



ÉNERGIE

Par : Dany Cinq-Mars, agronome
Nutrition et alimentation
MAPAQ/Direction des services
technologiques
<http://www.agr.gouv.qc.ca>
Pour commentaires :
dcinqmar@agr.gouv.qc.ca
Révisé le 13 mars 2001

Tout ce qui vit consomme et/ou produit de l'énergie. Cette énergie provient ultimement du soleil.

La forme d'énergie utilisée par les bovins pour les besoins d'entretien, de croissance, de production laitière et de reproduction, provient de l'adénosine triphosphate, ou ATP. Ce combustible organique ne se trouve pas directement dans la nature. L'animal l'obtient plutôt en transformant l'énergie contenue dans les aliments qu'il ingère. Cette dernière se retrouve sous différentes formes. Généralement, ce sont les hydrates de carbone structuraux et non structuraux qui abondent le plus dans les produits végétaux. Puis, viennent les protéides et les matières grasses.

L'énergie totale, que l'on retrouve dans chacune de ces composantes alimentaires, s'évalue en les brûlant dans un appareil spécialement conçu pour mesurer l'énergie dégagée par cette combustion. L'unité de mesure généralement utilisée demeure la calorie. Elle se définit comme étant *l'énergie nécessaire pour provoquer, dans un*

gramme d'eau, une augmentation de 1 degré Celsius. Une kilocalorie (Kcal) vaut 1000 calories. Une mégacalorie (Mcal) vaut 1000 Kcal ou 1 000 000 calories. On utilise également la joule ou la mégajoule (Mjoule) comme unité de mesure énergétique internationale. Pour convertir la joule en calories, on utilise le facteur suivant : 1 calorie = 4,184 joules.

L'énergie totale que dégage un aliment s'identifie comme étant *l'énergie brute (EB)*. On calcul l'énergie digestible (ED) en soustrayant l'énergie perdue dans les fèces de l'énergie brute (**ED = EB aliments - EB fèces**).

L'énergie métabolisable apparente se mesure en soustrayant de l'énergie digestible l'énergie brute contenue dans l'urine (EB urine) ainsi que celle perdue dans les gaz issus de la digestion (EB gaz).

$$\mathbf{EM = ED - EB\ urine - EB\ gaz}$$

Par ailleurs, lorsque l'animal digère les aliments ingérés, il se dégage une certaine quantité d'énergie libérée sous forme de chaleur. Cette « extra-chaleur » de digestion devient considérable chez les ruminants qui soutiennent une importante fermentation microbienne dans le rumen. Parallèlement, après la digestion, lorsque les nutriments sont incorporés dans les différentes voies métaboliques de l'animal, il

se produit également une perte énergétique toujours exprimée sous forme d'extra-chaueur. Par voies métaboliques, mentionnons la respiration, l'activité physique, la production laitière, la croissance, etc.

Lorsque toute l'énergie perdue sous forme d'extra-chaueur est soustraite de l'énergie métabolisable, nous obtenons l'énergie nette ($EN = EM - \text{extra-chaueur}$). On peut également définir l'énergie nette comme étant *l'efficacité de l'utilisation de l'énergie métabolisable d'un aliment par l'animal*. Cette efficacité varie selon les aliments et selon que l'animal utilise son énergie pour l'entretien, la croissance, la production laitière, etc. On parle alors d'énergie nette d'entretien (En_e), d'énergie nette de gain (En_g) et d'énergie nette de lactation (En_l). L'unité de mesure demeure la même que pour les autres expressions d'énergie, soit la calorie ou la joule.

1. Mesures de l'énergie

On établit des corrélations entre des mesures directes d'énergie nette et d'autres plus simples à évaluer. Par exemple, on analyse la fibre de plusieurs aliments que l'on associe à des évaluations directes d'énergie. On produit ensuite des équations de régression qui s'appliqueront à d'autres aliments. Ainsi, on se sert des unités nutritives totales (UNT) dans les équations pour estimer l'énergie métabolisable et nette des aliments.

Chez les bovins de boucherie, des chercheurs de l'Université Laval ont démontré que l'énergie des fourrages à base de graminées (**tableau 1**) était supérieure aux valeurs utilisées chez les bovins laitiers. Cette observation a également été confirmée par d'autres équipes de recherches canadiennes. Le **tableau 2** rapporte les valeurs énergétiques des fourrages à prédominance de légumineuses (McQueen et Martin 1980). Parallèlement, le **tableau 3** rapporte les valeurs énergétiques pour les ensilages de maïs.

Tableau 1 Graminées (66 %+), base 100 % matière sèche

Fibre			Valeur à l'entretien		Énergie nette (Mcal/kg)	
ADF %	NDF %	LIG %	UNT %	EM Mcal/kg	Entretien	Gain
25	49,8	2,5	78,3	2,83	1,89	1,25
26	50,9	2,6	76,9	2,78	1,85	1,21
27	52,0	2,8	75,6	2,73	1,81	1,18
28	53,2	3,0	74,2	2,68	1,76	1,14
29	54,3	3,1	72,8	2,63	1,72	1,10
30	55,4	3,3	71,4	2,58	1,68	1,06
31	56,5	3,5	70,1	2,53	1,63	1,03
32	57,6	3,6	68,7	2,48	1,59	0,99
33	58,7	3,8	67,3	2,43	1,54	0,95
34	59,8	4,0	66,0	2,39	1,51	0,92
35	60,9	4,1	64,6	2,34	1,46	0,88
36	62,0	4,3	63,2	2,28	1,41	0,83
37	63,1	4,4	61,8	2,23	1,37	0,79
38	64,2	4,6	60,5	2,19	1,33	0,75
39	65,3	4,8	59,1	2,14	1,28	0,71
40	66,4	4,9	57,7	2,09	1,24	0,67
41	67,5	5,1	56,3	2,04	1,19	0,63
42	68,6	5,3	55,0	1,99	1,14	0,58
43	69,7	5,4	53,6	1,94	1,10	0,54
44	70,8	5,6	52,2	1,89	1,05	0,49
45	71,9	5,8	50,9	1,84	1,00	0,45

UNT = UNITÉ NUTRITIVE TOTALE = 112,6 - 1,372 ADF (Seoane et coll. 1991)

EM = ÉNERGIE MÉTABOLISABLE = 0,03615 UNT

EN_e = ÉNERGIE NETTE ENTRETIEN = 1,37 EM - 0,138 EM² + 0,0105 EM³ - 1,12

EN_g = ÉNERGIE NETTE GAIN = 1,42 EM - 0,174 EM² + 0,0122 EM³ - 1,65

Les lignes plus foncées correspondent aux stades de croissance :
végétatif, montaison, début épiaison, pleine épiaison, début floraison

Tableau 2 Légumineuses (66 %+), base 100 % matière sèche

Fibre			Valeur à l'entretien		Énergie nette (Mcal/kg)	
ADF %	NDF %	LIG. %	UNT %	EM Mcal/kg	Entretien	Gain
25	34,9	5,2	68,4	2,47	1,58	0,98
26	35,7	5,4	67,4	2,44	1,55	0,95
27	36,4	5,6	66,4	2,40	1,52	0,93
28	37,3	5,8	65,5	2,37	1,49	0,90
29	38,1	6,0	64,5	2,33	1,46	0,87
30	39,0	6,2	63,5	2,30	1,43	0,84
31	39,9	6,3	62,5	2,26	1,39	0,81
32	40,9	6,6	61,6	2,23	1,36	0,78
33	42,0	6,8	60,6	2,19	1,33	0,75
34	43,0	7,0	59,6	2,16	1,30	0,72
35	44,2	7,2	58,6	2,12	1,26	0,69
36	45,4	7,4	57,7	2,08	1,23	0,66
37	46,7	7,7	56,7	2,05	1,20	0,63
38	48,0	7,9	55,7	2,01	1,17	0,60
39	49,5	8,2	54,8	1,98	1,13	0,57
40	51,0	8,4	53,8	1,94	1,10	0,54
41	52,6	8,7	52,8	1,91	1,07	0,51
42	54,3	9,0	51,8	1,87	1,03	0,48
43	56,1	9,3	50,9	1,84	1,00	0,45
44	58,1	9,6	49,9	1,80	0,96	0,42
45	60,2	9,9	48,9	1,77	0,93	0,38

UNT = UNITÉ NUTRITIVE TOTALE = 92,7 - 0,973 ADF

EM = ÉNERGIE MÉTABOLISABLE = 0,03615 UNT

EN_e = ÉNERGIE NETTE ENTRETIEN = 1,37 EM - 0,138 EM² + 0,0105 EM³ - 1,12

EN_g = ÉNERGIE NETTE GAIN = 1,42 EM - 0,174 EM² + 0,0122 EM³ - 1,65

Les lignes plus foncées correspondent aux stades de croissance :
bouton, début floraison, mi-floraison, pleine floraison, mature

Tableau 3 Ensilage de maïs, maïs immature et tige de maïs, base 100 % matière sèche

ADF %	Valeur à l'entretien		Énergie nette (Mcal/kg)	
	UNT %	EM Mcal/kg	Entretien	Gain
25	72,73	2,61	1,70	1,09
26	71,92	2,58	1,67	1,06
27	71,12	2,54	1,64	1,04
28	70,31	2,51	1,61	1,01
29	69,51	2,47	1,58	0,98
30	68,10	2,44	1,55	0,95
31	67,90	2,40	1,52	0,92
32	67,09	2,36	1,49	0,90
33	66,29	2,33	1,45	0,87
34	65,48	2,29	1,42	0,84
35	64,68	2,26	1,39	0,81
36	63,87	2,22	1,36	0,78
37	63,07	2,19	1,33	0,75
38	62,26	2,15	1,29	0,72
39	61,46	2,12	1,26	0,69
40	60,65	2,08	1,23	0,66
41	59,85	2,05	1,19	0,63
42	59,04	2,01	1,16	0,60
43	58,24	1,97	1,13	0,57
44	57,43	1,94	1,09	0,54
45	56,63	1,90	1,06	0,51

UNT = UNITÉ NUTRITIVE TOTALE = 92,85 - 0,805 ADF

EM = ÉNERGIE MÉTABOLISABLE = 1,476 ENI + 0,177

EN_e = ÉNERGIE NETTE ENTRETIEN = 1,37 EM - 0,138 EM² + 0,0105 EM³ - 1,12

EN_g = ÉNERGIE NETTE GAIN = 1,42 EM - 0,174 EM² + 0,0122 EM³ - 1,65

2. Fibre alimentaire

La fibre alimentaire contribue au bon fonctionnement du rumen. En ce sens, elle reste un élément essentiel de la ration. La fibre des aliments est formée des hydrates de carbones structuraux contenus dans les plantes. Ces derniers demeurent généralement la partie la moins digestible de la plante.

Par l'analyse des fibres détergentes acides (ADF) et des fibres détergentes neutres (NDF), on peut préciser un peu plus les différents constituants d'un tissu végétal (**figure 1**). La NDF s'obtient après solubilisation dans un détergent neutre, l'ADF, après solubilisation dans un détergent acide et la lignine après digestion dans l'acide sulfurique.

Le contenu cellulaire des plantes reste la partie la plus dégradable et la plus disponible pour l'animal. Cette fraction ne contribue nullement à l'encombrement dans le rumen, car elle se solubilise très rapidement après l'ingestion. Ainsi, favoriser une augmentation de cette fraction apporte à l'animal une énergie rapidement disponible. Des fourrages jeunes contiennent une plus grande proportion de contenu cellulaire comparativement à des fourrages plus matures. L'énergie qui s'y trouve se libère et se digère rapidement dans le rumen, créant de l'espace dans ce compartiment pour

permettre à l'animal de consommer à nouveau.

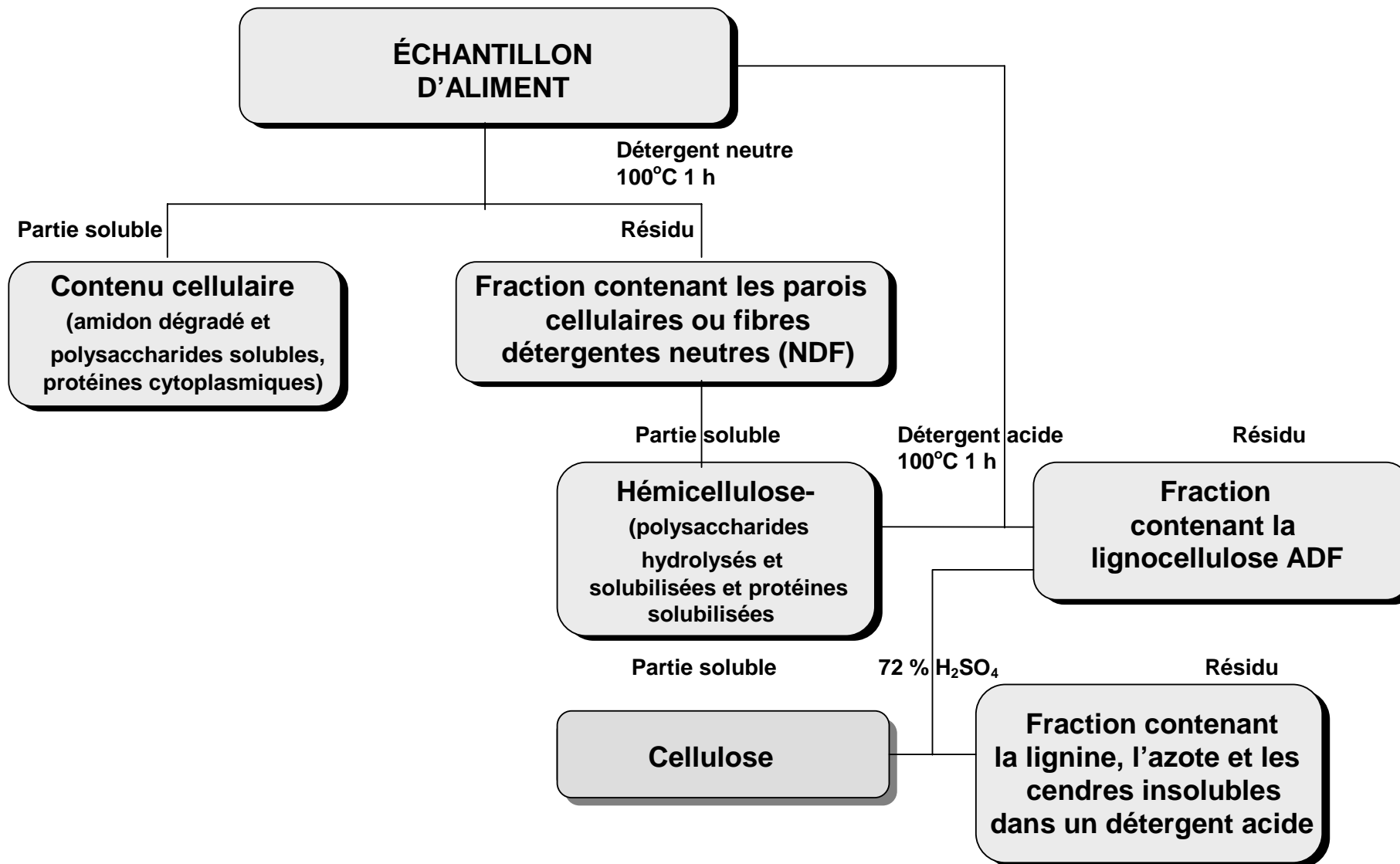


Figure 1. Schéma représentant la répartition des fibres détergentes acides (ADF) et neutres (NDF) et la lignine d'un fourrage.

Le résidu NDF contient des fractions qui peuvent être digestibles dans le rumen, comme l'hémicellulose et la cellulose. Toutefois, ces fractions se dégradent moins rapidement, de sorte qu'elles contribuent à encombrer le rumen pendant un certain temps. Cet encombrement dure jusqu'à ce que les fractions soient dégradées. L'espace qu'elles occupent peut empêcher l'animal de consommer davantage si le rumen est plein. Il faut attendre que la dégradation des fractions digestibles se complète pour qu'il y ait à nouveau de la place dans le rumen.

C'est pourquoi, on associe souvent la teneur en fibres NDF des fourrages à la consommation volontaire de matière sèche. Plus la NDF augmente, plus la consommation volontaire de matière sèche diminue. Nous savons que, plus un fourrage prend de la maturité, plus la fibre NDF augmente. Ce faisant, l'encombrement ruminal augmente aussi et la consommation volontaire de ce fourrage diminue. Il faut donc viser un fourrage faible en NDF pour en maximiser son ingestion.

Ainsi, la fraction de la fibre NDF qui est efficace à stimuler la salivation, la mastication, la rumination et la motricité ruminale se définit comme étant *la fibre NDF (NDFe) efficace* (NRC 1996).

Grâce à cette dernière et à son action, il devient possible de prédire efficacement les valeurs de pH ruminal. On sait qu'avec des pH en dessous de 6,2, la production de protéines microbiennes diminue linéairement. On a vu à la section précédente l'importance de maximiser la production de protéines microbiennes dans le rumen.

Le **tableau 4** sert de guide pour établir les exigences en fibres NDFe chez les bovins de boucherie. Puis, le **tableau 5** nous donne des valeurs de NDFe pour quelques aliments couramment utilisés chez les bovins.

Tableau 4 Estimation des exigences en fibres NDF efficaces (NDFe) chez les bovins de boucherie

Type de régime alimentaire	Exigences minimales en NDFe % de la matière sèche
Finition Riches en concentrés Bonne régie alimentaire avec ionophores	5 à 8 ¹
Fourrages et concentrés sans ionophores Régie alimentaire médiocre	20
Riche en concentrés mais visant à optimiser la production de protéines microbiennes et l'utilisation d'hydrates de carbone non-structuraux	20 ²

Source : NRC (1996)

¹ Le but est de garder le pH ruminal au-delà de 5,6 à 5,7. Rappelons qu'en dessous d'un pH ruminal de 5,6, l'acidité ruminale provoque une diminution marquée, voir un arrêt de la prise alimentaire. Ainsi, les valeurs suggérées ici représentent un plancher. Il demeure préférable de s'en tenir à des valeurs supérieures à ces valeurs minimales.

² Cette recommandation vise à conserver un pH ruminal à au moins 6,2 pour maximiser l'activité ruminale.

Tableau 5 Valeur de la fibre NDF efficace¹ (NDF_e)

Ingrédients	NDF _e (exprimé en % de la NDF totale)
Fourrages de légumineuses :	
Pleine longueur	92
20 % de plus de 2,5 cm de long	82
6 mm de long	67
Fourrages de graminées :	
Pleine longueur	98
20 % de plus de 2,5 cm de long	88
6 mm de long	73
Ensilage de maïs :	
Mature (> 50 % de grains) :	
Hachage normal (longueur de coupe théorique 1 cm)	71
Hachage fin (longueur de coupe théorique 0,6 cm)	61
Immature (< 50 % de grains) :	
Hachage normal (longueur de coupe théorique 1 cm)	81
Hachage fin (longueur de coupe théorique 0,6 cm)	71
Maïs en épis haché	56
Concentrés :	
Orge, blé, avoine moulue	34
Maïs rond, maïs humide rond	100
Maïs cassé ou roulé	60
Tourteau de soya	23
Fève de soya entière	100
Gros gluten de maïs	36
Farine de viande, de poisson, de sang	8 - 9

Source : NRC (1996)

¹ La fibre NDF efficace est celle qui stimule la rumination. Elle se mesure comme étant le pourcentage d'un échantillon qui reste sur un tamis de 1,8 mm après criblage.

Concernant la fibre ADF, elle contient la cellulose et la lignine qui forment souvent un complexe appelé *lignocellulose*. Dans un fourrage, plus la fibre ADF augmente, plus la cellulose s'intègre à la lignine. Ceci assure à la plante une rigidité accrue pour éviter la verse. Cependant, la lignocellulose demeure très peu digérée dans le rumen. Ainsi, la teneur en cette fraction contribue directement à l'énergie que contiennent les plantes. Donc, plus un fourrage contient d'ADF, moins il est digestible et moins il possède d'énergie.

Parallèlement, un ensilage ou un foin qui chauffe voit sa fraction de fibres ADF s'élever. De plus, la protéine peut s'associer à cette fraction et devenir ainsi indigestible. Dans un cas, les moisissures consomment une partie du fourrage. Cette énergie, perdue sous forme de chaleur, cause une perte d'énergie utilisable par l'animal et une augmentation de la fibre ADF. Dans l'autre cas, lorsque le fourrage chauffe beaucoup, une partie des protéines, en chauffant, s'associent à d'autres composés pour former un complexe indigestible qui se retrouve dans la fraction ADF-N ou la protéine contenue dans la fraction ADF.

Il faut, par conséquent, faire du fourrage jeune pour obtenir une fibre ADF faible et une énergie élevée dans les fourrages. Ces derniers doivent être entreposés dans des conditions pour éviter de chauffer, de façon à

ce qu'ils conservent leur haute valeur nutritive.

En se servant des valeurs obtenues par l'analyse de l'ADF et de la NDF, il devient possible de calculer les valeurs énergétiques contenues dans divers aliments (tableaux 1, 2 et 3).

3. Lipides

Les lipides forment un groupe de composés qui partagent certaines caractéristiques. Ils sont relativement insolubles dans l'eau, mais se dissolvent dans les lipides non polaires tels que l'éther, le chloroforme et le benzène. On peut classer les lipides en trois grandes catégories. Premièrement, on retrouve les lipides simples. Dans cette catégorie, on inclut les esters d'acide gras avec généralement du glycérol ; les huiles, les graisses et les cires forment ce groupe. Deuxièmement, on retrouve les lipides composés. Cette catégorie regroupe les phospholipides, les lipoprotéines et les autres composés similaires. Finalement, on retrouve les lipides dérivés de l'hydrolyse des deux groupes précédents. C'est dans cette catégorie que se retrouvent stérols, glycérols, corps cétoniques, cholestérol, cholestéryl esters et autres.

3.1 Incorporation des lipides dans les aliments

Les lipides normalement présents dans les aliments des bovins comblent les exigences en acides gras essentiels. L'ajout spécifique de gras dans les régimes pour ruminants s'effectue donc pour d'autres raisons.

Ainsi, dû à la forte teneur énergétique des lipides, l'incorporation de matières grasses dans les aliments s'effectue surtout pour hausser l'énergie de la ration. Toutefois, les lipides alimentaires doivent franchir l'obstacle ruminal avant de se voir absorber par l'animal.

L'ajout supplémentaire de moins de 10 % de lipides alimentaires peut provoquer une diminution de plus de 5 % de la dégradation des fibres alimentaires dans le rumen (Jenkins 1993 ; Zinn et Shen 1996). Par contre, l'incorporation de gras alimentaire influence moins la digestion des hydrates de carbone non structuraux, comme l'amidon.

L'effet inhibiteur des lipides sur la digestion des fibres peut s'expliquer par deux théories

(Jenkins 1993). Premièrement, l'ajout d'acides gras à une culture microbienne ruminale réduit la croissance et le métabolisme des micro-organismes qui la composent. Weisbjerg et coll. (1992) dans leur revue, rapportent que les bactéries gram positives sont les plus inhibées par les lipides alimentaires alors que les gram négatives demeurent peu affectées. Parallèlement, les gras seraient toxiques pour les protozoaires.

Deuxièmement, les lipides alimentaires ingérés se retrouvent rapidement adsorbés, soit sur les particules alimentaires ou soit directement sur les micro-organismes. Cette couche « protectrice » empêcherait le contact direct entre ces deux entités, diminuant ainsi l'activité microbienne. La présence d'acides gras insaturés et d'acides gras à chaîne moyenne accentue ce phénomène. Par contre, l'inhibition serait ralentie par une forte proportion de foin sec dans le régime alimentaire.

Références

- JENKINS, T.C. 1993. Symposium: *Advances in ruminant lipid metabolism*. Lipid metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 76: 3851-3863.
- McQUEEN, R.E. and MARTIN, J.P. 1980. Laboratory evaluation of nutritional quality of forages. *Ad hoc committee of the ruminant nutrition of the expert committee on animal nutrition*. Can. Committee on Anim. Prod. Services. 13 p.
- NRC, 1996. *Nutrient requirements of beef cattle*. Seventh revised edition. Nutrient requirement of domestic animals. National Research Council. National Academy Press. Washington. D.C. 242 pages.
- SEOANE, J.R., BEAULIEU, Ch., FLOREZ, J. and DUPUIS, G. 1991. *Evaluation of the nutritive value of grass hays for growing sheep*. Can. J. Anim. Sci. 71 :1135/1147.
- WEISBJERG, M.R., BORSTING, C.F. and HVELPLUND, T. 1992. *The influence of tallow on rumen metabolism, microbial biomass synthesis and fatty acid composition of bacteria and protozoa*. Acta. Agric. Scand., Sect. A., Anim. Sci. 42: 138-147.
- ZINN, R.A. and SHEN, Y. 1996. *Interaction on dietary calcium and supplemental fat on digestive function and growth performance in feedlot steers*. J. Anim. Sci. 74:2303-2309.