

Article de recherche

## Effet de l'extrusion de la féverole (*Vicia faba*) sur les flux intestinaux d'azote et d'amidon chez la vache laitière en production

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

ENSAT, laboratoire d'ingénierie agronomique, 145 avenue de Muret,  
31076 Toulouse Cedex, France

(Reçu le 18 novembre 1991; accepté le 22 avril 1992)

**Résumé** — Quatre vaches Holstein en lactation, pourvues de canules (rumen; duodénum; iléon) ont été utilisées afin d'étudier l'effet de l'extrusion à 195 °C de la féverole (*Vicia faba* cv Castel) sur la digestion de la matière organique (MO), de l'azote (N) et de l'amidon. Le Cr-EDTA, YbCl<sub>3</sub> et les bases puriques ont été choisis comme marqueurs respectifs des phases liquide et solide et des bactéries. La substitution de la féverole crue par la féverole extrudée dans la ration de base (ensilage de maïs plante entière, foin de ray-grass d'Italie, maïs grain broyé) n'a affecté ni les paramètres fermentaires, ni la digestion ruminale apparente de la MO (39%); la digestion apparente de l'amidon a été accrue (72 vs 58%), alors que celle de N alimentaire a été diminuée (45 vs 52%). L'efficacité de la synthèse bactérienne (gN/kg de MORDR) a été augmentée (25 vs 22). Les flux duodénaux de N non ammoniacal, N bactérien et N alimentaire ont été plus importants, soit respectivement (g/j) : 409 vs 366, 216 vs 194 et 193 vs 172. Parallèlement, la digestion intestinale apparente (g/j) de ces 3 formes azotées a été plus élevée : 268 vs 229 (N non ammoniacal), 181 vs 161 (N bactérien) et 87 vs 69 (N alimentaire); celle de l'amidon étant plus faible (975 vs 1 612) et celle de la MO demeurant inchangée, 4 243 environ. Pour la féverole crue, les valeurs PDIA, PDIN et PDIE (g/kg de MS) sont : 33, 175, et 127; les valeurs correspondantes pour la graine extrudée étant : 58, 147 et 178.

**féverole / extrusion / protéine / amidon / flux intestinal**

**Summary** — Incidence of bean (*Vicia faba*) extrusion on starch and nitrogen intestinal flows in lactating cows. Four mature lactating Holstein cows fitted with permanent ruminal, duodenal and ileal cannulae were used to study the effect of extrusion at 195 °C of beans (*Vicia faba* cv Castel) on organic matter (OM), nitrogen (N) and starch degradation in the rumen and their flow to and absorption from the small intestine. The test protein sources, raw beans (RB) and extruded beans (EB), provided about 45% of the dietary protein. The diets were composed of 23.1% beans, 56.2% corn silage, 10.1% corn grain and 10.7% Italian rye-grass hay on a DM basis; the diets were isocaloric (4.5 Mcal/kg of DM) and isonitrogenous (14% of DM). Cr-EDTA, YbCl<sub>3</sub> and purines were used as liquid, particulate and bacterial markers respectively. Extruding the beans did not influence intraruminal pH (6.6), ammonia-N (99 mg/l) and volatile fatty acids (97 mM/l) concentrations. Apparent digestibility in total tract of energy, OM, N and starch were not affected with inclusion of EB instead of RB, the corresponding mean values were: 66, 68, 64 and 95% of intake. Apparent ruminal digestion of OM,

\* Correspondance et tirés à part

starch and N in the forestomach were 39, 58 and 52% for diets containing RB and 38, 72 and 45% for EB diets; efficiency of bacterial protein synthesis (gN/kg organic matter truly digested in the stomach) was higher for EN diets compared with RN diets (25 vs 22). Eating diets including EB increased non-ammonia-N, bacterial-N and dietary-N flows (g/d) to the duodenum compared with diets containing RB: 409 vs 366, 216 vs 194 and 193 vs 172 respectively; while starch flow was reduced (1.5 vs 2.2 kg/d) and OM flow was unchanged (9.8 kg/d). Apparent digestion from the small intestine (g/d) of nonammonia-N, bacterial-N and dietary-N were higher for EB diets: 268 vs 229, 181 vs 160 and 87 vs 69 respectively; meanwhile, starch digestion decreased (975 vs 1 612). The PDIA, PDIN and PDIE contents (g/kg of DM) of the RB were 33, 175 and 127 respectively; the corresponding values after extrusion were: 58, 147 and 178.

### **bean / extrusion / protein / starch / intestinal flow**

## **INTRODUCTION**

L'intérêt nutritionnel de la féverole (*Vicia faba*) dans l'alimentation animale réside dans sa composition chimique (Cerning-Beroard et Filiatre, 1977); tout comme les céréales d'une part et les tourteaux d'autre part, elle est riche en amidon (40% de MS) et en matières azotées (32% de MS). Cependant, ce protéagineux est caractérisé *in vitro*, par une faible digestibilité de l'amidon (Cerning-Beroard, 1977) et une forte solubilité de l'azote (Michalet-Doreau *et al*, 1987) et *in situ*, par une dégradabilité de l'azote (N) élevée (Michalet-Doreau *et al*, 1987; Cros *et al*, 1991). En conséquence, la féverole ne pourrait être substituée aux tourteaux et graines de soja dans l'alimentation des ruminants qu'après traitement technologique. Au cours d'une expérimentation préliminaire réalisée *in situ*, sur vaches taries (Benchaar *et al*, 1992), nous avons mis en évidence que la cuisson-extrusion de la féverole à 195 °C insolubilise ses protéines (37 vs 56% Nt), réduit leur dégradabilité ruminale (66,5 vs 73,3% N initial) et augmente la part de N alimentaire qui disparaît au cours du transit dans les régions post-ruminales (29 vs 22% Nt initial). Par contre, McMeniman et Armstrong (1979) notent que l'extrusion (105 °C) de cette graine ne modifie pas les flux

duodénaux de N total, N microbien et N alimentaire chez la vache. Signalons encore que les traitements hydrothermiques, qui entraînent une gélatinisation des granules d'amidon et un passage en solution d'une fraction de l'amylose, facilitent l'amylyse *in vitro* de la féverole (Cerning-Beroard, 1977). L'extrusion pourrait donc accélérer la digestion ruminale de l'amidon et, par voie de conséquence, accroître la synthèse des protéines microbiennes.

L'objectif de cette étude est de confirmer l'hypothèse d'un effet protecteur de l'extrusion à 195 °C sur les matières azotées (MA) de la féverole (*Vicia faba* cv Castel) et de déterminer l'incidence de ce traitement sur la digestion de l'amidon chez la vache laitière. Ces effets sont évalués au niveau des flux intestinaux : duodénaux, iléaux et fécaux.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **Animaux**

Quatre vaches Holstein en lactation (production laitière moyenne : 35 ± 3,6 kg/j) d'un poids moyen de 650 kg et munies de canules (rumen; duodénum proximal; iléon terminal) ont été utilisées pour ce travail.

## Régimes

Au cours de 2 expérimentations, espacées de 3 semaines, les animaux ont reçu en 4 repas égaux (6, 12, 18 et 24 h) une ration (kg de MS.  $j^{-1}$  par animal) composée d'ensilage de maïs plante entière (10), de foin de ray-grass d'Italie (1,9) et de maïs grain broyé (1,8). De plus, chaque vache a reçu 4 kg de graines de féverole broyées : crues ou extrudées\* à 195 °C, et 50 g d'un complément minéral et vitaminique. Les rations ont été formulées de telle sorte que 45% des MA soient apportées par la féverole. La composition des différents aliments est rapportée dans le tableau I.

## Procole expérimental et traitement des échantillons

Le Cr-EDTA (Binnerts *et al*, 1968) et YbCl<sub>3</sub> (Ellis *et al*, 1982) ont été utilisés comme marqueurs respectifs des phases liquide et solide; les protéines bactériennes étant identifiées par le biais des bases puriques. Après 15 j ( $j_1-j_{15}$ ) d'adaptation à la ration, chaque vache a reçu, *via* la canule ruminale, une même dose de Cr-EDTA (1,4 g Cr) et de YbCl<sub>3</sub> (2,0 g Yb). Au cours des 7 j suivants ( $j_{16}-j_{22}$ ), les solutions de marqueurs (g/j) ont été infusées en continu dans le rumen à raison de : 2,8 de Cr et 2,0 de Yb. Les prélève-

ments de digesta (ruminal; duodéal; iléal) ont été réalisés entre  $j_{20}$  et  $j_{24}$ . Dans un premier temps, pour estimer les flux digestifs, du contenu duodéal (250 ml) et iléal (100 ml) a été prélevé pendant 3 j consécutifs ( $j_{20}-j_{22}$ ) à raison de 4 prises/j. Après homogénéisation, les digesta duodénaux ont été fractionnés selon la méthode de double marquage (Faichney, 1980). Dans un deuxième temps ( $j_{23}-j_{24}$ ) du jus ruminal a été prélevé (2L; 15 min avant, puis 1, 2 et 4 h après les repas de 6 et 18 h) afin de mesurer les paramètres fermentaires. Après mesure du pH le liquide ruminal a été filtré à travers un tamis de 1 mm de maille. Le filtrat obtenu a été fractionné en vue des dosages d'ammoniac (N-NH<sub>3</sub>) et d'acides gras volatils (AGV) d'une part et de l'isolement du culot bactérien d'autre part (Jouany et Thivend, 1972). Au fur et à mesure de leur obtention, les filtrats ruminiaux, les fractions duodénales et le matériel iléal ont été congelés (-20 °C) jusqu'au moment des analyses. Les mesures des quantités de MS réellement ingérées, de même que la récolte totale des fèces ont été effectuées entre  $j_{20}$  et  $j_{24}$  afin d'évaluer la digestibilité des principaux constituants de la ration et le taux de récupération des marqueurs infusés.

## Analyses

Les teneurs en MS, matière organique (MO) et MA des aliments, des refus, des fèces des di-

**Tableau I.** Matière sèche (%) et composition (g/kg de MS) des différents aliments de la ration.

Aliments	MS	MO	MA	NDF	ADF	LI	AM
Ensilage de maïs	334,0	948,6	98,1	521,7	234,8	46,4	294,0
Foin de ray-grass	922,2	928,1	59,6	632,5	372,6	91,4	21,0
Maïs	883,8	985,9	84,4	122,0	24,7	6,8	684,0
Féverole : crue	883,6	956,5	256,6	202,9	103,8	23,0	315,4
extrudée	942,9	958,4	253,2	192,1	106,4	29,0	319,9

Matières : sèche (MS), organique (MO) et azotée (MA); glucides membranaires obtenus à la suite du traitement par les détergents neutre (NDF) et acide (ADF de Van Soest); lignine (LI) et amidon (AM).

\* Extrudeur bivis Werner et Pfeleiderer (Continua 37)

gesta et des bactéries ont été déterminées selon les techniques décrites dans le *Journal Officiel des Communautés Européennes* (1971); l'amidon étant estimé selon la méthode de l'amyloglucosidase commercialisée par Boehringer \*. La fraction N soluble des protéines de la féverole a été évaluée en solution tampon (Vérité et Demarquilly, 1978). Les glucides membranaires des aliments, ont été dosés selon la méthode préconisée par Van Soest (1963) et Van Soest et Wine (1967, 1968). La teneur en N-NH<sub>3</sub> dans les digesta a été mesurée selon la procédure de Verdouw *et al* (1977); l'analyse des AGV a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse selon la technique décrite par Jouany (1982). Les teneurs en bases puriques des bactéries, ruminales et intestinales, et des digesta intestinaux lyophilisés ont été évaluées selon les procédés de Ushida *et al* (1985). À partir des échantillons digestifs secs, le 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 de la ration, 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 proportions de N bactérien dans Nt intestinal ont été estimées à partir du rapport : (marqueur bactérien/Nt intestinal) / (marqueur bactérien/Nt bactérien ruminal). Les quantités de MO réellement dégradées dans le rumen (MORDR) ont été calculées en faisant la différence entre la MO d'origine bactérienne et la MO du flux duodénal.

L'exploitation statistique des résultats a été effectuée à l'aide du test *t* de Student pour séries appariées. Les différences sont considérées comme significatives lorsque  $P < 0,05$ .

## RÉSULTATS

### Rations

Les régimes offerts aux vaches au cours de l'expérimentation sont iso-azotés (14,0% de MA), mais ils diffèrent par leurs teneurs en N soluble. En effet, après extrusion de la féverole à 195 °C, la fraction N soluble est significativement diminuée (36,5 vs 55,5% Nt). La substitution de la graine crue par la graine extrudée dans l'alimentation des animaux ne modifie pas l'ingestion de MS d'une part (16,8 kg/j) et la digestibilité des principaux constituants de la ration d'autre part (tableaux III, IV et V).

### Paramètres fermentaires

Le pH et les teneurs en N-NH<sub>3</sub> et AGVt du jus de rumen ne sont pas différentes pour les 2 rations (tableau II). Les valeurs moyennes étant de 6,6, 99 mg/l et 97 mM/l respectivement; par ailleurs, la répartition qualitative des principaux AGV ne varie pas.

### Flux et digestion de la matière organique et de l'amidon

Le remplacement de la féverole crue par la féverole extrudée dans le régime n'a pas d'incidence significative sur les flux intestinaux de la MO (tableau III).

De l'examen du tableau IV, il ressort que lorsque les vaches ingèrent la ration complétement par la graine extrudée, la digestion ruminale apparente de l'amidon

\* Boehringer, Mannheim; Réf 207748

**Tableau II.** Influence de la complémentation de la ration par la féverole crue (FC) ou extrudée (FE) à 195 °C sur les paramètres fermentaires ruminants chez les vaches en lactation.

Paramètres fermentaires	FC	FE
pH	6,6 <sup>a</sup> ± 0,1	6,5 <sup>a</sup> ± 0,04
N-NH <sub>3</sub> (mg/l)	105,9 <sup>a</sup> ± 11,2	91,3 <sup>a</sup> ± 5,6
AGVt (mM/l)	97,4 <sup>a</sup> ± 0,2	96,1 <sup>a</sup> ± 5,2
AGV (% AGVt)		
Acétate	63,7 <sup>a</sup> ± 0,9	64,7 <sup>a</sup> ± 0,4
Propionate	19,1 <sup>a</sup> ± 1,3	19,8 <sup>a</sup> ± 0,6
Isobutyrate	0,9 <sup>a</sup> ± 0,1	0,7 <sup>a</sup> ± 0,1
Butyrate	12,6 <sup>a</sup> ± 0,2	12,3 <sup>a</sup> ± 0,2
Isovalérate	2,1 <sup>a</sup> ± 0,2	1,9 <sup>a</sup> ± 0,3
Valérate	1,5 <sup>a</sup> ± 0,3	1,7 <sup>a</sup> ± 0,1

Moyennes ± écart type; azote ammoniacal (N-NH<sub>3</sub>) et acides gras volatils totaux (AGVt). Les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ( $P > 0,05$ ).

est augmentée de 23,5%; le flux duodéal baisse de 31,8% et parallèlement, la digestion dans l'intestin grêle (% ingéré) est réduite de 40,6%.

### Flux et digestion de la matière azotée

Les flux intestinaux des différentes formes azotées : N non ammoniacal, N bactérien et N alimentaire, sont rapportés dans le tableau V. Quelle que soit la ration offerte aux animaux, le flux duodéal de Nt est supérieur à N ingéré; l'enrichissement étant plus conséquent après ingestion du régime contenant la graine traitée thermiquement à la place de la graine non traitée (21,3 vs 5,8%). Dans ce cas, les flux de N non ammoniacal, N bactérien et N alimentaire à la sortie du rumen sont augmentés de 11,8% environ. La fraction de N alimentaire apparemment dégradée dans ce compartiment est réduite de 13,5%, tandis

**Tableau III.** Ingestion (kg/j), flux (kg/j) et digestion de la matière organique dans le tube digestif de vaches en lactation recevant une ration complétementée par la féverole crue (FC) ou extrudée (FE) à 195 °C.

Matière organique	FC	FE
Ingestion	16,1 <sup>a</sup> ± 0,5	15,8 <sup>a</sup> ± 0,2
Flux		
Duodéal	9,9 <sup>a</sup> ± 0,1	9,7 <sup>a</sup> ± 0,6
Iléal	5,6 <sup>a</sup> ± 0,1	5,6 <sup>a</sup> ± 0,2
Fécal	5,3 <sup>a</sup> ± 0,2	5,0 <sup>b</sup> ± 0,2
Digestion ruminale		
Apparente (% ingéré)	38,8 <sup>a</sup> ± 0,1	38,4 <sup>a</sup> ± 3,8
Réelle (kg/j)	9,0 <sup>a</sup> ± 0,1	8,6 <sup>a</sup> ± 0,5
(% ingéré)	56,0 <sup>a</sup> ± 0,2	54,4 <sup>a</sup> ± 3,5
Digestion intestinale		
(kg/j)	4,3 <sup>a</sup> ± 0,1	4,2 <sup>a</sup> ± 0,4
(% ingéré)	26,8 <sup>a</sup> ± 0,5	26,4 <sup>a</sup> ± 2,6
Digestibilité totale (% ingéré)	67,0 <sup>a</sup> ± 1,3	68,8 <sup>a</sup> ± 1,2

Moyenne ± écart type; les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ( $P > 0,05$ ).

**Tableau IV.** Ingestion (kg/j), flux (kg/j) et digestion de l'amidon dans le tube digestif de vaches en lactation recevant une ration complétementée par de la féverole crue (FC) ou extrudée (FE) à 195 °C.

Amidon	FC	FE
Ingestion	5,2 <sup>a</sup> ± 0,1	5,3 <sup>a</sup> ± 0,1
Flux		
Duodénal	2,2 <sup>a</sup> ± 0,2	1,5 <sup>b</sup> ± 0,1
Iléal	0,6 <sup>a</sup> ± 0,1	0,5 <sup>a</sup> ± 0,1
Fécal	0,3 <sup>a</sup> ± 0,01	0,3 <sup>a</sup> ± 0,01
Digestion ruminale apparente (% ingéré)	57,9 <sup>b</sup> ± 3,5	71,5 <sup>a</sup> ± 2,6
Digestion intestinale (kg/j)	1,6 <sup>a</sup> ± 0,1	0,9 <sup>b</sup> ± 0,1
(% ingéré)	31,0 <sup>a</sup> ± 1,1	18,4 <sup>b</sup> ± 1,3
(% entrée)	73,6 <sup>a</sup> ± 1,5	64,7 <sup>b</sup> ± 1,9
Digestibilité totale (% ingéré)	95,0 <sup>a</sup> ± 1,6	94,1 <sup>a</sup> ± 1,2

Moyenne ± écart type; les valeurs moyennes sur une même ligne affectées d'un même exposant ne sont pas statistiquement différentes ( $P > 0,05$ ).

que l'efficacité de la synthèse bactérienne (gN/kg de MORDR) est accrue de 17,7% environ. Les flux iléaux des différentes formes azotées n'étant pas modifiés par le régime, la digestion intestinale apparente (g/j) de N non ammoniacal, N bactérien et N alimentaire est respectivement augmentée de 17,0, 12,7 et 25,3% lorsque la féverole extrudée remplace la féverole crue. La digestion azotée dans les régions post-iléales ne varie pas significativement au cours des 2 phases expérimentales.

## DISCUSSION

L'extrusion de *Vicia faba* cv Castel entraîne une diminution de la fraction N soluble. Ce résultat est en accord, d'une part avec ceux de Michalet-Doreau *et al* (1987) qui montrent que pour *Vicia faba* cv Alto, la solubilité de N passe de 64,7 à 28,1% Nt après extrusion à 150 °C et, d'autre

part, avec ceux de Cros *et al* (1991) qui font apparaître une réduction de N soluble pour *Vicia faba* cv Talo extrudée à 120 °C (21,1 vs 74,9% Nt). Si l'incidence du traitement thermique à 195 °C est visible *in vitro* (insolubilisation de N) et *in situ*, baisse de la dégradabilité de N : 66,5 vs 73,3% (Benchaar *et al*, 1992), il n'en est pas de même *in vivo* pour N-NH<sub>3</sub>. En effet, l'extrusion de la féverole, en réduisant la fraction soluble et rapidement dégradable des protéines alimentaires, devrait affecter la production ruminale de N-NH<sub>3</sub> comme c'est le cas notamment pour le pois, le coton, le tourteau et les graines de soja (Thomas *et al*, 1979; Tagari *et al*, 1986; Focant *et al*, 1990). Or, la teneur en N-NH<sub>3</sub> du jus de rumen n'est pas modifiée dans nos conditions expérimentales; des résultats similaires ont été obtenus par d'autres équipes pour les graines de féverole, de soja et de lupin (McMeniman et Armstrong, 1979; Van Dijk *et al*, 1983; Stern *et al*, 1985; Michalet-Doreau *et al*, 1985; Benchaar *et al*, 1991).

**Tableau V.** Ingestion (g/j), flux (g/j) et digestion des matières azotées dans le tube digestif de vaches en lactation recevant une ration complétée par la féverole crue (FC) ou extrudée (FE) à 195 °C.

Matières azotées	FC	FE
<i>Ingestion</i>	356,2 <sup>a</sup> ± 4,5	347,9 <sup>a</sup> ± 5,3
<i>Flux</i>		
Nt duodéнал	376,8 <sup>b</sup> ± 0,1	422,0 <sup>a</sup> ± 2,3
N non ammoniacal	365,5 <sup>b</sup> ± 1,7	408,9 <sup>a</sup> ± 1,1
N bactérien	194,2 <sup>b</sup> ± 5,4	216,2 <sup>a</sup> ± 8,4
N alimentaire*	172,1 <sup>b</sup> ± 3,5	192,6 <sup>a</sup> ± 7,3
Nt iléal	142,1 <sup>a</sup> ± 8,9	145,7 <sup>a</sup> ± 8,6
N non ammoniacal	136,7 <sup>a</sup> ± 9,1	141,2 <sup>a</sup> ± 7,8
N bactérien	33,8 <sup>b</sup> ± 0,6	35,4 <sup>a</sup> ± 0,8
N alimentaire	102,8 <sup>a</sup> ± 8,3	105,8 <sup>a</sup> ± 7,0
Nt fécal	124,9 <sup>a</sup> ± 5,4	125,7 <sup>a</sup> ± 1,9
<i>Digestion ruminale</i>		
apparente (% ingérée)	51,7 <sup>a</sup> ± 1,1	44,7 <sup>b</sup> ± 1,9
<i>Synthèse bactériennes (gN/kg)</i>		
MOADR	31,0 <sup>b</sup> ± 0,8	35,8 <sup>a</sup> ± 2,0
MORDR	21,5 <sup>b</sup> ± 0,6	25,3 <sup>a</sup> ± 0,6
<i>Digestion intestinale</i>		
N non ammoniacal		
(g/j)	228,8 <sup>b</sup> ± 8,2	267,6 <sup>a</sup> ± 6,7
(% ingéré)	64,3 <sup>b</sup> ± 2,5	76,9 <sup>a</sup> ± 1,7
(% entrée)	62,7 <sup>a</sup> ± 2,4	65,5 <sup>a</sup> ± 1,8
N bactérien		
(g/j)	160,5 <sup>b</sup> ± 4,9	180,8 <sup>a</sup> ± 7,5
(% entrée)	82,6 <sup>a</sup> ± 0,2	83,6 <sup>a</sup> ± 0,3
N alimentaire		
(g/j)	69,3 <sup>a</sup> ± 11,8	86,8 <sup>a</sup> ± 14,3
(% ingéré)	19,5 <sup>a</sup> ± 3,4	25,0 <sup>a</sup> ± 4,0
(% entrée)	40,2 <sup>a</sup> ± 6,1	44,9 <sup>a</sup> ± 5,7
<i>Digestibilité totale (% ingéré)</i>	95,0 <sup>a</sup> ± 1,6	94,1 <sup>a</sup> ± 1,2

Moyenne ± écart type; azote total (Nt); \* = N alimentaire + N 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 ( $P > 0,05$ ).

Il est vrai que la concentration ruminale de N-NH<sub>3</sub> est un pool à plusieurs entrées et sorties. Elle ne traduit pas seulement une production à partir de N alimentaire, puisqu'elle dépend aussi de son utilisation par les microorganismes, du passage éventuel dans le sang et du recyclage par le biais des sécrétions salivaires. Dans nos essais,

la teneur en N-NH<sub>3</sub> est toujours supérieure à 90 mg/l; elle n'est donc pas limitante pour la croissance de la microflore (Madsen et Hvelplund, 1988). En fait, l'efficacité de la synthèse bactérienne exprimée en gN/kg de MORDR augmente significativement, après extrusion de la féverole (25,3 vs 21,5); un effet identique étant signalé

par Focant *et al* (1990) après traitement thermique du pois (16,7 vs 10,9). Par contre, la synthèse microbienne n'est pas modifiée par la cuisson-extrusion (Stern *et al*, 1985; Pena *et al*, 1986; Benchaar *et al*, 1991) des graines de soja (42), coton (13) et lupin (22). Lorsque les animaux reçoivent la ration à base de féverole crue, la digestion ruminale de l'amidon par les  $\alpha$ -amylases bactériennes est en moyenne de 58%. Pour les céréales, la fraction d'amidon qui est normalement dégradée dans le rumen est très variable et dépend de la structure du granule d'amidon; les valeurs s'échelonnent de 52 à 76% pour le sorgho, de 73 à 77% pour le maïs et le pois, de 92 à 95% pour l'orge (Waldo, 1973; Owens *et al*, 1986; Theurer, 1986; Focant *et al*, 1990). Après extrusion de la féverole, il apparaît que l'amylolyse dans les réservoirs de fermentation est plus intense; par voie de conséquence, la digestion posttruminale de ce nutriment est fortement réduite. Par ailleurs, lors d'expérimentations réalisées *in vitro*, Cerning-Beroard (1977) a montré que l'utilisation digestive de l'amidon de la féverole est susceptible d'être profondément changée par l'extrusion. Il s'agit surtout d'un accroissement de l'accessibilité du granule d'amidon à l' $\alpha$ -amylase; la fraction facilement attaquable passant de 3 à 83% de MS. Une hausse de la digestion ruminale de l'amidon a également été observée, *in vivo*, par Theurer (1986) après traitement thermique des céréales (maïs, orge, sorgho). Par contre, Focant *et al* (1990) n'ont enregistré aucune variation significative de la fraction d'amidon digérée dans le rumen après extrusion du pois protéagineux (température d'extrusion non précisée).

Le flux duodéal de Nt est la résultante des différents flux : N ammoniacal, N bactérien et N alimentaire \*, l'extrusion pou-

vant avoir une incidence sur chacun d'eux. Dans nos conditions d'expérimentation, le flux N bactérien qui parvient au duodénum est augmenté lorsque, dans la ration, la graine extrudée remplace la graine crue (216 vs 194 g/j). Un accroissement de cette fraction azotée a aussi été mis en évidence par Focant *et al* (1990) après extrusion du pois (104 vs 68 g/j) tandis que, pour d'autres graines protéagineuses pauvres en amidon : soja, coton, lupin, ce flux demeure pratiquement constant, que le régime soit complété par la graine crue ou par la graine traitée (Stern *et al*, 1985; Pena *et al*, 1986; Benchaar *et al*, 1991). Dans nos conditions expérimentales, le flux duodéal de Nt est toujours plus important que Nt ingéré, soit : + 5,8% pour la ration féverole crue et + 21,1% pour la ration féverole extrudée. Un gain azoté, dû au recyclage de l'urée apparaît pour des régimes à faible(s) teneur(s) en MA et/ou N fermentescible; des hausses allant de 15 à 43% ont été très souvent rapportées dans la littérature (Loerch *et al*, 1983; Santos *et al*, 1984; Stern *et al*, 1985; Garrett *et al*, 1987; Benchaar *et al*, 1991). Pour la féverole extrudée, une baisse de la digestion des MA dans le rumen, entraîne une hausse du flux duodéal N alimentaire\* confirmant ainsi l'effet protecteur de l'extrusion à 195 °C que nous avons mis en évidence *in situ*, sur vaches tarées (Benchaar *et al*, 1992), à savoir : une réduction, de l'ordre de 9%, de la dégradation ruminale des MA et une augmentation, de 32% environ, de la digestion apparente dans les régions postruminales, ces 2 valeurs étant très proches de celles qui sont obtenues *in vivo*. Une élévation du flux N alimentaire à l'entrée de l'intestin grêle est également rapportée après l'extrusion du pois : + 19% (Focant *et al*, 1990) et des graines de soja (149 °C) : + 104% (Stern *et al*, 1985), de

---

\* N alimentaire + N endogène

coton (150 °C) : + 29% (Pena *et al*, 1986) et de lupin (195 °C) : + 72% (Benchaar *et al*, 1991). Par contre, McMeniman et Arms-trong (1979) ont signalé que les flux duodénaux : Nt, N alimentaire et N bactérien ne sont pas modifiés après traitement thermique de la féverole; toutefois, la température d'extrusion utilisée dans leur expérimentation était certainement trop faible (105 °C) pour, d'une part, protéger efficacement les protéines alimentaires de la digestion ruminale et, d'autre part, augmenter l'amylolyse. La digestion intestinale apparente de N non ammoniacal est accrue lorsque la ration est supplémentée par la graine extrudée à la place de la graine crue (76,9 vs 64,3% ingéré). Dans des conditions expérimentales similaires, mais où les animaux recevaient une ration complétementée par de la graine de lupin, crue ou extrudée à 195 °C, les valeurs observées pour N non ammoniacal étaient respectivement de 50,9 et 72,4% ingéré; l'augmentation étant uniquement le fait de N alimentaire (Benchaar *et al*, 1991).

À partir des résultats obtenus, nous avons évalué les teneurs PDI pour les graines crues et extrudées. Le flux Nt duodéal étant supérieur à Nt ingéré, nous avons formulé l'hypothèse d'un déficit en N soluble; les tables de la valeur nutritive des aliments (Andrieu *et al*, 1989) nous ont fourni les PDI pour l'ensilage de maïs, le foin de ray-grass et le maïs grain; aliments qui entrent dans la composition du régime. Dans ces conditions, les teneurs PDIA, PDIN et PDIE (g/kg de MS) sont respectivement : 33, 175 et 127 pour la graine crue et 58, 147 et 178 pour la graine extrudée. Par ailleurs, il convient de signaler que les valeurs PDIA, PDIN et PDIE estimées à partir de l'étude *in situ* (Benchaar *et al*, 1992) sont : 61, 161 et 134 pour la féverole crue, et 79, 171, 152 pour l'extrudée (195 °C).

De cette expérimentation, nous retenirons que la substitution de la féverole

crue par de la féverole extrudée à 195 °C dans l'alimentation de vaches laitières en production entraîne une diminution de la digestion ruminale des MA alimentaires, d'une part, et une augmentation de l'amylolyse et de l'efficacité de la synthèse des protéines bactériennes, d'autre part. Par voie de conséquence, le flux duodéal et la digestion intestinale de N non ammoniacal sont accrus.

## RÉFÉRENCES

- Andrieu J, Demarquilly C, Sauvant D (1989) Tables of feeds used in France. In: *Ruminant nutrition* (Jarrige R, ed) INRA, Libbey J, Eurotext, Paris-Londres, 213-294
- Benchaar C, Bayourthe C, Moncoulon R, Vernay M (1991) Digestion ruminale et absorption intestinale des protéines du lupin extrudé chez la vache laitière. *Reprod Nutr Dev* 31, 655-665
- Benchaar C, Cros P, Bayourthe C (1992) Effets de l'extrusion sur la dégradabilité ruminale et la digestibilité intestinale des protéines de la féverole et du lupin, *in situ*, chez la vache tarie. In: *1<sup>re</sup> Conf Eur Protéagineux*. Angers 1-3 juin; 501-502
- Binnerts WT, Van't Klooster AT, Frens AM (1968) Soluble chromium indicator measured by atomic absorption in digestion experiments. *Vet Rec* 82, 470
- Cerning-Beroard J (1977) Effect of technological processing on the carbohydrate composition of horse beans and on the susceptibility of starch alpha-amylase. In: *Protein quality from leguminous crops*. Comm Eur Commun EUR 5686 EN, 125-135
- Cerning-Beroard J, Filiatre A (1977) Characterization and distribution of soluble and insoluble carbohydrates in legume seeds: horse beans, peas, lupines. In: *Protein quality from leguminous crops*. Comm Eur Commun, EUR 5686 EN, 65-76
- Cros P, Vernay M, Moncoulon R (1991) *In situ* evaluation of the ruminal and intestinal degradability of extruded whole horsebeans. *Reprod Nutr Dev* 31, 249-255

- Ellis WC, Lascano C, Teeter T, Owens FN (1982) Solute and particulate flow markers. *In: Protein Requirements for cattle, symposium* (Owens FN, 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
- 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
- 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) Évolution 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
- Journal Officiel des Communautés Européennes* (1971) Méthodes d'analyse des aliments pour les animaux (20 Déc)
- 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
- Madsen J, Hvelplund T (1988) The influence of different protein supply and feeding level on pH, ammonia concentration and microbial protein synthesis in the rumen of cows. *Acta Agric Scand* 38, 115-125
- 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, Bauchart D (1985) Valeur nutritive des graines de soja crues ou extrudées pour les ruminants. *Bull Tech CRZV Theix, INRA* 59, 29-38
- Michalet-Doreau B, Doreau M, Voisin A, Bogaert C (1987) Effets de l'extrusion sur la valeur azotée des aliments pour ruminants. *In: Cuisson-extrusion*. Nantes 16-17 Sept, INRA, Paris (Les Colloques de l'INRA n° 41), 249-258
- Owens FN, Zinn RA, Kim YK (1986) Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J Anim Sci* 63, 1634-1648
- 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
- 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
- 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
- Tagari H, Pena F, Satter LD (1986) Protein degradation by rumen microbes of heat-treated whole cottonseed. *J Anim Sci* 62, 1732-1736
- Theurer CB (1986) Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J Anim Sci* 63, 1649-1662
- Thomas E, Trenkle A, Burroughs W (1979) Evaluation of protective agents applied to soybean meal fed to cattle. I. Laboratory measurements. *J Anim Sci* 49, 1337-1345
- 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
- Van Dijk HJ, O'Dell GD, Perry PR, Grimes LW (1983) Extruded *versus* raw ground soybeans for dairy cows in early lactation. *J Dairy Sci* 66, 2521-2525
- 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
- Waldo DR (1973) Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *J Anim Sci* 37, 1062-1074