

Digestion ruminale et absorption intestinale des protéines du lupin extrudé chez la vache laitière

C Benchaar, C Bayourthe, R Moncoulon, M Vernay *

ENSAT, laboratoire de zootechnie et des productions animales, 145 av de Muret,
31076 Toulouse Cedex, France

(Reçu le 9 avril 1991; accepté le 28 août 1991)

Résumé — Quatre vaches Holstein en lactation munies de canules (rumen, duodénum et iléon) sont utilisées afin d'étudier l'effet de l'extrusion à 195 °C sur le devenir des matières organique et azotée de la graine entière du lupin (*Lupinus albus* cv Lublanc). Le Cr-EDTA et YbCl₃ sont utilisés comme marqueurs respectifs des phases liquide et solide. Les protéines bactériennes sont estimées par le biais des bases puriques et de ¹⁵N. L'incorporation du lupin extrudé dans la ration des animaux ne modifie pas l'orientation des fermentations et la digestion apparente de la matière organique dans le rumen; par contre, elle diminue la dégradation des matières azotées dans la panse et de ce fait augmente d'une part, la quantité de protéines d'origine alimentaire à l'entrée du duodénum et, d'autre part, leur digestibilité dans l'intestin grêle (l'arrivée de l'azote bactérien dans le duodénum n'étant pas modifiée). L'ingestion de lupin extrudé n'affecte pas la digestibilité des matières organique et azotée dans l'ensemble du tube digestif.

lupin / extrusion / protéines / rumen / intestin

Summary — **Ruminal digestion and intestinal absorption of extruded lupin seeds in lactating cows.** Four lactating cows fitted with permanent ruminal, duodenal and ileal cannulae were used to study the effect of extrusion of whole lupin seeds at 195 °C (*Lupinus albus* cv Lublanc) on organic matter (OM) and nitrogen (N) degradation in the rumen and their flow to and absorption from the small intestine. Raw whole lupin seeds (RWLS) and extruded whole lupin seeds (EWLS) were fed in diets containing 15.5% crude protein and composed of 22.6% whole lupin seeds, 56.5% corn silage, 10.2% corn grain and 10.7% Italian ray-grass on a DM basis, supplemented with vitamins and minerals. Chromium ethylenediaminetetraacetic (Cr-EDTA) and ytterbium chloride (YbCl₃) were used as liquid and particulate markers respectively, while purines and ¹⁵N ammonium sulfate were utilized as bacterial markers. Cows fed EWLS had a similar ruminal ammonia N and volatile fatty acid concentrations and efficiency of bacterial protein synthesis compared to those fed the RWLS diet. Total tract OM and N digestion were not affected by inclusion of EWLS instead of RWLS; the corresponding mean values were 70 and 71%. Apparent degradation of OM and N in the rumen were 44 and 64% for diets containing RWLS, and 40 and 39% for EWLS diets. Feeding diets including EWLS both increased non ammonia N and dietary N flow to the duodenum compared with diets containing RWLS (472 vs 357 g/d) and (263 vs 153 g/d) respectively. Absorption from the small intestine (g/d and % entering) of dietary N was higher for EWLS diets (146 vs 62 g/d; 34 vs 15%). The PDIA, PDIE and PDIN contents (g/kg of DM) of RWLS were 18, 94 and 245 respectively; the corresponding values after extrusion were 145, 220 and 220.

lupin seed / extrusion / protein / rumen / intestine

* Correspondance et tirés à part

INTRODUCTION

Le lupin blanc doux est une légumineuse dont les graines sont bien pourvues en protéines : 36% de la matière sèche (MS) d'après Guillaume *et al* (1987). De ce fait, son utilisation dans la ration des ruminants présente un intérêt pour les animaux forts producteurs. Or, des valeurs élevées de dégradabilité ruminale (80–95%), dues à une forte solubilité de l'azote (N), ont été signalées pour cette graine (Freer et Dove, 1984; Guillaume *et al*, 1987; Valentine et Bartsch, 1988). En conséquence, ce protéagineux ne pourrait être substitué aux tourteaux et graines de soja dans l'alimentation des vaches laitières qu'après traitement technologique. Au cours d'un précédent travail, nous avons pu montrer que la cuisson-extrusion à 120, 150 et 195 °C de la graine broyée de lupin (*Lupinus albus cv* Lublanc) insolubilise les protéines, diminue leur dégradabilité dans le rumen et augmente leur disponibilité intestinale (Cros *et al*, 1991a). Ces résultats ayant été obtenus *in sacco* dans le rumen et en sachets mobiles dans les régions postérieures du tube digestif, nous n'avons pu évaluer les flux aux niveaux duodénal et iléal et donc confirmer l'hypothèse d'un effet protecteur de l'extrusion sur les matières azotées (MA) de cette graine.

La présente étude a pour but de déterminer l'incidence de l'extrusion à 195 °C de la graine de lupin sur le devenir de la matière organique (MO) et des MA : dégradation ruminale, flux duodénal et iléal et absorption intestinale.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Animaux

Quatre vaches laitières de race Holstein en lactation (35 kg/j) pesant environ 650 kg et munies de canules (rumen, duodénum proximal et iléon terminal) ont été utilisées pour cette expérimentation.

Régimes alimentaires

Au cours de 2 expérimentations (espacées de 3 semaines), les animaux ont reçu quotidiennement en 4 repas égaux (6, 12, 18 et 24 h) une ration composée, en kg de MS, d'ensilage de maïs plante entière (10), de foin de ray-grass d'Italie (1,9) et de maïs grain broyé (1,8). En outre, toutes les vaches ont reçu 4 kg de graines de lupin broyées : crues (LC) ou extrudées* (LE) à 195 °C, et 50 g d'un complexe** de minéraux et de vitamines. Les rations ont été formulées de telle sorte que 50% des MA soient apportées par LC ou LE. La composition des différents aliments utilisés est consignée dans le tableau I.

Protocole expérimental

Le chrome éthylènediaminotétracétique : Cr-EDTA (Binnerts *et al*, 1968) et le chlorure d'ytterbium : YbCl₃ (Ellis *et al*, 1982) ont été utilisés respectivement comme marqueurs des phases liquide et solide. Les protéines bactériennes ont été identifiées par le biais des bases puriques et du sulfate d'ammonium (¹⁵NH₄)₂SO₄.

Après 15 j (J₁-J₁₅) d'adaptation à la ration (LC ou LE), l'expérimentation a débuté, pour

* Extrudeur bvis Werner et Pfeleiderer (Continua 37)

** Minéraux (%): P (5), Ca (14), Na (6), Mg (6), Zn (0,4), Mn (0,32), Fe (0,3), Cu (0,08); vitamines (UI/kg): A (250 800), D3 (62 700), E (112)

Tableau 1. Matière sèche (g/kg PF), composition (g/kg MS) et valeur énergétique (Mcal/kg MS) des différents aliments.

<i>Aliments</i>	<i>MS</i>	<i>MO</i>	<i>MA</i>	<i>NDF</i>	<i>ADF</i>	<i>LI</i>	<i>EB</i>
Ensilage de maïs	334,0	949,0	103,0	470,0	212,0	38,0	4,4
Foin de ray-grass	922,2	926,0	58,7	688,0	393,0	92,0	4,3
Maïs	883,8	986,1	84,9	129,0	25,7	6,8	4,5
Lupin : cru	899,0	961,7	363,8	176,2	154,0	53,0	5,0
extrudé	923,7	958,0	366,8	195,1	145,6	34,0	5,0

Matières : sèche (*MS*), organique (*MO*) et azotée (*MA*) ; neutral (*NDF*) et acid (*ADF*) detergent fiber. Lignine (*LI*) et énergie brute (*EB*).

chaque animal, par l'administration, *via* la canule ruminale, d'une dose unique de Cr-EDTA (1,4 g Cr) et de YbCl₃ (2 g Yb). Au cours des 7 j suivants (J₁₅-J₂₂) les solutions de marqueurs ont été infusées en continu* dans la panse soit, (g/j) : 2,77 de Cr, 2 de Yb et 0,55 de ¹⁵N. Entre J₁₉ et J₂₄ les prélèvements de digesta : ruminal, duodécal et iléal, les mesures des quantités de MS volontairement ingérées, de même que la récolte totale des fèces ont été effectués pour chacune des 2 périodes expérimentales.

Prélèvements et traitement des digesta

Dans un premier temps et afin d'évaluer les flux digestifs, des prélèvements de matériel duodécal (250 ml) et iléal (100 ml) ont été effectués pendant 3 jours successifs (J₁₉-J₂₂), à raison de 4 prélèvements par jour. Après homogénéisation, les digesta duodécaux ont été fractionnés selon la méthode de double marquage préconisée par Faichney (1980). Dans un deuxième temps (J₂₂-J₂₄) du matériel ruminal a été prélevé (2 L; 15 min avant, 1, 2 et 4 h après les repas de 6 et 18 h) afin de déterminer les paramètres fermentaires. Après mesure du pH**, le fluide ruminal a été filtré à travers un tamis (1 mm de maille). Le filtrat obtenu a été fractionné en vue

des dosages d'ammoniac (N-NH₃) et d'acides gras volatils (AGV), et de l'isolement du culot bactérien (Jouany et Thivend, 1972). Au fur et à mesure de leur obtention, les filtrats ruminiaux, les fractions duodécales et le matériel iléal ont été regroupés par catégorie et congelés à -20 °C jusqu'au moment des analyses. Enfin, la totalité des fèces a été récoltée (J₁₉-J₂₄) en vue de l'évaluation de la digestibilité des principaux constituants de la ration d'une part et du taux de récupération des marqueurs infusés d'autre part.

Analyses

Les teneurs en MS ont été déterminées par séchage à l'étuve (105 °C; 24 h), les cendres ont été obtenues par incinération des échantillons secs au four à moufle (550 °C; 12 h); la perte de poids observée représente la MO. Sur les MS ingérées et excrétées, l'énergie brute a été estimée à la bombe calorique adiabatique (Gallenkamp) et les glucides membranaires ont été dosés selon la méthode préconisée par Van Soest (1963) et Van Soest et Wine (1967; 1968). L'azote total (Nt) des aliments, des refus, des fèces, des fluides digestifs et des bactéries a été évalué selon une technique dérivant de

* Pompe péristaltique, 4 canaux (Gilson, France)

** pH-mètre Tacussel, Minisil 6.000

celle de Kjeldahl. La solubilité de N des protéines du lupin (LC et LE) a été déterminée *in vitro* (Vérité et Demarquilly, 1978). La concentration en N-NH₃ des milieux digestifs a été mesurée selon la procédure de Verdouw *et al* (1977); l'analyse des AGV a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse* d'après la technique décrite par Jouany (1982). Les teneurs en bases puriques et en ¹⁵N des bactéries et des digesta intestinaux lyophilisés ont été respectivement déterminées selon les procédés de Ushida *et al* (1985) et de Al Rabbat *et al* (1971); ¹⁵N a été dosé par spectrophotométrie de masse**. À partir des échantillons digestifs secs, Cr a été extrait selon la technique de Siddons *et al* (1985). L'extraction de Yb a été réalisée d'après la méthode d'Ellis *et al* (1982). Ces 2 éléments ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique*** à l'aide d'une flamme air-acétylène pour le premier et d'un mélange protoxyde d'azote-acétylène pour le second.

Calculs

Les flux intestinaux des différents constituants, corrigés par les taux de récupération des marqueurs dans les fèces ont été calculés par double marquage (Faichney, 1980) pour le duodénum (matériel hétérogène) et par simple marquage pour l'iléon. Les taux de récupération (%) du Cr et de Yb ont été de 94,3 ± 1,9 et de 87,1 ± 2,2 respectivement avec la ration supplémentée en LC; les valeurs correspondantes pour le régime LE ont été : 87,5 ± 2,4 et 95,9 ± 6,1. Les proportions de N bactérien dans Nt intestinal ont été calculées en établissant le rapport suivant : (marqueur bactérien/Nt intestinal) / (marqueur bactérien/Nt bactérien). Les quantités de MO réellement dégradées dans le rumen (MORDR) ont été évaluées en déduisant la MO d'origine bactérienne du flux duodénal.

Chaque donnée analytique représente la moyenne arithmétique des échantillons affectée de l'erreur standard ($m \pm SE$). L'exploitation statistique des résultats a été effectuée à l'aide du test *t* de Student au seuil de $P < 0,05$.

* Intersmat; IGC 120 FB

** VG instrument 903 EF

*** Perkin Elmer 3086

RÉSULTATS

Régimes

Les rations proposées aux vaches en lactation étaient isoazotées (15,5% MA) et isoénergétiques (4,5 Mcal/kg MS). L'incorporation de LC ou de LE au régime n'a pas significativement affecté l'ingestion volontaire des animaux expérimentaux et la digestibilité des principaux constituants de la ration (tableau II).

Solubilité de l'azote *in vitro*

Si la teneur en N des graines de lupin n'est pas significativement influencée par l'extrusion (tableau I), il n'en est pas de même pour sa solubilité. Après traitement la frac-

Tableau II. Influence de la nature des graines de lupin (cruées ou extrudées à 195 °C) sur la digestibilité des principaux constituants de la ration.

	LC	LE
<i>Quantités ingérées (kg MS/j)</i>	17,5 ^a ± 0,4	17,2 ^a ± 0,6
<i>Digestibilités (%)</i>		
MO	70,3 ^a ± 0,7	68,7 ^a ± 0,4
MA	71,9 ^a ± 1,2	70,9 ^a ± 1,1
NDF	51,3 ^a ± 0,9	51,3 ^a ± 2,2
ADF	50,5 ^a ± 0,2	50,9 ^a ± 0,9
EB	68,9 ^a ± 1,0	67,2 ^a ± 0,7

Moyenne ± SE; graines de lupin : cruées (LC) ou extrudées (LE). Matière : sèche (MS), organique (MO) et azotée (MA) ; neutral (NDF) et acid (ADF) detergent fiber. Énergie brute (EB). Les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ($P < 0,05$).

tion N soluble est considérablement diminuée (22 vs 77% Nt).

Paramètres fermentaires

L'ingestion des rations LC et LE n'a pas significativement modifié les paramètres fermentaires des animaux expérimentaux (tableau III). En effet, quel que soit le régime ingéré, le pH ruminal est demeuré relativement constant (6,3) de même que les concentrations en N-NH₃ (154 mg/l) et en AGV (108 mmol/l). Par ailleurs, la répartition qualitative de ces AGV n'a pas été influencée.

Tableau III. Influence de la nature des graines de lupin (cruées ou extrudées à 195 °C) sur les paramètres fermentaires ruminiaux.

Paramètres fermentaires	LC (64)	LE (64)
pH	6,2 ^a ± 0,1	6,4 ^a ± 0,1
N-NH ₃ (mg/l)	159,0 ^a ± 10,1	148,0 ^a ± 8,2
AGVt (mmol/l)	106,5 ^a ± 2,9	109,8 ^a ± 5,8
AGV (% AGV _t)		
Acétate	59,8 ^a ± 0,5	60,9 ^a ± 0,8
Propionate	22,5 ^a ± 0,8	21,1 ^a ± 1,0
Isobutyrate	0,9 ^a ± 0,04	0,7 ^a ± 0,04
Butyrate	12,2 ^a ± 0,3	13,4 ^a ± 0,2
Isovalérate	2,4 ^a ± 0,3	2,0 ^a ± 0,1
Valérate	1,6 ^a ± 0,3	1,8 ^a ± 0,1

Moyenne ± SE ; nombre d'échantillons entre parenthèses; graines de lupin : cruées (LC) ou extrudées (LE). Azote ammoniacal (N-NH₃) et acides gras volatils totaux (AGVt). Les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ($P < 0,05$).

Flux et digestion de la matière organique

De l'examen du tableau IV, il ressort que les flux de MO, au niveau des différents segments du tube digestif n'ont pas été si-

Tableau IV. Ingestion, flux et digestion de la matière organique dans le tube digestif de vaches recevant une ration complétée en graines de lupin (cruées ou extrudées à 195 °C).

Matière organique	LC	LE
Ingestion (kg/j)	16,5 ^a ± 0,7	16,3 ^a ± 0,8
Flux (kg/j)		
Duodéal	9,3 ^a ± 0,4	9,9 ^a ± 0,4
Iléal	6,0 ^a ± 0,5	5,6 ^a ± 0,2
Fécal	4,9 ^a ± 0,1	5,1 ^a ± 0,2
Digestion ruminale		
Apparente (% ingéré)	43,6 ^a ± 0,4	39,9 ^a ± 3,7
Réelle (kg/j)	9,6 ^a ± 0,6	9,3 ^a ± 1,0
Réelle (% ingéré)	58,2 ^a ± 1,2	57,1 ^a ± 3,6
Absorption intestinale (% ingéré)	19,5 ^a ± 3,1	26,5 ^a ± 3,2

Moyenne ± SE ; graines de lupin : cruées (LC) ou extrudées (LE). Les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ($P < 0,05$).

gnifiquement modifiés par la substitution de LC par LE dans la ration. Cependant la digestion ruminale apparente de la MO était légèrement plus faible (- 8%) et l'absorption intestinale plus élevée (+ 36%), mais ces variations n'étaient pas significatives. De même, lorsque la participation des micro-organismes ruminiaux est prise en considération, il apparaît que la digestion réelle de la MO au niveau des réservoirs de fermentation n'a pas été significativement affectée par l'ingestion de la ration LE, soit une moyenne de 9,5 kg/j.

Flux et digestion de la matière azotée

Pour les différentes formes azotées, les flux intestinaux sont consignés dans le tableau V. Au niveau duodéal, les flux (g/j)

de Nt et de N non ammoniacal étaient significativement plus élevés lorsque les vaches ingéraient la ration supplémentée en LE, soit une hausse de 32% environ pour chacun des flux. Notons qu'à ce niveau Nt représente 113% de N ingéré pour LE et 86% pour le régime LC. Par

contre, le flux de N bactérien est demeuré inchangé, (206 g/j); en conséquence, la quantité de N alimentaire parvenant au duodénum a significativement augmenté (+ 72%). Le pourcentage de N alimentaire apparemment dégradé dans le réticulo-rumen est alors passé de 64% de N ingéré

Tableau V. Ingestion, flux et digestion des matières azotées dans le tube digestif de vaches recevant une ration complétée en graines de lupin (cruées ou extrudées à 195 °C).

<i>Matières azotées</i>	<i>LC</i>	<i>LE</i>
<i>Ingestion (g/j)</i>	427,3 ^a ± 10,9	430,0 ^a ± 14,1
<i>Flux (g/j)</i>		
Nt duodéal	369,1 ^a ± 19,7	485,8 ^b ± 8,4
N non ammoniacal	357,1 ^a ± 18,2	471,7 ^b ± 6,2
N bactérien*	203,9 ^a ± 7,5	208,3 ^a ± 8,8
N alimentaire**	153,1 ^a ± 10,7	263,3 ^b ± 2,7
Nt iléal	144,7 ^a ± 4,0	164,7 ^a ± 6,5
N non ammoniacal	140,5 ^a ± 3,6	160,5 ^a ± 6,0
N bactérien	48,9 ^a ± 7,4	43,4 ^a ± 4,5
N alimentaire	91,4 ^a ± 3,7	117,1 ^b ± 1,5
Nt fécal	120,3 ^a ± 2,0	125,0 ^b ± 0,6
<i>Digestion ruminale apparente de N alimentaire (% ingéré)</i>	64,1 ^a ± 3,4	38,7 ^b ± 2,6
<i>Synthèse bactérienne (g N/kg)</i>		
MOADR	28,3 ^a ± 1,8	33,1 ^a ± 3,4
MORDR	20,7 ^a ± 1,5	22,6 ^a ± 1,4
<i>Absorption intestinale</i>		
N non ammoniacal (g/j)	216,6 ^a ± 7,4	311,2 ^b ± 0,2
(% ingéré)	50,9 ^a ± 3,2	72,9 ^b ± 0,6
(% entrée)	60,6 ^a ± 1,0	65,9 ^b ± 0,8
N alimentaire (g/j)	61,7 ^a ± 7,1	146,2 ^b ± 4,2
(% ingéré)	14,5 ^a ± 2,6	34,0 ^b ± 1,5
(% entrée)	39,9 ^a ± 4,7	53,9 ^b ± 1,0

Moyenne ± SE ; graines de lupin : cruées (LC) ou extrudées (LE) ; azote total (Nt). * = moyenne des valeurs ARN et ¹⁵N; ** = N alimentaire + endogène. Matière organique apparemment (MOADR) ou réellement (MORDR) dégradée dans le rumen. Les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ($P < 0,05$).

(pour la ration complétement en LC) à 39% (pour la ration contenant LE) soit une diminution de 40% environ. Au cours du transit intestinal, l'absorption journalière de N d'origine alimentaire a été significativement plus importante pour les vaches ayant accès au régime LE; l'augmentation enregistrée est en moyenne de 137%. Par ailleurs, l'extrusion du lupin a significativement amélioré les digestibilités intestinales de N alimentaire (+ 35%) et de N non ammoniacal (+ 9%). L'absorption intestinale de N bactérien, de même que l'efficacité de la synthèse bactérienne, n'ont pas été significativement modifiées par le changement de ration (LC ou LE), soit environ 78% et 22 g/kg MORDR respectivement. Le remplacement de LC dans la ration par LE a également entraîné une hausse du flux iléal de Nt (+ 14%) et de N alimentaire (+ 28%), le flux fécal n'étant pas modifié; la digestion caecocolique des MA a donc été accrue (9 vs 6% ingéré).

DISCUSSION

L'extrusion à haute température (195 °C) de la graine entière du lupin a provoqué une forte diminution de la solubilité de l'azote en salive artificielle, résultat qui est en accord avec ceux obtenus par de nombreux chercheurs sur d'autres graines traitées thermiquement, ie soja (Stern *et al*, 1985; Michalet-Doreau *et al*, 1985), coton (Arieli *et al*, 1989) ou féverole (Cros *et al*, 1991b).

Au niveau de la digestion ruminale, la substitution de LC par LE dans la ration n'a pas modifié l'orientation des fermentations. Paradoxalement, bien que N de LC soit plus soluble et donc plus dégradé que N de LE, la production de N-NH₃ n'a pas été réduite comme on pouvait s'y attendre d'après les résultats des expérimentations de Block *et al* (1981), de Pena *et al* (1986) et de Focant *et al* (1990). Dans nos condi-

tions expérimentales, l'extrusion ne semble donc pas avoir d'incidence sur ce paramètre, des faits similaires ont été obtenus par d'autres équipes (McMeniman et Armstrong, 1979; Michalet-Doreau *et al*, 1985; Stern *et al*, 1985) avec les tourteaux et graines (soja, féverole) traités thermiquement. Par ailleurs, l'efficacité de la synthèse bactérienne, lorsqu'elle est exprimée en g de N/kg MORDR, n'a pas été affectée par l'extrusion de la graine de lupin. La valeur que nous obtenons pour cette expérimentation (22) est proche de celles mentionnées par Zerbini *et al* (1988) chez des vaches en lactation ingérant des rations à base d'ensilage de maïs (25), et par McMeniman et Armstrong (1979) pour des vaches recevant un régime supplémenté en féverole traitée à la chaleur (21). Toutefois, une donnée nettement supérieure (42) est signalée par Santos *et al* (1984) lorsque les animaux sont alimentés avec des rations à base d'ensilage de maïs.

L'extrusion n'a pas modifié la digestibilité totale des différents constituants de la ration. Toutefois, il convient de noter que la valeur de digestibilité de la fraction pariétale que nous obtenons (51%) est plus faible que celles relevées dans la littérature (60%) pour des régimes comparables. La richesse en MG de la ration (7%) pourrait expliquer cette faible valeur (Doreau *et al*, 1991). La dégradation apparente de la MO dans le réticulo-rumen n'a pas été affectée par le traitement thermique (42% de l'ingéré), résultat qui va dans le sens des données bibliographiques. C'est ainsi que, pour des vaches laitières recevant en complément azoté du tourteau ou de la graine de soja : crue ou extrudée (Santos *et al*, 1984; Stern *et al*, 1985), la digestion ruminale apparente de la MO est de l'ordre de 31%, alors que pour une ration supplémentée en pois, Focant *et al* (1990) obtiennent des valeurs plus fortes (51,6 à 45,4%) selon que la graine est respectivement crue ou extrudée. Par ailleurs, une valeur

du même ordre de grandeur que la nôtre (42%) est donnée par Pena *et al* (1986) pour un régime renfermant de la graine de coton (crue ou extrudée). Ces fluctuations pourraient être liées aux conditions expérimentales : niveau d'ingestion, nature et proportions des constituants de la ration et au type de marqueur utilisé pour l'évaluation des flux digestifs (Tamminga *et al*, 1979; McAllan et Smith, 1983; Kung *et al*, 1983). Au cours du transit dans l'intestin grêle, la digestion apparente de la MO a été discrètement améliorée lorsque les vaches avaient accès à la ration supplémentée en LE. Une hausse de la disparition intestinale de la MO a également été signalée par Pena *et al* (1986) après addition de graines de coton extrudées à la ration.

Le flux de MA qui parvient au duodénum est la résultante de plusieurs flux : bactérien, ammoniacal, alimentaire et endogène, sur lesquels le traitement thermique peut avoir une incidence. Dans nos conditions expérimentales, la quantité de N bactérien qui pénètre dans l'intestin grêle n'a pas été modifiée lors de l'ingestion de la ration LE. Des observations comparables sont faites par Stern *et al* (1985) avec des graines de soja (crues ou extrudées), tandis que d'autres équipes (Pena *et al*, 1986; Focant *et al*, 1990) signalent, après extrusion des graines entières de coton et de pois, un accroissement du flux de N bactérien, et que Rooke *et al* (1982) enregistrent une réduction de ce flux après traitement du soja par le formaldéhyde. De plus, lorsque les animaux ont eu à leur disposition la ration supplémentée en LE, le flux duodéal de Nt a été d'une part, plus important que chez des vaches consommant la ration LC et, d'autre part supérieur à N ingéré. Ce gain azoté, dû au recyclage de l'urée, est très souvent observé pour des régimes apportant moins de 17% de MA et/ou à faible teneur en N fermentescible (Netemeyer *et*

al, 1980; Satter, 1982; Loerch *et al*, 1983; Santos *et al*, 1984). C'est ainsi que, pour des régimes comportant des sous-produits industriels (farines de viande et de poisson, tourteau de soja) ou des graines entières de soja extrudées, Loerch *et al* (1983), Stern *et al* (1985) et Garrett *et al* (1987) enregistrent, à la sortie des réservoirs de fermentation, des flux Nt représentant 115 à 132% de N ingéré. Le recyclage et la diminution de la dégradation des MA dans le rumen ont donc pour conséquence d'augmenter de 72% la quantité de N d'origine alimentaire qui parvient à l'intestin grêle. Ceci confirme l'effet protecteur du traitement thermique sur les MA du lupin que nous avons mis en évidence *in sacco* (Cros *et al*, 1991a). De même, Stern *et al* (1985) mentionnent que l'extrusion de la graine de soja à 132 et 149 °C, élève le flux de N alimentaire de 69 et 100% respectivement; Pena *et al* (1986) avec la graine de coton extrudée à 150 °C, obtiennent une augmentation de ce flux de 29%. Au niveau intestinal, le traitement par cuisson-extrusion de la graine entière du lupin a augmenté l'absorption de N non ammoniacal (44%) et plus particulièrement celle de N d'origine alimentaire (137%). Par ailleurs, les valeurs que nous enregistrons pour l'absorption de N non ammoniacal (63% de l'ingéré) sont proches de celles mentionnées par Van't Klooster et Boekholt (1972), Tamminga (1975) et Zinn et Owens (1983). Dans nos conditions expérimentales il apparaît cependant que le traitement thermique accroît légèrement le flux iléal de N alimentaire. Au cours du transit dans les régions postérieures, cette fraction supplémentaire est entièrement digérée par la microflore caecale puisque le flux fécal n'est pas modifié.

À partir des résultats obtenus, nous avons évalué les valeurs PDI pour LC et LE, en formulant l'hypothèse d'un déficit en énergie avec la ration complétement en LC (flux Nt duodéal < à Nt ingéré) et d'un

déficit en N soluble lorsque LC est remplacé par LE (flux Nt duodécal > à Nt ingéré). Les valeurs PDI pour l'ensilage de maïs, le foin de ray-grass et le maïs grain ont été prises dans les *tables de l'Alimentation de l'INRA* (1988). Dans ces conditions, pour la graine crue, les valeurs PDIA, PDIE et PDIN (g/kg MS) sont : 18, 94 et 245 respectivement, les valeurs correspondantes pour LE sont : 145, 220 et 220. Il convient de signaler que des données comparables ont été obtenues *in situ* par Cros *et al* (1991a) soit : 13, 84 et 224 pour LC et 190, 247 et 295 pour LE et par Andrieu *et al* (1989) pour LC (13, 82, 220).

Il ressort de cette étude que l'incorporation de la graine entière de lupin extrudée à haute température (195 °C) dans les rations de vaches laitières en lactation ne modifie pas l'orientation des fermentations ruminales. La diminution de la dégradation des MA dans la panse permet d'augmenter la quantité de MA d'origine alimentaire à l'entrée de l'intestin grêle, sans pour autant affecter la part des protéines d'origine bactérienne dans le flux azoté intestinal. De plus, elle améliore la digestibilité intestinale de l'azote alimentaire. Toutefois, pour une meilleure appréciation de l'efficacité du traitement thermique par cuisson-extrusion, il conviendrait d'évaluer, aussi, la digestibilité intestinale en termes d'acides aminés réellement digérés et absorbés dans l'intestin grêle.

RÉFÉRENCES

- Al Rabbat MF, Baldwin RL, Weir WC (1971) *In vitro* ¹⁵nitrogen tracer technique for some kinetic measures of ruminal ammonia. *J Dairy Sci* 54, 1150-1161
- Andrieu J, Demarquilly C, Sauvant D (1989) Tables of feed used in France. In : *Ruminant Nutrition* (Jarrige R, ed), INRA, Libbey J, Eurotext, Paris-Londres, 213-294
- Arieli A, Ben-Moshe A, Zamwel S, Tagari H (1989) *In situ* evaluation of the ruminal and intestinal digestibility of heat-treated whole cottonseeds. *J Dairy Sci* 72, 1228-1233
- Binnerts WT, Van't Klooster A Th, Frens AM (1968) Soluble chromium indicator measured by atomic absorption in digestion experiments. *Vet Rec* 82, 470
- Block E, Muller LD, Griel LC Jr, Garwood DL (1981) Brown midrib -3 corn silage and heat extruded soybeans for early lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 64, 1813-1825
- Cros P, Benchaar C, Bayourthe C, Vernay M, Moncoulon R (1991a) *In situ* evaluation of the ruminal and intestinal degradability of extruded whole lupin seed nitrogen. *Reprod Nutr Dev* 31, 575-583
- Cros P, Vernay M, Moncoulon R (1991b) *In situ* evaluation of the ruminal and intestinal degradability of extruded whole horsebeans. *Reprod Nutr Dev* 31, 249-255
- Doreau M, Chilliard Y, Bauchart D, Michalet-Doreau B (1991) Influence of different fat supplements on digestibility and ruminal digestion in cows. *Ann Zootech* 40, 19-30
- Ellis WC, Lascano C, Teeter T, Owens FN (1982) Solute and particulate flow markers. In : *Protein requirements for cattle. Symposium* (FN Owens, ed), Oklahoma State, Univ Stillwater, 37-56
- Faichney GJ (1980) Measurement in the sheep of the quantity and composition of rumen digesta and the fractional outflow of digesta constituents. *Aust J Agric Res* 31, 1129-1137
- Focant M, Van Hoecke A, Vanbelle M (1990) The effect of two heat treatments (steam flaking and extrusion) on the digestion of *Pisum sativum* in the stomachs of heifers. *Anim Feed Sci Technol* 28, 303-313
- Freer M, Dove H (1984) Rumen degradation of protein in sunflower meal, rapeseed meal and lupin seed placed in nylon bags. *Anim Feed Sci Technol* 11, 87-101
- Garrett JE, Goodrich RD, Meiske JC, Stern MD (1987) Influence of supplemental nitrogen source on digestion of nitrogen, dry matter and organic matter and on *in vivo* rate of ruminal protein degradation. *J Anim Sci* 64, 1801-1812
- Guillaume B, Otterby DE, Linn JG, Stern MD, Johnson DG (1987) Comparison of sweet white lupin seeds with soybean meal as a protein supplement for lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 70, 2339-2348
- INRA (1988) *Tables de l'alimentation des bovins, ovins et caprins*, INRA Publ Versailles

- Jouany JP (1982) Volatile fatty acid and alcohol determination, in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents. *Sci Alim* 2, 131-144
- Jouany JP, Thivend P (1972) Evolution post-prandiale de la composition glucidique des corps microbiens du rumen en fonction de la nature des glucides du régime. I. Les protozoaires. *Ann Biol Anim Biochim Biophys* 12, 673-677
- Kung L Jr, Huber JT, Satter LD (1983) Influence of nonprotein nitrogen and protein of low degradability on nitrogen flow and utilization in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 66, 1863-1872
- Loerch SC, Berger LL, Plegge SD, Fahey GC Jr (1983) Digestibility and rumen escape of soybean meal, blood meal, meat and bone meal and dehydrated alfalfa nitrogen. *J Anim Sci* 57, 1037-1047
- McAllan AB, Smith RH (1983) Estimation of flows of organic matter and nitrogen components in post-ruminal digesta and effects of level of dietary intake and physical form of protein supplement on such estimates. *Br J Nutr* 49, 119-127
- McMeniman NP, Armstrong DG (1979) The flows of amino acids into the small intestine of cattle when fed heated and unheated beans (*Vicia faba*). *J Agric Sci (Camb)* 93, 181-188
- Michalet-Doreau B, Bogaert C, Beauchard D (1985) Valeur nutritive des graines de soja crues ou extrudées pour les ruminants. *Bull Tech CRZV Theix, INRA* 59, 29-38
- Netemeyer DT, Bush J, Owens FN (1980) Effect of particle size of soybean meal on protein utilization in steers and lactating cows. *J Dairy Sci* 63, 574-578
- Pena F, Tagari H, Satter LD (1986) The effect of heat treatment of whole cottonseed on site and extent of protein digestion in dairy cows. *J Anim Sci* 62, 1423-1433
- Rooke JA, Norton BW, Armstrong DG (1982) The digestion of untreated and formaldehyde treated soybean meals and estimation of their rumen degradabilities by different methods. *J Agric Sci (Camb)* 99, 441-452
- Santos KA, Stern MD, Satter LD (1984) Protein degradation in the rumen and amino acid absorption in the small intestine of lactating dairy cattle fed various protein sources. *J Anim Sci* 58, 244-255
- Satter LD (1982) A metabolisable protein system keyed to ruminal ammonia concentration. The Wisconsin system. In: *Protein requirements for cattle symposium* (FN Owens, ed) Oklahoma State, Univ Stillwater, 245-264
- Siddons RC, Paradine J, Beever DE, Cornell PR (1985) Ytterbium acetate as a particulate-phase digesta flow marker. *Br J Nutr* 54, 509-517
- Stern MD, Santos KA, Satter LD (1985) Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated soybeans. *J Dairy Sci* 68, 45-56
- Tamminga S (1975) The influence of the method of preservation of forages on the digestion in dairy cows. 2. Digestion of organic matter, energy and amino acids in forestomachs and intestines. *Neth J Agric Sci* 23, 89-103
- Tamminga S, Van Der Koelen CJ, Van Vuuren AM (1979) The effect of the level of feed intake on nitrogen entering the small intestine of dairy cows. *Livest Prod Sci* 6, 255-261
- Ushida K, Lassalas B, Jouany JP (1985) Determination of assay parameters for RNA analysis in bacterial and duodenal samples by spectrophotometry. Influence of sample treatment and preservation. *Reprod Nutr Dev* 25, 1037-1046
- Valentine SC, Bartsch BD (1988) Degradation of dry matter, crude protein, fat, crude fibre and nitrogen-free-extract in milled barley and lupin grains incubated in nylon bags in the rumen of dairy cows. *J Agric Sci (Camb)* 110, 395-398
- Van't Klooster AT, Boekholt HH (1972) Protein digestion in the stomachs and intestines of the cow. *Neth J Agric Sci* 20, 272-284
- Van Soest PJ (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J Assoc Off Agric Chem* 46, 829-835
- Van Soest PJ, Wine RH (1967) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds IV. Determination of plant cell wall constituents. *J Assoc Off Agric Chem* 50, 50-55

- Van Soest PJ, Wine RH (1968) Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber permanganate. *Assoc Off Anal Chem* 51, 780-785
- Verdouw H, Van Echteld CJA, Dekkers EMJ (1977) Ammonia determination based on indophenol formation within sodium salicylate. *Water Res* 12, 399-402
- Vérité R, Demarquilly C (1978) Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants. *In : La vache laitière*, INRA, Versailles, 143-158
- Zerbini E, Polan EC, Herbein JH (1988) Effect of dietary soybean meal and fish meal on protein digesta flow in Holstein cows during early lactation. *J Dairy Sci* 71, 1248-1258
- Zinn RA, Owens FN (1983) Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed high concentrate diets. *J Anim Sci* 56, 471-475