



# Alimentation de la vache laitière

- ▣ Les bases technico-économiques pour améliorer la production des vaches laitières
- ▣ Les données nécessaires aux éleveurs pour une bonne alimentation

Roger Wolter ■ Andrew Ponter

5<sup>e</sup> édition

LeWOLTER

# Préface

---

Dans le cadre de la production laitière, où l'animal plus que le nombre d'hectares est la clé du revenu, aucun producteur ne peut ignorer l'importance de la maîtrise de l'alimentation.

La quantité moyenne de lait produite et la fertilité par vache sont, avec la valorisation des animaux de réforme, les principaux points qui conditionnent le niveau de revenu de l'élevage laitier.

Tous ces facteurs réclamant santé et productivité ont un lien étroit avec la pratique de l'apport alimentaire.

Aussi, un bon producteur de lait doit savoir avant tout nourrir correctement son cheptel.

Outre son expérience professionnelle, l'éleveur a pour l'aider dans cette tâche de nombreuses études qui traitent de l'équilibre des rations, de leur contenu, de leur encombrement, de leur digestibilité, de leur appétence, de leur prix de revient, etc.

Mais en « Formule 1 », il ne suffit pas de verser du carburant dans un moteur pour tirer le meilleur de ses possibilités, il est important de bien comprendre son fonctionnement et de travailler les « réglages ».

De même, pour faciliter l'approche de l'éleveur ou du prescripteur dans l'optimisation d'un programme alimentaire, il faut analyser le comportement de l'animal face à sa mangeoire et les réactions complexes de son organisme chargé de transformer, brûler ou éliminer les matières qui circulent dans son appareil digestif. S'initier à la mécanique de la nutrition est indispensable.

*Alimentation de la vache laitière* fait une synthèse des connaissances acquises, abordable sans préparation scientifique, en livrant le point de vue d'un grand nutritionniste.

Ce guide de diététique alimentaire s'adresse à tous les éleveurs, prescripteurs, vétérinaires, industriels de l'alimentation animale ainsi qu'aux enseignants.

La cinquième édition, indépendamment de la mise à jour, s'enrichit d'éléments concernant les aspects pratiques du rationnement et les nouvelles recommandations de l'INRA (2018) pour l'énergie, les protéines, le calcium et le phosphore absorbables. Au moment de la révision de ce livre, le nouveau logiciel de calcul des rations pour vaches laitières est en cours de finalisation et devrait être disponible bientôt.

En éditant cet ouvrage, les Éditions France Agricole mettent à la disposition des lecteurs l'expression de compétences scientifiques qui font autorité pour aider les praticiens à réunir les meilleures chances de succès dans leurs entreprises.

L'éditeur

# Sommaire

<b>PARTIE 1 – BASES TECHNICO-ÉCONOMIQUES DE L'ALIMENTATION DE LA VACHE LAITIÈRE ...</b>	<b>1</b>
<b>1– PRODUCTIVITÉ ET RENTABILITÉ .....</b>	<b>2</b>
La trilogie: génétique – alimentation – management .....	2
Productivité à long terme .....	2
Pour mieux amortir les frais fixes d'élevage .....	3
Coût alimentaire du kilogramme de lait .....	4
<b>2– TECHNIQUES MODERNES D'AIDE À LA PRODUCTIVITÉ .....</b>	<b>6</b>
Apport de la génétique .....	6
Besoins alimentaires .....	7
<b>3– ÉLEVAGE ET CONTRAINTES .....</b>	<b>10</b>
Éléments en jeu .....	10
Climat .....	10
Génétique .....	11
Alimentation .....	11
Maladie économique .....	12
Sous-production laitière .....	12
Baisse de fécondité .....	12
Résistance moindre des animaux .....	12
Maladies nutritionnelles et métaboliques .....	12
Parasitisme et infections banales .....	13
Bactéries Gram négatif .....	13
Stress .....	13
Maillons de la chaîne conduisant à la productivité .....	14
Équilibre obligatoire de tous les facteurs de production .....	16
Contraintes sanitaires .....	17
Partenaires des éleveurs .....	20
<b>PARTIE 2 – MODE DE DIGESTION ET CONSÉQUENCES .....</b>	<b>23</b>
<b>1– FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE ANIMALE .....</b>	<b>24</b>
<b>2– SPÉCIFICITÉ DU MODE DE DIGESTION DES RUMINANTS .....</b>	<b>25</b>
Importance de la microflore .....	25
Règles d'or pour le meilleur fonctionnement de la microflore .....	27
Équilibre alimentaire pour la microflore .....	28
Sources rapides .....	28
Sources progressives .....	29
Intérêt des rations mélangées .....	29

Ensilage de maïs . . . . .	29
Ensilage de luzerne . . . . .	31
<b>3– DIGESTION DES GLUCIDES . . . . .</b>	<b>32</b>
Produits de la digestion des glucides . . . . .	32
Chaleur de fermentation . . . . .	33
Libération de gaz . . . . .	33
Production d'acides gras volatils . . . . .	33
Acides gras volatils . . . . .	33
Présentation physique des aliments . . . . .	34
Nature chimique . . . . .	34
Optimiser la fermentescibilité de la ration . . . . .	35
Fourrages . . . . .	35
Concentrés . . . . .	36
Optimum de concentration énergétique et de fermentescibilité . . . . .	36
Cétose . . . . .	38
Aspects alimentaires de la pathogénie . . . . .	38
Causes prédisposantes chez les ruminants . . . . .	38
Causes déterminantes: déficit énergétique (d'apport ou d'utilisation) . . . . .	39
Causes déclenchantes: besoins énergétiques massifs et prioritaires . . . . .	39
Prévention alimentaire . . . . .	39
Ajustement des apports énergétiques . . . . .	39
Corrections plus immédiates du métabolisme . . . . .	39
Changements de régime progressifs et respect d'un bon équilibre alimentaire . . . . .	40
Prévention alimentaire de la cétose . . . . .	40
Acidose . . . . .	41
Causes alimentaires . . . . .	41
Manifestations principales . . . . .	42
Prévention . . . . .	43
Transitions alimentaires . . . . .	43
Proportion suffisante de fourrages . . . . .	43
Plafonnement de l'apport de concentrés . . . . .	43
Incorporation possible de lipides . . . . .	45
Fractionnement de la complémentation concentrée . . . . .	46
<b>4– DIGESTION DES MATIÈRES AZOTÉES . . . . .</b>	<b>49</b>
Importance de la digestion microbienne . . . . .	49
Faible dose . . . . .	49
En excès . . . . .	49
Système PDI de l'INRA . . . . .	51
Définitions . . . . .	51
Variation de l'équilibre PDIE-PDIN . . . . .	51
Particularités des exigences azotées de la vache laitière . . . . .	56
Contraintes du rationnement azoté . . . . .	56
Couverture des besoins azotés . . . . .	57
PDIM . . . . .	57
PDIA . . . . .	58
Triple nature des besoins azotés . . . . .	59
Double rôle des apports azotés . . . . .	59
Urée du lait comme indicateur du rationnement azoté . . . . .	61

Conditions d'emploi de l'azote non protéique . . . . .	63
Ammoniogenèse modérée . . . . .	63
Taux protéique total . . . . .	63
Proportion restreinte d'azote soluble . . . . .	63
Complémentation mesurée en azote non protéique . . . . .	63
Choix (théorique) d'une source d'azote non protéique à dégradation ralentie . . . . .	64
Présentation retard de l'azote non protéique (peu compétitif actuellement) . . . . .	64
Fractionnement et étalement de la consommation journalière (« en menue monnaie ») . . . . .	64
Protéosynthèse active . . . . .	64
Introduction progressive d'azote non protéique dans la ration . . . . .	64
Fourniture satisfaisante d'énergie . . . . .	64
Équilibre alimentaire global . . . . .	65
Intérêt de l'apport de protéines indégradables . . . . .	65
Acides aminés protégés . . . . .	67
Besoins protéiques totaux . . . . .	67
Couverture par PDIM . . . . .	68
Besoins en PDIA . . . . .	68
Accumulation excessive d'ammoniac dans le rumen . . . . .	69
Ammoniogenèse trop rapide . . . . .	69
Protéosynthèse microbienne trop faible . . . . .	69
Manifestations suraiguës . . . . .	70
Formes chroniques . . . . .	70
Alcalose . . . . .	71
Causes alimentaires de l'alcalose . . . . .	71
Manifestations principales . . . . .	71
Prévention . . . . .	73
Prévention de la tétanie d'herbage . . . . .	73
Prédisposition des ruminants . . . . .	73
Intervention préventive au niveau du sol, des plantes et de l'animal . . . . .	75
Sol . . . . .	75
Plantes . . . . .	75
Animal . . . . .	75
<b>5- RÉGULATION DE LA CONSOMMATION . . . . .</b>	<b>76</b>
Difficultés de la vache pour ajuster son « appétit » à ses besoins . . . . .	76
Décalage chronologique entre l'évolution de « l'appétit » et des besoins énergétiques . . . . .	76
Rations suboptimales limitant la consommation volontaire . . . . .	77
Encombrement digestif . . . . .	77
Volume de la ration globale . . . . .	77
Vitesse de transit . . . . .	78
Broyage physique . . . . .	78
Dissolution chimique . . . . .	79
Deux modes de régulation de la consommation volontaire . . . . .	82
Régulation volumétrique . . . . .	82
Régulation métabolique . . . . .	82
Qualité de l'herbe et des fourrages . . . . .	86



<b>6– STIMULATION DE LA MICROFLORE PRÉGASTRIQUE.....</b>	<b>90</b>
Pourquoi stimuler la microflore? .....	90
Moyens à mettre en œuvre.....	90
Différents adjuvants disponibles .....	91
Adjuvants alimentaires à fonction de facteur tampon du pH ruminal .....	92
Bicarbonate de sodium .....	92
Bentonite.....	92
Magnésie.....	92
Carbonate de calcium .....	93
Méthionine .....	94
Niacine.....	95
Phosphore et cobalt .....	95
Protéines progressivement dégradables .....	97
Levures tuées .....	97
Hydrolysats de levure.....	97
Levures vivantes.....	97
Probiotiques bactériens .....	98
Sorbitol .....	99
Autres additifs alimentaires interdits .....	99
<b>PARTIE 3 – CONDUITE DU RATIONNEMENT .....</b>	<b>101</b>
<b>1– PÉRIODES CRITIQUES DU RATIONNEMENT .....</b>	<b>102</b>
Période du tarissement .....	102
Début de lactation.....	103
<b>2– CHRONOLOGIE DOMINANTE DES AFFECTIONS MÉTABOLIQUES.....</b>	<b>104</b>
<b>3– STRATÉGIE DU RATIONNEMENT EN TARISSEMENT .....</b>	<b>106</b>
Particularités du rationnement en période de tarissement .....	106
Niveau alimentaire.....	106
Nature de la ration .....	107
Équilibre du régime .....	107
Risques d’une suralimentation .....	108
Préparation du tarissement: une nécessité.....	110
Les bases .....	110
Erreurs alimentaires.....	112
Prévention de la fièvre vitulaire.....	113
Excès de cations .....	113
Excès alimentaires de calcium .....	114
Déficit en calcitriol.....	115
Prévention du syndrome de la vache couchée .....	117
Prévention de la rétention placentaire .....	117
Prévention de l’hémoglobinurie .....	119
Carence en phosphore .....	119
Carence en cuivre.....	119

<b>4– ALIMENTATION ET PATHOLOGIE PENDANT LE TARISSEMENT . . .</b>	<b>120</b>
Particularités du rationnement en début de lactation . . . . .	122
Évolution des besoins . . . . .	122
Évolution de « l'appétit » (à l'égard des fourrages ou de la ration de base) . . . . .	122
Stratégie alimentaire . . . . .	123
Le problème du déficit énergétique . . . . .	123
Risques de sous-alimentation . . . . .	124
Maîtriser la sous-alimentation du début de lactation . . . . .	126
Pesée . . . . .	127
Notation de l'état corporel . . . . .	127
Mesure du tour droit de poitrine . . . . .	128
Prévention de l'infertilité . . . . .	128
Facteurs alimentaires impliqués . . . . .	128
Déficit énergétique du début de lactation . . . . .	129
Excès alimentaire d'azote dégradable . . . . .	129
Déficiences minérales . . . . .	129
Carence en vitamine A et/ou en carotènes . . . . .	129
Agents pharmacodynamiques, bactériens ou fongiques . . . . .	130
Bilan énergétique et fertilité . . . . .	130
Prévention alimentaire des métrites, mammites et autres . . . . .	131
Infertilité nutritionnelle . . . . .	134
Causes alimentaires (par ordre hiérarchique) . . . . .	134
Alimentation et pathologie en début de lactation . . . . .	137
Prévention des troubles osseux . . . . .	138
Boiteries d'origine alimentaire . . . . .	139
Prévention des boiteries . . . . .	141
<b>5– RATIONNEMENT PRATIQUE . . . . .</b>	<b>143</b>
Principe du rationnement pratique . . . . .	143
Calcul d'une ration individuelle . . . . .	144
Évaluer les besoins nutritifs cumulés de la vache . . . . .	144
Déterminer les apports nutritifs de la ration de base . . . . .	147
Corriger la ration de base . . . . .	148
Additionner le complément de production . . . . .	148
Nouveau système pour calculer les rations : Systali (une rénovation des systèmes d'unités d'alimentation pour les ruminants, INRA, 2018) et nouveau logiciel: INR@tion V (en cours de développement) . . . . .	152
Transit ruminal des aliments . . . . .	152
Ingestion des aliments . . . . .	153
Digestion, apports en énergie et besoins en énergie . . . . .	155
Digestion, apports en protéines et besoins en protéines . . . . .	156
Conséquence sur la valeur alimentaire des fourrages et des concentrés . . . . .	160
Conséquence sur la valeur alimentaire des rations . . . . .	162
Libre-service, au silo ou à l'auge ouverte . . . . .	164
Un toit . . . . .	164
Une largeur minimale par vache . . . . .	164

Un détasement renouvelé de l'ensilage . . . . .	164
Une durée journalière d'accès. . . . .	164
Une durée optimale d'éclaircissement. . . . .	164
Les refus d'ensilage. . . . .	165
Libre disposition de foin ou de bonne paille. . . . .	165
Avec les distributeurs automatiques de concentrés (DAC) . . . . .	165
Distributions de rations semi-complètes ou complètes. . . . .	165
Rations mélangées (semi-complètes ou complètes) . . . . .	166
Limitation de la distribution de concentrés en salle de traite . . . . .	166
Suppression totale de la distribution de compléments alimentaires en salle de traite . . . . .	167
Rationnement obligatoirement collectif. . . . .	167
Rations totales complètes . . . . .	168
Expression du potentiel laitier . . . . .	168
Économie de concentré avec écrêtement du pic . . . . .	169
Apport minimal de concentrés . . . . .	170
Alimentation des génisses . . . . .	171
Abreuvement et qualité de l'eau . . . . .	172
Besoins quantitatifs . . . . .	172
Besoins qualitatifs . . . . .	173
<b>PARTIE 4 – QUALITÉ ET SANTÉ . . . . .</b>	<b>179</b>
<b>1– PROMOTION DE LA QUALITÉ DU LAIT ET DE LA SANTÉ MÉTABOLIQUE DE LA VACHE . . . . .</b>	<b>180</b>
<b>2– QUALITÉ DU LAIT . . . . .</b>	<b>182</b>
Influence de la sélection sur la qualité . . . . .	182
Composition du lait . . . . .	183
Influence du régime alimentaire . . . . .	183
Taux butyreux (TB) . . . . .	184
Taux protéique (TP) . . . . .	184
Taux butyreux . . . . .	184
Double origine des graisses du lait . . . . .	184
Chute du taux butyreux (TB) . . . . .	186
Nature des acides gras alimentaires . . . . .	186
Prévention alimentaire de la chute excessive du taux butyreux . . . . .	187
Importance prépondérante de l'acide acétique . . . . .	187
Rôle secondaire des lipides alimentaires . . . . .	188
Influence positive de tout l'équilibre alimentaire . . . . .	188
Taux protéique . . . . .	188
Prévention alimentaire de la baisse du taux protéique . . . . .	191
Une bonne couverture des besoins énergétiques . . . . .	192
Un approvisionnement suffisant en acides aminés indispensables . . . . .	192
Huiles alimentaires rapidement néfastes à la protéosynthèse microbienne. . . . .	194
Teneurs vitaminiques du lait . . . . .	195
Richesse du lait en vitamines B (et K) . . . . .	195
Teneurs lactées en vitamines liposolubles (A, D, E) . . . . .	195



Caractères organoleptiques .....	197
Altérations organoleptiques provoquées par des plantes .....	197
Altérations organoleptiques provoquées par des aliments mal conservés .....	198
Ensilages de mauvaise qualité .....	198
Autres aliments altérés .....	198
Valeur fromagère .....	199
Accidents de maturation des fromages .....	199
Prévention des accidents de maturation des fromages .....	201
Interdiction de l'utilisation d'ensilage .....	201
Exclusion limitée aux ensilages de mauvaise qualité .....	201
Hygiène rigoureuse de l'affouragement, des animaux, de la traite, et du lait .....	202
Inhibition ou élimination sélectives des clostridies contaminant le lait .....	202
Ultracentrifugation .....	203
Upérisation .....	203
Innocuité chimique du lait .....	203
Erreurs de rationnement et aliments mal conservés .....	203
Facteurs toxiques .....	204
Résidus de pesticides .....	204
<b>3– SANTÉ DE LA VACHE .....</b>	<b>205</b>
Intérêt des bilans biochimiques .....	205
Comment mieux détecter les déséquilibres alimentaires .....	206
Principaux dosages plasmatiques concernant les minéraux .....	207
Biochimie sanguine .....	208
Analyses pilaires .....	211
Analyses lactées .....	213
<b>PARTIE 5 – ALIMENTS DIÉTÉTIQUES .....</b>	<b>215</b>
<b>1– SPÉCIFICITÉ DES ALIMENTS DIÉTÉTIQUES .....</b>	<b>216</b>
Réglementation européenne des aliments diététiques .....	216
Réglementation particulière concernant les aliments diététiques .....	217
Aliments standards .....	218
Aliments médicamenteux .....	218
Suppléments nutritionnels .....	218
<b>PARTIE 6 – SUPPLÉMENTS NUTRITIONNELS .....</b>	<b>221</b>
<b>1– DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES .....</b>	<b>222</b>
Rôles et justifications .....	223
Objectifs .....	223
Composition, présentation et mode d'emploi .....	224
<b>PARTIE 7 – INTOXICATIONS VÉGÉTALES .....</b>	<b>227</b>

<b>ANNEXES</b> .....	241
<b>TABLEAUX DE LA VALEUR DES ALIMENTS</b> .....	242
<b>ADRESSES UTILES</b> .....	256
<b>LEXIQUE</b> .....	257
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	263
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	269
<b>INDEX</b> .....	271
<b>UNITÉS DE MESURE</b> .....	277
<b>FICHES TECHNIQUES DES ALIMENTS</b> .....	279

# Avertissement au lecteur

---

Les connaissances relatives à l'alimentation rationnelle de la vache laitière continuent de se multiplier et de s'approfondir grâce à une recherche internationale très active en ce domaine, avec notamment une participation très efficace de l'INRA. Celui-ci a publié des recommandations pratiques bien argumentées permettant une bonne maîtrise mathématisée du rationnement alimentaire tant sur le plan de l'encombrement (UEL), de l'énergie (UFL), des protéines (PDI), que des minéraux et des vitamines. Il convient de se référer toujours à ces bases fondamentales qui ont d'ailleurs l'avantage d'être largement utilisées, avec grand profit, par l'ensemble des partenaires de la filière.

Au-delà des chiffres et de la précision du rationnement, « la façon de donner compte autant que ce que l'on donne ». Ainsi, le praticien peut être confronté à des difficultés d'interprétation de certains échecs imprévus concernant l'efficacité de l'alimentation quant à la productivité laitière, la qualité du lait, la fertilité ou la santé de la vache. Il souhaite disposer d'une mise au point synthétique, depuis les justifications économiques jusqu'aux aspects physiopathologiques, concernant la stratégie de conduite du rationnement alimentaire de la vache laitière.

Pour tenter de répondre à sa demande, tout en faisant le plus bref possible, nous lui proposons un aide-mémoire simplifié, sous forme de figures et de tableaux brièvement commentés, disponible en fin d'ouvrage.



1

# Bases technico- économiques de l'alimentation de la vache laitière

# Productivité et rentabilité

## La trilogie : génétique – alimentation – management

La vache laitière est une machine animale de plus en plus performante, dont l'efficacité économique ou rentabilité est largement tributaire de l'efficacité technique ou productivité. Comme pour un engin mécanique tel qu'une voiture automobile dont les performances sont dépendantes à la fois des qualités associées du véhicule, du carburant et du mode de conduite, la productivité de la vache laitière est le produit d'une trilogie similaire :

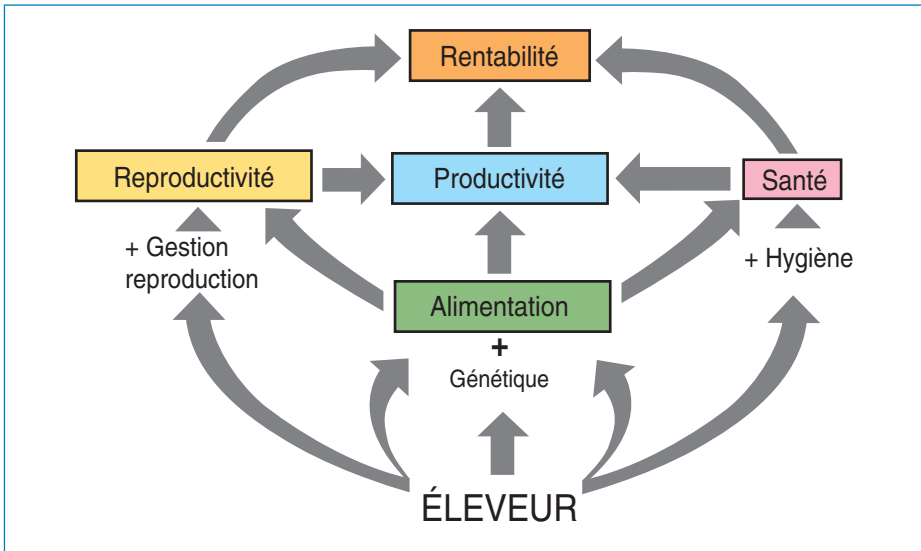
$$\text{productivité} = \text{génétique} \times \text{alimentation} \times \text{management}$$

- La **génétique** fait des progrès continus et rapides, tellement spectaculaires qu'elle séduit fortement les éleveurs qui risquent de sous-estimer la nécessité d'améliorer parallèlement les conditions du milieu. De ce fait, elle est rarement limitante.
- L'**alimentation** repose sur des contraintes de mieux en mieux connues mais de plus en plus difficiles à satisfaire au fur et à mesure de l'augmentation de la productivité laitière. En effet, celle-ci entraîne des exigences nutritionnelles de plus en plus élevées et rigoureuses, rendant l'animal de moins en moins tolérant à toute erreur alimentaire, c'est-à-dire moins rustique.
- Le **management** met en cause l'application cohérente et harmonisée de toutes les techniques impliquées (génétique, logement, alimentation, traite, prévention sanitaire, gestion de la reproduction...), obligeant l'éleveur soit à être polytechnicien des méthodes d'élevage, soit à disposer de conseillers polyvalents ou solidairement complémentaires. C'est sans doute en ce domaine que résident les plus grosses lacunes et donc les plus grandes marges de progrès.

## Productivité à long terme

L'élevage étant une activité essentiellement économique, l'éleveur, dans son intérêt et dans celui de ses fournisseurs de services, vise obligatoirement à la rentabilité.

Pour cela, il utilise un outil génétique souvent perfectionné et performant; il doit maîtriser l'alimentation qui contrôle l'expression du potentiel génétique et conditionne conjointement la productivité, la « reproductivité » et la santé de la vache, qui toutes trois déterminent la rentabilité (*Figure 1-1*).



**Figure 1-1: Voies de la rentabilité.**

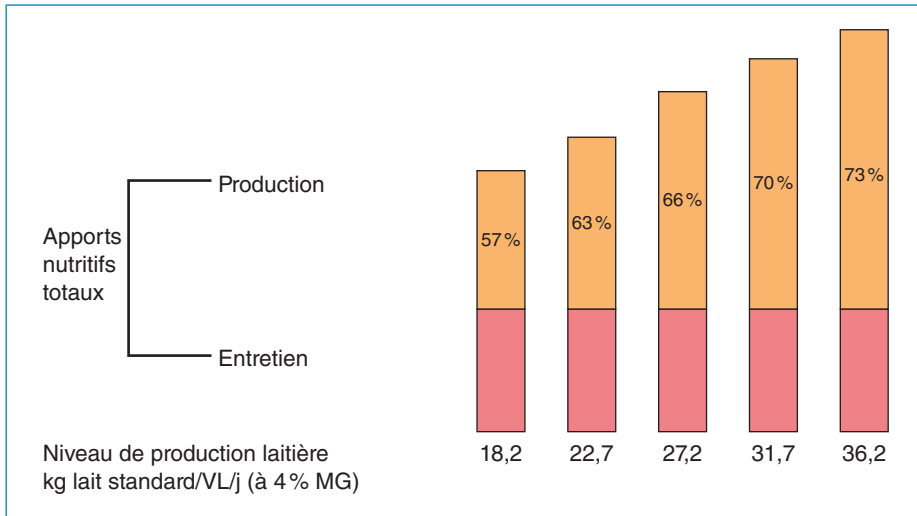
À cet égard, la productivité à court terme, qui est assez facilement stimulée, reste un critère insuffisant et volontiers trompeur pour juger de l'efficacité économique d'une technique. Au contraire, à long terme, elle traduit beaucoup mieux l'excellente conduite de l'éleveur qui favorise la rentabilité, grâce à une forte persistance de la lactation, à l'obtention de bons taux butyreux et protéiques (qui décident de la valeur fromagère), au maintien d'une haute fertilité (qui retentit directement sur la moyenne économique) et à la préservation d'une excellente santé.

Ainsi, la fertilité et la composition du lait sont des références sensibles et précoces d'une erreur alimentaire même très nuancée qu'il importe de détecter et d'identifier très tôt pour éviter de graves conséquences économiques. Au contraire, les troubles sanitaires sont généralement la sanction ultime, tardive et très coûteuse, d'une mauvaise gestion du troupeau.

## Pour mieux amortir les frais fixes d'élevage

Dans la situation de quota qui invite à produire mieux à défaut de pouvoir produire plus, l'augmentation de productivité de la vache laitière (en kg de lait par vache et par an) s'impose pour améliorer la rentabilité (Figure 1-2). On obtient ainsi une dilution des frais fixes d'élevage et d'entretien (notamment d'ordre alimentaire), rapportés au kilo de lait, entraînant un accroissement apparent du rendement alimentaire (kg de lait par UFL – unité fourragère lait) qui profite à l'économie de la production, en plus de l'épargne de logement et de main-d'œuvre. Pour une production de 18 kg de lait par jour, seule la moitié des apports nutritifs





**Figure 1-2: Amélioration de l'efficacité alimentaire en fonction du niveau de production laitière.**

total est disponible pour la production ; à 36 kg de lait par jour, cette proportion atteint les trois quarts. Dès lors, à égalité de production globale, il convient de réduire le nombre de têtes au profit d'une plus grande productivité individuelle.

Ce principe doit être nuancé pour tenir compte des prix relatifs de la viande (la valeur de la carcasse) et du lait, ainsi que des coûts comparés des UFL fournies par les fourrages et par les concentrés, enfin de la technicité de l'éleveur et de sa capacité à gérer des animaux plus exigeants. Inversement, ceux-ci ont une valeur génétique supérieure qui apporte une plus-value dans le cas de vente de reproducteurs.

L'optimum économique de productivité est donc très variable et il reste à préciser au cas par cas afin de déterminer une stratégie zootechnique cohérente adaptée à l'exploitation considérée.

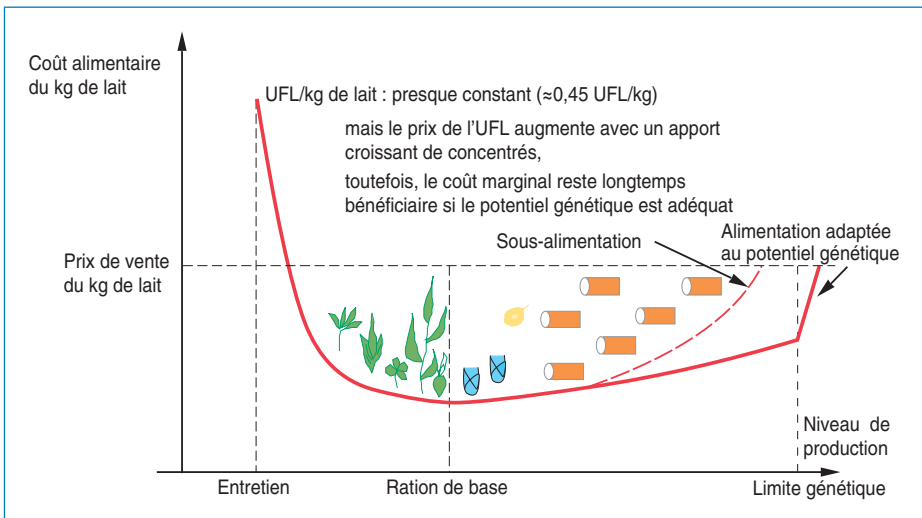
## Coût alimentaire du kilogramme de lait

Le coût alimentaire du kilo de lait, qui représenterait en moyenne 53 à 55 % du prix de revient total, s'atténue d'abord fortement à mesure que s'élève le niveau de production, grâce à un meilleur amortissement des frais d'élevage et d'entretien. Ainsi, venant d'une valeur infinie à production nulle, il passe par un minimum avant de remonter légèrement à haut niveau de production, en raison de l'augmentation du prix moyen de l'unité fourragère (UF) consommée et d'une faible perte de rendement alimentaire. Cette diminution d'efficacité alimentaire s'explique d'abord par une baisse de digestibilité de 4 % par tranche de niveau alimentaire

égale à l'entretien (mais dont les conséquences énergétiques s'amointrissent vers 1,8 % à cause d'une plus petite déperdition en méthane). Elle résulte aussi, en apparence, d'une certaine déviation du partage de l'énergie nette au profit de l'adipogenèse et au détriment de la sécrétion lactée; mais en fait, le rendement énergétique global reste à peu près constant. En pratique, cette assez modeste perte apparente de rendement est prise en compte en surévaluant quelque peu le besoin énergétique relatif à haut niveau de production (alors qu'il s'agit d'une baisse de l'efficacité alimentaire).

Pour obtenir une bonne rentabilité, en même temps que les meilleurs résultats techniques et sanitaires, il importe en premier lieu de disposer d'excellents fourrages qui assurent, avec un complément d'équilibre bien adapté, une couverture déjà large des besoins de production, au-delà de l'entretien. En outre, la complémentation de production doit être suffisante pour permettre l'expression totale du potentiel génétique parce qu'alors le coût marginal du lait reste en général bénéficiaire, même si la marge nette par kilo de lait produit à haut niveau de sécrétion est tant soit peu plus restreinte qu'à niveau moyen. Ainsi, la recherche d'un revenu supérieur exige de réaliser tout l'investissement nécessaire, y compris sous forme de concentré tant que celui-ci reste rentable. En conséquence, le coût de concentré par kilo de lait est un critère économique imparfait, car il prévient mal du bénéfice total (*Figure 1-3*).

La rentabilité de l'élevage laitier est étroitement liée à la maîtrise du coût alimentaire du kilo de lait et à l'expression totale du potentiel génétique.



**Figure 1-3: La meilleure rentabilité suppose la pleine expression du potentiel génétique individuel.**

## 2

# Techniques modernes d'aide à la productivité

## Apport de la génétique

La sélection sur la productivité laitière, même tempérée par la recherche de bons taux butyreux et protéique, se montre très efficace et la diffusion en est bien assurée par l'insémination artificielle, voire par la transplantation embryonnaire (Tableau 1-1). En admettant une progression moyenne de l'ordre de 110 kg par an (Figure 1-4), elle conduit à une augmentation forte, continue et inéluctable de la production laitière. Dans un système de contrat de production, les éleveurs sont donc incités à réduire le nombre de vaches.

Ce mouvement général a été renforcé par l'« holstéinisation » du troupeau Pie noire, laquelle a apporté l'équivalent moyen de 6 à 7 ans de sélection (mais sans la progressivité de celle-ci qui aurait facilité l'adaptation des techniques, Tableau 1-2).

D'autres possibilités d'accélération du progrès zootechnique vont encore être offertes par les techniques nouvelles de fécondation *in vitro*, de sexage des embryons, de culture *in vitro* de ceux-ci, de leur fragmentation, de génotypage, d'utilisation de semence sexée...

**Tableau 1-1: Bilan du progrès génétique sur 10 ans dans les grandes races françaises (progrès 2003-2013; Institut de l'élevage et INRA).**

	Prim'holstein	Montbéliarde	Normande
Lait (kg/lactation standard)	952	685	720
TP (g/kg)	+ 0,3	-0,3	+0,7
TB (g/kg)	- 1,6	- 0,3	- 0,1

**Tableau 1-2: Techniques modernes et productivité laitière.**

Sélection	100-200 kg/VL/an
Holstéinisation	1 000 kg/VL

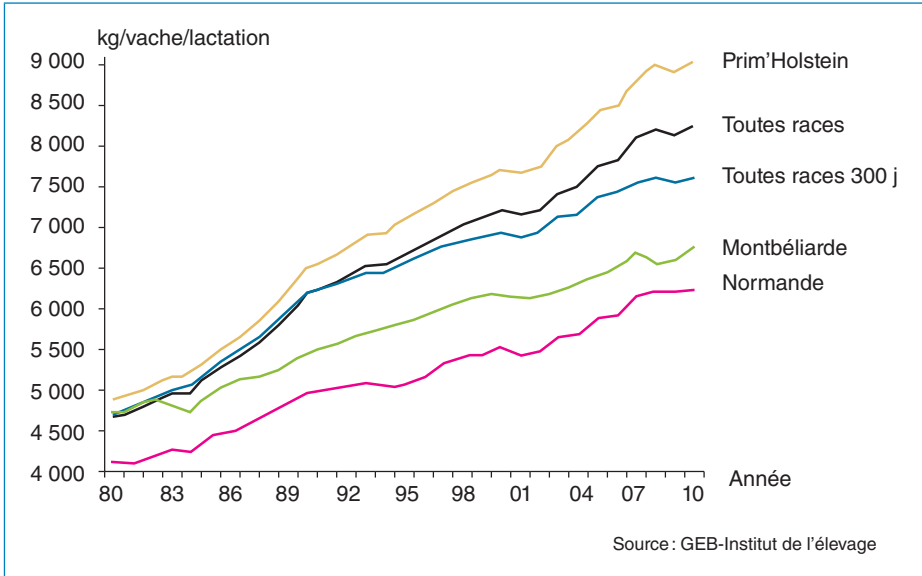


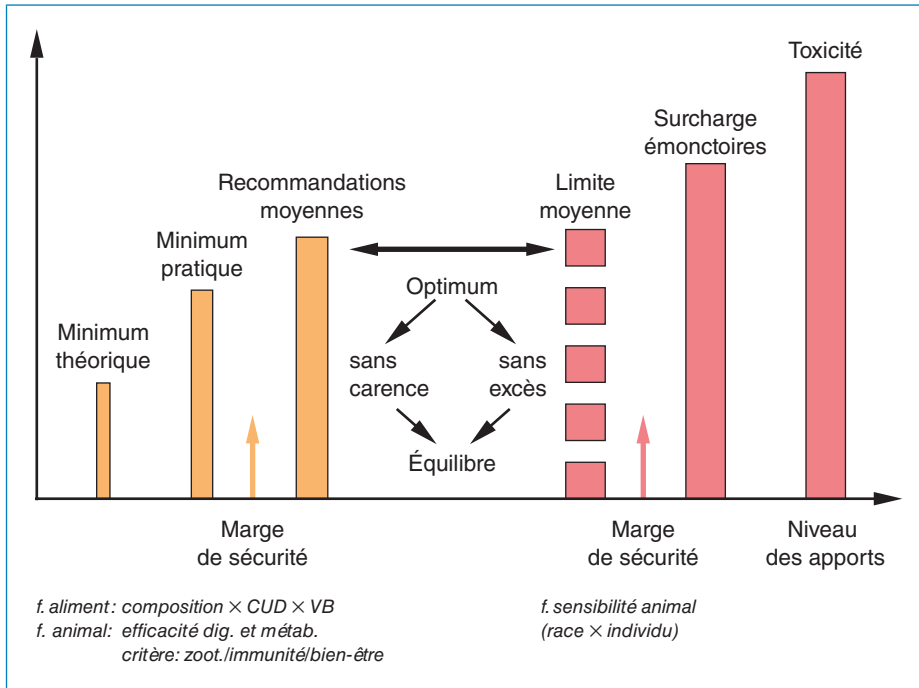
Figure 1-4: Rendements des vaches au contrôle laitier en France de 1980 à 2010.

## Besoins alimentaires

La valorisation du potentiel génétique, continuellement rehaussé par la sélection, suppose la satisfaction complète et constante des besoins alimentaires pour assurer la meilleure réussite zootechnique, sanitaire et économique.

Ces besoins alimentaires sont évalués par les chercheurs dans des conditions standardisées, bien contrôlées, aboutissant à des recommandations moyennes. Celles-ci méritent d'être modulées en fonction des fluctuations des exigences individuelles des animaux et des variations d'efficacité des apports nutritifs (digestibilité, rendement métabolique). Elles doivent aussi comporter des marges de sécurité pour atteindre un optimum pratique, sans excès de zèle susceptible de provoquer des surcharges techniquement inutiles, économiquement dispendieuses et sanitaires dangereuses (Figure 1-5).

Mais encore faut-il prendre en compte l'ensemble des critères qui concernent non seulement la productivité laitière et l'efficacité alimentaire (technique et économique), mais aussi la fertilité, la qualité du lait et de la viande, la prévention des maladies métaboliques, et encore l'immunité et la résistance au stress. Or, le niveau des exigences nutritionnelles, surtout qualitatives, progresse nettement en fonction de la hiérarchie de ces divers objectifs, comme le traduit la Figure 1-6.



**Figure 1-5: Notion de besoin alimentaire.**

# Digestion des glucides

## Produits de la digestion des glucides

La digestion fermentaire dans les préestomacs attaque tous les glucides, plus ou moins complètement. Elle entraîne une disparition totale des sucres solubles et des pectines ; elle dégrade l'essentiel de l'amidon. Toutefois, une petite part de celui-ci peut échapper aux fermentations, d'autant que le transit est rapide et qu'il s'agit d'un amidon résistant (de maïs ou de sorgho) ou que des traitements technologiques (par exemple le tannage) en ont réduit la fermentescibilité ; cette fraction de l'amidon subira, dans l'intestin grêle, une hydrolyse enzymatique aboutissant au glucose. Pour ce dernier, le rendement énergétique est meilleur que pour les acides gras volatils, mais l'absorption et l'utilisation métabolique sont quelque peu limitées. Un excès d'amidon qui court-circuite le rumen (amidon *by-pass*) exposerait au risque de « postcombustion » dans le gros intestin. Dans le rumen, 70 à 80 % des glucides pariétaux (hormis la lignine) seraient digérés en moyenne (avec de grandes variations liées au degré de polymérisation de la cellulose, et d'imprégnation par la lignine, la cutine, la subérine, la silice, ou liées à l'effet inhibiteur des tanins) (Figure 2-7).

Ce mode de digestion produit de la chaleur, des gaz, des acides gras volatils.

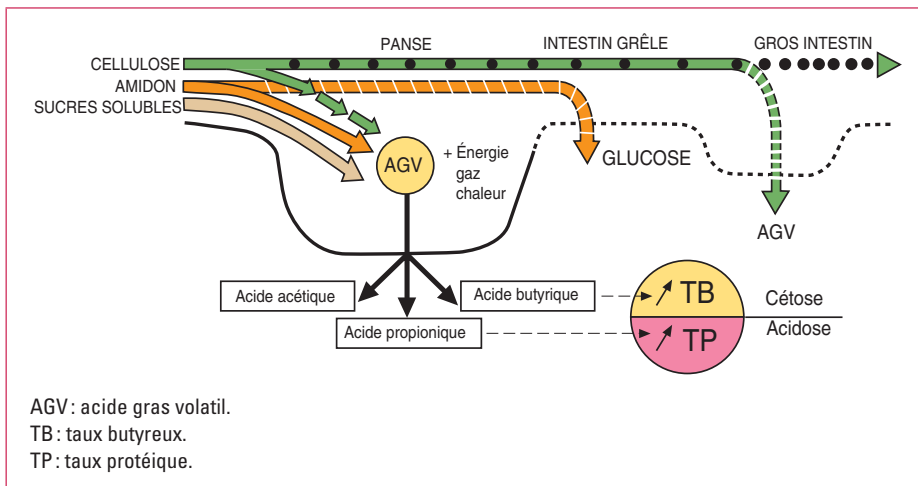


Figure 2-7: Digestion des glucides chez les ruminants.



## Chaleur de fermentation

La chaleur de fermentation serait de l'ordre de 500 à 600 kcal/vache/j (avec une nette augmentation selon l'ingéré total, fonction de la production). De plus, la composition de la ration influence la chaleur produite par la fermentation (fourrages > concentrés). À cela s'ajoutera au moins 3 000 à 3 500 kcal/vache/j sous forme de frais d'exploitation métabolique des AGV, expliquant la bonne tolérance des ruminants au froid, d'autant plus qu'ils sont très productifs.

## Libération de gaz

La libération de gaz atteindrait 1 000 à 2 000 l/vache/j. Elle se partage presque à égalité en gaz carbonique et en méthane, ce dernier représentant une perte énergétique de 5 à 8 %. L'éructation peut être entravée par le défaut de fibres, la présence de saponines, d'hétérosides cyanogénétiques dans les légumineuses (dont la richesse en pectines exagère par ailleurs la libération rapide et abondante de gaz).

## Production d'acides gras volatils

La production d'acides gras volatils serait proche de 3 kg/vache/j en moyenne; elle proviendrait pour au moins 80 % de la fermentation des glucides (à côté des protéides) et peut couvrir jusque 70 % des besoins énergétiques.

---

## Acides gras volatils

Le mélange d'acides gras volatils issus des fermentations ruminales comporte principalement de l'acide acétique (C2) : de 45 à 70 %; de l'acide propionique (C3) : de 15 à 25 %; et de l'acide butyrique (C4) : de 5 à 15 %. Il contient également des taux mineurs d'acides formique, caprique, caproïque, valérique, isovalérique et isobutyrique, ces derniers pouvant avoir l'intérêt de faciliter la synthèse bactérienne d'acides aminés ramifiés. L'acide lactique qui est un intermédiaire normal ne s'accumule dans le rumen que lors d'exacerbation pathologique des fermentations, à partir d'un pH inférieur à 5,5 (*Figure 2-8*).

Les proportions des acides gras majeurs (C2-C3-C4) sont dépendantes du pH intraruminal qui commande l'orientation des fermentations et qui résulte de l'intensité de celles-ci.

La présentation physique des aliments et la nature chimique de leurs glucides déterminent cette intensité des fermentations et leurs orientations.

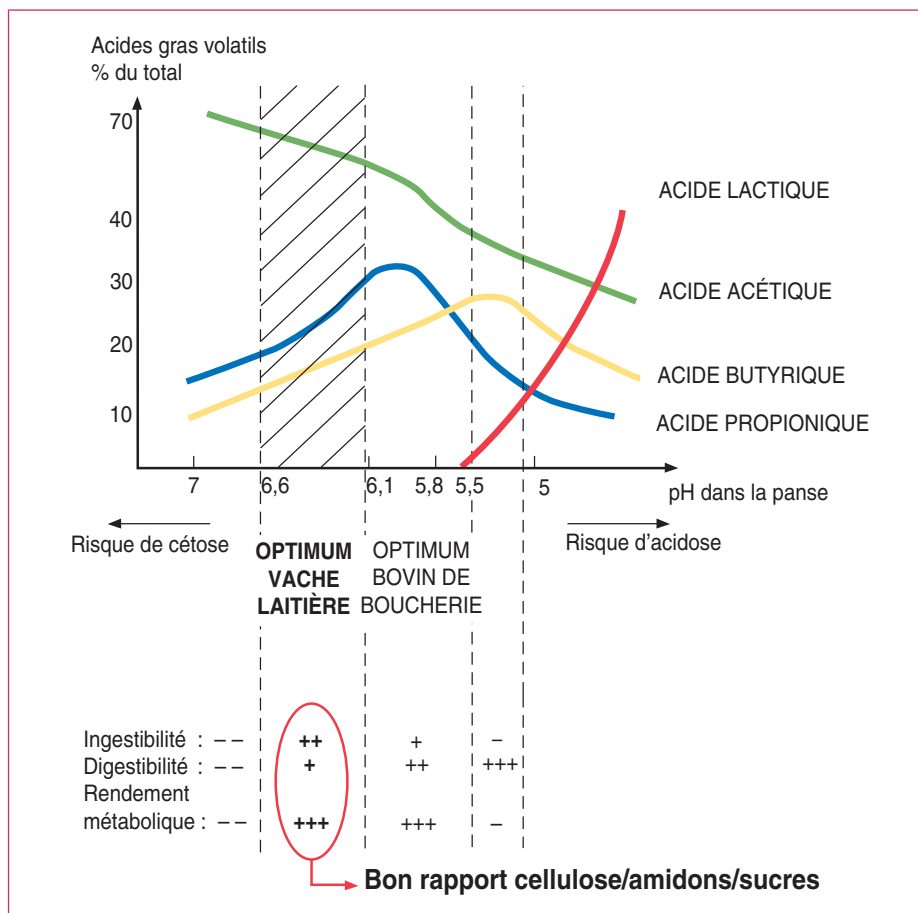


Figure 2-8: Évolution des proportions des acides gras volatils en fonction du pH ruminal.

## Présentation physique des aliments

La présentation physique des aliments conditionne le temps de mastication et donc l'abondance de la sécrétion salivaire qui peut varier de 100 à 300 l par jour chez une vache et dont le très fort pouvoir tampon tend à assurer une bonne stabilisation du pH intraruminal. En outre, la fibrosité des aliments réduit la vitesse d'attaque microbienne qui est proportionnelle à la surface et donc à la finesse des particules; enfin, elle va de pair avec une plus faible fermentescibilité des glucides pariétaux.

## Nature chimique

La nature chimique des glucides et les taux des différents composants glucidiques décident aussi très fortement de la fermentescibilité de la ration.

Par ordre de vitesse décroissante de fermentations, le classement s'établit ainsi: cellulose vraie-hémicellulose < amidon < substances pectiques < sucres (Figure 2-9).

## Optimiser la fermentescibilité de la ration

### Fourrages

Les fourrages sont longuement mastiqués, fortement insalivés, lentement fermentés. Ils entraînent une libération modérée et étalée d'acides gras volatils, bien neutralisés et facilement absorbés au fur et à mesure de leur production. Le pH intraruminal reste voisin de 7 et privilégie la fermentation acétique. Cet acide acétique est profitable au taux butyreux puisqu'il est le précurseur majeur des acides gras courts et moyens qui sont particulièrement abondants dans le lait de ruminant. En revanche, son rendement énergétique est médiocre pour l'engraissement. Son utilisation métabolique est surtout tributaire d'une disponibilité suffisante en acide propionique.

À défaut, le catabolisme de l'acide acétique est dérivé vers l'accumulation de corps cétoniques responsables de cétose.

Cette affection est favorisée par des rations médiocres, trop cellulosiques, qui dépriment triplement les apports énergétiques par les baisses cumulées de l'ingestibilité, de la digestibilité et du rapport propionate/acétate. Elle est déclenchée par

SUCRES	>	INULINE	>	AMIDON	>	CELLULOSE DIGESTIVE
SUBSTANCES PECTIQUES						
Pulpes d'agrumes		Pulpes de betteraves		Grains > pommes de terre		
Mélasses Betteraves		Endives (racines)		Blé, seigle > orge, avoine > maïs > sorgho		
Fruits		Topinambours		Immature ou ensilé > sec		Pellicules de graines, issues de céréales, drêches de brasserie, fourrages jeunes
Tiges maïs et sorgho				Farine fine > farine grossière		
Lactosérum et dérivés				Forme cuite > forme crue		

**Figure 2-9: Fermentescibilité des différentes sources glucidiques (par ordre de vitesse décroissante de fermentation).**

## **Fiches techniques des aliments**

### **Index**

	Fiche
Fourrages verts .....	1
Foins .....	2
Ensilage d'herbe .....	3
Ensilage de maïs .....	4
Céréales .....	5
Tourteaux .....	6
Protéagineux .....	7
Coproduits .....	8
Analyse alimentaire .....	9
Interprétation des critères d'analyse d'un ensilage.....	10

# Fiches techniques des aliments 1

Aliments

Fourrages verts

**Dactyle**

**Fléole**

**Ray-grass anglais**

**Pâturin des prés**

**Trèfle blanc**

**Luzerne**

Exemples de graminées (sources d'énergie et de K<sup>+</sup>)

Exemples de légumineuses (sources d'N, de Ca<sup>2+</sup> et de Mg<sup>2+</sup>)

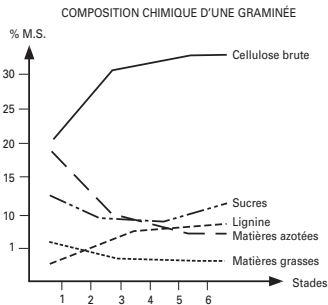
## Origine

- Prairies permanentes (non sélectionnées ou prairies « délaissées »)
- Prairies temporaires (semées en graminée + légumineuse)
- Prairies artificielles (semées en légumineuse seule)

Un aliment en constante évolution

- Graminée :
- déprimage épi à moins de 7 cm
  - épi à 10 cm épi à 7-10 cm
  - début épiaison 5-10 % épis visibles
  - épiaison 50 % épis visibles
  - début floraison 5-10 % étamines sorties
- Stade idéal « pâturage »

## Valeur alimentaire



La valeur alimentaire **très variable** dépend de la composition chimique, celle-ci varie en f(espèce, âge de la plante + conditions de pousse)

Valeur alimentaire : prairie permanente (Normandie) (/kg MS)

	UFL	UEL	PDIN (g)	PDIE (g)	CB (g)	Ca (g)	P (g)	Ca abs (g)	P abs (g)
Déprimage	1,01	0,90	143	106	215	6,5	4,1	2,3	2,9
Épi à 10 cm	0,97	0,98	114	99	244	6,0	4,0	2,1	2,8
Début épi.	0,89	1,02	88	91	272	5,6	3,8	2,0	2,7
Épiaison	0,79	1,11	72	82	313	5,2	3,6	1,8	2,5
Floraison	0,70	1,16	61	74	335	4,7	3,6	1,7	2,5

## Système de distribution

Systèmes de pâturage :

- pâturage libre
- pâturage intensif
- pâturage tournant
- pâturage rationné
- zéro pâturage

de plus en **plus productif** et **moins de gaspillage**, mais de plus en **plus technique** + possibilité de **conserver** les surplus

## Conclusions

Il faut toujours donner une herbe qui est **jeune** (= valeur alimentaire ↑), **appétante** et **à volonté** (hauteur de l'herbe dans le pré > 10 cm)

## Limites d'utilisation

1. Prairies artificielles (rarement pâturées)
2. Prairies permanentes et temporaires

Climatique :

- piétinement de la prairie
- croissance de la plante zéro

Composition de la plante :

- trop jeune + absence de transition alimentaire :
  - riche en eau + pauvre en CB (= sous-alimentation, TB ↓)
  - pauvre en Mg (= tétanie d'herbage)
  - riche en N (= fertilité des vaches ↓)
- riche en nitrates (toxicité)
- emphysème des regains (toxicité)
- météorisation (avec pâture riche en légumineuses)
- trop vieille :
  - riche en CB + pauvre en N (= sous-alim.)

## Ration classique

Pâturage à volonté + 2 kg de céréales + CMV 12:12 + pierres à lécher (sel + oligo-éléments)

L'herbe toute seule a une bonne valeur alimentaire :

- printemps = 20 à 22 kg lait/j
- été = 12 à 15 kg lait/j
- automne = 10 à 12 kg lait/j

## Fiches techniques des aliments 2

### Aliments

### Foins

#### Origine

Il est nécessaire de faire des stocks de fourrage pour l'hiver = **FOIN**  
Fourrage résultant de la dessiccation de l'herbe (80 % → 15 % eau), par le soleil (naturelle) ou en grange (artificielle)

 **remaniements** et **pertes**

#### Méthode

1. Choix du stade de récolte (épiaison)
2. Fauche + conditionnement
  - fanage
  - andainage
3. Séchage (3 à 4 jours au soleil)
- 4a. Pressage en ballots ou balles, **ou**
- 4b. Séchage en grange
5. Stockage en lieu sec

#### Stade :

- |                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| - épi à 10 cm     | Stade idéal « foin »    |
| - début épiaison  | épi à 7-10 cm           |
| - <b>épiaison</b> | 5-10 % épis visibles    |
| - début floraison | 50 % épis visibles      |
|                   | 5-10 % étamines sorties |

#### Pertes

**Conservation délicate** car les pertes peuvent être très importantes (10 à 40 % MS initiale):

- pendant le **fanage**:
  - mécanique (retournements...)
  - climatique (rayons UV, lessivage)
  - respiration (10 à 15 % MS)
- pendant le stockage f(humidité du foin)
- pendant la distribution (pertes de feuilles)

#### Conclusions

Valeur alimentaire du foin très variable.  
Foin utilisé surtout comme complément de l'ensilage de maïs (ou de sous-prod.) pour sécuriser les fermentations dans le rumen

#### Système de distribution

##### À volonté :

- à l'auge, si fourrage principal (10 à 14 kg/j)
- en râtelier, si en complément (1 à 2 kg/j)

#### Valeur alimentaire

La valeur alimentaire variable dépend de la composition chimique, celle-ci varie en f(espèce, âge de la plante + conditions de séchage)

Valeur alimentaire : foin prairie permanente (Normandie)

(/kg MS)	UFL	UEL	PDIN (g)	PDIE (g)	CB (g)	Ca (g)	P (g)	abs (g)	abs (g)
<b>Épiaison</b>									
- ventilé	0,71	1,11	69	82	333	4,2	3,1	1,5	2,0
- soleil beau									
temps	0,72	1,11	69	82	333	4,2	3,1	1,5	2,0
- soleil pluie									
< 10 jours	0,69	1,16	65	79	351	4,2	3,1	1,5	2,0

Foin de bonne qualité = vert, odeur aromatique, bien sec, riche en feuilles

#### Limites d'utilisation

Refus de consommation ou foin toxique :

- trop vieux et poussiéreux
- putréfactions, moisissures...
- présence de plantes toxiques

#### Ration classique

**Vache laitière** (5 à 10 kg lait/j) = foin à volonté + 2 kg de céréales + CMV 12:12 + pierre à lécher (sel + oligo-éléments)

**Génisse** (800 g/j) = foin à volonté + 1 kg de céréales + CMV 12:12 + pierre à lécher (sel + oligo-éléments)

Foin utilisé dans les zones de production de fromage à pâte cuite (comté)



## Fiches techniques des aliments 3

Aliments

Ensilage d'herbe

**Ensilage direct :**  
fauche → silo

### Origine

Il est nécessaire de faire des stocks de fourrage pour l'hiver = **ENSILAGE** :

- prairies permanentes
- prairies temporaires
- prairies artificielles

Fourrage résultant de la fermentation acide par les anaérobies lactiques



remaniements et pertes

### Système de distribution

À volonté :

- à l'auge ou au silo (libre-service) (9 à 14 kg/jour)
- dans un mélange 1/3 ensilage d'herbe + 2/3 ensilage de maïs

### Valeur alimentaire

La valeur alimentaire variable dépend de la composition chimique, celle-ci varie en f(espèce, âge de la plante + type de fermentation)

Valeur alimentaire : ensilage prairie permanente (Normandie)

(/kg MS)	UFL	UEL	PDIN (g)	PDIE (g)	CB (g)	Ca (g)	P (g)	C abs (g)	P abs (g)
Début épiaison									
- brins courts									
sans conserv.	0,89	1,18	80	62	296	6,3	3,2	2,2	1,9
- brins courts									
avec conserv.	0,89	1,09	82	72	296	6,3	3,2	2,2	1,9
- préfané (33,5 % MS)									
coupe fine	0,85	1,06	87	72	285	6,3	3,2	2,2	1,9
- mi-fané (5 % MS)	0,82	1,07	86	83	301	6,3	3,2	2,2	1,9
conserv. = conservateur									

### Ration classique

Ensilage à volonté + 2 kg de céréales + CMV 12:12 + pierres à lécher (sel + oligo.)

### Méthode

1. Choix de la plante (MS ↑, sucres solubles ↑, pouvoir tampon ↓)
2. Choix du stade de récolte (début épiaison ou épiaison)
- 3a. Fauche + conditionnement + hachage (brins 5 à 10 cm)
- 3b. Séchage, 1 jour au soleil = ensilage préfané

**Ensilage préfané :**  
fauche + séchage (24 h) → silo

- 4a. Remplissage rapide du silo (taupinière, couloir, tour)
- 4b. Ajout d'additif : acide, substrat, inoculum, bactériostatique
5. Tassement rapide du fourrage dans le silo (élimination de l'air)
6. Fermeture rapide et hermétique du silo
7. Fermentation pendant 3 à 4 semaines

**Objectif : fermentation lactique et pH < 4 = fourrage stable**

### Pertes

Conservation délicate car les pertes peuvent être importantes (5 à 30 % MS initiale) :

- pendant la récolte (respiration...)
- pendant la fermentation (respiration, écoulement de jus [f(%MS)], gaz, fermentation [f(vitesse de fermentation)])
- pendant le stockage (si entrée d'air ou d'eau)
- pendant la distribution (si ensilage pas utilisé assez rapidement, (reprise de la fermentation)

### Limites d'utilisation

Refus de consommation ou ensilage toxique :

- dérive dans la fermentation, production : (acides acétique + butyrique, putréfaction...)
- destruction : (des protéines, acide lactique ↓)
- post-fermentation, production : (éthanol, mycotoxines [fertilité ↓]...)
- ensilage interdit dans les zones de fabrication de fromage à pâte cuite (comté)

### Conclusions

Il faut toujours choisir une plante facile à ensiler. Les mots-clés : rapidité (ensilé et désilé), anaérobie, acidification, pré-désilage (enlever les parties moisies avant distribution aux vaches)