille

La paille est constituée par les tiges et les rafles des épis égrainés des céréales.

La valeur alimentaire de la paille est toujours faible, ce qui explique son utilisation comme litière ou comme aliment de lest. La paille se caractérise en effet par une teneur en fibres très élevée, avec un haut taux de lignification de la cellulose/hémicellulose, une teneur en sucres solubles et en protéines très faible, de même qu'une teneur en énergie faible. Cependant, la paille est un aliment qui présente un certain intérêt : elle stimule la mastication, la rumination et le broyage des papilles. Elle ralentit également les fermentations, ce qui permet de lutter contre l'acidose du rumen lors d'administration de rations très riches en glucides fermentescibles (cf. *infra*). Aussi, chez les animaux très performants, elle est parfois utilisée à raison de 1 à 2 kg de paille fraîche/jour dans une ration mélangée.

La luzerne

Appartenant au groupe des légumineuses, la luzerne est une plante fourragère semée soit en culture pure, on parle alors de luzernière, soit en association avec une graminée (dactyle, fétuque élevée). Une luzernière peut fournir trois à six coupes/an, la fenaison s'effectuant toutes les cinq semaines, et peut être maintenue en production pendant quatre à cinq ans. La luzerne assurant la fixation de l'azote atmosphérique, tout apport d'azote minéral ou organique est généralement inutile et sans effet sur le rendement ou la teneur en protéines de la plante. Précisément, il s'agit de la culture qui permet le meilleur rendement en protéines : là où un soja va produire 900 kg de protéines/an.ha, la luzerne produira jusqu'à 2 400 kg/an.ha.

La luzerne est valorisée soit sous forme de fourrage au sein de l'exploitation, soit sous forme de pellets déshydratés (on parle alors de luzerne déshydratée). Ce dernier mode d'exploitation sera vu lorsque nous aborderons les concentrés (cf. *infra*).

Au sein de l'exploitation, la luzerne est une légumineuse aux modes de récolte multiples : ensilage, enrubannage, foin et affouragement en vert. La récolte est cependant délicate à réussir, surtout s'il s'agit de foin, car il faut éviter la perte en feuilles. Il est dès lors préconisé d'associer la luzerne à une ou plusieurs graminées telles que le dactyle ou la fétuque élevée. La graminée diminuera en effet la perte de feuilles lors du fanage et apportera des sucres solubles (matière première des fermentations) qui permettront une meilleure conservation du fourrage sous forme d'ensilage. La luzerne est en effet difficile à conserver seule sous forme d'ensilage, car elle contient peu de sucres solubles et possède un pouvoir tampon relativement élevé.

La première coupe sera idéalement réalisée sous forme d'ensilage ou d'enrubannage, avec des teneurs en MS de respectivement minimum 35 et 50 %. Le stade idéal de la coupe est le stade bouton floral. Si l'on coupe plus tôt, le fourrage sera plus riche en protéines mais le rendement sera moindre. Lorsque la luzerne, ou le mélange à base de luzerne, est enrubanné, il faudra veiller à mettre six couches de plastiques pour éviter que les tiges ne le percent. Les 2^e et/ou 3^e coupes pourront, si le climat le permet, être récoltées en foin. Une coupe sous forme de foin/an permet également de laisser fleurir la luzerne, gage d'une plus grande pérennité. Une dernière coupe doit être réalisée en septembre ou octobre pour que le couvert me-

sure 8-10 cm de haut avant de passer l'hiver. La luzerne ne supportant pas le piétinement, le pâturage n'est pas conseillé sauf si les conditions de portance du sol sont excellentes. Elle sera pâturée préférentiellement dans un mélange afin de diminuer les risques de météorisation.

V.1.4 Les racines et tubercules, et leurs dérivés

Les racines et tubercules résultent de l'accumulation de réserves glucidiques dans les parties souterraines des végétaux : racines de betterave sucrière et fourragère, de chicorée, navet, carotte et manioc, et tubercules de pomme de terre et de topinambour.

Il s'agit d'aliments caractérisés par une teneur en eau très élevée (≥ 75 %) et des teneurs faibles en matières azotées et en fibres de type cellulose. Les betteraves présentent la particularité d'être cependant riches en fibres de type pectines. Les substances de réserve sont principalement l'amidon dans le cas de la pomme de terre et des sucres solubles dans le cas des betteraves, de la carotte, du navet, de la chicorée et du topinambour.

Ce sont des aliments savoureux, généralement très digestibles, qui présentent en outre l'avantage de rester frais très longtemps, pratiquement jusqu'à la fin de l'hiver, à condition d'être préservés du froid. Nous présentons ci-dessous un bref aperçu des aliments les plus fréquemment rencontrés.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Les betteraves et leurs dérivés

Il existe deux grands types de betteraves: la betterave sucrière et la betterave fourragère (figure 9). Entre ces deux grands types, il existe des betteraves demi-sucrières et des betteraves demi-fourragères. C'est d'abord le taux en MS de la betterave qui les distingue.

- Betteraves fourragères: < 12 % de MS
- Betteraves demi-fourragères: 12 à 16 % de MS
- Betteraves demi-sucrières: 16 à 24 % de MS
- Betteraves sucrières: > 24 % de MS

Mais c'est également la teneur en sucres solubles.

Les betteraves ont toutes des teneurs élevées en sucres solubles, mais les betteraves fourragères présentent des teneurs moindres que celles observées pour les betteraves sucrières (de l'ordre de 61 et 68 % de la MS, respectivement).

La culture des betteraves consiste à récolter les racines en fin de saison et à les envoyer en sucrerie (betteraves sucrières) ou à les stocker à la ferme (betteraves fourragères, demi-fourragères et demi-sucrières).

105

Figure 9: Betteraves fourragères



© Fourrages Mieux ASBL

Les betteraves fourragères se cultivent d’une manière générale comme les sucrières. Elles sont cependant moins exigeantes en termes de qualité de sol, de sorte qu’on peut les cultiver partout, y compris en Ardenne. Par rapport au maïs, il s’agit d’une culture demandant davantage d’attention, notamment au niveau du désherbage. La conservation des betteraves fourragères (quatre à cinq mois) est également plus délicate (elles peuvent geler et pourrir), et leur distribution aux vaches nécessite la mise en œuvre d’un matériel de hachage et de dis-

tribution. Tout comme le maïs, il s’agit d’une culture, en début de cycle, sensible au ruissellement érosif, qui nécessite de nombreux intrants chimiques, et qui donc, est susceptible d’entraîner une pollution des eaux. La betterave fourragère a par contre une forte capacité d’absorption de l’azote, qui se traduit par de faibles reliquats en fin de culture. L’entraînement de nitrates vers la nappe phréatique est donc limité. Le tableau ci-dessous récapitule précisément les principaux atouts et inconvénients de la culture des betteraves fourragères.

Tableau 13 : Atouts et inconvénients de la culture de la betterave fourragère (adapté de Fourrages-Mieux 2003)

Atouts	Inconvénients
Très grande productivité (80-100 T de racines/ha soit 15 à 20 T de MS/ha)	Technicité - désherbage
Sécurité de rendement, même lors de mauvaise année climatique	Sensible au ruissellement érosif
Adaptation à toutes les régions climatiques	Tare-terre
Mécanisation intégrale de la culture	Pierres
Stabilité de la qualité, non liée à un stade impératif de récolte	Stockage - distribution
Bonne valorisation des apports de fumures organiques tels que lisier et fumier → peu de résidus azotés après la récolte	Calcul de ration nécessaire (teneur en sucres solubles élevée)
Teneur énergétique élevée (1 056 VEM/kg MS)	
Aliment frais, très grande appétence	

les aliments et leur utilisation en production laitière

Les betteraves fourragères sont parfois hachées et mélangées en couches alternes dans un ensilage de maïs plante entière. Elles subissent alors une fermentation alcoolique permettant leur bonne conservation, du moins si l'état de propreté initial est optimal.

Du point de vue de la composition chimique et de la valeur nutritionnelle, retenons que les betteraves fourragères ont une teneur en MS faible, de l'ordre de 12 à 16 %, une teneur élevée en sucres solubles et une teneur élevée en énergie. Celle-ci peut toutefois être diminuée s'il y a contamination par de la terre ou des cailloux : la terre réduit en effet les ingestions et pénalise fortement les fermentations dans le rumen.

La betterave fourragère est un aliment intéressant chez la vache laitière : elle augmente la quantité de MS ingérable, à tel point que l'on considère que la quantité de MS ingérée sous forme de betteraves s'ajoute en plus de la MS ingérée classiquement – une propriété utile pour augmenter les apports chez les vaches laitières à haut niveau. On peut les distribuer en deux repas à raison de 4-5 kg de MS/jour au maximum, c'est-à-dire 30 kg de betteraves à 15 % de MS/jour. Au-delà, l'apport en sucres solubles devient trop important : ceci génère une production accrue d'acide butyrique dans le rumen qui est transformé en corps cétoniques lors du passage à travers la paroi du rumen, ce surplus de corps cétoniques engendrant un

risque d'acétonémie (cf. *infra*). Précisons également que lorsque le choix d'administrer des betteraves fourragères est posé, il est indispensable d'effectuer une transition alimentaire de minimum deux semaines. Enfin, en raison de leur teneur énergétique trop élevée et donc du risque potentiel d'engraissement, l'administration de betteraves fourragères est déconseillée aux vaches laitières tarées.

Les pommes de terre

Les pommes de terre et leurs co-produits issus de l'industrie agro-alimentaire (épluchures, frites, purée...) sont parfois utilisés dans les rations pour vaches laitières.

Via leur teneur énergétique élevée (de l'ordre de 1 160 VEM/kg de MS) et leur effet bénéfique sur l'ingestion, les pommes de terre sont comparables aux betteraves. Elles présentent une teneur en MS faible (entre 20 et 25 %), de même que des teneurs en matières azotées, en fibres et en minéraux faibles. L'amidon s'y trouve par contre en abondance, ce qui explique la teneur en énergie élevée. La pomme de terre doit ainsi être considérée comme un aliment riche en énergie mais pauvre dans tout le reste, qui permettra de réduire la quantité de céréales dans la ration, mais qui nécessitera une complémentarité adéquate en protéines et en minéraux. Les quantités optimales à distribuer se situent aux environs de 2,5 kg de MS de pommes de terre

crues/vache.jour, ce qui correspond à ± 10 kg de pommes de terre crues. Les pommes de terre ne doivent pas être distribuées en début de repas. Elles peuvent en effet occasionner des obstructions œsophagiennes. Une administration en fin de repas permet de réduire les accidents, les animaux se montrant moins gloutons.

Notons que lorsque les pommes de terre sont stockées à la ferme à l'extérieur, il est impératif de les couvrir avec une bâche de couleur foncée pour éviter le verdissement des tubercules. En effet, lorsque ce verdissement apparaît, ou que les tubercules sont blessés ou ont germé, cela signe la présence de facteurs toxiques, la solanine et la solanidine, responsables de troubles digestifs et nerveux.

Différents co-produits issus de l'industrie de la pomme de terre sont commercialisés actuellement en tant qu'aliments pour bovins. On peut ainsi distinguer trois catégories de co-produits, selon le processus à partir duquel ils sont obtenus : les écarts de triage, les co-produits crus et les co-produits cuits. Nous citons ci-dessous

ceux utilisés fréquemment dans l'alimentation de la vache laitière.

- Les *écarts de triage* correspondent aux tubercules non conformes, déformés ou sous calibrés, issus du tri sur le marché du frais ;
- Les co-produits crus comprennent notamment les screenings (pommes de terre mal coupées, irrégulières ou abîmées), et les pulpes de pommes de terre (fraîches, surpressées ou déshydratées) issues de la féculerie ;
- Les co-produits cuits comprennent les épluchures à la vapeur (pelure vapeur ou purée pelure), et les déchets de purée, riches en amidon (récupérés en fin de chaîne de déshydratation dans l'industrie des flocons pour purées).

La composition chimique et la valeur nutritionnelle des co-produits est fonction de la nature du processus mis en œuvre (tableau 14), mais aussi notamment de la qualité du tubercule et des éventuels mélanges de co-produits réalisés.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Tableau 14 : Composition chimique et valeur nutritionnelle des différents co-produits de la pomme de terre (adapté de Decruyenaere et al, 2006 ; Morel d'Arleux, 2001)

	Disponibilité	MS (%)	MAT (g/kg MS)	Amidon (g/kg MS)	Cellulose (g/kg MS)	VEM (kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Écarts de triage (tubercule frais)	Avril à septembre	19	110	642	27	1 090	76	-12
Co-produits crus Screenings Pulpes de pommes de terre	Toute l'année	20	103	723	30	1 120	65	-25
	Septembre à janvier	19	55	406	186	1 010	72	-71
Co-produits cuits Épluchures à la vapeur* Déchets de purée								
	Toute l'année	10-15	150-190	200	90	1 040	107	-10
	Toute l'année	26	80	725	30	1 112	73	-14
*Une variabilité importante s'observe au niveau de la composition chimique des co-produits cuits, en raison des variations de la quantité de chair retirée du tubercule au cours du processus de pelage et de brossage								

Les modalités de stockage et de conservation varient selon le type de co-produit considéré.

- Les écarts de triage peuvent être stockés en vrac ou ensilés. Dans le premier cas de figure, leur durée de conservation est de deux à trois mois en hiver, et de trois à quatre semaines au printemps, en raison de la germination.
- Les co-produits crus tels que les screenings et les pulpes fraîches de pommes de terre peuvent également être ensilés.
- Les épluchures à la vapeur, qui se présentent sous forme semi-liquide et de faible consistance, nécessitent un stockage en ci-

terne ou en cuve ouverte, les structures de stockage étant protégées par une bâche en plastique en raison du caractère corrosif de ces co-produits. Elles peuvent aussi couvrir un ensilage de maïs.

- Les déchets de purée et les pulpes surpressés de pommes de terre se conservent sous forme d'ensilage, avec un lissage et un recouvrement à l'aide d'une bâche plastique.
- Les pulpes déshydratées de pommes de terre se conservent quant à elles en vrac, en sac ou en silo.

Via leur teneur élevée en énergie, les co-produits de l'industrie de la pomme de terre sont des ali-

ments qui peuvent être judicieusement valorisés dans le cadre de l'alimentation de la vache laitière. Ils peuvent ainsi remplacer en partie les concentrés de la ration. Il faut cependant rester prudent, et ce pour plusieurs raisons :

- Il faut être méticuleux en matière de conditions de stockage, notamment pour éviter une contamination microbienne et/ou des déviations fermentaires.
- Une transition alimentaire de deux à trois semaines en début et en fin d'utilisation est nécessaire ; leur emploi ne peut par ailleurs être interrompu brutalement. Par conséquent, l'éleveur doit disposer d'un approvisionnement garanti et prévoir des stocks suffisants.
- Vu la grande variabilité observée au niveau de la composition chimique entre les différents co-produits mis sur le marché, l'éleveur qui souhaite les incorporer dans ses rations doit connaître préalablement la composition précise du co-produit concerné.
- Étant donné leur teneur élevée en amidon, leur incorporation dans la ration doit être raisonnée en termes de quantités. On préconise ainsi de ne pas dépasser 20 (pour les co-produits cuits) à 25 % (pour les co-produits crus) de la MS totale de la ration.
- Vu leur faible teneur en matières azotées, une analyse globale de la ration doit être menée afin d'évaluer les apports azotés totaux.
- À l'exception des pulpes de pomme de terre, il s'agit d'aliments pauvres en fibres. Par consé-

quent, l'éleveur devra veiller à en apporter suffisamment *via* les autres composants de la ration pour assurer un bon fonctionnement du rumen.

V.2 Les concentrés

Les aliments concentrés se caractérisent tous par des teneurs en MS et en énergie élevées. Certains d'entre eux sont également riches en protéines, c'est le cas pour les graines de protéagineux et d'oléagineux.

On distingue deux catégories d'aliments concentrés :

- les aliments concentrés simples, tels que les graines de céréales et leurs co-produits, les graines de protéagineux, les graines d'oléagineux et leurs co-produits, les tourteaux, et les pulpes séchées. Ces aliments concentrés simples sont donc les matières premières ;
- les aliments concentrés composés, résultant d'un mélange d'aliments concentrés simples.

Les concentrés, qu'il s'agisse d'aliments concentrés simples ou composés, servent à équilibrer en azote et en énergie la ration de base, établie à partir des fourrages. Utilisés dans ce contexte, ils sont fréquemment appelés des « correcteurs ».

Une fois la ration de base équilibrée, des concentrés dits « de production » sont éventuellement apportés en plus, afin de soutenir la production laitière. La quantité administrée est alors fonction du niveau de production laitière. Ces concentrés de production sont des aliments concentrés composés, disponibles dans le commerce ou

les aliments et leur utilisation en production laitière

réalisés à la ferme, et distribués individuellement par l'éleveur en salle de traite ou, le plus souvent, via un distributeur automatique d'aliment (DAC). Les concentrés de production présentent généralement une teneur en MS de 88 % et une teneur en MAT variant de 16 à 18 % dans l'aliment frais. Une grande variabilité existe quant à l'efficacité du concentré. Ainsi, un apport de 0,7 à 1,5 kg de concentré permet la production de deux litres de lait supplémentaires en rations hivernales. Au pâturage, l'efficacité est extrêmement variable (cf. *supra*), avec une moyenne de 1 kg de concentré pour 1,5 litre de lait.

V.2.1 Les aliments concentrés simples

Les céréales et leurs co-produits

Les céréales (figure 10) sont des aliments secs, pourvus de teneurs en matières azotées faibles à moyennes, de teneurs faibles en fibres (à l'exception de l'épeautre, car il s'agit d'une céréale enveloppée) et de teneurs élevées en énergie. Les céréales sont riches en amidon, celui-ci représente en effet jusqu'à 65 à 70 % de leur MS, selon la céréale considérée. Toutes les céréales se caractérisent en outre par des teneurs négatives en OEB, le maïs présentant la valeur la plus négative.

111



Figure 10: Quelques céréales utilisées en rations pour vaches laitières

les aliments et leur utilisation en production laitière

La structure de l'amidon peut différer entre les diverses céréales, et ceci donne lieu à une dégradation variable dans le rumen. Ainsi, l'amidon du froment est totalement fermenté dans le rumen avec une production élevée d'acide propionique, alors que celui du maïs est peu fermenté dans le rumen et digéré par voie enzymatique dans l'intestin grêle. La fermentescibilité élevée du

froment, mais aussi du seigle et du triticale (tableau 15) est la raison pour laquelle ces céréales doivent être distribuées en faibles quantités, ou, si les quantités sont plus élevées, dans une ration totalement mélangée et/ou fractionnée. La digestibilité est en outre influencée par l'existence de traitements physiques (broyage, aplatissement) et/ou thermiques (floconnage, extrusion).

Tableau 15 : Composition chimique, valeur nutritionnelle et caractéristiques de l'amidon de quelques céréales et co-produits de céréales

	Froment	Orge/ Escourgeon	Épeautre	Seigle	Maïs	Son	Rebulet
MS (%)	87,5	87,4	87,8	87,4	87,0	87,0	87,0
MAT (g/kg MS)	123	124	130	111	105	174	178
Fibres (g/kg de MS)	28	54	180	29	27	122	78
Fermentescibilité de l'amidon dans le rumen	++++	++	+	+++	+	ND	ND
Phosphore (g/kg MS)	3,7	4,0	4,0	4,4	3,5	12,3	10,2
VEM (/kg MS)	1 170	1 130	940	1 150	1 230	860	1 000
DVE (g/kg MS)	102	94	86	83	98	71	75
OEB (g/kg MS)	-28	-23	-12	-26	-30	37	37

ND= non déterminé

Plusieurs co-produits de céréales sont utilisés dans les rations pour vaches laitières. Les plus fréquents sont ainsi des co-produits de meunerie tels que le son et le rebulet, et des co-produits de la malterie/brasserie tels que les drèches. Nous présentons ci-dessous leurs principales caractéristiques.

- Le son est la partie la plus externe du grain de froment. Il se présente sous la forme de particules rosées-brunâtres relativement fines, ressemblant à de petites paillettes enlevées par passage du grain entre deux cylindres à cannelures. Le rebulet est quant à lui obtenu par enlèvement des couches quelque peu plus

les aliments et leur utilisation en production laitière

profondes situées entre le son et l'intérieur du grain. Il est farineux et de couleur grisâtre. Actuellement, les meuneries industrielles commercialisent le son et le rebulet en un seul produit, présenté sous forme de pellet brunâtre. En termes de composition chimique et de valeur nutritionnelle (tableau 15), retenons tout d'abord que le son présente la particularité d'être très riche en phosphore. Avec une teneur de 12,3 g/kg de MS, il contient trois à quatre fois plus de phosphore que les céréales. Le son est également riche en vitamines du groupe B et en mucilages (une variété de glucides), deux éléments permettant une régulation des fermentations du rumen. Le rebulet présente quant à lui des caractéristiques assez semblables au son. Ces deux co-produits sont caractérisés par des teneurs en énergie plus faibles que les

céréales, et par des teneurs moyennes en matières azotées. Ceci se reflète au niveau de leur valeur d'OEB, qui est légèrement positive. Le son, et dans une moindre mesure le rebulet, sont bien valorisés chez le ruminant : ils sont en effet utilisés comme inducteur et régulateur des fermentations du rumen, et à ce titre, sont particulièrement utiles chez tout animal ayant présenté un épisode de dysbactériose¹⁸.

- Les drèches sont des co-produits de la malterie et de la brasserie (figure 11) : l'orge est d'abord transformée en malt dans une malterie, et le malt est fermenté grâce à des levures dans une brasserie. Il y a alors production d'alcool (la bière) et de deux co-produits : les levures et les drèches. Quantitativement, 100 kg d'orge permettent de produire entre 100 et 350 litres de bière et approximativement 60 kg de drèches.



Figure 11 :
Drèches de brasserie

¹⁸ Dysbactériose : dérive de flore

À l'opposé des céréales et des autres co-produits de céréales que nous venons de voir, les drèches sont des aliments humides (± 22 % de MS), caractérisés principalement par une teneur très élevée en cuivre et une teneur élevée en protéines, celles-ci étant faiblement dégradées dans les préestomacs et subissant surtout une digestion enzymatique dans l'intestin grêle. La teneur élevée en matières azotées des drèches en fait un aliment protéique intéressant en vue d'une complémentation d'une ration riche en énergie, comme par exemple une ration contenant beaucoup d'ensilage de maïs. Leur taux d'incorporation doit cependant rester dans des limites acceptables – maximum 8 à 10 kg/jour – afin d'une part de limiter le risque d'acidose provenant de l'efficacité restreinte de la cellulose au niveau de la structure, et d'autre part d'éviter une chute du TB du lait. Les drèches possèdent cependant des propriétés complémentaires intéressantes, telles qu'une régulation du transit et une augmentation de la productivité chez la vache laitière couplée à une diminution de la part des concentrés dans la ration, et auraient un effet inhibiteur sur la diarrhée, ainsi qu'un effet positif sur la fertilité. Les drèches étant des aliments frais, elles doivent être administrées en l'espace de quelques jours. Et s'il n'est pas possible d'avoir un approvisionnement régulier, les drèches peuvent être ensilées.

Notons que l'on trouve sur le marché d'autres types de drèches. Ainsi, les drèches de chicorée

sont un co-produit de l'industrie de la chicorée, parfois utilisé en alimentation animale. Par ailleurs, suite au développement de l'industrie des biocarburants et à l'augmentation du prix des matières premières, de nouveaux co-produits ont vu le jour. On trouve ainsi des drèches de blé et des drèches de maïs, deux co-produits de la fabrication du bioéthanol. Des essais récents menés sur des vaches laitières avec des drèches de blé ont ainsi révélé des performances zootechniques identiques à d'autres matières premières plus couramment utilisées, tel que le tourteau de colza. Drèches de blé et tourteau de colza sont en effet des matières premières relativement proches d'un point de vue nutritionnel. Les drèches pourraient donc être une alternative intéressante en termes de source de protéines végétales, susceptibles d'être produites localement, et permettant donc de réduire notre dépendance vis-à-vis des marchés extérieurs.

Enfin, précisons que l'industrie du bioéthanol génère également un autre type de co-produit valorisable dans l'alimentation des vaches laitières, les solubles de blé. Il s'agit d'un aliment se présentant sous une forme liquide, dosant en moyenne 27 % de MS. Ses principaux atouts sont sa teneur élevée en énergie (1 130 VEM/kg de MS) et en matières azotées (280 g MAT/kg de MS). Les solubles de blé se présentent par conséquent comme une alternative intéressante aux tourteaux, et ce d'autant plus qu'ils

ont un coût moindre à l'achat. L'utilisation des solubles de blé présente cependant quelques inconvénients: d'une part, vu la consistance liquide de l'aliment, elle nécessite un matériel de stockage adéquat (flexitank ou silo en polyester) dont le coût s'ajoute à celui de l'aliment proprement dit; ensuite, les solubles de blé ayant tendance à sédimenter, un brassage journalier avant l'administration à l'aide d'une pompe est nécessaire; enfin, une mélangeuse distributrice est également nécessaire, pour permettre une incorporation homogène des solubles de blé dans la ration. En termes de quantités, on préconise de ne pas les incorporer dans la ration au-delà de 15 % de la MS totale, afin d'éviter une perte de structure significative de la ration.

Les graines de protéagineux et d'oléagineux

Les graines de protéagineux et d'oléagineux sont des aliments concentrés riches en énergie et en matières azotées. En Belgique, les graines les plus fréquemment utilisées dans les rations pour vaches laitières sont le pois, la féverole et le lupin (bleu et blanc) pour les protéagineux, et le lin, le soja et le colza pour les oléagineux.

Les protéagineux.

Quels sont les avantages de la culture des protéagineux et quelles sont leurs utilisations potentielles chez la vache laitière? Face à un marché

des protéines végétales dominé par le soja, les protéagineux se présentent comme une alternative intéressante en vue d'améliorer notre autonomie protéique. Jusqu'à une date récente, en effet, le tourteau de soja constituait une source de protéines de qualité, abondantes, à prix très intéressants. Ceci a largement contribué à la mise en place d'un modèle de rations basé sur le couple ensilage de maïs/tourteau de soja et n'a pas incité la promotion de la production et de l'utilisation de sources protéiques différentes, telles que les protéagineux. Le contexte est aujourd'hui totalement différent: durabilité des systèmes de production, traçabilité, qualité des produits et hausse du prix du soja sont autant d'éléments qui entrent à présent en ligne de compte. On perçoit donc aujourd'hui beaucoup plus la nécessité de maintenir une diversité dans l'approvisionnement en matières protéiques produites localement.

Les graines de protéagineux sont toutes riches à la fois en protéines et en énergie. Les graines de pois, féverole et lupin se caractérisent en effet par une valeur énergétique fort proche de celle des céréales. Il faut cependant distinguer, sur la base de la teneur en amidon et en MG:

- les graines riches en protéines et en amidon, mais pauvres en MG, telles que le pois et la féverole
- les graines riches en protéines et en MG, mais pauvres en amidon, telles que le lupin (tableau 16).

Tableau 16 : Composition chimique et caractéristiques nutritionnelles du pois, de la féverole et du lupin blanc (à partir de Froidmont et al, 2006)

	Pois	Féverole	Lupin blanc
MS (%)	86,3	85,2	89,5
MAT (g/kg MS)	239	297	343
Équilibre en AA			
Méthionine	Déficit	Déficit	Déficit
Lysine	OK	OK	Limitant
Amidon (% MS)	51	44	1-2
MG (% MS)	1,4	1,5	10
VEM (/kg MS)	1 177	1 158	1 268
DVE (g/kg MS)	114	116	144
OEB (g/kg MS)	73	129	150

Le lupin étant riche en protéines et pauvre en amidon, il constitue un complément idéal aux rations contenant beaucoup de céréales, sans engendrer un risque accru d'acidose. C'est en effet le seul protéagineux capable de remplacer totalement le tourteau de soja dans les rations pour vaches laitières hautes productrices. Le lupin pourra ainsi être incorporé à raison de maximum 6 kg/vache.jour. L'utilisation du pois et/ou de la féverole doit quant à elle être évaluée en fonction de la teneur en amidon de la ration totale, qui doit rester < 25 % de la MS.

Précisons que les protéagineux présentent en outre les caractéristiques communes suivantes :

- leur équilibre en AA n'est pas optimal. Par rapport aux besoins des animaux, les protéines

présentes sont systématiquement déficitaires en méthionine ;

- étant donné leur richesse en énergie et en protéines rapidement dégradables, une attention particulière devra être portée sur la fibrosité¹⁹ de la ration ;
- les traitements technologiques affectent de façon considérable la valeur protéique des protéagineux. Ainsi, les graines sont très sensibles à la finesse de broyage pour la mesure de la dégradabilité des protéines. Dans la pratique, un broyage grossier ou un léger aplatissage sont conseillés ;
- les variétés actuellement cultivées possèdent un contenu en facteurs antinutritionnels (c'est-à-dire en facteurs toxiques) réduit, n'engendrant plus de problèmes zootechniques.

19 Fibrosité : qualificatif permettant d'apprécier l'aptitude des aliments/de la ration à faire mastiquer l'animal. Deux caractéristiques influencent la fibrosité des aliments/de la ration : la teneur en parois et la structure physique.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Les conditions climatiques jouent un rôle-clé dans la réussite des protéagineux. En conditions sèches, sans coup de chaleur ($< 25^{\circ}\text{C}$), le pois protéagineux semble être la culture la mieux adaptée. La culture de la féverole et du lupin sont quant à elles plus délicates : la féverole présente une sensibilité à la sécheresse, et se caractérise par un rendement incertain et très variable. Le lupin bleu est quant à lui également sensible à la sécheresse. Les pois protéagineux (figure 12) sont récoltés secs, avec une moissonneuse bat-

teuse classique, ou en ensilage au stade pâteux-semi dur. Il est possible de les implanter en mélange avec une céréale telle que l'avoine ou l'orge, la céréale étant utilisée comme plante tuteur. La récolte fournit donc un mélange de graines pois-céréales et de la paille. Notons qu'il existe cependant maintenant des variétés résistantes à la verse. La paille de pois peut quant à elle constituer un apport fourrager appréciable, d'une valeur nutritionnelle intermédiaire entre la paille de blé et le foin de luzerne.

Figure 12: champ de pois protéagineux



Les oléagineux.

Les graines oléagineuses – lin, soja et colza – sont des graines qui sont destinées à produire de l'huile en huilerie comme production principale, le co-produit étant le tourteau.

Ces graines se caractérisent donc par des teneurs en MG très élevées, de l'ordre de 20 à 45 % de la MS, et, bien sûr, des teneurs en énergie très élevées également, la substance de réserve étant ici les acides gras, et non pas l'amidon. À titre de comparaison, la graine de lin contient plus de quatre fois plus de MG que le tourteau de lin. Il s'agit aussi d'aliments pourvus de teneurs en matières azotées élevées, mais toutefois moindres que le tourteau correspondant : la graine de lin possède ainsi une teneur en MAT qui représente 68 % de celle du tourteau de lin. L'incorporation de graines d'oléagineux dans la ration dans l'optique d'une complémentarité protéique est limitée par la teneur finale en MG de la ration, qui ne peut dépasser 5 % de la MS. En termes de quantités, on préconise donc de ne pas dépasser 1,2 kg/vache.jour. Leur utilisation en alimentation animale est en outre conditionnée à l'application de traitements technologiques préalables, permettant d'éliminer d'une part la coque qui entoure la graine, et d'autre part les facteurs antinutritionnels. Réalisés dans de bonnes conditions, les traitements technologiques permettent également d'améliorer la valeur nutritionnelle des graines. Ainsi,

certaines traitements tels que l'extrusion, le tanage ou le toastage permettent d'accroître la résistance des protéines à la dégradation microbienne dans le rumen. De cette façon, une plus grande partie des protéines de l'aliment arrive dans l'intestin grêle sans avoir été modifiée (on parle de « protéine by-pass »). *In fine*, ce by-pass du rumen permet d'apporter à la mamelle les AA provenant directement de la ration, plutôt que ceux issus des protéines microbiennes.

Les tourteaux

Les tourteaux sont des co-produits solides obtenus après extraction de l'huile des graines oléagineuses. Il s'agit donc de co-produits de l'industrie de l'huile. Leurs deux caractéristiques principales sont une grande richesse en énergie et en matières azotées protéiques. Selon le tourteau considéré, celle-ci varie en effet entre < 20 % et > 40 % de la MS.

Le tourteau de soja est le tourteau le plus fréquemment utilisé en rations laitières. Il fait office de référence d'un point de vue nutritionnel – haute teneur en DVE et en énergie et relativement bon équilibre en AA – et complète parfaitement l'ensilage de maïs. Le contexte des productions bovines change cependant à grande vitesse, et l'avenir de la filière lait passera vraisemblablement par un remplacement du tourteau de soja par d'autres sources protéiques produites localement. À cet égard, nous avons

déjà abordé deux sources possibles, les drèches et les graines de protéagineux. À côté de celles-ci, on trouve également d'autres sources, comme le tourteau de colza, dont la disponibilité est croissante, principalement en raison du développement de l'industrie du biodiesel.

La composition chimique et la valeur nutritionnelle des tourteaux dépendent de plusieurs facteurs :

- la nature de la graine dont ils sont issus : soja, colza, ... ;
- la méthode d'extraction de l'huile. La nomenclature des tourteaux fait d'ailleurs référence à la méthode d'extraction de l'huile mise en œuvre : tourteau expeller ou schilfers (extraction de l'huile par pression) ou tourteau déshuilé ou schrot (extraction de l'huile par solvant). Une extraction par pression est moins performante qu'une extraction par solvant, aussi, la teneur en MG d'un tourteau expeller est toujours plus élevée que celle d'un tourteau déshuilé. Ce faisant, sa teneur en énergie est également plus élevée, mais sa teneur en protéines est moindre ;
- le traitement de la graine avant extraction de l'huile : graine décortiquée ou non. Le décorticage vise à séparer mécaniquement

les enveloppes riches en parois des autres constituants. Aussi, une graine décortiquée sera moins riche en cellulose qu'une graine entière, et sera donc plus riche en énergie ;

- un éventuel traitement technologique supplémentaire : extrusion, tannage ou toastage. Comme déjà évoqué plus haut, ces trois traitements permettent d'améliorer l'efficacité des protéines : leur dégradabilité ruménale est diminuée, ce qui a pour conséquence un plus grand apport de protéines alimentaires non dégradées au niveau de l'intestin grêle.

À l'opposé des graines oléagineuses, les tourteaux sont en général pauvres en MG, le tourteau de lin faisant exception à cette règle. Précisons également que les tourteaux, comme les co-produits de céréales, sont des aliments riches en phosphore (tableau 17).

En rations laitières, les principaux tourteaux utilisés sont le tourteau de soja, de colza, de tournesol et le tourteau de lin. Notons que l'appellation commerciale de certains tourteaux comporte parfois un chiffre (tourteau de soja 48, par exemple). Celui-ci désigne la somme des taux de MAT et de MG.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Tableau 17 : Comparaison de la composition chimique et de la valeur nutritionnelle des tourteaux expeller et déshuilé de soja, de colza et de lin (adapté de Brocard et al, 2010; Feed2Gain, 2010)

	Tourteau de soja expeller	Tourteau de soja déshuilé 50	Tourteau de colza expeller	Tourteau de colza déshuilé	Tourteau de lin expeller	Tourteau de lin déshuilé
MS (%)	88,5	87,0	89,1	87,9	89,2	90,1
MAT (g/kg MS)	477	546	391	394	353	357
Équilibre en AA						
Méthionine	Déficit	Déficit	Limitant	Limitant	Déficit	Déficit
Lysine	Limitant	Limitant	Limitant	Limitant	Déficit	Déficit
MG (g/kg MS)	80	22	73	26	71	34
Phosphore (g/kg MS)	7,3	9,0	12,7	12,4	9,2	9,5
VEM (/kg MS)	1 295	1 154	1 055	914	1 056	973
DVE (g/kg MS)	242	272	145	147	174	178
OEB (g/kg MS)	192	229	169	166	114	112

Les quantités maximales recommandées se situent entre 1 et 2 kg/jour. Le tourteau de lin, commercialisé sous forme de grosses particules irrégulières ou sous forme de pellets groupés par trois (figure 13), doit toujours être distribué en ne dépassant pas 1 kg/vache.jour.

Figure 13 : Tourteau de lin en pellets de trois et en particules et tourteau de soja



les aliments et leur utilisation en production laitière

Pour terminer, effectuons une comparaison des apports en énergie et en protéines (figure 14) entre les différents aliments que nous venons

d'évoquer qui sont susceptibles d'être produits localement et qui pourraient se substituer au tourteau de soja.

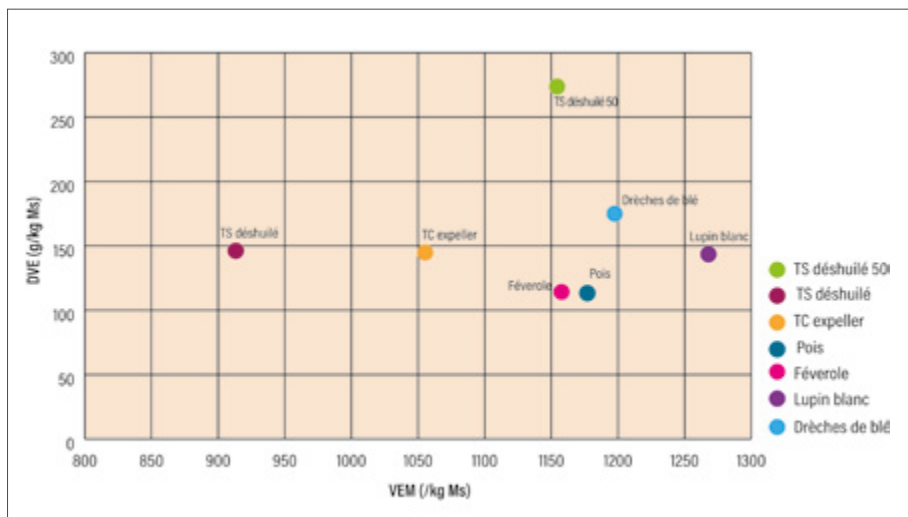


Figure 14: Comparaison des teneurs en énergie (VEM/kg MS) et en protéines (g DVE/kg MS) du tourteau de soja déshuilé 50, du tourteau de colza déshuilé, du tourteau de colza expeller, du pois, de la féverole, du lupin blanc et des drèches de blé/sorgho (70/30) (à partir de De Brabander et De Boever, 2009 ; Feed2Gain, 2010 ; Froidmont et al, 2006)

121

Les pulpes séchées

Les pulpes séchées sont des co-produits de la sucrerie, obtenues après déshydratation des pulpes surpressées. Elles sont en général commercialisées sous la forme de pellets de diamètre variable, de 6 à 18 mm (figure 15).



Figure 15: Pulpes séchées

les aliments et leur utilisation en production laitière

En termes de composition chimique et de valeur nutritionnelle (tableau 18), retenons que les pulpes séchées sont des aliments secs (teneur en MS aux environs de 90 %), pourvus de teneurs faibles en matières azotées et élevées en énergie et en fibres (cellulose, hémicellulose et pectines). Les pulpes séchées contiennent en outre des

glucides spécifiques aux dérivés de betteraves, à savoir des pectines et des sucres solubles. Tout comme les ensilages de pulpes humides et de pulpes surpressées, les pulpes séchées sont également un aliment source de calcium, et présentent des valeurs extrêmes en termes de DVE (DVE élevé) et d'OEB (OEB très négatif).

122

	Pulpes séchées		Ensilage de pulpes surpressées	
MS (%)	90,2	Sec	21,0	Humide
MAT (g/kg MS)	103	Faible	108	Faible
Calcium (g/kg MS)	12,0	Élevé	8,9	Élevé
Sucres solubles (% MS)	8,3	Faible	6,5	Faible
Amidon (% MS)	~ 0	Quasi nul	~ 0	Quasi nul
Pectines (% MS)	25	Élevé	23	Élevé
Cellulose (% MS)	21,7	Élevé	23,6	Élevé
Hémicellulose (% MS)	24	Élevé	24,8	Élevé
VEM (/kg MS)	960	Élevé	1 010	Élevé
DVE (g/kg MS)	111	Élevé	100	Élevé
OEB (g/kg MS)	-67	Très négatif	-65	Très négatif

Les pulpes séchées s'utilisent généralement dans les rations hivernales des bovins, où elles permettent un apport d'énergie et de calcium, ainsi

qu'une diversification des glucides. On veillera à ne pas distribuer plus de 6 kg de pulpes séchées/vache.jour et à réaliser une transition alimentaire.

les aliments et leur utilisation en production laitière

La luzerne déshydratée

Nous avons évoqué antérieurement les différents modes de valorisation de la luzerne. Parmi ceux-ci, citons les pellets déshydratés.

La déshydratation de la luzerne s'opère en usine et permet d'obtenir un aggloméré de luzerne commercialisable, présentant une teneur en MS de l'ordre de 90 %. Cette technique n'est cependant plus réalisée en Belgique. La déshydratation est une technique énergivore, plus coûteuse que le fanage ou l'ensilage, mais qui permet précisément la conservation d'un fourrage jeune et la production d'un aliment riche en éléments nutritifs pouvant être administré en période hivernale. Elle présente en effet une teneur en protéines relativement élevée et une teneur en calcium très élevée, de l'ordre de 17 g/kg de MS, qui permet de corriger les faibles teneurs d'un régime riche en céréales. Elle s'incorpore généralement dans les rations de vaches en fin de gestation, à raison de 1,5 kg/jour (principalement pour l'apport en vitamine A), ainsi que dans les rations à base d'ensilage d'herbe et d'ensilage de maïs des vaches en lactation, pour réduire les quantités de tourteau de soja.

V.2.2 Les aliments concentrés composés

Les aliments concentrés composés résultent du mélange d'aliments concentrés simples. Il s'agit donc d'un mélange de matières premières, sous forme de poudre, de granulés ou de miettes.

De tels aliments peuvent être achetés dans le commerce. De nombreuses firmes commercialisent en effet des mélanges dont la composition varie en termes de choix des matières premières, et donc de composition chimique et de valeur nutritionnelle. Les aliments concentrés composés se caractérisent néanmoins la plupart du temps par une teneur en énergie assez semblable, toujours élevée, aux environs de 1 000 VEM, et par une teneur en MS proche de 90 %. La teneur en MAT peut par contre varier beaucoup d'un aliment à un autre, allant de 14 à 40 %.

L'aliment présenté ci-dessous (figure 16) est un exemple d'aliment concentré composé du commerce. Il s'agit d'un mélange préparé spécifiquement pour un éleveur, à 28 % de MAT²¹. Notons que les teneurs précisées sur l'étiquette sont exprimées dans l'aliment frais, et non pas dans la MS. C'est généralement le cas pour tous les aliments du commerce. La teneur en énergie de ce mélange est de 954 VEM/kg d'aliment, soit 1 060 VEM/kg de MS d'aliment.

20 Figure 16: Exemple d'aliment concentré composé disponible dans le commerce

MELANGE A FACON					
Aliment complémentaire pour bovins					
Garanties analytiques					
Protéines brutes	27,97	%	Sucres et amidon	19,29	%
Matières grasses brutes	4,33	%	Calcium	1,43	%
Cendres brutes	8,72	%	Phosphore	0,69	%
Cellulose brute	8,03	%	Sodium	0,38	%
Additifs nutritonnels					
Vitamine A (E672)	26490	UI/kg	Biotine	0,00	mg/kg
Vitamine D ³ (E671)	6622,5	UI/kg	Cuivre*1	37,38	mg/kg
Vitamine E	23	UI/kg			
Sulfate ferreux, fer*11	38,9	mg/kg			
Iodate de calcium, Iode*12	3,223	mg/kg			
Carbonate cobalt, cobalt*13	2,608	mg/kg			
Oxyde manganeux, Manganèse E5	55,57	mg/kg			
Oxyde de zinc, Zinc E6	74,28	mg/kg			
Sélénite de sodium, Sélénium E8	0,778	mg/kg	Antioxydant BHT (E321)	128,75	mg/kg
			*1 : Sulfate – II – cuivrique pentahydraté – cuivre E4		
			*11 : Sulfate ferreux monohydraté – fer E1		
			*12 : Iodate de calcium anhydre – iode E2		
			*13 : Carbonate de cobalt monohydraté – cobalt E3		
Composition					
Tourteau d'extraction de colza			Mélasse de betteraves		
Tourteau d'extraction de soya dépéliculé (1)			Tamisage granulés		
Drêches de blé			Coques de cacao		
Tourteau de pression de palme			Chlorure de sodium		
Aliment de gluten de maïs			Prémix oligo-vitamines		
Radicelles de malt			Germe de maïs brut		
Vinasses de betteraves			Oxyde de magnésium		
Maïs (2)			Substances aromatiques et apéritives		
Carbonate de calcium					
Aliment de gluten de blé					
Coques de soja (1)					
Froment					
Pulpes déshydratées de PDT					
Tourteau de pression de maïs					
Tourteau d'extraction de tournesol					
(1) Produit à partir de graines de soya génétiquement modifiées / (2) Maïs génétiquement modifié / (4) Graines de soya génétiquement modifiées / (5) Produits à partir de maïs génétiquement modifié					
Mode d'emploi					
A distribuer selon les conseils du technicien. A conserver dans un endroit propre et sec.					
A utiliser de préférence avant :					
Durée de validité : 4 mois après la date figurant sur le bon de sortie					

Figure 16: Exemple d'aliment concentré composé disponible dans le commerce

V.3 Les mélanges minéraux vitaminés

Les mélanges minéraux vitaminés du commerce renferment en général des macroéléments (calcium, phosphore, sodium...), des oligoéléments (sélénium, zinc, cuivre...) et des vitamines. Tout comme pour les aliments concentrés composés, leur composition varie selon le fabricant et le produit considéré. Les mélanges minéraux vitaminés se caractérisent en général par leur teneur en calcium et en phosphore. On parle ainsi d'un « 16/8 » ou d'un « 12/8 », pour désigner un mélange avec 160 g de calcium/kg et 80 g de phosphore/kg ou 120 g de calcium/kg et 80 g de phosphore/kg. Le tableau 19 donne quelques exemples de mélanges minéraux vitaminés disponibles dans le commerce.

les aliments et leur utilisation en production laitière

Tableau 19: Comparaison de la composition et des teneurs de quelques mélanges minéraux vitaminés du commerce

Mélange		1	2	3	4
Catégorie d'animaux pour laquelle le mélange est préconisé		Vaches en crois-sance	VLHP avec rations déficitaires en P	VLHP avec rations déficitaires en Ca	Vaches taries
Macroélé-ments g/kg	Calcium	120	50	140	45
	Phosphore	80	70	60	65
	Sodium	40	100	90	10
	Magnésium	45	120	45	60
Oligo-élé-ments mg/kg	Fer	200	-	-	200
	Cuivre	700	-	600	800
	Chélate de cuivre	-	1 500	300	-
	Zinc	3 500	8 000	4 000	3 500
	Chélate de zinc	-	-	2 000	-
	Manganèse	2 300	5 500	2 400	2 500
	Chélate de manganèse	-	-	600	-
	Cobalt	25	40	20	25
	Iode	25	150	100	25
	Sélénium	50	20	20	50
Vitamines	UI/kg	Vit A	500 000	1 000 000	1 000 000
		Vit D3	100 000	200 000	200 000
	mg/kg	Vit E	750	3500	3500
		Biotine	-	-	0,75
		Vit PP niacine*	-	1 500	-
		β-carotène**	-	-	500
		Vit B1/B2/B3	-	30/100/140	125/100/250
		Vit B6/B12	-	20/0,3	70/0,5
		Acide folique	-	15	20

VLHP : vache laitière haute productrice; *: Vitamine PP = niacine = vitamine B3; ** précurseur de la vitamine A

Le sel (NaCl) sera idéalement apporté à l'aide d'une pierre à lécher ou d'une bassine contenant du sel en vrac. Les vaches laitières régulent en effet la plupart du temps leur consommation en NaCl en fonction de leurs besoins, aussi, ce mode de distribution en libre-service est tout à fait adapté.

V.3.1 Le choix du mélange minéral vitaminé

Le choix du mélange minéral ne doit pas se faire au hasard. Pratiquement, la démarche à adopter est la suivante :

- ① Évaluer les besoins de l'animal (tableau 1)
- ② Calculer les apports en minéraux et vitamines de la ration
- ③ Comparer les apports aux besoins de l'animal. En cas de déficit pour un ou plusieurs éléments, le mélange minéral vitaminé le mieux adapté sera choisi.

V.3.2 Comment distribuer le mélange minéral vitaminé ?

Les mélanges minéraux vitaminés se présentent sous des formes variables : poudre, granulés, miettes. La poudre et les miettes, si elles sont distribuées seules, sont moins facilement consommées que les granulés, car elles sont moins préhensibles par la vache. Par ailleurs, l'appétence des mélanges minéraux vitaminés n'est pas toujours optimale, ce qui peut également limiter la consommation. Aussi, il est toujours préférable de distribuer le mélange en même temps que les

fourrages et les concentrés. Différentes solutions sont envisageables, comme par exemple verser le mélange sur le dessus des fourrages à la table d'alimentation, puis mélanger succinctement à la fourche, ou bien incorporer le mélange dans la mélangeuse, en même temps que les concentrés.

V.3.3 La fréquence de distribution du mélange minéral vitaminé

Idéalement, la couverture des besoins des vaches laitières en calcium et en phosphore devrait être réalisée quotidiennement. Cependant, lors de certains stades physiologiques, plus précisément en début de lactation, cette couverture n'est pas possible, la vache étant incapable d'absorber suffisamment de calcium pour satisfaire ses besoins. Une importante mobilisation des réserves osseuses se produit donc en début de lactation. En ^{2ème} partie de lactation, par contre, l'absorption du calcium peut être supérieure aux besoins, ce qui permet une reconstitution des réserves corporelles. Par conséquent, l'apport phosphocalcique doit plutôt s'envisager sur l'intégralité du cycle de production. L'absence d'apport de mélange minéral vitaminé sur une période courte (un ou deux mois) n'a d'ailleurs en général que peu de conséquences, à condition que les besoins de l'animal soient couverts sur le reste de l'année.

Idéalement aussi, la couverture des besoins de l'animal en oligoéléments et en vitamines nécessite un apport quotidien, étant donné que la plupart de ces éléments ne se stockent pas dans l'organisme.

PARTIE VI: LE CALCUL DE RATION EN PRODUCTION LAITIÈRE

VI.1 La distribution des rations

Il existe différents modes de distribution de la ration. On peut ainsi schématiquement distinguer la ration complète, la ration semi-complète, la ration avec complémentation individualisée et la ration par lot.

VI.1.1 La ration complète

La ration complète est une technique simple de distribution de la ration, qui offre à l'éleveur un gain de temps considérable. Elle consiste en effet à mélanger préalablement les fourrages et les concentrés à l'aide d'une mélangeuse distributrice, puis à administrer ce mélange aux animaux. Il n'y a donc aucun apport supplémentaire individuel de concentré. Outre le gain de temps, cette technique présente l'avantage de permettre un bon fonctionnement du rumen. Les fluctuations du pH ruménal sont en effet limitées, puisqu'il y a une synchronisation des apports de fourrages et de concentrés. Ce mode de distribution permet donc une prévention des troubles digestifs et métaboliques.

Par contre, la ration complète étant élaborée en tenant compte d'un objectif moyen de

production du troupeau, les vaches laitières à haut niveau de production ont tendance à être sous-alimentées, alors que celles faibles productrices ont tendance à être suralimentées.

VI.1.2 La ration semi-complète

Pour éviter les inconvénients de la ration complète, l'éleveur peut opter pour une solution intermédiaire, d'une part en diminuant la densité énergétique de la ration, et d'autre part en distribuant aux vaches hautes productrices un complément concentré. Dans ce cas de figure, fourrages et concentrés sont donc toujours mélangés préalablement puis distribués à l'auge, mais une distribution individuelle supplémentaire de concentrés est réalisée pour les hautes productrices, soit en salle de traite, soit à l'auge, de façon manuelle (au seau) ou automatisée, *via* le DAC. Ceci permet une certaine individualisation de l'alimentation en fonction de la production laitière, et évite de suralimenter les vaches à faible production, mais constitue un investissement temporel plus conséquent pour l'éleveur.

le calcul de ration en production laitière

VI.1.3 La ration avec complémentation individualisée

Ce mode de distribution permet une alimentation totalement individualisée: les concentrés sont en effet administrés individuellement, en fonction des besoins de chaque animal. Cette technique permet un ajustement des apports aux besoins, et donc une optimisation de la production laitière, mais requiert un temps considérable et une veille permanente.

VI.1.4 La ration par lot

La ration par lot consiste à diviser le troupeau en plusieurs lots, en fonction de la production laitière des animaux et/ou du stade de lactation. Différentes rations sont donc calculées et préparées. Ce mode de distribution peut s'avérer intéressant lorsque les vêlages sont étalés dans le temps.

VI.2 Rations

Nous présentons ici des ration- types pour vaches laitières et vaches taries, et ce, au pâturage et en rations hivernales.

Nous présentons, pour chaque ration, les calculs relatifs à l'équilibre de l'énergie (VEM) et de l'azote (DVE et OEB). Afin d'alléger le texte, les calculs relatifs à l'équilibre des minéraux et des vitamines ne sont présentés qu'une seule fois, la démarche étant similaire pour toutes les rations.

VI.2.1 Rations pour vaches laitières

Dans le cadre des rations pour vaches laitières, nous nous inscrivons dans un système de ration semi-complète: la ration est donc calculée pour une production moyenne du troupeau, et les vaches laitières hautes productrices reçoivent en plus un concentré de production, dont la quantité varie avec le niveau de production. Pour ne pas surcharger le texte, nous présentons, pour chaque ration, le calcul pour la production moyenne du troupeau. Le calcul complet pour une production laitière individuelle donnée, avec administration du concentré de production, n'est quant à lui présenté qu'une seule fois.

Les rations sont calculées pour une production moyenne du troupeau à 25 litres.

Rations au pâturage

Nous présentons dans un premier temps une ration à base d'herbe pâturée, mais dans laquelle la présence de l'ensilage de maïs est significative. Nous sommes donc dans une optique de complémentation du pâturage avec des fourrages conservés. Nous évaluons la qualité de cette ration et présentons les alternatives possibles dans une optique de valorisation des productions locales, d'autonomie protéique et d'impacts environnementaux restreints.

le calcul de ration en production laitière

Ration 1 : Ration pour vache laitière à 25 litres avec une stratégie de complémentation au pâturage/d'impacts environnementaux élevés

Soit une ration de base pour vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP.

L'éleveur a choisi de réaliser un apport de fourrages complémentaires (ensilage de maïs et ensilage d'herbe) et de concentrés (tourteau de soja, orge et pulpes séchées), en plus du pâturage.

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

250 kg de MS/cm.ha x 10 cm x 4 = 10 000 kg de MS d'herbe. La disponibilité en herbe/vache.jour est donc de 10 000 kg/80 vaches.5 jours = 25 kg de MS/vache.jour.

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

La ration est donc composée des aliments suivants :

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Herbe	18	975	97	+31
Ensilage d'herbe préfané n°1	45	882	62	+30
Ensilage de maïs plante entière	32	890	49	-19
Tourteau de soja déshuilé 44	86,6	1 135	260	+193
Orge	87,4	1 130	94	-23
Pulpes séchées	90,2	960	111	-67

le calcul de ration en production laitière

Étape n° 1 : Évaluer les besoins de l'animal.

Pour évaluer les besoins de l'animal, nous utilisons les formules du tableau 1 :

	Besoins totaux de la vache
MS	$1,4 \times ((650/100) + 2) + 0,30 \times 25 = \mathbf{19,4 \text{ kg}}$
VEM	$FCL = 0,337 + 0,116 \times 4,0 + 0,06 \times 3,2 = 0,993$ $(6,45 \times 650 + 1\,265 + 442 \times 0,993 \times 25) \times [1 + 0,00165 \times ((0,993 \times 25) - 15)] = \mathbf{16\,697 \text{ VEM}}$
DVE	$MP = 25 \times 3,2 \times 10 = 800$ $\rightarrow 650/10 + 54 + 1,396 \times 800 + 0,000195 \times 800^2 = \mathbf{1\,361 \text{ g}}$

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

La méthode de travail se présente comme suit. Vu que les fourrages ensilés et les concentrés se substituent totalement (pour les fourrages) ou partiellement (pour les concentrés) à l'herbe, nous évaluons d'abord les apports liés aux aliments ajoutés par l'éleveur. Dans un second temps, nous évaluons le déficit en MS et

estimons que celui-ci sera comblé par les ingestions d'herbe. Ce raisonnement est uniquement valable si les ressources au pâturage sont suffisantes (cf. *supra*).

Commençons d'abord par calculer les apports en MS des aliments ajoutés par l'éleveur.

Aliments	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)
Ensilage d'herbe préfané n° 1	10	45	4,5
Ensilage de maïs plante entière	15	32	4,8
Tourteau de soja déshuilé 44	0,5	86,6	0,43
Orge	1	87,4	0,87
Pulpes séchées	1	90,2	0,90
TOTAL			11,5

le calcul de ration en production laitière

Sur base de la MS apportée par chaque aliment, nous calculons les apports nutritionnels.

Aliments (MS)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
4,5 kg d'ensilage d'herbe préfané n°1	4,5 x 882 = 3 969	4,5 x 62 = 279	4,5 x 30 = +135
4,8 kg d'ensilage de maïs plante entière	4,8 x 890 = 4 272	4,8 x 49 = 235	4,8 x (-23) = -110
0,43 kg de tourteau de soja déshuilé 44	0,43 x 1 135 = 488	0,43 x 260 = 112	0,43 x 193 = +83
0,87 kg d'orge	0,87 x 1 130 = 983	0,87 x 94 = 82	0,87 x (-23) = -20
0,9 kg de pulpes séchées	0,9 x 960 = 864	0,9 x 111 = 100	0,9 x (-67) = -60
TOTAL	10 576	808	+28

131

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

	Apports actuels de la ration	Besoins de la vache	Différence
MS (kg)	11,5	19,4	-7,9
VEM	10 576	16 697	-6 121
DVE (g)	808	1 361	-553
OEB (g)	+28	Devrait être idéalement < 200-300	-

Au pâturage, la teneur en MS de l'herbe étant faible (18 %), les quantités d'herbe fraîche à ingérer sont élevées. Le calcul de la ration doit tenir compte de cette contrainte, ceci est la raison pour laquelle l'équilibre de la ration se fait

prioritairement sur base du déficit en MS. Pour combler un déficit de 7,9 kg de MS, la vache doit ingérer $7,9/0,18 = \pm 44$ kg d'herbe fraîche. Nous pouvons à présent évaluer les apports totaux de la ration.

le calcul de ration en production laitière

	MS (kg)	VEM	DVE (g)	OEB (g)
Apports actuels de la ration	11,5	10 576	808	+28
44 kg d'herbe	7,92	7 722	768	+245
TOTAL	19,42	18 298	1 576	+292

Et nous les comparons aux besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	19,42	19,4	+0,02
VEM	18 298	16 697	+1601
DVE (g)	1 576	1 361	+215
OEB (g)	+273	Devrait être idéalement < 200-300	OEB acceptable

Étape n° 4 : Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée ? Non, pas tout à fait. Il existe en effet un excès d'énergie (+1601 VEM). Cet excès doit toutefois être relativisé, étant donné la dépense énergétique supérieure liée au pâturage (déplacements des animaux). L'excès en DVE (+215 g) est considéré comme négligeable.

Avec cette stratégie, l'éleveur comble quasiment 2/3 des besoins en MS de ses animaux *via* la ration distribuée à l'étable. Les animaux sont donc quasiment rassasiés à la sortie de celle-ci et n'ingèrent que très peu d'herbe en prairie, alors que les disponibilités sont élevées. Dans

ce système d'alimentation, les refus observés en prairie seront plus élevés, entraînant une dégradation des pâtures. Nous sommes donc dans un système de sous-valorisation du pâturage. Il est d'ailleurs intéressant de calculer le taux de valorisation de l'herbe :

- Quantité totale de MS d'herbe ingérée par l'ensemble des vaches laitières au cours des 5 jours de pâturage de la parcelle : 7,92 kg/vache.jour x 80 vaches x 5 jours = 3 168 kg de MS
- Taux de valorisation de l'herbe : $(3\,168\text{ kg}/10\,000\text{ kg}) \times 100 = 32\%$

le calcul de ration en production laitière

Ration 2: Ration pour vache laitière à 25 litres avec une stratégie de valorisation du pâturage/d’impacts environnementaux réduits

Soit une ration de base pour vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP.

Ici, l’éleveur a choisi de valoriser au mieux le pâturage, et d’éviter le recours à des fourrages complémentaires. Nous allons donc maximiser les apports d’herbe pâturée. Dans ce cas de figure, il est primordial de s’assurer préalablement que la disponibilité en herbe est suffisante pour couvrir les besoins (cf. *supra*).

La ration est donc composée des aliments suivants :

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Herbe	18	975	97	+31
Orge	87,4	1 130	94	-23
Pulpes séchées	90,2	960	111	-67

Étape n° 1 : cf. *supra*.

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

Lorsque les fourrages de la ration sont intégralement constitués par l’herbe pâturée, et que celle-ci n’est pas limitante, on estime que

Nous reprenons le même cas de figure que précédemment : un éleveur disposant de 80 vaches laitières, 80 ha, en pâturage tournant. Nous considérons que les vaches sont en pâture sur la même parcelle de 4 ha, pour une durée de 5 jours, avec une hauteur d’herbe disponible de 10 cm. La disponibilité en herbe/vache.jour est donc de 25 kg de MS/vache.jour. Dans ce système, les vaches rentrent à l’étable pour la traite et recevront à cette occasion les concentrés.

la consommation individuelle d’herbe se situe aux alentours de 16 à 18 kg de MS/jour. Ceci constitue le point de départ du calcul de ration.

Calculons donc les apports liés à 16 kg de MS d’herbe.

	Quantité de MS ingérée (kg)	Teneur en MS de l’herbe (%)	Quantité d’herbe fraîche ingérée (kg)	VEM	DVE (g)	OEB (g)
Herbe	16	18	90	15 600	1 552	+ 496

le calcul de ration en production laitière

Comparons-les aux besoins de l'animal.

	Apports actuels de la ration	Besoins de la vache	Différence
MS (kg)	16	19,4	-3,4
VEM	15 600	16 697	-1 097
DVE (g)	1 552	1 361	+191
OEB (g)	+ 496	Devrait être idéalement < 200-300	-

L'apport d'herbe ne permettant pas de couvrir les besoins énergétiques de la vache, il est nécessaire de prévoir l'apport d'un concentré riche en énergie, qui sera distribué à l'occasion de la

traite. Précisons qu'avec 90 kg d'herbe fraîche, sans aucun apport supplémentaire, la vache est déjà capable de produire un peu plus de 22,5 litres de lait²¹.

Aliments	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
Herbe	90	18	16,2	15 600	1 552	+496
Orge	0,6	87,4	0,52	588	49	-12
Pulpes séchées	0,5	90,2	0,45	432	50	-30
TOTAL			17,17	16 620	1 651	+454

Étape n° 3 : Comparer les apports de la ration et les besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	17,17	19,4	-2,23
VEM	16 620	16 697	-77
DVE (g)	1 845	1 361	+290
OEB (g)	+454	Devrait être idéalement < 200-300	OEB excessif

21 Les besoins en énergie pour produire 22,5 litres de lait sont en effet approximativement égaux à 15 600 VEM. Ceci peut se vérifier avec la formule du calcul des besoins en énergie du tableau 1 : $(6,45 \times 650 + 1\,265 + 442 \times 0,993 \times 22,5) \times [1 + 0,00165 \times ((0,993 \times 22,5) - 15)] = 15\,519$ VEM

le calcul de ration en production laitière

Étape n° 4 : Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée? Non, pas tout à fait. Les deux principales critiques à formuler résident dans la valeur excessive de l'OEB (+454 g) et au niveau de l'excès en DVE (+ 290 g):

- la valeur de l'OEB nous indique ainsi que dans cette ration, il existe un excès d'azote fermentescible au niveau du rumen. Cet azote excessif sera transformé en urée au niveau du foie, et l'urée sera excrétée notamment au niveau du lait. Le taux d'urée dans le lait sera donc vraisemblablement au-delà des normes conseillées, à savoir > 300 mg/litre;
- l'excès en DVE indique quant à lui qu'il existe un gaspillage de protéines, puisque les apports sont largement supérieurs aux besoins de l'animal. D'un point de vue économique, ce gaspillage de protéines doit cependant être relativisé, puisqu'il n'y a pas ici d'achat par l'éleveur d'intrants sources de protéines végétales (comme un tourteau de soja par exemple). D'un point de vue métabolique, ces protéines en excès seront transformées en urée au niveau du foie, et cette urée viendra s'ajouter à celle déjà présente en excès.

Pour l'éleveur, l'excès d'azote entraîne un risque accru en termes de santé animale, car un excès d'azote favorise les pathologies telles que métrite, mammite...

Il faut remarquer que ces excès sont observés la plupart du temps lors d'une valorisation maximale

du pâturage, l'herbe étant généralement riche en DVE et pourvue d'un OEB relativement élevé.

Au pâturage, l'ingestion de MS étant limitée (entre 16 et 18kg maximum de MS), nous ne tenons pas compte du déficit de MS de la ration (-2,23kg).

Comme pour la ration 1, nous pouvons calculer le taux de valorisation de l'herbe :

- Quantité totale de MS d'herbe ingérée par l'ensemble des vaches laitières au cours des 5 jours de pâturage de la parcelle : 16 kg/vache.jour x 80 vaches x 5 jours = 6 400 kg de MS
- Taux de valorisation de l'herbe :
$$(6\,400\text{ kg}/10\,000\text{ kg}) \times 100 = 64\%$$

Avec un taux de valorisation de 64 %, cette situation est préférable à la situation précédente, qui offrait un taux de valorisation de 32 %. Il subsiste cependant encore des refus importants. Pour optimiser la valorisation de l'herbe, une solution serait de réduire la taille de la parcelle au minimum nécessaire (ici, on réduirait approximativement la parcelle de 1/3) et de coupler cette mesure à une fauche de la partie restante. Ce système est par ailleurs plus souple, car il permet une adaptation aux conditions climatiques. Une autre alternative serait de prévoir une clôture amovible, qui serait déplacée en fonction de la quantité d'herbe disponible et des conditions climatiques.

le calcul de ration en production laitière

Rations hivernales

Nous repartons ici à nouveau avec un niveau de production laitière de 25 litres.

Nous présentons dans un premier temps ce qui a jusqu'à présent été considéré comme une ration «typique» pour vaches laitières: une ration à base d'ensilages d'herbe et de maïs, avec une présence forte du maïs et une complémentation au tourteau de soja. Il s'agit donc d'une ration pour laquelle le niveau de dépendance de l'éleveur au marché mondial est élevé

(importation de tourteau de soja), et qui a un impact environnemental certain (culture du maïs, importation du tourteau de soja). Nous évaluons la qualité de cette ration et présentons, dans un second temps, les corrections à apporter afin qu'elle soit mieux équilibrée, et ce en envisageant les alternatives possibles dans une optique de valorisation des productions locales, d'autonomie protéique et d'impacts environnementaux restreints.

Ration 3: Ration pour vache laitière à 25 litres avec une stratégie de dépendance forte/d'impacts environnementaux élevés

Soit une ration de base pour vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP.

La ration est composée des aliments suivants :

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Ensilage d'herbe préfané n°2	45	810	71	+65
Ensilage de maïs plante entière	32	890	49	-23
Tourteau de soja déshuilé 44	86,6	1 135	260	+193
Orge	87,4	1 130	94	-23
Pulpes séchées	90,2	960	111	-67

Étape n° 1 : cf. *supra*.

le calcul de ration en production laitière

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

Aliments (MS)	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
Ensilage d'herbe n°2	18	45	8,1	6 561	575	+527
Ensilage de maïs	25	32	8,0	7 120	392	-184
TS déshuilé 44	0,8	86,6	0,69	783	179	+133
Orge	1	87,4	0,87	983	82	-20
Pulpes séchées	1,5	90,2	1,35	1 296	150	-90
TOTAL			19,01	16 743	1 378	+366

137

Étape n° 3: Comparer les apports de la ration et les besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	19,01	19,4	-0,39
VEM	16 743	16 697	+46
DVE (g)	1 378	1 361	+17
OEB (g)	+366	Devrait être idéalement < 200-300	OEB légèrement excessif

Étape n° 4: Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée? Non, pas tout à fait. Une critique majeure doit être formulée: l'OEB de la ration est légèrement excessif. À nouveau, il existe un excès d'azote fermentescible au niveau du rumen. Le taux d'urée dans le lait sera donc vraisemblablement au-delà des normes

conseillées. L'éleveur est donc confronté à un risque accru en termes de santé animale, un impact environnemental certain, mais aussi à une perte économique, puisque les protéines végétales achetées (ici le tourteau de soja) ne sont pas intégralement valorisées par l'animal.

le calcul de ration en production laitière

Ration 4: Ration pour vache laitière à 25 litres avec une stratégie de dépendance faible/d’impacts environnementaux modérés

Comment modifier la ration précédente afin d’une part d’assurer un meilleur équilibre entre les besoins et les apports, et d’autre part, d’améliorer

l’autonomie protéique de l’exploitation?
Réexaminons cette ration en substituant le tourteau de soja par d’autres sources de protéines végétales.

La ration de base est calculée à nouveau pour une vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP. Elle est composée des aliments suivants:

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Ensilage d’herbe préfané n°2	45	810	71	+65
Ensilage de maïs plante entière	32	890	49	-23
Foin	86	760	72	-8
Drèches de brasserie	21,9	810	99	+106
Orge	87,4	1 130	94	-23
Pulpes séchées	90,2	960	111	-67

Étape n° 1 : cf. supra.

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

Aliments (MS)	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
Ensilage d’herbe n°2	14	45	6,3	5 103	447	+410
Ensilage de maïs	21	32	6,72	5 981	329	-154
Foin	2	86,0	1,72	1 307	124	-14
Drèches	7	21,9	1,53	1 239	151	+162
Orge	1,5	87,4	1,31	1 480	123	-30
Pulpes séchées	1,7	90,2	1,53	1 469	170	-103
TOTAL			19,11	16 579	1 344	+270

le calcul de ration en production laitière

Étape n° 3: Comparer les apports de la ration et les besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	19,11	19,4	-0,29
VEM	16 579	16 697	-118
DVE (g)	1 344	1 361	-17
OEB (g)	+270	Devrait être idéale- ment < 200-300	OEB acceptable

139

Étape n°4: Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée? Oui, presque. En effet, l'OEB de la ration est acceptable, mais il se rapproche de la limite maximale conseillée. La ration est par ailleurs quasiment équilibrée sur le plan de l'énergie (déficit négligeable de 118 VEM) et des DVE (déficit négligeable de 17 g).

Pour l'éleveur, cette ration est associée à une autonomie protéique et une valorisation de ressources locales plus importantes (substitution du tourteau de soja par des drèches de brasserie), et à un coût moindre (principalement dû à l'absence de tourteau). La présence du foin dans la ration se justifie par la nécessité d'améliorer la fibrosité de celle-ci.

Ration 5: Ration pour vache laitière à 25 litres avec une stratégie de dépendance faible/d'impacts environnementaux réduits

Nous avons évoqué antérieurement les effets néfastes de la culture du maïs sur l'environnement, et envisagé les alternatives possibles.

Examinons donc une ration dans laquelle la part du maïs serait réduite. Nous gardons par ailleurs l'option d'éviter le tourteau de soja.

le calcul de ration en production laitière

La ration de base est calculée à nouveau pour une vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP. Elle est composée des aliments suivants :

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Ensilage d'herbe préfané n°2	45	810	71	+65
Ensilage de maïs plante entière	32	890	49	-23
Ensilage de pulpes surpressées	21	1 010	100	-65
Pois protéagineux	86,3	1 177	114	+73
Orge	87,4	1 130	94	-23
Froment	87,5	1 170	102	-28
Rebulet	87	1 000	75	+37

Étape n° 1 : cf. *supra*.

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

Aliments (MS)	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
Ensilage d'herbe préfané n°2	20	45	9	7 290	639	+585
Ensilage de maïs	12	32	3,84	3 418	188	-88
Ensilage de pulpes surpressées	14	21	2,94	2 969	294	-191
Pois	0,5	86,3	0,43	508	49	+31
Orge	1	87,4	0,87	988	82	-20
Froment	1	87,5	0,88	1 024	89	-25
Rebulet	0,5	87	0,44	435	33	+16
TOTAL			18,4	16 632	1 374	+307

le calcul de ration en production laitière

Étape n° 3 : Comparer les apports de la ration et les besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	18,4	19,4	-1
VEM	16 632	16 697	-65
DVE (g)	1 374	1 361	+13
OEB (g)	+307	Devrait être idéalement < 200-300	OEB légèrement excessif

141

Étape n° 4 : Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée ? Non, pas tout à fait. En effet : l'OEB de la ration est légèrement excessif. Il est toutefois meilleur que celui de la ration 3 (+307 versus +366 g), caractérisée par une forte proportion d'ensilage de maïs et la présence de tourteau de soja. La ration est par ailleurs équilibrée au niveau énergétique (déficit négligeable de 65 VEM) et au niveau du DVE (excès négligeable de 13 g). Pour l'éleveur, cette ration est associée d'une part à une autonomie protéique et une valorisation de ressources locales (substitution du tourteau de soja par des pois protéagineux

notamment), d'autre part, à un coût moindre (principalement dû à l'absence de tourteau) et enfin, à un impact environnemental restreint (utilisation moindre de l'ensilage de maïs). La quantité de concentrés administrée pour cette ration de base est de 3 kg. Il sera donc tout à fait possible, pour les vaches laitières dont la production dépasse 25 litres, d'ajouter un concentré de production, sans augmenter trop la proportion de concentré par rapport aux fourrages, et donc sans trop perturber les fermentations. Nous détaillons ci-dessous cette étape du calcul de ration.

le calcul de ration en production laitière

Étape n° 5 : Administration du concentré de production aux vaches laitières dont la production est > 25 litres.

Soit une vache laitière de 650 kg, produisant 30 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP. À côté de la ration de base présentée ci-dessus, cet animal recevra en plus un concentré de production. Nous choisissons un concentré de production disponible dans le commerce, à 88 % de MS, dosant 18 % de MAT (dans l'aliment frais), et caractérisé par les valeurs nutritionnelles suivantes :

- 960 VEM/kg d'aliment
- 110 g de DVE/kg d'aliment
- 20 g d'OEB/kg d'aliment

D'un point de vue composition, ce concentré de

production contient les aliments suivants : tourteau de tournesol, seigle, orge, avoine, luzerne déshydratée et maïs. Notons que la plupart des concentrés de production commercialisés en Belgique contiennent du tourteau de soja ou de la graine de soja. Comme nous l'avons vu précédemment, il existe pourtant d'autres aliments sources de protéines végétales pouvant se substituer au soja.

À partir des apports de la ration de base et des besoins de l'animal (calculés à partir du tableau 1), nous pouvons calculer les déficits existants :

	Apports <i>via</i> la ration de base	Besoins	Différence
MS (kg)	18,4	20,9	-1,1
VEM	16 632	19 079	-2 447
DVE (g)	1 374	1 639	-265
OEB (g)	+307	Devrait être idéalement < 200-300	-

Sur base des déficits existants (VEM et DVE), nous pouvons calculer la quantité de concentré de production à apporter à cet animal :

Quantité de concentré de production à apporter (kg)	
Sur base du déficit en VEM	$2\,447/960 = 2,55$
Sur base du déficit en DVE	$265/110 = 2,41$

le calcul de ration en production laitière

On peut donc raisonnablement estimer que la quantité de concentré de production à apporter à cette vache laitière produisant 30 litres est de 2,5 kg. Avec cette quantité, on observera un déficit énergétique négligeable (47 VEM) et un excès en DVE négligeable (10 g). L'OEB de la ration

sera quant à lui de +373 g, c'est-à-dire légèrement excessif. Cette quantité de concentré de production, obtenue par calcul, correspond à 1 kg de concentré de production pour deux litres de lait supplémentaires.

Ration 6 : Ration pour vache laitière à 25 litres en agriculture biologique

Voyons à présent le calcul de ration pour une vache laitière produisant 25 litres dans une exploitation bio. Dans ce contexte, la source d'énergie sera l'ensilage de céréales immatures. Le tourteau de soja est par ailleurs remplacé par des sources de protéines végétales pouvant

être produites localement, à savoir le pois protéagineux et le tourteau de tournesol. Soit une ration de base pour vache laitière de 650 kg, produisant 25 litres de lait à 4 % de MG et 3,2 % de TP. La ration est composée des aliments suivants :

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Ensilage d'herbe préfané n°2	45	810	71	65
Avoine entière ensilée au stade pâteux	38,5	891	59	-64
Foin	86	760	72	-8
Pois protéagineux	86,3	1 177	114	73
Tourteau de tournesol expeller	90,0	1 031	105	176
Orge	87,4	1 130	94	-23
Froment	87,5	1 170	102	-28

le calcul de ration en production laitière

Étape n° 1 : cf. *supra*.

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

Aliments (MS)	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
Ensilage d'herbe préfané n°2	20	45	9	7 290	639	+585
Avoine ensilée	12	38,5	4,62	4 116	273	-296
Foin	2	86	1,72	1 307	124	-14
Pois	0,5	86,3	0,43	508	49	+31
Tourteau de tournesol	0,5	90,0	0,45	464	47	+79
Orge	2	87,4	1,75	1 978	165	-40
Froment	1	87,5	0,88	1 024	89	-25
TOTAL			18,85	16 687	1 386	+320

Étape n° 3 : Comparer les apports de la ration et les besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	18,85	19,4	-0,55
VEM	16 687	16 697	-10
DVE (g)	1 386	1 361	+25
OEB (g)	+320	Devrait être idéalement < 200-300	OEB légèrement excessif

Étape n° 4 : Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée ? Non, pas tout à fait. L'OEB de la ration est en effet légèrement excessif. La ration est par ailleurs quasiment équilibrée au niveau énergétique (déficit négligeable de 10 VEM) et au niveau du DVE (excès négligeable de 25 g).

VI.2.2 Rations pour vaches tarées

Les différentes étapes du calcul de ration des vaches tarées sont similaires à celles décrites pour la vache laitière. Il ne s'agit cependant plus ici d'une ration de base, puisqu'aucune complémentation à l'aide d'un concentré de production ne sera réalisée, mais bien de la ration qui sera administrée telle quelle à toutes les vaches tarées au même stade de gestation. Les besoins de la vache gestante sont différents de ceux de la vache en lactation : d'un point de vue quantitatif, les besoins sont moindres (à l'exception des besoins en vitamines A et D). Par contre le tarissement se caractérise par des exigences qualitatives spécifiques. Une vigilance accrue doit par exemple être portée sur l'équilibre des minéraux, et plus particulièrement sur les apports en calcium et en phosphore. Dans ce contexte, différentes recommandations peuvent être formulées pour le tarissement :

- Séparer les vaches tarées des vaches en lactation, afin qu'elles disposent d'un régime spécifique ;
- Garantir un apport fourrager suffisant afin de maintenir le volume du rumen, et ainsi empêcher une chute trop importante de la capacité d'ingestion en vue du démarrage de la lactation ;
- Éviter la suralimentation énergétique, afin de limiter les risques d'embonpoint de la vache et de syndrome de la vache grasse (cf. *infra*) ;
- Contrôler la balance alimentaire cations/anions (BACA) (cf. *infra*) et les apports en calcium et phosphore, afin d'éviter les hypocalcémies lors du part (cf. *infra*).

D'un point de vue pratique, il est par ailleurs souvent recommandé de séparer les vaches tarées en deux groupes, en fonction du stade de gestation (8^e et 9^e mois) et d'administrer des rations spécifiques à chaque groupe. Ainsi, les vaches au 8^e mois recevront une ration essentiellement constituée d'aliments grossiers, alors que les vaches au 9^e mois recevront une ration similaire aux rations des vaches laitières, afin de permettre une adaptation de la flore du rumen. Cette pratique nécessite cependant un troupeau de vaches d'une certaine importance vu la difficulté pratique pour l'éleveur d'établir deux rations différentes.

le calcul de ration en production laitière

Rations au pâturage

Une bonne gestion du tarissement passe par une rentrée des vaches tarées à l'étable. Il est en effet tout à fait déconseillé de laisser les vaches tarées en pâture, et ce, en raison de l'augmentation conséquente de l'incidence des fièvres de lait lors du part.

L'un des facteurs de risques de la fièvre de lait

est en effet l'administration d'une ration alimentaire avec une BACA positive, et l'herbe est précisément un aliment caractérisé par une BACA très positive.

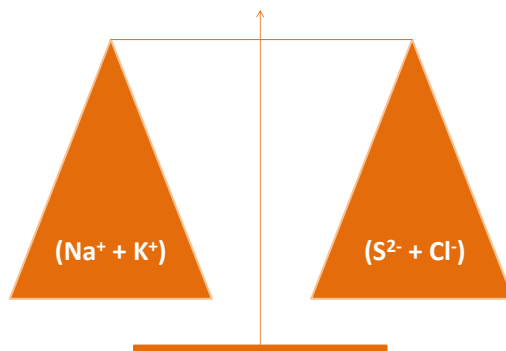
Par conséquent, nous ne présenterons pas ici de ration type pour vaches tarées au pâturage.

Qu'est-ce que la BACA ?

La BACA est un bilan des apports alimentaires en cations²² (sodium, Na⁺ et potassium, K⁺) et en anions²³ (soufre, S²⁻ et chlore, Cl⁻). Schématiquement, elle se calcule de la façon suivante :

$$BACA = (Na^+ + K^+) - (S^{2-} + Cl^-)$$

D'un point de vue pratique, il s'agit donc d'évaluer les apports de tous les aliments en ces différents éléments (sodium et potassium d'un côté, soufre et chlore de l'autre) et de les comparer. La ration se caractérise alors soit par une BACA positive, soit par une BACA négative.



²² Cation : ion à charge positive

²³ Anion : ion à charge négative

En pre-partum, l'administration d'une ration avec BACA positive, c'est-à-dire plus riche en cations qu'en anions, a pour conséquences de diminuer d'une part la mobilisation du calcium au niveau des os, et d'autre part, l'absorption du calcium au niveau intestinal. Ce faisant, au moment du vêlage, l'organisme est incapable de mobiliser rapidement le calcium nécessaire pour faire face aux besoins de la lactation. Le risque de fièvre de lait en post-partum est donc augmenté. L'herbe pâturée étant un aliment généralement riche en potassium, les apports en cations de la ration finale sont très élevés et la BACA est de ce fait positive. Maintenir les vaches tarées au pâturage augmente donc le risque de fièvre de lait. Seul un pâturage sur des prairies fertilisées avec un engrais azoté uniquement est recommandé.

L'administration d'une ration riche en anions (BACA négative) est ainsi conseillée dans les deux à trois semaines qui précèdent le vêlage. En dehors de cette période, l'administration d'une telle ration favoriserait la déminéralisation des os. Des aliments tels que l'ensilage de maïs, le foin de fléole ou de fétuque élevée et le froment possèdent une faible BACA, c'est la raison pour laquelle ils sont souvent conseillés durant la période qui précède le vêlage.

Rations hivernales

Ration 7 : Ration pour vache tarie avec une stratégie de dépendance faible/d'impacts environnementaux modérés

Les besoins en protéines de la vache tarie étant relativement faibles (cf. *infra*), les aliments incorporés dans la ration devront idéalement présenter des teneurs faibles en DVE. Même si une grande variabilité existe, l'ensilage d'herbe, et dans une moindre mesure le foin, possèdent en général des teneurs relativement élevées en DVE. L'ensilage de maïs est par contre généralement pauvre en DVE et est donc moins susceptible de provoquer des excès protéiques. Une

ration dont les fourrages seraient constitués exclusivement d'ensilage de maïs augmenterait toutefois le risque de suralimentation énergétique, surtout si la quantité administrée est supérieure à 15 kg. Nous présentons donc ici une ration contenant à la fois de l'ensilage d'herbe et de l'ensilage de maïs.

Soit une ration pour vache tarie de 650 kg, au 8^e mois de gestation.

le calcul de ration en production laitière

La ration est composée des aliments suivants :

Aliment	MS (%)	VEM (/kg MS)	DVE (g/kg MS)	OEB (g/kg MS)
Ensilage d'herbe préfané n°1	45,4	882	62	+30
Ensilage de maïs	32	890	49	-19
Paille de froment	86	290	3	-30
Orge	87,4	1 130	94	-23
Rebulet	87	1 000	75	37

Étape n° 1 : Evaluer les besoins de l'animal.

Pour évaluer les besoins de l'animal, nous utilisons les formules du tableau 1 :

	Besoins totaux de la vache
MS	$1,4 \times ((650/100) + 2) - 1,5 = 10,4 \text{ kg}$
VEM	$6,45 \times 650 + 1\,265 + 1\,500 = 6\,958 \text{ VEM}$
DVE	$650/10 + 54 + 177 = 296 \text{ g}$
Calcium	$5 \times 650/100 + 15 = 47,5 \text{ g}$
Phosphore	$3 \times 650/100 + 9 = 28,5 \text{ g}$
Sodium	$2 \times 650/100 + 5 = 18 \text{ g}$
Magnésium	$1,6 \times 650/100 + 5 = 15,4 \text{ g}$
Cuivre	8 – 10 ppm
Zinc	50 – 75 ppm
Manganèse	50 – 75 ppm
Vit A	$10\,000 \times 650/100 + 100\,000 = 165\,000 \text{ UI}$
Vit D	$1\,000 \times 650/100 + 10\,000 = 16\,500 \text{ UI}$
Vit E	$30 \times 650/100 + 0 = 195 \text{ UI}$

le calcul de ration en production laitière

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

Aliments (MS)	Quantités distribuées (kg)	Teneur en MS (%)	Apports en MS (kg)	Apports en VEM	Apports en DVE (g)	Apports en OEB (g)
Ensilage d'herbe préfané n°1	5	45	2,25	1 985	140	+68
Ensilage de maïs	7	32	2,24	1 994	110	-43
Paille de froment	5	86	4,3	1 247	13	-129
Orge	0,7	87,4	0,61	689	57	-14
Rebulet	1	87	0,87	870	65	+32
TOTAL			10,27	6 785	385	-86

149

Étape n° 3: Comparer les apports de la ration et les besoins de l'animal.

	Apports	Besoins	Différence
MS (kg)	10,27	10,4	-0,13
VEM	6 785	6 958	-173
DVE (g)	385	296	+89
OEB (g)	-86	Devrait être idéale- ment < 200-300	OEB légèrement trop bas

Étape n° 4: Critique de la ration.

S'agit-il d'une ration correctement équilibrée? Non, pas tout à fait. L'OEB de la ration est en effet légèrement négatif (-86 g) et il est associé à un excès de DVE (+89 g). Lorsque l'OEB est négatif, les micro-organismes du rumen ne disposent pas de

suffisamment d'azote fermentescible par rapport à l'énergie présente pour optimiser la synthèse des protéines microbiennes. Par conséquent, la valeur de DVE obtenue *via* le calcul ci-dessus est surestimée. L'excès de DVE de cette ration doit donc être

le calcul de ration en production laitière

relativisé, puisqu'il est en réalité moindre qu'il n'y paraît. La ration est par ailleurs quasiment équilibrée d'un point de vue énergétique (déficit négligeable de 173 VEM).

À côté de l'équilibre azoté et énergétique de la ration, il convient de réaliser l'équilibre des minéraux et des vitamines. Nous présentons ci-dessous cette ultime étape du calcul de ration.

Étape n° 5 : Équilibre des minéraux et des vitamines.

La démarche consiste à évaluer les apports en minéraux (macroéléments et oligoéléments) et vitamines de la ration actuelle et à les comparer aux besoins de l'animal. Les déficits sont ensuite comblés à l'aide d'un complexe (ou mélange) minéral vitaminé disponible dans le commerce. Commençons par évaluer les apports de la ration. Pour ce faire, nous devons connaître les teneurs en minéraux et vitamines des différents aliments. Ces informations figurent en général sur les feuilles de résultats d'analyse des fourrages et/ou sur les étiquettes des aliments concentrés. Concernant les vitamines, les rations hivernales sont toujours lar-

gement déficitaires en vitamines A, D et E, étant donné les teneurs nulles ou extrêmement faibles des fourrages conservés (ensilages, paille... à l'exception du foin qui contient de la vitamine A) et des concentrés. Nous partons donc du principe que les apports en vitamines sont nuls dans la ration présente, et que celles-ci devront être apportées intégralement par le complexe minéral vitaminé du commerce. Notons qu'un ruminant au pâturage (présence de fourrages verts et de soleil) n'a en général pas besoin d'une complémentation en vitamines liposolubles.

Aliments					
	Ensilage d'herbe n° 1	Ensilage de maïs	Paille	Orge	Rebulet
Macroéléments (g/kg MS)					
Calcium	5,71	2,4	2	0,9	2,3
Phosphore	3,03	2,5	1	4	10,2
Sodium	0,74	0,3	0,1	0,5	0
Magnésium	2,23	1	1	1,2	4,3
Oligoéléments (mg/kg MS)					
Cuivre	8	4	5	4	15
Zinc	45	32	10	24	100
Manganèse	106	30	36	18	125

le calcul de ration en production laitière

Évaluons à présent les apports.

Apports	Aliments					
	Ensilage d'herbe n° 1	Ensilage de maïs	Paille	Orge	Rebulet	TOTAL
MS (kg)	2,25	2,24	4,3	0,61	0,87	10,27
Macroéléments (g)						
Calcium	12,8	5,4	8,6	0,5	2	29,3
Phosphore	6,8	5,6	4,3	2,4	8,9	28
Sodium	1,7	0,7	0,4	0,3	0	3,1
Magnésium	5	2,2	4,3	0,7	3,7	15,9
Oligoéléments (mg)						
Cuivre	18	9	22	2	13	64
Zinc	101	72	43	15	87	318
Manganèse	239	67	155	11	109	581

le calcul de ration en production laitière

Comparons ces apports avec les besoins de l'animal.

Macroéléments (g)	Apports	Besoins	Différence
Calcium	29,3	47,5	-18,2
Phosphore	28	28,5	-0,5
Sodium	3,1	18	-14,9
Magnésium	15,9	15,4	+0,5
Vitamines			
Vitamine A	0	165 000	165 000
Vitamine D	0	16 500	16 500
Vitamine E	0	195	195

Oligoéléments	Apports (mg)	Besoins (ppm ²⁴ ou mg/kg MS de ration)	Apports relatifs (mg/kg MS de ration)
Cuivre	64	8 – 10	64/10,27 = 6,2
Zinc	318	50 – 75	318/10,27 = 31
Manganèse	581	50 – 75	581/10,27 = 57

Nous pouvons constater qu'au niveau des macroéléments, il existe des déficits en calcium et en sodium. Les besoins en phosphore sont quant à eux presque couverts, grâce à l'apport de rebulet dans la ration. Les besoins en magnésium sont couverts. Au niveau des oligoéléments, les teneurs dans la ration sont insuffisantes pour

le cuivre et le zinc. Il existe en outre des déficits en vitamine A, D et E.

Un complexe minéral vitaminé du commerce va être utilisé pour combler les différents déficits. Le choix s'opère en général en se basant sur le déficit en calcium et phosphore. Ainsi, dans le cas présent, puisque nous sommes face à un déficit en

24 Les besoins en oligoéléments sont exprimés en termes de besoins relatifs, et font l'objet de recommandations à suivre quant à la teneur en oligoéléments à atteindre dans la MS de la ration de l'animal. Les besoins en oligoéléments sont donc exprimés en ppm ou en mg/kg de MS ingérée. Ainsi, les besoins en Cu d'une vache laitière de 650 kg produisant 25 L sont de 8 à 10 mg/kg de MS de ration ou 8 à 10 ppm.

le calcul de ration en production laitière

calcium beaucoup plus élevé que celui en phosphore (18,2 g *versus* 0,5 g), nous allons choisir un complexe minéral vitaminé contenant beaucoup plus de calcium que de phosphore. En se référant au tableau 19, nous voyons que le complexe minéral vitaminé le plus adéquat est le mélange minéral 140/60 (140 g de calcium/kg d'aliment et 60 g de phosphore/kg d'aliment). Il est intéressant de remarquer que d'après le fabricant, ce complexe est pourtant préconisé pour les vaches laitières hautes productrices. Ceci montre l'intérêt de réaliser une complémentation en minéraux et en vitamines sur base du calcul des apports de la

ration, et non pas à l'aveugle selon les conseils du fabricant. À noter que le phosphore étant coûteux, l'utilisation d'un complexe minéral vitaminé pauvre en phosphore est dans ce cas-ci à rechercher d'un point de vue économique.

La quantité de complexe minéral vitaminé à administrer est calculée sur base du déficit en calcium : $(1 \text{ kg} \times 18,2 \text{ g}) / 140 \text{ g} = 0,13 \text{ kg}$, soit 130 g de complexe minéral vitaminé.

Les apports totaux dans les différents minéraux et vitamines sont ensuite recalculés et à nouveau comparés aux besoins :

	Apports via les aliments	Apports via 130 g de complexe minéral vitaminé	Total des apports	Besoins	Différence
Macroéléments (g)					
Calcium	29,3	18,2	47,5	47,5	0
Phosphore	28	$0,13 \times 60 = 7,8$	35,8	28,5	+7,3
Sodium	3,1	$0,13 \times 90 = 11,7$	14,8	18	-3,2
Magnésium	15,9	$0,13 \times 45 = 5,9$	21,8	15,4	+6,4
Vitamines					
Vitamine A (UI)	0	$0,13 \times 1\,000\,000 = 130\,000$	130 000	165 000	-35 000
Vitamine D (UI)	0	$0,13 \times 200\,000 = 26\,000$	26 000	16 500	+9 500
Vitamine E (mg)	0	$0,13 \times 3\,500 = 455$	455	195	+260

le calcul de ration en production laitière

Oligo éléments	Apports via les aliments	Apports via 130 g de complexe minéral vitaminé	Total des apports	Besoins (ppm ou mg/kg MS de ration)	Apports relatifs (mg/kg MS de ration)
Cuivre	64	78	142	8 – 10	142/10,27 = 13,8
Zinc	318	520	838	50 – 75	838/10,27 = 82
Manganèse	581	312	893	50 – 75	893/10,27 = 87

154

Comme pour l'équilibre azoté et l'équilibre énergétique, il faut constater que l'équilibre parfait, c'est-à-dire une différence nulle entre les besoins et les apports, est rarement atteint. Il subsiste en effet quasiment toujours soit un déficit, soit un excès au niveau d'un ou de plusieurs éléments. L'équilibre ainsi réalisé est-il acceptable? Oui.

- La ration comporte des excès en phosphore et en magnésium, que nous considérons comme acceptables. Pour le phosphore, la quantité totale administrée (35,8 g) est en effet inférieure à la quantité maximale généralement préconisée (50 g, ou une teneur comprise entre 0,3 et 0,4 % de la MS). Concernant le magnésium, l'absorption étant régulée en fonction des besoins, une grande tolérance existe par rapport aux excès présents dans la ration.
- Un léger déficit en sodium persiste, malgré la présence du complexe minéral vitaminé. Celui-ci sera comblé par la mise à disposition d'une pierre de sel.

- Un déficit en vitamine A persiste également. Afin de ne pas entamer les réserves avant le début de la lactation, nous pourrions choisir d'apporter de la luzerne déshydratée ou du foin en quantité suffisante dans la ration (et adapter en fonction l'étape 2).
- Des excès en vitamines D et E sont présents, mais sont acceptables. Les seuils à partir desquels des excès sont néfastes pour l'animal se situent en effet à 10 000 et 2 000 UI/kg de MS de ration, respectivement. Et les excès enregistrés ici sont de 9 500 UI/10,27 kg MS = 925 UI/kg MS pour la vitamine D, et de 260 UI/10,27 kg MS = 25 UI/kg MS pour la vitamine E.
- Les excès de cuivre, de zinc et de manganèse ne sont quant à eux pas problématiques, étant donné que les apports relatifs de la ration sont très en deçà des seuils de toxicité de ces trois oligoéléments (30, 250 et 1 000 mg/kg de MS, respectivement).

PARTIE VII : Les indicateurs pratiques pour l'évaluation 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.

VII .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 mau-

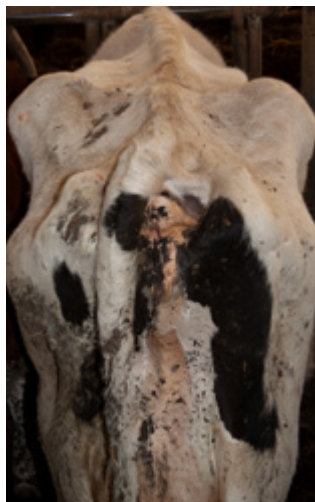
vaise efficacité alimentaire. Repérer ces signes est donc important car cela peut permettre de corriger certaines fautes dans la conduite de l'alimentation de l'animal ou du troupeau.

VII .1.1 La note d'état corporel

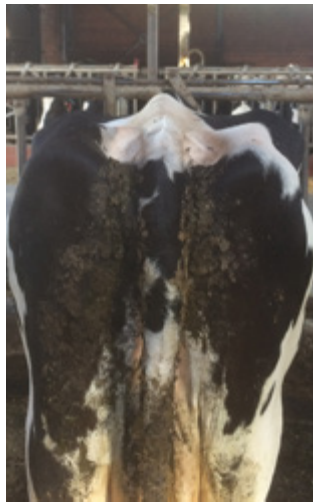
La note (ou score) d'état corporel est une évaluation subjective de la quantité de gras sous-cutané de l'animal : elle diminue lorsque la vache ingère trop peu d'énergie et augmente lorsque la prise énergétique est trop importante. Il s'agit donc d'un indicateur permettant de piloter les apports énergétiques 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 deux 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 (figure 17).

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration



score 1



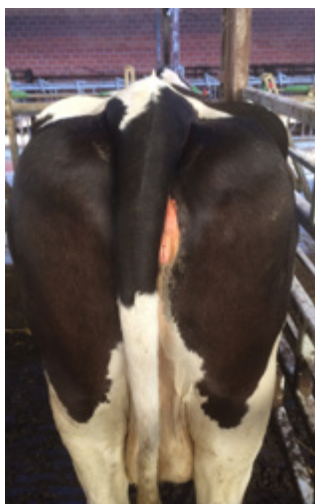
score 2



score 3



score 3,5



score 4



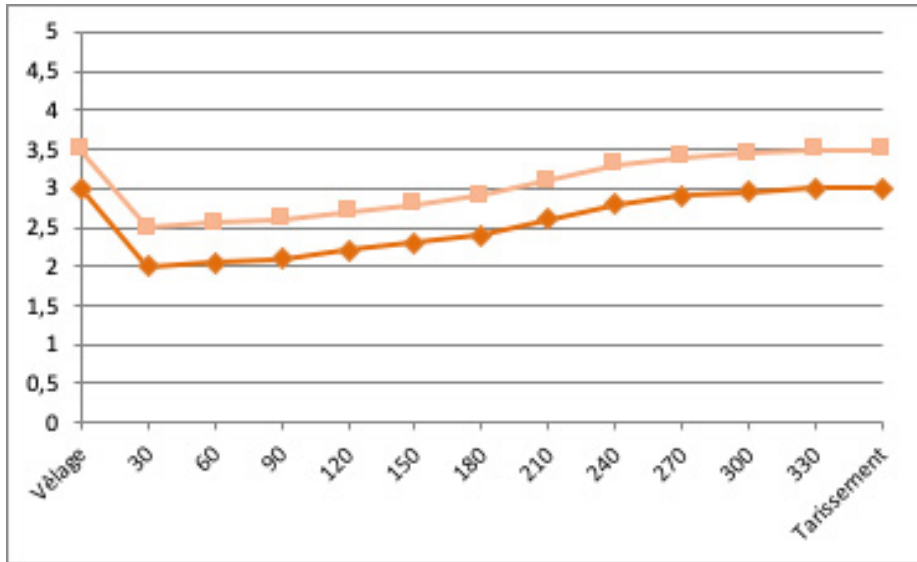
score 5

Figure 17: Note d'état corporel

Au cours d'une lactation, l'état corporel varie (figure 18). Il chute en effet au cours des deux voire des trois premiers mois de lactation, avec une reprise lors de la 2^e 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 un point est relativement inquiétante. Idéalement, la note d'état corporel de tout animal doit se situer entre les deux courbes de la figure 18.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

Figure 18 : Évolution de la note d'état corporel au cours de la lactation
(à partir de Hulsen, 2010)



VII.1.2 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 (figure 19).

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

Figure 19 : Scores de remplissage du rumen (à partir de Hulsen, 2010 d'après Zaaijer et Noordhuizen, 2003)



Score 1

Flanc gauche très creux. Le pli de peau sous la pointe de la hanche tombe verticalement.

La vache n'a pas mangé ou a peu mangé.



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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration



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.

VII.1.3 La rumination

Le temps de rumination est un indicateur de la fibrosité de la ration. Il doit être au moins égal à environ huit 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 % deux heures après l'affouragement. Si on observe des valeurs inférieures, la ration manque alors de fibrosité.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

VII.1.4 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.

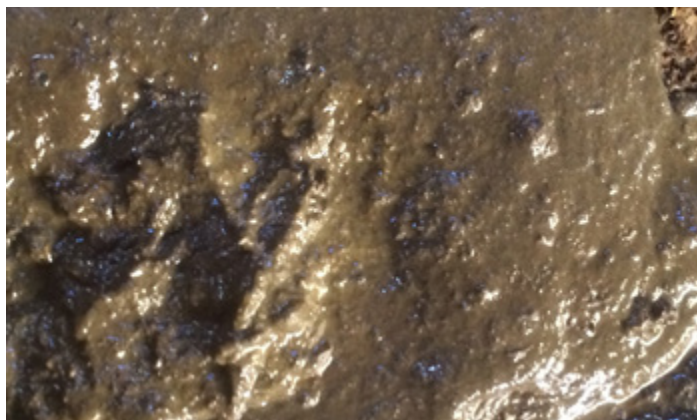
À l'échelle individuelle, l'éleveur peut évaluer la fraction fécale non digérée. Cette méthode consiste à recueillir les matières fécales fraîches de l'animal et à réaliser une inspection visuelle et

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 (figure 20), 1 correspondant à des matières fécales dans laquelle aucun élément non digéré n'est visible, et 5, à des matières fécales au sein desquelles des éléments non digérés sont facilement reconnaissables.

Plus d'infos sur :

<https://thescipub.com/pdf/ajavsp.2016.33.40.pdf>

Figure 20 : Fraction fécale non digérée



Score 1

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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration



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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

À 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.

162

Figure 21 : Consistance des matières fécales (à partir de Hulsen, 2010 d'après Zaaijer et Noordhuizen, 2003)



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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration



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 tarées et les génisses pleines, mais reflètent une ration déséquilibrée qui doit être revue.

VII.1.5 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^{ère}, 2^e ou 3^e 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.

VII.1.6 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, trois pathologies que nous détaillerons plus loin.

VII.2 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 la base de ces trois 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 %	Carence énergétique
TP	Carence énergétique ; carence en protéines ; carence en AA limitants (lysine, méthionine)	3,1-3,4 %	Plafond génétique

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

VII.2.1 L'urée du lait

Rappelons que l'urée est synthétisée dans le foie principalement à partir de l'ammoniaque 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, 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

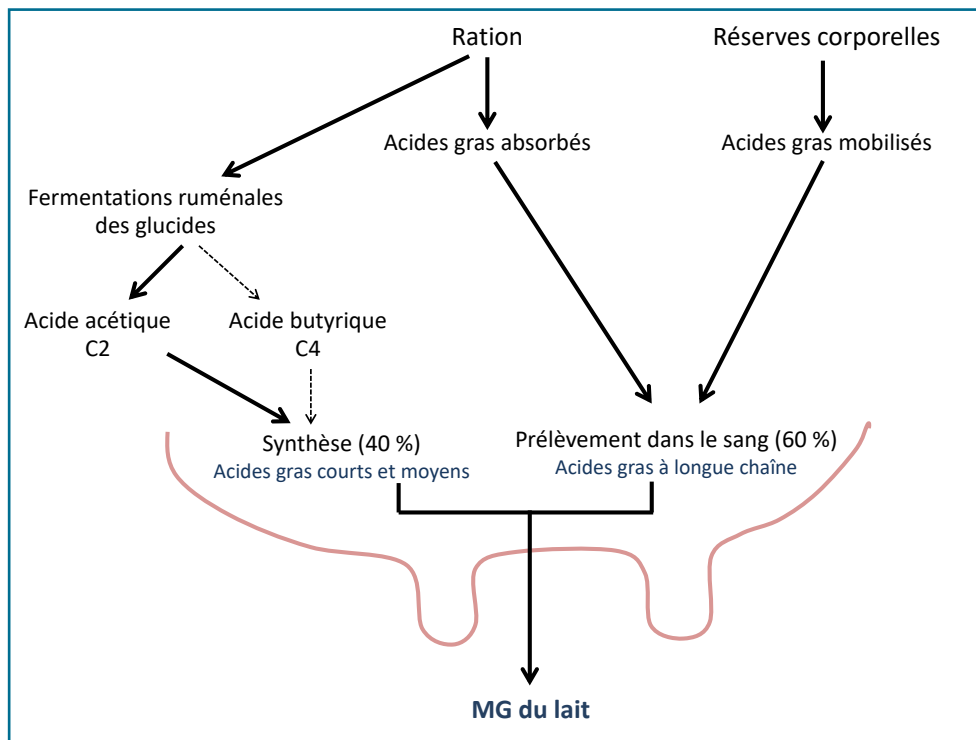
bien comme un indicateur, dont l'interprétation doit être contextualisée.

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 élevés. 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, deux 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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

VII.2.2 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 (figure 22).



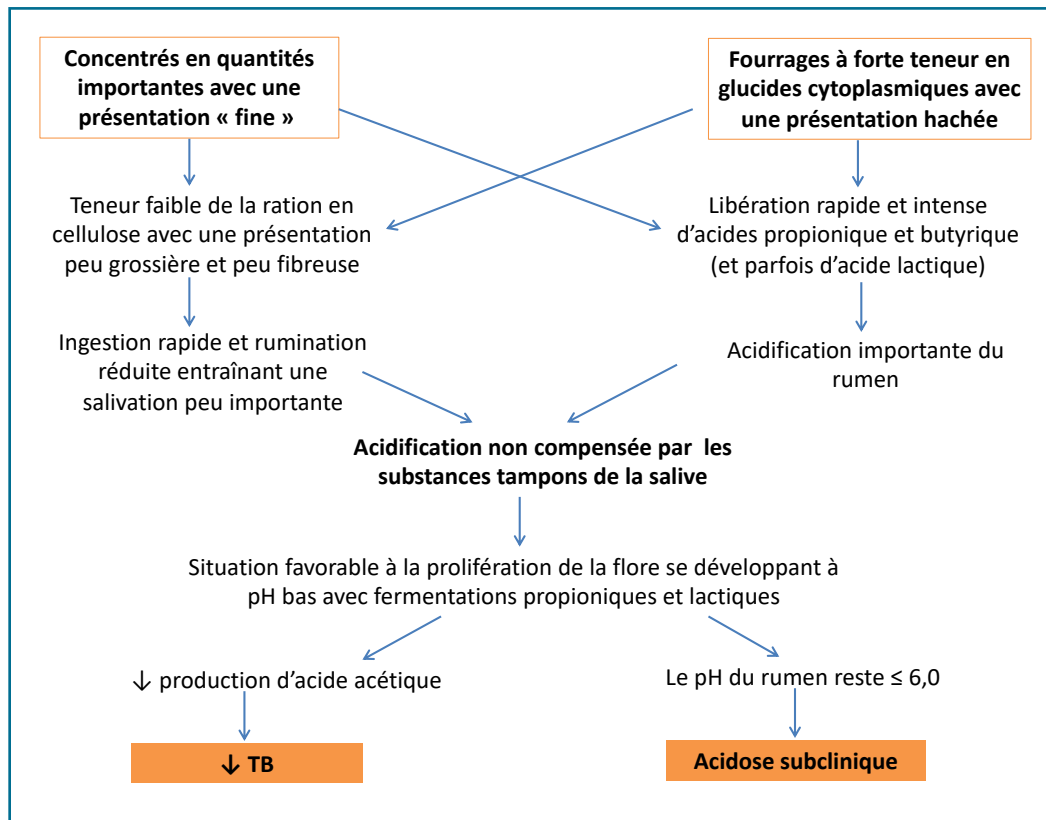
Le TB du lait varie en général chez une Holstein entre 3,5 et 4,2 %. Il peut être influencé par l'alimentation. Ainsi, la proportion de concentrés,

la fibrosité de la ration, le niveau énergétique de la ration et le niveau d'apport des lipides alimentaires peuvent moduler le taux en MG.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

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 ruménale – excès de concentrés et manque de fibrosité – sont responsable d'une chute du TB dans le lait (figure 23).



25. Le niveau seuil de pH confirmant un état d'acidose subclinique dépend de la méthode de détermination du pH ruménal. Lors de prélèvement du jus de rumen par sonde oropharyngienne, le seuil est fixé à pH 6,0. Lors de ruminocentèse, ce seuil est fixé à 5,5.

168 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 (figure 22), 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 ruménal, qui elle-même, entraîne une diminution des fermentations acétiques au profit des fermentations propioniques.

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.

La finesse de hachage des fourrages a également un effet sur la fibrosité de la ration, et donc sur le risque d'acidose ruménale 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 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 ruménal 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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

Tableau 21 : Proportions recommandées des différents types de fibres dans l'ensilage de maïs et l'ensilage d'herbe

Aliment	% de fibres > 19 mm	% de fibres entre 19 et 8 mm	% de fibres entre 8 et 1,2 mm	% de fibres < 1,2 mm
Ensilage de maïs	5 - 15	45 - 65	30 - 40	< 5
Ensilage d'herbe	15 - 25	35 - 45	25 - 40	< 5

La longueur des fibres peut être évaluée via l'utilisation d'un séparateur de particules (figure 24), muni de deux ou trois tamis à mailles de diamètre décroissant : 19 mm, 8 mm et 1,2 mm.

Figure 24 : Séparateur de particules muni de deux 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.

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

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)
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» ²⁶) 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.

À 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 ruménale d'acide butyrique, ce qui a pour effet d'augmenter le TB du lait (figure 22).

26. NDF: Neutral Detergent Fiber

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.

VII.2.3 Le taux protéique

Le TP du lait se situe en général entre 3,1 et 3,4 %. L'alimentation peut moduler ce taux. On considère qu'un taux < 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.

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 micro-organismes 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

les indicateurs pratiques pour l'évaluation de la ration

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 lu-

pin 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.

PARTIE VIII : Les principales pathologies d'origine nutritionnelle

VIII.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.

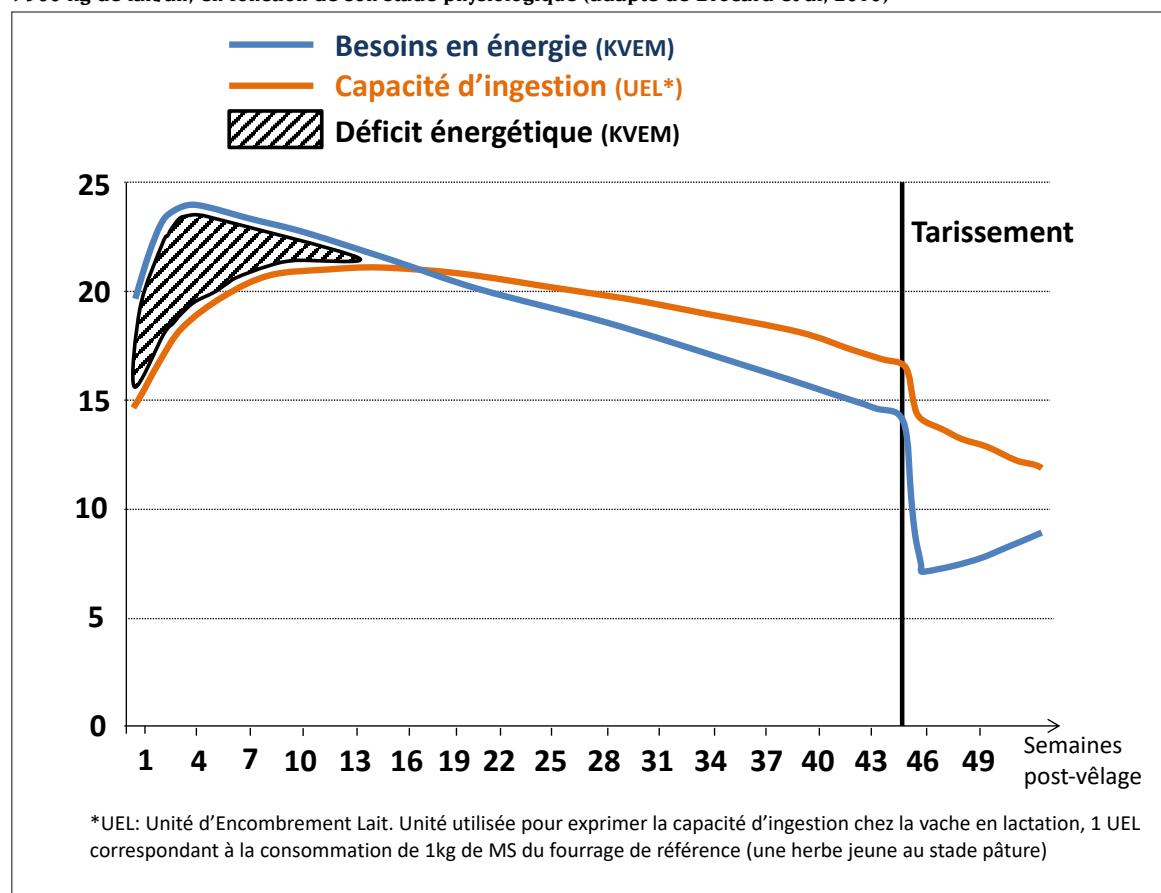
Notons que la fièvre de lait a des conséquences importantes sur la santé animale et la reproduction. Elle est en effet souvent associée à des difficultés au vêlage, une rétention placentaire, une métrite, et un retard d'involution utérine. Indirectement, elle augmente également le risque de certaines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

les principales pathologies d'origine nutritionnelle

VIII.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 (figure 25).

Figure 25 : Evolution des besoins énergétiques et de la capacité d'ingestion d'une vache laitière multipare produisant 9500 kg de lait/an, en fonction de son stade physiologique (adapté de Brocard et al, 2010)



les principales pathologies d'origine nutritionnelle

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 (figure 18). 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^e et la 6^e semaine après le vêlage, et les animaux atteints présentent une note d'état corporel plutôt faible.

L'acétonémie, lorsqu'elle est liée à une ration déficitaire en énergie, est dite « primaire ». Elle peut également être « secondaire », lorsqu'elle est consécutive à une autre pathologie (fièvre de lait, mammite, métrite...) entraînant une

baisse des ingestions alimentaires de l'animal. Notons enfin qu'il existe une forme particulière d'acétonémie, qui touche les vaches présentant un état d'embonpoint marqué en fin de gestation (note d'état corporel > 4, en général), et qui apparaît le plus souvent dans les deux premières semaines après le vêlage. Chez ces vaches « grasses », la mobilisation des graisses corporelles est telle qu'elle provoque une surcharge graisseuse du foie.

VIII.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 ruminal acidosis*), 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 (figure 25). Dans ce contexte, l'administration de quantités importantes de concentrés riches en énergie (tels que les céréales, qui contiennent une part importante d'amidon²⁷)

27. Certaines variétés de céréales sont plus acidogènes que d'autres. Ceci est lié à leur teneur en amidon, qui peut 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.

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 ruménal, 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 la paroi ruménale. 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 quatre à cinq 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 10^e et la 14^e 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. À 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 eux (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 ruménal 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.

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

AGENCE WALLONNE DE L'ÉLEVAGE. *Le pâturage court : du concentré d'herbe*. Wallonie Élevages, 2012, n°6, pp 5-6.

ARVALIS – INSTITUT DU VÉGÉTAL. Récolte et conservation de l'herbe. Comment ça marche? [En ligne]. http://www.afpf-asso.fr/files/fichiers/Recolte_conservation_herbe.pdf.

BARONE R. *Anatomie comparée des mammifères domestiques*. Tome 3. *Splanchnologie I*. 2^e édition. Édition Vigot : Paris, 1984, 879 pages.

BECKERS Y. Les produits du maïs fourrage : comment les réfléchir dans les rations des bovins? [En ligne]. Centre Indépendant de Promotion Fourragère, 2011 : <http://www.cipf.be/fr/files/maisration.pdf>.

BECKERS Y. Les aspects nutritionnels de la betterave fourragère et son intégration dans les rations de ruminants [En ligne]. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/122663/1/Betteraves%20fourrag%C3%A8res.pdf>;

BROCARD V, BRUNSCHWIG P, LEGARTO J, PACCARD P, ROUILLE B, BASTIEN D, LECLERC M-C. *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. La complémentation azotée des régimes pour vaches laitières [En ligne]. Institut de l'élevage, 2000 : <http://idele.fr/domaines-techniques/produire-et-transformer-de-la-viande/alimentation/publication/idelesolr/recommends/la-complementation-azotee-des-regimes-pour-vaches-laitieres.html>.

BUYSSE FX, DE BRABANDER DL, AERTS JV. *Een nieuw netto-energiesysteem voor melkvee in België*. *Landbouwtijdschrift*, 1977, 6, 1437-1462.

CARROUEE B. *Les protéagineux : intérêt dans les systèmes de production fourragers français et européens*. Fourrages, 2003, 174, 163-182.

CAUTY I, PERREAU JM. *La conduite du troupeau laitier*. Éditions France Agricole, 2003, 288 p.

CENTRE INDEPENDANT DE PROMOTION FOURRAGERE. Valorisation du maïs fourrage. Comparaison de cinq types de récoltes [En ligne]. 2010. <http://www.cipf.be/fr/files/typesrecoltes.pdf>.

CHENAIS F, LE GALL A, LEGARTO J, KEROUANTON J. *Place du maïs et de la prairie dans les systèmes fourragers laitiers*. I- *L'ensilage de maïs dans le système d'alimentation*. Fourrages, 1997, 150, 123-136.

CONSEIL QUÉBÉCOIS DES PLANTES FOURRAGÈRES. Guide sur la production de foin de commerce [En ligne]. <http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/documents/guide%20foin%20corr.pdf>.

CONTE A. *Faites la chasse au gaspillage d'eau*. Réussir Lait, 2012, 260, 28.

CONTE A. *Enfin des références sur les consommations d'eau des bovins*. Réussir Lait, 2012, 260, 29.

CREMER S, KNODEN D. Influence du stade de développement des plantes sur la qualité des fourrages récoltés [En ligne]. Fourrages Mieux: http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/12_03_06_FT_Stade_de_fauche.pdf.

CREMER S, KNODEN D, VANDER VENNET D, LAMBERT R. Qualité des ensilages d'herbe en 2011 en province de Luxembourg [En ligne]. Fourrages Mieux: http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/12_05_09_Qualite_des_fourrages_2011.pdf.

DE BRABANDER D, DE BOEVER J. Valeur nutritive de sous-produits du bioéthanol [En ligne]. 2009. http://www.cra.wallonie.be/img/page/pubtech/proteine2009/Daniel_De_Brabander.pdf.

DE BRABANDER D, DE CAMPENEERE S, RYCKAERT I, ANTHONISSEN A. Melkveevoeding [En ligne]. Adresse URL: <http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=571>.

DECRUYENAERE V, BELGE C. Prairies pâturées. Les règles d'or pour une bonne conduite. Wallonie Élevages, 2006, n°3, pp 43-46.

bibliographie et références

DECRUYENAERE V, FROIDMONT E, SAIVE P, RONDIA P, BARTIAUX-THILL N, STILMANT D. Valorisation des co-produits de la pomme de terre en production animale [En ligne]. Journée d'étude Pomme de terre - CRA-W Gembloux, 23/11/2005. http://www.cra.wallonie.be/img/page/pubtech/pdt2005/CRA-W_pdt2005_decreyeneare.pdf.

DEFrance P, DELABY L, SEURET JM. Mieux connaître la densité de l'herbe pour calculer la croissance, la biomasse d'une parcelle et le stock d'herbe disponible d'une exploitation. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 2004, 11, 291-294.

DELABY L, POMIES D. Intérêt d'un apport de concentré ou de foin chez les vaches laitières au pâturage en zone de demi-montagne. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 2004, 11, 300.

DELABY L, PEYRAUD JL, DELAGARDE R. Faut-il compléter les vaches laitières au pâturage? INRA Productions Animales, 2003, 16, 183-195.

DEPREZ B, PARMENTIER R, LAMBERT R, PEETERS A. Les prairies temporaires: une culture durable pour les exploitations mixtes de la Moyenne-Belgique [En ligne]. Les Dossiers de la Recherche agricole n°2. Ministère de la Région wallonne, 2007: http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/dossierrecherche2.pdf.

DROGOUL C, GADOUD R, JOSEPH MM, JUSSIAU R, LISBERNEY MJ, MANGEOL B, MONTMEAS L, TARRIT A. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Tome 1, 2^e édition. Educagri Éditions: Dijon, 2004, 270 pages.

DUFFIELD T, PLAIZIER JC, FAIRFIELD A, BAGG R, VESSIE G, DICK P, WILSON J, ARAMINI J, MCBRIDE B. Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 2004, 87, 59-66.

DUFRASNE I, ISTASSE L, LAMBERT R, ROBAYE V, HORNICK JL. *Étude des facteurs environnementaux influençant la teneur en urée dans le lait de vache en Wallonie*. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 2010, 14, 59-66.

bibliographie et références

FAVERDIN P, DELAGARDE R, DELABY L. *Prévision de l'ingestion des vaches laitières au cours de la lactation*. Rencontres Recherches Ruminants, 2006, 13, 85-88.

FEEDIPEDIA [En ligne]. 2012. <http://www.feedipedia.org/node/710>.

FEED2GAIN [En ligne]. 2010. <http://www.feed2gain.com/french.htm>.

FOURRAGES-MIEUX. La betterave fourragère chez vous? [En ligne]. Après-midi d'étude du 03/12/2003 consacrée à la betterave fourragère organisée par le Centre Agricole « Fourrages-Mieux » à la ferme Expérimentale et pédagogique de Ath. http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/FasciculeBetteraveFouragere.pdf.

FRAND X, FROIDMONT E, BARTIAUX-THILL N, DECRUYENAERE V, VAN REUSEL A, FABRY J. *Utilization of milk urea concentration as a tool to evaluate dairy herd management*. Animal Research, 2003, 52, 543-551.

FROIDMONT E, CARTRYSSSE C, DECRUYENAERE V. *Plus d'autonomie en protéines végétales. Les protéagineux : avantages et possibilités*. Wallonie Élevages, 2006, n°5, 47-49.

GEZONDHEIDSDIENST VOOR DIEREN BV. Welzijnswijzer melkvee. Beoordelen en verbeteren in de praktijk. [En ligne]. <http://www.wageningenur.nl/nl/show/Welzijnswijzer-Melkvee.htm>.

HULSEN J. *Signes de vaches. Connaître, observer et interpréter*. Roodbont Éditions, 2010, 96 p.

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE. Fiche n°9 – Coproduits de la betterave. Pulpe de betterave surpressée [En ligne]. Institut de l'Élevage, 2012 : <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/pulpes-de-betterave-surpressee.html>.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux – Valeur des aliments*. Tables Inra 2007, mise à jour 2010. Éditions Quæ, 2010, 311 p.

JARRIGE R, RUCKEBUSCH Y, DEMARQUILLY C, FARCE MH, JOURNET M. *Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion*. INRA Éditions : Paris, 1995, 921 pages.

bibliographie et références

JOUANY JP. *Les fermentations dans le rumen et leur optimisation*. INRA Productions animales, 1994, 7, 207-225.

KAUFMAN W, HAGEMEISTER H, DIRKSEN G. *Adaptation to changes in dietary composition level and frequency of feeding*. In : *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*, Y Ruckebusch and P Thivend (eds). MTP Press Ltd : Lancaster, 1980, pp. 587-602.

KNODEN D. Les alternatives offertes par les légumineuses [En ligne]. Acte de la journée « Fourrages actualités » du 20/09/2007. http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Les_alternatives_offertes_par_les_legumineuses.pdf.

KNODEN D. Les cultures fourragères complémentaires : la luzerne, les céréales immatures et la betterave fourragère [En ligne]. Conférence du 26/11/2009. <http://agriculture.wallonie.be/BG/091216HCh2DKnodenCoul.pdf>.

KNODEN D. Le séchage du foin en grange : principes de base [En ligne]. 2009. http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Le_sechage_du_foin_en_grange.pdf.

KNODEN D, CREMER S. La mise à l'herbe des animaux : une période à ne pas rater ! [En ligne]. 2008. http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Mise_a_l_herbe_def_26_02_08.pdf.

LEGRAND G. Le bon usage de la pulpe surpressée [En ligne]. 2005. Institut Royal Belge pour l'Amélioration de la Betterave. http://www.irbab-kbivb.be/fr/publications/overview/technical_guides/GuidePulpe.pdf.

LESSIRE F. *Le Protiwanze®, une alternative économique aux tourteaux de soja et de colza dans l'alimentation des vaches laitières*. Wallonie Élevages, 2012, 12, 36-39.

LESSIRE F, ROLLIN F. *L'acidose subaigüe du rumen : une pathologie encore méconnue*. Annales de Médecine Vétérinaire, sous presse.

LUXEN P, KNODEN D, STILMANT D, SEUTIN Y. Les céréales immatures : une source d'énergie alternative pour les ruminants dans les zones limitantes pour la culture de maïs [En ligne]. 2004. http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Livre_blanc_04.pdf.

MOREL D'ARLEUX F, MARECHAL M, SAMSON R, DE MONTIGNY A, LEBRUN JM, RATIER F. *Utilisation des pommes de terre par les vaches laitières*. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 1996, 3, 110.

MOREL D'ARLEUX F. Les coproduits de l'industrie de la pomme de terre : une solution intéressante pour l'alimentation des ruminants [En ligne]. 2001. <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/les-coproduits-de-lindustrie-de-la-pomme-de-terre-une-solution-interessante-pour-lalimentation.html>.

MULLER P. Les bases de l'alimentation des ruminants [En ligne]. Dossier documentaire : L'alimentation des animaux. Document 4. Adresse URL : http://assises.educagri.fr/fileadmin/user_upload/pdf_cnpr/09Z3_4.pdf.

PEYRAUD JL. Le pâturage des vaches laitières : comment tirer parti d'un fourrage équilibré pour assurer de bonnes performances dans des systèmes autonomes en intrants [En ligne]. 2010. http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/documents/Peyraud_JL_AR.pdf.

PEYRAUD JL, APPER-BOSSARD E. *L'acidose latente chez la vache laitière*. INRA Productions animales, 2006, 19 (2), 79-92.

PEYRAUD JL, DELAGARDE R. *Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing*. Animal, 2013, 7: s1, 57-67.

PONCET C, REMOND, LEPAGE E, DOREAU M. *Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants*. Fourrages, 2003, 174, 205-229.

ROLLIN F. Recommandations pratiques pour les apports en minéraux et vitamines chez la vache laitière en tarissement et en début de lactation [En ligne]. <http://agriculture.wallonie.be/BG/1212115RollinMinerauxVitamines.pdf>.

bibliographie et références

ROUILLE B. Utilisation des drêches de distillerie de blé dans l'alimentation des vaches laitières. Résultats d'expérimentation [En ligne]. Institut de l'Elevage, 2011 : <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/utilisation-de-dreches-de-distillerie-de-ble-dans-lalimentation-des-vaches-laitieres.html>.

SAUVANT D, GIGER-REVERDIN S, MESCHY F. *Le contrôle de l'acidose ruminale latente*. INRA Productions Animales, 2006, 19, 69-78.

STILMANT D, SEUTIN Y, KNODEN D, LUXEN P, NIHOUL Ph. *Les céréales immatures, une source d'énergie alternative pour les ruminants dans des zones peu aptes à la culture du maïs*. Les Livrets de l'Agriculture, 2005, n°10.

TAMMINGA S, BRANDSMA GG, DIJKSTRA J, VAN DUINKERKEN G, VAN VUUREN AM, BLOK MC. *Protein evaluation for ruminants : the DVE/OEB 2007 system*. CVB documentation report nr. 53, 2007.

VAN DER HONING Y, ALDERMAN G. *Livestock resources and feed evaluation in Europe. Present situation and future prospects*. III. Ruminants. Livestock Production Science, 1988, 19, 217-278.

VAN DUINKERKEN G, BLOK MC, BANNINK A, CONE JW, DIJKSTRA J, VAN VUUREN AM, TAMMINGA S. *Update of the Dutch protein evaluation system for ruminants : the DVE/OEB2010 system*. *Journal of Agricultural Science*, 2011, 149, 351-367.

VERMOREL M, COULON JB. *Alimentation des vaches laitières : comparaison des systèmes d'alimentation énergétique*. INRA Productions Animales, 1992, 5, 289-298.

WOLTER R. *Alimentation de la vache laitière*. 3^e édition. Éditions France Agricole, 1997, 263 p.

ZAAIJER D, NOORDHUIZEN JPTM. *A novel scoring system for monitoring the relationship between nutritional efficiency and fertility in dairy cows*. *Irish Veterinary Journal*, 2003, 56, 145-151.

tableau de composition des aliments

ANNEXE 1: TABLEAU DE COMPOSITION DES ALIMENTS (DONNÉES À TITRE INDICATIF)

Nom Unités	MS %	MAT g/MS	Fibres g/MS	MG g/ MS	Ca g/ MS	P g/ MS	Na g/ MS	Mg g/ MS	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	VitA UI	SS	Am.	Pec.	(hémi-) cell	KVEM	DVE g/ MS	OEB g/ MS
I. Aliments grossiers humides																			
a. Aliments en vert																			
Prairies																			
Herbe 1 ^{er} cycle tallage	16	210	215	30	7,5	4,5	2,0	2	6	36	148	20000	++	0	0	+	0,980	100	41
Herbe 1 ^{er} cycle début épiaison	17	149	272	30	6,5	3,5	2,0	2	6	36	148	20000	++	0	0	+	0,860	81	8
Herbe 1 ^{er} cycle floraison	19	92	335	30	5,5	3,0	2,0	2	7	31	89	20000	++	0	0	+	0,680	57	-14
Herbe 2 ^e cycle	20	170	272	30	7,5	3,5	2,0	2	6	26	108	20000	++	0	0	+	0,810	84	23
Herbe 3 ^e cycle	17	179	248	30	6,5	4,0	2,0	2	6	26	107	20000	++	0	0	+	0,850	87	28
Graminées																			
Ray-gras anglais début épiaison	16	142	239	30	5,5	3,5	2,4	2	4	20	74	20000	++	0	0	+	0,910	84	-3
Fléole	19	92	346	30	3,5	2,5	1,4	1	4	25	60	20000	++	0	0	+	0,750	63	-23
Dactyle	16	159	256	30	3,0	2,5	1,1	2	6	23	105	20000	++	0	0	+	0,840	82	16
Fétuque élevée	20	129	269	30	3,5	3,0	1,0	2	5	21	78	20000	++	0	0	+	0,740	70	5
Brome	18	127	278	30	4,5	4,5	1,5	2	7	23	40	20000	++	0	0	+	0,860	77	-8
Seigle	14	140	270	30	4,5	3,5	0,3	2	7	22	87	20000	++	0	0	+	0,840	79	2
Mais	18	99	227	30	5,5	3,5	0,3	2	4	32	30	20000	++	0	0	+	0,840	72	-27
Légumineuses																		0,000	
Luzerne	18	193	299	30	16,5	3,0	2,0	2	8	25	36	20000	++	0	0	+	0,750	81	48
Trèfle violet	14	180	232	30	13,0	3,0	1,7	3	9	29	35	20000	++	0	0	+	0,860	87	30
Trèfle blanc	11	229	214	30	13,0	2,5	1,7	3	9	30	31	20000	++	0	0	+	1,000	103	55
Racines-tubercules																			
Betterave sucrière	26	38	58	14	2,0	1,5	2,0	2	6	17	17	0	+++	0	+++	0	0,940	63	-80
Betterave fourragère	15	67	73	14	2,0	1,5	3,6	2	8	25	30	0	+++	0	+++	0	0,890	69	-61
Pommes de terre	21	119	26	4	0,5	2,0	1,0	1	7	13	6	0	-	+++		0	1,160	49	19
b. Autres aliments humides dérivés																			
Drêches de brasserie	22	269	150	86	3,3	5,7	1,7	1	23	96	41	0	-	0	0	+	0,810	99	106

tableau de composition des aliments

Nom Unités	MS %	MAT g/MS	Fibres g/MS	MG g/ MS	Ca g/ MS	P g/ MS	Na g/ MS	Mg g/ MS	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	VitA UI	SS	Am.	Pec.	(hémi-) cell	KVEM	DVE g/ MS	OEB g/ MS
II. Aliments grossiers secs																			
a. Foins																			
Foin prairie permanente 1 ^{er} cycle épiaison	85	122	310	30	6,4	3,1	1,3	2	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,700	74	-11
Foin prairie permanente regain	85	144	295	30	8,0	3,5	1,8	3	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,770	81	3
Foin de dactyle	85	93	341	30	3,0	2,5	1,6	2	15	18	160	4000	++	0	0	++	0,630	59	-17
Foin de luzerne	85	163	385	30	15,3	2,4	1,5	2	7	25	29	4000	++	0	0	++	0,600	76	27
Foin de trèfle	85	166	296	30	12,3	2,4	1,0	3	7	21	63	4000	++	0	0	++	0,640	91	19
Foin de prairie excellent	86	180	230	35	5,6	3,4	1,9	1	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,880	94	9
Foin de prairie très bon	86	160	260	35	4,7	3,2	1,8	1	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,820	83	0
Foin de prairie bon	86	140	290	35	4,7	3,2	1,8	1	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,760	72	-8
Foin de prairie satisfaisant	86	120	320	35	4,7	3,2	1,8	1	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,700	60	-16
Foin de prairie médiocre	86	100	350	35	4,7	3,2	1,8	1	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,640	48	-23
Foin de regain excellent	86	180	220	35	6,3	4,0	2,1	2	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,880	100	2
Foin de regain très bon	86	160	250	35	6,3	4,0	2,1	2	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,820	88	-6
Foin de regain bon	86	140	280	35	6,3	4,0	2,1	2	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,760	76	-14
Foin de regain satisfaisant	86	120	310	35	6,3	4,0	2,1	2	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,700	64	-20
Foin de regain médiocre	86	100	340	35	6,3	4,0	2,1	2	5	29	158	4000	++	0	0	++	0,630	51	-26
b. Pailles																			
Paille froment	86	41	420	17	2,0	1,0	0,1	1	5	10	36	0	-	0	0	++++	0,290	3	-30
c. Autres																			
Luzerne déshydratée	91	176	330	33	17,0	2,5	1,2	2	9	65	67	20000	++	0	0	+	0,670	81	25

Les teneurs en vitamine A peuvent être très variables en fonction du stade de maturité de la plante, de la saison et, pour les foins, des modalités de fanage.

tableau de composition des aliments

Nom Unités	MS %	MAT g/MS	Fibres g/MS	MG g/ MS	Ca g/ MS	P g/ MS	Na g/ MS	Mg g/ MS	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	VitA UI	SS	Am.	Pec.	(hémi-) cell	KVEM	DVE g/ MS	OEB g/ MS
III. Aliments grossiers ensilés																			
a. Ensilages d'herbe																			
Ensilage d'herbe correctement préfané	40	200	320	40	6,5	3,5	1,9	2	8	37	103	0	0	0	0	++	0,900	73	56
Ensilage d'herbe peu préfané	30	200	320	40	6,5	3,0	1,9	2	8	45	106	0	0	0	0	++	0,910	67	69
Ensilage d'herbe non préfané	20	200	320	40	6,5	3,0	1,8	2	9	34	108	0	0	0	0	++	0,910	60	71
Ensilage herbe préfané excellent	45	223	220	40	6,2	4,1	2,7	2	8	37	103	0	0	0	0	++	0,880	80	71
Ensilage herbe préfané très bon	45	209	240	40	6,2	4,1	2,7	2	8	37	103	0	0	0	0	++	0,810	71	65
Ensilage herbe préfané bon	45	192	260	40	6,2	4,1	2,7	2	8	45	106	0	0	0	0	++	0,750	62	57
Ensilage herbe préfané satisfaisant	45	175	280	40	6,2	4,1	2,7	2	9	34	108	0	0	0	0	++	0,680	53	48
Ensilage herbe préfané médiocre	45	159	300	40	6,2	4,1	2,7	2	9	34	108	0	0	0	0	++	0,630	44	41
b. Ensilage de maïs																			
Plante entière	32	87	250	51	2,4	2,5	0,3	1	4	32	30	0	0	+++	0	++	0,890	49	-23
c. Ensilages de dérivés de betterave																			
Ensilage de pulpes humide de betteraves	12	105	202	31	8,4	0,9	0,9	2	5	21	57	0	0	0	+++	0	0,920	101	-66
Ensilage de pulpes surpressées	21	108	206	12	8,9	0,9	1,0	2	15	15	76	0	0	0	+++	+++	1,010	100	-65
IV. Aliments concentrés moins riches en protéines : céréales, dérivés de céréales et de betteraves																			
a. Céréales																			
Froment	88	123	28	18	0,7	3,7	0,5	1	4	33	34	0	0	++++	0	-	1,170	102	-28
Épeautre	88	130	180	16	0,8	4,0	0,6	2	7	80	40	0	0	++++	0	+	0,940	86	-12
Seigle	87	111	29	20	0,7	4,4	0,3	1	5	30	50	0	0	++++	0	-	1,150	83	-26
Orge-escourgeon	87	124	54	21	0,9	4,0	0,5	1	4	24	18	0	0	++++	0	-	1,130	94	-23
Triticale	87	141	33	17	0,5	4,6	0,2	1	5	50	53	0	0	++++	0	-	1,170	95	-8
Maïs	87	105	27	46	0,3	3,5	0,6	1	2	21	11	0	0	++++	0	-	1,230	98	-30
Avoine	89	107	115	48	0,9	3,8	0,7	2	4	26	38	0	0	++++	0	+	0,970	58	-7

tableau de composition des aliments

Nom Unités	MS %	MAT g/MS	Fibres g/MS	MG g/ MS	Ca g/ MS	P g/MS	Na g/ MS	Mg g/ MS	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	VitA UI	SS	Am.	Pec.	(hémi-) cell	KVEM	DVE g/ MS	OEB g/ MS
b. Co-produits de céréales																			
Rebulet	87	178	78	51	2,3	10,2	0,0	4	15	100	125	0	0	++	(+)	+	1,000	75	37
Germes de blé	88	299	26	91	0,9	13,8	2,5	4	11	70	180	0	0	++	0	-	1,230	109	127
Son de blé	87	174	122	43	1,2	12,3	0,1	4	15	90	128	0	0	+	(+)	+	0,860	71	37
Gluten feed	89	215	91	37	1,6	8,0	4,0	4	5	62	98	0	0	-	0	-	1,030	110	48
c. Co-produits de betterave et de canne																			
Pulpes séchées	90	103	206	10	12,0	1,2	1,1	2	8	17	66	0	++	0	++++	+++	0,960	111	-67
Mélasse de betteraves	75	113	1	1	3,5	0,3	8,0	1	14	31	9	0	++++	0	0	0	0,910	66	-5
V. Aliments concentrés riches en protéines																			
a. Oléagineux et protéagineux																			
Lin	92	230	77	379	2,4	6,9	0,9	4	25	55	30	0	0	0	0	-	1,420	70	116
Colza	92	218	68	457	3,3	5,3	0,5	3	12	55	65	0	0	0	0	-	1,670	19	140
Soja	87	408	74	213	2,8	6,4	0,8	3	17	45	35	0	0	0	0	-	1,190	184	161
Féverole	86	294	90	16	1,3	7,0	0,3	2	14	44	13	0	0	+		-	1,130	103	138
Pois protéagineux	91	277	61	34	0,9	4,6	1,1	1	7	37	8	0		+		-	1,130	120	94
Lupin	91	339	159	59	2,7	4,3	0,6	2	4	27	38	0	0	0	0	+	1,225	140	149
b. Co-produits d'oléagineuses																			
Tourteau de lin	90	337	105	83	4,7	9,4	1,1	5	21	73	59	0	0	0	(+)	-	0,990	166	108
Tourteau de colza	88	393	129	26	8,4	12,4	0,4	5	12	55	65	0	0	0	0	-	0,920	149	164
Tourteau de soja	88	501	88	26	3,7	7,0	1,0	3	17	55	44	0	0	0	0	-	1,130	261	195
Tourteau de tournesol	89	395	228	21	3,1	10,3	0,8	7	29	90	38	0	0	0	0	-	0,790	134	200
Tourteau de cocotier	87	133	138	18	1,7	6,1	0,8	3	28	45	68	0	0	0	0	-	0,800	118	-17
V. Concentrés du commerce																			
Concentré 14 %	90	155	111	33	8,3	5,5	2,5	3	25	100	80	11000		++		+	1,070	98	10
Concentré 15 %	90	167	111	33	8,3	5,5	2,5	3	25	100	80	11000		++		+	1,070	109	15
Concentré 25 %	90	278	111	33	8,3	5,5	2,5	3	25	100	80	11000		++		+	1,070	156	78
Concentré 30 %	90	333	111	33	8,3	5,5	2,5	3	25	100	80	11000		++		+	1,070	182	122

tableau de composition des aliments

Nom Unités	MS %	MAT g/ MS	Fibres g/MS	MG g/ MS	Ca g/MS	P g/MS	Na g/MS	Mg g/ MS	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	VitA UI	SS	Am.	Pec.	(hémi-) cell	KVEM	DVE g/ MS	OEB g/ MS
VI. Minéraux																			
Sel	100	0	0	0	0,0	0,0	400,0	0	0	0	0	0					0,000	0	0
Minéral 16/8	100	0	0	0	160,0	80,0	45,0	40	500	4000	3000	500000					0,000	0	0
Minéral 8/16	100	0	0	0	80,0	160,0	45,0	40	500	4000	3000	500000					0,000	0	0
Minéral 15/15	100	0	0	0	150,0	150,0	45,0	40	500	4000	3000	500000					0,000	0	0
VII. Vitamines																			
Vitamine A de synthèse	100	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	5 x 108					0,000	0	0

Liens utiles

- **Service de Nutrition des Animaux Domestiques, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège**, Boulevard de Colonster 20, B43, 4000 Liège
Personnes de contact : Dr Isabelle Dufrasne (04 366 23 73; isabelle.dufrasne@ulg.ac.be) et Dr Louis Istasse (04 366 41 39; listasse@ulg.ac.be)
Compétences : suivi d'alimentation et des performances dans les exploitations, résolution de problèmes de santé liés à l'alimentation, expertise en valorisation des pâtures pour les vaches laitières (y compris avec traite robotisée) et allaitantes
- **Fourrages Mieux ASBL**, Rue du Carmel 1, 6900 Marloie
Site internet : www.fourragesmieux.be
Personne de contact : David Knoden (061 21 08 33; 0473 53 64 95; knoden@fourragesmieux.be)
Compétences : conseils en production fourragère des semis à la récolte (prairies, céréales immatures, betteraves fourragères), recommandation des variétés et des mélanges de graminées et de légumineuses, visites en ferme
- **Centre Wallon de Recherches Agronomiques, Département 'Productions et Filières'**, Rue de Liroux 8, 5030 Gembloux
Eric Froidmont (081 87 45 02; froidmont@cra.wallonie.be),
Compétences : alimentation et croissance du jeune bétail laitier, autonomie protéique des élevages, alimentation des bovins laitiers et émissions de gaz à effet de serre, alimentation et qualité nutritionnelle du lait
- Chloé Fivet (081 87 45 07; c.fivet@cra.wallonie.be)
Compétences : coût de l'alimentation selon le mode de production, temps de travail
- Virginie Decruyenaere (081 87 45 13; decruyenaere@cra.wallonie.be)
Compétences : valeur nutritionnelle des fourrages
- **Ingénierie des productions animales et nutrition, Département des Sciences agronomiques, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège**, 2, Passage des Déportés, B- 5030 Gembloux
Personne de contact : Dr. Ir. Yves Beckers (+32 (0)81 62 21 19; yves.beckers@ulg.ac.be)
Compétences : alimentation et nutrition des ruminants, systèmes de productions animales, élevage - environnement



Éditeur responsable : Bénédicte Heindrichs

Service public de Wallonie Agriculture,
Ressources naturelles et Environnement

Chaussée de Louvain 14
5000 Namur

Dépôt légal : D/2020/11802/31
N° vert du SPW : 1718



www.wallonie.be