




- L'alimentation des ruminants (Maisonneuve et Larose, 1996)
  - (introduction...)
  - Avant-propos
  - I. Introduction
  - II. L'animal et son alimentation
  - III. L'eau
  - IV. Minéraux
  - V. Vitamines
  - VI. Digestion
  - VII. Energie
  - VIII. Besoins en protéines
  - IX. Ingestion alimentaire
  - X. Aliments pour animaux
  - XI. Pâturage et broutage
  - XII. Sous-produits fibreux
  - XIII. Rationnement du bétail
  - XIV. Planning de la nutrition
  - Annexe 1. Contrôle de l'efficacité des stratégies alimentaires
  - Annexe 2. Evaluation de la qualité des aliments
  - Annexe 3. Calcul des besoins énergétiques des animaux d'élevage
  - Glossaire
  - Bibliographie
  - Agence de la francophonie (ACCT)

## **L'alimentation des ruminants (Maisonneuve et Larose, 1996)**

**J. CHESWORTH**

Avec la collaboration de

**H. Guérin**

**Editions Maisonneuve et Larose**

15, rue Victor-Cousin

F 75005 PARIS

**LE TECHNICIEN D'AGRICULTURE TROPICALE**

*Collection couronnée par l'Académie d'Agriculture de France et dirigée par*

**René COSTE**

*Membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer Ingénieur général d'agronomie (H.)*

**34**

**LE TECHNICIEN D'AGRICULTURE TROPICALE**

1. **Le Riz pluvial** , par Michel JACQUOT et Brigitte COURTOIS.
2. **Le Maïs** , par Guy ROUANET.
3. **Le Bananier plantain** , par Hugues TEZENAS DU MONTCEL.
4. **Le Stockage des produits vivriers** (en deux volumes), par Jean APPERT.
5. **Le Cotonnier en Afrique tropicale** , par Gérard SEMENT.
6. **Le Manioc** , par Pierre SILVESTRE.
7. **Le Désherbage des cultures tropicales** , par E.M. LAVABRE.
8. **Insectes nuisibles aux cultures vivrières et maraîchères** (en deux volumes), par Jean APPERT et Jacques DEUSE.
9. **Les légumineuses vivrières tropicales** , par Marc BORGET.
10. **Le théier** , par Denis BONHEURE.
11. **Le caféier** , par H.R. CAMBRONY.
12. **L'écrevisse rouge des marais** , par Jacques C.V. ARRIGNON, Jay V. HUNER et Pierre J. LAURENT.
13. **Aménagements villageois et du terroir** , par Gérard JOSSET.
14. **Le cacaoyer** , par Guy MOSSU.
15. **Les plantes tropicales à épices** , par M. BORGET.
16. **Les crustacés tropicaux d'élevage** , par J. ARRIGNON, J.M. GRIESSINGER, D. LACROIX, P. GONDOUIN et M. AUTRAND.
17. **La canne à sucre** , par R. FAUCONNIER.
18. **Le sorgho** , par J. CHANTEREAU et R. NICOU.
19. **L'élevage de la volaille** , par A.J. SMITH (deux volumes).
20. **Manuel pratique de vulgarisation agricole** , par M. MORIZE (deux volumes).
21. **Ravageurs des cultures tropicales** , par E.M. LAVABRE.
22. **Culture des fleurs à couper** , par R. KROLL.
23. **Le mouton** , par R.M. GATENBY (deux volumes).
24. **Le lapin** , par D. FIELDING.
25. **Le cocotier** , par G. DE TAFFIN.
26. **Pisciculture en eau douce: le Tilapia** , par J. ARRIGNON.
27. **L'avocatier**, par J.P. GAILLARD et J. GODEFROY.

28. **Le porc** , par D.H. HOLNES.
29. **Les cultures maraîchères** , par R. KROLL.
30. **L'igname**, par L. DEGRAS.
31. **Conditionnement et commercialisation des cuirs et peaux bruts tropicaux** , par A.H. ROBINET.
32. **L'hévéa**, par M.A. DELABARRE et J.B. SERIER.
33. **Le palmier à huile** , par J.C. JACQUEMARD.
34. **L'alimentation des ruminants**, par J. CHESWORTH.
35. **Les petits fruits**, par R. KROLL.
36. **La production laitière**, par R.W. MATTHEWMAN.
37. **L'arachide**, par R. SCHILLING.

*Traduit de l'anglais par Emmanuel Scavée et Etienne François. Ingénieur chimiste et des industries agricoles docteur en sciences agronomiques conseiller scientifique.*

Le traducteur tient à exprimer toute sa reconnaissance, pour la documentation et les précieux conseils qu'il en a reçus, à Monsieur Etienne François, ingénieur civil et des industries agricoles, docteur en sciences agronomiques, ainsi qu'à Monsieur Yves Malcourant, docteur vétérinaire.

Edition anglaise originale parue en 1992 sous le titre *Ruminant nutrition* dans la collection *The Tropical Agriculturalist* publiée par The Macmillan Press Ltd, Houndmills, Basingstoke, Hampshire RG21 2XS, Grande-Bretagne, en collaboration avec le C.T.A., établi aux Pays-Bas. Les détenteurs du copyright ne sont pas responsables des modifications apportées au texte original anglais.

Edition française publiée par Maisonneuve et Larose, l'A.C.C.T. et le C.T.A.  
- Tous droits réservés.

L'édition de cet ouvrage a bénéficié d'un soutien de l'Agence de la Francophonie.

Les noms de lieux ou de personnes et leur orthographe les limites territoriales, les jugements de valeurs sur les hommes et les faits. les idées et opinions exprimés dans cet ouvrage n'engagent que son auteur et ne sauraient être considérés comme reflétant un point de vue ou une position officielle de l'Agence de la Francophonie.

© John Chesworth, 1992

© Maisonneuve et Larose - 1996

ISBN: 2-7068-1137-4

ISSN: 0293.3540

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon

sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

## Avant-propos

Le présent ouvrage est le cinquième volume sur la production animale publié dans la collection Le Technicien d'Agriculture tropicale. Cette collection est une source d'informations actualisées pour les étudiants comme pour les agriculteurs. Tous les ouvrages ont été rédigés par des spécialistes ayant travaillé dans un certain nombre de régions et de pays tropicaux.

On accuse souvent les animaux de disputer à l'homme des aliments que celui-ci pourrait consommer immédiatement et d'accentuer dès lors les problèmes alimentaires dans le monde. Cette assertion n'est vraie qu'en partie pour ce qui concerne les ruminants, car ceux-ci peuvent consommer des aliments que l'homme est incapable de digérer, grâce à la relation symbiotique existant entre le ruminant et les bactéries vivant dans leur première poche gastrique (rumen). Il est extrêmement important de comprendre cette relation si l'on veut faire le meilleur usage des rares ressources alimentaires disponibles dans les pays tropicaux.

John Chesworth a rassemblé dans cet ouvrage des découvertes provenant de sources multiples et les a adaptées aux conditions tropicales. Il explique les concepts de base et permet au lecteur de comprendre tant les principes fondamentaux de la nutrition que la manière de déterminer un régime alimentaire pour des animaux élevés dans des conditions tropicales. Pour les détails pratiques, il renvoie aux volumes correspondants de la série. Par ailleurs, il établit une comparaison entre les systèmes britannique, français et américain d'estimation des besoins alimentaires et démontre que, pour ce qui est des applications pratiques, les trois systèmes donnent des résultats similaires.

Le présent ouvrage constitue un guide précieux en matière d'alimentation des ruminants en région tropicale, qu'il s'agisse d'élevage extensif ou intensif. Il explique, notamment, comment apprécier l'état nutritionnel d'un animal et comment améliorer la qualité des aliments pauvres des régions tropicales. L'alimentation des ruminants en climat tempéré a fait l'objet de nombreux ouvrages; grâce à l'expérience de l'auteur en Asie, en Afrique et en Amérique latine et aux informations qu'il a collationnées tant sur les continents mentionnés que dans les pays occidentaux, les informations rassemblées dans cet ouvrage sont utiles pour quiconque s'intéresse à l'alimentation des ruminants en région tropicale.

Anthony J. Smith

## I. Introduction

Le présent ouvrage a été rédigé en tant que guide introductif à la nutrition des ruminants élevés dans les pays chauds. Les processus fondamentaux de la nutrition sont identiques pour tous les types de ruminants, mais les agriculteurs peuvent les exploiter de diverses manières, selon le type d'animaux et les conditions environnementales dans lesquelles ces derniers sont élevés. Les méthodes pratiques d'alimentation sont également fonction du système d'exploitation adopté individuellement par l'agriculteur. La majorité des décisions qu'il doit prendre en matière de nutrition animale reposent sur des critères de gestion plus proches des facteurs sociaux, économiques, voire éducationnels que des critères nutritionnels. Par conséquent, alors que cet ouvrage se concentre sur les bases de la nutrition animale, le lecteur pourra aborder les aspects pratiques de l'alimentation dans d'autres ouvrages de la série traitant de la gestion globale des ovins et des bovins en région tropicale. De même, les méthodes de production d'aliments pour animaux sont beaucoup mieux détaillées dans les ouvrages concernant les pâtures.

Tout au long de notre siècle, un nombre impressionnant de recherches ont été accomplies pour expliquer, en langage scientifique, comment les animaux utilisent les aliments pour se maintenir en vie, pour grandir, pour se reproduire et pour fabriquer tous les produits utilisés par l'homme. Ces recherches ont été effectuées, pour la plupart, dans des pays à climat tempéré qui disposent d'industries sophistiquées consacrées à la production d'une gamme relativement limitée de produits animaux. La motivation principale des agriculteurs étant généralement le profit, il est relativement aisé de déterminer un bon régime alimentaire en termes de valeur commerciale du produit (viande, lait, œufs, etc), par rapport aux investissements en aliments. En agriculture

intensive, les aliments pour animaux représentent souvent plus de deux tiers des dépenses de l'agriculteur; il existe donc un lien direct entre ce que l'agriculteur donne aux animaux et ce qu'il en tire comme revenu. Cela n'est pas toujours le cas dans les pays tropicaux, car la production animale y est souvent une activité secondaire associée à l'agriculture ou à la production de viande à des fins particulières, notamment religieuses. Cette activité repose donc sur l'exploitation de ressources naturelles souvent considérées comme étant «gratuites». Fréquemment aussi, ces ressources sont supposées être inépuisables.

Une deuxième différence fondamentale existe quant à la manière dont sont nourris les animaux en région tempérée et en région tropicale. En région tempérée, il est souvent entendu que les animaux se nourrissent suffisamment pour assurer sinon leur croissance, du moins le maintien de leur poids corporel tout au long de l'année. En revanche, les animaux élevés en zone tropicale manquent souvent de nourriture durant au moins une partie l'année, et ce, chaque année. Au cours de ces périodes, la croissance s'interrompt et des pertes de poids sont également possibles; dès que la nourriture revient, ils sont censés regagner un poids supérieur à celui qu'ils ont perdu.

La troisième différence réside dans l'éventail beaucoup plus large de raisons qui justifient l'élevage d'animaux en zone tropicale. En effet, dans les zones tempérées, les productions animales sont directement utilisées par l'homme, alors que dans de nombreux pays tropicaux, le bétail contribue avant tout de manière indirecte à l'alimentation de l'homme. Il constitue un maillon indispensable dans le système de production culturale, comme source d'énergie pour cultiver les champs et de fumier pour accroître la fertilité du sol. Dans ces régions, les produits animaux destinés à la consommation directe par l'homme sont loin d'être en tête de la liste des priorités. Toutefois, même dans le cas où l'animal contribue indirectement à la production alimentaire, il reste possible d'attribuer une certaine valeur économique à son utilité. Cette approche n'est plus applicable si la principale raison de l'élevage d'animaux est d'ordre social. Dans plusieurs pays en développement, la valeur du bétail est avant tout liée au statut social que confère la propriété d'un certain nombre de bêtes. Dans ces conditions, il est impossible de déterminer avec exactitude le profit généré par la possession d'un certain nombre d'animaux, ce qui empêche dès lors de fixer des moyens objectifs de déterminer la ration alimentaire qui peut raisonnablement leur être apportée.

Dans un sens, la nutrition animale est simple: l'animal qui reçoit une quantité élevée d'aliments de qualité subviendra lui-même à ses besoins. La plupart des ruminants pourraient vivre convenablement moyennant un régime de graminées séchées de qualité et d'un généreux complément de caviar. Il ne fait aucune doute que certains d'entre eux apprécieraient un tel traitement, mais leurs propriétaires n'en tireraient certainement pas un grand profit. L'art consiste à apporter aux animaux la ration alimentaire nécessaire à la satisfaction de leurs besoins pour un niveau de production donné, au coût le plus bas possible. Afin de réaliser cet objectif, il faut disposer de deux sortes d'informations:

- les besoins des différents types d'animaux aux différents stades de vie;
- les ressources disponibles qui peuvent entrer dans la ration alimentaire.

Enfin, le spécialiste de la nutrition animale est rarement isolé du reste du système de production animale, de l'environnement ou encore, des circonstances sociales dans lesquelles vivent l'agriculteur et sa famille. Les conseils diététiques doivent donc déboucher sur une stratégie nutritionnelle qui prend tous ces facteurs en considération.

Dans les pays tempérés, les pratiques agricoles sont généralement similaires; la plupart des régions connaissent une période estivale fertile pendant laquelle le bétail se nourrit en pâturage libre. Les surplus alimentaires suffisent à constituer des réserves qui sont conservées soit par séchage, soit par fermentation. Il s'ensuit un hiver frais et parfois humide pendant lequel les animaux se nourrissent des réserves d'herbes fourragères. Le type de fourrages cultivés varie d'un pays à l'autre, mais ces différences sont mineures.

Si l'on tente de définir l'agriculture tropicale, le premier problème qui se pose est qu'il n'existe pas de définition universelle du mot «tropical». Si l'on se base sur l'interprétation selon laquelle les régions tropicales sont celles situées entre les latitudes des tropiques du Capricorne et du Cancer, on inclut des hauts plateaux au climat presque tempéré. On inclut également des terres où la température diurne maximale

dépasse 50°C. Les schémas de pluviosité y sont tout aussi variés: certaines régions connaissent une pluviométrie annuelle de moins de 100 mm et d'autres, parfois plus de 3 m. Avec une telle variété de climats, il n'est pas étonnant de voir que des systèmes d'agriculture extrêmement différents se sont développés. Si l'on ajoute à cette diversité due au climat les différences de systèmes sociaux et politiques, on est forcé de conclure qu'il ne peut exister un schéma d'agriculture unique et typique des régions tropicales.

Les agriculteurs sont, en permanence, confrontés à une série de limites qui ne dépendent souvent pas de leur volonté et qu'ils n'ont pas choisies. Certains pays connaissent un déficit important de terres qui oblige les agriculteurs à restreindre la surface de pâture des animaux. D'autres régions sont à court d'aliments de qualité qui pourraient compenser l'abondante pâture de mauvaise qualité. Plus rarement, des pays *peuvent* fournir des aliments de qualité, mais ceux-ci ne contiennent pas assez de fibres. Chacune de ces situations amène des problèmes pratiques différents, mais les problèmes nutritionnels tournent toujours autour d'une même question: comment produire une ration alimentaire équilibrée au moindre coût pour l'agriculteur?

## II. L'animal et son alimentation

Les processus de la nutrition consistent, pour la plupart, à apporter à un animal les substances qu'il utilisera soit pour combler les besoins énergétiques, soit comme «matières premières» utiles à la production de tissus corporels ou de produits tels que le lait. La transformation des matières apportées par la ration alimentaire pour satisfaire les besoins de l'animal se fait grâce à des procédés chimiques; pour comprendre comment ceux-ci fonctionnent, quelques notions de la chimie des tissus animaux et des composantes alimentaires sont nécessaires. La chimie des substances biologiques est très complexe et il nous faudrait de nombreux ouvrages pour approfondir le sujet. Nous nous contenterons d'esquisser, dans ce chapitre, la composition des principaux groupes de substances que l'on trouve dans le corps d'un animal ainsi que dans ses aliments.

Tant les animaux que les végétaux disposent de composés chimiques organiques, c'est-à-dire de substances dont le cœur de la structure contient du carbone. Ils sont également formés de constituants inorganiques, ou minéraux, tels que les parties dures des os et les sels minéraux contenus dans la sève végétale. Le présent chapitre offre un aperçu de la chimie des principaux groupes de matières organiques, tandis que les matières inorganiques seront étudiées dans le chapitre 4.

Au plan chimique, l'organisme des animaux est en grande partie formé d'eau, bien que les proportions réelles varient, principalement en fonction de l'âge de l'animal (figure 2.1). A mesure que l'animal grandit, la proportion d'eau diminue et la quantité de graisses augmente. L'organisme est constitué d'une faible quantité d'hydrates de carbone, mais cette valeur est tellement minime qu'elle n'apparaît pas sur le graphique.

Le lait est une production animale importante composée d'hydrates de carbone. Dans la matière sèche du lait de vache (celle qui subsiste après extraction de toute l'eau), les proportions de protéines, de glucides et de lipides sont identiques (figure 2.2).

Les végétaux ont une composition beaucoup plus variée que les animaux; ils se caractérisent en général par des niveaux beaucoup plus élevés de glucides et beaucoup plus faibles de protéines et de lipides, bien qu'il existe de nombreuses exceptions à cette règle. Les animaux utilisent les protéines et les lipides comme principaux constituants chimiques structurels: ceux-ci composent les membranes externes des cellules ainsi que le tissu conjonctif. Chez les végétaux, les glucides remplissent généralement ces fonctions. Il est évident que les glucides utilisés pour des fonctions structurelles doivent être solides et résistants à la dégradation. Pour cette raison, les végétaux produisent généralement deux types de glucides: ceux qui constituent la structure et ceux qui servent au métabolisme.



Figure 2.1. Composition du corps du mouton à deux âges différents. On note, tout au long du vieillissement de l'animal, que la proportion d'eau dans le corps diminue, et celle de graisse augmente.

N.B.: les cendres proviennent en majorité des os.

## Protéines

Les protéines, chez l'animal, sont le principal groupe de matières contenant de l'azote. Elles figurent par milliers dans les cellules animales et végétales et jouent les rôles les plus variés dans la survie et le développement de celles-ci; elles vont des protéines structurelles, qui constituent les poils et la peau, aux enzymes extrêmement délicates et fragiles, catalyseurs de toutes les réactions chimiques individuelles qui ont lieu au sein des cellules. Malgré la diversité de leurs fonctions, elles ont beaucoup en commun: elles sont toutes formées de chaînes de constituants plus petits appelés **acides aminés**. Les acides aminés sont très importants dans la nutrition et certains d'entre eux, les **acides aminés indispensables**, doivent être apportés en quantités considérables par le système digestif.



Figure 2.2. - Composition de la matière sèche en g/litre de lait de vache. Les quantités de lipides, de glucides (lactose) et de protéines sont presque identiques. La matière sèche représente près de 13 % du poids total du lait.

Dans le corps animal, les protéines ne sont pas les seuls matériaux formés d'azote. La plupart des constituants «azotés non protéiques» sont présents en quantités minimes, même si un des groupes, les acides nucléiques, joue un rôle non négligeable dans la composition de la viande. L'azote contenu dans ces composés est en majeure partie dérivé de la même source que les protéines, à savoir les acides aminés. Cela signifie que d'un point de vue nutritionnel, l'apport en acides aminés et en protéines dans le régime alimentaire influence la production de presque la totalité des constituants azotés de l'organisme.

## Acides aminés

Les acides aminés, maillons constituant les protéines, représentent un groupe de composés beaucoup plus varié que les sucres simples, par exemple. On distingue deux parties dans les molécules de chaque acide aminé vrai: la «tête», formée d'un atome de carbone lié à un groupement acide (-COOH) et à un groupement aminé ( $\text{NH}^2$ ), et la «queue», également liée au même atome de carbone et appelée plus justement la chaîne latérale.

C'est la structure de la chaîne latérale qui différencie les 20 acides aminés. Dans ces chaînes latérales, des acides aminés individuels peuvent apparaître en nombre plus ou moins grand. Le tableau 2.1 reprend la liste des acides aminés.



Figure 2.3. - Structure d'un acide aminé. Dans le cas présent (lysine), la chaîne latérale contient un groupement aminé.

Des liens sont établis entre le groupement aminé d'un acide et le groupement acide voisin; ils sont appelés **liaisons peptidiques**.

La formation de chaque liaison débouche sur la production d'une molécule d'eau par le procédé de condensation. Le nombre d'acides aminés contenus dans une seule molécule de protéine peut varier de moins de 100 à des dizaines de milliers.

### Tableau 2.1 Principaux acides aminés chez les animaux

Type de chaîne latérale	Acides aminés
Acides aminés aliphatiques simples	Alanine
	glycine
	leucine*
	isoleucine*
Acides aminés aliphatiques alcools	valine*
	sérine
	thréonine*
Acides aminés aliphatiques diamnés	arginine*
	lysine*
Acides aminés aliphatiques soufrés	méthionine*
	cystéine
Acides aminés composés d'un noyau benzénique	phénylalanine*
	tyrosine
Acides aminés aliphatiques diacides	acide aspartique
	acide glutamique
Acides aminés formés de groupes amides	glutamine
	aspartamine
Acides aminés hétérocycliques	histidine*
	tryptophane*
	proline

\* Acides aminés indispensables qui doivent être fournis par le système digestif de l'animal, car les cellules de celui-ci sont incapables d'en produire.

## Structure des protéines

Chaque protéine produite par les animaux possède une ou plusieurs fonctions spécifiques. Apparemment, aucune protéine animale n'a pour vocation exclusive de faire office de réserve d'acides aminés utilisables en cas de manque. En cela, les protéines diffèrent des glucides ou des lipides, dont certains constituent des «banques» d'énergie. Prenons l'exemple de la viande, dont les principaux composants, après l'eau, sont les protéines: leur rôle initial n'est pas de nourrir le consommateur, mais de contribuer à l'activité musculaire de l'animal.

### Teneur en protéines

Tout aliment, par exemple le blé ou un tissu animal, est littéralement constitué de centaines de protéines différentes, qui forment un mélange très complexe. Chacune de ces protéines contient une proportion différente d'acides aminés (cf. annexe 2, Mesure de la teneur en protéines). Toutefois, sachant que l'azote constitue près de 16 % des acides aminés, la mesure de la teneur en azote d'un aliment donne une estimation de sa teneur en protéines ( **protéines brutes** ).



Figure 2.4. - Structure d'un dipeptide: deux acides aminés sont reliés par une liaison peptidique, qui se forme entre le groupement aminé d'un acide aminé et le groupement acide d'un autre.

Il est particulièrement important de connaître la teneur en protéines brutes des aliments apportés aux ruminants, car la plupart des constituants azotés de la ration alimentaire sont susceptibles d'être dégradés par



les microbes du rumen et d'être utilisés ensuite pour la synthèse des protéines microbiennes. Dans ce sens, presque toutes les sources d'azote (à l'exception de l'azote gazeux) peuvent être une source de protéines pour l'animal.

## Glucides

La majorité des glucides connus du nutritionniste sont constitués de longues chaînes de sucres simples. La manière dont les molécules de glucose s'enchaînent détermine les propriétés physiques et chimiques du matériau qui en résulte. Pour citer deux exemples, la feuille de papier constituée de cellulose sur laquelle vous lisez ces mots est en grande partie dérivée d'un glucide. Elle serait un aliment de piètre qualité pour l'homme, mais elle pourrait parfaitement convenir à certaines catégories de ruminants! En revanche, le glucose, le plus répandu des sucres simples, est une poudre blanche au goût sucré, extrêmement soluble dans l'eau. Les sucres simples sont souvent appelés **monosaccharides**, et les longues chaînes de sucres, **polysaccharides**.

### Monosaccharides

#### Sucres possédant 6 atomes de carbone

Le plus connu des monosaccharides est le glucose ou **hexose**, composé de six atomes de carbone. En solution aqueuse, il existe sous trois formes différentes et interchangeables: une chaîne linéaire et deux formes cycliques différentes, appelées  $\alpha$ - et  $\beta$ -glucose (figure 2.5). Ces isomères se forment par le repli de la chaîne linéaire sur elle-même. Ils prennent une forme différente suivant la manière dont la chaîne ouverte se tord juste avant de prendre la forme cyclique. La plupart des molécules sont de forme cyclique, en majorité de type  $\beta$ . Les différences apparentes entre les deux formes sont minimales; c'est l'orientation des groupements hydrogène et hydroxyle (OH) à droite de l'atome de carbone qui varie (atome de carbone n°1).

#### Sucres possédant 5 atomes de carbone

Tous les sucres n'ont pas six atomes de carbone par molécule; en réalité, il existe des sucres naturels composés de 3, 4, 5, 6 ou 7 atomes de carbone. Les sucres qui se caractérisent par cinq atomes de carbone sont appelés **pentoses** et sont relativement fréquents dans les glucides d'origine végétale naturelle.



Figure 2.5. - Les trois structures du glucose. En solution, les trois formes existent, mais la forme  $\beta$  est prédominante.

### Disaccharides

Après la cyclisation, les molécules de glucose s'associent avec élimination d'une molécule d'eau. La forme la plus simple est une paire de molécules de sucres simples liées par l'atome de carbone n°1 de l'une et l'atome de carbone n°4 de l'autre. Les glucides ainsi formés sont appelés disaccharides. La figure 2.6 représente deux de ces composés. Il s'agit du maltose et du cellobiose qui diffèrent du fait que dans le premier, la molécule de glucose de gauche était de type  $\alpha$  avant la liaison, et dans le second, elle était de type  $\beta$ . Ils sont respectivement appelés saccharides de liaison  $\alpha$  ou  $\beta$ . Il existe d'autres exemples de disaccharides, tels que le saccharose (sucre de table ordinaire) et le lactose (sucre du lait).



Figure 2.6. - Structures du maltose (au-dessus) et du cellobiose (en dessous). Notons que dans le maltose, la molécule de glucose de gauche est de type  $\alpha$ , et dans le cellobiose, elle est de type  $\beta$ .

### Polysaccharides

Il existe deux grandes familles de polysaccharides qui se différencient uniquement par le type des unités glucose qui les constituent ( $\alpha$  ou  $\beta$ ). Les composés de liaison  $\alpha$  sont essentiellement utilisés par les plantes comme réserve de nutriments. En général, ceux constitués d'unités de  $\beta$ -glucose sont physiquement beaucoup plus résistants, ils sont moins solubles dans l'eau et sont plus difficiles à digérer; ils exercent une fonction structurale dans la plante. La presque totalité des glucides courants en agriculture sont d'origine végétale; les polysaccharides y ont deux fonctions:

- constituer une réserve,
- constituer la structure.

## **Les glucides de réserve**

### **L'amidon végétal**

Lors des processus normaux de croissance et de régénération, les végétaux stockent dans les semences et les racines des substances qu'ils utilisent lorsque la seule photosynthèse ne leur permet plus de produire les nutriments nécessaires. Du fait que ces substances sont principalement utilisées comme «carburant», elles ne doivent être ni résistantes, ni étanches à l'eau. Ce type de polysaccharides est essentiellement composé d'unités d' $\alpha$ -glucose. Des exemples représentatifs sont l'amidon et les matières amylacées contenues dans les graines, comme le maïs, ou les tubercules, comme la pomme de terre, l'igname ou le manioc. Contrairement aux polysaccharides structuraux, ils sont facilement digérés par les animaux et sont devenus une denrée alimentaire de base pour l'être humain.

### **Le glycogène animal**

Les animaux utilisent également un polysaccharide de liaison  $\alpha$  comme réserve d'énergie, bien que la quantité de matière ainsi stockée soit très faible. Ce composé, appelé glycogène, possède une structure très proche de celle de l'amidon; les molécules sont toutefois plus grandes et les chaînes forment un réseau plus dense grâce à des liaisons croisées.

## **Polysaccharides structuraux**

### **Cellulose**

A mesure que les plantes grandissent, la quantité de glucides de liaison  $\alpha$  diminue et celle de polysaccharides structuraux augmente. Les glucides qui sont le principal constituant des parois cellulaires végétales doivent être solides, étanches à l'eau et résistants aux attaques chimiques. Telle est la fonction exercée par les polysaccharides de liaison  $\beta$ , dont la cellulose est le plus courant. La cellulose est constituée de longues chaînes linéaires d'unités glucose qui s'enroulent en spirales très solides. Les propriétés de résistance et d'étanchéité de cette molécule ont conduit à sa purification et à son utilisation dans une multitude de domaines étrangers à la nutrition, notamment dans la fabrication de papier.

## **Polysaccharides dépourvus de glucose**

### **Fructosanes**

Les fructosanes sont des polymères du fructose (hexose). On les trouve en grandes quantités principalement dans les graminées des régions tempérées. Leur rôle est lié au stockage de l'énergie plus qu'à une fonction structurale.

### **Pectines**

Ce groupe de polysaccharides n'est pas aussi clairement défini que celui de l'amidon ou de la cellulose. Le constituant le plus répandu de la pectine est l'acide galacturonique, qui est relativement similaire à un sucre,

mais dont une partie de la molécule a été modifiée en un groupement acide.

Outre les molécules d'acide galacturonique, les pectines contiennent deux pentoses: l'arabinose et le xylose. Elles sont comparables à l'amidon dans la mesure où la plupart des sucres sont de type a; en revanche, elles sont difficilement attaquables par les enzymes d'origine animale.

A la différence des graminées, les fruits, les légumes verts et les légumineuses sont très riches en substances pectiques.

### Hémicelluloses

Les hémicelluloses sont un groupe très mal défini de constituants qui peuvent être composés d'une grande variété de sucres et de matières assimilées. Ils constituent les glucides structuraux des végétaux et sont très souvent en liaison avec la lignine (polymère phénolique complexe caractéristique des plantes ligneuses). Ils se différencient de la cellulose par leur solubilité beaucoup plus grande dans une solution d'hydroxyde de potassium.

Le type de glucides varie d'une sorte de végétaux à l'autre. La figure 2.7 illustre la composition typique des céréales et des légumes verts. Comme il faut s'y attendre, les céréales contiennent une très grande quantité d'amidon (composé de stockage) alors que les légumes verts contiennent plus de sucres et de constituants pariétaux.

### Constituants phénoliques associés aux glucides végétaux

L'augmentation de la quantité de glucides de liaison à n'est pas le seul changement qui se produit lors de la maturation de la plante. De plus en plus, les matières sont utilisées pour la production de composés appartenant au groupe mal défini des lignines. La lignine n'est pas un glucide, car elle ne contient aucune molécule de sucre; elle est constituée d'une superposition de molécules chimiques appelées phénols (figure 2.8). On l'étudie souvent avec les glucides car elle est la plupart du temps étroitement liée à la cellulose dans les végétaux adultes. Leur association est si étroite que les deux matériaux sont souvent désignés sous le terme unique de **lignocellulose**. A mesure que la plante grandit, sa concentration en lignine augmente; elle prend dès lors progressivement l'aspect du bois.

Il n'est pas certain que la lignine ait une quelconque valeur nutritive, mais c'est au péril de la santé que le nutritionniste l'ignore, car sa présence dans les aliments peut avoir des effets nuisibles graves sur la digestion d'autres matériaux. Des problèmes similaires se posent avec des phénols plus simples, notamment les tanins. Ils sont présents en quantités particulièrement importantes dans de nombreux arbres et arbustes dont les feuilles sont broutées par les ruminants. Certaines variétés de céréales, en particulier le sorgho, en contiennent également dans de fortes concentrations. De nombreux aliments qui, à d'autres égards, conviendraient idéalement pour l'alimentation des ruminants ne peuvent leur être fournis qu'en quantité infime en raison de leur teneur en tanins.



Figure 2.7. - Composition glucidique typique d'un grain de céréale et d'un légume vert. Tous deux contiennent une proportion importante de cellulose, mais diffèrent considérablement dans celle des autres glucides.

### Graminées tropicales et tempérées

Les graminées originaires des zones tropicales ont souvent une teneur en glucides différente de celles des régions tempérées. D'une part, à un stade de végétation semblable, la concentration en lignine est souvent supérieure dans les graminées tropicales. D'autre part, le niveau de sucres et de fructosanes, tous deux des matériaux facilement digestibles, est inférieur dans les graminées tropicales. Cette différence est compensée par une plus grande teneur en matériaux moins dégradables, tels que la cellulose et les hémicelluloses (figure

2.9).



Figure 2.8. - Structure chimique d'une petite partie d'une molécule de lignine. Bien que la lignine soit souvent associée aux glucides dans les tissus végétaux, sa structure ne contient aucune molécule de sucre.

### Analyse des glucides végétaux et autres substances

Le but premier de l'analyse des aliments est d'estimer d'une manière ou d'une autre leur valeur nutritive potentielle. En ce qui concerne les ruminants, les glucides qu'il importe le plus de mesurer sont ceux qui constituent la partie fibreuse des végétaux. La présence d'une grande quantité de fibres indique la faible digestibilité de l'aliment. On mesure la fraction fibreuse, composée essentiellement de cellulose et de lignine, en éliminant par dissolution toutes les parties non fibreuses; le résultat est appelé **fibres brutes** (cf. annexe 2, Fibres brutes). La proportion de fibres brutes est un indicateur relativement fiable de la valeur nutritive de cultures telles que les céréales; par contre, elle l'est moins dans le cas des graminées et autres fourrages. Il a été établi que le fait de faire bouillir des herbes fourragères telles que des graminées ou de la paille dans une solution acide composée d'un détergent très puissant appelé CTAB produisait un résidu insoluble, la lignocellulose ou **détergent fibre** (cf. annexe 2, Détergent Fibre). La mesure de celle-ci donne une idée relativement valable de la valeur nutritive probable d'un aliment; plus le résidu insoluble est important, plus l'aliment est pauvre.



Figure 2.9. - Comparaison de la teneur en glucides des graminées tropicales et tempérées. Les cultures tempérées contiennent beaucoup plus de glucides facilement digestibles, de sucres, de pectines et de fructosanes.

### Lipides

Les corps gras sont un groupe de composés biologiques solubles dans certains solvants, comme le pétrole, l'éther éthylique, le chloroforme ou le kérosène, mais peu solubles dans l'eau. On les appelle également **lipides**. Les liquides destinés à dissoudre ces matières sont généralement appelés «solvants non polaires». Le terme **graisses** est parfois réservé aux matières qui restent solides à la température ambiante, alors que les **huiles** sont celles qui restent liquides. Des milliers de constituants différents sont classés parmi les lipides. Contrairement aux glucides et aux protéines, il ne s'agit pas de polymères et les molécules sont relativement petites. Par chance, la majorité des lipides consommés par les animaux ou contenus dans les produits animaux appartiennent à un même groupe, celui des **esters**, résultant de la réaction d'un acide organique avec un alcool. Le principal groupe de lipides est constitué d'une série d'esters obtenus à partir du **glycérol**, alcool pourvu de trois groupements hydroxyle (-OH) et d'une série d'acides (les acides monocarboxyliques ou acides gras). Les acides ont tous une «tête» qui renferme l'élément acide de la molécule et une longue «queue». La structure de certains des acides gras les plus courants est illustrée en figure 2.10.

Certains acides gras sont formés d'une longue chaîne relativement répétitive, essentiellement constituée d'unités H-C-H. A une extrémité de la chaîne, l'atome de carbone possède un atome d'hydrogène supplémentaire, tandis qu'à l'autre, c'est un groupement appelé carboxyle (-COOH). Les acides gras dont tous les atomes de carbone prennent la forme H-C-H sont appelés acides gras saturés; ceux qui contiennent des doubles liaisons carbone-carbone (cf. acide oléique, figure 2.10) sont appelés insaturés. Les acides gras contenant des doubles liaisons ont un point de fusion nettement inférieur à celui des acides gras saturés correspondants. L'acide oléique insaturé est un liquide huileux à température ambiante, alors que l'acide stéarique (saturé) a la texture de la cire de bougie. Les chaînes d'acides gras peuvent posséder plus d'une double liaison, auquel cas ceux-ci sont appelés acides gras polyinsaturés. Chaque double liaison supplémentaire abaisse encore davantage le point de fusion.

Une molécule de glycérol peut former des esters appelés glycérides avec une, deux ou trois molécules

d'acides gras; ce sont les mono-, di- ou triglycérides. Le processus inverse de l'estérification est appelé hydrolyse. Dans les systèmes biologiques, l'hydrolyse est indispensable pour décomposer à nouveau les lipides en un acide organique et un alcool (par exemple, l'acide gras et le glycérol).

Les propriétés des acides gras se reflètent dans tous les glycérides constitués à partir de ceux-ci; ainsi, un triglycéride contenant une forte proportion d'acides gras insaturés, et en particulier polyinsaturés, est lui-même liquide à la température ambiante, alors que ceux formés à partir d'acides saturés sont solides.



Figure 2.10. - Structures des lipides. Au-dessus sont représentées les structures types de trois acides gras: le premier est saturé (toutes les liaisons sont simples) et les deux autres sont insaturés (leur chaîne contient des doubles liaisons). La structure en bas à gauche représente le glycérol et celle de droite, le glycérol associé à une molécule d'acide gras. Dans le triglycéride, le plus courant des lipides, chacun des trois groupements hydroxyle (-OH) du glycérol est lié à un acide gras.

### Galactolipides

Les galactolipides sont les lipides les plus abondants dans les graminées et la plupart des cultures fourragères. Ils contiennent une molécule de sucre, du glycérol et des acides gras. Le sucre est en général **galactose**. La molécule de sucre est liée au groupe hydroxyle de la 3<sup>e</sup> position du glycérol (figure 2.11).

La plupart des acides gras contenus dans les galactolipides des pâtures sont hautement insaturés, l'acide linoléique étant le plus répandu dans les graminées et le trèfle.

### Teneur en graisses

Il est important de pouvoir mesurer la teneur en graisses des aliments pour animaux; en effet, si, en petite quantité, elles sont une contribution précieuse à l'apport énergétique de la ration, un excès peut provoquer de graves troubles digestifs chez l'animal. Les lipides se dissolvent dans des solvants comme l'éther (éther éthylique) et le pétrole léger (parfois appelé éther de pétrole). La manière la plus simple de mesurer la quantité de lipides contenue dans un échantillon consiste à les extraire en arrosant constamment l'échantillon de solvant renouvelé. C'est ce que permet de faire très simplement l' **appareil de Soxhlet** : l'échantillon de nourriture est placé dans une coupe de papier poreux par dessus laquelle on fait couler le solvant fraîchement distillé. Le solvant et les lipides coulent dans un ballon chauffé placé en-dessous de l'appareil; le solvant se vaporise alors, remonte dans l'appareil et passe dans un condensateur qui le liquéfie. Ce liquide coule à nouveau sur l'échantillon et retombe au fond du ballon. Par conséquent, l'échantillon est constamment arrosé de solvant qui en extrait les lipides. Au bout de quelques heures, on retire le ballon, on fait évaporer l'excédent de solvant et on pèse le résidu de lipides. En référence aux méthodes de mesure utilisées, on nomme souvent **extrait étheré** la teneur en lipides d'un aliment.



Figure 2.11. - Structure du galactoglycéride, lipide le plus abondant dans les graminées, et par conséquent, dans la ration alimentaire des ruminants.

## III. L'eau

### Besoins en eau

L'eau est le principal constituant de la quasi-totalité des tissus animaux. Elle représente près des trois quarts de l'organisme des jeunes ovins et bovins (à l'exception des intestins et des organes internes), le dernier quart étant principalement constitué de protéines. La proportion de protéines dans le corps reste relativement stable avec l'âge, mais la quantité de graisses augmente fortement. L'augmentation de la quantité de graisses dans les tissus est proportionnelle à la diminution de la quantité d'eau. Généralement, les intestins

contiennent encore davantage d'eau. L'animal doit pouvoir compenser toute perte d'eau par un abreuvement suffisant. L'eau est utilisée de six manières:

- comme véhicule des nutriments vers les tissus
- comme support de la digestion
- comme véhicule de l'excrétion
- comme moyen de rafraîchissement
- comme source de minéraux
- comme constituant de base du lait.

## **L'eau est l'environnement de nombreux métabolismes**

L'eau n'est pas présente dans le corps par pure coïncidence, elle est un élément essentiel au fonctionnement de l'organisme. L'apport des nutriments aux tissus, par exemple, se fait presque entièrement par leur transport en solution ou en suspension dans des liquides corporels tels que le sang.

Le processus de digestion se déroule entièrement en milieu aqueux. La première étape de la digestion consiste à dégrader les particules alimentaires et à les mélanger à de la salive, essentiellement composée d'eau. Chez les ruminants, les quantités de salive utilisées sont énormes: à titre indicatif, sur une journée normale, un bovin adulte produit quelque 150 litres de salive et un mouton en produit 10. Néanmoins, cela ne signifie pas que l'animal doit boire chaque jour de telles quantités d'eau, car le système sanguin absorbe de l'eau du contenu digestif et la recycle en salive par la voie des glandes salivaires.

## **L'eau est le véhicule de l'excrétion**

Un deuxième rôle de l'eau est de véhiculer les excréments. Les fèces peuvent contenir une quantité élevée d'eau et l'urine en est presque exclusivement composée. Les animaux sont capables de conserver leurs ressources hydriques en réduisant les quantités excrétées, soit en augmentant le pourcentage de matière sèche des fèces, soit en réabsorbant l'eau des reins. Même avec peu d'eau, ils continuent d'éliminer les matières nuisibles qui sont des sous-produits du métabolisme. Les animaux meurent beaucoup plus vite de déshydratation totale que de faim.

## **L'eau est le premier moyen de se rafraîchir**

L'eau contribue également à abaisser la température corporelle, ce qui est particulièrement important en région tropicale. Pour un animal, la seule manière d'abaisser sa température est d'humidifier son corps ou les parois pulmonaires pour profiter du fait que l'eau, pour s'évaporer, nécessite une chaleur latente (celle de l'organisme) pour se transformer en vapeur.

L'une des différences entre les races tropicales de caprins et les races tempérées est l'aptitude des premières à utiliser leurs glandes sudoripares pour abaisser la température corporelle. Les caprins utilisent près de trois quarts de leurs réserves hydriques pour se rafraîchir. Une déshydratation due à de longs intervalles sans abreuvement peut conduire à la perte de cette capacité de suer chez les caprins des régions tropicales. Leur organisme réagit alors en abaissant la production de chaleur interne après environ trois jours.

## **L'eau transporte des minéraux dissous**

Il est rare que les animaux reçoivent de l'eau parfaitement pure; elle contient généralement une quantité considérable de substances dissoutes, essentiellement d'origine minérale. Ces minéraux peuvent être un apport nutritif très précieux. Dans la mesure où certains d'entre eux sont nécessaires en petites quantités,

mais deviennent toxiques s'ils sont ingérés en excès, il est important d'évaluer la qualité de l'eau pour déterminer l'état nutritionnel général des animaux.

## **L'eau est un constituant majeur du lait**

La lactation est une raison supplémentaire à l'apport d'eau: cette dernière est un constituant essentiel du lait chez tous les mammifères terrestres.

## **Sources d'eau**

Les animaux maintiennent leur concentration en eau grâce

- à l'ingestion d'eau par la voie des aliments et de la boisson;
- au métabolisme;
- aux réserves hydriques.

## **Aliments et boisson**

Le source la plus évidente d'eau mise à la disposition des animaux est la boisson; toutefois, les aliments en apportent également, dans une proportion plus ou moins grande selon leur degré d'humidité.

## **Métabolisme**

Le métabolisme est une source d'eau moins évidente. D'un point de vue chimique, l'oxydation des aliments ou de tissus corporels produit de l'eau exactement comme le fait une flamme; l'oxydation d'une quantité donnée d'aliments ou de tissus différents produira différentes quantités d'eau. L'oxydation d'1 g de graisse, par exemple, produit approximativement 1,2 g d'eau alors que les glucides en produisent environ 0,6 g et les protéines, moins de 0,5 g.

Un bovin mâle d'un poids de 500 kg recevant simplement une ration d'entretien va métaboliser entre 2,5 et 3,5 kg d'aliments par jour, ce qui lui apporte 1,5 à 2 litres d'eau. Pour atteindre un niveau de production supérieur, l'animal doit recevoir des quantités de nourriture plus élevées, qui produiront plus d'eau métabolique.

## **Réserves hydriques**

Du fait que les animaux ne peuvent passer leurs journées à s'abreuver, ils doivent avoir un système de stockage de l'eau qui leur permette de vivre pendant les quelques heures, voire quelques jours où ils ne pourront s'abreuver directement. Ce système ne peut altérer profondément la composition des liquides corporels, car cette altération causerait de graves problèmes au sein des tissus. Les ruminants ont l'avantage d'avoir un rumen capable de faire office d'organe de réserve d'eau; par exemple, les caprins, habitués à s'abreuver de manière irrégulière, peuvent renouveler plusieurs fois le volume d'eau du rumen. Dans certaines régions du monde, les bovins se sont adaptés de manière à se satisfaire d'un abreuvement tous les trois jours environ.

## **Besoins hydriques**

Il est difficile d'estimer avec précision la quantité d'eau dont a besoin un animal, car la quantité consommée peut fortement varier selon que l'eau est distribuée à volonté ou non. La différence de consommation d'eau ne semble avoir qu'une incidence limitée, voire nulle sur la production animale ou le bien-être.

Les besoins en eau d'un animal dépendent de plusieurs facteurs:

- la race,
- le climat,
- la quantité et le type d'aliments consommés,
- le type de production pour lequel l'animal est élevé.

Il a été clairement établi que chez les petits ruminants, par exemple les chèvres, les races habituées à vivre dans les déserts ont des besoins inférieurs de moitié à ceux des races tempérées.

### **La consommation d'eau est liée à l'ingestion alimentaire**

La consommation d'eau est étroitement liée à l'alimentation globale; dans de nombreux cas, l'eau présente dans les aliments satisfait en grande partie les besoins hydriques. La quantité d'eau ainsi disponible dépend principalement du type de fourrage offert. Les fourrages secs tels que la paille contiennent parfois moins de 10 % de leur poids en eau, alors que les fourrages verts en contiennent près de 85 %. Dans des cas extrêmes où des animaux peuvent consommer des fourrages jeunes et verts et ne vivent pas en climat très chaud, il arrive qu'ils n'aient aucun besoin de s'abreuver. L'inverse est également vrai: des animaux élevés en région tropicale reçoivent en général des fourrages tels que du foin et des résidus de culture, qui sont très secs. Ces aliments doivent généralement être gorgés d'eau pour être digestibles par le rumen. Cet «effet d'éponge» peut accroître considérablement la quantité d'eau nécessaire à l'organisme pour une digestion efficace des aliments.

### **La consommation d'eau est liée à la quantité d'eau disponible**

Un animal consomme plus d'eau si celle-ci est disponible à volonté. Ainsi, des bovins qui ne peuvent s'abreuver tous les jours boivent en réalité 25 à 30 % de moins que ceux qui ont constamment accès à l'eau. Cette sorte de dépression dans l'ingestion d'eau n'a qu'une faible incidence sur les performances de l'animal. Une dépression similaire dans l'ingestion alimentaire ferait par contre chuter considérablement la productivité de l'animal.



La consommation d'eau est liée à la quantité d'eau disponible

### **Certains aliments peuvent accroître la consommation d'eau**

Certaines circonstances alimentaires inhabituelles peuvent également influencer la consommation d'eau. Des animaux qui consomment des fourrages traités à l'hydroxyde de sodium ingèrent des quantités excessives de sodium. Pour compenser cet excès, ils boivent beaucoup plus que d'habitude et augmentent leurs excréments urinaires en conséquence. Il est fortement déconseillé d'offrir une telle alimentation si les quantités d'eau sont limitées. Des problèmes semblables peuvent se poser si les animaux ingèrent de grandes quantités de sel, soit directement, soit mélangé aux aliments.

### **La consommation d'eau augmente avec la température ambiante**

Etant donné la relation étroite entre les quantités d'aliments ingérées et la consommation d'eau, il est fréquent de considérer l'ingestion d'eau par rapport à celle des aliments. A titre indicatif, un animal élevé dans des conditions fraîches a généralement besoin de 2 à 4 litres d'eau par kilo de MS ingérée. Au-delà d'une température de 30°C, les besoins en eau augmentent considérablement et peuvent atteindre 14 litres/kg de MS. La figure 3.2 illustre l'effet de la température sur la consommation d'eau chez les bovins. Elle fait clairement ressortir le fait que les besoins en eau augmentent rapidement dès que la température dépasse 30°C.



## La consommation d'eau dépend de l'état physiologique de l'animal

L'état physiologique qui affecte le plus manifestement la consommation d'eau est la lactation. Une vache laitière qui produit 12 litres par jour sécrète plus de 10,5 litres d'eau dans le lait. Mais cette demande supplémentaire n'exige pas un accroissement de la consommation d'eau aussi important qu'on pourrait le penser. La vache laitière consomme plus de 6 kg de MS en plus qu'une vache non allaitante et, si sa ration alimentaire contient de l'herbe fraîche, la quantité d'eau ingérée passe de 18 à 24 litres par jour.

## Approvisionnement en eau dans les pâturages

De nombreuses régions tropicales arides se caractérisent par une végétation clairsemée et de rares points d'eau. Pour s'alimenter en suffisance, les animaux doivent parcourir des étendues très vastes. Malheureusement, s'ils restent à proximité des points d'eau, la végétation s'épuise rapidement autour de ceux-ci. Les pasteurs doivent donc déplacer leurs troupeaux vers des régions plus riches, mais dépourvues de points d'eau pour ensuite les ramener régulièrement s'abreuver. Les intervalles sont parfois de quelques heures, mais dans d'autres régions et aux époques les plus chaudes de l'année, les animaux peuvent rester des jours sans s'abreuver. Ils doivent donc être capables de s'adapter à un abreuvement irrégulier, de stocker l'eau et de l'économiser.



Figure 3.2. - Ingestion d'eau d'une génisse d'environ 350 kg. La consommation d'eau en litres varie en fonction du poids de l'animal, mais en termes d'ingestion de matière sèche, les chiffres donnés sont applicables à une large gamme de poids.

## Utiliser des races appropriées de bétail

Dans des régions où l'eau est rare, il est important de choisir des animaux de races capables de survivre aux périodes de déshydratation et de leur donner de l'eau aussi fréquemment que le permet l'environnement. En Ethiopie, des vaches Boran déshydratées ont montré qu'elles étaient capables de boire jusqu'à 30 % de leur masse corporelle, soit souvent 65 à 70 litres en 3 ou 4 minutes. Des races importées sont rarement capables de supporter un tel niveau de déshydratation.

## Approvisionnement en eau

Il est difficile de prévoir avec exactitude la quantité d'eau qui sera consommée par les animaux, car elle varie en fonction des conditions climatiques et de la quantité d'eau contenue dans les aliments ingérés. Pour donner une indication sur la quantité d'eau qu'un agriculteur doit fournir à son troupeau, on peut calculer la quantité d'aliments qui seront consommés et, pour les bovins, multiplier cette valeur par les chiffres figurant au tableau 3.1. Les ovins et les caprins ayant des besoins inférieurs, il suffit de retenir les deux tiers du résultat final.

Les quantités d'eau mentionnées devraient suffire aux animaux dans les conditions de température citées, mais elles ne tiennent pas compte des quantités renversées et ainsi gaspillées.

### Tableau 3.1 Besoins hydriques

Température ambiante °C	Litres d'eau par kg MS d'aliments
35 et plus	17
30	9
25	5
20	4

(Le tableau 13.4 reprend les chiffres correspondant à l'ingestion probable d'aliments secs par différents animaux.)

## La qualité de l'eau

L'eau fournie aux animaux doit être de bonne qualité. Cette dernière dépend essentiellement de deux aspects: le premier est la quantité de solides en solution dans l'eau, en général des sels, des chlorures, des sulfates et parfois des nitrates de métaux. La plupart des ruminants tolèrent des concentrations de particules solides en solution ne dépassant pas 1,5 à 1,7 g/kg pour autant qu'aucune d'entre elles ne soit toxique. Le problème le plus fréquent en région tropicale est la salinité de l'eau, qui se solde souvent par un apport excessif de sodium. Ce problème est étudié dans le chapitre 4, dans la partie consacrée à l'ingestion totale de sodium.

Le second aspect de la qualité de l'eau est celui de la pollution par des bactéries et des algues. Celles-ci ne constituent pas une menace aussi grave pour la santé des ruminants que, par exemple, pour celle de l'homme, mais les jeunes animaux, dont le rumen ne joue pas encore le rôle de «barrière», sont plus sensibles aux infections et aux infestations transmises par cette voie.

## IV. Minéraux

### Teneur en cendres des animaux et de leurs aliments

La combustion d'un morceau de viande produit une certaine quantité de cendres, qui augmente nettement si la viande contient un os. Les cendres sont le principal constituant des parties de l'organisme qui ne contiennent pas de carbone (constituants inorganiques) ni d'eau; c'est la partie minérale du corps. La plupart des aliments en contiennent également, quoique dans des proportions très variables. Certains matériaux utilisés dans l'alimentation animale ne produisent presque pas de cendres lors de la combustion; c'est le cas de la canne à sucre. D'autres, par contre, peuvent en produire près de 30 %, comme la viande et la farine d'os. Les cendres n'ont aucun rôle dans l'apport énergétique, mais les minéraux qu'elles contiennent sont indispensables à la survie et au bien-être de l'animal. Il existe quelque 90 composés chimiques naturels, dont 28 semblent jouer un rôle essentiel chez l'animal. Sur la base de leur rôle dans la composition de l'organisme, ces éléments peuvent être arbitrairement divisés en 11 éléments majeurs (macroéléments) et en oligoéléments (microéléments), qui ne sont présents qu'à l'état de traces.

### Macroéléments

Les trois premiers éléments des constituants organiques mentionnés dans le tableau 4.1 ne sont présents qu'en quantités infimes dans les cendres brutes, car ils sont en grande partie brûlés et éliminés sous la forme de dioxyde de carbone, d'eau et d'oxyde d'azote. Une partie de l'oxygène n'est pas éliminée des cendres, car il se lie pour former des phosphates et des oxydes. Les autres éléments sont autant de constituants de la fraction cendrée des aliments et des animaux qui les consomment. A la naissance, les animaux possèdent une certaine quantité de minéraux puisés dans les réserves maternelles, mais leur survie exige un apport supplémentaire dans la ration alimentaire. La figure 4.1 montre la proportion des principaux minéraux chez le mouton.

### Tableau 4.1 Macroéléments

Eléments des constituants organiques	Principaux éléments minéraux
Carbone	Calcium
Hydrogène	Phosphore
Azote	Magnésium
Oxygène	Potassium
	Sodium
	Chlore
	Soufre



Figure 4.1. - Principaux minéraux contenus dans le corps d'un mouton, en g/kg de poids en carcasse.

## Oligoéléments

Au moins seize éléments supplémentaires se retrouvent à l'état de traces dans les tissus animaux, dont près de huit semblent jouer un rôle important dans la planification des rations alimentaires du bétail. L'utilité des autres n'a été établie que chez des animaux de laboratoire nourris à base de régimes chimiquement purs. Certains **oligoéléments** exigent une attention particulière dans la mesure où ils peuvent être hautement toxiques pour le bétail s'ils sont en excès dans la ration; dans certaines régions du globe, le problème n'est pas d'en assurer un apport suffisant, mais de réduire la quantité consommée par les animaux.

Tableau 4.2 Oligoéléments

Fer	Fluor
Manganèse	Vanadium
Cuivre	Nickel
Molybdène	Cadmium
Cobalt	Etain
Zinc	Chrome
Sélénium	Silicone
Iode	Arsenic

Les éléments de la colonne de gauche sont connus pour être une cause fréquente de problèmes dans de nombreuses régions du monde; leur concentration doit être étroitement contrôlée. Ceux de la colonne de droite doivent faire l'objet d'une attention particulière dans certaines régions où ils sont soit en déficit, soit en concentrations telles qu'ils peuvent s'avérer toxiques.

La plupart des sols des régions tropicales sont pauvres en minéraux, ce qui cause de nombreuses carences. Il est difficile d'évaluer l'ampleur du problème, car les moyens chimiques permettant de mesurer la teneur de la plupart des minéraux sont extrêmement complexes et seuls quelques laboratoires peuvent les utiliser. Il est donc probable que nous sous-estimons de beaucoup l'ampleur de la malnutrition minérale.

## Disponibilité des minéraux

La teneur en minéraux de la ration alimentaire d'un animal n'est qu'un indicateur peu fiable de la valeur de cette ration. Cela s'explique par le fait que, lorsqu'un minéral arrive dans les intestins, en particulier dans l'intestin grêle, seule une partie du minéral est absorbée dans le corps. La proportion de matière que l'animal est capable d'utiliser dépend de la proportion de ce minéral dans l'alimentation, de la présence d'autres matières et de l'état physiologique de l'animal.

Lorsque le minéral arrive dans les intestins en très petite quantité, l'animal réagit en optimisant les processus d'absorption. Par exemple, si la quantité de calcium présente dans la ration est faible, l'animal peut en absorber une plus grande proportion que s'il était abondant.

La présence dans la ration d'autres substances capables d'entraver l'assimilation des minéraux peut réduire l'absorbabilité des minéraux. Certaines composantes des fibres alimentaires peuvent, par exemple, entraver l'assimilation du phosphore.

Par ailleurs, certains états physiologiques réduisent ou, au contraire, stimulent la capacité d'absorption des minéraux par les intestins: la lactation, par exemple, favorise l'assimilation de certains minéraux.

## La teneur en minéraux des aliments pour animaux

La ration alimentaire des ruminants est essentiellement composée de matériel végétal. La teneur en minéraux de ces végétaux dépend de celle des sols sur lesquels ils ont poussé, de l'aptitude des végétaux à les absorber et même du stade de végétation de la plante. La concentration peut en outre varier d'un champ à l'autre au sein de la même exploitation. C'est pour cette raison qu'il est difficile de donner des estimations moyennes de la teneur en minéraux des aliments. La valeur protéique d'un type donné d'aliment, récolté à un stade de végétation similaire, ne différera probablement que de 10 % de la moyenne au maximum. Par contre, la teneur en minéraux est beaucoup plus aléatoire; la figure 4.2 illustre la différence de teneur en minéraux entre deux échantillons de Rhodes-grass à un stade avancé de végétation et cultivés sur deux champs différents de la même exploitation.



Figure 4.2. - Teneur en minéraux de deux échantillons de Rhodes-grass récoltés au même moment et à un stade de végétation à peu près identique sur deux champs voisins de la même exploitation. Les valeurs protéiques sont très proches, alors que les teneurs en minéraux sont fort différentes. Pour cette raison, il est très difficile d'attribuer des valeurs «types» aux aliments pour animaux.

## Éléments minéraux majeurs

### 1. Calcium et phosphore

#### Fonction biologique

On peut considérer que le calcium et le phosphore forment un couple d'éléments, car ils sont le plus souvent associés. Le phosphate de calcium est le principal constituant du squelette et des dents. On trouve en outre près de 1 % de Ca dans les tissus mous, où il a un rôle tout aussi essentiel dans la vie; il est en effet indispensable à certaines réactions chimiques, telles que la coagulation sanguine et la transmission des influx nerveux. De même, le phosphore joue un rôle très important, en particulier dans les transferts d'énergie. Ces deux minéraux ont chacun tant de fonctions biochimiques qu'une carence peut avoir des répercussions graves sur de nombreux aspects de la survie et de la croissance de l'animal. Le calcium et le phosphore contenus dans les tissus osseux peuvent être réutilisés pour satisfaire les besoins biochimiques des tissus mous.

#### Troubles de carence

Une carence prolongée en Ca conduit à des troubles osseux, en particulier chez les jeunes animaux en pleine croissance; les os atteints se fragilisent et la formation des cartilages est également entravée, ce qui provoque une claudication.

*Les symptômes de la carence en calcium sont:*

- la fragilisation et la malformation des os,
- la claudication, ralentissement du rythme de croissance,
- faible production laitière,
- convulsions et fièvre (fièvre de lait ou parésie puerpérale).

Le lait contient dans des concentrations relativement élevées le Ca et le P qui doivent subvenir aux besoins nutritifs du jeune animal. Pour produire du lait, la mère puise dans ses réserves, ce qui peut provoquer de graves troubles en début de lactation. La **fièvre de lait** est due au fait que la mère est incapable de libérer une quantité suffisante de Ca de ses réserves osseuses pour satisfaire les besoins de son petit à la naissance ou peu après. Pour combler ces besoins immédiats, elle puise le Ca dans le plasma sanguin et dans les tissus mous. La maladie survient lorsque la mère reçoit une quantité apparemment suffisante dans la ration, notamment en cas d'apport important au cours de la gestation, qui inhibe les mécanismes naturels de régulation de la libération du calcium osseux. La maladie se manifeste d'abord par une démarche instable; à un stade plus avancé, l'animal a du mal à se tenir sur ses pattes et souffre de convulsions dont l'issue est fatale. Il est nécessaire de pratiquer un traitement d'urgence consistant en une injection de borogluconate de calcium.

Si l'équipement est disponible, la mesure de la teneur en Ca dans le plasma sanguin peut être un indicateur fiable de l'état de l'animal. Vu les grandes différences de niveaux qui existent d'un animal à l'autre en temps normal, il est conseillé de prélever des échantillons sur plusieurs animaux dans le troupeau. Chez les ruminants, une concentration sanguine inférieure à 80 mg/litre de plasma est anormale.

Le tableau 4.3 reprend des exemples de la quantité de Ca nécessaire à certains animaux.

**Tableau 4.3 Apports journaliers recommandés de calcium**

Animal	g/jour de Ca
Bovin mâle (400 kg) qui prend 0,5 kg/jour	26
Vache laitière (400 kg) produisant 8 litres de lait/jour	46
Mouton (20 kg) qui prend 100 g/jour	2,1

Quant au phosphore, les quantités disponibles sont souvent faibles dans toutes les régions tropicales, et la carence en phosphore est probablement le problème de nutrition minérale le plus fréquent dans ces régions. A ce problème s'ajoute parfois celui des foyers d'intoxication par des toxines produites par la bactérie *Clostridium botulinum* (botulisme) se nichant dans les vieux os en décomposition qui sont parfois consommés par des animaux à la recherche de phosphate. Les symptômes d'une carence légère en phosphore sont difficilement décelables: aux premiers stades de la maladie, le seul symptôme est une baisse de la productivité; le rythme de croissance ralentit et la fertilité du troupeau peut diminuer.

La carence en phosphore est parfois saisonnière. Les graminées, et en particulier les graminées mûres et séchées qui sont apportées en saison sèche, contiennent souvent des quantités beaucoup moins élevées de la plupart des minéraux, y compris de phosphate, que le fourrage de saison humide (cf. exemple à la figure 4.3).

Le risque de carence en phosphate est maximal lorsque les aliments qui composent la ration sont vraisemblablement très pauvres. Par contre, les signes cliniques réels de l'insuffisance n'apparaissent souvent qu'au début de la saison humide, lorsque l'animal commence à grandir en réponse à l'apport de jeune fourrage vert. La carence en phosphore peut donc aggraver une malnutrition due à d'autres causes.

*Les symptômes de la carence en phosphore sont:*

- *goûts morbides pour les vieux os,*
- *ralentissement du rythme de croissance,*
- *faible production laitière,*
- *fertilité réduite.*

Le seul diagnostic complet d'une carence en phosphore repose sur la mesure de la concentration de phosphate dans le sang; une concentration inférieure à environ 45 mg/litre signifie que le troupeau est probablement carencé. S'il est impossible de pratiquer des analyses, il peut être utile d'effectuer un test en administrant du phosphate à une partie du troupeau. Si la performance s'améliore en réponse à un supplément d'environ 20 g de farine d'os par jour (pour les bovins), la ration est probablement déficitaire.

## 2. Magnésium

Près de 70 % du magnésium est situé dans les tissus osseux, le reste se trouvant dans les tissus mous et les liquides corporels. Le magnésium est indispensable à une série de réactions biochimiques, liées en majorité au transfert de l'énergie chimique dans les cellules. Cela signifie qu'une carence en magnésium est susceptible de provoquer des troubles généralisés du métabolisme des cellules de tous types.



Figure 4.3. - Déclin de la teneur en minéraux des pâtures au début de la saison sèche en Afrique tropicale.

### Troubles de carence

Les carences sont fréquentes, en particulier chez les vaches allaitantes qui ont besoin de 0,4 grammes de Mg par litre de lait. Elles se manifestent d'abord par une irritabilité de l'animal, qui évolue vers le collapsus et une tétanie caractéristique (rigidité des muscles extenseurs). Les animaux restent couchés, ils sont incapables de se lever et l'issue est fatale. Cette carence est fréquente chez les vaches laitières qui ingèrent des quantités abondantes de graminées fraîches et vertes, ce qui vaut à cette carence le nom de tétanie d'herbage. Tandis que la teneur normale en magnésium est de 17 à 40 mg/litre, la concentration dans le sang tombe jusqu'à 5 mg/litre de plasma.

### Absorption du magnésium

C'est dans le rumen et le réseau que le Mg est absorbé; la proportion de Mg alimentaire absorbé varie considérablement en fonction de la ration et du type d'animal. En règle générale, cette proportion est rarement inférieure à 25 % et ne dépasse qu'exceptionnellement les 50 %. Plusieurs facteurs sont connus pour réduire l'absorption de Mg, dont le principal est la présence d'une quantité élevée de potassium dans l'herbe. Du fait que le magnésium est principalement absorbé dans le rumen et le réseau, tout facteur qui accélère le transit digestif à ce niveau réduit son assimilation. Plus faible est la teneur en fibres alimentaires, plus rapide est le transit des aliments dans les intestins. Or, dans de nombreux systèmes d'exploitation, il est fréquent d'appliquer des fumures fertilisantes avant la croissance rapide des graminées, ce qui produit du fourrage d'excellente qualité à faible teneur en fibres et à forte concentration en potassium. Si l'on ajoute à cela le fait que c'est la pleine période de production laitière, toutes les conditions sont réunies pour que se manifestent de graves carences en magnésium.

### Tableau 4.4 Apports journaliers recommandés de phosphore

Animal	g/jour de P
Bovin mâle (400 kg) qui prend 0,5 kg/jour	19
Vache laitière (400 kg) produisant 8 litres de lait/jour	30
Mouton (20 kg) qui prend 100 g/jour	1,5

### Besoins

Les apports journaliers recommandés sont repris dans le tableau 4.5; comme d'habitude, on remarque un besoin maximum chez la vache allaitante. Le Mg est présent dans divers fourrages et aliments, mais dans la majorité des pays, il se trouve à faible prix sous la forme de craie magnésique qui peut être moulue et supplémentée à la ration.

### 3. Potassium

Avec les ions sodium, chlorure et bicarbonate, le potassium est responsable du maintien de la concentration adéquate de matériaux en solution de part et d'autre de la membrane cellulaire. Le potassium joue également un rôle dans le maintien de la concentration des matériaux en solution dans le lait. Chez les bovins, c'est le constituant minéral le plus abondant dans le lait, alors que chez les caprins, c'est le calcium. Le potassium étant excrété en grande quantité dans l'urine, les fèces et la sueur de tout animal, et dans le lait des femelles allaitantes (quelque 1,5 g/litre), les pertes doivent être compensées par la ration.

**Tableau 4.5 Apports journaliers recommandés de magnésium**

Animal	g/jour de Mg
Bovin mâle (400 kg) qui prend 0,5 kg/jour	8,6
Vache laitière (400 kg) produisant 8 litres de lait/jour	12,0
Mouton (20 kg) qui prend 100 g/jour	0,6

### Troubles de carence

La plupart des aliments contiennent du potassium, de sorte que les cas de carence grave sont inexistant dans la pratique. Les animaux qui reçoivent un régime spécial dépourvu de potassium présentent un ralentissement de la croissance, une faiblesse, des troubles nerveux et des problèmes de maintien de l'équilibre entre les électrolytes. Les symptômes se déclarent dès le troisième jour, ce qui démontre la faible capacité des animaux à stocker le potassium. Ils disparaissent généralement 24 heures après l'ajout de potassium dans la ration. De légères carences ont été mises en évidence par une étude au cours de laquelle des vaches laitières élevées dans des régions tropicales chaudes ont produit davantage de lait en réponse à un supplément de potassium dans la ration.

### Besoins

De nombreux fourrages contiennent du potassium en concentration élevée, bien que celle-ci dépende de la quantité de fertilisants employée, du stade de végétation et du traitement après récolte s'ils sont hachés avant d'être offerts. Dans les céréales, les teneurs sont généralement faibles. Les suppléments peuvent facilement être enrichis en sels de potassium. Il est conseillé d'éviter l'excès de supplémentation, qui risque de provoquer une carence en magnésium.

**Tableau 4.6 Apports journaliers recommandés de potassium**



<b>Animal</b>	<b>g/jour de K</b>
Bovin mâle (250 kg) qui prend 0,5 kg/jour	24
Vache laitière (400 kg) produisant 8 litres de lait/jour	64
Mouton (40 kg) qui prend 200 g/jour	3

#### 4. Sodium et chlorure

Le sodium et le chlorure dérivant de la même source alimentaire, le sel commun, il est souvent difficile de distinguer le rôle de chacun de ces minéraux. Chez tous les animaux, le sodium est excrété dans l'urine, les fèces et la sueur, mais sa concentration dans le lait ne dépasse pas un tiers de celle du potassium.

#### Troubles de carence

Les premiers signes de la carence sont un besoin irrépressible de sel et le léchage systématique (anormalement répété) des pierres, des pieux et des arbres. Les animaux tentent parfois de lécher la sueur chez leurs congénères et chez l'homme. Après un certain temps, l'ingestion alimentaire diminue, les animaux perdent du poids ou, du moins, n'en gagnent pas autant que prévu, et la production de lait décline. La déshydratation met les victimes dans un état extrêmement médiocre. Les animaux peuvent mourir très rapidement de carences graves et prolongées.

Un grand nombre de fourrages, et en particulier ceux des régions tropicales, ont une teneur en sodium et en chlorure très faible; elle est d'autant plus faible pour les animaux ayant des besoins supérieurs, comme les femelles allaitantes ou les animaux vivant dans des températures très élevées et qui subissent de fortes pertes par sudation. Les carences sont donc fréquentes dans les conditions réelles.

L'intoxication par excès de sel est également constatée dans certaines régions tropicales; elle est essentiellement due à la salinité de l'eau de boisson et à la forte concentration de sel dans certaines herbes cultivées sur des sols salins. L'utilisation prolongée d'une eau contenant plus de 7 g/litre de solides en solution (principalement du chlorure de sodium) est dangereuse pour les femelles gravides et allaitantes. Des animaux adultes peuvent tolérer une concentration supérieure, mais il est conseillé de ne pas dépasser 10 g/litre.

#### Besoins

La méthode la plus fréquente pour satisfaire les besoins en sel consiste à en apporter en supplément séparé, soit sous la forme d'un bloc à lécher, soit en solution avec d'autres minéraux dans de la mélasse. Si l'on augmente jusqu'à un niveau anormal la quantité de sodium dans la ration, on augmente la quantité d'eau ingérée ainsi que les excréments urinaires. Cette relation apparaît clairement chez les animaux nourris de fourrages traités aux hydroxydes de sodium: s'ils sont contenus dans des enclos, le sol devient rapidement boueux en raison de l'accroissement des excréments urinaires. Les apports recommandés figurent au tableau 4.7.

**Tableau 4.7 Apports journaliers recommandés de sodium et de chlorure**

<b>Animal</b>	<b>g/jour de Na</b>	<b>g/jour de chlorure</b>
Bovin mâle (400 kg) qui prend 0,5 kg/jour	4	5
Vache laitière (400 kg) produisant 8 litres de lait/jour	11	20
Mouton (20 kg) qui prend 100 g/jour	0,7	0,3

#### 5. Soufre

Les besoins en soufre sont relativement différents de ceux des autres minéraux. Le soufre contenu dans le corps n'est associé à aucune des fractions minérales habituelles, mais plutôt aux acides aminés soufrés. Il ne



peut être apporté sous une forme minérale qu'aux animaux dont le rumen est actif. C'est au cours de la fermentation que les microbes du rumen incorporent le soufre aux acides aminés qui constituent les protéines microbiennes. Les besoins en soufre sont donc liés au rythme de synthèse des protéines dans le rumen et à l'apport des constituants azotés simples nécessaires aux microbes.

## **Oligoéléments**

### **1. Fer**

#### **Fonction biologique**

Le fer est directement lié à l'utilisation de l'oxygène dans les cellules, ainsi qu'à son transport dans le sang.

#### **Troubles de carence**

Le signe typique d'une carence en fer est l'anémie, c'est-à-dire la diminution du nombre de globules rouges dans le sang. Il en résulte un ralentissement de la croissance, un état général médiocre et dans certains cas, des troubles respiratoires. L'anémie due à une simple carence en fer est fréquente chez les très jeunes ruminants, mais elle est plus rare chez les adultes par ailleurs en bonne santé. Ceci s'explique notamment par la concentration élevée de fer dans la plupart des sols et par le fait qu'en paissant, les animaux ingèrent beaucoup de terre avec les aliments. Les cas de carence en fer signalés chez des animaux placés en pâturage sont en majorité associés à des maladies parasitaires caractérisées par une hémorragie intestinale. La perte de fer par cette voie doit être compensée. Toute tentative de soigner la carence en fer sans éliminer le foyer parasitaire est vouée à l'échec.

#### **Apports recommandés**

Pour la plupart des catégories de ruminants, on recommande un apport en fer situé entre 30 et 40 mg/kg MS.

### **2. Manganèse**

Comme la plupart des oligoéléments, le manganèse contribue à stimuler l'activité d'une série d'enzymes très importantes qui catalysent des réactions chimiques au sein des cellules. Ce minéral n'est accumulé qu'en petite quantité, ce qui contraint l'animal à continuellement compenser les pertes par excrétion.

#### **Troubles de carence**

La carence en manganèse se caractérise par un déficit de croissance des tissus mous et des os, une faiblesse et des malformations osseuses, ainsi qu'une faiblesse et une mauvaise coordination des muscles. Des cas d'amélioration de la fertilité ont été enregistrés chez les ovins et les bovins consécutivement à une supplémentation en manganèse.

#### **Sources de manganèse**

Les végétaux sont la première source de manganèse pour les ruminants. Leur concentration reflète généralement celle du sol. Un pH trop élevé ou un lessivage trop important du sol réduisent l'assimilation du manganèse par les végétaux.

#### **Besoins**

Les avis des experts divergent quant à l'apport recommandé dans la ration, mais il semble qu'une concentration de 20 mg/kg MS soit un minimum et qu'une concentration de 40 mg/kg soit plus souhaitable.

### **3. Cuivre**

#### **Fonction biologique**

Quelle que soit sa fonction métabolique, le cuivre est associé aux protéines. Il participe à la formation de l'hémoglobine et est un activateur essentiel d'une série de réactions qui contribuent à l'oxydation des aliments au sein des cellules. Le cuivre exerce en outre une action sur une autre protéine responsable de l'assimilation et du transport du fer. La formation du collagène, protéine du tissu conjonctif, exige également la présence d'une cupro-enzyme, ce qui explique la malformation de la matrice protéique des os consécutive à l'absence de cuivre.

### **Troubles de carence**

Les animaux carencés en cuivre peuvent présenter des symptômes non spécifiques tels que des diarrhées sévères, un déficit de croissance, une infécondité, ainsi qu'une coloration et une texture anormales des poils. Les lésions cérébrales provoquent une incoordination musculaire; ce dernier symptôme est fréquent chez le mouton et se traduit par une démarche particulière, parfois appelée «swayback». Une mauvaise assimilation du fer provoque parfois de l'anémie, qui peut se traduire par la décoloration du contour de l'œil et de la bouche.

### **Origine de la carence**

La carence en cuivre est fréquente dans de nombreuses régions du globe, bien qu'elle ne soit pas toujours simplement due au manque de cuivre dans la ration. La présence de grandes quantités de molybdène ou de sulfates perturbe l'assimilation intestinale du cuivre. Or, la terre contient très souvent des concentrations relativement élevées de molybdène et, dans certaines régions arides, ce minéral a été relevé en grande quantité dans les eaux d'irrigation.

### **Intoxication par le cuivre**

A des doses élevées, le cuivre est toxique pour les animaux: il a été établi qu'une concentration supérieure à 15 à 20 mg/kg MS cause une intoxication chronique chez le mouton; chez les bovins, les mêmes symptômes n'apparaissent qu'à des doses quatre à cinq fois supérieures. Les premiers signes de l'intoxication (ralentissement de la croissance et troubles de la reproduction) sont difficiles à déceler, mais dans les cas plus aigus, les convulsions, la paralysie et les troubles cardiaques en phase terminale permettent d'établir un diagnostic clair et définitif.

Le diagnostic d'une carence en cuivre peut être confirmé par l'analyse taux de cuivre dans le plasma sanguin ou dans le foie.

### **Besoins**

Du fait de la différence entre les besoins en cuivre des bovins et des ovins, des accidents mortels se sont produits, car des aliments dont la composition avait été formulée pour d'autres animaux ont été offerts à des moutons. Les apports recommandés dans la ration des ovins se situent généralement entre 2 et 6 mg/kg MS, alors que pour les bovins, ils sont nettement supérieurs (8 à 20 mg/kg MS).

## **4. Molybdène**

### **Fonction biologique**

Le molybdène intervient dans au moins trois réactions biochimiques importantes, il est donc essentiel à la santé animale. Par contre, l'influence qu'il a sur le cuivre fait qu'il est souvent considéré comme un élément indésirable dans la ration.

### **Troubles de carence**

Une incidence favorable sur la croissance des agneaux a été enregistrée en réponse aux suppléments de molybdène, mais elle n'est probablement due qu'à la stimulation des microbes du rumen.

## **Intoxication par le molybdène**

Les signes de l'intoxication par le molybdène sont liés aux effets de celui-ci sur le métabolisme du cuivre (cf. p.). La relation qui unit le cuivre et le molybdène est complexe; elle fait également intervenir le soufre résultant de l'apport d'une grande quantité de protéines soufrées solubles, facilement assimilables dans le rumen.

### **Apports recommandés**

On conseille en général de maintenir la concentration de molybdène au niveau le plus bas possible. Si la concentration est élevée dans les aliments ou dans l'eau de boisson, il faut veiller à apporter une supplémentation en cuivre suffisante.

## **5. Cobalt**

### **Fonction biologique**

Le métabolisme du cobalt est totalement lié à celui de la vitamine B<sub>12</sub> et est décrit dans le chapitre 5.

### **Diagnostic d'une carence**

Les signes cliniques d'une carence en cobalt ne sont pas spécifiques; l'anémie, l'inappétence, le déficit de croissance et la baisse de résistance aux infections, par exemple, peuvent tous être dus à une multitude d'autres causes. L'analyse de la teneur en cobalt du sang et des tissus n'est pas très utile, car le cobalt agit essentiellement dans le rumen plutôt que dans le reste du corps. Il est possible de mesurer la teneur en vitamine B<sub>12</sub> dans le sang ou, de préférence, dans le foie, mais les techniques utilisées sont peu adaptées au travail sur le terrain.

### **Besoins**

Les répercussions d'une carence en cobalt sur la productivité animale sont dramatiques; toutefois, la concentration nécessaire pour garantir la santé de l'animal est heureusement très faible. En effet, une concentration supérieure à 0,1 mg/kg MS dans la ration suffit à satisfaire les besoins des ruminants. Lors du diagnostic d'une carence, un premier traitement immédiat consiste à pratiquer des injections de vitamine B<sub>12</sub>. A plus long terme, la carence peut être corrigée par l'ajout de cobalt dans une pierre à lécher, dans les aliments ou l'eau de boisson. Un traitement plus spécifique fait appel à l'une ou l'autre forme de médicament à dissolution lente dans le rumen, présenté soit sous la forme de capsules, soit d'une aiguille de verre imprégnée de cobalt.

## **6. zinc**

### **Fonction biologique**

Le zinc est un constituant de plusieurs enzymes importantes et est également accumulé dans les os. Il contribue en outre à l'utilisation efficace de la vitamine A.

### **Troubles de carence**

Les premiers signes de la carence en zinc sont une chute de l'appétit et un déficit de croissance qui entraînent un déclin de l'état général. Une carence prolongée due à une concentration alimentaire juste inférieure aux besoins ne se caractérise que par un déficit de croissance et de production. Les carences plus graves se manifestent essentiellement par des lésions de la peau, des sabots et des muqueuses externes: la peau se dessèche et s'écaille autour des yeux, des oreilles, des naseaux et du scrotum (parakératose), ce qui provoque souvent des crevasses dans l'épiderme; la couche épidermique située juste au-dessus des sabots se dessèche

et laisse apparaître de profondes crevasses; le développement des testicules peut également être entravé et une baisse des taux de fécondité a été enregistrée parmi les ruminants mis en pâturage sur des sols carencés en zinc.

## **Besoins**

Les apports recommandés de zinc se situent entre 20 et 50 mg/kg MS pour les bovins et un peu moins, soit 9 à 14 mg/kg MS, pour les ovins. Un taux élevé de calcium semble inhiber l'assimilation du zinc; il est donc conseillé d'accroître la proportion de zinc si les pâtures ont été chaulées ou si le sol contient beaucoup de calcium (comme c'est le cas dans les régions calcaires). Une intoxication par le zinc ne peut se produire qu'en présence d'une quantité exceptionnellement élevée du minéral (dépassant 0,5 g/kg MS pour les bovins); les concentrations dépassant largement les besoins sont donc tolérées. Dans la plupart des pays, les sels de zinc sont relativement bon marché, de sorte qu'il n'y a aucune raison de les distribuer avec parcimonie.

## **7. Sélénium**

### **Fonction biologique**

Le rôle du sélénium est étroitement lié à sa fonction de cofacteur dans une série de mécanismes biochimiques qui détruisent les constituants potentiellement toxiques appelés peroxydes. Cette propriété du sélénium est elle-même étroitement liée à la fonction de la vitamine E, dont les carences sont décrites dans le chapitre 5.

### **Intoxication par le sélénium**

De graves intoxications peuvent se produire dans les régions connaissant des concentrations excessives en sélénium. Le problème peut être accentué par l'accumulation sélective du sélénium par certains végétaux. Les symptômes de l'intoxication sont l'inappétence et un malaise général. Les cas les plus aigus présentent des lésions au foie et aux reins. Tant chez les bovins que chez les ovins, une intoxication prolongée se traduit essentiellement par des malformations des sabots, qui peuvent aller jusqu'à leur perte totale. Des concentrations extrêmement élevées provoquent la cécité, des douleurs abdominales, la paralysie et enfin, des troubles respiratoires.

Si la terre est fortement contaminée, la seule solution est sans doute d'éliminer les végétaux qui accumulent le minéral. En général, les animaux tolèrent une concentration élevée de sélénium de l'ordre de 10 mg/kg MS pendant quelques semaines; les pâturages contaminés peuvent donc être inclus dans un système de rotation des pâturages si d'autres terres à faible teneur en sélénium sont disponibles.

## **Besoins**

Etant donné les propriétés tant stimulantes que toxiques du sélénium, l'apport adéquat doit se situer entre le besoin minimum en tant que micronutriment essentiel et la teneur maximale à la limite de la toxicité. En règle générale, une teneur entre 0,1 et 0,4 mg/kg MS assure une bonne santé aux animaux.

## **8. Iode**

### **Fonction biologique**

L'iode fait partie intégrante de la structure de plusieurs hormones qui sont produites par la thyroïde située dans le cou et qui contrôlent le rythme général du métabolisme de l'animal.

### **Troubles de carence**

Le premier signe de la carence en iode est le goitre, c'est-à-dire l'augmentation du volume de la thyroïde. Il est facile à déceler et se manifeste souvent avant l'apparition de tout autre symptôme.

La carence en iode se traduit par une faiblesse générale chez les jeunes ruminants; ceux nés d'une mère atteinte peuvent être aveugles ou dépourvus de poils. Les individus plus âgés enregistrent un retard de croissance important. Chez le mouton, la croissance de la laine est perturbée et la toison qui en résulte est médiocre. Tant la fertilité des mâles que celle des femelles est réduite.

## Besoins

Le goitre n'est pas toujours la conséquence directe d'une simple carence en iode. Les végétaux de pâture, en particulier certaines graminées tropicales de la famille du *Cynodon* (par exemple, *Cynodon dactylon*), contiennent un certain nombre de constituants dits goitrogènes. La présence de ces constituants accroît considérablement les besoins en iode. Les besoins journaliers publiés par divers experts et calculés selon différentes méthodes varient énormément. Ils diffèrent en général de moins de 0,1 mg/kg MS à 1 mg/kg MS. Le seuil de toxicité se situe à plus de 20 mg/kg MS, ce qui fait que les risques d'apport excessif par la supplémentation sont faibles. L'analyse chimique de faibles concentrations en iode n'est pas simple et seuls quelques laboratoires peuvent disposer de l'équipement nécessaire. Dans la pratique, l'examen des animaux pour déceler tout gonflement du cou doit permettre de contrôler l'apparition d'une carence en iode.

## Supplémentation minérale

D'un point de vue théorique, l'idéal pour résoudre les problèmes de nutrition minérale serait d'analyser l'état minéral des animaux, au niveau de chaque troupeau ou même, d'une région, afin de déceler les déséquilibres éventuels. Des suppléments alimentaires spécifiques pourraient alors être apportés pour y remédier. Malheureusement, une telle approche est irréalisable dans la plupart des pays tropicaux, car les équipements d'analyse ne peuvent traiter le grand nombre d'échantillons nécessaires. Malgré le délai plus long, le diagnostic des carences minérales au niveau de chaque troupeau se fait plus souvent sur la base d'une supplémentation sélective. La première démarche consiste à examiner les signes cliniques qui apparaissent chez les animaux. Il est difficile de déceler les carences marginales, car des symptômes tels qu'un retard de croissance sont imputables à de nombreuses causes. Dès qu'une carence a été décelée, il convient d'administrer des suppléments sous une forme ou l'autre à une partie du troupeau. Une réponse positive en termes de production (croissance, fertilité ou production laitière) révèle l'existence d'un problème.

A court terme, bien que cette méthode soit moins souhaitable, il peut revenir moins cher de prendre des mesures de «prévention totale» selon lesquelles une gamme complète de minéraux sont apportés sous la forme de suppléments, que des carences aient été enregistrées ou non. L'apport de suppléments minéraux à des animaux placés en pâturage présente des difficultés évidentes, mais ils peuvent être mélangés à d'autres suppléments. Des pierres à lécher ou des blocs minéraux de marque sont commercialisés par les producteurs alimentaires, mais ils peuvent être réalisés au niveau local pour autant que tous les ingrédients soient disponibles. Le chapitre 11 mentionne une recette simple de bloc alimentaire, auquel on peut ajouter des oligoéléments.

## V. Vitamines

### Vitamines et coenzymes

De nombreuses réactions biochimiques ne peuvent avoir lieu en l'absence d'un constituant «auxiliaire» qui agit, par exemple, en tant que véhicule chimique des substances qui interviennent dans la réaction; ces constituants sont appelés **coenzymes**. Les coenzymes sont des composés chimiques très complexes dont un grand nombre ne sont pas synthétisables dans les cellules animales. Etant donné qu'elles sont indispensables à l'organisme qui est incapable de les synthétiser toutes, elles doivent être apportées par le tube digestif; ce sont les vitamines. Au départ, elles ont été mises en évidence par la mauvaise santé des animaux qui en étaient privés. Un manque (ou une carence) de vitamines entraîne une pathologie et, dans certains cas, la mort prématurée.

La composition des vitamines est relativement confuse, car elles n'ont pas de structure chimique commune,

comme les glucides, par exemple; elles jouent une multitude de rôles dans le métabolisme et proviennent de sources végétales différentes. Les caractéristiques principales des vitamines sont probablement:

- leur caractère essentiel au métabolisme normal de l'animal;
- le fait qu'elles ne sont pas toujours synthétisées en quantité suffisante par l'organisme et qu'elles doivent donc parfois être apportées par le tube digestif;
- le fait qu'elles ne sont nécessaires qu'en petites quantités.

Quelque dix vitamines sont régulièrement ajoutées à la ration des animaux, bien que certaines espèces, notamment les ruminants adultes et autres herbivores capables de faire fermenter une grande partie des aliments, n'ont pas toujours besoin d'un supplément direct de toutes celles-ci.

## Classification des vitamines

Le premier critère de classification des vitamines est leur solubilité dans l'eau ou dans des solvants organiques tels que l'éther. Lors de l'analyse des aliments en laboratoire, le premier groupe de vitamines peut être extrait à l'eau, alors que l'autre l'est par le procédé Soxhlet (cf. p.?).

**Tableau 5.1 Vitamines hydrosolubles**

Vitamine	Dénomination chimique
B <sub>1</sub>	Thiamine
B <sub>2</sub>	Riboflavine
B <sub>6</sub>	Pyridoxine
B <sub>12</sub>	Cyanocobalamine
Vitamines B non numérotées	Nicotinamide (niacine)
	Biotine
	Acide pantothénique
	Acide folique
	Choline
C	Acide ascorbique

Même si la structure chimique de la vitamine est connue, il peut régner une certaine confusion quant à son nom, car certains constituants de structure chimique proche partagent la même activité biologique.

Par rapport aux jeunes animaux, les ruminants adultes ont besoin d'un apport extérieur nettement inférieur de nombreuses vitamines, étant donné que les microorganismes du rumen sont capables d'en synthétiser certaines. Avant que le rumen ne soit totalement développé et commence à fonctionner, les jeunes ruminants ont des besoins très proches de ceux des monogastriques.

**Tableau 5.2 Vitamines liposolubles**

Vitamine	Dénomination chimique
A	Rétinol
D <sub>2</sub>	Ergocalciférol
D <sub>3</sub>	Cholécalciférol
E	Tocophérol
K	Phylloquinone

## Vitamines hydrosolubles

### 1. Thiamine (B<sub>1</sub>)

#### Symptômes de carence

La carence primaire en thiamine se présente en laboratoire chez des animaux recevant une ration pure, mais elle est rare dans la pratique en raison de l'abondance de la thiamine dans les aliments. De même, la flore microbienne du rumen la produit probablement en quantité suffisante pour satisfaire la totalité des besoins du ruminant adulte. Des cas de carence ont été enregistrés chez des moutons recevant une grande proportion de céréales dans la ration. A cela s'associe l'apparition dans le rumen de microbes qui dégradent la thiamine. Une carence secondaire peut également résulter de la présence dans certains aliments, notamment la fougère aigle, de substances chimiques qui inhibent l'action de cette vitamine. Chez les animaux atteints, la carence peut se traduire par des lésions des tissus nerveux du cerveau conduisant à la cécité. Du fait qu'ils ne sont pas atteints, les yeux des animaux atteints de nécrose du cortex cérébral semblent normaux et brillants.

#### Traitement de la carence

Les premiers signes de la nécrose du cortex cérébral peuvent être traités par la supplémentation de thiamine. Malheureusement, à un stade plus avancé, la maladie est irréversible.

### 2. Riboflavine (B<sub>2</sub>)

Des carences peuvent survenir chez des jeunes ruminants, mais elles sont rares chez ceux nourris au lait. Dès que le rumen commence à fonctionner normalement, l'activité microbienne qui y règne fournit la vitamine en suffisance.

### 3. Pyridoxine (B<sub>6</sub>)

#### Fonction biologique

La pyridoxine, la pyridoxamine et le pyridoxal sont trois composés proches qui partagent la dénomination de vitamine B<sub>6</sub> et possèdent le même rôle biologique.

#### Symptômes de carence

La carence en vitamine B<sub>6</sub> est rare chez des animaux élevés dans des conditions normales d'exploitation, car elle est présente en abondance dans les aliments ordinaires.

### 4. Cyanocobalamine (B<sub>12</sub>)

#### Structure et fonction biologique

La structure chimique de la cyanocobalamine est extrêmement complexe et c'est une des dernières vitamines

à avoir été décrite en profondeur. On ne connaît le rôle de cette vitamine que dans deux réactions biochimiques spécifiques, mais néanmoins très importantes.

### Symptômes de carence

Les cas de carence directe en cyanocobalamine sont rares chez les ruminants, car la microflore ruminale est capable de la synthétiser en suffisance. Toutefois, une déficience ou l'absence totale de cobalt dans la ration compromet l'élaboration de la cyanocobalamine et peut provoquer une carence. Celle-ci se traduit par une diminution de l'ingestion alimentaire et parfois par l'apparition de goûts morbides (pica); la croissance est ralentie. A un stade avancé, l'anémie et une dégénérescence musculaire sont des symptômes fréquents. Dans la plupart des cas, la carence n'est pas grave et la microflore continue de synthétiser la vitamine, mais en quantité insuffisante. Les signes cliniques sont alors difficiles à déceler: apathie, inappétence et déficit de croissance. La figure 5.1 illustre la différence de taille d'agneaux jumeaux, dont l'un a été élevé avec une ration carencée en cobalt. Dès qu'un diagnostic correct est posé, le traitement consiste davantage à apporter une supplémentation de cobalt au rumen qu'à administrer directement la vitamine.



Figure 5.1. - La photo met en évidence l'effet sur la croissance d'une carence en cobalt. L'agneau de droite a été élevé dès sa naissance avec une ration carencée en cobalt, alors que son jumeau de gauche, beaucoup plus grand, a été élevé dès le départ avec une ration suffisamment riche en cobalt.

## 5. Niacine

### Structure et activité biologique

Le terme «niacine» est utilisé pour décrire deux constituants proches ayant une activité vitaminique: l'acide nicotinique et la nicotinamide.

### Symptômes de carence

Chez les très jeunes ruminants, une carence peut se déclarer et provoquer l'ulcération et l'inflammation de la bouche, ainsi qu'une chute de l'appétit. Le risque de carence diminue dès que le rumen devient actif. Il est difficile de déceler des carences chez les adultes; toutefois, des cas d'augmentation de la production laitière ont été enregistrés chez des vaches recevant d'importants suppléments de niacine. Cela s'explique en partie par l'effet stimulant de la niacine sur l'activité des microorganismes du rumen.

## 6. Biotine

La biotine a été découverte grâce à son rôle dans la prévention des troubles nutritionnels liés à la consommation de blanc d'œuf cru par les non-ruminants. Dans les conditions réelles, les troubles sont inexistantes chez les ruminants.

## 7. Acide pantothénique

L'acide pantothénique joue un rôle si central dans le métabolisme qu'il est heureux qu'il soit si abondant dans les aliments de toutes sortes. Outre les sources alimentaires, il est probablement produit par fermentation dans les intestins et dans le rumen. Les risques de carence en milieu réel sont suffisamment faibles pour ne pas en tenir compte.

## 8. Acide folique

### Structure et fonction biologique

L'acide folique est une vitamine hydrosoluble produite par de nombreux végétaux et par les microorganismes. Elle intervient dans la synthèse de pigments tels que l'hémoglobine, qui transporte



l'oxygène.

## **Symptômes de carence**

La carence en acide folique se traduit généralement par une forme caractéristique d'anémie dans laquelle des globules rouges immatures sont présents dans la moelle osseuse. Des carences expérimentales ont pu être induites chez des veaux, mais les ruminants plus âgés sont capables de satisfaire leurs besoins grâce à la microflore ruminale.

## **9. Autres vitamines hydrosolubles**

Les ruminants semblent capables de synthétiser en suffisance la choline et la vitamine C; nous ne les détaillerons donc pas ici.

## **Vitamines liposolubles**

### **1. Vitamine A et carotènes**

Toutes les espèces animales ont besoin d'un apport alimentaire de vitamine A ou d'un de ses précurseurs. La vitamine A joue divers rôles dans l'organisme; elle intervient dans la croissance des cellules cutanées, intestinales, rénales et osseuses. Elle est en outre impliquée dans les réactions chimiques responsables de la vue dans la rétine de l'œil. La vitamine A n'est généralement pas apportée telle quelle à l'organisme; elle est synthétisée au départ d'une série de constituants appelés carotènes, particulièrement abondants dans les fourrages verts.

A l'état pur, la vitamine A elle-même est presque incolore, mais les carotènes sont généralement très colorés dans des nuances de jaune et d'orange. Ces substances sont solubles dans les graisses et les solvants gras. La couleur jaune des graisses animales et du lait est en grande partie attribuable aux carotènes.

### **Symptômes de carence**

La majorité des signes de carence touchent l'œil, bien que le rôle de la vitamine dans le processus même de la vision ne soit pas toujours en cause. L'héméralopie, c'est-à-dire le ralentissement et la diminution de la vision lorsque l'éclairage est faible, est liée au fonctionnement de la rétine. Chez le veau, la cécité peut être due à des malformations osseuses qui entraînent la constriction du canal qu'emprunte le nerf optique au travers du crâne. D'autres problèmes sont liés aux modifications dans la structure des canaux lacrymaux; chez les bovins, ils peuvent se traduire par une production lacrymale excessive.

Il a été établi que l'infécondité chez les bovins correspond souvent aux époques de l'année où le fourrage vert est indisponible. Certains travaux ont démontré qu'une supplémentation à base d'un des carotènes est susceptible d'améliorer la fécondité des vaches.

### **Sources de vitamine A**

Quelque 15 carotènes sont connus pour être des précurseurs de la vitamine A. Ils n'ont pas tous un potentiel égal; la teneur en vitamine A d'un aliment sera donc calculée en termes de quantité de vitamine A qu'un mélange donné de carotènes peut remplacer.

### **2. Vitamine D**

Les vitamines du groupe D sont les précurseurs d'une série de constituants qui agissent en tant qu'hormones de régulation de l'assimilation et du métabolisme du calcium et, dans une moindre mesure peut-être, du phosphore. L'hormone principale qui en résulte est le 1,25-dihydroxycholécalférol ou  $1,25(\text{OH})_2\text{CC}$ , qui peut provenir de tissus végétaux ou animaux. De nombreux végétaux et levures synthétisent un stéroïde appelé ergostérol qui produit la vitamine  $\text{D}_2$  par irradiation ultraviolette. Cette vitamine ne se trouve en

quantité importante que dans les herbes qui ont été coupées et fanées. Les animaux produisent également des stéroïdes, parmi lesquels le dihydrocholestérol qui donne la vitamine D<sub>2</sub> sous l'action des rayons ultraviolets. L'irradiation naturelle de la peau satisfait les besoins en vitamine D chez la plupart des espèces animales.

### Symptômes de carence

Une carence en vitamine D entrave la calcification des os. Chez les jeunes animaux en croissance élevés en stabulation, elle conduit à une fragilisation et à des déformations caractéristiques des os (rachitisme). Les animaux adultes ont également besoin de la vitamine D, comme le prouve la fragilisation des os (ostéomalacie) provoquée par la privation de vitamine D ou de soleil.

Le rôle de la vitamine D est accru lorsque les besoins du métabolisme du calcium et du phosphore augmentent, par exemple en période de lactation et en particulier, juste après la mise bas. Les vaches allaitantes élevées dans l'obscurité et recevant une ration carencée en vitamine D connaissent une chute rapide du taux de calcium dans les os, qui évolue rapidement en hypocalcémie.

**Tableau 5.3 Teneur en vitamine A de quelques aliments**

Aliment	Unité internationale/g MS
Maïs à grain jaune	3,4
Luzerne fraîche	400
Luzerne séchée	180

Dans certaines régions, des animaux ont connu des problèmes dus à la consommation de végétaux contenant des constituants d'une activité vitaminique D extrêmement forte. Il s'agit notamment de *Solanum malacoxylum*, plante d'Amérique du Sud qui produit un constituant libérant du 1,25 (OH)<sub>2</sub>CC lors de sa dégradation. Elle provoque chez les animaux un syndrome appelé en espagnol *enteque seco*, caractérisé par une hypercalcification des os, des poumons et des vaisseaux sanguins, qui entraîne un défaut d'aplomb, des troubles de la mobilité et la mort prématurée.

**Tableau 5.4 Teneur en vitamine D de quelques aliments**

Aliment	Unité internationale/g MS
Luzerne fraîche	2
Foin de luzerne fané	0,9
Sorgho	30
Huile de poisson	200000

### Sources et stabilité

Parmi les matières végétales, les fourrages séchés au soleil sont les meilleures sources. Le tourteau issu de poissons gras, et en particulier les huiles de foies de poisson sont d'autres sources extrêmement riches.

## 3. Vitamine E et sélénium

### Fonction biologique

Les fonctions métaboliques et nutritionnelles de la vitamine E et du sélénium sont si proches qu'il est plus prudent de ne pas les dissocier. Ces deux éléments interviennent de manière directe ou indirecte dans la prévention des troubles causés par les produits d'oxydation apportés par le corps ou par les aliments.

La formation des produits d'oxydation (peroxydes) est désastreuse pour la cellule, en particulier pour les lipides constituant les membranes. L'activité vitaminique E est caractéristique d'une série de constituants (tocophérols), dont l' $\alpha$ -tocophérol est le plus actif. Il semble que les tocophérols «noient» l'effet oxydant de tous les radicaux libres avant que ceux-ci n'endommagent les lipides. Chez les animaux, la vitamine E agit en étroite relation avec le sélénium (cf. chapitre 4, p.??), qui détruit les peroxydes ayant été formés. Le traitement d'une carence en vitamine E consiste fréquemment à pratiquer des injections mixtes de sélénium et de vitamine E.

Outre sa fonction dans les tissus biologiques, la vitamine E permet d'éviter le rancissement des graisses et des huiles par oxydation. Ceci s'explique probablement par sa capacité de neutraliser les effets des radicaux libres dans la formation des peroxydes. Cet **effet antioxydant** est important dans la mesure où il empêche les aliments gras de se détériorer trop rapidement pendant le stockage.

### Symptômes de carence

Les carences de la ration en vitamine E ou en sélénium se traduisent par des troubles de la reproduction; chez certaines espèces, des lésions ont parfois été décelées sur les testicules des mâles. Dans les cas de reproduction réussie, une carence maternelle en vitamine E ou en sélénium peut provoquer la mort de l'embryon.

Les lésions hépatiques et rénales sont fréquentes chez de nombreuses espèces. Il peut se produire une diminution du nombre de globules sanguins, ou leur dégradation peu après leur formation.

Les effets les plus marquants de ces carences touchent la structure des muscles striés, et parfois celle des muscles lisses. Chez les ruminants, elles se traduisent par une forme de myodystrophie. Les muscles perdent leur pigmentation et la viande prend une couleur anormalement pâle, ce qui vaut à la maladie le nom de «maladie du muscle blanc».

### Sources et stabilité

La vitamine E est présente dans un grand nombre de tissus végétaux, et en particulier dans les germes des céréales et les feuilles des fourrages verts. Les tissus animaux sont généralement des sources de moindre qualité.

La vitamine E est très instable et est détruite dans des conditions de conservation humides ou en présence d'acides gras insaturés. Le seuil de carence en vitamine E est donc facilement atteint et une supplémentation peut être nécessaire. Le tocophérol est produit industriellement sous une forme synthétique et peut être administré comme supplément alimentaire.

Le sélénium n'est pas aussi instable que la vitamine E. Il peut être administré aux animaux soit sous la forme de suppléments alimentaires, soit sous une forme injectable.

**Tableau 5.5 Teneur en  $\alpha$ -tocophérol de quelques aliments**

Aliment	g/kg MS
Grain d'orge	7
Lait	10
Germe de blé	150
Grain de blé	17

## 4. Vitamine K

### Fonction biologique

Sur le plan du métabolisme, la vitamine K est une des substances chimiques qui interviennent dans un ensemble de réactions de régulation du processus de la coagulation.

### **Symptômes de carence**

Le premier signe de la carence est étroitement lié à la fonction métabolique de la vitamine: les animaux carencés en vitamine K coagulent moins vite le sang et sont très enclins aux saignements, aux hémorragies internes et aux ecchymoses. La carence primaire due à un manque de vitamines ne survient que chez les nonruminants, car la vitamine K est synthétisée dans le rumen. Une carence secondaire due à un constituant toxique survient chez les ovins paissant du trèfle doux <mélilot blanc?>, qui contient parfois l'antivitamine K (dicoumarol). La maladie «du mélilot gâté» peut être traitée par l'administration de grandes quantités de vitamine K.

### **Sources et stabilité**

La vitamine K est synthétisée dans les intestins ainsi que dans le rumen. Elle est présente dans les fourrages verts feuillus tels que la luzerne.

## **VI. Digestion**

### **Processus de la digestion**

La digestion est un ensemble de processus par lesquels le mélange de substances complexes contenues dans les aliments est transformé en petites particules assimilables et utilisables par l'organisme. En gros, l'appareil digestif, ou système gastro-intestinal, prend la forme d'un long tube partant de la bouche et allant jusqu'à l'anus. Son fonctionnement est simple: en bref, les aliments pénètrent par une extrémité, au milieu du trajet, les nutriments sont intégrés dans l'organisme et les déchets sont excrétés par l'autre extrémité.

A certains endroits, le tube s'élargit pour former des poches; des sacs latéraux peuvent libérer des sécrétions dans la partie principale de l'appareil digestif. La paroi du tube joue un rôle important dans le mécanisme de la digestion, car c'est au travers d'elle que sont absorbés tous les matériaux que l'animal puise dans les aliments. C'est également par la paroi que passent la plupart des substances chimiques nécessaires à la dégradation des aliments. Enfin, le système digestif comporte une composante musculaire, qui joue un rôle physique dans le brassage des aliments et dans leur progression dans le tube.

### **Fonctions de l'appareil digestif**

#### **1. Première ligne de défense contre les poisons**

L'appareil digestif constitue une barrière entre l'animal et son milieu. Cette protection n'est pas passive; au contraire, elle recherche activement les matières utiles à l'organisme et rejette celles qui ne le sont pas. Le système peut faillir, mais en règle générale, il fonctionne extrêmement bien.

#### **2. Dégradation des substances complexes**

La digestion suppose essentiellement la dégradation de grosses molécules chimiques en petites particules. Les trois principaux groupes de constituants, les glucides, les lipides et les protéines, ont une caractéristique commune: ils sont tous constitués de molécules plus petites associées par condensation, c'est-à-dire que leur formation produit une molécule d'eau. Le procédé inverse est appelé **hydrolyse**. Avant d'être utilisables par l'organisme, les protéines, les glucides et les lipides doivent être dégradés en constituants simples. Chacune des liaisons chimiques reliant deux acides aminés ou deux molécules de sucre est rompue par une molécule d'eau. De même, les triglycérides s'hydrolysent en glycérol et en acides gras libres. La majorité des protéines, des glucides et des lipides présents dans l'alimentation animale sont relativement stables, c'est-à-dire qu'ils ne s'hydrolysent pas spontanément. L'amidon de maïs, par exemple, ne se dégrade pas spontanément en glucose lorsqu'il est mélangé à de l'eau. Ce n'est qu'en présence de catalyseurs spécifiques (enzymes)

présents dans le tube digestif que la transformation s'effectue.

Les systèmes catalyseurs sont très spécifiques et, pour la plupart, ne transforment par hydrolyse que les substances qui sont nécessaires à l'organisme; ils ne dégradent en petites particules que les matières utiles en ignorant les autres. On peut dire que le processus de digestion «filtre» de nombreuses matières nuisibles du fait qu'il est incapable de les dégrader en unités simples. Il dégrade également de grosses molécules potentiellement nuisibles aux animaux et les rend inoffensives. Ainsi, de nombreuses protéines ingérées par les animaux leur seraient gravement nuisibles si elles arrivaient telles quelles dans le sang, mais elles sont relativement inoffensives une fois dégradées en acides aminés.

## Différence entre les ruminants et les monogastriques

Par leur évolution, les ruminants ont rempli une niche écologique importante. Leur appareil digestif s'est spécialement adapté à une alimentation à base de fourrage grossier. La plus grande partie des végétaux produits dans le monde n'est que d'une maigre utilité aux êtres monogastriques, car les glucides qu'ils contiennent sont en général des sucres simples de liaison  $\beta$  (cf. chapitre 2). Les enzymes produites par l'estomac d'un homme ou d'un chien sont incapables d'attaquer ce type de liaison et le glucose contenu dans ces constituants est indisponible pour les animaux qui n'ont d'autres ressources que les leurs pour la digestion. Des microorganismes (bactéries, protozoaires et champignons) capables de dégrader la cellulose sont responsables de la décomposition de la litière végétale. Les ruminants se sont adaptés de manière à contrôler l'activité des microorganismes de sorte que tant l'animal que le microbe profitent de cette relation très intime. Il s'agit réellement d'une relation symbiotique étant donné que ni l'animal ni le microbe ne pourraient prospérer ou même survivre sans l'autre et qu'ils ont tous deux dû s'adapter. Les ruminants ont dû adapter leur anatomie et réduire leur dépendance vis-à-vis du glucose. Les microorganismes, quant à eux, ont aussi évolué et sont pour la plupart devenus des espèces distinctes qui ne vivent que dans le rumen dans les conditions présentes.

La différence majeure de la structure de l'appareil digestif des ruminants est l'existence de trois compartiments supplémentaires entre la bouche et la caillette. Le tube qui part de la bouche (oesophage) n'aboutit donc pas directement dans la caillette, mais dans le premier de ces sacs. Cet espace supplémentaire a pour fonction de permettre au ruminant de créer une série de cuves dans lesquelles les aliments peuvent subir l'action fermentative des microorganismes. L'avantage pour ces derniers est de vivre dans un environnement chaud, contrôlé, où l'apport alimentaire est presque constant; l'animal, quant à lui, y gagne car il hérite des produits terminaux des microorganismes, de certains aliments «prédigérés» et des microorganismes vivants ou morts contenus dans les digesta, qui sont eux-mêmes une source de nutriments.



Figure 6.1. - Schéma de l'appareil digestif du ruminant.



Figure 6.2. - Emplacement approximatif des parties de l'appareil digestif chez le mouton. Il faut remarquer que le réseau se trouve en réalité devant le rumen et que l'oesophage rejoint le reste de l'appareil digestif près de la jonction entre le réseau et le rumen.

Chez les ruminants, la digestion (cf. figure 6.1) peut être divisée en deux phases: l'une se passe dans les **préestomacs** (rumen, réseau et feuillet) et l'autre **au-delà du rumen** (processus identiques à ceux des non-ruminants).

## Anatomie de l'appareil digestif

### 1. Préestomacs

La figure 6.2 illustre la position relative des différentes parties de l'appareil digestif du mouton. Ensemble,

les deux premiers sacs (rumen et réseau) représentent une bonne moitié du volume du tube digestif (voir figure 6.3). Ils ne sont séparés que par un repli de la paroi, sans orifice particulier pour réunir les deux organes. Toutefois, le rumen et le réseau ont des parois d'aspects considérablement différents. Les aliments apportés par l'oesophage pénètrent dans le rumen en un point proche de la jonction rumen-réseau. Ainsi, des «corps étrangers» tels que des pierres ou des ongles tombent souvent au fond du réseau. Les aliments en cours de digestion (**digeste** ou **chyle**) circulent librement entre le rumen et le réseau, raison pour laquelle on considère souvent qu'ils ne sont que deux éléments d'un seul gros organe, le **réticulo-rumen**. Une série de piliers musculaires traversant le rumen soumettent celui-ci à des contractions; leur mouvement rythmé provoque la contraction puis le relâchement du rumen entier, qui réalise ainsi un brassage complet des aliments.



Figure 6.3. - Contenance des différentes parties de l'appareil digestif d'un bovin mâle adulte.

Les digesta quittent ensuite le réticulo-rumen par un passage étroit, l'**orifice réticulo-omasal** et pénètrent dans un troisième sac, le **feuillet**. Un des rôles importants de ce sac est l'absorption massive de l'eau contenue dans les digesta.

### Digestion dans le rumen

Les aliments ingérés par les ruminants sont d'abord mastiqués, de manière à réduire la dimension des particules alimentaires et à les mélanger à un flot de salive. Ils sont avalés et empruntent l'oesophage pour rejoindre la masse de chyle déjà présente dans le rumen. Le volume des aliments contenus dans le réticulo-rumen est relativement variable et dépend de la ration alimentaire de l'animal. Pour une ration très lignifiée, le contenu de l'appareil digestif, situé principalement dans le rumen, peut représenter près de 20 % du poids corporel d'un bovin; ce chiffre peut tomber à 12 % chez les animaux recevant une ration essentiellement composée de céréales. Le contenu du rumen n'est pas de consistance uniforme: celui du sac ventral est plutôt liquide tandis que le sac dorsal qui est au-dessus du précédent est rempli d'une masse de matières solides, principalement lignifiées. Le ruminant peut régurgiter ces matières pour une nouvelle mastication, ce qui explique pourquoi on voit fréquemment des vaches en train de mastiquer, sans bouger, dans les pâturages. On a estimé que chaque particule de matière sèche ingérée est régurgitée deux fois pour être à nouveau mastiquée.

La mastication rompt les fibres alimentaires et les rend attaquables par les microorganismes du rumen et du réseau. Les premiers à attaquer les matières solides des aliments sont les champignons. Leurs zoospores se fixent sur les particules et commencent à germer et à produire du mycélium capable d'infiltrer la structure fibreuse des fourrages; les champignons sécrètent en outre des enzymes qui dégradent les fibres voisines. L'invasion des champignons réduit la résistance des particules alimentaires et permet aux bactéries et aux protozoaires d'intervenir à leur tour.

### Digestion des glucides dans le rumen

La part la plus importante des matières pénétrant dans le rumen est composée de glucides de différentes sortes, la majorité étant probablement des glucides de liaison à tels que la cellulose. Certaines rations, notamment celles à forte teneur en céréales, peuvent contenir des quantités non négligeables de polysaccharides d' $\alpha$ -glucose, comme l'amidon. Si les quantités d'amidon sont importantes, une partie peut échapper à l'action des microbes du rumen et se diriger sous une forme non modifiée vers la caillette, où elle sera digérée.

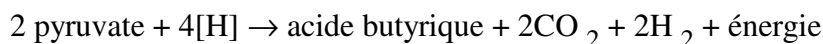
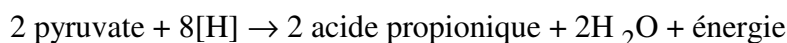
Lors de l'ingestion alimentaire, les animaux avalent certes de l'air, mais en quantité si faible que tout l'oxygène qui pénètre ainsi dans l'organisme est rapidement éliminé, par conséquent, les conditions qui règnent dans le rumen sont essentiellement anaérobies (dépourvues d'oxygène). Par contre, à l'intérieur des cellules de l'organisme, les processus métaboliques sont en grande partie aérobies (dépendants de l'oxygène). Des substances telles que le glucose ne se dégradent qu'en présence d'oxygène, dégradation qui produit de

l'énergie. Les produits terminaux sont du gaz carbonique, de l'hydrogène et de l'eau. Les quantités d'énergie ainsi dégagées sont considérables. Les microorganismes vivant dans le rumen ne bénéficient pas d'un tel apport d'oxygène et doivent donc faire appel à d'autres procédés pour «extraire» l'énergie qui leur est nécessaire. Ils survivent en utilisant la faible quantité d'énergie libérée au cours de l'oxydation partielle des aliments. L'oxydation totale d'un kg de glucose en gaz carbonique et en eau produit environ 16 MJ d'énergie; l'oxydation partielle de la même quantité dans des conditions anaérobies n'en produit qu'un sixième. Près de la moitié des matières qui subsistent après cette dégradation partielle sont assimilables par l'appareil digestif et peuvent être utilisées par le ruminant.

Que les conditions soient aérobies ou non, le premier stade de l'oxydation du glucose est la production d'acide pyruvique (pyruvate). Cette oxydation libère de l'énergie pour les microorganismes et produit quatre atomes d'hydrogène. Dans les conditions anaérobies du rumen, le pyruvate peut alors subir diverses oxydations, dont les trois principales produisent chacune un **acide gras volatil (A.G.V.)** différent.

Les acides gras produits en plus grand nombre dans le rumen sont l'acide acétique, propionique et butyrique, qui sont les principaux produits de la dégradation des glucides. Les acides gras valérique, isovalérique et isobutyrique, qui sont composés d'une longue chaîne ramifiée, sont produits en plus petites quantités. Ces derniers sont le résultat de la dégradation des acides aminés produite par le métabolisme microbien des protéines.

### Réactions chimiques à l'origine des acides gras volatils



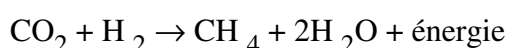
Les acides gras volatils sont absorbés au travers de la paroi ruminale dans une proportion presque identique à celle dans laquelle ils sont produits.

La production relative d'acides gras dépend de l'environnement ruminal. En général, une ration de meilleure qualité engendre une production supérieure d'acide propionique et une réduction correspondante de la quantité d'acide acétique (figure 6.4). La qualité est améliorée soit en augmentant la quantité d'aliments très fermentescibles, comme les céréales, très riches en amidon, soit en moulant finement une ration fibreuse.

### Production de méthane dans le rumen

La synthèse de plusieurs acides gras volatils entraîne une production d'hydrogène. Cet hydrogène pénètre en partie dans le capuchon gazeux du sac dorsal du rumen, mais il est soumis en grande partie à une réaction chimique à l'intérieur de bactéries méthanigènes, qui le transforment en méthane.

### Production de méthane dans le rumen



La production de méthane est importante; près de 8 % de l'énergie brute d'un aliment est perdue sous cette forme. Les gaz occupent un volume beaucoup plus important que le poids correspondant de solides, de sorte que chez un bovin, la production de méthane peut représenter plusieurs centaines de litres par jour. Le méthane ainsi produit et le gaz carbonique doivent donc être évacués, c'est le processus d'éructation. Si l'organisme est incapable d'éructer la totalité des gaz produits, le rumen gonfle, ce qui provoque la maladie appelée **météorisation**. L'issue peut être fatale si le gonflement n'est pas traité.



Figure 6.4. - Acides gras volatils (A.G.V.) produits dans le rumen d'un mouton. Ils constituent la principale source d'énergie chez le ruminant. Si la digestibilité de la ration augmente (proportion élevée de céréales), la proportion d'acétate diminue et celle de propionate augmente.

### Protéines du rumen

Les microbes du rumen sont bénéfiques pour leur hôte en termes de nutrition protéique. Chez les non-ruminants, la quasi-totalité des besoins en azote doivent être satisfaits par un apport de protéines brutes. Sur le plan pratique, celles-ci constituent généralement la part la plus coûteuse de la ration alimentaire. Les microorganismes nécessitent également des protéines pour leur propre croissance, mais, différence non négligeable, ils sont capables de produire leurs propres acides aminés au départ de substances azotées très simples et probablement moins onéreuses. Ce n'est pas tant le fait que les microbes utilisent les constituants azotés lorsqu'il n'y a aucun apport de protéines; ils sont pour la plupart incapables d'utiliser les protéines brutes et dépensent énormément d'énergie à les dégrader en constituants simples (et moins coûteux!).

La vitesse de synthèse des protéines par les microorganismes du rumen dépend de la vitesse à laquelle les microbes du rumen métabolisent les particules alimentaires. Même si ce métabolisme est très rapide, la vitesse de synthèse des protéines est souvent insuffisante pour satisfaire la totalité des besoins de l'organisme en acides aminés, en particulier en période de lactation ou de croissance rapide. La seule autre source d'acides aminés est l'apport de protéines dans la ration, mais celles-ci sont en majorité dégradées en constituants simples, tels que l'ammoniac et l'urée, dans le rumen.

### Ammoniac du rumen

Tous les constituants azotés simples présents dans le rumen sont finalement transformés en ammoniac, qui est la principale matière première des microbes fabriquant des acides aminés à partir de sources azotées simples. Si la ration apporte trop peu d'azote, protéique ou non, les microbes ne disposent pas d'une quantité suffisante d'ammoniac, matière première de la synthèse protéique. La flore microbienne ne peut guère se développer ni dégrader les protéines ou les glucides. L'analyse de la concentration ammoniacale du liquide du rumen est un moyen de déterminer si la teneur en protéines est suffisante dans la ration des animaux. Si la concentration est inférieure à environ 100 mg/litre, il est presque certain que la ration est déficiente en constituants azotés.

### Sources peu coûteuses d'azote

Etant donné le coût des protéines alimentaires, il est peu rentable de les fournir telles quelles pour qu'elles soient ensuite détruites en constituants qui pourraient être apportés à un coût nettement inférieur par des sources alternatives. Si l'on se base, par exemple, sur les prix du marché mondial, le coût de l'azote fourni sous la forme de farine de poisson blanc est généralement plus de cinquante fois supérieur à celui de l'azote contenu dans l'urée. De petites quantités d'urée peuvent être apportées aux ruminants, ne fût-ce que pour combler une partie des besoins azotés. Si le fourrage est traité à l'urée, il est absolument essentiel de ne pas en donner à d'autres catégories de bétail; chez les non-ruminants, comme le cochon, voire les herbivores, comme le cheval, l'urée est extrêmement toxique.

### Dégradation des protéines dans le rumen

Une partie des protéines qui pénètrent dans le rumen échappe à l'action dégradante des microbes et passe avec le chyle dans la caillette. De ces protéines, une partie passe à nouveau sans être dégradée, ni dans la caillette ni dans le duodénum, et est excrétée dans les fèces sous une forme presque intacte. La part de protéines non dégradées dans le rumen, mais digestibles dans l'estomac joue un rôle extrêmement important; on lui a donné différents noms: protéines non dégradables dans le rumen, «by-pass proteins» ou encore, les «by-pass». Toutes ces appellations se valent, mais par souci de cohérence, nous utilisons l'expression **«protéines réellement digestibles dans l'intestin» (PDI)**.



Si l'organisme est soumis à un taux élevé de production, soit en raison d'une croissance rapide ou d'une production laitière élevée, la synthèse de protéines microbiennes ne suffit pas à satisfaire les besoins de l'animal. Dans ce cas, l'apport de PDI est essentiel pour assurer la production d'une quantité suffisante d'acides aminés.

L'autre fraction de protéines alimentaires est appelée **protéines dégradables dans le rumen**, et représente celles qui sont dégradées par la flore microbienne du rumen.



### Protéines alimentaires

La dégradabilité des protéines correspond à la proportion des protéines brutes alimentaires dégradées en constituants azotés simples.

Dégradabilité des protéines = protéines dégradables dans le rumen / Matières azotées totales (protéines brutes)

La dégradabilité donne un aperçu de la capacité des protéines à contribuer à la fraction PDI, étant donné que des protéines de différentes sources n'ont pas une valeur identique (cf. tableau 6.1).

**Tableau 6.1 Dégradabilité des protéines de différentes sources**

Aliment	Dégradabilité
Foin de graminées	0,9
Gluten de blé	0,8
Tourteau de soja	0,6
Farine de poisson	0,4
Farine de sang	0,3

Les protéines dégradables dans le rumen sont transformées en acides aminés simples, en ammoniac et en urée. Ces constituants azotés simples s'ajoutent aux autres, tels que l'urée, qui ont été ingérés tels quels; ensemble, ils représentent la fraction d'azote **dégradable dans le rumen**. Cette fraction est calculée en convertissant en valeur azotée la fraction des protéines dégradables dans le rumen, en divisant celle-ci par 6,25 et en y ajoutant la quantité d'**azote non protéique (ANP)** ingérée par l'animal (cf. annexe 2, Teneur en protéines).

Azote dégradable dans le rumen = (protéines dégradables dans le rumen/6,25) + ANP

Le schéma général des métabolismes azoté et protéique dans le rumen est résumé dans la figure 6.5.



Figure 6.5. - Voies empruntées par les protéines alimentaires brutes jusqu'à l'intestin grêle du ruminant. Seuls les protéines et les acides aminés qui parviennent à l'intestin grêle sont utiles à l'organisme.

### Apport de soufre dans le rumen

La flore microbienne du rumen est capable de synthétiser des acides aminés à partir de sources azotées simples et de petites molécules contenant du carbone. Deux acides aminés, à savoir la méthionine et la cystéine, contiennent également du soufre. Le premier est un acide aminé essentiel et joue un rôle tout aussi important dans la digestion des ruminants que dans celle des monogastriques. Certains microbes du rumen peuvent les synthétiser, mais uniquement en présence suffisante de soufre. En règle générale, l'apport de

soufre doit représenter entre un onzième et un quinzième de l'apport d'azote dégradable dans le rumen. Une partie du soufre est présente sous la forme de constituants organiques et une autre peut être administrée sous la forme de sels, tels que le sulfate de sodium.

## **Digestion des lipides dans le rumen**

La nutrition lipidique des ruminants est quelque peu différente de celle des monogastriques, car la flore microbienne du rumen peut dégrader ou modifier les graisses alimentaires ou synthétiser elle-même de nouveaux lipides au départ de constituants simples.

Les lipides présents dans la ration alimentaire normale des ruminants ont une composition légèrement différente de ceux apportés aux non-ruminants. Les substances contenues dans des aliments tels que les céréales, les oléagineux ou les produits animaux sont essentiellement des triglycérides, alors que les graminées contiennent principalement des galactolipides. En réalité, le type de lipides présents dans la ration a peu d'importance, car ils subissent presque tous une hydrolyse ruminale rapide qui produit deux constituants séparés: les substances solubles dans l'eau et à fermentation rapide, comme le glycérol et les sucres, et celles insolubles dans l'eau, c'est-à-dire les acides gras.

Les acides gras de la ration sont généralement un mélange d'acides saturés et insaturés. Si les lipides sont en grande partie d'origine végétale, la majorité des acides gras sera probablement insaturée; les lipides d'origine animale contiennent souvent une plus grande proportion d'acides saturés. Le rumen étant un milieu anaérobie, les réactions fermentatives produisent presque toutes de l'hydrogène. Une partie sera «piégée» et évacuée sous la forme de méthane tandis que l'autre réagira avec les acides insaturés. A chaque fois qu'il existe une «double» liaison carbone-carbone, un acide gras insaturé possède deux atomes d'hydrogène de moins que son correspondant saturé. Les microbes contiennent des enzymes capables d'attacher des atomes d'hydrogène «de réserve» à la chaîne carbonée des acides gras insaturés. Au cours de ce processus, les doubles liaisons deviennent des liaisons simples et les acides insaturés se transforment en acides saturés correspondants. La proportion d'acides saturés augmente donc fortement par rapport à la quantité apportée par les aliments. En fin de compte, le ruminant utilise les lipides comme source d'énergie, il les synthétise de ses propres amas graisseux ou les sécrète dans le lait. Le processus de l'hydrogénation explique pourquoi une grande part des acides gras contenus dans la graisse tissulaire ou dans le lait des ruminants sont saturés (aucune liaison double) ou monoinsaturés (une seule liaison double).

Les graisses ont une teneur en énergie brute beaucoup plus élevée que tout autre constituant de la ration et la tentation peut être grande de les introduire en quantités élevées dans les rations destinées aux ruminants, uniquement dans le but d'accroître l'ingestion journalière d'énergie. Malheureusement, il s'agit d'une mauvaise technique, car la présence de grandes quantités d'acides gras dans le rumen peut nuire fortement à la capacité de la flore microbienne de dégrader d'autres constituants alimentaires. En général, on estime qu'une teneur en graisses supérieure à 5 % entraîne une diminution de l'appétit de l'animal à utiliser les fibres alimentaires.

## **Activité ruminale**

La vitesse de transit dans le rumen détermine en grande partie l'ingestion alimentaire. Si les aliments sont dégradés lentement dans le rumen, ils s'y accumulent et empêchent de poursuivre l'ingestion. En outre, si la dégradation est très lente, il se produit un ralentissement proportionnel de la production d'acides gras volatils qui constituent la principale source d'énergie de l'organisme.

Dans l'ensemble, les besoins des microbes sont relativement simples et se résument à un apport suffisant d'azote et de soufre, et à une abondance de substances à dégrader pour produire de l'énergie. Si la ration de l'animal est de très mauvaise qualité, elle n'apportera probablement pas assez d'azote ni de substances énergétiques pour combler les besoins des microorganismes. Une carence de ces éléments essentiels signifie que les microbes ne pourront dégrader les substances disponibles qu'à un rythme ralenti, aggravant encore davantage le déficit nutritionnel. La règle générale est de veiller à entretenir les conditions ruminales qui permette aux microbes de prospérer, mais également de dégrader les parties les plus pauvres (et les moins coûteuses) de la ration.

## 2. Digestion après le rumen

Dès leur arrivée dans la caillette du ruminant adulte, les digesta subissent une série de transformations identiques à celles qui ont lieu chez le jeune ruminant et chez tous les autres mammifères.

### Digestion dans la caillette

La caillette du ruminant est l'équivalent de l'estomac des monogastriques et sa fonction est très semblable. Chez les monogastriques ou les jeunes ruminants, l'absorption des nutriments est très faible avant l'arrivée des aliments dans l'estomac. Dans la caillette, ils sont soumis à un environnement très acide et à l'action d'une série d'enzymes capables d'agir dans de telles conditions. Les sécrétions pénètrent dans la caillette du ruminant soit par des petites glandes, soit au travers des cellules qui tapissent l'estomac (cellules épithéliales). Les principales protéines sécrétées sont la mucine (qui a essentiellement une fonction lubrifiante) et un groupe d'enzymes appelées pepsines, qui sont **protéolytiques** (elles attaquent les protéines). Les pepsines sont libérées dans l'estomac sous une forme inactive et inoffensive, le pepsinogène, et les cellules sécrétrices le libèrent dans une solution alcaline fortement diluée. Dès que le pepsinogène rencontre les conditions très acides de l'estomac, une partie de la molécule est rompue et se divise en un petit groupe inoffensif d'acides aminés et en pepsine active.

La pepsine n'hydrolyse pas totalement les protéines en acides aminés mais produit également des polypeptides. Certains produits de la digestion sont absorbés à travers la paroi de la caillette et passent dans le sang pour être utilisés par l'organisme.

La ration des jeunes ruminants est très différente de celle des adultes et leur système digestif y est adapté. Par exemple, il produit de grandes quantités d'une enzyme appelée rénine, qui attaque les principales protéines du lait. La caséine, qui est la plus abondante d'entre elles, coagule sous l'effet combiné des conditions acides et de la rénine, de sorte que son passage dans le tube digestif est ralenti.

### Digestion dans l'intestin grêle

De la caillette, les aliments partiellement digérés passent dans l'intestin grêle, où les conditions sont alcalines et où toute une série d'autres enzymes entrent en action.

Chez le jeune ruminant, c'est dans l'intestin grêle que se situe la phase principale de l'assimilation de la nourriture. Chez l'adulte, il est le lieu de dégradation finale des protéines et des lipides, ainsi que de l'amidon et d'autres constituants similaires qui ont échappé aux attaques de la flore ruminale.

Il existe trois sources principales de sécrétions digestives:

- le pancréas;
- les cellules de la paroi intestinale;
- le foie (avec la vésicule biliaire).

Le pancréas est un organe qui exerce deux types de fonctions. D'une part, il produit des hormones qui sont en grande partie responsables de la régulation du métabolisme de l'organisme; d'autre part, il produit une sécrétion liquide (suc pancréatique) qui contient une série de substances essentielles à la digestion. La glande est directement reliée à l'intestin grêle par un petit canal (canal pancréatique).

Les digesta quittant l'estomac ont un pH très faible; pour que le processus de la digestion puisse se poursuivre, cette acidité doit être neutralisée. C'est essentiellement le rôle du suc pancréatique, qui contient une forte concentration de bicarbonate.

### Digestion des glucides dans l'intestin grêle

Avant d'être absorbés dans le sang au travers de la muqueuse intestinale, la majorité des glucides doivent être réduits aux sucres simples qui les constituent (monosaccharides). Le tube digestif produit des enzymes qui ne peuvent hydrolyser que les glucides de type  $\alpha$ , comme l'amidon et le glycogène. La ration de la majorité des ruminants contient généralement une faible quantité de polysaccharides d' $\alpha$ -glucose et, si le rumen est actif, ils seront rapidement dégradés par les microorganismes. Chez l'animal qui ingère des doses élevées d'amidon, une fraction considérable des glucides pénètre toutefois dans l'intestin grêle. C'est notamment le cas de la vache laitière à haut rendement qui consomme de grandes quantités de graines de maïs. Etant donné la faible capacité de fermentation des jeunes ruminants, la proportion d'amidon à digérer dans l'intestin grêle peut être élevée. Le catalyseur essentiel de cette hydrolyse est une amylase produite par le pancréas; cette réaction produit du maltose et de petites chaînes de sucres de type  $\alpha$ , les dextrines. Les glucides subissent une dégradation supplémentaire par les enzymes produites par la muqueuse de l'intestin grêle; le maltose et les dextrines sont alors hydrolysés en glucose. Quelques disaccharides simples, notamment le lactose et le saccharose, sont hydrolysés en leurs constituants par des enzymes spécifiques.

### **Digestion des protéines dans l'intestin grêle**

Toutes les protéines animales sont synthétisées à partir des acides aminés qui les composent. Pour alimenter le processus en matières premières, les protéines passant dans le tube digestif sont dégradées en acides aminés simples avant d'être absorbées. Il se produit une certaine dégradation des protéines sous l'action de la pepsine et de la rénine dans la caillette, mais elle produit davantage des polypeptides, des chaînes d'acides aminés, que des substances absorbables. La pepsine semble jouer un rôle «modérateur» sur les protéines prêtes à attaquer les enzymes dans l'intestin grêle.

Une série d'enzymes protéolytiques (qui attaquent les protéines) sont présentes dans l'intestin grêle. En général, chaque type d'enzyme hydrolyse une liaison peptidique particulière et une grande quantité d'enzymes sont nécessaires pour produire les acides aminés correspondant à une protéine donnée. Certains aliments produisent des protéines capables d'inhiber de manière spécifique des enzymes protéolytiques isolées; ingérés à l'état cru, ils peuvent provoquer des troubles digestifs en réduisant le rythme de dégradation des protéines dans l'intestin grêle. Les germes de soja crus contenant la trypsine, un inhibiteur, en sont un exemple. Il est donc conseillé de soumettre les germes de soja à un traitement par la chaleur chaque fois qu'ils entrent dans la nourriture des animaux, ceci afin d'inactiver l'inhibiteur.

Chez le ruminant, les protéines proviennent de deux sources: la première est alimentaire, la seconde est liée aux microbes qui quittent le rumen. Quelle que soit leur origine, les protéines ne sont utiles à l'organisme que si elles sont dégradées en acides aminés dans l'intestin. Lors du calcul de la quantité de protéines réellement apportées par la ration et par la flore microbienne, il ne faut pas oublier qu'une partie de chacune de ces fractions ne sera pas digérée dans l'intestin grêle et sera excrétée de manière presque intacte dans les fèces.

### **Digestion des lipides dans l'intestin grêle**

Les lipides posent de sérieux problèmes à l'organisme étant donné qu'ils ne sont pas directement solubles dans l'eau. Ce problème est résolu de la même manière qu'on lave des vêtements tachés de graisse ou des assiettes sales. Si les lipides ne se dissolvent pas dans l'eau, on peut néanmoins les disperser en minuscules gouttelettes de manière à ce qu'elles couvrent la plus grande surface possible. Pour la vaisselle, on se sert de détergents. Les graisses sont vigoureusement mélangées à des substances chimiques dont les molécules sont divisées en deux parties: la première interagit avec les graisses et la deuxième se mélange à l'eau. En agitant le mélange, il se forme de fines gouttelettes entourées d'une couche de molécules de détergent, toutes orientées de manière à ce que leur «queue» non polaire pénètre dans la gouttelette de graisse et que la «tête» polaire émerge dans l'eau. Les détergents naturels (sels biliaires) produits par l'appareil digestif sont extrêmement puissants, ce qui est indispensable étant donné qu'ils agissent à la température corporelle. Ils sont synthétisés par le foie et sont stockés dans la vésicule biliaire qui les libère dans l'intestin grêle selon les besoins.

Les micelles, c'est-à-dire ces petites gouttes de graisse entourées d'une couche de molécules de détergent, ont

un diamètre moyen d'approximativement 10 nanomètres. L'augmentation de surface est énorme: si une tache de graisse de 1 cm de diamètre éclate en micelles, sa surface est multipliée par un facteur proche de 670000. Les enzymes appelées lipases hydrolysent les triglycérides en acides gras libres, en glycérol et en monoglycérides. Ces produits sont absorbés au travers de l'épithélium intestinal et traversent ensuite le système lymphatique pour aboutir dans le foie.

### Rôle du caecum et du gros intestin

Le rôle de ces organes varie d'une espèce à l'autre; chez certains herbivores non ruminants tels que le cheval et le lapin, le caecum est le lieu principal de fermentation des particules alimentaires qui ne peuvent être dégradées par les enzymes digestives de l'organisme. Chez la plupart des espèces, le gros intestin est le lieu d'une activité intense de fermentation. Il fait également office de lieu d'entreposage des déchets jusqu'à ce que ceux-ci soient excrétés sous la forme de fèces. La plupart des animaux survivent à l'ablation chirurgicale du gros intestin. La quantité de matières absorbées au travers des parois de cette partie du tube digestif est en effet très réduite. L'organe joue probablement un rôle dans la synthèse de certains constituants tels que des vitamines utilisées en quantités infimes, mais qui n'en sont pas moins essentielles à la vie et à la santé.

### Digestion chez le jeune ruminant

La fonction du rumen est de dégrader des matières végétales qui, autrement, seraient indisponibles pour l'organisme. Cela signifie que le processus de fermentation ruminale est extrêmement utile, mais il peut également s'avérer peu rentable si l'animal se nourrit de matières facilement digestibles. Or, le jeune ruminant est normalement nourri à base de lait, qui est un produit extrêmement riche. Nous ne serons donc pas surpris de constater qu'il dispose d'un processus de substitution à la fermentation ruminale et que la digestion se déroule chez lui de manière relativement similaire à celle des monogastriques.

A la naissance, le rumen n'est pas très volumineux; avec le réseau, il représente près de 30 % du volume des quatre poches situées entre l'oesophage et l'intestin grêle (figure 6.6). Deux mois plus tard, il passe à près de 70 % et chez la vache adulte, le rumen et le réseau représentent ensemble 85 % du volume. La caillette, par contre, qui est l'équivalent direct de l'estomac des monogastriques, aura diminué de 70 % à 7 % du volume.

La paroi du rumen se caractérise chez le ruminant adulte par un profond sillon (gouttière oesophagienne). Un réflexe permet aux jeunes ruminants de fermer le dessus de cette gouttière pour que les aliments liquides s'écoulent directement dans la caillette, sans passer par le rumen. Ce réflexe est extrêmement utile aux jeunes qui se nourrissent de lait, car il leur permet de directement soumettre le lait à l'action digestive du véritable estomac, en court-circuitant l'activité de la flore microbienne peuplant le rumen qui ne ferait que réduire la valeur de cet aliment très complet. A mesure que l'animal vieillit et que la ration s'enrichit en éléments solides, l'organisme perd cette capacité de fermer la gouttière. On peut l'entraîner à préserver ce réflexe en continuant de lui donner des aliments liquides. Des expériences ont été réalisées pour tenter d'exploiter cette capacité afin de donner aux ruminants adultes des suppléments de protéines de haute qualité sous une forme liquide sans que celles-ci ne soient dégradées dans le rumen. Malheureusement, cette approche attrayante n'a pas encore débouché sur l'élaboration d'un système pratique d'alimentation.



Figure 6.6. - Comparaison de la taille de la caillette et des autres organes du tube digestif chez le jeune ruminant et l'adulte. Il faut remarquer qu'avec l'âge, la taille de la caillette (estomac) diminue par rapport à celle du réseau et du rumen. Ceci reflète l'importance de leur rôle respectif dans la digestion.

## VII. Energie

### Energie chez les animaux

L'énergie, qui se définit comme la capacité d'un corps à produire un travail, peut prendre de nombreuses formes. Chez les animaux, elle se présente principalement sous les formes chimique, mécanique, électrique

et thermique. Contrairement aux végétaux, les animaux ne peuvent tirer directement leur énergie du soleil; ils doivent donc en recevoir un apport constant dans leur alimentation. C'est pour eux la seule manière d'en capter des quantités suffisantes. L'une des lois fondamentales de la science est la **première loi de la thermodynamique** (parfois appelée loi de la conservation de l'énergie). Cette loi précise que «toute énergie qui disparaît sous une forme apparaît en quantité équivalente sous une autre». Dans la nutrition animale, cela signifie que, si un animal reçoit une certaine quantité d'énergie dans les aliments, nous devons pouvoir la retrouver entièrement sous une forme ou l'autre (figure 7.1). L'énergie qui lui est donnée est soit excrétée, soit transformée en chaleur, soit utilisée pour effectuer un travail, soit encore retenue par l'organisme sous l'une ou l'autre forme. En d'autres termes, «tout ce qui rentre doit sortir».

Les animaux évacuent de l'énergie de trois manières dans leur environnement: sous forme de chaleur, d'énergie chimique ou de travail mécanique.

Les animaux produisent et évacuent de la chaleur; sous les climats froids, ceci représente un avantage certain. Un homme adulte produit autant de chaleur qu'une ampoule de 60 W; une vache laitière, par contre, en produit autant qu'une petite cuisinière (600 W). Les effets bénéfiques de la production de chaleur sont moins évidents dans les zones tropicales où les animaux dépensent parfois des quantités énormes d'énergie pour tenter de se rafraîchir.

Les déjections animales contiennent une certaine quantité d'énergie chimique, comme le prouve le fait qu'elle se transforme en chaleur lors de la combustion. En effet, dans certaines régions tropicales, les excréments séchés sont une des principales sources de combustible. Il n'est pas aussi évident que l'urine contienne de l'énergie chimique, mais à condition d'être séchée avec précaution, la petite quantité de résidus peut être brûlée. D'autres produits excrétés, notamment les pellicules (peau séchée et desquame), les larmes et la sueur contiennent également de l'énergie chimique, mais en quantité relativement faible.

Le type de travail mécanique le plus évident chez les animaux vivant dans les exploitations est le trait tel que le labour; toutefois la notion de travail est loin de s'appliquer uniquement aux bêtes de somme. Tous les animaux doivent accomplir un travail physique, pour la respiration, par exemple, ou pour la recherche d'aliments et l'ingestion ainsi que pour les processus d'excrétion et de reproduction.

## Unités de mesure de l'énergie

Etant donné la coexistence de différentes formes d'énergie dans l'organisme d'un animal, il est important d'établir une unité commune de mesure. Dans certaines parties du globe, l'unité est la calorie, qui est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température d'un gramme d'eau. Pour diverses raisons, cette unité s'est révélée peu pratique et a été remplacée dans la plupart des pays par le joule, qui peut être facilement mesuré électriquement. Dans la nutrition animale, le joule lui-même est une unité trop petite pour des applications pratiques (une énergie d'un seul joule permet à un bovin de survivre pendant environ 0,0016 seconde); on utilise donc plus fréquemment les unités de facteur 1000 (kilojoule, kJ) et 1000000 (mégajoule, MJ).

Afin de survivre, l'organisme a besoin d'un apport énergétique constant pour satisfaire les besoins liés au maintien des fonctions corporelles, au mouvement, à la croissance et, dans certains cas, à la production laitière. Un des problèmes majeurs dans la nutrition animale est de veiller à un apport suffisant d'énergie pour satisfaire les besoins de l'organisme à un moment donné. Le problème est double: d'une part, il faut connaître la quantité d'énergie qu'un aliment peut apporter et d'autre part, il faut quantifier les besoins de l'animal.

## Valeur énergétique des aliments

L'énergie contenue dans les aliments est une forme d'énergie chimique que l'on peut mesurer en brûlant un échantillon et en mesurant simplement la quantité de chaleur produite. La quantité d'énergie libérée par combustion est l' **énergie brute** , généralement mesurée en mégajoules par kilogramme de matière sèche des aliments (MJ/kg MS). En laboratoire, les mesures sont réalisées grâce à un appareil appelé **bombe**

**calorimétrique** (figure 7.2). Cette méthode consiste à prélever un petit échantillon sec d'aliment, par exemple un gramme. L'échantillon est placé dans un récipient en acier très résistant (appelé «bombe») rempli d'oxygène pur sous pression. L'échantillon est enflammé électriquement et sa combustion produit de la chaleur. Cette chaleur est ensuite évacuée et sa température peut être mesurée avec précision à l'aide d'un thermomètre extrêmement sensible. L'augmentation de la température de l'eau est directement liée à l'émission d'énergie brute par l'échantillon alimentaire.

Le tableau 7.1 indique la valeur énergétique typique de quelques aliments.

Un point intéressant à relever au sujet de ces chiffres est la concordance étroite entre la valeur énergétique des graminées séchées, des grains de blé et de la paille de blé de pauvre qualité. Par expérience, on sait que ces aliments satisfont de manières très différentes les besoins nutritifs des animaux; pourtant, sur le plan de l'énergie brute, ils sont virtuellement indifférenciables. La découverte la plus importante est, en réalité, que seuls les aliments ayant une teneur élevée en graisses ou en huiles ont une valeur énergétique nettement supérieure à 18 ou 19 MJ/kg MS. On peut estimer que, lors de la combustion, les graisses pures produisent approximativement deux fois et demie la quantité d'énergie brute libérée par d'autres substances. Il peut paraître étonnant que l'énergie brute d'un aliment ne puisse donner une indication précise de sa valeur nutritive; tout dépend en fait de l'utilisation que fait l'animal de l'énergie provenant de différents aliments.



Figure 7.1. - Transformations énergétiques dans l'organisme. L'énergie pénètre sous forme d'aliments, mais elle est évacuée par diverses voies. Toute énergie qui ne quitte pas l'organisme s'ajoute à l'énergie accumulée par celui-ci.

**Tableau 7.1 Energie brute de quelques aliments courants**

<b>Aliment</b>	<b>Energie brute MJ/kg MS</b>
Grain de blé	18,5
Graminées séchées de bonne qualité	18,5
Paille de blé de pauvre qualité	18,2
Poudre de lait	20,5
Graisses animales	36,6
Huile de tournesol	37,0

## Utilisation de l'énergie alimentaire

L'énergie apportée par les aliments est utilisable pour une série de fonctions, dont certaines sont utiles à l'agriculteur et d'autres ne le sont pas. En guise d'illustration, les figures 7.3 et 7.4 montrent comment deux types d'animaux, un agneau en croissance et une vache laitière, utilisent l'énergie qui leur est fournie. Afin de pouvoir exploiter les informations récoltées à ce sujet grâce aux expériences réalisées dans de nombreux pays, il a fallu établir un schéma de répartition de l'énergie en ses divers usages. Celui qui est résumé ci-dessous est le plus fréquemment utilisé.



Figure 7.2. - Schéma d'une bombe calorimétrique utilisée pour déterminer l'énergie brute des aliments.



Figure 7.3. - Utilisation de l'énergie brute chez l'agneau en croissance; seuls 15 % de l'énergie sont destinés au produit final (viande). (Ovin de 25 kg prenant 100 g par jour.)



Figure 7.4. - Utilisation de l'énergie chez une vache laitière produisant 5 litres de lait par jour. L'énergie utilisée pour la production de lait et la croissance du fœtus représente 18 %. Chez les animaux produisant davantage de lait, la proportion d'énergie apportée par les aliments et consacrée à la production de lait est supérieure. (Vache de 400 kg, à 7 mois de gestation.)

## Energie digestible

Avant qu'un animal ne puisse tirer profit d'un aliment, celui-ci doit au préalable être ingéré et digéré. Les ruminants consomment certains aliments, ceux que nous considérons généralement comme de bonne qualité, en quantité beaucoup plus élevée (ce facteur est important dans la gestion de l'ingestion alimentaire). Même si un aliment est ingéré et pénètre dans le tube digestif, il n'est pas certain que les microbes et les enzymes pourront le dégrader en particules suffisamment petites pour être absorbées dans le sang. Une partie de la plupart des substances n'est digérée par aucun organe et est excrétée dans les fèces. C'est dans les fèces que la perte singulière d'énergie est généralement la plus importante. Cette perte est également la plus variable, allant de moins de 20 % pour un aliment de bonne qualité à plus de 60 % pour un aliment de mauvaise qualité. Si l'on soustrait l'énergie excrétée dans les fèces de celle ingérée par l'animal, on obtient la part utilisable par l'organisme, l' **énergie digestible (ED)**.

La digestibilité des aliments est en grande mesure fonction de l'espèce animale considérée. Les aliments fibreux sont relativement bien digérés par les ruminants, mais beaucoup moins par les monogastriques. Si l'on mesure la quantité d'énergie digestible, il convient de mentionner l'espèce animale considérée. La figure 7.5 reprend, pour les ovins, la teneur en énergie digestible des aliments déjà mentionnés dans le tableau 7.1. On s'aperçoit que la teneur des céréales, des graminées et de la paille place ces aliments dans un ordre proche de celui de leur utilité potentielle dans la ration alimentaire.

## Energie métabolisable

Les fèces ne sont pas le seul combustible excrété par l'organisme. L'urine, une fois séchée, produit de l'énergie par combustion. Les ruminants produisent également une part considérable de méthane (gaz combustible) au cours de la fermentation dans le rumen; cette production représente quelque 8 % de l'énergie apportée par les aliments. Depuis peu, la quantité de méthane produite par les animaux dans le monde entier fait l'objet d'une grande inquiétude, car on pense qu'il s'agit d'un des gaz qui contribuent au réchauffement de l'atmosphère dû à l'«effet de serre». L'urine et le méthane représentent donc un usage totalement improductif de l'énergie apportée par les aliments. Lors du calcul de la quantité d'énergie utilisable par l'animal, il faut soustraire ces pertes de la quantité d'énergie digérée. L'énergie qui subsiste est maintenant disponible pour les processus métaboliques de l'organisme; c'est l' **énergie métabolisable (EM)**.

La figure 7.5 mentionne également l'énergie métabolisable de la même série d'aliments. Les valeurs s'écartent encore davantage, ce qui permet d'utiliser l'énergie métabolisable comme critère déterminant dans le choix des aliments en fonction de leur valeur potentielle dans la ration.

Il semble que les aliments très gras, les graisses animales et les huiles végétales ont une teneur très élevée en énergie métabolisable, mais ceci est peu utile étant donné qu'ils ne peuvent être incorporés dans la ration qu'à des doses limitées en raison de leurs effets néfastes sur l'ensemble de la digestion ruminale.

Dans la pratique, on détermine presque toujours la teneur en énergie métabolisable en fonction d'un ovin adulte, mais les analyses sont pratiquées sur des aliments qui sont apportés à de nombreux autres animaux d'élevage, entre autres aux vaches laitières. Cela signifie que l'on peut considérer l'énergie métabolisable comme étant une propriété liée à un aliment plutôt qu'au type de ruminant qui la consomme. Elle joue un rôle variable sur la production, en fonction de l'espèce animale, de l'âge, du type de production et de la nature de la ration qui est apportée. Des problèmes pratiques se posent quant à la prise en compte de ces valeurs pour la composition de la ration; ils sont dus, pour la plupart, à la différence d'utilisation de l'énergie



métabolisable suivant l'espèce animale.

Avant de détailler l'usage qui est fait de l'énergie pour satisfaire les besoins de l'organisme, il convient d'étudier les processus métaboliques qui y font appel.



Figure 7.5. - Valeur énergétique de trois aliments. On constate que la teneur en énergie brute est comparable, mais que, chez le mouton, la quantité d'énergie digestible chute fortement dans le cas des aliments les plus pauvres (paille). Dans tous les cas, la perte énergétique la plus importante est concentrée dans la part non digestible des aliments.

## Besoins énergétiques de l'organisme

### Entretien

Les aliments qui ont été digérés par l'organisme représentent une source d'énergie chimique qui peut être libérée sous forme de chaleur grâce à une série de processus similaires à la combustion. Si l'animal ne consomme que la quantité de nourriture nécessaire au maintien de sa taille corporelle, il aura besoin d'énergie supplémentaire pour que les processus vitaux continuent à fonctionner. Même si les cellules de l'organisme ne semblent accomplir aucune tâche vitale, elles sont toujours vivantes et ont besoin d'énergie. Le contenu des cellules est en permanence détruit et reconstruit dans le cadre d'un processus de réparation très complexe qui dépense de l'énergie. La composition intracellulaire est relativement différente de celle des liquides environnants. Après la mort d'une cellule, des substances traversent sa membrane externe pour équilibrer la composition des liquides de part et d'autre. La cellule vivante consacre une quantité importante d'énergie à pomper des substances au travers de la membrane, en particulier des ions de sodium et de potassium, afin de préserver les concentrations adéquates nécessaires au maintien de la vie. Ce besoin énergétique existe quoi qu'il arrive à l'organisme vivant; il est généralement supposé constant et porte le nom de **métabolisme au jeûne** (métabolisme basal).

### Métabolisme à jeun

Comme on peut s'y attendre, le métabolisme au jeûne est lié à la taille de l'animal; une vache de grande taille produit beaucoup plus de chaleur qu'un petit agneau. Toutefois, la relation entre le métabolisme au jeûne et le poids vif est complexe; une vache de 600 kg n'a pas des besoins énergétiques 40 fois supérieurs à ceux d'un agneau de 15 kg. Les animaux de petite taille ont des besoins proportionnellement supérieurs. Il a été prouvé sur un large échantillon d'espèces que le métabolisme au jeûne augmente dans la proportion du poids vif élevé à la puissance 0,75; cette dernière valeur est appelée **poids métabolique** ( $P^{0,75}$ ). Chez les animaux à sang chaud, allant des souris aux bovins, le métabolisme au jeûne représente quelque 0,29 MJ par jour par kilo de poids métabolique. Les processus qui sont liés au poids métabolique sont nombreux, et cette donnée prend une part importante dans plusieurs systèmes de calcul des besoins nutritifs des animaux.

Le métabolisme au jeûne est la production de chaleur d'un animal au repos; or, un animal normal utilise également de l'énergie pour rester actif, notamment pour se tenir debout et pour marcher. Les besoins d'entretien de l'organisme sont donc la somme de l'énergie du métabolisme au jeûne et de celle nécessaire à l'activité.

*Besoins énergétiques d'entretien = métabolisme au jeûne + énergie utile à l'activité*

Le métabolisme au jeûne prélève une part non négligeable de l'énergie apportée par les aliments, sans laquelle l'organisme ne pourrait survivre. Mais l'énergie transformée en chaleur en réponse à l'ingestion alimentaire est peu utile: elle ne contribue en rien à la survie de l'organisme et elle n'apporte aucun produit précieux à l'éleveur.

### Economie d'énergie en cas d'ingestion moindre

Des expériences ont montré que les animaux qui reçoivent une ration très maigre pendant de longues périodes sont capables de s'adapter au jeûne en ralentissant le métabolisme. Dans bien des cas, cela ne profite guère à l'éleveur, car les animaux ainsi élevés risquent de perdre du poids et d'être en moins bonne santé; en outre ils seront probablement incapables de produire quoi que ce soit. Par contre, dans les régions du monde où la sécheresse entraîne de graves carences alimentaires pendant au moins une partie de l'année, cette aptitude est importante, car elle permet aux animaux de survivre jusqu'à ce que la nourriture soit à nouveau disponible.

### Coût énergétique d'une ingestion accrue

Dès qu'un animal se nourrit, il produit davantage de chaleur. Cette augmentation s'explique en partie par l'activité de recherche de la nourriture, de l'ingestion et de la digestion, mais aussi par une accélération générale du métabolisme. L'accroissement d'énergie qui en résulte est appelée **extra-chaleur**. Chez le ruminant, les microorganismes vivant dans le rumen et dans le réseau produisent également de la chaleur lors de la digestion; celle-ci peut représenter 10 % de l'énergie totale contenue dans la ration. Dans certains cas, ce surplus d'énergie peut se révéler gênant pour l'organisme. En climat très chaud, les animaux doivent dépenser une grande quantité d'énergie pour maintenir leur température corporelle. Si l'appareil digestif apporte un surcroît de chaleur, l'organisme peut avoir des difficultés à se maintenir à une température relativement basse par rapport au milieu. Les animaux réagissent notamment en diminuant l'ingestion alimentaire pour réduire la production de chaleur par le rumen.

### Production

Si l'apport énergétique de la ration dépasse les besoins d'entretien, l'excédent peut servir aux processus de production, dont les plus fréquents sont la croissance ou l'engraissement de l'animal; dans d'autres cas, cette énergie est utilisée pour la production de lait, la gestation ou le travail physique.

On peut distinguer deux aspects dans l'énergie métabolisable apportée à l'organisme, suivant qu'elle est utile ou non à ce dernier. Abstraction faite de l'énergie perdue et de l'extra-chaleur, l'organisme conserve une fraction de l'énergie de départ qui lui est directement utile: l' **énergie nette (EN)**.

### Coût énergétique de la production

L'énergie nette a deux composantes, dont la première est la quantité d'énergie utilisée par l'organisme pour le maintien des processus vitaux. Cette énergie est éventuellement transformée en chaleur qui se dissipe dans l'air. La seconde est l'énergie disponible pour la production et dépend du type d'animal en question. Les animaux peuvent jouer de nombreux rôles dans la production agricole, qui ne sont pas tous directement liés à l'alimentation de l'homme. Pour bon nombre de petits pasteurs, l'élevage des bœufs dans les champs est loin de se limiter à leur valeur bouchère. Les quantités d'énergie nécessaires pour certains types de production animale sont reprises dans le tableau 7.2.

### Tableau 7.2 Apports approximatifs en énergie nette nécessaires à différents types de production animale

Type de production	Energie nette (MJ)
Production de lait	
Un litre de lait de vache	3
Production de viande	
Un kilo (poids en carcasse) chez un bouvillon maigre	10
Un kilo (poids en carcasse) chez un adulte âgé et gras	24
Production de laine	
Un kilo de toison (y compris le suint, etc.)	24
Labour	
Bovin de 620 kg labourant une terre moyennement dure (par km)	3
Trait	
Bovin de 620 kg tirant une charrette sur une route macadamisée (par km)	1,9

Certaines données de ce tableau peuvent paraître surprenantes, par exemple le fait que la production d'un kilo de viande nécessite jusqu'à huit fois plus d'énergie que celle d'un kilo de lait. Rappelons que le lait contient beaucoup plus d'eau que la viande. La différence entre les jeunes animaux et les adultes en ce qui concerne les besoins énergétiques pour la production d'un kilo de viande est probablement plus surprenante encore. Elle s'explique en partie par la plus forte proportion d'os formés lors de la croissance des jeunes, mais surtout, par le fait que les adultes accumulent plus de graisses et moins d'eau dans la viande que les jeunes. Etant donné que la graisse possède une valeur énergétique supérieure à celle des muscles, plus la viande est adipeuse, plus il en coûte de la produire en termes d'apport énergétique à l'organisme.

### Apport énergétique

La figure 7.6 résume le schéma général d'utilisation de l'énergie chez les animaux.

A des fins pratiques, il est nécessaire de pouvoir estimer les pertes probables d'énergie à chaque stade du processus, de manière à évaluer les besoins alimentaires de l'organisme. Une vache laitière produisant quelque 5 litres par jour excrétera approximativement 15 MJ d'énergie brute dans le lait. Pour ce faire, elle devra consommer entre 74 et 92 MJ d'énergie brute, suivant la qualité de la ration. L'efficacité globale avec laquelle l'énergie alimentaire est utilisée pour la production de lait varie donc entre 16 et 20 %. Il est essentiel pour le nutritionniste d'établir une ration qui offre la meilleure efficacité possible avec les ingrédients les moins chers. C'est pour cette raison qu'il est indispensable de quantifier les pertes énergétiques à chaque stade des processus de la nutrition énergétique.

### Efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable

En nutrition animale, les nutritionnistes émettent notamment l'hypothèse selon laquelle l'énergie métabolisable est une constante liée au type d'aliments et à l'espèce animale. Cela signifie, par exemple, qu'un échantillon de foin a la même valeur en MJ/kg qu'il soit ingéré par un jeune taurillon ou par une vache

adulte. Différents types d'animaux se trouvant à divers stades de production utilisent de manière différente l'énergie métabolisable pour l'entretien et la production. L'efficacité de l'utilisation de cette énergie varie en fonction de la production à laquelle elle contribue: travail mécanique, viande, lait, croissance du fœtus, etc. Elle varie également en fonction de la qualité de la ration.

### Qualité de la ration

A l'exception des rations très riches en huiles ou en graisses, l'énergie brute de la plupart des aliments pour animaux se situe généralement autour de 18,5 MJ/kg MS. L'énergie métabolisable des aliments varie énormément; les aliments de mauvaise qualité ont une valeur énergétique faible, tandis que les aliments de bonne qualité ont une valeur élevée. On peut obtenir une indication simple de la qualité de la ration en divisant l'énergie métabolisable par l'énergie brute, ce qui donne la concentration en énergie métabolisable de l'aliment, représentée par le symbole «q». Dans la pratique, la concentration en énergie métabolisable varie entre 0,4 pour de la paille de mauvaise qualité, et 0,7 pour les rations d'excellente qualité apportées aux vaches laitières.



Figure 7.6. - Répartition de l'énergie chez le ruminant. Les données de gauche représentent une perte. Seule l'énergie nette est directement utile à l'éleveur: l'énergie d'entretien garde l'animal en vie et celle de production lui apporte un produit commercialisable.

### Qualité de la ration et efficacité de l'utilisation

En règle générale, l'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable augmente avec la qualité de la ration. Si celle-ci est élevée, une grande partie de l'énergie métabolisable est transformée en énergie nette; en revanche, si la ration est pauvre, l'énergie métabolisable est en grande partie perdue sous la forme de chaleur. L'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable pour l'entretien est d'environ 65 % pour de la paille ( $q = 0,4$ ), mais elle atteint près de 75 % pour les concentrés destinés aux vaches laitières ( $q = 0,7$ ).

### Incidence du niveau de production

Plus le niveau de production d'un animal est élevé, qu'il s'agisse de lait, de viande ou d'une quantité de travail, plus son niveau d'alimentation doit être élevé. En revanche, l'animal ayant un faible niveau de production, voire un niveau de production négatif s'il y a perte de poids, montre une ingestion alimentaire faible. Nous avons vu que la quantité d'énergie nécessaire à l'entretien décroît en cas de sous-alimentation et que les animaux dont l'ingestion alimentaire est supérieure perdent plus d'énergie sous la forme d'extra-chaleur. Concrètement, cela signifie que l'efficacité avec laquelle l'énergie provenant des aliments est utilisée pour l'entretien ou la production (en fait, l'énergie nette) baisse à mesure que l'ingestion alimentaire augmente. La figure 7.7 montre qu'à un niveau de production plus élevé, l'organisme utilise plus d'énergie métabolisable pour produire 1 MJ d'énergie nette.



Figure 7.7. - Quantité d'énergie métabolisable (EM) nécessaire dans la ration pour produire 1 MJ d'énergie nette (EN). Les animaux à taux de production élevé doivent ingérer de grandes quantités d'aliments. De ce fait, ils perdent plus d'énergie sous la forme d'extra-chaleur. Cette perte de chaleur supplémentaire doit donc être compensée par un apport supérieur d'énergie métabolisable dans la ration.

### Incidence du type de production

L'efficacité avec laquelle l'énergie métabolisable est utilisée dépend en outre du type de production de l'animal. Ceci s'illustre de la manière la plus parlante par le fait que l'énergie est utilisée pour produire du lait avec beaucoup plus d'efficacité que pour développer les tissus de l'organisme. Lors du calcul des rations quotidiennes, il faut tenir compte de cette différence d'efficacité en faveur de la production de lait.

## Estimation de l'énergie disponible

Le calcul de la valeur énergétique de divers aliments présente un problème pratique pour les nutritionnistes. Des méthodes de laboratoire peuvent donner des approximations de la valeur énergétique d'un aliment suivant la teneur en certains constituants chimiques (tels que les fibres). Mais pour obtenir des résultats précis, il faut faire intervenir la composante animale dans les calculs, ce qui complique fortement la procédure et rend l'analyse beaucoup plus imprécise que si l'on appliquait une méthode purement chimique.

## Energie digestible

Le premier moyen de déterminer l'utilisation qui est faite de l'énergie apportée par les aliments consiste à mesurer l'énergie digestible. Pour ce faire, le chercheur doit mesurer la quantité d'aliments ingérée par un animal et celle contenue dans les fèces. Grâce à une analyse comparative de la valeur énergétique des aliments et des fèces, il peut facilement déterminer la quantité d'énergie «perdue» au cours de la digestion.

Cette procédure pose cependant certains problèmes pratiques, qui sont en majorité liés à la nécessité de récolter toutes les fèces de l'animal sans qu'elles ne soient contaminées par l'urine. Ceci peut s'effectuer de deux manières. La première consiste à adapter un sac en toile autour de l'anus de l'animal (de préférence un mâle) pour récolter toutes les fèces. L'animal reçoit une quantité contrôlée d'aliments et toutes les fèces sont récoltées pour la période correspondante. Des problèmes surviennent toutefois si le harnais qui maintient le sac n'est pas bien fixé. La deuxième solution, plus coûteuse, consiste à utiliser une cage métabolique (figure 7.8). Il s'agit d'un petit parc surélevé dans lequel on peut placer l'animal durant une semaine ou plus, et dont le sol sera constitué d'un caillebotis ou d'un treillis métallique. Sous la cage se trouve un séparateur, qui permettra de récolter séparément l'urine et les fèces.

On peut ainsi estimer l'énergie brute contenue dans les aliments et celle excrétée dans les fèces. L'énergie digestible (ED) est tout simplement la différence entre les deux. La digestibilité de l'énergie (dE) est le rapport entre l'énergie digestible et l'énergie brute (EB) des aliments.

$$dE = ED/EB$$



Figure 7.8. - Représentation schématique d'une cage métabolique.

La digestibilité est extrêmement variable, même pour des aliments apparemment semblables. Dans la pratique, une valeur de maximum 0,4 est attribuée à un fourrage très lignifié de mauvaise qualité. En revanche, les fourrages dont la digestibilité dépasse 0,8 sont très rares; c'est le cas de certaines graminées.

## Energie métabolisable

L'utilisation d'une cage métabolique permet également de récolter l'urine. L'énergie métabolisable correspond à l'énergie digestible diminuée des pertes d'énergie par l'urine et sous forme de méthane. Les seuls chiffres que ne peuvent nous fournir les résultats d'expériences réalisées dans une cage métabolique sont les pertes d'énergie sous la forme de méthane. Si l'on considère que 8 % de l'énergie brute d'une ration «moyenne» sont perdus sous la forme de méthane, on peut établir des estimations relativement précises de l'énergie métabolisable. Une évaluation plus exacte de l'EM passe par la mesure du rythme de production de méthane et doit être réalisée en chambre respiratoire.

Il est beaucoup plus difficile de diviser l'énergie métabolisable, car à ce stade, les pertes se produisent toutes sous la forme de chaleur, qu'il s'agisse d'extra-chaleur ou du métabolisme au jeûne. L'énergie nette est calculée en mesurant l'énergie métabolisable consommée et l'énergie contenue dans les produits (dans le cas de la formation de tissus, il faut abattre l'animal, ce qui empêche évidemment d'effectuer des analyses répétées). Une autre solution consiste à mesurer directement la chaleur produite par l'animal en ayant recours

à une **chambre calorimétrique**.

L'animal étudié vit dans un milieu totalement contrôlé de manière à permettre de mesurer la quantité d'oxygène consommée et la quantité de gaz produits, et de prélever des échantillons d'urine et de fèces. La production de chaleur est également mesurée grâce à la variation de température de l'eau contenue dans les tuyaux d'entrée et de sortie du mancheron entourant le calorimètre (figure 7.9).



Figure 7.9. - Représentation d'une chambre calorimétrique.

## VIII. Besoins en protéines

### Introduction

Après les lipides, les protéines sont le constituant le plus abondant de la matière sèche du corps animal. Ces protéines jouent un rôle très important, car elles constituent la partie de l'animal la plus prisée par le consommateur. La partie maigre de la carcasse est essentiellement constituée de **muscles striés** ou **squelettiques** qui sont la composante rouge de la viande. Chez l'animal de trait, ce sont les protéines de ce type de muscles qui fournissent la force nécessaire aux travaux agricoles.

Les protéines sont formées à partir d'acides aminés qui doivent, dès lors, être apportés en grande quantité aux cellules individuelles. Malheureusement pour l'industrie de la viande, les animaux sont incapables de synthétiser leurs propres protéines une fois pour toutes. Les protéines contenues dans les cellules et dans les liquides qui les entourent, par exemple le sang, sont continuellement dégradées en acides aminés, et sont à nouveau synthétisées par la suite. Ce processus demande une grande quantité d'énergie et un apport continu d'acides aminés. Pour un kilo de protéines, il faut apporter à l'animal plusieurs kilos d'acides aminés, dont une grande partie sont perdus sous une forme ou l'autre.

L'organisme perd également des protéines, en partie par la voie des excréments, comme la sueur, et en partie par la peau sous la forme des pellicules et de poils. C'est pendant la lactation que la demande en protéines est la plus forte. La figure 8.2 illustre les différentes utilisations des protéines chez le bovin en croissance et chez la génisse allaitante.



Figure 8.1. - Microstructure d'un muscle strié; celui-ci est formé des protéines qui constituent le principal produit de l'industrie de la viande et qui fournissent la force de traction.

Les protéines constituent généralement la part la plus onéreuse de la ration des animaux d'élevage; il est donc essentiel d'en faire le meilleur usage possible. Avant de voir comment mieux les utiliser, il convient d'étudier en détail les usages pour lesquels les protéines sont nécessaires.

### Pertes dues au métabolisme protéique

Même quand la ration n'apporte pas de protéines à l'organisme, celui-ci continue d'en métaboliser. Les enzymes, essentiellement situées dans les reins, dégradent de manière continue une fraction des acides aminés présents dans le sang. Ce métabolisme produit des constituants carbonés qui peuvent être dégradés et utilisés par l'organisme comme source d'énergie. L'azote contenu dans les acides aminés est transformé en urée qui n'est pas directement utilisable. Les ruminants ont élaboré un moyen de réutiliser une partie de cet azote qui, sinon, serait perdu. Plutôt que d'être excrété directement par les reins, il est orienté vers les glandes salivaires par la voie du système sanguin. La salive est mélangée aux aliments à l'entrée du rumen et l'urée qu'elle contient est ainsi disponible comme source d'azote non protéique pour la flore microbienne du rumen.

Le recyclage de l'azote est incomplet: une partie est en effet excrétée principalement par l'urine, mais aussi par les fèces. La quantité ainsi excrétée diminue si l'ingestion alimentaire est moindre, mais elle n'est jamais nulle. Pour que l'organisme ne brûle pas ses protéines corporelles, il doit absorber suffisamment d'acides aminés par la voie alimentaire pour compenser les pertes d'azote.



Figure 8.2. - Utilisation des protéines (grammes d'azote/jour) chez le ruminant. La part des protéines alimentaires consacrée à la croissance des tissus varie de zéro dans le cas de l'animal qui ne prend pas de poids à environ 75 % chez l'animal à croissance très rapide (gauche). La vache allaitante (à droite) consacre une part très large des protéines de l'organisme à la production de lait.

Lorsque l'animal reçoit pendant un certain temps une ration contenant peu ou pas de protéines, il se produit une sécrétion minimale d'azote. Cette perte est appelée **excrétion d'azote urinaire endogène** et est fonction de la taille de l'animal. Chez un jeune bouvillon de quelque 100 kg de poids vif, la perte s'élève à près de 5 grammes par jour, alors que chez un adulte de 500 kg, la perte est à peu près double. Chez les ovins, les pertes se chiffrent entre 1 gramme par jour chez l'agneau et 2,5 grammes par jour chez le bélier de grande taille. (Remarquons que les pertes sont calculées en grammes d'azote et non en grammes de protéines.)

### **Pertes protéiques par la peau et la toison**

Les pertes au niveau de la peau et du pelage varient bien entendu en fonction de l'espèce et de la race. Dans certains cas, ces pertes ne sont qu'apparentes: chez le mouton lainier, par exemple, c'est la toison de l'animal qui engendre un profit pour l'éleveur. Chez les bovins, on peut estimer que les pertes sont proportionnelles au poids métabolique; ils perdent ainsi chaque jour près de 18 mg d'azote par kilo de poids vif métabolique. Les ovins lainiers ont des besoins encore supérieurs, qui sont fonction de l'état de chaque individu en termes de nutrition protéique. Un ovine recevant une ration riche en protéines produit une toison beaucoup plus abondante que celui dont la ration est pauvre en protéines.

### **Besoins protéiques de croissance**

C'est en augmentant le poids des tissus que l'animal grandit. Chez le jeune, cette augmentation se fait sous la forme de protéines et d'eau, ainsi que d'une petite quantité de graisses et de minéraux

(pour le développement osseux). Pour que l'organisme puisse grandir, le dépôt de protéines sur les os doit être supérieur à la quantité dégradée. Si l'animal perd du poids, cela signifie que les protéines sont dégradées plus rapidement qu'elles ne sont remplacées par synthèse. Les rythmes de synthèse et de dégradation sont représentés respectivement par A et B dans la figure 8.3.

Avec l'âge, les animaux ont une tendance croissante à accumuler de la graisse. En d'autres termes, le jeune animal qui prend un kilo accumule une quantité importante de protéines et une quantité encore supérieure d'eau. Pour l'animal adulte, un kilo supplémentaire correspond à une proportion beaucoup plus élevée de graisses et à beaucoup moins d'eau.

### **Besoins protéiques de lactation**

Le lait de vache contient approximativement 35 grammes de protéines par litre. Au pic de lactation, une vache laitière à haut rendement produit près de 40 litres chaque jour. Par conséquent, elle doit synthétiser près d'un kilo et demi de matières protéiques pures chaque jour, uniquement pour satisfaire les besoins de la lactation. Pour produire les protéines du lait, en tenant compte d'un certain «gaspillage», la glande mammaire doit puiser dans le sang près de 1,6 kg d'acides aminés chaque jour.



Figure 8.3. - Représentation schématique des voies par lesquelles les protéines sont utilisées dans



l'organisme. Les pertes protéiques se font en partie par la voie de constituants azotés, comme l'urée, mais aussi par les protéines du pelage, de la peau et du lait («perte» productive).

N.B. Si **A** est supérieur à **B**, l'animal prend du poids.

**Tableau 8.1 Quantité d'acides aminés nécessaires pour un accroissement de poids vif d'un kilo chez les ruminants**

Animal	Quantité d'acides aminés (g) au poids adulte	Quantité d'acides aminés (g) à la moitié du poids adulte
Ovin	130	150
Bovin	125	136

## Estimation des besoins protéiques

Chaque fonction pour laquelle l'organisme a besoin de protéines est appelée facteur. La quantité totale de protéines qui doivent être apportées à l'organisme est la somme des besoins pour chaque facteur. Ce type d'approche du calcul des besoins nutritionnels est appelée la méthode factorielle.

Besoins totaux en protéines = perte protéique endogène (azote urinaire endogène x 6,25)

- + besoins pour la peau et le pelage (A)
- + besoins de croissance
- + besoins de lactation

## Efficacité d'utilisation des acides aminés dans la synthèse protéique

### i) Pertes d'acides aminés dans l'organisme

Les acides aminés destinés à la synthèse protéique sont fournis, au départ, par le tractus digestif. Or, il est extrêmement rare que la quantité d'acides aminés disponibles dans les intestins corresponde exactement aux besoins de la synthèse protéique, il y a souvent un surplus de certains acides aminés par rapport aux quantités synthétisées en protéines. Cet excédent doit être dégradé et utilisé d'une autre manière. Ainsi, près d'un quart des acides aminés prélevés dans l'intestin grêle sont perdus.

### ii) Pertes dues à un défaut d'absorption dans les intestins

Les acides aminés arrivent dans l'intestin grêle sous la forme d'acides aminés libres et de protéines. Ces dernières doivent être dégradées en acides aminés avant de pouvoir être assimilées au travers de la paroi intestinale. C'est là que se produisent des pertes considérables d'acides aminés (seuls 70 % en moyenne des acides aminés qui pénètrent dans l'intestin grêle sont absorbés par l'organisme). Le reste continue à progresser dans le tube digestif et est utilisé par les microbes qui peuplent le caecum et le gros intestin.



Figure 8.4. - Schéma représentant les pertes en protéines après leur absorption dans l'intestin grêle. La part transformée en protéines tissulaires augmente dans le même sens que le niveau de production.

### iii) Pertes totales

Elles sont représentées de manière schématique dans la figure 8.4. Etant donné que seuls 70 % des acides aminés pénétrant dans l'intestin grêle sont absorbés et que 75 % de ceux-ci sont utilisés par l'organisme pour synthétiser des protéines, la proportion totale d'acides utilisés correspond au produit de ces deux valeurs.



Efficacité totale d'utilisation des acides aminés dans la synthèse des protéines

$$= 0,70 \times 0,75$$

$$= 0,52 \text{ (B)}$$

$$= 52 \%$$

En d'autres termes, à peine plus de la moitié des acides aminés qui parviennent à l'intestin grêle sont utilisés par l'organisme. Pour compenser cette faible efficacité, le nutritionniste doit veiller à fournir à l'intestin grêle presque le double des besoins de l'organisme en acides aminés. Chez les animaux ayant des besoins encore supérieurs en acides aminés essentiels, comme la vache laitière à haut rendement, le processus est parfois encore plus inefficace.

## Estimation de la quantité de protéines atteignant l'intestin grêle

Pour connaître la quantité de protéines qu'il *faut* apporter à l'intestin grêle, il suffit de **diviser** la quantité totale de protéines nécessaire aux tissus ( **besoins factoriels** ) (A) par l' **efficacité** d'utilisation ( **B**).

Quantité de protéines à apporter à l'intestin grêle = **A/B**  
= besoins totaux en acides aminés des tissus/efficacité d'utilisation des acides aminés

La quantité *réelle* de matières protéiques atteignant l'intestin grêle dépend de la manière dont les protéines alimentaires sont utilisées. Une partie des matières azotées totales des aliments est dégradée et mise à la disposition des microorganismes du rumen, pour lesquels elle constitue un apport d'azote utilisé dans la synthèse protéique. La quantité de matières protéiques qu'ils peuvent synthétiser au départ de cette source dépend de la vigueur avec laquelle ils fermentent les aliments. Celle-ci est liée à son tour à l'énergie mise à la disposition de la flore microbienne, qui provient, quant à elle, des aliments et qui est donc déterminée par l'énergie métabolisable ingérée par l'animal. Quelque 8,5 grammes de protéines sont produits pour chaque MJ d'énergie métabolisable utilisé par l'organisme. Ainsi, une vache qui reçoit quotidiennement 150 MJ d'énergie métabolisable produit approximativement 1275 grammes de protéines microbiennes par jour. A cette fin, elle nécessite un apport suffisant de **protéines dégradables dans le rumen** (cf. chapitre 6) pour satisfaire les besoins des microbes.

Si les besoins tissulaires en azote sont supérieurs aux quantités apportées par la synthèse microbienne, un apport supplémentaire de protéines à l'intestin grêle est indispensable. Cet apport de protéines non dégradables doit se faire par la voie des aliments; il s'agit de protéines brutes alimentaires capables d'échapper à la fermentation dans le rumen, mais dégradables dans la partie terminale de l'appareil digestif.

## Conclusion

L'apport de protéines à l'intestin grêle est estimé à partir

- i) des besoins d'entretien de l'animal (azote urinaire endogène, pelage et peau)
- ii) des besoins de production (protéines pour la croissance et la production de lait).

Les besoins en protéines sont satisfaits de deux manières:

- i) par la synthèse microbienne des protéines dans le rumen
- ii) par l'apport alimentaire de protéines qui échappent à la fermentation ruminale.

La quantité apportée de protéines dégradables dans le rumen et de protéines non dégradables est calculée à partir des matières azotées totales et de leur dégradabilité totale.

Si l'apport protéique ne suffit pas à combler les besoins d'entretien et de production, le niveau de production sera probablement inférieur à celui escompté par l'éleveur.

## IX. Ingestion alimentaire

### Détermination de la quantité d'aliments à apporter

La nutrition d'un animal dépend de deux facteurs:

- la quantité de nutriments présents dans les aliments;
- la quantité d'aliments ingérés par l'animal.

Il est relativement aisé de mesurer la qualité des aliments, mais il est beaucoup plus difficile d'évaluer la quantité que l'animal consomme, surtout s'il est libre de paître ou de brouter du feuillage. Une des qualités essentielles de l'éleveur est d'arriver à orienter les besoins nutritifs des animaux vers la consommation accrue d'aliments économiques et de moindre qualité. Cela implique qu'il faut avoir une idée de la consommation de différentes formes d'aliments, même s'il est impossible de prévoir avec exactitude la quantité qui sera réellement consommée. Quoi qu'il en soit, il n'est probablement pas très utile de connaître exactement la quantité ingérée par chaque individu. Par exemple, même si l'on connaît au gramme près ce qu'ingère une vache laitière, il n'est pas du tout sûr que sa sœur consommera les mêmes quantités ni choisira les mêmes aliments.

Il est relativement aisé de mettre au point des expériences permettant d'étudier les mécanismes physiologiques qui interviennent dans la digestion des aliments; il a d'ailleurs été mis en évidence que les variations entre individus quant à la manière de digérer une quantité donnée d'aliments ne sont pas très importantes. En réalité, même les différences entre individus de plusieurs espèces sont faibles et il est fréquent d'appliquer aux bovins des valeurs, telles que le coefficient de digestibilité, qui ont au départ été déterminées chez des ovins.

L'ingestion alimentaire relève d'un tout autre domaine d'étude; s'alimenter est un acte volontaire qui dépend des désirs et des goûts de chaque individu. Autant les processus de la digestion et de l'utilisation des aliments relèvent de la physiologie, autant l'étude de l'appétit appartient en fait à la psychologie. Il faut donc s'attendre à ce que les résultats ne soient pas plus précis que tous ceux qui relèvent des sciences comportementales.

### Facteurs déterminants de la quantité ingérée

Les animaux vivent deux attitudes contradictoires vis-à-vis de l'alimentation:

- le désir de commencer à manger;
- l'impression d'avoir assez mangé.

La première attitude peut être **appelée** appétit, et la seconde, la **satiété**. Dans la nutrition animale, la plupart des effets importants semblent être régis par la satiété plutôt que par l'appétit. En d'autres termes, la quantité ingérée par les animaux est davantage déterminée par le moment où ils arrêtent de manger que par celui où ils commencent; nous pouvons supposer que les animaux ont bon appétit, sauf quand ils viennent de manger.

Même si l'on ne peut que difficilement établir des estimations précises des quantités d'aliments consommés, on peut étudier attentivement les facteurs qui régissent l'ingestion. On en distingue quatre types:

- facteurs relatifs à la «psychologie» de l'animal;
- facteurs relatifs à la physiologie de l'animal;
- facteurs relatifs à la nourriture;



s'arrêter de manger.

## Taille

Il est certain qu'un animal de grande taille mange plus que celui de petite taille. Toutefois, la relation entre la taille (déterminée par le poids) et l'ingestion alimentaire n'est pas aussi simple qu'on pourrait l'imaginer. En règle générale, l'ingestion est déterminée par la «**taille**» **métabolique** de l'animal et est proportionnelle à son poids métabolique (cf. chapitre 7, p.??).

$$\text{Ingestion} = \text{constante} \times P^{0,75}$$

La valeur de la constante dépend d'autres facteurs, tels que le type d'aliments offerts et l'état physiologique de l'animal. La relation n'est que partiellement correcte chez l'animal en pleine croissance et en développement. Un adulte se contente probablement d'une ration qui lui apporte suffisamment d'aliments pour maintenir son poids vif et sa condition, alors qu'un animal en pleine croissance doit se nourrir pour satisfaire les besoins d'entretien, mais aussi ceux de croissance des tissus qu'il fabrique. Ainsi, un animal arrivé à maturité complète consomme moins que le suggère l'équation, et un jeune en croissance consomme un peu plus (figure 9.2).

## Espèce

La quantité d'aliments ingérée varie également selon qu'il s'agit de bovins ou d'ovins. Sur la base du poids métabolique, un bouvillon consomme davantage qu'un mouton si la ration est composée de fourrages grossiers de pauvre qualité. Dans le cas d'aliments de bonne qualité, c'est l'inverse, puisque le mouton en consomme plus (figure 9.3).

## Encombrement et ingestion

L'ingestion des aliments par le tube digestif ne peut dépasser le rythme d'expulsion de ces mêmes aliments, sinon l'animal gonflerait et finirait par éclater. Des nerfs spécifiques se situent à l'intérieur et autour du tube digestif et mesurent l'étirement du tractus dû à l'ingestion. Si celui-ci est trop étiré, des signaux sont envoyés au cerveau pour stopper l'ingestion. Chez les ruminants qui reçoivent une ration normale, c'est principalement la sensation de «réplétion» qui détermine le moment de la satiété chez l'animal.



Figure 9.2. - Relation entre l'ingestion alimentaire et la croissance chez les caprins; l'ingestion augmente dans le même sens que le poids vif de l'animal jusqu'à ce que sa croissance ralentisse au stade adulte.



Figure 9.3. - Ingestion alimentaire chez l'ovin et le bovin.

## Rythme de digestion chez les ruminants

Chez le ruminant, la poche gastrique la plus susceptible d'être remplie est le réticulo-rumen. Les aliments qui pénètrent dans le rumen sont en grande partie non digérés et ils ne peuvent en sortir que sous trois formes. En supposant que l'animal ne régurgite pas et ne recrache pas ses aliments, les digesta sont évacués:

- sous une forme gazeuse, le méthane;
- sous la forme d'acides gras volatils et autres molécules de petite taille qui sont absorbés au travers de la paroi ruminale;
- sous la forme de particules suffisamment petites pour emprunter le canal de sortie du

réticulo-rumen (orifice réticulo-omasal).

La vitesse à laquelle chacun de ces processus se déroule varie en fonction de l'activité générale de fermentation dans le rumen et de la vitesse à laquelle les particules progressent dans le tube digestif (transit).

*Facteurs déterminant la vitesse de fermentation ruminale:*

- h-* la taille des particules pénétrant dans le rumen;
- l'énergie apportée à la flore microbienne du rumen;
- la quantité d'azote apportée aux microbes du rumen.

Toute variation d'un facteur influençant la fermentation ruminale entraîne une modification de la quantité ingérée.

### 3. Facteurs alimentaires

#### Composante fibreuse de la ration

C'est la partie fibreuse de la ration qui met le plus de temps à être digérée; or, c'est cette fraction qui constitue la principale composante des aliments ingérés par la majorité des ruminants. La source des fibres a une grande incidence sur le rythme de digestion. Les fibres produites par certaines plantes tropicales ne sont dégradables que très lentement dans le rumen. La canne à sucre arrivée à maturité en est un bon exemple: moins de 40 % de la matière organique de ses fibres sont digestibles dans le rumen. La digestion de tels aliments est très lente; elle peut toutefois être accélérée en apportant à la flore microbienne du rumen les autres éléments indispensables que sont l'énergie et l'azote (cf. pp.?? et ??). La faible digestibilité des aliments très fibreux se traduit par une ingestion moindre. Malgré les inconvénients liés à leur utilisation, de tels aliments peuvent être précieux s'ils sont fournis à moindre coût et si les substituts sont difficiles à trouver.

La nourriture traditionnelle de nombreux ruminants est l'un ou l'autre type d'herbage, en particulier les graminées. Ces dernières sont fraîches, si possible, sinon, elles sont conservées, généralement par séchage. Les animaux auxquels le choix est laissé, préfèrent généralement les graminées fraîches riches en sève aux herbes brunies de moindre qualité et, bien entendu, ils en consomment davantage. A mesure que les graminées poussent et arrivent à maturité, la teneur en azote diminue, ainsi que la digestibilité des fibres. Le foin préparé au départ de graminées jeunes et feuillues est beaucoup plus digestible que celui préparé avec des graminées arrivées à maturité, contenant une proportion élevée de tiges et d'inflorescences. Plus longtemps les graminées poussent avant d'être offertes aux animaux, plus l'ingestion diminue (figure 9.4).



Figure 9.4. - Quand le fourrage de graminées est constitué de jeunes pousses vertes, les animaux en consomment plus. Plus longtemps les plantes restent sur pied, plus l'ingestion diminue.

La faible digestibilité influence négativement la quantité d'aliments ingérés (figure 9.5). Des recherches menées avec des animaux élevés dans des pays tempérés ont montré que si l'on connaît la digestibilité d'une graminée, on peut estimer la quantité qui en sera ingérée. Malheureusement, ces travaux ont été réalisés exclusivement avec des espèces de graminées communes dans les pays tempérés, mais les données ne s'appliquent pas aux graminées tropicales. On estime généralement que l'ingestion de graminées tropicales d'un certain coefficient de digestibilité est d'environ 20 % inférieure à celle de variétés tempérées.

#### Modifier la taille des particules alimentaires

Réduire la taille des particules alimentaires peut se faire en hachant simplement du fourrage long, par exemple de la paille, en brins de quelques centimètres, ou en le moulant en une fine poudre. Cette réduction

de la taille a deux effets sur la digestion. D'une part, elle restreint l'activité de dégradation ruminale nécessaire pour rendre les particules alimentaires suffisamment petites pour passer par l'orifice réticulo-omasal. D'autre part, elle augmente la surface totale des aliments, ce qui permet aux microbes de les attaquer simultanément en plus grand nombre. Ceci stimule le rythme de fermentation.



Figure 9.5. - Ingestion de trois graminées différentes par des bouvillons; l'ingestion augmente dans le même sens que la digestibilité du foin.

Généralement, il n'est possible de réduire la taille des particules pour accroître l'ingestion que dans les cas où les animaux sont élevés en enclos et que la nourriture leur est apportée. Même les exploitations à petite échelle peuvent réduire les fourrages grossiers en petites particules, car des machines manuelles, appelées **hacheuses** (figure 9.6), sont disponibles à cet effet. Deux personnes travaillant durement peuvent hacher quelque 3 tonnes d'aliments en deux heures.



Figure 9.6. - Hacheuse. Le bétail consomme beaucoup plus de fourrages grossiers tels que la paille ou le fourrage vert, s'ils sont hachés avant d'être offerts.

### Augmenter la quantité d'énergie

La vigueur avec laquelle les microbes dégradent les aliments pénétrant dans le rumen dépend de la vitesse à laquelle ils grandissent et se reproduisent. Pour grandir suffisamment, ils ont besoin d'assez d'énergie pour combler leurs besoins. S'ils ne peuvent attaquer que lentement les aliments apportés, la quantité d'énergie libérée est faible et les microbes ne prospèrent pas. On arrive facilement à ce que l'apport d'énergie par des aliments de mauvaise qualité, généralement très fibreux, soit insuffisant par rapport aux besoins des microbes. Il en résulte une croissance ralentie de ceux-ci, qui provoque un ralentissement encore plus marqué de la dégradation des aliments. Le processus se déroule donc très lentement. Le fait d'ajouter une petite dose d'aliments facilement dégradables peut stimuler la flore microbienne, de sorte que, non seulement ils dégradent activement ces nouveaux aliments, mais ils attaquent les premiers avec d'autant plus de vigueur. Les aliments étant une source appréciable d'«énergie instantanée» sont généralement ceux contenant une grande part de polysaccharides d' $\alpha$ -glucose. Dans les pays tropicaux, il s'agit par exemple des céréales telles que le maïs ou le sorgho, ainsi que des dérivés du sucre, tels que la mélasse. L'apport d'un supplément relativement minime d'un de ces éléments à une ration pauvre peut accroître considérablement l'ingestion.

### Augmenter la quantité d'azote

L'apport d'azote produit le même effet que celui d'énergie sur la vitesse de dégradation microbienne des aliments. Les microbes ont en effet besoin d'azote pour fabriquer leurs propres protéines «corporelles». En absence d'azote, ils sont incapables de survivre et de dégrader les particules alimentaires.

Le fait de nourrir le bétail en augmentant la quantité de protéines accroît fortement l'ingestion. L'azote apporté ne doit pas nécessairement être de première qualité, car l'adjonction d'une forme simple d'azote peut influencer considérablement la quantité consommée. La figure 9.7 met en évidence le fait que, chez des bouvillons recevant une ration pauvre de foin tropical, l'ingestion peut être augmentée d'un cinquième par une supplémentation quotidienne de 50 g d'urée. Il peut sembler que l'accroissement de l'ingestion qui s'ensuit est faible et ne vaut pas les dépenses et l'effort consentis à l'introduction de suppléments, mais elle peut suffire pour améliorer l'état des animaux et inverser leur tendance à perdre du poids.



Figure 9.7. - Effet de l'apport d'azote sur l'ingestion chez un jeune bouvillon en croissance. La supplémentation d'un constituant azoté simple permet aux microbes du rumen de dégrader beaucoup plus

vite les fibres du foin.

## Palatabilité

Les individus ont des préférences «personnelles» relativement marquées envers certains types d'aliments, ce qui fait de la «palatabilité» une notion importante dans le choix des aliments. En général, les animaux évitent les fourrages au goût amer. Ceci peut avoir des conséquences graves dans des conditions de pâturage extensif où les plantes désagréables au goût sont rejetées par le bétail. En fin de compte, les graminées sapides sont consommées à un tel point qu'elles disparaissent de la pâture et que seuls les végétaux d'un goût désagréable ou non comestibles subsistent. Dans de nombreuses régions tropicales, le surpâturage ne se traduit pas par des sols mis à nu, mais par des terres couvertes de graminées et de végétaux que les animaux ne veulent ou ne peuvent pas consommer.

## Choix des aliments et effet des mélanges d'aliments

La plupart des animaux d'élevage ont le choix de la quantité qu'ils consomment. Au plus simple, il se résume à manger ou à ne pas manger. Le choix est beaucoup plus difficile en général, car en élevage semi-intensif, le bétail reçoit souvent une ration à deux composantes: une partie est constituée de fourrage grossier et l'autre, d'aliments plus onéreux et de meilleure qualité. En système moins intensif, le choix est plus étendu; les animaux ayant accès à la végétation naturelle doivent pouvoir sélectionner les plantes qu'ils consomment parmi toutes les espèces disponibles.

Si les animaux partiellement mis en pâturage (ou recevant un supplément de fourrage grossier) reçoivent des aliments concentrés, ils risquent de ne pas continuer à manger les fourrages grossiers en même quantité. Plutôt que de considérer les concentrés comme un supplément, ils vont remplacer le fourrage grossier (meilleur marché) par des aliments plus onéreux. La mesure dans laquelle les concentrés se substitueront aux fourrages dépendra des animaux, ainsi que des quantités et du type de concentrés et de fourrages. Dans des conditions tempérées, l'addition d'un kilo de concentrés dans la ration d'un bouvillon en croissance conduit à une réduction de l'ingestion de fourrages de l'ordre de 0,1 à 1 kg.

Chez les animaux vivant en région tropicale et recevant du fourrage peu digestible, on observe plutôt l'inverse: l'adjonction d'une petite quantité de concentrés stimule la fermentation ruminale d'une manière telle que les microbes digèrent beaucoup plus rapidement la fraction lignifiée des aliments. Etant donné que les fibres quittent beaucoup plus rapidement le rumen, l'animal peut consommer davantage. De plus, les concentrés apportent certaines protéines non dégradables dans le rumen, qui ont également un effet stimulant sur l'appétit (figure 9.8). En général, l'apport de concentrés a une incidence minime sur l'ingestion de fourrages, mais il conduit souvent à une amélioration spectaculaire de la productivité de l'animal.

## 4. Facteurs environnementaux

### Chaleur

L'ingestion alimentaire chute fortement si la température ambiante est élevée (figure 9.9). Mais cette dernière n'est pas le seul facteur déterminant; une hygrométrie élevée réduit encore davantage l'ingestion. Le problème est en partie lié au fait que les ruminants produisent de la chaleur dans le rumen et dans l'organisme tout entier. La chaleur que produit la fermentation ruminale est relativement faible et représente approximativement un dixième de l'énergie brute consommée. Malgré cela, elle peut poser des problèmes à l'animal qui a déjà des difficultés à évacuer la chaleur excessive. Quand la température ambiante augmente, l'organisme dépense énormément d'énergie pour se rafraîchir. Cette énergie est utilisée pour «pomper» l'eau sous la forme de sueur et pour augmenter le rythme respiratoire afin de faciliter l'évaporation de l'eau recouvrant les parois pulmonaires.



Figure 9.8. - L'addition d'une petite quantité de concentrés à la ration de bouvillons peut accroître l'ingestion



des aliments fourragers plus grossiers.



Figure 9.9. - Incidence de la température ambiante sur l'ingestion alimentaire des vaches laitières. Dès que la température moyenne dépasse 30°C, l'incidence sur l'ingestion devient grave et la production laitière chute en proportion.

L'animal, quant à lui, peut augmenter son propre confort en diminuant la production de chaleur, d'une part en réduisant la fermentation, et d'autre part, en minimisant l'augmentation de la production de chaleur corporelle due à une quantité supérieure d'extra-chaleur (cf. chapitre 7, p.??). Toutes deux peuvent être ralenties par une diminution de l'ingestion alimentaire. Il n'est donc pas étonnant que les animaux préfèrent ne pas manger plus que nécessaire, même si ceci va à l'encontre des projets de l'éleveur.

La chute de l'ingestion alimentaire engendre un ralentissement important de la production animale, en particulier chez les vaches laitières qui doivent manger bien au-delà de leurs besoins d'entretien pour être productives. Dans les pays où une température élevée s'associe souvent à une forte hygrométrie, une solution parfaite consiste à placer toutes les vaches laitières dans des installations à air conditionné. Malheureusement, la solution est inabordable et les agriculteurs sont forcés d'envisager d'autres solutions moins coûteuses. L'une d'entre elles consiste à fournir de l'ombre, soit par la plantation d'arbres, soit en plaçant un filet soutenu par une simple structure en bois. Un système, un peu plus élaboré, utilisé dans certains pays pour les vaches laitières, consiste à équiper les installations de douches et de ventilateurs (figure 9.10).

Un autre moyen d'accroître l'ingestion consiste à veiller à un apport de nourriture principalement aux moments les plus frais de la journée, c'est-à-dire à l'aube et au crépuscule. Ceci va à l'encontre des méthodes pratiquées dans de nombreux pays, où les animaux sont enserrés dans des parcs pendant la nuit, afin de les protéger contre les prédateurs.

### Estimation pratique de l'ingestion

Il serait très utile de pouvoir prédire avec précision la consommation de différentes espèces de bétail et de mesurer la qualité des aliments. Nous aurions ainsi assez d'informations pour pré voir la productivité probable des animaux. Malheureusement, aucune des méthodes utilisées pour ce faire n'est suffisamment précise, même pour les animaux vivant dans les milieux tempérés où la plupart des mesures ont été effectuées.

Les prédictions de l'ingestion alimentaire reposent généralement sur la connaissance du type d'aliments consommés. Or, si les animaux peuvent paître à volonté, il est virtuellement impossible de savoir ce qu'ils consomment.



Figure 9.10. - Vaches laitières sous une douche rafraîchissante. Ce système permet d'accroître l'ingestion alimentaire et de réduire le risque de stress thermique.

Certains vulgarisateurs prétendent appliquer plusieurs formules simples selon lesquelles les animaux sont censés ingérer une certaine proportion de leur poids vif s'ils reçoivent une ration «de bonne qualité». Une formule couramment utilisée évalue l'ingestion de matière sèche à 3 % de la masse corporelle d'une vache allaitante. On peut adapter l'estimation suivant le niveau de production de l'animal en question. A titre d'exemple, pour une vache laitière, on utilise souvent la formule suivante:

$$\text{Ingestion} = 0,025 \times (\text{poids vif en kg}) + 0,1 \times (\text{rendement laitier en kg})$$

Pour des sujets normaux, ces chiffres doivent être considérés comme des valeurs maximales. Des chercheurs



français ont tenté d'élaborer un système plus scientifique d'estimation de l'ingestion en calculant pour chaque type d'animal la **capacité d'ingestion**. Ils ont donc classé les aliments en fonction de leur capacité à «encombrer» l'animal. La capacité d'ingestion est liée au poids vif métabolique d'un animal normal. Chaque type d'aliment se voit alors attribuer une «unité d'encombrement». En milieu tempéré, le système fonctionne bien, mais il s'étend malheureusement mal aux régions tropicales pour deux raisons: i) rares sont les données disponibles sur la plupart des aliments tropicaux et il faudrait des années avant de recueillir les informations nécessaires; ii) il est difficile de définir un bovin, un ovin ou un caprin «normal» dans les tropiques; la variété d'animaux qui y sont élevés est beaucoup plus étendue que dans les régions tempérées.

## **X. Aliments pour animaux**

### **Choix des aliments à apporter**

La science a établi très précisément les besoins nutritifs des animaux; c'est au nutritionniste et à l'agriculteur qu'il revient de traduire ces besoins en quantités d'aliments à apporter à chaque individu. L'éventail d'aliments disponibles pour les animaux est très varié, mais nous pouvons les regrouper en trois catégories en fonction de leur composition:

- les fourrages;
- les aliments concentrés énergétiques;
- les aliments concentrés protéiques.

Certains des aliments disponibles rentrent parfaitement dans l'une ou l'autre de ces catégories, alors que d'autres appartiennent vraisemblablement à plusieurs d'entre elles.

#### **1. Fourrages**

Les fourrages sont des aliments dont la composante fibreuse est très abondante (supérieure à environ 150 g de fibres par kg de MS).

##### **Fourrages de haute qualité**

Les fourrages de haute qualité, par exemple les jeunes graminées séchées et le maïs immature, sont facilement et rapidement digérés par la flore microbienne du rumen. Ces produits ne sont pas fréquents dans les pays tropicaux.

##### **Fourrages pauvres**

La plupart des produits fibreux disponibles dans les exploitations sont de pauvre qualité et les microbes ne peuvent dégrader que lentement les fibres qu'ils contiennent. S'ils sont la seule composante de la ration offerte au bétail, celui-ci ne pourra probablement pas en consommer suffisamment pour combler ses besoins nutritifs. Ces aliments se caractérisent souvent par une teneur en azote très faible, ce qui restreint encore davantage leur utilité.

Les conséquences d'une alimentation exclusivement basée sur des fourrages pauvres apparaissent dans de nombreux pays tropicaux à la fin de la saison sèche. A cette époque, la pâture naturelle est à maturité et se dessèche et, même si la nourriture est abondante, les animaux sont incapables de l'exploiter. C'est à cette catégorie qu'appartiennent le foin de pauvre qualité et la plupart des résidus de cultures qui sont fournis dans les exploitations.

#### **2. Aliments concentrés énergétiques**

Les concentrés énergétiques sont des aliments facilement dégradables dans le rumen et à forte teneur en

énergie métabolisable (supérieure à environ 10 MJ par kg de MS). Ils sont appelés concentrés, car ils concentrent les nutriments dont ont besoin les animaux dans de si petites quantités d'aliments qu'ils satisfont infailliblement la totalité des besoins du bétail. Les plus connus d'entre eux sont tous les aliments à forte concentration en sucre ou en amidon, c'est-à-dire tous les grains (maïs, sorgho, blé, orge, etc.) et certaines racines alimentaires (patate douce, manioc, igname). Le tableau 10.1 résume les aliments disponibles.

### 3. Aliments concentrés protéiques

Ce type d'aliments est une source importante de protéines de haute qualité. La plupart des aliments qui appartiennent à cette catégorie ont une teneur en protéines supérieure à 250 g par kg de MS. Certains n'apportent pas les matières protéiques mêmes, mais des constituants azotés plus simples.

**Tableau 10.1 Aliments concentrés essentiellement énergétiques**

Type de concentré	Aliment
Contenant des sucres simples	i) sucre brut (panella)
	ii) mélasse
Contenant des polysaccharides d' $\alpha$ -glucose	i) grains (maïs, sorgho, millet, riz, blé, orge, avoine)
	ii) racines (manioc, pomme de terre)
	iii) dérivés de la meunerie(issues de blé, son, etc.)
	iv) dérivés de l'industrie boulangère

**Tableau 10.2 Aliments concentrés essentiellement protéiques**

Type de concentré	Aliment
Particulièrement riche en protéines dégradables dans le rumen	i) urée
	ii) fumier de volaille
	iii) litière de volaille
Riche en protéines dégradables et non dégradables	i) dérivés «industriels» (surtout les tourteaux d'oléagineux)
	tourteau de soja
	tourteau d'arachide
	tourteau de coton
	ii) produits végétaux
	résidus de cultures
	légumineuses
	(paille d'arachide)
	herbes légumineuses
	arbustes légumineux
	iii) produits animaux
	farine de viande et d'os
	farine de poisson

## Protéines végétales

Les produits les plus connus sont les **tourteaux d'oléagineux**, tels que ceux de soja et d'arachide. Ils ont tous une teneur en protéines supérieure à 400 g/kg. Les légumineuses fournissent pour la plupart de grandes quantités de protéines, dans une mesure toutefois inférieure aux tourteaux d'oléagineux. Des légumineuses de pâturage, par exemple *Stylosanthes*, contiennent approximativement 250 g de protéines brutes par kg de MS. L'agriculteur qui ne peut acheter d'oléagineux peut cultiver des herbes ou des arbustes légumineux dans sa propre exploitation.

## Protéines animales

Elles proviennent d'animaux aquatiques (poissons) ou terrestres; les aliments sont souvent des dérivés de la transformation des produits animaux pour la consommation humaine.

## Equilibre de la ration

L'équilibre de la ration alimentaire repose sur une règle fondamentale selon laquelle la stimulation de la fonction ruminale est essentielle à une bonne production. En milieu réel, les animaux doivent être élevés de manière à ce qu'ils restent en bonne santé et soient capables de fabriquer les produits sur lesquels repose la subsistance de l'agriculteur. Le bien-être de l'animal, quant à lui, dépend du bon fonctionnement du rumen. En d'autres termes, la ration qu'il ingère doit assurer des conditions favorables à la flore microbienne.

## Proportion de concentrés et de fourrages

Contrairement aux concentrés, une ration exclusivement fourragère peut assurer la subsistance des ruminants. Cette dernière (surtout si elle est de bonne qualité) peut en effet combler la totalité des besoins de la fermentation ruminale. Une grande partie des fourrages tels que les graminées vertes ou la luzerne sont utilisés de cette manière, notamment dans les régions tempérées. Mais dans les pays tropicaux, il est rare de rencontrer des cultures d'une telle qualité dans les exploitations commerciales. Par ailleurs, il est peu probable que les fourrages pauvres, utilisés seuls, arrivent à combler tous les besoins nutritifs de l'organisme et du rumen. Ces fourrages sont presque tous carencés en protéines, ils sont pauvres en énergie très fermentescible et en minéraux.

Les aliments concentrés sont généralement la fraction la plus onéreuse de la ration, mais ils doivent être utilisés avec précaution. Si le niveau de fibres pénétrant dans le rumen est trop faible, comme c'est le cas, par exemple, chez les animaux recevant une ration de paille très pauvre et une grande quantité de grains, les conditions ruminales deviennent trop acides pour la fermentation. Dans les cas extrêmes, ceci conduit non seulement à une chute de la productivité de l'animal, mais surtout, à un déclin et à une mort rapides.

Dans ce chapitre, nous étudierons en particulier certains des aliments concentrés les plus courants que l'agriculteur peut être amené à acheter. Ils sont le plus souvent utilisés en combinaison avec une ou plusieurs sources de fourrages qui sont décrites dans les deux chapitres suivants, axés sur la production propre à l'exploitation agricole.

## Céréales et autres concentrés énergétiques

De nombreux aliments concentrés peuvent également être consommés directement par l'homme. Il arrive que les cultures d'aliments concentrés de bonne qualité spécialement destinés au bétail utilisent la terre et les ressources (eau et fertilisants) qui pourraient servir à l'alimentation de l'homme. C'est pourquoi les premières ne sont pas toujours aussi fréquentes dans les pays tropicaux que dans les zones tempérées. En dépit de cela, un surplus de grains de pauvre qualité, par exemple, peut parfois être utilisé avantageusement pour la production animale dans les cas où, à défaut de structures adéquates de stockage ou de transport, il ne peut être utilisé directement par l'homme. Dans les pays où il est impossible de cultiver les quantités d'aliments

nécessaires au bétail et où ils doivent être en majorité importés, il peut être nécessaire de fournir une ration riche en aliments concentrés.

Dans de nombreuses régions du monde, l'alimentation de base de l'homme est composée d'aliments à forte teneur en amidon, consommés avec des fruits et des légumes frais et une source de protéines d'origine végétale ou animale. Au niveau mondial, les grains, en particulier le riz, le maïs et le blé, sont les principales sources d'amidon dans l'alimentation de l'homme, bien que dans certaines régions, les racines tels que la pomme de terre, l'igname et le manioc soient plus fréquemment exploitées. La teneur en protéines de ces cultures est relativement faible; elle représente quelque 10 % de la MS, voire moins pour les racines.

Quoi qu'il en soit, il y a toujours une part de grains ou de racines gaspillées qui peuvent servir à l'alimentation animale. Les glucides qu'ils contiennent sont en majorité très fermentescibles dans le rumen et sont donc une source facile d'énergie pour les microbes qui y vivent.

## **Aliments concentrés protéiques**

La fraction protéique est souvent la part la plus coûteuse de la ration. La raison en est que la plupart des protéines utilisées dans l'alimentation animale peuvent également être consommées par l'homme. Il existe deux types différents de suppléments protéiques: ceux provenant des cultures et ceux d'origine animale. Certains produits riches en protéines sont cultivés dans le but délibéré de servir à l'alimentation animale, mais en général, ils le sont avant tout pour être directement consommés par l'homme. Les cultures riches en protéines sont en outre plus chères et souvent plus difficiles à faire pousser que les céréales ou les racines alimentaires riches en amidon.

### **1. Graines d'oléagineux**

Les huiles comestibles fournissent une part importante de l'apport énergétique de la ration alimentaire de l'homme. Elles proviennent de cultures telles que l'arachide, le soja et le coton. L'arachide et les germes de soja entiers constituent en tant que tels des aliments importants pour l'homme et peuvent être consommés sans extraction de leur huile. Le coton ne peut être consommé tel quel, car il contient une forte concentration de substances toxiques.

Les huiles peuvent être extraites soit chimiquement par un lavage des graines dans du pétrole très pur, soit mécaniquement par moulage des graines, suivi d'un pressage physique. Dans le premier cas, on obtient l'huile en éliminant le pétrole par séchage. Dans le second, l'huile est extraite du résidu par pressage, après un traitement mécanique; cette méthode produit un résidu beaucoup moins riche en huile que le premier traitement. Etant donné que l'huile a une teneur en énergie brute supérieure à toute autre composante du végétal, les résidus du pressage mécanique ont une valeur énergétique supérieure aux résidus de l'extraction par solvant.

### **2. Protéines animales**

#### *Tourteau de poisson et poisson séché*

Cette source de protéines se divise en deux grandes catégories. Le **tourteau de poisson**, comme son nom l'indique, provient de poissons, dont la grande majorité sont marins. Certaines espèces sont pêchées spécialement pour la fabrication de tourteaux et sont entièrement transformées. Des déchets de la préparation du poisson pour l'alimentation humaine sont parfois aussi utilisés (têtes, abats, arêtes et déchets de parage). Quelle que soit sa provenance, le poisson est d'abord moulu et séché pour constituer un produit stable qui ne se dégrade pas lors de la conservation. La plus grande part de l'huile est extraite pendant la transformation afin d'éviter le rancissement du tourteau. L'apport de grandes quantités de tourteau de poisson au bétail peut être une source de problèmes, car certains saveurs ressortent dans les produits, notamment dans le lait.

Le tourteau de poisson apporte des protéines de très haute qualité qui ne se dégradent que très peu dans le rumen et dont une part importante est constituée de protéines **by-pass** digestibles. Le principal inconvénient de ce type de tourteau est son prix; il est souvent un des concentrés protéiques les plus chers. Toutefois, dans

de nombreux cas, l'apport d'une petite quantité de tourteau de poisson dans la ration du bétail tropical à haut rendement (en particulier celle des vaches laitières) s'est avéré rentable. Le poisson séché est une variante du tourteau de poisson que l'on retrouve fréquemment dans de nombreux pays tropicaux au littoral étendu. Les poissons sont séchés avant tout pour la consommation humaine, mais ceux qui ont été endommagés ou gâtés par l'humidité constituent un supplément de valeur à la ration des ruminants.

### *Ensilage de poisson*

L'ensilage est un autre processus qui permet d'obtenir un produit liquide stable au départ du poisson. Pour obtenir un **ensilage de poisson**, il faut empêcher toute dégradation bactérienne de celui-ci. Ainsi, on abaisse le pH par fermentation, l'acide étant généralement produit par la fermentation de mélasses ou d'autres sources de sucres. Une autre solution consiste à ajouter du formol. Ce procédé n'est pas réalisable par la majorité des agriculteurs, mais dans les régions côtières connaissant des surplus saisonniers de poisson, il peut être extrêmement précieux.

### *Déchets animaux*

La **farine de viande** ou la **farine de viande et d'os** sont les noms génériques d'une gamme de produits provenant de l'abattoir. Ils contiennent généralement les parties de l'animal qui ne sont pas utilisées par la ménagère ou qui ne peuvent être incorporées aux produits manufacturés tels que les saucisses. Les résidus sont moulus et séchés avant d'être vendus aux agriculteurs. Il est essentiel de traiter toute substance animale utilisée à cette fin pour éliminer les germes pathogènes éventuels. Des spécialistes ont récemment exprimé une grande inquiétude quant à l'opportunité d'incorporer des résidus contenant des tissus cérébraux ou médullaires, susceptibles d'être porteurs du germe de l'encéphalite bovine spongiforme (EBS), parfois appelée maladie de la vache folle. Le sang des déchets d'abattoir peut également être séché et ajouté à la ration du bétail sous la forme de **farine de sang**, bien que ce procédé fasse l'objet d'objections éthiques dans certaines régions du globe.

## **XI. Pâturage et broutage**

La majorité des espèces de ruminants continuent de vivre dans des habitats similaires à ceux dans lesquels elles ont évolué. Il s'agit principalement d'animaux qui paissent ou qui broutent la végétation naturelle. L'homme a domestiqué quelques espèces et a ainsi fortement augmenté leur effectif. Malgré leur domestication, un grand nombre, sinon la majorité des ruminants appartenant à l'homme se nourrit encore librement, principalement en errant dans les régions couvertes de végétation.

L'agriculteur et le nutritionniste ne peuvent exercer presque aucun contrôle sur ce qu'ingère le bétail, ni sur la quantité consommée. Ils peuvent le stimuler à manger, mais ils ne réussiront probablement pas à l'y contraindre. Rares sont les régions (s'il y en a) qui offrent une grande quantité d'herbages non encore exploités. En d'autres termes, l'agriculteur est forcé de trouver un moyen d'utiliser aussi efficacement que possible les ressources végétales dont il dispose. Il doit ainsi trouver la meilleure adéquation entre la production animale et les ressources du sol et de végétation. Plusieurs choix simples se présentent à lui:

- il peut adapter le nombre de bêtes de manière à ce que la végétation naturelle existante suffise à assurer leur production;
- il peut modifier la végétation qui recouvre le sol de manière à ce qu'elle fournisse davantage d'aliments de meilleure qualité;
- il peut apporter des aliments provenant d'autres sources, ce qui lui permet de garder le nombre d'animaux qu'il souhaite et de ne pas altérer la nature du sol ni l'herbage.

Le choix d'une de ces solutions n'exclut pas les autres, certains agriculteurs adoptant en effet une combinaison des trois. D'autres en ont adopté une seule ou deux d'entre elles. L'expérience a toutefois prouvé dans de nombreuses régions du monde, et en particulier dans les régions tropicales, que l'inadaptation de la production animale aux ressources nutritives mène au désastre écologique. La figure 11.1 montre la

dégradation de la couverture du sol due au surpâturage en Afrique centrale. Dès que la couverture du sol a disparu, les herbes repoussent avec beaucoup plus de difficulté, l'érosion s'installe et ce qui fut une terre potentiellement exploitable devient un désert; la production animale qui, au début, se situait à un niveau acceptable se voit anéantie et les revenus agricoles, jadis élevés, descendent en dessous du niveau de subsistance. Ce processus s'est déroulé maintes fois en région tropicale, produisant des résultats étonnants de similitude malgré les différences climatiques, écologiques et sociales.



Figure 11. 1. - Couverture du sol pendant la saison sèche en Afrique centrale. Le surpâturage engendre de graves problèmes d'érosion.

## Amélioration de l'herbage

Même les régions tropicales officiellement qualifiées d'humides connaissent fréquemment des périodes pendant lesquelles l'herbe est de mauvaise qualité ou trop rare. Le manque de fourrage provoque une baisse de performance chez le bétail. Si la carence est grave, les animaux cessent non seulement de grandir, mais ils perdent du poids. La figure 11.2 représente les variations pondérales qui sont caractéristiques des bovins vivant dans des zones semi-arides. Les animaux perdent du poids au cours de la saison sèche, mais ils compensent largement cette perte pendant la saison des pluies suivante.

## Amélioration de la qualité et de la croissance des pâtures

La pâture peut être définie comme l'étendue de terres destinées à la production de fourrage pour le bétail. Les herbes qui y poussent sont souvent des graminées, parfois mélangées à des légumineuses. Plus rarement, il s'agit de pâtures de légumineuses pures, par exemple de luzerne.

L'herbage peut être amélioré en deux sens:

- en semant différents types de végétation plus apte à fournir des aliments pour le bétail au départ des ressources nutritives et hydriques du sol;
- en améliorant l'état de la végétation existante grâce à un apport accru en eau et en nutriments.

Dans de nombreux cas, c'est une combinaison des deux méthodes qui s'avère nécessaire.

## Modification de la végétation

Toutes les graminées n'ont pas la même valeur nutritive; parmi celles qui survivent le mieux sur des sols pauvres, non fertilisés, certaines ne constituent que des aliments de pauvre qualité pour le bétail. La figure 11.3 illustre l'évolution de la teneur en protéines de deux graminées tropicales communes, *Cynodon dactylon* (Chiendent pied de poule) et *Hyparrhenia rufa* (Jaragua).

*Hyparrhenia* a une teneur en protéines beaucoup plus faible que *Cynodon*, mais dans de nombreuses régions tropicales, elle se prête beaucoup mieux à la culture. Pour l'agriculteur qui dispose du droit exclusif d'usage de ses terres, il peut être nettement plus rentable de cultiver une variété améliorée de graminées.

La famille des graminées (graminacées) compte près de huit mille espèces différentes, dont la plupart poussent dans les régions tropicales. Elles ne poussent en majorité que dans des conditions environnementales très spécifiques. Il existe de très nombreux types de graminées, car chaque espèce comprend plusieurs variétés relativement distinctes, dont certaines sont naturelles et d'autres sont le fruit d'un croisement délibéré. Le tableau 11.1 reprend une liste des graminées tropicales les plus courantes. La valeur protéique qui leur est attribuée dans le tableau est celle que l'on peut attendre de graminées relativement jeunes poussant sur un sol légèrement fertilisé. Dès que les herbes vieillissent et brunissent, cette valeur baisse fortement.



Figure 11.2. - Variations typiques du poids chez les jeunes bovins élevés dans les pâturages de régions tropicales.



Figure 11.3. - Evolution de la teneur en protéines des graminées en Afrique tropicale au début de la saison sèche.

L'application de **fertilisants** peut influencer considérablement la productivité des pâtures. Elle a principalement deux conséquences, la première étant l'augmentation de la valeur azotée de l'herbage. Nous avons déjà vu (cf. chapitre 9) que l'augmentation de la teneur en azote des aliments conduit à un accroissement de l'ingestion alimentaire. Par conséquent, l'agriculteur doit inévitablement augmenter la quantité de MS alimentaire disponible. Heureusement, l'augmentation de la teneur en azote s'accompagne d'un accroissement de la MS de l'herbage (figure 11.4). C'est alors à l'agriculteur que revient la tâche difficile de calculer un nouvel équilibre entre le nombre d'animaux à élever, la surface de terres exploitables et la quantité de fertilisants à acheter.

**Tableau 11.1 Graminées de pâturage courantes dans les régions tropicales**

Nom systématique	Nom commun	Pluviosité annuelle	Protéines g/kg MS
<i>Brachiaria mutica</i>	Paragrass	D	130
<i>Cenchrus ciliaris</i>	Herbe de bison	B	100
<i>Chloris Guyana</i>	Herbe de Rhodes	C	110
<i>Cynodon dactylon</i>	Herbe des Bermudes	B	130
<i>Cynodon nlemfluensis</i>	African star grass	B	100
<i>Digitaria decumbens</i>	Pangola	D	120
<i>Hyparrhenia rufa</i>	Jaragua	B	60
<i>Panicum maximum</i>	Herbe de Guinée	B	110
<i>Paspalum notatum</i>	Herbe de Bahia	B	70
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyu	D	110
<i>Pennisetum purpureum</i>	Napier ou herbe à éléphants	C	130
<i>Sorghum sudanense</i>	Herbe du Soudan	A	140
<i>Urochloa mosambicensis</i>	Herbe de Sabi	A	90



Figure 11.4. - Effet de l'application de fertilisants azotés sur la teneur en protéines brutes (gauche) et sur la production annuelle de MS (droite) de graminées tropicales.

La **pluviosité** correspond ici aux minima de pluies nécessaires pour une bonne récolte:

A=200 à 500 mm C=750 à 900 mm

B = 550 à 700 mm D = plus de 900 mm

Les valeurs protéiques sont très approximatives et varient fortement en fonction de la fertilité du sol, de l'application de fertilisants, du stade de croissance de la végétation, du climat et des pluies.

## Canne à sucre

D'un point de vue botanique, la canne à sucre appartient à la même famille que les graminées même si elle est davantage cultivée pour la production de sucre (saccharose). Celui-ci est essentiellement utilisé pour la consommation humaine, mais il sert également de matière première dans la fabrication de combustibles et de produits chimiques. La canne à sucre est une plante très avantageuse, car elle est un des végétaux qui utilise le plus efficacement l'énergie du soleil pour fixer le carbone dans la MS. L'inconvénient est qu'il faut soit une longue saison des pluies, soit une irrigation pour produire de tels rendements. Le sucre ne représente qu'un constituant mineur de la canne et la plupart des autres constituants peuvent être utilisés dans l'alimentation animale. Le caractère imprévisible du marché mondial du sucre a poussé certains agriculteurs à utiliser la totalité de la plante pour nourrir le bétail. La figure 11.5 illustre l'apport de plants de canne à sucre au bétail en Amérique centrale.

La canne à sucre ne peut être consommée *in situ*, elle doit d'abord être coupée et hachée en petits morceaux, d'à peu près 100 mm de long pour les bovins. Cette graminée a une teneur en MS supérieure aux graminées fourragères, mais sa teneur totale en matières azotées est nettement inférieure. Elle représente une source multiple d'énergie du fait qu'elle contient du saccharose, source d'énergie très fermentescible, ainsi que des fibres à dégradation plus lente. Un système alimentaire centré sur la canne à sucre doit prévoir un apport supplémentaire de protéines, tant de protéines dégradables dans le rumen, pour stimuler les bactéries qui dégradent les fibres, que de protéines non dégradables (by-pass proteins).



Figure 11.5. - Canne à sucre utilisée pour l'alimentation des bovins en Amérique centrale.

## Exploitation des sources biologiques d'azote

Les fertilisants industriels coûtent chers et leur utilisation n'est pas toujours le moyen le plus rentable de combler les besoins nutritifs du bétail. La fixation de l'azote atmosphérique est une des sources naturelles d'azote pour la croissance des végétaux. Ceux capables de remplir cette fonction ont besoin de deux éléments qui se trouvent en abondance dans les régions tropicales: l'azote à l'état gazeux et une source d'énergie telle que le soleil. Il est donc théoriquement possible de stimuler la croissance des végétaux fixateurs de l'azote. Ce sont pour la plupart des **légumineuses** dont les racines abritent des bactéries capables d'utiliser l'énergie de la plante pour induire les réactions chimiques du processus de fixation. Au cours des trente dernières années, les légumineuses ont suscité beaucoup d'intérêt et les chercheurs, en particulier en Australie, ont récolté des milliers de légumineuses tropicales indigènes dans le but d'étudier la possibilité de les utiliser dans l'alimentation animale dans différentes parties du globe.

On connaît plusieurs milliers d'espèces de légumineuses, principalement dans les régions tropicales (où l'on en a décrit plus de 16400), et bon nombre des espèces couramment cultivées peuvent être divisées en plusieurs variétés. Elles sont de toutes les formes et tailles, allant des plantes basses annuelles aux arbres très hauts d'une grande longévité.

## Légumineuses de pâturage

Le tableau 11.2 répertorie les légumineuses de pâturage les plus courantes; cette liste n'est nullement exhaustive et une large gamme de variétés adaptées à chaque région et à chaque type de conditions est disponible chez les grainetiers.

La comparaison des données relatives aux graminées et aux légumineuses permet aisément de constater que ces dernières ont une valeur protéique beaucoup plus élevée. Certaines légumineuses, par exemple la luzerne, sont normalement produites en culture pure. Des plantes telles que *Stylosanthes humilis* ou *Desmodium* sont plus souvent associées à des graminées de pâturage dans une prairie temporaire mixte. Ainsi, une partie de l'azote fixé par les légumineuses est libérée dans le sol et augmente la productivité des



graminées. Le principal problème lié aux prairies mixtes de légumineuses et de graminées est d'assurer leur persistance. Si les graminées sont pâturées trop intensivement, les légumineuses risquent de disparaître assez rapidement. Avant de recommander la culture de légumineuses dans de nouvelles circonstances, le nutritionniste devra s'assurer que l'agriculteur a des connaissances suffisantes dans le domaine ou qu'il a en permanence accès aux conseils d'un vulgarisateur.

**Tableau 11.2 Légumineuses courantes dans les régions tropicales**

Nom systématique	Nom commun	Pluviosité	Protéines annuelle g/kg MS
<i>Centrosema pubescens</i>	Centro, Butterfly pea	D	160
<i>Crotalaria spp.</i>	Chanvre des Indes	B	210
<i>Desmodium intortum</i>	Green leaf desmodium	C	200
<i>Desmodium uncinatum</i>	Silverleaf desmodium	D	210
<i>Dolichos lablab</i>	Dolique, lablab	B	280
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Siratro	C	220
<i>Medicago sativa</i>	Luzerne	B	230
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Stylosanthes à tige fine	C	230
<i>Stylosanthes humilis</i>	Stylosanthes de Townsville	B	220
<i>Trifolium semipilosum</i>	Trèfle blanc du Kenya	C	210
<i>Vigna sinensis</i>	Cowpea, dolique de Chine, niebe	B	170

### Arbustes et arbres

De nombreuses espèces de ruminants ont évolué en puisant une grande partie de leur alimentation dans le feuillage des arbres (brouillage). Cette caractéristique a subsisté chez les animaux domestiques. Les caprins et, dans une moindre mesure, les bovins, brouillent volontiers du feuillage (figure 11.6). Cette tendance à consommer des parties d'arbres, et en particulier les tissus jeunes et à croissance rapide, peut causer des problèmes. En effet, il est presque impossible de faire pousser de jeunes plants dans des régions où les animaux qui brouillent errent en liberté.

La **pluviosité** correspond aux minima de pluies nécessaires pour une bonne récolte:

A = 200 à 500 mm C = 750 à 900 mm

B = 550 à 700 mm D = plus de 900 mm

Les valeurs protéiques sont très approximatives et varient fortement en fonction de la fertilité du sol, de l'application de fertilisants, du stade de croissance de la végétation, du climat et des pluies.

La culture d'arbres destinés à l'alimentation animale présente plusieurs avantages, car les racines de ces grandes espèces à forte longévité peuvent pénétrer beaucoup plus en profondeur dans le sol que celles de plantes fourragères plus traditionnelles. En d'autres termes, les racines peuvent puiser les nutriments dans des couches du sol beaucoup moins épuisées que les couches superficielles. Qui plus est, les arbres peuvent capter les ressources hydriques bien profondément et continuent souvent à se développer après plusieurs mois, voire plusieurs années de sécheresse. C'est ce qui explique le rôle si important qu'ils ont joué dans les zones arides et semi-arides des tropiques.



Figure 11.6. - Les caprins sont friands de feuillage et n'hésitent pas à grimper dans des arbres assez grands pour en cueillir une bouchée délectable.

Il existe des milliers d'arbres dont le feuillage est brouté par le bétail et il serait impossible de tous les décrire. De nombreuses espèces ne persistent que dans leur habitat d'origine, mais quelques-unes se sont révélées si utiles dans l'alimentation animale qu'elles ont été répandues et sont maintenant cultivées dans le monde entier. Une majorité des arbres à feuillage fourrager appartiennent à la famille des légumineuses et abritent dans leurs racines des bactéries capables de fixer l'azote atmosphérique.

Les parties consommées par les animaux sont très variées: il peut s'agir des feuilles, des jeunes pousses, des brindilles, de l'écorce, des cosses ou encore, des fruits. Du fait de la variété de ces matériaux consommés, il est difficile d'établir avec la moindre certitude la composition des aliments effectivement ingérés par le bétail. Certaines espèces contiennent des substances qui limitent l'ingestion; un grand nombre d'arbres se caractérisent en effet par une forte concentration de tannins, composés qui réduisent l'aptitude des microbes à digérer les fibres. D'autres contiennent des substances toxiques spécifiques qui limitent leur utilité. Le tableau 11.3 mentionne quelques arbres à feuillage fourrager.

**Tableau 11.3 Espèces courantes d'arbres à feuillage fourrager des tropiques**

Nom systématique	Nom commun
<i>Acacia albida</i>	Anatree
<i>Acacia nilotica</i>	
<i>Acacia tortilis</i>	
<i>Casuarina cunninghamii</i>	
<i>Colophospermum mopane</i>	
<i>Ficus glomerata</i>	Gular
<i>Gliricidia sepium</i>	Matarraton
<i>Inga spectabilis</i>	Guamo
<i>Leucaena leucocephala</i>	Ipil-ipil
<i>Piliostigma reticulatum</i>	Bauhinia (reticulatum)
<i>Prosopis cineraria</i>	
<i>Prosopis dulcis</i>	Mesquite
<i>Quercus</i>	
<i>Sesbania grandiflora</i>	Turi
<i>Trichantera gigantea</i>	Nacedero
<i>Ziziphus spina-christi</i>	

Ce tableau ne reprend qu'une petite sélection des milliers d'arbres tropicaux et semi-tropicaux à feuillage fourrager. Par ailleurs, les noms communs de ces arbres varient d'un pays à l'autre et même d'une région à l'autre dans un même pays.

### Culture d'arbres fourragers

Le choix des arbres devant servir à la production animale repose également sur une série de considérations autres que la simple valeur alimentaire. Les produits des arbres ont des usages multiples et souvent concurrents. Par exemple, le feuillage et les jeunes pousses constituent une source utile de nutriments et de paillis pour les cultures; le bois est un combustible précieux, mais il sert aussi à la fabrication de structures telles que des clôtures ou des abris. Le choix d'un type d'arbre sera également influencé dans une grande mesure par le type et l'état du sol, ainsi que par le climat.

*Leucaena leucocephala* est l'arbre qui a suscité le plus grand intérêt ces quelques dernières décennies. Il est originaire d'Amérique centrale, mais il s'est répandu dans le monde entier grâce au commerce. Le bétail

apprécie énormément son goût et en est très friand. L'inconvénient majeur de *Leucaena* est qu'il produit une substance toxique, la mimosine, de sorte qu'il doit rester un constituant mineur de la ration totale du bétail. Des chercheurs australiens ont récemment découvert que le rumen des bovins hawaïens contenait des bactéries capables d'inhiber les effets nocifs de la mimosine et des cultures de ces bactéries sont aujourd'hui disponibles dans de nombreux autres pays. Dès que ces microbes sont inoculés au bétail, ils passent facilement d'un animal à l'autre et se transmettent de génération en génération, de sorte que les animaux d'une région entière deviennent capables de dégrader la mimosine et de consommer ainsi de plus grandes quantités de *Leucaena*.

L'agriculture a connu un développement extrêmement intéressant ces dernières années, lorsqu'on a pris conscience du potentiel offert par un système de production mixte de cultures et d'arbres tel que la **culture en allées**. Selon ce système, des rangées d'arbres (haies), souvent de *Leucaena*, sont plantées à plusieurs mètres d'écart et des cultures ou des graminées sont semées dans les intervalles (allées). Les haies sont régulièrement rabattues à 0,5 ou 1 mètre de hauteur, en général, et les déchets de coupe sont appliqués comme paillis et comme fertilisant sur la surface cultivée. La culture en allées trouve sa place dans la production animale en ce sens qu'elle constitue des banques de fourrage. Dans ce cas, les cultures semées entre les rangées d'arbres sont des graminées ou d'autres fourrages. Tant que la pâture naturelle est abondante, en général pendant la saison humide, le bétail n'a pas accès à ces zones; il ne peut y accéder qu'à la fin de la saison sèche, lorsque les autres pâtures deviennent inutilisables.

### «Cut and carry»

Un accès incontrôlé des animaux aux arbres à feuillage fourrager peut endommager ceux-ci. Dans de nombreux endroits, les agriculteurs préfèrent couper la verdure qu'ils comptent donner comme aliment et l'apporter au bétail. Ceci peut comporter d'autres avantages en ce que certains feuillages fourragers, notamment *Gliricidia*, ont une odeur désagréable à l'état vert. Celle-ci disparaît une fois que le feuillage est coupé et se flétrit, ce qui en fait un fourrage plus attrayant pour le bétail.

### Haies vives

Le placement de clôtures représente une des dépenses les plus importantes pour améliorer la productivité de l'élevage. Des arbres à feuillage fourrager peuvent à la fois servir de clôture et nourrir le bétail. Toutefois, le principal problème pratique qui se pose est d'empêcher les animaux de manger les plants d'arbres tant qu'ils n'ont pas atteint une taille suffisante pour faire office de barrière. Une solution consiste à placer une haie temporaire d'épineux pour protéger les jeunes plants pendant leur croissance.

### Conservation des aliments

Rares sont les régions du monde où les conditions de croissance des cultures et du fourrage sont idéales tout au long de l'année. Cela signifie que certaines périodes de l'année connaissent une surproduction et d'autres, une carence d'aliments. Depuis de nombreuses années, les agriculteurs mettent en pratique des systèmes permettant de conserver les aliments au moment des surplus pour les utiliser en période de carence. L'objectif est d'obtenir un produit résistant à la dégradation par les microorganismes ambiants, mais dégradable par les microbes du rumen.

### Séchage

La méthode la plus simple de conservation est la préparation de foin, qui consiste à faire sécher la récolte de fourrage au soleil de manière à la conserver pour une utilisation ultérieure. Il existe deux approches distinctes de cette méthode, ayant chacune leur avantage. Selon la première approche, les graminées sont coupées, elles flétrissent et sont ensuite séchées avant d'être mises en meule. Bien souvent, avant cette dernière étape, elles sont transportées vers un endroit plus proche de celui où le bétail est nourri. Ce produit est appelé **foin coupé**. L'autre approche est beaucoup plus simple et consiste à laisser les graminées se flétrir et sécher en champ à la fin de la saison sèche. Avant la fenaison, il faut retirer le bétail du champ. Il ne pourra y retourner que plus tard dans la saison sèche, lorsque le foin sera prêt à être consommé. Il s'agit alors de réserve.

L'avantage du foin coupé est qu'il est un produit d'une qualité nettement supérieure à celle du foin sur pied. Tant qu'une graminée conserve ses racines, elle continue à accroître sa teneur en lignine et à perdre de l'azote, même si elle semble très desséchée. La teneur en protéines brutes et la digestibilité sont donc nettement supérieures dans le foin coupé.

Le foin sur pied a pour avantage qu'il demande beaucoup moins de travail et d'efforts pour le transport que le foin coupé. En terrain difficile, il peut s'avérer presque impossible de réaliser du foin coupé, alors que le foin sur pied peut jouer un rôle considérable dans l'alimentation du bétail pendant la saison sèche.

## **Ensilage**

Les microbes peuvent difficilement attaquer un foin de qualité, car son degré d'humidité est trop faible pour permettre leur développement et leur survie. Dans l'ensilage, l'acidité du produit est augmentée de manière à faire baisser le pH pour empêcher les microbes de se développer ou pour les tuer. L'acidité est normalement augmentée par la fermentation des végétaux en milieu anaérobie. Dans de telles conditions, certaines bactéries produisent de l'acide lactique ainsi qu'une petite quantité d'acides gras volatils. Les organismes produisant de l'acide lactique doivent disposer d'un apport conséquent de substances facilement dégradables telles que des sucres. Dans les pays tempérés, l'ensilage est fréquemment pratiqué pour conserver le fourrage, mais les graminées ont une teneur en sucres solubles beaucoup plus élevée que celles des tropiques. La majorité de ces dernières exigent un apport supplémentaire de sucres pour donner un bon ensilage. L'ensilage de maïs constitue une exception à la règle, puisqu'une partie de l'amidon et des sucres contenus dans les grains en formation peuvent faire office de «nourriture» pour les bactéries. Le fait de mélanger de la mélasse aux graminées peut apporter suffisamment de sucres pour permettre une fermentation efficace de ces dernières. Malheureusement, son coût est parfois plus élevé que la valeur d'ensilage obtenu.

Des additifs chimiques peuvent être utilisés pour réduire artificiellement le pH. Dans certains pays, des acides minéraux puissants, comme l'acide sulfurique, sont des sous-produits bon marché de l'industrie. Ils sont efficaces, mais représentent un danger considérable pour l'agriculteur qui n'a pas une grande expérience des produits chimiques.

## **Supplémentation**

Aux époques de l'année où les pluies sont rares et la croissance des végétaux est limitée, il n'y a souvent pas de réelle carence en aliments, mais la nourriture est si pauvre que le bétail est incapable d'en consommer en suffisance. Dans de tels cas, l'apport de petites quantités de suppléments peut signifier une amélioration importante des performances du bétail. Les suppléments peuvent être de trois types:

- suppléments protéiques;
- suppléments énergétiques;
- suppléments minéraux.

Les méthodes de supplémentation et les quantités données varient fortement selon la situation de chaque exploitation. Certains exploitants mettent des blocs à lécher à la disposition du bétail, alors que d'autres fournissent par supplémentation près de la totalité des nutriments nécessaires.

## **Blocs minéraux**

En élevage extensif, la supplémentation alimentaire pose un certain nombre de problèmes pratiques. Si les aliments ne sont pas donnés au jour le jour, le bétail les consomme plus rapidement que prévu. De plus, s'ils sont offerts dans une auge découverte, ils sont facilement gâtés par la pluie ou emportés par le vent. L'agriculteur qui veut nourrir son propre bétail peut aussi involontairement subvenir aux besoins nutritifs d'un grand nombre d'animaux sauvages. Une manière de résoudre une partie de ces problèmes consiste à

fabriquer des blocs d'aliments solides qui ne peuvent s'envoler et qui peuvent difficilement être consommés en grande quantité. Toutefois, si le goût des blocs contenant de l'urée ne plaira sans doute pas à la faune sauvage monogastrique, il sera difficile d'écarter les ruminants sauvages. Le bloc idéal doit:

- apporter de l'azote, de l'énergie et des minéraux;
- être économique et assez simple pour être fabriqué sur place;
- rester intact par tous les temps, mais ne pas être trop dur pour que le bétail puisse en consommer par petites quantités.

Un mélange qui s'est révélé très pratique dans de nombreuses régions tropicales est constitué de mélasse, d'urée et de son de blé agglomérés à l'aide de ciment de maçonnerie et parfois, de chaux (chaux vive).

*Recette-type d'un bloc à lécher (chiffres en pourcentage par rapport au poids)*

Mélasse 50	Sel 5
Urée 10	Ciment 5
Son de blé 25	Chaux 5

Des expériences sont nécessaires lors de l'introduction d'un bloc à lécher, étant donné que la qualité des matériaux (par exemple, l'humidité de la mélasse) varie d'un endroit à l'autre. Le but est de fabriquer un bloc qui soit physiquement assez résistant pour supporter la manipulation, mais qui cède à l'action combinée du léchage et de la mastication. Le bovin adulte doit normalement pouvoir ingérer quelque 700 g par jour et l'ovin adulte, quelque 100 g par jour. Des expériences réalisées en Afrique ont montré un accroissement de l'ingestion de paille de l'ordre de 25 % chez des animaux ayant reçu des blocs à lécher. L'effet combiné des nutriments provenant du bloc et de l'augmentation de l'ingestion et de l'utilisation des fourrages peut fortement influencer la performance des animaux. Ceux qui perdent du poids ou ceux qui en gagnent à un rythme très lent peuvent ainsi atteindre des rythmes de croissance appréciables. Il est un fait que l'ampleur de l'amélioration dépend en grande partie de la quantité de suppléments disponibles et de la qualité et quantité de la pâture dont ils sont censés vivre.

## **XII. Sous-produits fibreux**

La production agricole est souvent l'activité centrale des exploitations, l'élevage n'étant qu'une activité secondaire. Ainsi, la valeur des animaux réside davantage dans leur capacité d'effectuer le travail de la terre, par exemple, que dans leur propre production. Dans de telles circonstances, les agriculteurs choisissent en général de consacrer la plus grande surface de terre possible aux cultures. Les animaux doivent alors se contenter des terres que l'agriculteur ne peut exploiter, soit parce qu'elles sont très peu fertiles, soit parce qu'il n'a pas les moyens de les cultiver. Il est rare que les produits agricoles soient intégralement consommés par l'homme; la plupart d'entre eux produisent des dérivés consommables par le bétail. L'utilité de ces dérivés dépend souvent de la possibilité de les produire dans ou à proximité de l'exploitation et à la bonne période de l'année.

Peu de dérivés constituent à eux seuls une ration complète, ils doivent soit être mélangés à d'autres aliments disponibles dans l'exploitation, soit être complétés par des suppléments achetés par l'agriculteur. Certains produits ont très peu de valeur en raison de leur nature fibreuse ou des composés toxiques qu'ils contiennent (ex. déchets de café). Les sous-produits fibreux doivent parfois subir l'un ou l'autre traitement avant d'être d'une quelconque utilité dans la ration. Quelques-uns des sous-produits agricoles les plus courants sont présentés dans le tableau 12.1.

Les produits les plus abondants sont en général les résidus fibreux qui subsistent après que la récolte principale a été emportée au marché ou soigneusement stockée pour être utilisée par l'agriculteur et sa famille. Ces résidus ont généralement une faible teneur en azote (protéines brutes).

**Tableau 12.1 Composition approximative de quelques sous-produits agricoles fibreux utilisés dans l'alimentation animale**

Sous-produit	MS (g/kg)	Prot (g/kg MS)	Fibres (g/kg MS)	Lipides (g/kg MS)	EM (MJ/kg)	UFL*	UFV*
1) Sous-produits de céréales	850	70	340	51	8,5	0,68	0,59
paille de maïs							
paille de blé	900	36	420	20	6,0	0,45	0,34
paille de sorgho	850	60	333	0	8,6	0,68	0,60
paille d'orge	920	42	356	21	7,3	0,57	0,47
paille de riz	910	46	360	11	6,0	0,45	0,34
2) résidus d'oléagineux	880	55	440	14	6,5	0,50	0,39
paille de soja							
tiges de coton	910	3	363	9	7,7	0,60	0,51
balles de coton	900	43	475	15	8,8	0,70	0,62
fanes d'arachide	940	57	250	18	9,4	0,76	0,68
paille de dolique	880	330	147	18	8,0	0,63	0,54
3) résidus de racines alimentaires fanes de manioc	900	187	173	59	7,6	0,60	0,50
tiges de patate douce	140	157	174	27	10,5	0,85	0,79
4) sous-produits de sucrerie	260	35	304	34	8,9	0,71	0,63
pulpes de canne à sucre							
bagasse	920	13	510	8	3,4	0,22	0,07
5) résidus de cultures arbusives pulpes d'agrumes	180	66	126	33	12,6	1,04	1,00
pulpes d'ananas	870	49	212	0	11,1	0,91	0,85
feuilles de bananier	80	31	225	22	9,2	0,74	0,66
6) sous-produits animaux	900	220	500	5	6,6	0,51	0,40
fumier de volaille							

Calculés au départ de la valeur EM, ces chiffres sont donnés à titre purement indicatif.

\* UFL = Unité Fourragère Lait

\* UFV = Unité Fourragère Viande

La majorité des résidus fibreux proviennent de cultures céréalières, bien que d'autres produits tels que la coque de noix de coco ou les feuilles de palmier-dattier puissent également être disponibles sur place. Les fibres sont presque toujours fort lignifiées; de ce fait, elles ne sont dégradées que lentement dans le rumen et ne libèrent qu'à un rythme ralenti les nutriments qu'elles contiennent. Ce qui est plus grave, elles combrent les espaces libres dans le rumen et réduisent considérablement la capacité d'ingestion de l'animal.

L'utilité de ces résidus peut être accrue de deux manières:

- en modifiant leur composition chimique pour accroître la capacité des microbes du rumen à les dégrader;
- en apportant des suppléments de manière à créer dans le rumen les conditions dans lesquelles

les fibres sont dégradées le plus rapidement possible.

### Traitement des résidus fibreux

Le traitement est destiné à compenser les carences de deux manières:

- en rendant les fibres moins résistantes aux attaques par les microbes du rumen;
- en compensant la carence en azote.

La lignocellulose fibreuse est un constituant très sensible aux attaques par les alcalis, ce qui facilite la pénétration des microbes. Les produits chimiques utilisés pour traiter les fourrages bon marché doivent eux-mêmes être peu coûteux; en effet, il est insensé que l'agriculteur améliore un tant soit peu la qualité d'un aliment médiocre si cela lui coûte une fortune. Seuls deux alcalis efficaces sont suffisamment économiques pour être cités, ce sont l'hydroxyde de sodium (soude caustique) et l'ammoniac. Des résultats ont également été obtenus avec des cendres de bois, qui sont en réalité un mélange basique produit dans l'exploitation; le problème est qu'il faut d'énormes quantités de cendres pour traiter une quantité significative de fourrages. Or, la plupart des régions où le besoin de sous-produits agricoles se fait sentir manquent également de bois.

### Traitement à l'hydroxyde de sodium

L'hydroxyde de sodium (NaOH, également appelé soude caustique) est une des bases les plus puissantes que l'on connaisse et intervient dans une large gamme d'applications industrielles. Un de ses principaux avantages est qu'il devient inoffensif après quelques jours, car il réagit avec le gaz carbonique atmosphérique pour former du carbonate de sodium.

L'hydroxyde de sodium est toujours appliqué sur les fourrages en solution dans l'eau. Ces solutions sont très dangereuses à manipuler et provoquent des brûlures très désagréables sur la peau. Le plus dangereux est que la brûlure provoquée n'est pas ressentie avant plusieurs minutes, intervalle pendant lequel elle peut provoquer des dégâts importants. Il est conseillé de porter des vêtements protecteurs tels que des bottes en caoutchouc, des gants en caoutchouc épais, des lunettes de protection et une salopette (figure 12.1), équipement dont les petits agriculteurs ne disposent souvent pas.

Deux problèmes pratiques majeurs sont liés au traitement à l'hydroxyde de sodium. Primo, il faut s'assurer que la solution entre en contact avec le moindre brin de nourriture; secundo, les aliments *doivent* être séchés convenablement après le traitement pour éviter l'apparition de moisissures. Diverses méthodes ont été expérimentées, entre autres:

- l'aspersion (à l'aide d'un système sophistiqué de pompage ou d'un arrosoir);
- le trempage des aliments en vrac dans un réservoir;
- l'immersion des balles de paille.

Le choix de la méthode dépend des installations disponibles dans l'exploitation et des quantités d'aliments à traiter. En général, le trempage assure la meilleure imprégnation. La plupart des pailles foncent après le traitement à l'hydroxyde de sodium et prennent une couleur brun rouge. On peut donc aisément reconnaître à leur pâleur les brins qui n'ont pas été traités efficacement.

Il est essentiel de bien sécher les aliments avant de les apporter au bétail. Malgré la puissance chimique du traitement à l'hydroxyde de sodium, tous les spores fongiques ne sont pas éliminés. Lors de la transformation des résidus d'hydroxyde de sodium en carbonate de sodium, l'alcalinité des aliments baisse et les conditions deviennent favorables au développement de moisissures. A des températures moyennes de plus de 20°C, comme on en rencontre dans les pays tropicaux, la paille se couvre de moisissures en une semaine. Les balles de fourrages (paille, etc.) sont les plus difficiles à sécher, du fait que l'eau a tendance à être retenue dans et autour des tiges. Le seul moyen réellement efficace de les sécher est de délier les balles et d'étaler la

paille.



Figure 12.1. - Traitement de balles de paille à l'hydroxyde de sodium. Il est essentiel de veiller à ce que toute la paille soit trempée dans la solution.

### **Conditions pratiques de l'application d'hydroxyde de sodium**

Des expériences réalisées sur toute une gamme d'aliments ont montré qu'une proportion de 50 g d'hydroxyde de sodium par kilo d'aliment donne des résultats satisfaisants. La base doit être dissoute dans le minimum d'eau possible tout en veillant à ce que la totalité des fibres soit traitée. La concentration la plus forte à envisager est de 200 g d'hydroxyde de sodium par litre d'eau. En cas de contact avec la peau, ou pire, avec les yeux, une telle solution est très dangereuse. La dilution de l'hydroxyde de sodium dans une si petite quantité d'eau produit énormément de chaleur, ce qui signifie qu'il faut préparer la solution au moins une heure à l'avance pour qu'elle puisse refroidir avant d'être utilisée. Si l'on remarque que la solution n'entre pas en contact avec tous les brins de fourrage, il faut davantage la diluer. Le volume de solution devra être augmenté en proportion pour s'assurer que la concentration de 50 g d'hydroxyde de sodium par kilo d'aliments est toujours respectée.

### **Consommation d'eau**

Les fourrages ainsi traités contiennent une grande quantité de carbonate de sodium. Consommé à forte dose, ce sel provoque chez le bétail une production énorme d'urine. Par conséquent, l'abreuvement doit être d'autant plus important. S'ils sont nourris de fourrages traités aux alcalis, les animaux doivent être élevés dans des lieux bien drainés, sans quoi ils se trouveraient rapidement entourés d'une épaisse couche de boue qu'ils auraient eux-mêmes provoquée.

### **Traitement à l'ammoniac**

L'ammoniac est un gaz hydrosoluble dans des conditions environnementales normales. Il peut être appliqué aux aliments par des moyens plus ou moins sophistiqués. Dans certaines régions tempérées, des procédés industriels de traitement de la paille ont été mis en place; ils consistent à placer le fourrage dans une chambre isolée et chauffée et à ensuite introduire le gaz ammoniacal par un cylindre. Ce procédé est très sophistiqué et ne se justifie que pour des quantités importantes de matériau à traiter. L'ammoniac peut également être ajouté en solution dans l'eau, mais ceci entraîne tous les problèmes de séchage liés au traitement à l'hydroxyde de sodium.

En milieu tropical, il existe un autre moyen pour appliquer de l'ammoniac. La dégradation de l'urée, composé chimique, dans l'eau produit également ce gaz qui, si le fourrage est conservé dans un conteneur étanche, diffusera dans tout l'espace disponible. Ce type de traitement n'est pas très efficace en climat tempéré, probablement parce que l'hydrolyse de l'urée est très lente et que l'ammoniac est beaucoup plus soluble dans l'eau froide que dans l'eau chaude.

### **Traitement des fourrages à l'urée**

Le traitement des fourrages à l'urée est en réalité un traitement ammoniacal; en tant que tel, il s'agit donc d'un procédé en phase gazeuse. Il s'ensuit que, si le milieu n'est pas étanche au gaz, une grande partie de l'ammoniac (et de l'efficacité du traitement) sera perdue.

### **Cinq étapes d'une application réussie du traitement**

- 1) Rassembler le fourrage en une meule, de préférence sur un sol imperméable (l'idéal est de couvrir le sol d'un plastique). Pour une installation plus permanente, on peut construire une chambre en béton.



2) Appliquer la solution d'urée. Etant donné qu'il s'agit d'un traitement gazeux, il n'est pas nécessaire de mouiller chaque brin de fourrage. A titre indicatif, une dose de 40 g d'urée (dissoute dans 200 ml d'eau) par kilo de fourrage a donné de bons résultats avec du fourrage de maïs.

3) Isoler la meule et rendre le tout étanche au gaz. Le meilleur moyen d'isoler la meule est d'utiliser un film plastique. S'il suffit de la couvrir (par exemple, dans le cas d'un conteneur en béton), de vieux sacs en plastique (pas en toile) recouverts d'une couche de terre peuvent convenir.

4) Laisser la meule ainsi pendant au moins trois semaines, pendant lesquelles l'urée s'hydrolysera et l'ammoniac produit diffusera dans la meule.

5) Ouvrir la meule et aérer le fourrage afin de disperser l'excédent d'ammoniac avant de l'apporter au bétail.

## **Supplémentation de la valeur nutritive des sous-produits**

La teneur en énergie brute des résidus fibreux est aussi élevée que celle de la majorité des autres aliments (proche de 18-19 MJ/kg), mais ils contiennent beaucoup moins d'énergie digestible. En d'autres termes, les microbes du rumen ne disposent pas d'une quantité suffisante d'énergie directement disponible. Par ailleurs, la majorité des résidus fibreux ont une faible teneur en protéines brutes et ne satisfont donc pas les besoins azotés des microbes. Face à cette double incapacité de satisfaire les besoins, il n'est pas étonnant que la flore microbienne soit récalcitrante à dégrader des fourrages aussi pauvres. Les carences se situent au niveau de l'apport d'énergie facilement dégradable et d'ammoniac que les microbes utilisent pour fabriquer leurs propres acides aminés.

### **Supplémentation énergétique**

Les meilleures sources d'énergie pour les microbes du rumen sont constituées en grande partie de sucres simples et de glucides de type a tels que l'amidon. La presque totalité des matériaux qui pourraient ainsi être utilisés ont un autre usage: ils peuvent être directement consommés par l'homme, servir de matière première dans l'industrie, ou les deux. Par conséquent, l'agriculteur doit soit les acheter, soit se priver des revenus que leur vente pourrait lui rapporter. Plusieurs produits utiles, tels que les sous-produits de la meunerie, ne peuvent normalement être utilisés dans l'alimentation humaine; ils peuvent par contre faire partie de la ration de la volaille et ont une valeur de revente comme tel. Il en résulte que l'agriculteur devra restreindre sévèrement l'utilisation de ces produits, sans quoi il risque d'obtenir une production animale de moindre valeur que le coût des suppléments alimentaires.

Du fait que la plupart des produits susceptibles de servir de suppléments énergétiques apportent également une petite quantité de protéines, on peut difficilement déterminer si les améliorations de la performance de l'animal sont dues à la supplémentation énergétique ou protéique. Dans le cas de l'apport de mélasse, extrêmement pauvre en azote, comme supplément unique à du fourrage de mauvaise qualité (pauvre en protéines), les améliorations de la performance sont relativement minimes. La raison en est que, même si les microbes du rumen reçoivent une quantité supplémentaire d'énergie, ils sont incapables de l'exploiter pleinement, car ils manquent de matières premières pour la synthèse protéique. La figure 12.2 illustre l'influence de ce qui précède sur l'ingestion de paille de riz chez des ovins.

### **Supplémentation protéique**

Il existe deux types de suppléments protéiques. Le premier est en grande partie formé de constituants azotés simples que les microbes du rumen utilisent comme matière première dans la synthèse des protéines. Le second est constitué de protéines non dégradées dans le rumen, qui sont une source directe d'acides aminés pour l'intestin grêle. Ces deux types de suppléments ont des effets relativement différents. En pratique, la plupart des matériaux qui peuvent être ajoutés à la ration contiennent tant des protéines dégradables que non

dégradables.

## Urée

L'urée est la source d'azote dégradable le plus fréquemment incorporée dans la ration. Elle peut soit être achetée sous la forme d'un aliment pour animaux et se présente alors en une poudre relativement fine, soit en tant que fertilisant, sous la forme de «perles», petits comprimés d'environ 4 mm de diamètre. La poudre d'urée est généralement beaucoup plus chère que le fertilisant et est davantage utilisée pour la production de denrées alimentaires commerciales. Il revient au petit agriculteur de déterminer si l'urée en fertilisant disponible sur place est suffisamment pure pour être incorporée dans la ration du bétail. Les perles peuvent être mélangées au fourrage ou être dissoutes dans de l'eau et réparties en solution sur les aliments séchés à l'aide d'un arrosoir. Dans la plupart des cas, les animaux consomment les aliments ainsi préparés, parfois après une période de refus (figure 12.3).



Figure 12.2. - Effet de la supplémentation de mélasse avec et sans urée sur l'ingestion alimentaire des ovins. Il faut remarquer qu'en soi, la mélasse a très peu d'effet, c'est le faible apport d'azote qui restreint la production.

## Fumier de volaille

Deux produits différents sont disponibles: le fumier de volaille et la litière de volaille. Le fumier est constitué des excréments purs de la volaille élevée en batteries; il est souvent séché avant d'être utilisé. La litière, par contre, provient de l'élevage de volaille sur «litière profonde»; il s'agit généralement de poulets de chair. La volaille est alors élevée en liberté dans des bâtiments dont le sol est recouvert d'une couche de matériaux fibreux, la litière. Celle-ci est fréquemment composée de copeaux de bois, de balles de coton ou de paille de maïs hachée. La litière de volaille constitue donc un mélange d'aliments fibreux et d'excréments. Il est possible que l'ammoniac produit par la décomposition des fèces augmente la valeur nutritive de la partie fibreuse de la ration. Si l'agriculteur a le choix, il a intérêt à utiliser comme litière des fibres relativement digestibles, comme les balles de coton, plutôt que des copeaux de bois qui apportent peu à la ration. Le coût supplémentaire qu'implique la litière a de fortes chances d'être amorti par l'amélioration de la performance des ruminants.



Figure 12.3. - Génisses laitières recevant une ration constituée de paille traitée à l'urée et d'un léger apport de concentrés.

Certains programmes de développement ont envisagé le fumier de volaille comme un moyen précieux d'améliorer la nutrition des ruminants. Toutefois, le nutritionniste doit éviter de prôner son utilisation si cela implique qu'il faut commencer un élevage de volaille. En effet, il faut près de 20 poulets pour fournir suffisamment de fèces pour satisfaire les besoins en protéines d'un seul bœuf de boucherie. Les poussins mettent huit semaines à devenir des poulets d'un poids commercialisable, ce qui signifie que l'agriculteur doit élever 130 poulets par an et par bœuf. Mais le fumier de volaille constitue un excellent ingrédient de la ration pour autant qu'une unité de production de bœufs de boucherie soit installée à proximité d'un élevage existant de volaille.

## Protéines de haute qualité

Il s'agit des protéines qui résistent à la dégradation dans le rumen pour fournir des acides aminés directement à l'intestin grêle (by-pass proteins). L'apport d'une quantité même limitée de protéines de haute qualité dans la ration d'un ruminant peut influencer considérablement la production animale et apporter des bénéfices importants qui semblent hors de proportion avec la faible dépense supplémentaire engagée. Dans de nombreux pays tropicaux, la majorité des agriculteurs ne peut envisager des dépenses même minimales pour

l'achat d'aliments. Par contre, s'ils appartiennent à une coopérative qui commercialise le lait et ses dérivés, une partie des revenus peut être réinvestie dans l'achat de suppléments.

La source de protéines qui s'est souvent révélée la plus efficace à stimuler la croissance est le tourteau de poisson. Dans de nombreux pays, c'est également la source la plus chère et la plus difficile à se procurer pour le petit agriculteur. Des améliorations très utiles peuvent être apportées par l'utilisation des feuilles et des jeunes tiges de légumineuses arbustives, en particulier de *Leucaena*, celles-ci pouvant parfois être cultivées sur des terres autrement inexploitées.

### Méthodes alternatives d'apport de sous-produits

Toute famille produit une certaine quantité de déchets, par exemple, les parties non comestibles des aliments préparés pour les repas. Ces déchets peuvent être utilisés pour l'alimentation animale, bien que les ruminants doivent souvent disputer les meilleurs restes à la volaille. Dans de plus grands villages et dans les villes, il existe la plupart du temps l'une ou l'autre forme de marché sur lequel les petits agriculteurs peuvent vendre ou échanger leur production alimentaire. De tels marchés produisent des quantités considérables de déchets qui peuvent ensuite être consommés par les troupeaux de caprins (figure 12.4).

Ces animaux jouent un rôle doublement important dans la mesure où ils nettoient les lieux et sont une source de viande pour l'homme. Le nutritionniste peut avoir des difficultés à déterminer précisément la valeur des aliments qu'ils ingèrent, qui sont aussi bien des feuilles de chou en décomposition que des vieilles boîtes en carton. Pour améliorer la nutrition de ces animaux, le plus simple est d'en adapter le nombre à la quantité de déchets disponibles. Etant donné l'incertitude liée à l'ingestion de nutriments chez les animaux qui se nourrissent de déchets, la meilleure mesure de l'amélioration de la nutrition est l'évolution du poids.

### Besoins supplémentaires des vaches allaitantes

La production de lait impose à la vache une contrainte nutritionnelle considérable. Certaines races bovines produisent une faible quantité de lait, même si celui-ci contient de plus grandes quantités d'énergie et de protéines que celles apportées par la ration. Il est évident qu'elles ne peuvent continuer ainsi que pendant une courte période, car elles puisent la différence dans leurs réserves corporelles. La part de l'organisme qui les fournit étant réellement limitée, il faudra peu de temps pour la production de lait cesse totalement.



Figure 12.4. - En région tropicale, les caprins jouent un rôle important en se nourrissant de déchets. Les déchets ménagers et ceux du marché constituent une ressource nutritive précieuse.

Les vaches qui se nourrissent d'une ration déficiente en énergie et en protéines auront probablement une ingestion trop faible pour assurer une production de lait exploitable. Dans ces circonstances, il est absolument essentiel d'apporter des suppléments aux rations composées de fourrages pauvres. L'effet de la supplémentation se notera tant dans la quantité de lait produite que dans l'évolution du poids vif (figure 12.5).



Figure 12.5. - Effets caractéristiques de la supplémentation sur la production de lait et sur le poids vif des bovins consommant des fourrages pauvres. Il faut remarquer que la supplémentation augmente certes la production de lait, mais a un effet beaucoup plus remarquable sur l'état de l'animal; elle transforme une perte journalière d'un quart de kilo en un léger gain pondéral.

## XIII. Rationnement du bétail

Dans les chapitres précédents, nous avons décrit les besoins nutritifs du bétail, ainsi que certaines caractéristiques des aliments. Ces informations peuvent être établies avec une très grande précision;

toutefois, leur application effective au sein de l'exploitation représente une démarche distincte. Les animaux ne consomment pas des mégajoules d'énergie, ni des grammes de protéines; ils mangent du fourrage et des produits culturaux. L'agriculteur doit donc traduire les besoins nutritifs qu'il connaît en quantités d'aliments réels à apporter au bétail. Dans certains cas, la transposition s'effectue aisément, car les quelques ingrédients qui entrent dans la ration sont disponibles dans l'exploitation. Ces ingrédients peuvent servir de base à la ration de différents types de bétail et c'est autour d'eux qu'ont été élaborées des techniques simples d'alimentation. En réalité, c'est ainsi que sont nées les méthodes traditionnelles d'alimentation du bétail. Les techniques plus modernes permettent à l'agriculteur de rechercher des moyens simples d'exploiter plus efficacement les ressources dont il dispose. Dans certaines régions, ces nouvelles techniques peuvent l'inciter à cultiver ou à acheter des produits qui suppléent ceux de son exploitation.

Les centres de recherche de nombreux pays différents, mais surtout des régions tempérées, ont mis au point indépendamment des systèmes de planification des rations animales. De ce fait, nous trouvons aujourd'hui un éventail de moyens pour calculer les besoins des animaux et l'aptitude de divers aliments à les satisfaire. Chaque système repose sur une étude de la physiologie fondamentale de la nutrition et, dans l'ensemble, elles concordent sur les processus du métabolisme de l'énergie et de la nutrition protéique. Les divergences d'opinions se limitent à la manière de concevoir des méthodes pratiques applicables dans les exploitations. Dans ce chapitre, nous décrivons deux systèmes différents: les systèmes britannique (Système d'Énergie métabolisable et de Protéines) et français (Unités Fourragères et Protéines Digestibles dans l'intestin). Le système nord-américain (NRC, énergie nette) présente de nombreux points communs avec les deux systèmes britannique et français et les chercheurs qui en comprennent un ont généralement peu de difficulté à comprendre les autres. Ces trois systèmes, de même que ceux dont ils ont été à la base, représentent sans doute la majorité des techniques d'alimentation utilisées en région tropicale, malgré qu'ils aient tous été élaborés dans des pays tempérés.

Il est intéressant d'observer que, quel que soit le système choisi, les résultats doivent finalement être exprimés de la même manière; l'agriculteur doit savoir combien de kilos de l'aliment «A» et de l'aliment «B» il doit préparer. En soi, ces données peuvent être trop précises, car dans l'exploitation, la mesure de base est souvent la pelle ou le seau. A ce niveau, les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul sont très proches les uns des autres.

Un autre problème qui se pose en milieu réel est que les animaux ne sont pas tous pareils. Les expériences réalisées pour déterminer les besoins nutritifs des animaux débouchent en général sur le calcul des **besoins d'un animal moyen**. Or, les animaux sont tous différents et peu d'entre eux s'alignent sur la «moyenne»; ils se situent soit en dessus, soit en deça de ce niveau. L'agriculteur doit veiller à ce que tous les animaux soient nourris de manière adéquate et ce ne sont donc pas les quantités suggérées par les besoins qu'il apporte. Au lieu de cela, l'agriculteur calcule des **rations**, qui équivalent aux besoins majorés d'une marge de sécurité (de 5 ou 10 %), pour tenir compte du fait que certains animaux doivent ingérer plus de nourriture pour atteindre le même niveau de production.

## Satisfaction des besoins énergétiques

Le schéma de la répartition de l'énergie dans l'organisme a été décrit dans le chapitre 7 et le lecteur peut en trouver un résumé utile dans la figure 7.6. Les systèmes français, britannique et américain utilisent tous cette structure pour expliquer la manière dont l'organisme divise l'énergie, et tous tentent de fournir à l'usager une manière simple de calculer l'énergie nette utilisable pour l'entretien et pour la production. Le principal problème auquel est confronté tout système pratique de calcul de la nutrition énergétique est que l'efficacité avec laquelle l'énergie métabolisable est utilisée pour produire de l'énergie utilisable (énergie nette) varie non seulement d'une espèce à l'autre, mais aussi au sein d'une catégorie de bétail. L'efficacité avec laquelle un ovin utilise l'énergie métabolisable (EM) est différente de celle du bovin, et celui-ci utilise l'énergie plus efficacement pour la production de lait que pour la croissance des tissus. Il s'agit de tenir compte de ces différences lors du calcul des besoins alimentaires.

## Système français des Unités fourragères

Le système français des Unités Fourragères contourne les problèmes liés à la différence d'efficacité dans

l'utilisation de l'énergie en utilisant *différentes unités* pour la valeur énergétique des aliments suivant l'usage qu'en fait l'animal. Tous les besoins énergétiques sont exprimés en Unités Fourragères (UF) équivalent à l'énergie nette fournie par un kilo d'orge. Il existe en réalité deux unités: la première est utilisée pour la production de lait et une série d'autres productions telles que la croissance du fœtus et l'énergie nécessaire à l'exercice (Unité Fourragère Lait - UFL) et la seconde l'est pour la production de viande à un rythme de croissance très élevé (Unité Fourragère Viande - UFV). Il est possible de passer du système français au système britannique, car les Unités Fourragères sont véritablement une mesure de l'énergie nette. Une Unité Fourragère Lait (UFL) équivaut à une énergie nette de 7,24 MJ/kg et une Unité fourragère Viande (UFV) équivaut à 7,75 MJ/kg.

### **Système britannique d'Energie Métabolisable**

Le Système britannique d'Energie Métabolisable adopte une approche selon laquelle la teneur en énergie métabolisable est «fixe» pour un type d'aliment donné. Les valeurs de départ sont calculées grâce à un travail extrêmement précis réalisé sur des ovins dans des centres de recherche spécialisés. La valeur EM de plusieurs échantillons de cultures telles que le blé ou le foin est ainsi calculée pour être ensuite liée aux propriétés déterminables en laboratoire. Le but est de réaliser une analyse en laboratoire qui mette en évidence la teneur en protéines, en fibres et en lipides et, au départ de ces données, d'évaluer l'EM.

Des équations complexes permettent ensuite de calculer l'efficacité avec laquelle l'EM est utilisée dans diverses conditions par différentes catégories d'animaux. Dans la pratique, il vaut mieux utiliser un ordinateur ou, du moins, une calculatrice électronique sophistiquée. Pour plus de facilité, des tables ont été établies pour chaque type d'animal en reprenant le niveau de production souhaité et le type d'aliments qu'ils sont censés consommer. Ces tables peuvent alors être utilisées par l'agriculteur ou le nutritionniste sur le terrain.

### **Système américain d'Energie Nette**

Ce système élude le problème des variations dans l'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable en utilisant *différentes valeurs* pour exprimer l'énergie nette des aliments, suivant l'usage que l'animal en fait. L'énergie nécessaire à l'entretien est exprimée en Energie Nette d'Entretien ( $EN_e$ ) et l'énergie nécessaire à l'engraissement est mesurée en termes d'Energie Nette de Croissance ( $EN_c$ ). Par conséquent, pour l'animal en croissance, les besoins alimentaires d'entretien sont calculés en  $EN_e$  et l'énergie supplémentaire nécessaire pour sa croissance est exprimée en  $EN_c$ . Ils sont ensuite convertis en termes de besoins alimentaires et de quantités d'aliments et sont additionnés pour former la ration totale. Ainsi

Besoin total d'aliments = apports nécessaires pour l'entretien calculés en  $EN_e$  + apports nécessaires pour la croissance calculés en  $EN_c$

Pour la lactation, les calculs sont plus simples. L'efficacité d'utilisation de l'énergie pour l'entretien varie peu par rapport à celle pour la production de lait, ce qui a permis de se limiter à une seule valeur pour l'Energie Nette d'Entretien et de Lactation. L'expression utilisée est Energie Nette de Lactation ( $EN_l$ ).

Les tables où figure la composition des aliments suivant le système américain comprennent donc trois valeurs énergétiques pour chaque aliment:  $EN_e$ ,  $EN_c$  et  $EN_l$ . Les valeurs énergétiques mentionnées dans la littérature américaine sont généralement exprimées en kilocalories (ou mégacalories). Il faut les multiplier par 4,18 pour obtenir la valeur correspondante en kilo- ou mégajoules.

### **Matières digestibles totales**

Au début du siècle, un système basé sur la digestibilité de diverses composantes des aliments a été conçu en Amérique pour exprimer les besoins énergétiques des animaux et l'aptitude des aliments à les satisfaire. Il visait essentiellement à créer un système simple basé sur l'énergie digestible et selon lequel, pour chaque

aliment, on additionnait la quantité de tous les nutriments digestibles, à l'exception de la composante lipidique qu'il fallait multiplier par 2,25 avant le calcul, en raison de son pouvoir calorifique supérieur. Ainsi:

Matières digestibles totales (MDT) = protéines brutes digestibles + fibres brutes digestibles + extractif non azoté digestible + 2,25 x extrait étheré digestible (graisses)

Le système MDT a connu un succès remarquable étant donné la facilité avec laquelle on peut mesurer la «valeur énergétique». Malheureusement, il pose de nombreux problèmes quand il s'agit de l'appliquer à des rations contenant un mélange d'ingrédients aux propriétés très différentes. Toutefois, de nombreux ouvrages de référence, en particulier ceux portant sur la nutrition en région tropicale, continuent de l'utiliser.

## **Etablissement d'une ration complète**

### **Besoins énergétiques de vaches laitières**

Le tableau 13.1 illustre les besoins énergétiques de différentes catégories de vaches laitières en reprenant les trois systèmes. Les équations sont reprises en annexe 3, de manière à permettre de calculer les valeurs pour des animaux qui n'entrent pas dans les catégories du tableau.

N.B. Le système français se base sur les protéines brutes digestibles et le système britannique, sur les matières azotées totales *et* la dégradabilité des protéines.

Des tables de composition reprenant divers aliments ainsi que les besoins du bétail ont été établies sur la base de ces systèmes et sont largement utilisées dans les pays respectifs d'origine. Le souci premier de l'agriculteur, et forcément de l'animal, est de satisfaire les besoins nutritifs avec des aliments de qualité. La valeur d'un système d'alimentation se mesure à sa capacité de prévoir les quantités d'aliments qui seront nécessaires à l'animal. Si les quantités d'aliments nécessaires à une ration réelle sont calculées à l'aide des trois systèmes, on s'aperçoit que les résultats sont remarquablement similaires. Si des différences apparaissent, elles seront sans aucun doute beaucoup plus faibles que celles causées par des erreurs de pesage des aliments dans la plupart des exploitations.

### **Besoins protéiques du bétail**

Quel que soit le système utilisé, il est difficile de calculer la quantité exacte de protéines à incorporer dans la ration. On connaît deux sources aux acides aminés qui pénètrent dans l'intestin grêle pour être assimilés par l'organisme: les protéines apportées directement par la ration et celles qui sont synthétisées par les microbes du rumen. Le problème est que nous ne disposons pas de suffisamment d'informations pour appliquer avec précision ces systèmes. Le comportement des protéines dans le rumen est encore trop peu connu et de nombreuses expériences seront encore nécessaires pour obtenir les informations souhaitées. Les informations relatives aux aliments disponibles en région tropicale sont encore plus rares.

## **Tableau 13.1 Apports énergétiques recommandés par les systèmes français, britannique et américain**

Animal	Unités fourragères françaises (UFL)	Energie métabolisable britannique (MJ)	Système d'Energie nette américain (MJ)		
			EN <sub>e</sub>	EN <sub>c</sub>	EN <sub>1</sub>
Vaches allaitantes(600 kg poids vif)					
Entretien	5,2	55			41
Production laitière:					
5 litres/jour	7,3	79			55
10	9,4	104			70
15	11,8	129			84
20	13,6	155			99
Bovins à l'engraissement (150 kg poids vif)					
Entretien	1,9	25	13,8	0	
Croissance:					
0,25 kg/jour	2,6	30	13,8	2,2	
0,50	3,2	35	13,8	4,7	
0,75	3,9	40	13,8	7,3	
1,00	4,6	45	13,8	10,0	
1,25	5,3	50	13,8	12,8	
(300 kg poids vif)					
Entretien	3,2	41	23,2	0	
Croissance:					
0,25 kg/jour	3,9	50	23,2	3,7	
0,50	4,7	59	23,2	7,9	
0,75	5,4	68	23,2	12,2	
1,00	6,2	78	23,2	16,8	
1,25	6,9	86	23,2	21,4	
Ovins à l'engraissement(10 kg poids vif)					
Entretien	0,19	2,0	1,79	0	
Croissance:					
50 g/jour	0,32	2,7	1,79	0,63	
100	0,45	3,6	1,79	1,26	
150	0,58	4,5	1,79	1,89	
(30 kg poids vif)					
Entretien	0,42	4,7	4,09	0	
Croissance:					
50 g/jour	0,57	6,0	4,09	1,46	
100	0,71	7,4	4,09	2,89	
150	0,86	9,1	4,09	4,05	

Dès lors, que doit faire l'agriculteur pour nourrir le bétail pendant que les scientifiques procèdent à ces

mesures? En France, de nombreux agriculteurs continuent d'utiliser un système basé sur les protéines brutes digestibles, alors qu'en Grande-Bretagne, ils se basent sur les matières azotées totales de la ration, en plus d'informations sur la dégradabilité probable des protéines. Le tableau 13.2 illustre les besoins protéiques de diverses catégories d'animaux calculées en fonction des deux systèmes.

### Alimentation minérale

En général, les besoins en minéraux des animaux ne sont pas calculés avec autant de précision que les besoins en protéines et en énergie. On peut, par conséquent, les déterminer en termes de concentration globale dans la ration plutôt que sous la forme de besoins journaliers. Le tableau 13.3 reprend les valeurs-types de la concentration de minéraux dans les aliments. Ces chiffres concernent la totalité de la ration de l'animal, et pas uniquement ce que l'agriculteur lui apporte sous la forme de suppléments. Dans le calcul de la concentration totale en minéraux, il ne faut pas omettre de tenir compte de la quantité de minéraux contenue dans l'herbage ou les feuillages fourragers auxquels l'animal a également accès.

### Composition de la ration

En temps normal, l'agriculteur ne nourrit pas son bétail avec une certaine quantité de protéines, une certaine quantité d'énergie et une certaine quantité de minéraux. Il lui apporte des aliments dans la perspective qu'il en consommera à peu près une quantité adéquate. Dès que la concentration des divers ingrédients à apporter est déterminée, l'éleveur doit composer un mélange d'ingrédients qui fourniront tous les nutriments nécessaires dans les limites d'ingestibilité de l'animal. A titre d'exemple, les besoins protéiques d'un bouvillon en croissance (1 kg/jour) pesant 300 kg peuvent théoriquement être satisfaits s'il ingère 20 kg de paille de maïs. De tels calculs sont irréalistes, car il n'est pas possible de faire consommer à un animal une telle quantité d'aliments.

**Tableau 13.2** Quantité de protéines alimentaires (g/jour) recommandées par les systèmes britannique et français

Animal	Protéines brutes digestibles	Matières azotées totales	Dégradabilité
Vaches allaitantes (600 kg poids vif)			
Entretien	364	550	1,00
Production laitière:			
5 litres/jour	664	850	0,90
10	964	1137	0,86
15	1264	1423	0,84
20	1564	1707	0,82
25	1864	1991	0,80
30	2164	2273	0,79



<b>Bovins à l'engraissement (150 kg poids vif)</b>			
Entretien	129	205	1,00
<b>Croissance:</b>			
0,25 kg/jour	216	260	0,95
0,50	304	347	0,84
0,75	391	424	0,79
1,00	479	498	0,76
1,25	566	567	0,74
1,50	654	627	0,73
<b>(300 kg poids vif)</b>			
Entretien	216	340	1,00
<b>Croissance:</b>			
0,25 kg/jour	304	414	1,00
0,50	391	491	1,00
0,75	479	568	1,00
1,00	566	648	1,00
1,25	654	720	1,00
1,50	741	803	1,00
<b>Ovins à l'engraissement (10 kg poids vif)</b>			
Entretien	14		
<b>Croissance:</b>			
50 g/jour	29		

100	43		
150	58		
200	72		
250	86		
(30 kg poids vif)			
Entretien	32		
Croissance:			
50 g/jour	47		
100	62		
150	77		
200	92		
250	107		

**Tableau 13.3 Apports nécessaires de minéraux majeurs dans la ration**

<b>Animal</b>	<b>Calcium g/kg MS</b>	<b>Phosphore g/kg MS</b>	<b>Magnésium g/kg MS</b>
Vaches allaitantes			
(600 kg poids vif)			
Entretien	2,8	2,5	2,1
Production laitière:			
5 litres/jour	3,2	2,9	1,9
10	3,3	3,0	1,9
15	3,3	3,1	1,8
20	3,4	3,1	1,8

25	3,4	3,1	1,7
30	3,4	3,1	1,7
<b>Bovins à l'engraissement</b>			
<b>(150 kg poids vif)</b>			
Entretien	1,8	1,2	1,4
Croissance:			
0,50 kg/jour	4,8	2,6	1,5
1,00	6,0	3,0	1,3
<b>(300 kg poids vif)</b>			
Entretien	0,9	0,6	0,4
Croissance:			
0,50 kg/jour	2,1	1,2	0,5
1,00	3,3	1,8	0,6
<b>Ovins à l'engraissement</b>			
<b>(10 kg poids vif)</b>			
Entretien	0,5	0,5	0,7
Croissance:			
50 g/jour	3,7	2,1	1,2
100	6,6	3,5	1,6
150	11,5	5,1	2,1
<b>(30 kg poids vif)</b>			
Entretien	1,1	0,9	0,9
Croissance:			
50 g/jour	2,2	1,4	1,0
100	3,3	2,0	1,2

150	4,4	2,6	1,4

## Ingestion alimentaire

Les équations qui ont été élaborées dans plusieurs pays pour prévoir l'ingestion fourragère de différentes catégories d'animaux reposent principalement sur l'ingestion d'aliments disponibles dans les pays tempérés. Or, les fourrages tropicaux sont souvent ingérés en quantité beaucoup plus faible. Ces prévisions peuvent toutefois être utiles dans les pays tropicaux dont les cultures sont proches de celles des régions plus fraîches, par exemple dans les hauts plateaux d'Afrique voire au Moyen-Orient, dans les régions où toutes les cultures fourragères doivent être irriguées et sont alors récoltées à un stade de développement précoce.

L'ingestion se calcule généralement en termes de matière sèche ingérée; ce n'est que dans des cas extrêmes que la présence d'une grande proportion d'eau dans les aliments peut jouer un rôle important dans la quantité ingérée. Le tableau 13.4 mentionne quelques estimations concrètes des quantités susceptibles d'être consommées. Ces données ne sont pas précises et ne doivent être considérées que comme une «estimation grossière» de l'ingestion.

## Calcul de la composition de la ration

Pour calculer la composition de la ration au départ des besoins nutritifs de l'animal, il faut diviser la quantité nécessaire à l'animal par la quantité apportée par un kilo d'aliments. Par exemple, si une vache laitière a besoin d'un apport énergétique de 130 MJ/ jour et que ses aliments contiennent 10 MJ d'énergie métabolisable par kg, elle devra ingérer 13 kg par jour (en MS). Si elle ne peut consommer que 11 kg, l'agriculteur devra soit accroître la valeur énergétique de la ration, soit accepter une baisse de la production animale.

Souvent, plusieurs aliments doivent être combinés pour constituer la ration; l'agriculteur doit alors déterminer le mélange qui répond le mieux aux besoins de l'animal. Ce processus est appelé formulation de la ration.

La première démarche consiste à totaliser les besoins nutritifs de l'animal et à diviser ceux-ci par l'ingestion probable pour établir la composition de la ration. L'exemple au tableau 13.5 a été calculé selon le système français, mais il aurait tout aussi bien pu l'être selon les systèmes britannique ou américain.

Pour garder le même exemple, supposons que l'agriculteur dispose de deux aliments, de la farine de manioc et du Stylosanthes (légumineuse fourragère) mature. L'un possède une valeur énergétique élevée et une faible teneur en protéines et l'autre présente les propriétés inverses (tableau 13.6). Il faut trouver un moyen simple de calculer le mélange de ces deux aliments qui comblera les besoins de l'animal.

**Tableau 13.4 Ingestion probable de matière sèche (en pourcentage du poids corporel)**

Aliment	Bovins*	Ovins	Caprins
Jeunes graminées fraîches	2,2	2,8	3,3
Graminées mures	1,7	2,0	2,5
Paille de riz	2,1	2,4	3,1
Paille de maïs	1,7	1,7	2,8
Ration composée complète	3,3	4,1	4,1

\* Ces chiffres sont supérieurs dans le cas de vaches laitières à haut rendement.

### Tableau 13.5 Exemple de formulation de la ration

(Pour une vache laitière de 600 kg, produisant 15 litres de lait par jour; nous supposons qu'elle mange 3 kg d'aliments par 100 kg de poids vif, c'est-à-dire 18 kg d'aliments par jour.)

Nutriment	(1) Besoins journaliers	(2) Contenu d'1 kg d'aliments
Energie (en UFL)	11,8	0,66
Protéines (g protéines brutes digestibles)	1264	70

Les chiffres de la colonne (1) sont pris dans les tableaux 13.1 et 13.2. Ceux de la colonne (2) sont le résultat de la division de la colonne (1) par 18.

### Tableau 13.6 Composition des aliments à utiliser pour formuler une ration simple de vache laitière

Aliment	Protéines digestibles (g/kg)	Energie (UFL/kg)
Manioc	18	1,09
<i>Stylosanthes</i>	104	0,59

### Formulation d'une ration à une seule composante

Si l'on ne considère qu'un seul ingrédient de la ration, par exemple les protéines, on peut utiliser la méthode du carré. Prenons l'exemple de la figure 13.1 pour mieux décrire la méthode.

Le problème est de constituer une ration qui fournisse 70 g de protéines par kilo. Les ingrédients disponibles en contiennent soit 18 g/kg (manioc), soit 104 g/kg (*Stylosanthes*). La première étape revient à tracer un carré sur une feuille de papier. On inscrit alors la teneur en protéines des deux ingrédients dans les deux coins de gauche et le résultat souhaité, au centre du carré.



Figure 13.1. - Calcul du mélange d'ingrédients nécessaires pour composer une ration. Cette méthode n'est utilisable que si l'on ne considère qu'une seule composante de la ration (protéines ou énergie).

Le calcul des proportions du mélange ne comprend que deux étapes:

- 1) calculer la différence entre la teneur en protéines de l'ingrédient A et la teneur souhaitée. Dans notre exemple, il s'agit de la différence entre la valeur du manioc (18) et le résultat (70). On écrit le résultat (52) dans le coin *opposé*, à la même hauteur que le *second* ingrédient;
- 2) on calcule ensuite la différence entre la valeur de l'ingrédient B et le résultat souhaité. Dans notre exemple, il s'agit de la différence entre la valeur du *Stylosanthes* (104) et le résultat final (70). On écrit le résultat (34) dans le coin *opposé*, à la même hauteur que le *premier* ingrédient.

Ces résultats indiquent la proportion dans laquelle les ingrédients doivent être mélangés pour obtenir le résultat souhaité. Pour continuer avec notre exemple, nous devons mélanger 34 parts de manioc avec 52 parts de *Stylosanthes*. Ces parts peuvent être mesurées dans n'importe quelle unité. On peut mélanger 34 pelletées de manioc à 52 pelletées de *Stylosanthes*, le mélange contiendra toujours 70 g de protéines par kilo. A plus grande échelle, on peut vouloir produire une tonne de ce mélange; il faut alors augmenter les parts en proportion. Le mélange de 34 kg de manioc avec 52 kg de *Stylosanthes* donne 86 kg. Pour produire une tonne de ce mélange, il faut multiplier chaque chiffre par 1000 et le diviser par 86.

La quantité de manioc dans une tonne de mélange est donc:

$$34 \times 1000/86 = 395 \text{ kg (approx.)}$$

et la quantité de *Stylosanthes* est:

$$52 \times 1000/86 = 605 \text{ kg (approx.)}$$

### Calcul d'une ration à deux composantes

Le résultat du calcul d'une ration mixte est relativement différent selon qu'il est basé sur la teneur en protéines ou en énergie. Pour calculer la ration de manière plus précise, il faut utiliser une méthode qui puisse calculer les quantités de deux ingrédients nécessaires pour satisfaire deux mesures distinctes de la qualité de la ration. Le mélange peut être calculé assez simplement à l'aide d' **équations simultanées**, comme est censé le montrer l'exemple. Si M est le poids en kg du manioc et S. celui de *Stylosanthes*, on compose deux équations, l'une en termes de protéines et l'autre, en termes d'énergie (UFL) (voir tableaux 13.5 et 13.6).

### Apport énergétique

$$1,09 \times M + 0,59 \times S = 0,66 \dots (1)$$

énergie du manioc énergie du *Stylosanthes* énergie dans la ration

### Apport protéique

$$18 \times M + 104 \times S = 70 \dots$$

(2) protéines du manioc protéines du *Stylosanthes* protéines dans la ration

Si on multiplie l'équation (1) par 18/1,09, on obtient:

$$18/1,09 \times 1,09 \times M + 18/1,09 \times 0,59 \times S = 18/1,09 \times 0,66$$

$$\Rightarrow 18 \times M + 9,74 \times S = 10,90 \dots (3)$$

Si on soustrait l'équation (3) de la (2), on obtient:

$$18 \times M + 104 \times S = 70 \dots (2)$$

$$18 \times M + 9,74 \times S = 10,90 \dots (3)$$

$$\hline 94,26 \times S = 59,10$$

$$\text{Donc } S = 59,10/94,26 = 0,627 \text{ kg (approx.)}$$

Si on introduit la valeur de S (0,627) dans l'équation (2), on obtient:

$$18 \times M + 104 \times 0,627 = 70$$

$$\Rightarrow 18 \times M + 65,21 = 70$$

$$\text{Donc, } C = (70 - 65,21)/18 = 4,79/18 = 0,266 \text{ kg (approx.)}$$

Il faut remarquer que la somme des poids du manioc et du *Stylosanthes* est légèrement inférieure à 0,9 kg, c'est-à-dire qu'elle n'atteint pas un kilo. En d'autres termes, cette ration peut satisfaire les *besoins de l'animal par kilo d'aliments* avec moins d'un kilo d'aliments. Cela signifie qu'on peut être presque sûr que l'animal considéré dans l'exemple consommera suffisamment d'aliments.

Pour les buts recherchés, une telle ration n'est probablement pas la plus économique. Si la farine de manioc est très chère, nous avons probablement intérêt à produire une ration qui en contienne le moins possible. Le manioc est très pauvre en protéines, mais contient beaucoup d'énergie; une ration pauvre en manioc serait donc plus riche en protéines et pauvre en énergie. Si l'on suppose que la quantité de manioc est aussi réduite

que possible et que celle de *Stylosanthes* est la plus élevée possible, le total des deux doit être équivalent à 1 (la totalité de la ration). Pour mettre ce qui précède en équation:

$$M + S = 1$$

Si l'on combine l'équation ci-dessus avec l'équation (1) (énergie), on obtient un mélange qui contient 0,14 kg de manioc et 0,86 kg de *Stylosanthes*. La valeur énergétique de la ration sera exactement de 0,66 UFL/kg, mais la teneur en protéines sera de 92 g/kg, soit bien plus que les 70 nécessaires. Si le *Stylosanthes* était la composante la plus coûteuse, on composerait une ration en fixant exactement la quantité de protéines à 70 g/kg, mais la teneur en énergie serait supérieure aux 0,66 UFL/kg nécessaires.

### Rations à ingrédients et composantes multiples

Dans les exemples précités, nous nous sommes limités à la teneur en protéines et en énergie de deux ingrédients. Les calculs deviennent infiniment plus compliqués et plus longs si l'on prend en considération davantage d'ingrédients et de nutriments, par exemple le calcium et le phosphore. Dans les élevages intensifs à grande échelle, il vaut la peine d'envisager de recourir à des techniques spéciales informatisées, telles que la **formulation de la ration au moindre coût**. Ces méthodes font appel à un outil mathématique, appelé **programmation linéaire**, qui est relativement long s'il est appliqué à la main et ne devient réalisable que grâce à l'ordinateur. Or, on utilise de plus en plus fréquemment des microordinateurs puissants dans les exploitations, même dans les pays en développement; il n'est donc pas utopique d'envisager de les utiliser de manière régulière pour la formulation des rations alimentaires.

### Informations complémentaires

Les ouvrages suivants apportent des descriptions plus détaillées de la composition des aliments et des besoins nutritifs des animaux élevés dans des conditions *tempérées*.

1) Pour le système français:

Jarrige, R. (éditeur), *Alimentation des ruminants; Apports recommandés et tables de valeurs nutritives* (John Libbey, Eurotext, Londres et Paris)

2) Pour le système britannique:

Agricultural Research Council, *The Nutrient Requirements of Ruminant Lifestock* (CAR International, Royaume-Uni, 1980)

3) Pour le système américain:

L'American National Academy of Sciences a publié une série d'ouvrages sur les besoins nutritifs du bétail, notamment sur les bœufs de boucherie, les vaches laitières, les ovins et les caprins

4) Composition des aliments:

Ministère britannique de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, *UK Tables of Feed Composition and Nutritive Value for Ruminants* (Calcombe Publications, Londres)

De plus amples informations sur la composition des aliments *tropicaux* sont disponibles d'une part dans les publications individuelles de l'INFIC (International Network of Food Information Centres) qui relèvent de votre région en particulier. Des détails sur ces publications peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

INFIC, International Feedstuffs Institute, Utah Agricultural Experiment Station, Utah State University, Logan, Utah 84322, USA, et d'autre part au CERADEMUT, 10 rue Pierre-Curie, 94704 Maisons-Alfort, France

## XIV. Planning de la nutrition

### Démarche de l'étude

En élevage commercial, la démarche habituelle pour formuler les rations consiste à compter le nombre d'animaux et à déterminer le niveau de production souhaité. Ces chiffres sont ensuite utilisés pour déterminer la quantité et le type d'aliments qui donneront les résultats attendus. Il reste alors à l'agriculteur à cultiver les aliments en question ou à les acheter auprès d'un distributeur. Dans quelques cas, cette méthode est utilisée en agriculture tropicale, par exemple, dans de grandes unités de production laitière qui approvisionnent le marché d'une ville voisine. Pour l'agriculteur des pays chauds, cette approche n'est souvent pas réalisable, car il n'a en général pas la possibilité d'obtenir les fonds nécessaires pour financer la culture des aliments ou leur achat auprès d'un marchand. Dans tous les cas, il dispose rarement des terres suffisantes pour assurer à la fois la subsistance de sa famille et les besoins supplémentaires de son cheptel. Si aucun apport financier n'est possible, le nutritionniste doit adopter la démarche inverse, c'est-à-dire déterminer les ressources disponibles et le niveau de production qu'elles autorisent. L'étape suivante consiste à voir si de légers changements (par exemple, ceux d'un coût faible ou nul) ont un impact sur la production animale.

### Actif du bilan nutritif

La première étape de cette procédure est relativement proche de la démarche comptable. Le nutritionniste doit établir une liste, sous la forme d'un bilan, de toutes les ressources disponibles pour l'agriculteur.

L'«actif» comprend:

- le volume d'herbage (grossier ou amélioré);
- le volume de feuillage fourrager qui serait disponible dans l'année;
- la quantité de cultures et de dérivés des cultures produits annuellement;
- la quantité de déchets ménagers consommables par les animaux;
- la quantité de déchets animaux consommables par le bétail, par exemple, le fumier de volaille.

Comme l'argent est la monnaie utilisée dans le bilan comptable, il faut ici une mesure applicable à tous les aliments. La plus appropriée est sans doute l'unité d'énergie, qu'il s'agisse du MJ d'énergie métabolisable ou l'UFL.

L'agriculteur n'a aucune certitude quant à la quantité d'herbage dont il disposera durant l'année en question et il ne peut qu'estimer le rendement probable des cultures et de leurs sous-produits. La deuxième étape consiste donc à estimer, d'une manière ou d'une autre, la composition probable des aliments. Les petits agriculteurs ne peuvent faire procéder à une analyse de chacun des matériaux qu'ils apportent au bétail. En tout état de cause, cette approche exige de connaître la composition des aliments avant que ceux-ci ne soient produits. En d'autres termes, la meilleure chose à faire est d'utiliser les valeurs «théoriques» reprises dans l'un des compendiums des tables de valeur nutritive telles que ceux de l'INFIC (cf. fin du chapitre 13). Ceux-ci comportent, sous la forme de tableaux, une série de mesures de l'énergie fournie par diverses sources. Le rendement des cultures individuelles peut être estimé en partant des chiffres de rendement de l'année précédente dans la même exploitation, ou dans des exploitations similaires situées dans les environs. Dans le cas de sous-produits tels que la paille de maïs, on peut procéder à une première estimation de la quantité en supposant que la production de sous-produits est identique à celle de grains. C'est probablement la meilleure supposition possible, car le rapport sous-produit/volume récolté varie considérablement d'une année à l'autre et d'une variété à l'autre (Au cours des années de sécheresse, il arrive, par exemple, que le maïs produise des tiges et des feuilles, mais pas de grains.) Le rendement annuel de MS des graminées fourragères varie entre une tonne par hectare pour les pâturages non améliorés et 4 ou 5 tonnes par hectare pour les pâtures semées. Les champs de graminées gérés intensivement, fortement fertilisés et irrigués produisent des rendements de MS parfois supérieurs à 30 tonnes par hectare.



En additionnant l'énergie apportée par diverses sources, on obtient la quantité totale annuelle d'énergie disponible dans l'exploitation (cf. l'exemple du tableau 141)

## Passif du bilan nutritif

De la totalité de l'actif calculé plus haut, une partie de l'énergie, le «passif», devra être soustraite pour servir à d'autres usages Citons quelques exemples:

- le foin de graminées sert également à recouvrir les toitures;
- les grains de maïs gaspillés au cours du stockage sont consommés tant par la volaille que par les ruminants;
- dans les régions où vit une faune sauvage très riche, une grande partie des pâtures peut être consommées par des ruminants qui n'appartiennent pas à l'agriculteur et qui sont capables de sauter par-dessus les clôtures (bouc) ou de les démolir (éléphant);
- une partie du fumier de volaille est utilisable comme fertilisant dans le potager familial

Enfin, on soustrait le passif de l'actif du bilan pour obtenir la quantité d'énergie utilisable par le bétail (114456 MJ - 4914 MJ = 109542 MJ dans notre exemple). Il est certain que ce résultat est forcément imprécis, étant donné qu'il est le produit d'une série de suppositions (volume des récoltes) par une estimation (composition des cultures), dont sont finalement déduites une autre série de suppositions Dans les milieux financiers, on parle de «comptabilité hypothétique» lorsque de telles procédures sont adoptées. Toutefois, si incertain qu'il soit, ce résultat est probablement le meilleur indicateur que l'on peut obtenir

**Tableau 14.1 Estimation de la quantité d'énergie métabolisable disponible annuellement dans une exploitation**

Culture ou sous-produit	(A) Superficie (ha)	(B) Rendement supposé (kg/ha MS)	(C) Quantité d'aliments disponibles (A x B) (kg MS)	(D) EM moyenne supposée (MJ d'EM/kg MS)	(E Energie) disponible (C x D) (MJ)
Herbage non amélioré	2,2	4100	9020	8,2	73964
Paille de maïs	1	3000	3000	8,5	23500
Maïs gaspillé (10 %)	1	300	300	13,0	3900
Paille de soja	0,2	1500	300	6,5	1950
Germes gaspillés (10 %)	0,2	150	30	16,4	492
Fumier de volaille	-	-	1000	7,5	7500
Déchets de légumes	0,1	250	25	10,0	250
Aliments ménagers	-	-	100	9,0	900
Total de l'énergie alimentaire disponible annuellement =					114456 MJ

**Tableau 14.2 Quantité d'énergie alimentaire détournée vers d'autres usages**

Culture ou sous-produit	Usage alternatif	(A) Quantité utilisée (kg)	(B) EM moyenne supposée (MJ d'EM/kg MS)	(C) Energie utilisée à d'autres fins (A x B) (MJ)
Herbage non amélioré	Couverture de toitures	400	8,2	3280
Maïs gaspillé (10 %)	Aliment pour volaille	40	13,0	520
Germes gaspillés (10 %)	Aliment pour volaille (cuits)	10	16,4	164
Fumier de volaille	Fertilisant	100	7,5	750
Déchets de légumes	Aliment pour volaille	20	10,0	200
	Total d'énergie détournée vers d'autres usages =			4914 MJ

## La colonne dépenses du bilan

Le nutritionniste doit ensuite étudier le niveau de production que l'agriculteur souhaitait, par le passé, obtenir de son cheptel. Dans les régions où les agriculteurs ne tiennent généralement aucune comptabilité précise, il peut devoir faire appel à son propre jugement pour ramener à la réalité les espoirs de production des années précédentes. De nombreux agriculteurs ont tendance à ignorer les problèmes rencontrés par le passé et à surestimer la productivité du bétail.

Le calcul des besoins énergétiques journaliers pour chaque catégorie de bétail pendant l'année est une tâche ardue. Si l'équipement le permet, éventuellement dans un centre de vulgarisation agricole régional, ce travail peut être grandement facilité par l'utilisation d'un programme de type **tableur** sur microordinateur ou même sur une calculatrice électronique manuelle sophistiquée. La somme de tous les besoins énergétiques doit s'approcher du total d'énergie disponible dans l'exploitation. Le tableau 14.3 indique les besoins énergétiques d'un échantillon représentatif d'animaux. Ces chiffres peuvent paraître de loin supérieurs à ce que l'agriculteur pourrait imaginer.

## La quantité d'aliments est-elle suffisante par rapport aux besoins?

La comparaison des quantités d'énergie nécessaires et celles considérées comme étant disponibles donne à l'agriculteur une idée de la faisabilité globale des plans. Si la quantité de nourriture est insuffisante, l'agriculteur doit soit en apporter davantage, soit (ce qui est plus probable) réduire l'échelle de ses plans relatifs à la production animale.

## Les plans de l'agriculteur sont-ils réalisables?

Une fois qu'il est établi que la quantité d'aliments sera probablement suffisante pour nourrir le bétail pendant l'année, le nutritionniste doit convaincre l'agriculteur d'étudier attentivement l'année agricole dans son ensemble. La plupart des zones climatiques connaissent des périodes pendant lesquelles la nourriture est rare et d'autres où elle est abondante. Il est inutile de supposer que les aliments sont disponibles en permanence, tout au long de l'année. Ils doivent être apportés au bétail jour par jour, si bien qu'il faudrait théoriquement calculer une estimation journalière des besoins et la comparer avec la quantité disponible. À l'évidence, ceci n'est pas réalisable et il peut être plus sensé de diviser l'année en périodes d'un ou même de deux mois et de réaliser une étude séparée pour chacune d'entre elles.

Une insuffisance des ressources alimentaires durant certains mois de l'année et un excédent durant d'autres mois sont des situations presque inévitables. Il faut dès lors choisir entre deux options, bien qu'une combinaison des deux soit parfois possible:

- soit on laisse les animaux dans un état de sous-alimentation temporaire; ils ne peuvent se

développer ou produire du lait à un niveau acceptable et peuvent même perdre du poids et de la condition. On suppose qu'une fois que la nourriture sera à nouveau disponible, les animaux en consommeront davantage et grandiront à un rythme rapide ou, le cas échéant, produiront de grandes quantités de lait;

- soit on uniformise l'apport alimentaire sur l'année par une politique de conservation Il suffit par exemple de réserver une parcelle de pâturage pendant la saison d'abondance pour en faire du fourrage pour la saison sèche. L'agriculteur peut également conserver les cultures en préparant du foin ou, plus rarement, du silage.

## Equilibrage du bilan

L'énergie n'est qu'un des facteurs qui entrent en compte dans le planning de la nutrition animale. Il est fort possible que des animaux qui se nourrissent d'un herbage pauvre soient incapables d'utiliser un apport abondant d'énergie, car celui-ci ne leur convient pas. C'est notamment le cas lorsque la libération de l'énergie contenue dans la ration est si lente qu'elle entrave le fonctionnement du rumen Il faut donc une source d'énergie rapidement libérée. La situation est identique dans le cas de l'apport de protéines.

**Tableau 14.3 Estimation des besoins énergétiques du bétail**

<b>1) Vache laitière</b> Vache de 450 kg produisant du lait pendant 44 semaines; gestante à partir de la 13 <sup>e</sup> semaine de lactation. Les chiffres supposent une perte pondérale de 0,5 kg/jour en début de lactation et un gain de 0,25 kg/jour ensuite.			
Production maximale de lait par jour (litres)	Production totale pendant la lactation (litres)	Besoins énergétiques annuels (MJ d'EM)	Besoins annuels de MS (tonnes)
5	1030	26500	2,95
10	2080	32300	3,6
15	3120	38100	4,25
<b>2) Bovins à l'engraissement</b>			
Prenant 0,25 kg/jour			
Poids de départ (kg)	Poids final (kg)	Besoins énergétiques annuels (MJ d'EM)	Besoins annuels de MS (tonnes)
100	191	10500	1,16
200	291	14200	1,58
300	391	18000	2,00
Prenant 0,5 kg/jour			
Poids de départ (kg)	Poids final (kg)	Besoins énergétiques annuels (MJ d'EM)	Besoins annuels de MS (tonnes)
100	282	15600	1,73
200	382	20200	2,24
300	391	24700	2,75
<b>3) Bœufs de trait à l'entretien</b>			
	Poids (kg) annuels	Besoins énergétiques (MJ d'EM)	Besoins annuels de MS (tonnes)
	400	16800	1,87
	450	18500	2,05
<b>4) Ovins</b>			

Agneaux en croissance d'un poids initial de 10 kg; les besoins sont donnés pour un poids à l'abattage de 28 à 30 kg.

Rythme de croissance(kg/jour)	Semaines avant l'abattage	Total des besoins énergétiques(MJ d'EM)	Total des besoins de MS (kg)
0,05	>52	1800	200
0,10	29	1320	150
0,15	19	1050	105

Entretien du cheptel reproducteur

	Besoins énergétiques annuels (MJ d'EM)	Besoins annuels de MS (kg)	
Mâle (45 kg)	2700	300	
Femelle (35 kg)	2200	240	

### Apport de protéines

Des bilans peuvent être tracés de la même manière pour les protéines que pour l'énergie. Une fois encore, il faut tenir compte des quantités utilisées à d'autres fins et de celles nécessaires à d'autres catégories de bétail. Une attention particulière doit être accordée à l'apport de protéines au cours des périodes difficiles de l'année, par exemple en fin de saison sèche.

Si l'étude révèle une carence globale de protéines dans l'exploitation, l'agriculteur est confronté au même choix que pour l'énergie. Soit il adapte le nombre d'animaux et leur niveau de production aux ressources dont il dispose, soit il recherche d'autres sources de protéines. Cette dernière démarche peut l'inciter à modifier le type de pâturage ou à davantage utiliser des espèces cultivées ou indigènes d'arbres ou d'arbustes légumineux.

### Réaction

L'agriculture, et en particulier l'élevage des ruminants, est un travail de longue haleine. Pour citer un exemple, l'intervalle entre la naissance d'un veau femelle et celle de son premier veau varie entre deux années, dans des conditions intensives très favorables, et cinq années, dans des conditions d'élevage en pâturages pauvres. La mise en application des procédures de l'étude d'une année dans la nutrition animale n'est donc que le premier pas d'un processus à long terme, mais elles ne sont pas un outil extrêmement précis de calcul de la ration des animaux. Il ne s'agit en réalité que de suppositions basées sur des calculs mathématiques compliqués. L'avantage des suppositions est qu'on peut les corriger à la lumière de l'expérience. La comparaison du comportement réel des animaux avec les prédictions au cours de la première année de planning de la nutrition doit donner une idée de l'exactitude des suppositions établies. Il est essentiel pour le nutritionniste de connaître la **réaction** de l'agriculteur face à l'évolution du comportement des animaux. S'il existe une grande différence entre les performances attendues et les performances réelles, le nutritionniste doit en isoler les causes nutritives dans l'exploitation. Une fois que celles-ci sont identifiées, c'est à l'agriculteur de reconnaître soit qu'il a été trop ambitieux, soit qu'il doit y remédier.

Si des changements ont été opérés du côté de l'actif, du passif ou des dépenses, l'agriculteur doit pouvoir vérifier, l'année suivante, si les prédictions sont plus proches de la réalité. Ainsi, par un contrôle étroit de l'exploitation, il est possible de déboucher sur des politiques nutritives plus exactes.

### Ressources nécessaires à l'étude

Le temps et les efforts que le nutritionniste doit consacrer à la réalisation d'une étude sur la nutrition sont énormes. Il est donc impensable d'envisager une étude complète de chaque exploitation d'une région d'agriculture à petite échelle. Mais le spécialiste peut, éventuellement au nom du bureau régional de

vulgarisation, prendre une ou deux exploitations comme exemples de la production de toutes les autres et ensuite donner des conseils avisés aux agriculteurs voisins.

## **Alimentation en cas de sécheresse**

De temps à autre, dans bon nombre de régions tropicales, la pluviosité annuelle ne répond pas aux attentes et le volume d'aliments disponibles pour les animaux chute bien en dessous des niveaux escomptés. Dans ces circonstances, l'agriculteur peut avoir à changer radicalement ses plans. Dans le cas d'une carence alimentaire grave, l'objectif n'est plus de stimuler la production animale, mais de veiller à ce qu'au moins une partie du cheptel puisse survivre jusqu'à ce que les aliments soient à nouveau disponibles grâce à l'arrivée des nouvelles pluies. Dans ce cas, il faut planifier la nutrition de manière à ce qu'elle apporte assez d'aliments pour satisfaire 70 à 75 % des besoins normaux d'entretien. S'il craint de ne pas pouvoir fournir cette quantité d'aliments, l'agriculteur devra prendre la décision difficile de réduire, éventuellement par l'abattage, le nombre d'animaux à nourrir.

L'expérience a prouvé dans de nombreuses régions du monde que cette démarche est susceptible de permettre la survie en fin de compte d'un plus grand nombre de bêtes que si l'on attend simplement une amélioration de la situation.

## **Annexe 1. Contrôle de l'efficacité des stratégies alimentaires**

*«The proof of the pudding is in the eating» - proverbe anglais*

### **Indicateurs d'une alimentation adéquate**

La nutrition des animaux d'élevage est en général une science imprécise. Certains facteurs continuent d'échapper au contrôle des agriculteurs et le surprennent régulièrement. Même s'il applique un «système d'alimentation» pour calculer la ration du bétail, il doit, en permanence, vérifier si les animaux se comportent comme prévu. Les animaux élevés dans des conditions extensives doivent eux aussi être surveillés de près. En quoi consiste cette surveillance? Elle dépend essentiellement du type de production soutenue par l'agriculteur. Si l'activité principale est la production de viande de boucherie, l'agriculteur devra veiller à ce que les bœufs grandissent effectivement. S'il s'agit d'animaux adultes élevés pour le travail dans les champs, il doit surveiller leur condition.

### **Etat de l'animal**

Qu'entend-on par l'état d'un animal? A première vue, le problème peut paraître simple; quiconque a travaillé avec des animaux pendant un certain temps peut reconnaître un animal en bonne santé d'un autre qui ne l'est pas. La difficulté consiste à procéder à une évaluation suffisamment nuancée pour que l'agriculteur puisse constater si l'état d'un animal évolue favorablement ou défavorablement d'une semaine à l'autre.

### **Pesage des animaux**

Le premier indice de l'état de l'animal est le poids corporel. On pense immédiatement au pesage régulier de tous les animaux, par exemple, toutes les semaines ou toutes les deux semaines. Mais c'est plus facile à dire qu'à faire, en particulier chez les bovins. Le coût d'une bascule équivaut probablement à plusieurs revenus annuels d'un petit agriculteur des régions tropicales. Les ovins et les caprins peuvent être pesés plus simplement à l'aide d'un peson à ressort en suspendant l'animal dans un sac. Même ainsi, la procédure est très longue et implique qu'il faut amener le troupeau entier en un endroit où l'on peut suspendre le sac. Un moyen plus simple d'évaluer le poids est d'utiliser un mètre ruban pour évaluer la circonférence de la poitrine de l'animal approximativement à hauteur du cœur ( **tour de taille** ). Malheureusement, cette méthode n'est pas probante chez les individus qui perdent du poids.

### **Evaluation de l'état**

De très bons résultats ont été obtenus à l'aide de systèmes d'évaluation permettant d'attribuer une **note** d'état.

à l'animal Selon ces méthodes, l'examineur tâte les parties charnues de la queue et du dos et attribue une note en conséquence Pour les bovins, deux échelles sont utilisées, dont la première avait été conçue pour les bovins européens et va de 1 (maigre) à 5 (très gras). Un système distinct est appliqué aux bovins de type *bos indicus* et utilise des notes de 1 à 9. Les animaux correspondant à la note 1 sont d'une maigreur extrême alors que ceux recevant la note 9 sont extrêmement gras Des systèmes d'évaluation ont également été conçus pour les caprins et les ovins.

La surveillance des vaches laitières semble, a priori, plus aisée, car il est relativement facile d'évaluer la production journalière de lait. En réalité, le problème est plus compliqué, puisqu'il faut également contrôler les variations de poids et d'état pour s'assurer qu'elles ne perdent pas trop de poids, ni ne deviennent trop grasses. Les points de maniement sont illustrés sur la figure A1.1.



Fig. A1.1. - Maniements utilisés pour évaluer l'état des bovins.

## Description des notes d'état pour les bovins

### A. Echelle européenne à cinq points

Note

**1** La colonne vertébrale (apophyses dorsales) est proéminente. Les apophyses transverses sont pointues et on ne décèle aucune couverture adipeuse

**2** On peut sentir les apophyses transverses avec le pouce, mais elles sont arrondies et recouvertes d'une mince couche de graisse

**3** On ne distingue les apophyses transverses que sous une forte pression avec le pouce

**4** On ne sent plus les apophyses transverses, même sous une forte pression

**5** On ne peut distinguer les apophyses transverses qui sont manifestement recouvertes d'une couche très épaisse de tissu adipeux.

### B. Système ILCA <sup>1</sup> à neuf points (utilisé pour les bovidés de type *bos indicus* )

<sup>1</sup>Centre International Pour l'Elevage en Afrique (CIPEA)

Note

**1** L'animal est très maigre.

**2** La colonne vertébrale (apophyses dorsales) est proéminente. Les apophyses transverses sont pointues et on ne décèle aucun tissu adipeux (1)<sup>2</sup>

**3** Les apophyses dorsales apparaissent pointues Les flancs, les abords, la base de la queue et les côtes sont proéminentes. Les apophyses transverses sont visibles, en général de manière distincte.

**4** Les côtes, les flancs et les abords sont clairement apparents La masse musculaire située entre les flancs et les abords est légèrement concave. La quantité de chair qui recouvre les apophyses transverses est légèrement supérieure à celle du 3.(2)

**5** Les côtes sont généralement apparentes; la couverture adipeuse est mince et les apophyses

dorsales, à peine apparentes.

**6** Le corps est arrondi et bien couvert; les apophyses dorsales sont invisibles mais apparaissent facilement au toucher (3)

**7** Le corps est arrondi et bien couvert, mais les amas graisseux ne sont pas marqués Les apophyses dorsales apparaissent sous une pression ferme, mais semblent arrondies plutôt que pointues

**8** Les amas graisseux apparaissent facilement aux endroits critiques; les apophyses transverses n'apparaissent ni à la vue, ni au toucher (4)

**9** D'importants amas graisseux sont clairement visibles sur la base de la queue, le fanon et le ventre; les apophyses dorsales, les côtes, les flancs et les abords sont complètement recouverts et ne peuvent être sentis, même sous une forte pression.(5)

<sup>2</sup> Equivalents approximatifs dans le système européen.

## **Production laitière**

Mesurer la production de lait peut paraître chose aisée; elle l'est effectivement dans de nombreuses exploitations. Il suffit au trayeur d'enregistrer la quantité de lait qu'il trouve dans le seau Cette quantité peut être mesurée dans une unité internationale, telle que le litre, le kg, ou dans une unité locale, par exemple, le nombre de bouteilles qui sont remplies chaque jour L'évaluation de la production totale de lait peut être beaucoup plus difficile si on laisse un veau téter pendant une partie de la journée. Dans ce cas, la production de lait se mesure d'une part, par celle du liquide et d'autre part, par la croissance du veau

## **Enregistrement de données**

C'est une perte de temps que de surveiller le comportement des animaux sans enregistrer de données. Il est conseillé à l'agriculteur, dans la mesure du possible, de prendre des notes sur l'état des animaux, de manière à ce qu'il puisse se référer à des informations précises plutôt qu'à une vague idée (souvent optimiste) du comportement antérieur du bétail Il doit également mettre au point un système d'identification des animaux, ce qui pose rarement problème dans les petites exploitations, mais qui peut se révéler très compliqué dans les grandes unités. Il est également conseillé à l'agriculteur d'inclure dans ses notes ses estimations sur la consommation du bétail. S'il le fait pendant un certain temps, il pourra dégager la relation entre l'alimentation et l'état de l'animal Le but du présent ouvrage n'est pas de donner une description complète des méthodes d'enregistrement de données, mais il faut savoir qu'il existe des techniques adaptables à tous les cas, allant de la simple méthode du «livre d'exercice» aux systèmes complexes de stockage de données informatiques

## **Annexe 2. Evaluation de la qualité des aliments**

Du point de vue chimique, les substances utilisées dans l'alimentation animale sont un mélange très complexe. Il serait presque impossible d'analyser tous les constituants chimiques purs qu'ils contiennent Heureusement, tant de détails ne sont pas nécessaires; il suffit d'une estimation de leur utilité probable pour l'animal s'ils sont incorporés à la ration Nous qualifions souvent ces méthodes d'«empiriques», c'est-à-dire qu'elles se basent sur l'observation et l'expérience plutôt que sur la théorie, mais qu'elles ont été vérifiées dans la pratique

Les méthodes utilisées ont été testées et éprouvées dans la plupart des pays et sont reconnues dans le secteur de la production alimentaire Elles ont été «standardisées» de manière à ce que les résultats obtenus dans tel laboratoire soient le plus possible similaires à ceux de tel autre Dans bon nombre de pays, les méthodes à utiliser sont définies par la loi afin de protéger l'agriculteur et de lui assurer que la société qui lui fournit les aliments utilise des méthodes d'analyse honnêtes.

Un système a été mis au point en Amérique et en Allemagne il y a quelque 100 à 150 ans pour analyser les produits agricoles, et des méthodes similaires sont toujours d'application à l'heure actuelle. Le système consiste d'abord à mesurer le degré d'humidité de l'ingrédient. Ensuite, on analyse la teneur en fibres, en lipides (graisses), en protéines et en cendres de l'aliment séché, déshydraté. Ensemble, ces substances représentent moins de 100 % de la matière sèche de l'aliment; le reste, calculé par soustraction, est appelé l'**extractif non azoté** (ENA). Par le passé, des améliorations considérables ont été apportées aux méthodes initiales, mais parce qu'elles ont été définies par la loi dans de nombreux pays, ces changements ont été minimes.

La majorité des méthodes de laboratoire sont relativement simples et ne demandent pas un matériel important ni sophistiqué. Toutefois, malgré leur simplicité, il faut être extrêmement prudent pour que les résultats soient précis et puissent être reproduits. C'est surtout nécessaire dans le cas de méthodes qui font appel à une balance pour un pesage précis (en particulier pour la mesure de la teneur en fibres)

## Echantillonnage

Les échantillons d'aliments pour animaux qui sont soumis aux laboratoires sont souvent constitués par un tas de grains ou de tiges séparés. Si l'on soumet isolément à l'analyse un de ces constituants, il n'est pas certain que les valeurs obtenues seront similaires à celles fournies par les autres grains ou tiges. Imaginons un instant un tas de foin; certaines tiges proviennent de jeunes graminées fraîches et d'autres, de vieilles tiges grossières. L'animal qui consomme le foin ingère probablement un mélange de matériaux jeunes et vieux, si bien que les résultats de l'analyse n'auront de sens que s'ils donnent la valeur d'un mélange de ces matériaux.

La première étape dans toute procédure d'analyse consiste à s'assurer que l'échantillon envoyé en laboratoire est représentatif du lot d'aliments. Par conséquent, l'échantillon fourni doit être aussi important que possible et doit être prélevé à plusieurs endroits de la meule. A titre indicatif, les laboratoires demandent généralement un échantillon d'au moins un kilo. Au cours de l'analyse, seulement un cinquième sera utilisé et le reste sera finalement jeté. Mais le gaspillage n'est pas aussi important qu'il peut paraître, car un échantillon plus réduit aurait beaucoup moins de chances d'être représentatif de la qualité de l'ensemble du lot. En outre, même si les erreurs de laboratoire sont censées être rares, des problèmes peuvent se poser et certaines analyses doivent par fois être répétées. Si dès le départ, un échantillon important a été fourni, il en reste suffisamment pour que les techniciens puissent recommencer l'analyse sans devoir retourner à l'exploitation.

Il existe principalement deux méthodes de prélèvement des échantillons; la première consiste simplement à enfoncer la main dans une meule et à prélever une poignée du matériau. Des échantillons de ce type sont généralement puisés près de la surface du tas. La seconde méthode fait appel à un outil constitué d'une lame fixée au bout d'un long bâton. La lame est introduite jusqu'au centre du tas et prélève un échantillon dans cette partie. Les échantillons récoltés de cette manière sont souvent plus représentatifs de la composition de la meule.

## Mesure de la teneur en matière sèche

La plupart des aliments pour animaux contiennent une part d'eau; dans un échantillon de grain séché, elle peut ne représenter que 10 % du poids des matériaux stockés (généralement appelé **poids à l'état frais**). Les jeunes herbes fraîches, à l'inverse, contiennent 90 % de leur poids en eau. Il n'est donc pas étonnant qu'une des premières mesures à effectuer sur un aliment soit celle de la teneur en eau. Dans la plupart des cas, celle-ci est mesurée en pesant l'échantillon de matériau frais ( $P_1$ ) avant de le placer pendant 24 heures dans un four chauffé à 105°C. Par ce processus, l'eau contenue dans l'aliment s'évapore et il ne reste que la **matière sèche**. L'échantillon est ensuite à nouveau pesé pour obtenir le poids de la matière sèche ( $P_2$ ). Le degré d'humidité est la différence entre le premier et le deuxième poids. La matière sèche est souvent exprimée en pourcentage du poids vif ( $P_2/P_1$ ). Si le poids à sec est exprimé en grammes et le poids à l'état frais en kg, les unités seront des g/kg, qui sont fréquemment utilisés dans le secteur de l'alimentation animale.



## Broyage des échantillons

Une fois le mélange séché, il est transformé en poudre pour que de plus petits échantillons (sous-échantillons) en soient prélevés.

Pour ce faire, l'échantillon doit souvent être passé au moulin. Pour des échantillons menus de matériau facile à moudre, un petit appareil tel qu'un moulin à café peut suffire; pour des échantillons plus grands d'aliments grossiers, il faut utiliser des moulins spéciaux. Il est important que le broyage se fasse après la mesure de la matière sèche, car cette opération génère de la chaleur qui ferait évaporer une quantité d'eau impossible à mesurer.

## Mesure de la teneur en fibres

### 1. Fibres brutes

Les fibres contenues dans les aliments sont en grande partie non digestibles par les monogastriques, mais elles sont largement utilisées par les ruminants. Elles proviennent pour la plupart des parois cellulaires végétales et sont formées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. Il a été établi depuis de nombreuses années que la fraction fibreuse joue un rôle important dans la valeur nutritive des aliments. Etant donné qu'on ne peut mesurer chacun des constituants séparément, on a essayé de mesurer la teneur totale en fibres. La méthode initiale est de conception assez simple et consiste à mesurer la quantité de fibres qui subsistent après élimination de tous les constituants solubles. Les lipides sont les premiers à être extraits par l'éther de pétrole. On extrait ensuite tous les matériaux solubles acides par hydrolyse dans une solution d'acide sulphurique en ébullition. Les alcalis solubles sont ensuite dissous dans de l'hydroxyde de sodium en ébullition. Les résidus insolubles, appelés fibres brutes, sont alors séchés et pesés.

Les fibres brutes sont un bon indicateur de la teneur en fibres d'un échantillon. Chez les *non ruminants*, cette fraction a très peu de valeur et les fibres brutes donnent ainsi une bonne indication de la proportion des aliments qui n'est pas utilisée par l'organisme. C'est particulièrement utile pour les aliments de qualité relativement élevée telle que les grains ou les tourteaux d'oléagineux (par exemple, le tourteau de soja)

### 2. Détergent fibres

La ration des ruminants contient en général une grande part d'herbages fibreux tels que du foin. Les ruminants sont capables de digérer les fibres, à l'exception de certaines d'entre elles. Celles qui sont digérées, le sont à un rythme très variable. Les fibres brutes ne sont pas un bon critère prédictif de l'utilité des herbages pour les ruminants.

Un travail considérable a été accompli dans les années 60, principalement par Van Soest et ses collègues en Amérique, pour mettre au point un système de mesure de la teneur en fibres qui donne des valeurs reflétant plus précisément la qualité d'un aliment pour les ruminants. Cette méthode consiste à placer l'échantillon en ébullition dans une solution de détergent très puissant, du CTAB (Cétyl-Triméthyl Ammonium Bromure) qui solubilise tous les composés des cellules végétales à l'exception des constituants pariétaux. Le résidu obtenu est appelé détergent fibre (lignocellulose) et chimiquement, il est essentiellement composé de complexes de lignine et de cellulose. En général, un aliment ayant une proportion élevée de lignocellulose contient peu d'énergie digestible.

## Mesure de la teneur en protéines

Il est extrêmement difficile et coûteux de mesurer la totalité des acides protéiques particuliers présents dans un aliment. Plus utile est la valeur qui représente la teneur totale en protéines de l'échantillon. Le seul dénominateur commun de toutes les protéines est leur concentration relativement constante en azote (près de 16 %). On peut donc avoir une indication de la teneur en protéines en mesurant la quantité d'azote contenue dans l'aliment et en la divisant par 0,16 (ou en la multipliant par 6,25).

Un des problèmes liés à cette approche est que l'azote alimentaire n'apparaît pas uniquement sous la forme

de protéines. Dans la farine de viande, par exemple, une partie de l'azote est présent dans les acides nucléiques; dans l'herbage, il fait partie de constituants simples tels que les nitrates. Toutefois, la mesure de la quantité d'azote donne un aperçu de la teneur en protéines dans la majorité des aliments. On utilise donc le terme **protéines brutes** comme la mesure la plus simple de la teneur en protéines d'un aliment

Pour mesurer la quantité totale d'azote alimentaire, on porte à ébullition l'échantillon placé dans une solution d'acide sulfurique concentré en présence de catalyseurs, jusqu'à ce que la totalité de l'azote soit transformée en sels ammoniacaux. Ce procédé est appelé la digestion. L'addition d'hydroxyde de sodium rend la solution alcaline et transforme les ions d'ammonium en ammoniac volatil. Cette solution alcaline est ensuite portée à ébullition pour libérer l'ammoniac, qui est distillé, puis titré par l'acide chlorhydrique.

### Annexe 3. Calcul des besoins énergétiques des animaux d'élevage

Les formules données dans la présente annexe ont été définies pour des conditions d'élevage tempérées. Dans le cas du système britannique, les formules données sont empiriques et sont beaucoup plus simples que celles qui résultent des travaux de recherche. Elles prennent pour hypothèse que la ration globale offerte au bétail est de qualité relativement basse et d'une **concentration en énergie métabolisable** (q) de 0,5. De telles rations ne sont pas fréquemment utilisées dans les conditions d'élevage intensif des pays développés car le niveau de production atteint est faible. Elles sont de celles dont la plupart des agriculteurs des régions tropicales doivent «s'accommoder», ce qui explique les hypothèses qui sont faites ici. Si l'on suppose que la ration est de meilleure qualité, les besoins énergétiques de l'animal seront inférieurs (d'environ 5 % par augmentation de 0,1 de l'énergie métabolisable disponible). En d'autres termes, si un agriculteur doit calculer une ration suivant les formules données, mais qu'il a la chance de disposer d'un fourrage de meilleure qualité, il devrait obtenir un niveau de production supérieur au niveau prévu.

Le lecteur qui souhaiterait obtenir des prévisions plus exactes sur les besoins nutritifs peut se reporter à l'un des documents cités à la fin du chapitre 13.

Remarque: les abréviations suivantes sont utilisées dans le présent chapitre:

P = poids vif (kg)

PL = production de lait (litres/jour)

GP = gain de poids vif (kg/jour)

PP = perte de poids vif (kg/jour)

Dist = distance approximative parcourue (km/jour)

On suppose que le lait contient 40 g lipides/litre; soulignons que parmi les races tropicales, la teneur en lipides du lait est plus élevée que parmi les races tempérées.

#### Vaches laitières

##### 1. Système français

Energie (UFL) = entretien + production - variation pondérale

entretien (UFL) =  $0,043 \times P^{0,75} + 0,00026P \times \text{Dist}$

production:

lait (UFL) =  $0,44 \times \text{PL}$

gestation (UFL) =  $0,011 \times P^{0,75}$  (7e mois)

gestation (UFL) =  $0,015 \times P^{0,75}$  (8e mois)

gestation (UFL) =  $0,024 \times P^{0,75}$  (9e mois)

variation pondérale:

ajouter (gain de poids de la vache) ou soustraire (perte de poids) 1,6 UFL par kg de variation du poids.

variation pondérale (UFL) =  $1,6 \times \text{GP}$  ou  $1,6 \times \text{PP}$

##### 2. Système britannique

Energie (MJ d'énergie métabolisable/jour) = entretien + production

énergie d'entretien ( $E_e$ ) =  $0,78 (P/1,08)^{0,67} + 0,013 \times P$

énergie de production ( $E_p$ ):

lait (MJ) =  $5,3 \times PL$

gestation (MJ) = 8 MJ (7e mois)

gestation (MJ) = 11 MJ (8e mois)

gestation (MJ) = 14 MJ (9e mois)

perte ou gain pondéral:

1) pour une perte de poids de la vache, *soustraire*  $37 \times PP$

2) pour un gain de poids, *ajouter*  $46 \times GP$

Facteur de correction pour le niveau d'alimentation (pour compenser une efficacité moindre à un niveau de production élevé): diviser l'énergie de production par l'énergie d'entretien et multiplier le résultat par 0,02.

Donc, besoin énergétique total =  $E_p (1 + 0,02 E_p/E_e)$

### 3. Système américain

Energie d'entretien (MJ/jour d'énergie nette de lactation,  $EN_1$ ) =  $0,334 \times P^{0,75}$

Energie par litre de lait produit (MJ/jour d'énergie nette de lactation,  $EN_1$ )

=  $1,47 + 0,04 \times \text{teneur en lipides du lait (g/litre)}$

Supplément pour les deux derniers mois de gestation (MJ/jour d'énergie nette de lactation,  $EN_1$ ) =  $2,6 + 0,016 \times P$

## Bovins en croissance et à l'engraissement

### 1. Système français

Besoin énergétique total (UFL/jour)

=  $0,0493 \times P^{0,75} + 0,0175 \times P^{0,75} \times GP^{1,4} + 0,026 \times \text{Dist} \times P$

(Remarque: si le rythme de croissance est supérieur à 0,75 kg/ jour, les valeurs calculées seront exprimées en UFV et les valeurs utilisées pour les aliments devront être choisies en conséquence).

### 2. Système britannique

Besoin énergétique total (MJ/jour)

=  $10 + 0,085 \times P + (21 + 0,089P) \times GP^{1,4}$

### 3. Système américain

Besoin énergétique d'entretien (MJ/jour d'énergie nette d'entretien,  $EN_e$ )

=  $0,322 \times P^{0,75} = A$

Energie de croissance (MJ/jour d'énergie nette de croissance,  $EN_c$ )

=  $0,233 \times P^{0,75} \times GP^{1,097} = B$

Besoin énergétique total =  $A + B$

## Ovins

### 1. Système français

Besoin énergétique total (UFL/jour)

$$= 0,033 \times P^{0,75} + 0,00032 \times P \times \text{Dist} + 2,9 \times \text{GP}$$

(Cette formule s'applique à un gain pondéral inférieur à 0,1 kg/ jour)

## 2. Système britannique

Besoin énergétique total (MJ/jour)

$$= 0,7 + 0,14 \times P + (11,7 + 0,7 \times P) \times \text{GP}$$

## Glossaire

**acide acétique/acétate:** acide gras volatil

**acide:** composé chimique qui, en solution dans l'eau, libère des ions hydrogène et abaisse ainsi le pH en dessous de la neutralité (7)

**acide aminé:** composé chimique qui forme les « maillons » (monomères) des protéines

**acide butyrique/butyrate:** acide gras volatil

**acide folique:** une des vitamines B.

**acides gras insaturés:** acides gras dont la structure possède des liaisons doubles

**acide gras polyinsaturé:** acide gras dont la structure possède plusieurs liaisons doubles

**acides gras volatils (A.G.V.):** groupe de six acides gras à courte chaîne produits en grande quantité dans le rumen et qui constituent la principale source d'énergie pour le ruminant.

**acide isobutyrique/isobutyrate:** acide gras volatil

**acide isovalérique/isovalérate:** acide gras volatil

**aérobie:** se dit de micro-organismes ayant besoin d'air ou d'oxygène pour se développer.

**alcali (base):** composé chimique qui, en solution dans l'eau, augmente le pH au-delà de la neutralité (7); l'alcali est le constituant chimique antagoniste de l'acide.

**alcool:** composé organique qui possède un groupement hydroxyle lié à un des atomes de carbone.

**aliment composé:** aliment pour animaux composé de différentes matières premières moulues et agglomérées en pellets

**amylase:** enzyme (q.v.) provoquant la dégradation des longues chaînes d' $\alpha$ -glucides en molécules simples

**anaérobie:** se dit d'un micro-organisme qui se développe normalement dans un milieu dépourvu d'air ou d'oxygène.

**antioxydant:** composé capable d'empêcher ou de ralentir l'oxydation des acides gras insaturés contenus dans les aliments

**antivitamine:** composé chimique qui inhibe l'action d'une vitamine.

**apatite:** phosphate de calcium naturel.

**arabinose:** sucre possédant cinq atomes de carbone.

**azote dégradable dans le rumen:** constituants azotés qui peuvent être dégradés dans le rumen pour produire de l'ammoniac.

**azote urinaire endogène:** quantité d'azote contenue dans l'urine d'un animal recevant une ration dépourvue de protéines.

**biotine:** une des vitamines B.

**Bos indicus :** bovidé domestique de l'Inde, caractérisé par une grande bosse grasseuse sur le garrot et un fanon sous la gorge (ou zébu).

**by-pass protein:** protéine alimentaire non dégradée par les microbes du rumen.

**caillette:** quatrième poche de l'estomac des ruminants Elle possède les mêmes fonctions que l'estomac des monogastriques.

**carotène:** composé ayant l'activité de la vitamine A.

**caséine:** principale protéine du lait chez les ruminants

**cellobiose:** disaccharide (cf. *infra*) contenant du glucose de type  $\beta$ .

**cellulose:** polysaccharide formé de longues chaînes d'unités glucose de type  $\beta$ .

**cholécalférol:** composé ayant l'activité de la vitamine D.

**cobalamine:** vitamine B<sub>12</sub>.

**coenzyme:** substance chimique organique qui active la fonction catalytique d'une enzyme.

**cofacteur:** toute substance qui contribue à l'activité d'une enzyme

**concentration en énergie métabolisable:** pourcentage d'énergie métabolisable par rapport à l'énergie brute d'un aliment Elle sert souvent à mesurer la qualité d'une ration pour ruminants.

**de type  $\alpha$ :** s'applique à un polysaccharide dont chaque molécule de sucre est liée à l'autre par une liaison UZU

**dihydrocholestérol:** une des vitamines D.

**digesta:** contenu du tube digestif partiellement digéré

**disaccharide:** hydrate de carbone composé de deux molécules de sucre liées entre elles

**énergie:** capacité de produire un travail

**ensilage:** résultat de la fermentation de fourrages verts destinée à en préserver la valeur nutritive

**enzyme:** substance protéique capable de catalyser une réaction chimique.

**ergocalciférol:** une des vitamines D

**éructation:** évacuation par la bouche de gaz contenus dans le tube digestif.

- facteur antinutritionnel:** composé présent dans un aliment, qui limite la capacité de l'organisme à utiliser certains nutriments utiles
- feuillet:** troisième poche de l'estomac du ruminant.
- fièvre:** élévation anormale de la température centrale du corps
- fouillage arbustif: aliment** composé des feuilles, des jeunes pousses et, occasionnellement, des fruits des arbres ou arbustes
- fouillage:** aliment fibreux apporté aux ruminants, essentiellement composé de graminées et de certaines légumineuses
- fructosane:** polysaccharide constitué de chaînes de molécules de fructose.
- fructose:** sucre contenant six atomes de carbone.
- glucides:** groupe complexe de constituants qui sont liés à des sucres ou en sont des dérivés
- graisse:** lipide solidifié à la température ambiante
- galactolipide:** lipide dont la molécule contient une unité sucre
- galactose:** sucre du lactose contenant six atomes de carbone
- glucose:** le plus répandu des sucres hexoses
- glycérine:** corps constitué de glycérol et d'acides gras
- glycérol:** alcool à trois groupements hydroxyles, contenu dans les lipides
- glycogène:** polysaccharide de glucose à liaisons  $\alpha$ . contenu dans les cellules animales.
- goitre:** maladie caractérisée par le gonflement de la glande thyroïde
- gros intestin:** partie terminale du tube digestif
- hémicelluloses:** glucides fibreux insolubles d'origine végétale.
- hexose:** sucre dont la structure possède six atomes de carbone.
- huile:** lipide présenté sous forme liquide à la température ambiante
- intestin grêle:** première partie de l'intestin.
- lactose:** disaccharide du lait.
- légumineuses:** famille de plantes qui fixent l'azote grâce aux bactéries associées à leurs racines
- lignocellulose:** mélange inséparable de lignine, de cellulose et d'hémicelluloses
- lipide:** tout composé organique insoluble dans l'eau mais soluble dans le benzène et l'éther
- malt:** orge germé artificiellement.

**maltose:** disaccharide contenu dans le malt

**métabolisme:** ensemble des transformations chimiques qui s'accomplissent dans la matière vivante.

**météorisation:** accident digestif caractérisé par l'accumulation de gaz et de substance d'aspect mousseux dans le rumen que l'animal ne peut évacuer

**méthode de Kjeldahl:** technique permettant de mesurer la teneur en azote des aliments ou des tissus animaux

**méthane:** gaz inflammable produit par les microbes du rumen au cours de la digestion.

**méthode Soxhlet:** technique utilisée pour doser les lipides dans un aliment.

**monoglycéride:** corps constitué d'une molécule d'acide gras et d'une molécule de glycérol.

**monomère:** composé le plus simple d'une molécule plus grande composée d'unités identiques liées entre elles.

**monosaccharide:** sucre simple

**œsophage:** canal de l'appareil digestif qui relie la bouche au rumen.

**oligo-élément:** élément chimique nécessaire en très petite quantité dans la ration pour assurer la santé de l'animal.

**paille:** tiges séchées de cultures céréalières

**pancréas:** glande qui sécrète des enzymes et les libère dans l'intestin grêle.

**parturition:** action de mettre bas.

**pectine:** glucide complexe des parois cellulaires végétales.

**pentose:** sucre possédant cinq atomes de carbone.

**pepsine:** enzyme qui hydrolyse les protéines

**peptide:** composé formé d'au moins deux acides aminés liés entre eux

**pH:** indice exprimant l'acidité ou l'alcalinité d'une solution dans l'eau Les solutions neutres ont un pH de 7, les solutions acides se situent entre 0 et 7 et les solutions alcalines, entre 7 et 14.

**phénol:** composé chimique constitué d'un noyau de benzènes directement lié à un ou plusieurs groupements hydroxyles (-OH).

**polymère:** composé moléculaire formé de plusieurs molécules plus petites liées entre elles

**polysaccharide:** polymère de sucres simples

**prairie temporaire:** champ destiné à la culture de plantes fourragères.

**protéines dégradables dans le rumen:** protéines qui peuvent être dégradées dans le rumen pour produire de l'ammoniac.

**protéine non dégradable:** protéine alimentaire non dégradée par les microbes du rumen

**radical libre:** composé chimique dont la structure contient un électron non associé à un autre atome. Ces constituants sont chimiquement très actifs et s'associent, de manière parfois indésirable, à un grand nombre d'autres substances.

**ration:** quantité d'aliments mise à la disposition de chaque animal pour assurer la production souhaitée.

**réseau (réticulum):** deuxième poche de l'estomac du ruminant

**rumen (panse):** première poche de l'estomac du ruminant, la plus grande.

**substrat:** substance chimique sur laquelle agit une enzyme en déterminant sa transformation.

**saccharose (sucrose):** disaccharide; sucre de table commun.

**sucré:** substance de saveur douce, principalement d'origine végétale

**thiamine:** une des vitamines B

**titrage:** opération par laquelle on procède au dosage volumétrique de liquides en réaction. Cette méthode est couramment utilisée pour mesurer la force d'acides ou d'alcalis.

**triglycéride:** corps constitué de trois molécules d'acides gras et d'une molécule de glycérol.

**Unité fourragère (UF):** unité de mesure de l'énergie des aliments utilisée en France.

**Unité fourragère Lait (UFL):** unité de mesure de l'énergie nette apportée par un aliment pour la lactation.

**Unité fourragère Viande (UFV):** unité de mesure française de l'énergie nette apportée par un aliment pour la production de viande

**urée:** substance azotée contenue dans l'urine.

**vitamine:** composé organique nécessaire en petite quantité dans la ration pour assurer la santé de l'animal

**xylane:** partie de molécule des hémicelluloses.

**xylose:** pentose constituant le xylane

**zébus:** bovidés à bosse ayant une concentration élevée de sang *Bos indicus*.

## Remerciements

*Un ouvrage de cette nature doit beaucoup à l'expérience et au travail de très nombreuses de personnes Etant donné son importance et son niveau, il serait impossible de citer la source de chacune des informations reprises Nous ne mentionnons aucune des publications qui ont servi de référence car il serait, d'après nous, injuste d'en épinglez quelques-unes parmi une telle masse de connaissances. Nous adressons donc, à tous les collègues qui reconnaissent leurs idées dans le présent ouvrage, nos plus vifs remerciements et rendons hommage à l'autorité de leur savoir en matière de nutrition*

## Photographies

L'auteur et les éditeurs tiennent à mentionner les sources suivantes, qu'ils remercient pour leur contribution:



Rowett Research Institute, p.//  
 Monsieur D N. de Hovell, p.//  
 PANOS PICTURES, couverture

Toutes les autres photos ont été gracieusement fournies par l'auteur

Les éditeurs ont, dans toute la mesure du possible, tenté de contacter les bénéficiaires de droits d'auteur. Toutefois, si par inadvertance, ils en ont oublié certains, ils prendront volontiers les arrangements nécessaires dès que possible.

## Bibliographie

CIRAD Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux Maisons-Alfort (France); Ministère de la Coopération et du Développement, Paris (France) *La complémentarité minérale (Mineral food enrichment)* Fiches Techniques d'Elevage Tropical (France), Maisons-Alfort (F): CIRAD-IEMVT, 1990/09.- n. 9, 12 p. : 1 ill., 7 réf., 12 tabl., 2 graph. - inter.: T.

CHANDLER N. (ed.). NRA National Renderers Association (USA). [Actes du congrès international sur l'alimentation animale. L'utilisation des sous-produits animaux en alimentation animale]. The proceedings of the International Animal Nutrition Symposium. Focusing on the use of animal by-products in animal feeds. International Animal Nutrition Symposium; 1990; Bruxelles (Bel.) (USA): NRA, 1990.- 53 p.: réf., tabl., graph - inter.: T.

CORBETT J.L. (ed) CSIRO. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Standing Committee on Agriculture Ruminants Subcommittee. Armidale (AUS). [Standards alimentaires du bétail australien. Ruminants] Feeding standards for Australian livestock. Ruminants Victoria (AUS): CSIRO, 1990. - 266 p.: réf., tabl, graph. - inter: T.

DAOUD B. INFAS Institut National de Formation Supérieure en Agronomie Saharienne. Ouargla (DZA) Composition chimique et digestibilité «in vitro» des palmes sèches, péricelle, paille et drinn (utilisation d'inoculum d'ovin et de camelin). Mémoire (Fin d'études - Ingénieur en Agronomie Saharienne) Ouargla (DZA): INFAS, 1992. - 53 p.: réf, tabl, graph. - inter: T.

DIALLO M.C.B. CIRAD. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux Maisons-Alfort (FRA); Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier (FRA).

Etude de la composition botanique des régimes alimentaires des ruminants domestiques (bovins, ovins et caprins) en région soudano-sahélienne par analyse histologique des fèces.

- Approche méthodologique [Study of the botanical composition of domestic ruminants (cattle, sheep and goats) food diets on sudano-sahelian pastures with a histological analysis of faeces Methodological study] Thèse (Dr en Physiologie, Biologie des Organismes et des Populations) Maisons-Alfort (FRA): CIRAD-IEMVT, 1991 - 262 p.: 7 ill., réf, tabl., graph. - inter: T.

GODET G CIRAD. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux Maisons-Alfort (FRA).

Etude alimentaire des vaches laitières en saison sèche: utilisation des sous-produits agro-industriels agricoles et du pâturage naturel. Bamako (MLI): Direction Nationale de l'Elevage, 1991/02 - 15 p.: 9 tabl. - inter: T.

GUERIN H. CIRAD. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. IEMVT Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux. Maisons-Alfort

(FRA).

Régime alimentaire de ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) exploitant des parcours naturels sahéliens et soudano-sahéliens. L Rappels bibliographiques sur les objectifs et les méthodes d'étude de la composition botanique des régimes ingérés au pâturage [The dietary preferences of domestic ruminants (cattle, sheep and goats) on Sahelian and Sudano-Sahelian ranges. I. Bibliographical review on goals and methods to study botanical composition of diets consumed on pastures]. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (FRA) 1988 - vol 41, n. 4, p 419-426: 48 réf., 1 graph. inter: S.

GUERIN H., RICHARD D, DUCHE A., LEFEVRE P. CIRAD Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux. Maisons-Alfort (FRA)

Composition chimique des fèces de bovins, d'ovins et de caprins exploitant des parcours naturels ou agro-pastoraux sahélo-soudaniens: utilisation pour estimer la valeur nutritive de leur régime Journées sur l'Alimentation et la Nutrition des Herbivores. 5; 1989/03; Paris (FRA) Reproduction Nutrition Développement (FRA) 1990. - n. suppl. 2, p 1675-1685: 3 réf., 1 tabl., 1 graph. - inter: T.

GUÉRIN H. RICHARD D., FRIOT D, MBAYE N. ISRA Institut Sénégalais de Recherches Agricoles. LNERV. Laboratoire National de l'Elevage et de Recherches Vétérinaires. Dakar-Hann (SEN); CIRAD. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux Maisons-Alfort (FRA); AOAD Arabic Organization for Agricultural Development Khartoum (SDN); ACSAD Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands Damascus (SYR).

Les choix alimentaires des ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) sur les pâturages sahéliens: leurs facteurs de variation et leurs conséquences. In: Hassan N.I, Tleimat F. M., Hassano H.E. International conference on animal production in arid zones. ICAPAZ = [Conférence internationale sur la production animale dans les zones arides] International Conference on Animal Production in Arid Zones; 1985/09/07-12; Damascus (SYR) Damascus (SYR): ACSAD, 1987 - p 943-963: 14 réf., 3 tabl., 9 graph. - inter: T.

JARRIGE R. (ed.) [Nutrition animale. Rations recommandées et tables alimentaires]. Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables Paris (FRA): INRA, 1993 - 389 p.: réf., tabl., graph., - inter: T.

LETENNEUR L. CIRAD Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux. Maisons-Alfort (FRA). Complément au rapport d'expertise pour l'élaboration du programme d'élevage du projet nord-est Bénoué (Cameroun), Maisons-Alfort (FRA): CIRAD-IEMVT, 1990/02 - 25 p: tabl., 2 graph. - inter: T.

MORAND FEHR P. INAPG Institut National Agronomique Paris-Grignon Station de Nutrition et Alimentation. Paris (FRA); FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome (ITA); EAAP. European Association for Animal Production. Wageningen (NLD) [Alimentation caprine] Goat nutrition EAAP Publication (NLD) Wageningen (NLD): Pudoc, 1991 n. 46, 308 p: réf. - inter: T.

PRESTON T.R. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome (ITA) [Meilleur utilisation des résidus de récolte et des sous-produits en alimentation animale: orientations de recherches 2 Manuel pratique pour chercheurs]. Better utilization of crop residues and by products in animal feeding: research guidelines: 2. A practical manual for research workers. FAO Animal Production and Health Paper (ITA) Rome (ITA): FAO, 1986. - vol. 50/2, 154 p.: ill., réf., tabl., graph. - inter.: T.

REAL B. Université Paul Sabatier. Toulouse (FRA) Les rations complètes pour vaches laitières. Thèse (Dr vétérinaire) Toulouse (FRA): ENVV, 1989. - 78 p: 70 réf., 13 tabl., 8 graph. - inter.: T.

RICHARD D, BLANFORT V, AHOKPE B. ISRA. Institut Sénégalais de Recherches Agricoles LNERV. Laboratoire National de l'Elevage et de Recherches Vétérinaires. Dakar-Hann (SEN); Cirad. Centre de

Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux Maisons-Alfort (FRA).

La complémentation en sous-produits de troupeaux villageois en zone agro-pastorale soudanienne (Sénégal) [Supplementation of indigenous cattle herds with agro-industrial by-products in an agropastoral savanna region of Africa (Sénégal)] Réunion annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie 41; 1990/07/09-12; Toulouse (FRA) Maisons-Alfort (FRA): CIRAD-IEMVT, 1990 - 9 p: 7 réf., 2 tabl., 1 graph. - inter.: T.

SAINT MARTIN G. CIRAD Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux. Maisons-Alfort (FRA).

Valorisation d'une culture de *Brachiaria ruziziensis* par l'embouche courte de bovins en fin de saison sèche dans l'Adamaoua camerounais. [Using a *Brachiaria ruziziensis* culture for short-period cattle fattening at the end of the dry season in Adamawa, Cameroon]

In: Guérin H (ed), Rippstein G (ed.); IRZ - Actes du séminaire régional sur les fourrages et l'alimentation des ruminants (Tome 1). Résumés (Tome 2) = [Proceedings of regional seminar on forages and ruminant nutrition (Volume 1) Summaries (Volume 2)] Les Fourrages et l'Alimentation des Ruminants; 1987/11/16-20; N'Gaoundéré (CMR) Etudes et Synthèses de l'IEMVT (FRA) Maisons-Alfort (FRA): CIRAD-IEMVT, 1989. - 2 vol, n. 30, p. 659-675: 10 réf. - inter.: T.

SALL B. EISMV. Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires. Dakar (SEN).

Comparaison de l'utilisation par les bovins et par les ovins d'aliments fabriqués à partir de sous-produits disponibles au Sénégal Thèse (Dr Vétérinaire) Dakar (SEN): EISMV, 1987. - 93 p: 47 réf., 18 tabl., 12 graph. - Thèse n. 1; inter.: T.

SOLTNER D. Alimentation des animaux domestiques T. I: Les principes de l'alimentation de toutes les espèces T. II: La pratique du rationnement des bovins, ovins, porcs et tables de calcul des rations 21. ed. Sciences et techniques agricoles (FRA) Angers (FRA): Sciences et Techniques Agricoles, 1990 - 480 p.: ill., tabl., graph. inter: T.

THIAM M. M. CIRAD. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. IEMVT. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux Maisons-Alfort (FRA); ISPA. Institut Supérieur des Productions Animales. Rennes (FRA); ISRA Institut Sénégalais de Recherches Agricoles. Département de Recherches sur les Productions Agricoles et la Santé Animale. Dakar (SEN).

Composition chimique des fèces de bovins, ovins et caprins exploitant des parcours naturels sahéliens Estimation de la valeur nutritive des rations ingérées - Relation avec les performances de croissance Maisons-Alfort (FRA): CIRAD-IEMVT, 1991/09. - 66 p.: 35 réf., 19 tabl., 8 graph inter.: T.

TISSERAND J.L, MASSON C. Aptitudes digestives comparées des ovins et des caprins pour valoriser les ressources fourragères locales (fourrages et sous-produits utilisés en zone méditerranéenne) [Comparison of the digestive aptitudes of sheep and goat for valorization of the local feeding resources (forages and by products available in mediterranean area)]. In: Flamant J.C., Morand Fehr E. P. Agriculture Programme de recherche Agrimed. L'évaluation des ovins et des caprins méditerranéens: recueil des communications, symposium «Philostios», Fonte-Boa (Vale de Santarem, Portugal), 23-25 septembre 1987. L'évaluation des ovins et caprins méditerranéens; 1987/09/23-25; Fonte-Boa (PRT) Luxembourg (LUX): Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, 1989, p. 170-181: 2 ill., 32 réf., 10 tabl. - inter.: V.

WANAPAT M. Khon Kaen University. Department of Animal Science Khon Kaen (THA) [Aspects nutritionnels de la production des ruminants dans le Sud-Est asiatique et en particulier en Thaïlande]. Nutritional aspects of ruminant production in Southeast Asia with spécial reference to Thailand. Khaon

Kaen (THA): Khaon Kaen University, 1990. 217 p.: ill., réf., tabl., graph - inter.: T.

WOLTER R. Alimentation de la vache laitière Paris (FRA): France Agricole, 1992 - 223 p.: ill., tabl., graph. - inter.: T.

## **Agence de la francophonie (ACCT)**

L'Agence de la Francophonie (ACCT) créée à Niamey en 1970, sous l'appellation d'Agence de coopération culturelle et technique est l'unique organisation inter-gouvernementale de la Francophonie et le principal opérateur des Conférences bisannuelles des chefs d'Etat et de gouvernement des pays ayant le français en partage, aussi appelées Sommets francophones.

L'Agence assure le secrétariat de toutes les instances de la Francophonie. Elle déploie son activité multilatérale dans les domaines de l'éducation et de la formation, de la culture et de la communication, de la coopération juridique et judiciaire, de diverses actions au titre de la direction générale du développement et de la solidarité.

Outre son siège, situé à Paris, l'Agence dispose d'une Ecole internationale de la Francophonie à Bordeaux (France) où est située sa direction générale Education-Formation, d'un Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français (IEPF) à Québec (Canada), d'un Bureau de liaison avec les organisations internationales à Genève (Suisse), d'un Bureau de liaison avec l'Union européenne à Bruxelles (Belgique), d'un Bureau permanent d'observation aux Nations unies à New York aux Etats-Unis, d'un Bureau régional de l'Afrique de l'Ouest à Lomé (Togo), d'un Bureau régional de l'Afrique centrale à Libreville (Gabon), d'un Bureau régional pour l'Asie-Pacifique à Hanoi (Viêt-Nam).

L'ACCT regroupe 46 pays ou gouvernements: Bénin, Bulgarie, Burkina-Faso, Burundi, Cambodge, Cameroun, Canada, Canada-Nouveau-Brunswick, Canada-Québec, Centrafrique, Communauté française de Belgique, Comores, Congo, Côte-d'Ivoire, Djibouti, Dominique, Egypte, France, Gabon, Guinée, Guinée-Bissau, Guinée-équatoriale, Haïti, Laos, Liban, Luxembourg, Madagascar, Mali, Maroc, Maurice, Mauritanie, Moldavie, Monaco, Niger, Roumanie, Rwanda, Sainte-Lucie, Sénégal, Seychelles, Suisse, Tchad, Togo, Tunisie, Vanuatu, Viêt-Nam, Zaïre.

[Le Royaume de Belgique, le Cap-Vert et Saint-Thomas-et-Prince portent à 49 le nombre des pays et gouvernements participant aux Sommets.]

## **LE CENTRE TECHNIQUE DE COOPERATION AGRICOLE ET RURALE**

Le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) est établi depuis 1983 à Ede/Wageningen dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats de l'Union européenne et les Etats du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique). Le CTA est à la disposition des Etats ACP pour leur permettre un meilleur accès à l'information, à la recherche, à la formation ainsi qu'aux innovations dans les secteurs du développement agricole et rural et de la vulgarisation.

Adresse postale: CTA, Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas

## **LE TECHNICIEN D'AGRICULTURE TROPICALE**

*Collection couronnée par*

**L'ACADEMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE**

**ISSN: 0298.3540**

**ISBN: 2.7068.1137.4**

[Version texte](#)