

Utilisation des tourteaux traités au formol par les vaches laitières

I. — Aspects digestifs

R. VÉRITÉ, C. PONCET (*), S. CHABI (**), et R. PION (**)

*Laboratoire de la production laitière,
(* Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants,
(**) Laboratoire d'Étude du Métabolisme Azoté,
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I.N.R.A.,
Theix-Saint-Genès-Champagnelle,
63110 Beaumont (France)*

Résumé

Des tourteaux de soja et de colza ont été traités séparément avec une dose de formaldéhyde de 0,3 et 0,4 p. 100 M.S. respectivement.

1) La proportion de l'azote des tourteaux dégradé au cours d'essais d'incubation dans des contenus de rumen a été, respectivement pour les tourteaux témoin et traité, 43 et 1 p. 100 pour le soja (1^{re} année), 25 et 3 p. 100 pour le colza (1^{re} année) et 42 et 5 p. 100 pour le mélange 50/50 de soja-colza (2^e année).

2) Au cours de 2 essais, 8 vaches fistulisées du rumen ont reçu des quantités limitées d'ensilage de maïs et de tourteaux témoin ou traité (représentant 50 p. 100 de l'apport azoté total). Les tourteaux de soja et de colza ont été testés séparément dans l'essai 1 et en mélange 50/50 dans l'essai 2. Le traitement n'a pas modifié la digestibilité des différents constituants de la ration excepté une très légère diminution (— 1,7 unité) de la digestibilité de l'azote dans l'essai 2. Le bilan azoté a été amélioré (surtout dans l'essai 1) et la teneur en ammoniacque du jus de rumen diminuée (fig. 1).

3) Deux jeunes bovins fistulisés du duodénum ont reçu des quantités limitées d'ensilage de maïs avec du tourteau de soja témoin ou traité en inversion au cours de 2 périodes. Le site (rumen ou intestin) de disparition des constituants non azotés n'a pas été modifié avec le tourteau traité. Les contenus de duodénum (mais pas les fèces) étaient plus riches en matières azotées dont une partie plus importante était constituée d'acides aminés. Le flux d'acides aminés a été accru de 20 p. 100 sans modification de leur digestibilité intestinale. L'accroissement le plus important a été pour l'arginine, la phénylalanine et l'histidine et le plus faible pour la méthionine, la thréonine et la lysine. Le traitement de 1 kg M.S. de tourteau de soja a accru le flux d'acides aminés d'environ 100 g; la composition en acides aminés de ce supplément a été très voisine de celle des tourteaux de soja.

Introduction

Les vaches à forte production laitière ont des besoins élevés en acides aminés. Or, dans le rumen, les bactéries désaminent en grande partie les protéines alimentaires, ce qui en réduit l'efficacité lorsqu'il s'agit d'un supplément azoté de

bonne qualité. Différentes techniques ont été proposées pour diminuer cette dégradation (cf. revue de MCGILLIARD, 1972) et en particulier le traitement des protéines à l'aide de tannins ou d'aldéhydes (LEROY, ZELTER et FRANÇOIS, 1964 — FERGUSON, HEMSLEY et REIS, 1967).

Le traitement au formol permet effectivement d'accroître la quantité de protéines transitant dans le duodénum d'environ 15 à 60 g par 100 g de matières azotées traitées (caséine, tourteau d'arachide ou blé) (FAICHNEY et WESTON, 1971 — OFFER, EVANS et AXFORD, 1971 — FAICHNEY, 1972 — MACRAE *et al.*, 1972 — MILLER, 1972 — LANGLANDS, 1973 — HAGEMEISTER et PFEFFER, 1973), mais il réduit souvent la digestibilité globale de l'azote de 3 à 8 unités (LANGLANDS, 1971 — FAICHNEY, 1972 — MILLER, 1972 — FAICHNEY et DAVIES, 1972-73 — CLARK, DAVIS et HATFIELD, 1974 — SCHMIDT, BENEVENGA et JORGENSEN, 1974) et parfois plus (SHARMA, INGALLS et MCKIRDY, 1972), bien que les protéines traitées ne représentent qu'une fraction de l'apport azoté. Lorsque la diminution de digestibilité est limitée, la quantité d'azote disparaissant dans l'intestin est accrue (MACRAE *et al.*, 1972), la teneur en urée du plasma et (ou) l'excrétion d'azote urinaire sont généralement diminuées (FAICHNEY, 1971 — MACRAE *et al.*, 1972 — CLARK, DAVIS, HATFIELD, 1974).

L'importance de la diminution de digestibilité, qui conditionne la réponse zootechnique, est très variable et pourrait bien dépendre des modalités d'application du traitement (ZELTER, LEROY et TISSIER, 1970).

Avant de tester les effets du traitement au formol des tourteaux de soja et de colza sur la production laitière (VÉRITÉ et JOURNET, 1977) nous avons voulu en connaître les effets sur la fermentescibilité de l'azote (*in vivo* et *in vitro*), sur sa digestibilité globale (essais 1 et 2 comportant chacun 4 vaches fistulisées du rumen) et sur l'importance relative de la digestion ruminale et de la digestion intestinale (essai 3 comportant 2 jeunes bovins fistulisés du duodénum).

Matériel et méthodes

Traitement des tourteaux

Des tourteaux de soja et de colza, finement broyés, ont été traités ⁽¹⁾ séparément par une dose de formaldéhyde pur de 0,3 p. 100 (soja) et 0,4 p. 100 (colza) du poids brut de tourteau. Pour améliorer l'efficacité du traitement, les tourteaux ont été rebroyés et légèrement réhumidifiés 1 mois plus tard dans la première fabrication (essais 1 et 3) mais non dans la deuxième (essai 2) (tabl. 1).

Essais sur vaches fistulisées du rumen

1. Digestibilité et bilan azoté

Deux essais en carré latin 4 × 4 avec des périodes de 3 semaines (essai 1) ou 5 semaines (essai 2), ont porté chacun sur 4 vaches sèches fistulisées du rumen. Dans l'essai 1, l'influence du traitement des tourteaux a été mesurée séparément

(1) Le traitement a été effectué sous le contrôle du Laboratoire de Technologie des Aliments — I.N.R.A. Jouy-en-Josas.

TABLEAU I
 Composition chimique des aliments (p. 100 MS)
 Chemical composition of feed (p. 100 DM)

	Essai <i>Trial</i>	Cendres <i>Ashes</i>	Matières azotées <i>Crude protein</i>	Cellulose Weende <i>Crude fibre</i>	Extrait éthéré <i>Ether extract</i>
Tourteau normal					
<i>Normal meal</i>					
— soja — <i>soyabean</i>	1-3	6,4	54,6	4,1	1,2
— colza — <i>rapeseed</i>	1	6,8	42,6	12,1	2,9
— mélange — <i>mixture</i>	2	7,0	46,9	7,7	—
Tourteau traité au formol					
<i>Formaldehyde treated meal</i>					
— soja — <i>soyabean</i>	1-3	6,3	54,6	4,8	1,6
— colza — <i>rapeseed</i>	1	7,2	42,4	13,3	1,5
— mélange — <i>mixture</i>	2	7,2	46,9	8,9	—
Ensilage de maïs	1	6,0	13,0*	18,7	2,8
<i>Maize silage</i>	2	5,6	8,2	19,4	—
	3	5,8	12,1*	21,6	—

(*) Un mélange urée-minéraux (50/50) a été ajouté au moment de la mise en silo à raison de 35 et 28,5 g par kg M.S. respectivement dans les essais 1 et 3. *A mixture of urea-minerals (50-50) was added at the time of ensiling at the rate of 35 and 28,5 g per kg D.M. respectively in trials 1 and 3.*

sur le soja et le colza. La ration était constituée d'une quantité limitée d'ensilage de maïs enrichi en urée (distribuée à 8 et 17 h) et de l'un des tourteaux (distribué à 9 et 17 h). Dans l'essai 2, l'influence du traitement et de son interaction avec le niveau d'apport d'urée a été mesurée sur un mélange 50/50 de tourteaux de soja et de colza. La ration, constituée d'ensilage de maïs, de tourteau et éventuellement d'urée (0 ou 100 g/j) était mélangée et distribuée en 2 repas (8 et 17 h). Les vaches étaient en stalle de digestibilité sur tapis de caoutchouc. La digestibilité de la ration et le bilan azoté des vaches ont été mesurés à la fin de chaque période par collecte totale des fèces et de l'urine pendant 5 jours. Le pH, le taux et la composition du mélange des A.G.V. la teneur en ammoniacque du jus de rumen étaient mesurés à différents moments avant et après le repas du matin, deux jours par période pour chaque vache.

2. Fermentation in vitro de contenus de rumen

La technique a été décrite par ailleurs (JOURNET et DEMARQUILLY, 1967). Au cours de chaque période, des contenus de rumen ont été prélevés sur chaque vache, à 9 h dans l'essai 1 (après la distribution de l'ensilage de maïs, avant celle du tourteau) et à 8 h dans l'essai 2 (avant la distribution de la ration). Le milieu d'incubation était constitué par 200 g de contenu de rumen, 200 ml de jus de rumen et 400 ml de salive artificielle (dans l'essai 2 il contenait en plus 17 g M.S. d'ensilage de maïs broyé finement et lyophilisé et 1,76 g de sulfate d'ammoniacque). A ce milieu on a ajouté 3 g de tourteau à tester. Dans chaque essai, à chaque période et pour chaque vache, 3 incubations ont été réalisées.

Essai 1 : Une incubation témoin (sans tourteau) et deux incubations expérimentales (toutes deux avec le tourteau reçu par la vache à la période considérée).

Essai 2 : Une incubation témoin (sans tourteau) et deux incubations expérimentales l'une avec le tourteau normal, l'autre avec le tourteau formolé.

Les mesures, faites à intervalles divers pendant les 6 h d'incubation, concernent le volume de gaz recueilli, le pH, le taux et les proportions relatives des acides gras volatils (RIGAUD et JOURNET, 1970) et le taux d'ammoniaque dans le liquide d'incubation (méthode de Berthelot adaptée à l'autoanalyseur Technicon).

Essai sur jeunes bovins fistulés du duodénum(*)

L'essai 3 a été réalisé avec un bouvillon (14 mois — 350 kg) muni de trois canules simples (rumen, début du duodénum, valvule iléocaecale) et une génisse (21 mois — 450 kg) munie d'une canule simple (début du duodénum). Ces deux animaux ont reçu, en deux repas égaux (7 h — 19 h), 5,3 kg de M.S. d'ensilage de maïs — urée (cf. essai 1) et, en inversion au cours de deux périodes successives, du tourteau de soja normal ou formolé (1,4 kg M.S. environ) qui représentait 50 p. 100 de l'apport azoté. A chaque repas, 30 g de papier imprégné d'oxyde de chrome (31,9 %) (CORBETT *et al.*, 1960) étaient introduits par la canule du rumen pour le bouvillon ou distribués dans l'auge en mélange avec un peu d'ensilage pour la génisse. Cet apport commençait deux semaines avant le début des prélèvements de contenus duodénaux.

Pour chaque période et chaque animal, 2 à 4 échantillons de contenus de duodénum correspondant à des périodes diurnes et nocturnes de 12 h (espacées d'au moins 48 h), étaient constitués par prélèvement discontinu de 5 mn toutes les 2 h. Pour chaque journée correspondante un échantillon de fèces était également constitué. Un échantillon moyen de chacun des tourteaux de soja (normal ou formolé) a été conservé après séchage (48 h à 80 °C). Un échantillon moyen d'ensilage, les échantillons de contenu duodéal et de fèces ont été lyophilisés et conservés à + 4 °C. Tous ces échantillons ont été analysés individuellement pour la matière sèche, les matières minérales (12 h à 550 °C), l'amidon (THIVEND, MERCIER et GUILBOT, 1972), l'azote (KJELDAHL) et les constituants membranaires (JARRIGE, 1961). Les quantités journalières de matière sèche passant au niveau duodéal et celles excrétées dans les fèces ont été estimées à partir des quantités d'oxyde de chrome distribuées et de la concentration en oxyde de chrome (méthode de BOLIN, KING et KLOSTERMAN, 1952) des contenus duodénaux et des fèces.

Les matières azotées des tourteaux, des contenus de duodénum et des fèces ont été extraites successivement par l'eau à pH 7, l'éthanol 50 p. 100 et l'acide trichloracétique 10 p. 100 (PION, CHAMPREDON et THIVEND, 1973). La composition en acides aminés de chacun des extraits et des résidus a été déterminée, après hydrolyse acide (PION et FAUCONNEAU, 1966), par chromatographie sur colonne au moyen d'un appareil automatique. Les acides aminés souffrés ont été dosés après oxydation performique de l'échantillon (1).

(*) Une partie des résultats a fait l'objet d'une thèse de l'un d'entre nous (S. CHABI : Influence de la nature du tourteau et de son traitement technologique sur l'utilisation digestive des matières azotées chez le ruminant — Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand, 59 p.).

(1) Dans les conditions d'analyse, l'asparagine et la glutamine éventuellement présentes sont dosées respectivement sous forme d'acide aspartique et d'acide glutamique et l'azote correspondant à leur groupe-ment aminé est dosé sous forme d'ammoniaque; il n'est donc pas pris en compte dans le calcul de l'azote des acides aminés. La tyrosine et la phénylalanine n'ont pas toujours pu être dosés dans les échantillons de fèces par suite de l'interférence de sucres aminés. Ces derniers partiellement détruits au cours de l'hydrolyse n'ont pas été dosés quantitativement. Ils constituent une part de l'azote indifférencié.

Résultats et discussion

Digestibilité et bilan azoté

La digestibilité globale de la ration (tabl. 2) et celle de ses constituants non azotés n'ont pas été modifiées par le traitement des tourteaux au formol (ni d'ailleurs par l'apport d'urée). La digestibilité des matières azotées n'a pas été abaissée par le traitement des tourteaux dans l'essai 1; dans l'essai 2, elle a été légèrement plus faible de 1,7 point p. 100 (non significativement) avec le tourteau traité au formol. L'effet dépressif du traitement est donc très faible comparativement aux diminutions de digestibilité de l'azote de la ration observées par d'autres auteurs (6 à 8 points au moins) dans des essais analogues aux nôtres (LEROY et ZELTER 1970 — LANGLANDS, 1971 — FAICHNEY, 1972 — MILLER, 1972 — FAICHNEY et DAVIES, 1972 et 1973 — NISHIMUTA, ELY et BOLING, 1973 — CLARK, DAVIS et HATFIELD, 1974 — SCHMIDT, BENEVENGA et JORGENSEN, 1974). Cette différence peut être attribuée à la dose plus faible de formaldéhyde (0,6 et 1 g de formaldéhyde pur par 100 g de matières azotées) et à des différences dans la méthode d'incorporation et dans la nature des tourteaux.

Dans l'essai 1, la quantité d'azote retenue par les animaux a été nettement plus élevée ($P < 0,05$) avec des tourteaux traités (+ 31 g/j) qu'avec les tourteaux normaux (+ 12 g/j). Dans l'essai 2, il n'y a pas eu de différence due au traitement des tourteaux ou à l'apport d'urée (+ 15 g/j en moyenne). L'intérêt de ces résultats de bilan est cependant réduit car les vaches tarées avaient des besoins azotés faibles et recevaient de ce fait un important excès d'azote.

Fermentations dans le rumen

Ammoniogénèse in vivo

Dans l'essai 1, la teneur en ammoniacque du jus de rumen (fig. 1) a très peu différé entre les tourteaux normaux ou traités. Ceci n'implique cependant pas que le traitement n'ait pas réduit l'ammoniogénèse; en effet, la teneur en ammoniacque du jus de rumen dépend non seulement de sa formation, mais aussi de son absorption à travers la paroi du rumen et de son utilisation par les microbes. De plus, dans cet essai, l'ensilage de maïs enrichi en urée a été distribué 1 h avant les tourteaux, ce qui a pu masquer l'effet du traitement.

Dans l'essai 2, le traitement a abaissé significativement ($P < 0,01$) la teneur en ammoniacque du jus de rumen dès 1 h après la distribution des aliments (fig. 1). La différence est restée constante à partir de 2 h après le repas (de l'ordre de 60 mg N/l). Des diminutions semblables ont souvent été notées par ailleurs (ZELTER, LEROY et TISSIER, 1970 — FAICHNEY et DAVIES, 1973 — NISHIMUTA, ELY et BOLING, 1973) mais pas toujours (FAICHNEY, 1972).

pH et acides gras volatils du jus de rumen

Le traitement du tourteau n'a en aucun cas modifié la valeur ni l'évolution postprandiale du pH et de la teneur en A.G.V. du jus de rumen (tabl. 2). De même, les proportions relatives des différents A.G.V. ont assez peu varié. Toutefois, celle

TABLEAU 2
Digestibilité, bilan azoté et fermentation dans le rumen
Digestibility, nitrogen balance and rumen fermentation

	Essai 1 — Trial 1				Essai 2 — Trial 2				Intake — maize silage kg DM — meal kg DM Crude protein } Meal N } total N Diet digestibility % — organic matter — nitrogen — crude fiber N balance % N digested Rumen volatile (atty acids ⁽¹⁾) mmoles/l molar proportions % — acetic acid — propionic — butyric — isobutyric — isovaleric — valeric — caproic Rumen pH	
	Soyabean		Colza — Rapeseed		Sans urée — No urea		Avec urée — With urea			
	normal	traité treated	normal	traité treated	normal	traité treated	normal	traité treated		
Quantités ingérées										
ensilage de maïs kg MS	5,77	5,75	5,70	5,75	5,54	5,54	5,54	5,54	5,54	—
tourteau kg MS	1,25	1,59	1,63	1,59	1,35	1,31	1,35	1,31	1,31	—
Matières azotées } N tourteau } % N total	436 20,4	421 20,4	435 19,6	422 19,4	086 15,8	070 15,6	1389 20,2	373 20,2	373 20,2	—
Digestibilité de la ration (%)										
matière organique	78,4	76,5	76,4	76,5	76,6	76,5	77,8	77,8	77,8	—
azote	80,7	80,7	78,7	77,9	74,5	73,1	81,2	79,2	79,2	—
cellulose Weende	72,3	72,7	67,6	67,2	67,1	66,8	68,3	70,7	70,7	—
Azote retenu % azote digéré	5,8	19,2	7,7	15,1	8,8	11,5	9,4	10,2	10,2	—
Acides gras volatils du rumen ⁽¹⁾										
mmoles/l	98,0	97,5	100,1	103,7	102,2	94,8	104,7	101,3	101,3	—
Proportions molaires %										
acétique	65,4	65,0	61,6	64,0	62,4	63,7	63,0	64,5	64,5	—
propionique	16,9	17,3	19,0	18,7	18,7	17,7	18,8	18,3	18,3	—
butyrique	12,9	12,9	13,9	12,6	13,3	14,1	12,9	13,0	13,0	—
isobutyrique	1,24	1,16	1,40	1,18	1,51	1,28	1,58	1,01	1,01	—
isovalérique	2,23	2,01	2,04	1,72	2,29	1,80	2,05	1,65	1,65	—
valérique	1,23	1,36	1,73	1,53	1,40	1,20	1,46	1,20	1,20	—
caproïque	0,32	0,19	0,44	0,18	—	—	—	—	—	—
pH du jus de rumen ⁽¹⁾	6,75	6,92	6,83	6,79	6,88	6,94	6,91	6,90	6,90	—

(1) Trois heures après la distribution du repas du matin — 3 hours after morning feeding.

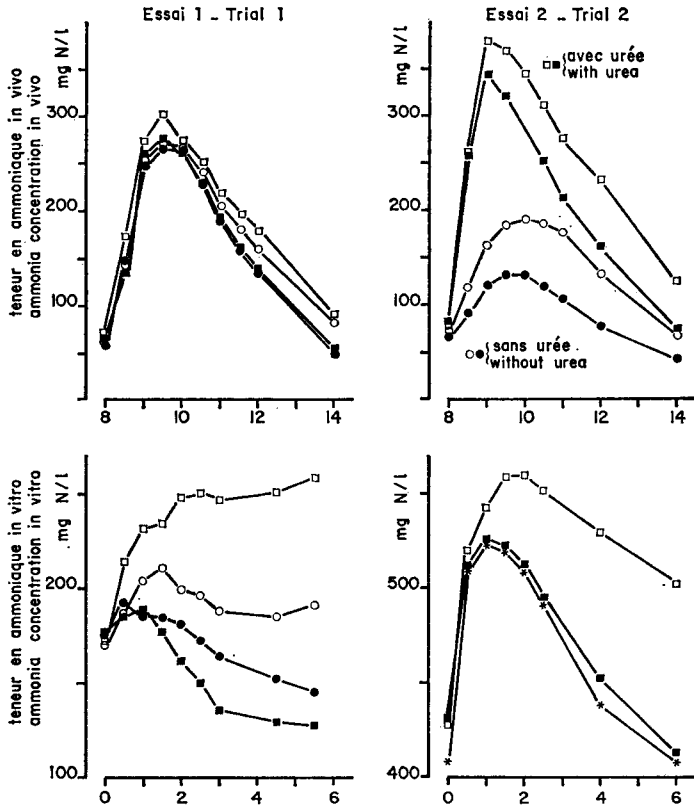


FIG. 1. — Évolution des teneurs en ammoniac in vivo et in vitro.
Evolution of ammoniac concentration in vivo and in vitro.

Tourteau de colza normal (○) ou traité (●)
Tourteau de soja normal (□) ou traité (■)
Normal (○) or treated (●) rapeseed meal
Normal (□) or treated (■) soyabean meal

□ Tourteau normal — Normal meal
■ Tourteau traité — Treated meal
* incubation témoin — Blank

des A.G.V. mineurs (iC_4 ; iC_5 ; C_5 et C_6) a été significativement plus faible avec les tourteaux traités. Ceci confirme la diminution de la protéolyse et de la désamination dans le rumen puisque ces A.G.V. proviennent de la dégradation de certains acides aminés (valine, leucine, isoleucine).

Par contre, nous n'avons pas retrouvé la baisse de la proportion d'acide butyrique notée par LEROY et ZELTER (1970) avec le tourteau traité. Comme dans l'essai de FAICHNEY (1972) la digestion des constituants non azotés de la ration ne semble donc pas affectée par le traitement réalisé. En revanche, MILLER (1972) avait observé une diminution de la digestion ruminale de ces constituants avec une dose de formaldéhyde plus élevée.

Par ailleurs, l'urée (en supplément) n'a pas modifié le pH, ni les proportions relatives des A.G.V. du jus de rumen. Le tourteau de colza a entraîné ($P < 0,05$) une production d'acide propionique légèrement supérieure à celle permise par le tourteau de soja.

Ammoniogénèse in vitro

In vitro, l'évolution de la teneur en ammoniacque dépend essentiellement de sa formation par protéolyse et désamination et de son utilisation pour la synthèse de protéines microbiennes. Avec le tourteau formolé la teneur en ammoniacque dans le milieu a toujours été semblable dans l'incubation témoin et avec le tourteau formolé; avec le tourteau normal, elle a été rapidement plus élevée et l'écart s'est continuellement accru ensuite (fig. 1). Le traitement a donc fortement réduit la dégradation des protéines.

Pour estimer la quantité d'ammoniacque issue de la dégradation des tourteaux, nous avons corrigé la variation apparente de quantité entre le début et la fin de l'incubation pour : 1^o la quantité formée à partir du milieu d'incubation lui-même (estimée à partir de l'incubation témoin) et 2^o la quantité utilisée pour la synthèse microbienne. Comme cette dernière dépend de la quantité d'énergie dont disposent les bactéries (lorsque la teneur en ammoniacque n'est pas limitante), elle a été estimée à partir de la quantité d'A.G.V. formée. Cette utilisation serait de $2,30 \pm 0,18$ mg N utilisés/mmole d'A.G.V. formée ($n = 15$) à partir de l'incubation témoin en supposant qu'entre 2 h 30 mn et 6 h la libération d'ammoniacque à partir du milieu y était nulle. Cette valeur est proche de celle trouvée dans un autre essai (VÉRITÉ et JOURNET, 1973) et un peu plus faible que celles (2,4 à 3,0 mg N/mmole A.G.V.) de WALKER et NADER (1968) et HOGAN et WESTON (1970).

Par cette technique de calcul, la proportion d'azote des tourteaux dégradés en ammoniacque a été estimée, respectivement pour le tourteau normal et le tourteau traité, à 43 et 1 p. 100 (soja — essai 1), 25 et 3 p. 100 (colza — essai 1 et 42 et 5 p. 100 (mélange de soja et colza — essai 2) et à 42 p. 100 pour l'ensilage de maïs. Un effet bénéfique semblable du traitement au formol a été montré à l'aide de la même technique de mesure par FAICHNEY et DAVIES (1972-1973) avec du tourteau d'arachide ou de l'aliment concentré complet et par SCHMIDT, BENEVENGA et JORGENSEN (1974) avec du tourteau de soja.

Au cours de ces incubations, la quantité d'A.G.V. produite avec les tourteaux traités a été plus faible qu'avec les tourteaux normaux (de 3 % avec le soja, 15 % avec le colza et 8 % avec le mélange). Ce phénomène n'a pas été remarqué *in vivo*. Il peut être expliqué simplement par la diminution de la dégradation dans le rumen des protéines des tourteaux par suite du traitement. La nature des fermentations n'a pas été modifiée puisque les proportions des différents A.G.V. ont été les mêmes dans toutes les incubations et ont été semblables à celles enregistrées dans le rumen des vaches.

Importance relative de la digestion dans le rumen et dans l'intestin (tabl. 3)

Au cours des périodes de prélèvement, les quantités de matière organique ingérées (mais pas celles d'azote) ont été légèrement différentes entre les deux régimes par suite de quelques refus d'ensilage de maïs.

1. Digestion des constituants non azotés

Le traitement au formol du tourteau de soja n'a pas entraîné de modification dans le site de disparition (rumen, intestin) des éléments non azotés de la ration. La légère différence dans la part de la digestion ruminale de la matière organique (73,5 % avec le tourteau normal contre 69,7 % avec le tourteau formolé) est entiè-

TABLEAU 3

Effet du traitement au formol du tourteau de soja sur l'importance et le site de la disparition des constituants de la ration (essai 3)

Effect of formaldehyde treatment of soya bean meal on importance and site of disappearance of diet components (trial 3)

	Tourteau <i>meal</i>	Quantités ingérées <i>Intake</i> (kg)	Digestibilité totale <i>Total</i> <i>digestibility</i> (%)	Disparu dans le rumen (% MOD) (% DOM)
Matière organique . . .	normal	6,51	72,5	73,5
<i>Organic matter</i> . . .	traité — <i>treated</i>	6,08	74,7	69,5
Cellulose	normal	1,12	69,6	94,4
	traité — <i>treated</i>	1,02	70,3	97,4
Hemicellulose	normal	2,15	81,3	91,9
	traité — <i>treated</i>	2,00	81,7	93,0
Amidon	normal	1,16	97,1	98,1
<i>Starch</i>	traité — <i>treated</i>	1,07	97,4	98,7
Azote	normal	0,235	76,6	21,7
<i>Nitrogen</i>	traité — <i>treated</i>	0,228	75,4	8,1

rement expliquée par la modification de la digestion de la fraction azotée. Ce résultat est en accord avec celui de FAICHNEY (1972) concernant un tourteau d'arachide traité avec une dose faible de formol (0,5 g de formol pour 100 g de protéines). Par contre, le traitement de la caséine et de l'arachide avec des doses plus élevées de formol (> 1 g par 100 g de protéines) a correspondu à une diminution de la digestion de la matière organique non azotée dans le rumen (FAICHNEY et WESTON, 1971; MILLER, 1972).

Dans cet essai, la part de la digestion ruminale dans la digestion totale a été élevée : 72 p. 100 de la matière organique digérée, 96 p. 100 de la cellulose digérée, 92 p. 100 des hémicelluloses digérées et 98 p. 100 de l'amidon digéré ont disparu dans le rumen. Ceci peut provenir d'un transit digestif assez lent lié au faible niveau d'ingestion. Avec des rations mixtes (fourrages + concentré) ou semi-synthétiques, de digestibilité comparable (70 à 75 %), distribuées à des vaches en quantité limitée (5 à 12 kg), PFEFFER, HAUFMANN et DIRKSEN (1972), VAN'T KLOOSTER et BOEKHOLT (1972), HAGEMEISTER et PFEFFER (1973) et TAMMINGA (1973) ont trouvé que 55 à 70 p. 100 de la matière organique digestible disparaît dans le rumen. Avec un niveau d'ingestion plus élevé (15 kg) seulement 50 p. 100 de la matière organique digestible disparaît dans le rumen (TAMMINGA, 1975). L'importance de la digestion ruminale de l'amidon du maïs comparée aux valeurs plus faibles généralement trouvées (THIVEND et JOURNET, 1970) peut être due au faible niveau d'ingestion, mais aussi à des modifications de cet amidon au cours de l'ensilage.

2. Digestion de l'azote (tabl. 4 et 5)

La teneur en matières azotées des contenus duodénaux a été plus élevée avec le tourteau formolé (31,3 g N × 6,25 par 100 g M.S.) qu'avec le tourteau normal (28,4 %); de plus, une proportion plus importante de l'azote était sous

TABLEAU 4

Composition de l'azote des contenus de duodenum et des fèces (essai 3)
 Nitrogen composition of duodenal contents and faeces (trial 3)

Nature du tourteau de soja <i>Soya bean meal treatment</i>	Contenu du duodenum <i>Duodenal contents</i>		Fèces <i>Faeces</i>	
	normal	traité <i>treated</i>	normal	traité <i>treated</i>
Teneur en azote (g N % MS) <i>Nitrogen concentration (g N % DM)</i>	4,54	5,01	2,45	2,43
Proportion d'azote aminé % N total <i>Amino N % total N</i>	68,1	72,9	57,4	60,6
Teneurs en acides aminés g/16 g N <i>Amino acid concentration g/16 g N</i>				
- acide aspartique	9,32	9,96	7,25	7,10
- thréonine	4,64	4,44	3,88	4,10
- sérine	4,28	4,59	3,39	3,78
- acide glutamique	11,24	13,31	9,29	9,67
- proline	3,39	4,30	3,29	4,24
- glycine	4,97	5,23	4,03	4,39
- alanine	5,80	5,29	4,89	5,24
- valine	4,36	4,70	3,62	3,96
- cystine	1,66	1,72	2,24	2,43
- méthionine	1,57	1,39	1,94	1,80
- isoleucine	3,79	3,83	3,12	3,16
- leucine	6,67	6,66	4,87	5,32
- tyrosine	3,70	3,79	—	4,21
- phénylalanine	4,47	4,98	3,79	3,65
- lysine	5,94	5,84	4,42	4,74
- histidine	1,67	1,87	1,33	1,38
- arginine	3,85	4,80	2,75	2,94
Répartition centésimale de l'azote aminé entre les extraits <i>Distribution of amino N between extracts</i>				
- eau — <i>water</i>	51,5	49,7	29,0	26,4
- éthanol — <i>ethanol</i>	2,7	4,1	16,4	8,4
- A.T.C. — <i>T.C.A.</i>	2,0	1,4	1,3	1,4
- résidu — <i>residue</i>	43,8	44,8	53,3	63,8

forme d'acides aminés (75,4 % contre 69,5 %). Leurs proportions relatives ont été peu modifiées : la proline, l'arginine et l'acide glutamique (et à un degré moindre l'histidine et la phénylalanine) ont été légèrement plus abondants avec le tourteau formolé. Le taux de solubilité des acides aminés des contenus de duodénum n'a pas été modifié (56 %), bien que le traitement ait considérablement réduit celui de l'azote du tourteau (9,4 % contre 36,3 % pour le tourteau normal).

Le traitement n'a pas modifié la teneur en azote des fèces ni les proportions relatives des acides aminés. Cependant ceux-ci représentaient une part légèrement

TABLEAU 5

Digestion de l'azote dans le rumen et dans l'intestin (essai 3)
Nitrogen digestion in rumen and intestine (trial 3)

Tourteau de soja <i>Soyabean meal</i>	Normal	Traité <i>Treated</i>	*
— N ingéré total — <i>Total N intake (g N)</i>	235	228	
— dont tourteau — <i>from meal (g N)</i>	125	127	
— N passant au duodénum — <i>N flowing to duodenum</i> (g N).	196	214	
— N dans les fèces — <i>faeces N</i>	55	56	
— Sites de disparition de l'azote (% N ingéré) <i>Sites of N disparition (% g N intake)</i>			
— dans le rumen — <i>in rumen</i>	16,6	6,1	37
— dans l'intestin — <i>in intestine</i>	60,0	69,3	115
— Flux d'acides aminés (g N pour 100 g N ingéré) <i>Flow of amino acids (g N p. 100 g N intake)</i>			
— au duodénum — <i>into duodenum</i>	56,8	68,4	120
— dans les fèces — <i>in faeces</i>	13,4	14,9	111
— disparu dans l'intestin — <i>disappeared in intestine</i>	43,4	53,5	123
— Quantités d'acides aminés disparues dans l'intestin (g d'acide pour 16 g N ingéré) <i>Amounts of amino acids disappeared in intestine</i> (g of acid per 16 g N intake)			
— acide aspartique.	6,08	7,60	125
— thréonine	2,96	3,16	107
— sérine.	2,88	3,40	122
— acide glutamique.	7,20	10,12	140
— proline	2,06	2,99	145
— glycine	3,20	3,83	120
— alanine	3,69	3,68	100
— valine.	2,79	3,44	123
— cystine	0,86	1,02	118
— méthionine	0,85	0,86	101
— isoleucine	2,43	2,82	116
— leucine	4,42	4,94	112
— tyrosine.	2,10	2,48	118
— phénylalanine	2,84	3,78	133
— lysine.	3,92	4,32	110
— histidine	1,08	1,42	131
— arginine.	2,57	3,78	147

(*) Rapport des flux entre « traité » et « normal » (p. 100). *Flow ratio between « treated » and « normal » (p. 100).*

plus importante de l'azote total et étaient moins solubles (36 % avec le tourteau formolé contre 47 % avec le tourteau normal).

Avec le traitement au formol (tabl. 5) du tourteau de soja, le flux d'acides aminés à l'entrée du duodénum a été accru de 20 p. 100 (soit 11 g N/100 g N total

ingéré). La digestibilité apparente des acides aminés dans l'intestin n'a pas été affectée par le traitement (79 %, et a peu varié entre acides (74 à 84 %)). La quantité d'acides aminés disparue dans l'intestin s'est donc accrue de 23 % (soit 10 g N / 100 g N total ingéré). Comme le tourteau ne représentait que 54 p. 100 de l'azote total ingéré, le traitement a donc permis d'accroître la quantité d'acides aminés absorbés de 19 g N / 100 g N traité ingéré, soit environ 105 g d'acides aminés par kg M.S. de tourteau. Cet effet du traitement est probablement sous-estimé car la quantité de matière organique ingérée (et donc aussi la synthèse microbienne) a été légèrement plus élevée avec le tourteau normal qu'avec le tourteau formolé.

Parmi les acides aminés indispensables, l'accroissement des quantités disparaissant dans l'intestin a été particulièrement net pour l'arginine (+ 50 %),

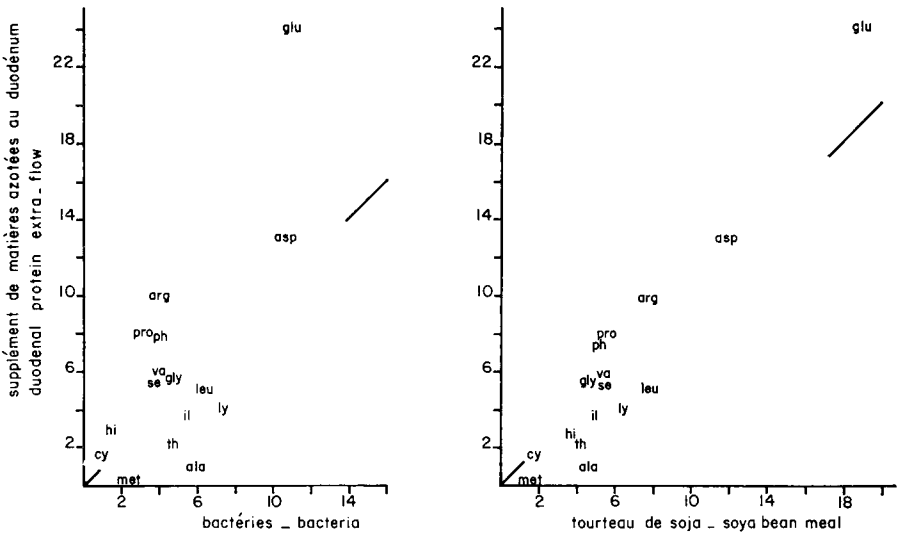


FIG. 2. — Comparaison de la composition en acides aminés (g acide pour 16 g N) des bactéries ou du tourteau de soja avec celle du supplément duodénal de matières azotées provoqué par le traitement du tourteau.

Comparison of amino acid composition (g acid per 16 g N) of bacteria or soyabean meal with that of duodenal protein extra flow due to treatment of the meal.

la phénylalanine (+ 36 %) et l'histidine (+ 32 %). Il a été faible pour la méthionine, la thréonine et la lysine. La composition relative du supplément d'acides aminés absorbés est très proche de celle du tourteau de soja et nettement différente de celle des bactéries (fig. 2).

Avec des protéines plus solubles que celles des tourteaux de soja et de colza et des doses de formol plus élevées que les nôtres, les traitements expérimentés par les autres auteurs ont souvent permis un accroissement plus important de la quantité d'azote disparaissant dans l'intestin : + 17 à 40 g N pour 100 g N traité avec le tourteau d'arachide (FAICHNEY, 1972 — MILLER, 1972) + 25 à 60 g N pour 100 g N traité avec la caséine (OFFER, EVANS et AXFORT, 1971 — FAICHNEY et WESTON, 1971 — MACRAE *et al.*, 1972 — HAGEMEISTER et PFEFFER, 1973) et environ 60 g N pour 100 g N traité avec du blé (LANGLANDS, 1973).

Conclusion

Ces résultats préliminaires montrent l'effet favorable du traitement des tourteaux au formol sur la digestion des protéines; ils sont confirmés par les résultats zootechniques (VÉRITÉ et JOURNET, 1977). L'emploi des protéines traitées au formol peut être un excellent outil de recherche dans les études sur la nutrition azotée du ruminant, au même titre que les techniques d'infusion post-ruminales par exemple, mais surtout son intérêt zootechnique pour l'alimentation pratique des vaches laitières semble très grand. Cependant, en plus des conditions d'utilisation pratique de ces tourteaux, il reste :

1° à définir les sources azotées à traiter principalement en fonction de leur composition en acides aminés (tourteaux riches en lysine : soja ou en acides souffrés : colza et tournesol) et de leur dégradabilité.

2° à préciser les conditions optimales du traitement pour chaque source azotée et à trouver des critères simples permettant de vérifier son efficacité.

3° à préciser le gain apporté par le traitement concernant la valeur azotée effective. En effet, si la suppression de l'ammoniogénèse à partir du tourteau ne risque pas de limiter la synthèse bactérienne avec des rations contenant par ailleurs des fourrages riches en azote soluble (de l'ensilage d'herbe par exemple), il n'en est peut-être pas de même avec des fourrages pauvres en azote ou en azote soluble (ensilage de maïs ou pulpes sèches). Dans ces conditions, il est indispensable de mieux connaître le besoin en ammoniac des bactéries et la dégradation des protéines des fourrages pour déterminer la quantité d'azote non protéique à associer au tourteau formolé.

Reçu pour publication en janvier 1977.

Remerciements

Nous remercions vivement MM. DELORT-LAVAL et TISSIER pour la préparation des tourteaux formolés.

Summary

Utilization of formaldehyde treated oil-meals by dairy cows. I. — Digestive aspects.

The effects on digestion of treating oil-meals with formaldehyde were studied in rumen or duodenum fistulated cattle. Soyabean and rapeseed meals were treated separately with formaldehyde at the rate of 0.3 and 0.4 p. 100 dry matter (DM), respectively. The whole experiment lasted 2 years.

1) Proportion of degradable nitrogen in the oil-meals was calculated from net ammonia production during *in vitro* incubation with a large amount of rumen content and juice for 6 hours. For normal and treated oil-meals, degradation was 43 and 1 p. 100 respectively, for soyabean (1st year), 25 and 3 p. 100 for rapeseed (1st year), and 42 and 5 p. 100 for a mixture 50/50 of soyabean-rapeseed (2nd year).

2) Eight rumen fistulated cows, in two 4 × 4 latin square trials, were given a limited amount of maize silage with meals (accounting for 50 % of total nitrogen intake). In trial 1, soyabean and rapeseed meals were given separately, either normal or treated. In trial 2, they were mixed and given either normal or treated, with or without urea. Treatment of oil-meals did not affect digestibility of diet components except a very slight decrease of nitrogen digestibility in trial 2 (Table 2). Nitrogen balance was improved mainly in trial 1, and rumen ammonia level was

decreased mainly in trial 2 (Figure 1). Rumen volatile fatty acids were not affected excepted a decrease in branched VFA.

2) Two young duodenal fistulated animals were given a limited amount of maize silage with either normal or treated soyabean meal in two reverse periods. Site (rumen or intestine) of disappearance of non nitrogen components was not affected (Table 3). However with treated soya-bean, duodenal contents (but not faeces) contained more nitrogen in DM, with a greater proportion of amino nitrogen (Table 4). Flow of amino acids (A.A.) was increased by 20 p. 100 without modification of their intestinal digestibility (Table 5). Increase was greatest for arginine, phenylalanine and histidine and lowest for methionine, threonine and lysine. A.A. extra-flow associated with treatment of 1 kg DM of soyabean meal was near 100 g and the A.A. composition of this supplement was quite the same as that of the untreated soyabean meal (Figure 2).

Références bibliographiques

- BOLIN D. W., KING R. P., KLOSTERMAN E. W., 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide (Cr_2O_3) when used as an index substance. Anim. Hubs. Depart. (Division of nutrit.) *North Dakota Agricult. College, Fargo*. **116**, 634-635.
- CLARK J. H., DAVIS C. L., HATFIELD E. E., 1974. Effects of formaldehyde treated soyabean meal on nutrient use, milk yield and composition, and free amino acids in the lactating bovine. *J. Dairy Sci.*, **57**, 1031-1036.
- CORBETT J. L., GREENHALGH J. F. D., McDONALD I., FLORENCE E., 1960. Excretion of chromium sesquioxide administered as a component of paper to sheep. *Brit. J. Nutr.*, **14**, 289-299.
- FAICHNEY G. J., 1971. The effect of formaldehyde-treated casein on the growth of ruminant lambs. *Aust. J. Agric. Res.* **22**, 453-460.
- FAICHNEY G. J., 1972. Digestion by sheep of concentrate diets containing formaldehyde-treated peanut meal. *Aust. J. Agric. Res.* **23**, 859-860.
- FAICHNEY G. J., WESTON R. H., 1971. Digestion by ruminant lambs of a diet containing formaldehyde-treated casein. *Aust. J. Agric. Res.* **22**, 461-468.
- FAICHNEY G. J., LLOYD DAVIES H., 1972. The effect of formaldehyde treatment of peanut meal in concentrate diets on the performance of calves. *Aust. J. Agric. Res.* **23**, 175-176.
- FAICHNEY G. J., LLOYD DAVIES H., 1973. The performance of calves given concentrate diets treated with formaldehyde. *Aust. J. Agric. Res.* **24**, 613-621.
- FERGUSON K. A., HEMSLEY J. A., REIS P. J., 1967. The effect of protecting dietary protein from microbial degradation in the rumen. *Aust. J. Sci.* **30**, 215-217.
- HAGEMEISTER H., VON PFEFFER R., 1973. Der Einfluss von formaldehydhandeltem Kasein und Sojaschrot auf die mikrobiellen Protein-Umsetzungen in den Vormagen und die Aminosäure-Versorgung im Darm der Milchkuh. *Z. Tierphysiol., Tierernähr. Futtermittelkde*, **31**, 275-290.
- HOGAN J. P., WESTON R. H., 1970. Quantitative aspects of microbial protein synthesis in the rumen. In « *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant* ». Ed. A.T. Phillipson; Oriel Press limited, Newcastle p. 474-485.
- JARRIGE R., 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères. I — Fractionnement des constituants de la membrane par les hydrolyses acides. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **1**, 163-212.
- JOURNET M., DEMARQUILLY C., 1967. Valeur alimentaire des foin condensés. II — Influence du broyage et de la mise en agglomérés sur la digestion du foin de luzerne dans le rumen. *Ann. Zootech.* **16**, 307-321.
- VAN'T KLOOSTER A. Th., BOEKHOLT H. A., 1972. Protein digestion on the stomachs and intestines of the cow. *Neth. J. Agric. Sci.* **20**, 272-284.
- LANGLANDS J. P., 1971. The wool production of sheep supplemented with cottonseed meal and formaldehyde-treated cottonseed meal. *Aust. J. Exp. Agr. Husb.* **11** (52), 493-497.
- LANGLANDS J. P., 1973. Wheat as a survival ration for sheep. I — The digestion of wheat and formaldehyde treated wheat. *Austr. J. Exp. Agric. Husb.*, **13** (63), 341-346.
- LEROY F., ZELTER S. Z., 1970. Protection des protéines alimentaires contre la désamination bactérienne au niveau du rumen. II — Études *in vivo* sur moutons fistulés. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 401-412.
- LEROY F., ZELTER S. Z., FRANCOIS A. C., 1964. Protection des protéines alimentaires contre la désamination bactérienne au niveau du rumen. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, **259**, 1592-1595.

- MACRAE J. C., ULYATT M. J., PEARCE P. D., HENDTLASS J., 1972. Quantitative intestinal digestion of nitrogen in sheep given formaldehyde-treated and untreated casein supplements. *Br. J. Nutr.*, **27**, 39-50.
- McGILLIARD A. D., 1972. Modifying proteins for maximum utilization in the ruminant. *J. Amer. Oil. Chem. Soc.* **49**, 57-62.
- MILLER E. L., 1972. The digestion of formaldehyde-treated groundnut meal before and after the abomasum of lambs. *Proc. Nutr. Soc.* **31**, 27A.
- NISHIMUTA J. F., ELY D. G., BOLING J. A., 1973. Nitrogen metabolism in lambs fed soyabean meal treated with heat, formalin and tannic acid. *J. Nutr.* **103**, 49-53.
- OFFER N. W., EVANS R. A., AXFORD R. F. E., 1972. The protection of dietary protein by formaldehyde treatment and its effect on the composition of duodenal digesta in the sheep. *Proc. Nutr. Soc.*, **30**, 42 A.
- PFEFFER E., HAUFMANN W., DIRKSEN G., 1972. Untersuchungen zur Verdauungsphysiologie der Milchkuh mit der Umleitungstechnik am Duodenum. III — Verdaulichkeit einiger organischer Futter-Bestandteile im Magen und Darm. *Fortsch Tierphysiol. Tierernähr.* **1** 22-31.
- PION R., FAUCONNEAU G., 1966. Les acides aminés des protéines alimentaires. Méthodes de dosage et résultats obtenus. *Cahiers de l'A.E.C.*, **6**, 159-175.
- PION R., CHAMPREDON C., THIVEND P., 1973. Digestion des protéines de céréales chez l'agneau en croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **13**, 699-796.
- RIGAUD J., JOURNET M., 1970. Méthode de dosage des acides gras volatils dans le liquide du rumen. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **10**, 151-157.
- SCHMIDT S. P., BENEVENGA N. J., JORGENSEN N. A., 1974. Effect of formaldehyde treatment of soyabean meal on the performance of growing steers and lambs. *J. Anim. Sci.* **38**, 646-653.
- SHARMA H. R., INGALLS J. R., MCKIRDY J. A., 1972. Nutritive value of formaldehyde treated rapeseed meal for dairy calves. *Can. J. anim. Sci.* **52**, 363-371.
- TAMMINGA S., 1973. The influence of the protein source on the protein digestion in the ruminant. *Z. Tierphysiol. Tierernährg. Futtermittelkde.* **31**, 185-193.
- TAMMINGA S., 1975. The influence of the method of preservation of forages on the digestion in dairy cows. II — Digestion of organic matter, energy and amino acids in forestomachs and intestines. *Neth. J. Agric. Sci.* **13**, 89-103.
- THIVEND P., JOURNET M., 1970. Utilisation digestive de l'amidon du maïs chez le ruminant. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **10**, 323-326.
- THIVEND P., MERCIER Ch., GUILBOT A., 1972. Determiration of starch with glucoamylase. In « *Methodes in carbohydrate chemistry* », vol. VI. Ed. R. L. Whistler and J. N. Bemiller Academic Press, London, p. 79-82.
- VÉRITÉ R., JOURNET M., 1973. Étude *in vitro* de la protéolyse et de la protéosynthèse dans le rumen. *Journées d'études sur la physiologie et la biochimie de la digestion.* *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **13**, 699-796.
- VÉRITÉ R., JOURNET M., 1977. Utilisation des tourteaux traités au formol par les vaches laitières. II. — Effets sur la production laitière du traitement des tourteaux et du niveau d'apport azoté au début de la lactation. *Ann. Zootech.* **26**, 183-205.
- WALKER D. J., NADER C. J., 1968. Method for measuring microbial growth in rumen content. *Amer. Soc. Microb.*, **16**, 1124-1131.
- WATSON M. J., SAVAGE G. P., ARMSTRONG D. G., 1972. Sites of disappearance of apparently digestible energy and apparently digestible nitrogen in the digestive tract of cows receiving dried grass-concentrate diets. *Proc. Nutr. Soc.*, **31**, 98 A.
- ZELTER S. Z., LEROY F., TISSIER J. P., 1970. Protection des protéines alimentaires contre la désamination bactérienne dans le rumen. I. Études « *in vitro* » : comportement en milieu de rumen de quelques protéines tannées avec du tanin de châtaignier ou certains aldéhydes (formaldéhyde, glutaraldéhyde, glyoxal). *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 111-122.