



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

E.N.S.A.I.A.

Laboratoire des Sciences Animales

Service Commun de la Documentation
Institut National Polytechnique de Lorraine
Nancy-Brabois
2, avenue de la Forêt de Haye
BP 169
54505 VANDOEUVRE CEDEX FRANCE
Tél. 83.59.60.00 - Fax 83.59.60.23

T H E S E

FLUX, DIGESTION ET UTILISATION DES MATIERES AZOTEES PAR LES CAPRINS

Contribution à la méthodologie d'estimation du flux digestif.
Influence de la réduction des apports alimentaires et de l'addition
d'acides aminés protégés.

Présentée à
l'Institut National Polytechnique de Lorraine

par Miloud HALBOUCHE

pour l'obtention du Doctorat de l'INPL.

Soutenue publiquement le 24 Novembre 1994 devant la commission d'examen

Membres du jury:

**B. VIGNON
J. BRUN-BELLUT
F. LAURENT
C. PONCET
M. VANBELLE**

Service Commun de la Documentation
INPL
Nancy-



D 136 007915 0

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

E.N.S.A.I.A.

Laboratoire des Sciences Animales

[M] 1994 HALBOUCHE, M.

T H E S E

**FLUX, DIGESTION ET UTILISATION
DES MATIERES AZOTEES PAR LES CAPRINS**

Contribution à la méthodologie d'estimation du flux digestif.
Influence de la réduction des apports alimentaires et de l'addition
d'acides aminés protégés.

Présentée à
l'Institut National Polytechnique de Lorraine

par Miloud HALBOUCHE

pour l'obtention du Doctorat de l'INPL.

Soutenue publiquement le **24 Novembre 1994** devant la commission d'examen

Membres du jury:

B. VIGNON

J. BRUN-BELLUT

F. LAURENT

C. PONCET

M. VANBELLE

AVANT-PROPOS.

*De la manière dont on reçoit ses idées
dépend celle dont on se les rappelle.*

Diderot, ou Saint-Lambert.

Autant il m'est facile de remercier avec le coeur, autant il m'est difficile de trouver le mot pour exprimer la profondeur du respect et de la reconnaissance que j'éprouve envers ceux, mes maîtres et amis, qui ont contribué à ma formation, à mon cheminement scientifique et sans lesquels ce travail n'aurait pu voir le jour.

Ma profonde reconnaissance va à Monsieur le Professeur Bernard VIGNON, responsable du laboratoire des Sciences animales (INRA-ENSAIA) pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse, mais aussi pour la confiance et l'extrême compréhension qu'il m'a témoigné tout au long de ces années de recherche. Je lui dois de m'avoir initié et propulsé dans le vaste champs des Sciences animales. Les quelques mots et les quelques gestes qui font renaître l'espoir et l'optimisme face aux difficultés, je les ai toujours trouvés auprès de M. VIGNON.

Avec Monsieur le Professeur Jean BRUN-BELLUT, j'ai travaillé étroitement. Le volume de nos discussions scientifiques n'est mesurable que par l'extrême disponibilité de mon Directeur de thèse. Sous sa direction j'ai appris ce que rigueur veut dire; et sans retenue je me suis nourri de ses compétences, de ses orientations. M. BRUN-BELLUT trouvera ici la reconnaissance éternelle du disciple, et le sentiment d'une de ces grandes amitiés qui naissent souvent entre les hommes.

Monsieur le Professeur François LAURENT m'a fait l'honneur d'être du jury. Avant cela, il compte parmi ceux qui ont pris en charge mon devenir scientifique au laboratoire des Sciences animales de l'ENSAIA. Sur tant de sujets, j'ai profité de ses compétences et de son expérience. Il m'a constamment guidé par le conseil et la critique; il m'a encouragé. De nos années de travail, je garde aussi le souvenir d'une douce chaleur humaine. Pour tout cela, merci.

Que Messieurs Claude PONCET, Directeur de recherches à l'INRA de Theix, et Marcel VANBELLE, Professeur émérite à la faculté des Sciences Agronomiques de Louvain la Neuve soient vivement remerciés pour avoir accepté d'être membres rapporteurs du jury, et d'apporter ainsi leur haute autorité scientifique au jugement de ce travail. Leurs observations pertinentes, leurs interrogations justifiées, leurs critiques constructives ont contribué très largement à me montrer le caractère relatif de mes jugements et appréciations, comme ils ont contribué à tempérer heureusement mes élans péremptaires et la force de mes certitudes. Mais partout où ils ont décelé une lueur de vérité scientifique, ils m'ont aussi apporté appréciations et encouragements.

Tout au long de mes années de présence au laboratoire des Sciences animales de l'ENSAIA, j'ai côtoyé Monsieur le Professeur Gérard BLANCHART. Jour après jour, il n'a cessé d'apporter sa petite pierre dans l'édifice de ma formation scientifique. Nous n'avons cessé de discuter et de la science et de la vie, et nous sommes devenus amis.

Et puis il y a mes collègues et ami(e)s, OUAFFAI A., HASNA D., ABDELGHANI A., M. et Mme CHAOUTENE, Mme SENEAL, LOUYOT E., qui m'ont accompagné par leur travail ou par leur soutien moral, et à qui j'adresse ici mes vifs remerciements. Comme je voudrais aussi saluer la mémoire de mon ami du labo, Denis COOMANS.

RESUME.

Nous avons étudié l'influence du niveau des apports alimentaires, ainsi que celle d'une addition dans le rumen d'acides aminés protégés (méthionine et lysine) sur la digestion de la ration et l'utilisation des matières azotées par les chèvres adultes.

L'essai "réduction des apports alimentaires" (consommation à volonté de la ration, ensuite réduction à 75% du consommé à volonté) est réalisé avec des chèvres adultes tarées. L'essai "addition de méthionine et lysine protégées" est réalisé avec des chèvres en lactation. Le flux digestif est estimé par les marqueurs externes Cr_2O_3 et PEG-4000. L'azote bactérien duodénal est estimé par les marqueurs microbiens DAP et ARN. Les méthodes du bilan digestif et celles du bilan azoté sont employées pour mesurer l'utilisation digestive et métabolique de l'azote.

Les résultats liés à la méthodologie d'estimation du flux digestif sont rassemblés dans le chapitre 2 (deuxième partie); ceux relatifs au flux, à la digestion et à l'utilisation métabolique de l'azote figurent dans le chapitre 3.

a). Contribution à la méthodologie d'estimation du flux digestif.

Une variabilité circadienne des teneurs du contenu duodénal en marqueurs est observée (CV=23 à 42 p.100 pour PEG, CV=14 à 43 p.100 pour Cr_2O_3). Le rapport des marqueurs (PEG/ Cr_2O_3) est variable et indique un phénomène de découplage du transit de PEG et de Cr_2O_3 . En moyenne, ce rapport est inférieur à l'unité dans le contenu du duodénum (0,94, $\sigma=0,12$), dans les fèces (0,87, $\sigma=0,07$) et supérieur à l'unité dans le contenu de l'iléon (1,06 $\sigma=0,09$). Le transit de Cr_2O_3 est surtout nocturne, sa récupération fécale est meilleure que celle de PEG (95, $\sigma=5$ p.100 contre 83, $\sigma=5$ p.100) et sa concentration dans le contenu duodénal est fortement liée à celles de MS, de MO et de Nt.

La réduction du nombre des prélèvements du contenu duodénal (12, 6 et 4/jour) n'a introduit que peu d'erreur dans l'estimation du flux digestif. Toutefois, le flux d'azote total est significativement surestimé. Les différents modèles d'estimation testés fournissent des flux de contenu total, de MS et de Nt semblables, malgré la diversité des méthodes de traitement utilisées.

Un modèle pour la détermination des courbes de saturation du rumen en marqueur est proposé. Il permet le calcul du flux digestif duodénal à partir des paramètres cinétiques du marqueur, plus à même de restituer les conditions de fonctionnement du rumen et la variabilité des nycthémères. Testé chez les chèvres, le modèle restitue les variations de flux entre individus ainsi que celles liées aux différences du niveau d'ingestion de la ration.

Dans les bactéries isolées du jus de rumen, les teneurs de DAP (CV=0,18) et de ARN (CV=0,20) sont plus variables que celles de Nt (CV=0,11). N/DAP et N/ARN sont indépendants ($r=0,049$). DAP et ARN ne sont pas liés aux paramètres mesurés d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière. Par contre, la richesse en Nt des bactéries dépend de Ns ingéré (g/kg MOD, $r=0,537$), de dPDI/UFL ($r=0,632$) et du TUL ($r=0,785$), prédicteur de l'urémie.

ARN est fortement digéré dans l'intestin des chèvres qu'elles soient en lactation ou tarées. La digestibilité intestinale de DAP est plus faible et surtout très variable. Les différences observées renseignent sur l'utilisation digestive de ces composés bactériens, mais empêchent l'emploi de DAP et de ARN comme estimateurs du flux d'azote microbien au-delà du duodénum.

Le flux d'azote bactérien estimé dans le duodénum de 14 chèvres en lactation représente 59 p.100 de Nt, ($\sigma=11$, valeurs extrêmes: 42-79 p.100). Ce flux (en g/jour) diminue avec l'élévation de la proportion de foin ingéré. Il augmente avec l'élévation de la quantité de N soluble ingéré mais il est indépendant de N insoluble ingéré et du niveau de carence en N fermentescible de l'ingéré (dPDI). Il dépend du recyclage net d'azote dans le rumen ($r=0,676$). N bactérien duodéal (g/jour) est très bien prédit par les paramètres d'ingestion (MO, PDIE ingérés en g/jour) et les indicateurs du métabolisme (allantoïne urinaire, N urée urinaire en g/jour) dans l'équation:

$$N \text{ bact.} = 6,47 \text{ allant.} + 0,04 \text{ MO} - 1,06 \text{ N urée} - 0,37 \text{ PDIE} - 0,6$$

b). Réduction des apports alimentaires et addition de méthionine-lysine.

La restriction alimentaire a provoqué chez les chèvres tarées des modifications de l'activité du rumen et du flux digestif. Une plus grande quantité de MO est fermentée dans le rumen des chèvres nourries à volonté. Le niveau des synthèses protéiques est plus élevé ainsi que le recyclage net d'azote. Les quantités de MO (+296 g/j) et de Nt (+11,3 g/j) arrivant au duodénum sont supérieures. Ce gain de Nt semble être entièrement d'origine bactérienne. Le Cud de l'azote arrivant au duodénum n'a pas subi de modifications liées au niveau d'ingestion; en bilan journalier, la quantité d'azote disparue dans l'intestin grêle des chèvres nourries à volonté a augmenté (+7,7 g/j) tandis que la quantité absorbée par le gros intestin n'a pas évolué (-0,1 g/j). L'excrétion urinaire d'azote étant similaire, les chèvres nourries à volonté ont retenu plus d'azote que lorsqu'elles subissaient le régime de restriction (13,0 g/j contre 7,2 g/j). Ces résultats indiquent que l'animal régulé par sa capacité d'ingestion valorise mieux l'azote de la ration tant au niveau digestif que métabolique, même lorsque ses besoins sont déjà largement couverts par le régime de restriction.

L'apport en quantités croissantes de L-lysine HCl protégée à des rations formulées pour les chèvres en lactation (3,0 , 7,8 et 13,2 g/j) n'a pas entraîné de modifications sensibles des bilans digestif et métabolique de l'azote. En termes quantitatifs, les paramètres mesurés de fermentation, de flux et de digestion de l'azote, ainsi que les indicateurs du métabolisme azoté et de la composition de l'azote du lait n'ont pas subi de modifications. Cet acide aminé n'a donc probablement pas été un facteur limitant la production laitière. Toutefois, l'addition de lysine a provoqué une forte augmentation de sa propre concentration dans le sérum sanguin, accompagnée de l'élévation de la concentration d'un groupe d'acides aminés (Thr, Ile, Orn, Val). La L-lysine HCl apportée à petite dose (3,0 g/j) a une efficacité digestive et métabolique marginale très élevée: par gramme N-lys. administré en supplément, 4,4 g/j supplémentaires d'azote sont absorbés par les intestins et 2,7 g/j sont retenus par l'organisme. L'excrétion urinaire d'azote diminue (-2,1 g/j) tandis que 3,9 g/j d'azote supplémentaire est incorporé dans la production laitière. Cette efficacité marginale décroît jusqu'à s'annuler lorsque les apports de L-lysine HCl augmentent, indiquant certainement des effets de seuil provoqués par des niveaux supérieurs de supplémentation.

ABREVIATIONS.

AA.....	acides aminés.
AAE.....	acides aminés essentiels.
AANE.....	acides aminés non essentiels.
ADF.....	acid detergent fibre.
ADN.....	acide desoxyribonucléique.
AEP.....	acide 2-aminoethylphosphonique.
ANP.....	azote non protéique.
ARN.....	acides ribonucléiques.
ATP.....	adénosine tri-phosphate.
CV.....	coefficient de variation.
Co-EDTA.....	cobalt-éthylène-diamine-tetraacétique.
Cr ₂ O ₃	oxyde de chrome.
Cr-EDTA.....	chrome-éthylène-diamine-tetraacétique.
Cr-mord.....	chrome mordancé aux particules alimentaires.
Cud.....	coefficient d'utilisation digestive.
DAP, DAPA.....	acide diaminopimelique.
Kp.....	taux constant de sortie du rumen.
MO.....	matière organique.
MOCl.....	matière organique ingérée avec les concentrés.
MOD, MODT.....	matière organique apparemment digérée dans le tube digestif.
MODR.....	matière organique apparemment digérée dans le rumen.
MOFl.....	matière organique ingérée avec les fourrages.
MOf.....	matière organique fermentée dans le rumen.
MS.....	matière sèche.
N, Nt.....	azote total.
NDF.....	neutral detergent fibre.
N.NH ₃	azote ammoniacal.
Nns.....	azote non soluble.
Np.....	azote protéique.
Ns.....	azote soluble.

PB.....	protéines brutes ($N \times 6,25$).
PDI.....	protéines vraies digérées dans l'intestin grêle.
PDIE.....	protéines vraies digérées dans l'intestin grêle permises par l'énergie des aliments.
PDIN.....	protéines vraies digérées dans l'intestin grêle permises par l'azote des aliments.
PEG.....	polyéthylène glycol.
Ru-P.....	ruthénium-phénanthroline.
TUL.....	taux d'urée du lait.
UFL.....	unité fourragère lait.

SOMMAIRE.

	Page
INTRODUCTION	9
PREMIERE PARTIE.	
L'ESTIMATION DU FLUX DANS LE TUBE DIGESTIF DU RUMINANT:	
DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES.	
CHAPITRE 1. FLUX DIGESTIF DANS L'INTESTIN DU RUMINANT: METHODES D'ESTIMATION ET FACTEURS DE VARIATION.	
11. L'OXYDE DE CHROME ET LE POLYETHYLENE GLYCOL INDICATEURS DU FLUX DIGESTIF: AVANTAGES ET INCONVENIENTS.	12
111. Caractéristiques chimiques et comportement dans le tube digestif.	
112. Récupération fécale.	
113. Récupération et variation des teneurs dans le contenu intestinal.	13
12. METHODES D'ESTIMATION DU FLUX DIGESTIF.	14
121. Estimation par simple marquage.	
122. Estimation par 2 marqueurs.	
13. VARIATION DES FLUX DIGESTIFS ENTRANT DANS L'INTESTIN.	15
131. Effets liés aux caractéristiques alimentaires.	
1311. Niveau d'ingestion.	16
1312. Forme de présentation des aliments et proportion du concentré.	17
132. Effets liés à l'espèce et au stade physiologique.	18
1321. Espèce Animale.	
1322. Stade physiologique.	19
CHAPITRE 2. FLUX D'AZOTE DANS L'INTESTIN DU RUMINANT: PREDICTION, METHODES DE CARACTERISATION ET FACTEURS DE VARIATION.	20
21. RELATION AVEC LES CARACTERISTIQUES ALIMENTAIRES, FERMENTAIRES ET PREDICTION DU PASSAGE DANS LE DUODENUM.	
22. CARACTERISATION DES FRACTIONS AZOTEES DANS LE CONTENU	
221. Détermination de l'azote d'origine microbienne.	
222. Détermination de l'azote d'origine alimentaire.	24
223. Essais de quantification de l'azote d'origine endogène.	
224. Estimation simultanée: profils des acides aminés.	25
23. VARIATION DE LA COMPOSITION DE LA FRACTION AZOTEE.	26
231. Effets du traitement et de la protection des protéines alimentaires.	
232. Supplément en azote soluble.	30

DEUXIEME PARTIE. ETUDE EXPERIMENTALE.

CHAPITRE 1.: DISPOSITIFS, MATERIELS, ANALYSES ET METHODES.	32
11. PLANS EXPERIMENTAUX ET DEROULEMENT.	
111. Essai N° 1: "réduction des apports alimentaires".	
1111. Objectifs.	
1112. Animaux, rations et périodes.	
112. Essai N° 2: "Addition de méthionine et lysine protégées".	
1121. Objectif.	
1122. Animaux, rations et périodes.	
12. TRAITEMENTS ET ANALYSES.	33
121. Contrôle de la digestibilité et du bilan azoté.	
122. Traitement des contenus digestifs.	
1221. Jus de rumen.	
1222. Contenus du duodénum et de l'iléon.	34
123. Méthodes d'analyse.	35
1231. Matière sèche, matière organique.	
1232. Azote total, soluble, non protéique, ammoniacal, uréique.	
1233. Allantoïne urinaire.	37
1234. Oxyde de chrome, polyéthylène glycol.	
1235. Acides ribonucléiques, acide diaminopimelique.	
1236. Acides aminés du sérum sanguin et des contenus digestifs.	38
13. METHODES D'ESTIMATION DES FLUX DIGESTIFS.	
131. Méthode du "double marquage - estimation simultanée".	
132. Méthode du "2 marqueurs - estimation séparée".	39
133. Méthode du "2 marqueurs - flux moyens".	40
14. ANALYSES STATISTIQUES ET TRAITEMENT DES DONNEES.	
CHAPITRE 2. CONTRIBUTION A LA METHODOLOGIE D'ESTIMATION DU FLUX DIGESTIF.	42
21. COMPORTEMENT DE PEG-4000 ET DE Cr ₂ O ₃ DANS LE TUBE DIGESTIF.	
211. Résultats et discussion.	
2111. Variation des teneurs des marqueurs et de leur rapport dans le contenu du duodénum.	
2112. Relation entre marqueurs et constituants du contenu duodénal.	46
22. INFLUENCE DU NOMBRE DES PRELEVEMENTS ET DES METHODES DE CALCUL SUR L'ESTIMATION DU FLUX DIGESTIF DANS LE DUODENUM.	47
221. Traitement du contenu duodénal, détermination des modalités de prélèvement, méthodes d'estimation.	

222. Résultats.	47
a). <i>Influence sur l'estimation du flux de contenu total.</i>	
b). <i>Influence sur l'estimation du flux de matière sèche.</i>	48
c). <i>Influence sur l'estimation du flux d'azote total.</i>	49
223. Discussion.	50
a). <i>Nombre des prélèvements.</i>	
b). <i>Méthodes d'estimation.</i>	51
23. PROPOSITION D'UN MODELE POUR LA DETERMINATION DE LA SATURATION DU RUMEN EN MARQUEUR ET L'ESTIMATION DU FLUX DUODENAL.	
231. Justifications.	
232. Le modèle.	52
2321. Principe.	
2322. Conditions expérimentales de réalisation.	
2323. Hypothèses.	
2324. Théorie.	53
a). <i>Paramètres initiaux.</i>	
b). <i>Courbes de saturation du compartiment en marqueur.</i>	54
c). <i>Paramètres de sortie: volumes du rumen et flux duodénal.</i>	56
233. Application.	57
2331. Origine des données et méthodes utilisées.	
2332. Résultats.	
a). <i>Paramètres de sortie du modèle.</i>	
b). <i>Représentation graphique des données et paramètres du modèle.</i>	
c). <i>Comparaison avec la méthode du "Double Marquage-Estimation Simultanée".</i>	58
234. Discussion.	61
24. ESTIMATION DU FLUX D'AZOTE BACTERIEN DANS LE DUODENUM PAR ARN ET DAP.	62
241. Composition des bactéries du rumen et facteurs de variation.	
2411. Résultats.	
a). <i>Influence du supplément aminé et de la période de lactation.</i>	
b). <i>Corrélations entre constituants bactériens.</i>	
c). <i>Relation avec les paramètres d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière.</i>	64
2412. Discussion.	66
242. Flux et digestion intestinale de ARN et de DAP.	68
2421. Résultats.	
a). <i>Flux et digestion de ARN.</i>	
b). <i>Flux et digestion de DAP.</i>	69
c). <i>Digestibilité comparée de ARN et de DAP.</i>	
2422. Discussion.	70

243. Estimation du flux duodéal d'azote bactérien par utilisation simultanée de ARN et de DAP.	71
244. Flux duodéal des constituants bactériens et relations avec les paramètres d'ingestion et du métabolisme.	72
2441. Résultats.	
a). <i>Flux duodéal des constituants bactériens.</i>	
b). <i>Relations avec les paramètres d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière.</i>	73
2442. Discussion.	77
25. CONCLUSIONS.	79
CHAPITRE 3. FLUX, DIGESTION ET UTILISATION DE L'AZOTE.	82
31. INFLUENCE DE LA RESTRICTION ALIMENTAIRE.	
311. Caractéristiques des rations, valeur alimentaire et consommation.	
312. Bilan de la digestion dans le rumen: fermentations, recyclage net d'azote et efficacité des synthèses.	83
3121. Résultats.	
3122. Discussion.	85
313. Flux de contenu total.	87
3131. Résultats.	
3132. Discussion.	
314. Flux et digestion des composés secs et organiques.	88
3141. Résultats.	
3142. Discussion.	90
315. Flux et digestion des composés azotés.	93
3151. Résultats.	
a). <i>Azote total et azote non ammoniacal.</i>	
b). <i>Azote protéique et azote non protéique.</i>	94
c). <i>Composition du flux d'azote.</i>	95
d). <i>Flux et digestion de l'ARN et de DAP.</i>	96
3152. Discussion.	97
316. Utilisation de l'azote alimentaire.	101
3161. Résultats.	
3162. Discussion.	
32. INFLUENCE DU SUPPLEMENT ALIMENTAIRE EN METHIONINE-LYSINE.	103
321. Composition, valeur alimentaire des rations et consommation.	
322. Bilan de la digestion dans le rumen: fermentations, recyclage net d'azote et efficacité des synthèses.	104
3221. Résultats.	
3222. Discussion.	105

323. Flux de contenu total, flux et digestion des composés secs et organiques.	106
3231. Résultats.	
<i>a). Flux de contenu total.</i>	
<i>b). Flux et digestion des composés secs et organiques.</i>	
3232. Discussion.	107
324. Flux, digestion des composés azotés et utilisation métabolique.	109
3241. Résultats.	
<i>a). Azote total et azote non ammoniacal.</i>	
<i>b). Azote protéique et azote non protéique.</i>	
<i>c). Composition du flux d'azote dans le tube digestif.</i>	112
<i>d). Flux et digestion de ARN et de DAP.</i>	113
<i>d). Utilisation métabolique de l'azote alimentaire.</i>	114
<i>e). Efficacité digestive et métabolique de la lysine-HCl.</i>	
3242. Discussion.	116
325. Profils, flux, digestion intestinale et concentration plasmatique des acides aminés.	121
3251. Résultats.	
<i>a). Composition du contenu du duodénum et de l'iléon en acides aminés.</i>	
<i>b). Flux des acides aminés dans le duodénum et dans l'iléon.</i>	123
<i>c). Digestion dans l'intestin grêle.</i>	126
<i>d). Concentration plasmatique des acides aminés.</i>	
3252. Discussion.	131
33. CONCLUSIONS.	134
<i>a). Limitation de l'ingestion.</i>	
<i>b). Supplément en méthionine-lysine .</i>	135
ANNEXES.	136
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	158
SUMMARY.	178

INTRODUCTION.

Les travaux effectués sur les caprins soulignent certaines particularités anatomiques, physiologiques et éthologiques propres à cette espèce. Ces particularités ont conduit à l'élaboration d'une théorie de la stratégie alimentaire spécifique. Comparés aux ovins, des différences dans le poids du tractus gastro-intestinal, dans la physiologie de la digestion (motricité du rumen, durée de rumination, durée de mastication, durée de séjour des particules), dans les conditions fermentaires du rumen (pH, $N.NH_3$, production d'AGV, colonisation par les protozoaires) et dans l'utilisation digestive de l'énergie sont observées. Ces travaux, en mettant en évidence les particularités comportementales et digestives, posent le problème de leur implication nutritionnelle et métabolique. En réalité ils ouvrent un deuxième volet de la recherche, plus à même de contribuer à une meilleure détermination des besoins et à la formulation d'un système d'alimentation plus adapté.

En comparaison, les travaux relatifs à l'alimentation azotée du caprin en production, et à l'expression de ses besoins sont peu nombreux. Les grandes questions en rapport avec l'amélioration du système d'alimentation sont encore en chantier, à savoir:

- a/. Quelle est l'efficacité de la synthèse microbienne dans le rumen?
- b/. Quelle est l'importance du recyclage d'azote dans le rumen et le niveau tolérable de carence en azote fermentescible des rations?
- c/. Quelle est l'efficacité alimentaire de l'azote non protéique apporté en supplément?
- d/. Quelles sont les quantités d'azote arrivant au duodénum et quelle est leur composition?
- e/. Quelle est la valeur nutritionnelle de l'azote nucléique arrivant au duodénum et ses implications métaboliques?
- f/. Quelle est l'importance de la digestion caecale?
- g/. Quelles sont les niveaux de contraintes homéostasiques et homéorhésiques du caprin en production?

Le travail présenté dans cette thèse tente d'apporter des éléments de réponse, dans les limites de nos matériels et méthodes, à quelques unes de ces questions. Nous avons particulièrement étudié l'influence d'une variation des apports alimentaires, ainsi que celle de l'addition de méthionine et de lysine protégées sur l'utilisation digestive et métabolique des matières azotées. Pour cela nous avons mis en oeuvre, sur des chèvres fistulées, les techniques d'estimation du flux digestif par marquage des phases (PEG, Cr_2O_3) et celles de l'estimation du flux d'azote bactérien par le recours aux marqueurs internes (ARN, DAPA). L'utilisation de ces marqueurs, ainsi que celle des techniques et modèles inhérents, est encore objet de discussion. Une bonne partie de nos résultats (chapitre 2) traite des aspects méthodologiques liés à l'estimation du flux digestif. Nous avons tenté de répondre à une série d'interrogations:

1/. La fréquence des prélèvements du contenu intestinal, ainsi que les différentes méthodes proposées de traitement et de calcul ont-elles une incidence sur l'estimation du flux digestif?

2/. Est-il possible de revenir, par la proposition d'un modèle déterministe de la saturation du rumen en marqueur, à la définition initiale du flux digestif comme résultant d'un taux-constant de sortie et du volume du rumen?

3/. Les marqueurs internes microbiens peuvent-ils être valablement utilisés comme estimateurs du flux d'azote microbien dans l'intestin du ruminant?

4/. Certains indicateurs de la digestion azotée et du métabolisme peuvent-ils valablement être utilisés comme prédicteurs du flux d'azote bactérien dans le duodénum?

L'influence du niveau des apports alimentaires est mesurée dans un essai réalisé avec des chèvres taries. L'addition de méthionine et de lysine protégées est étudiée dans un essai réalisé avec des chèvres en lactation. Les résultats sont fournis dans le 3^{ème} chapitre. La méthode du bilan digestif (total et compartimental) est retenue pour étudier les modifications occasionnées par ces facteurs sur le flux et ses composants, sur les produits azotés des fermentations et le recyclage net d'azote, sur les quantités digérées et les taux de disparition. La méthode du bilan azoté, ainsi que le dosage de certains indicateurs du métabolisme azoté de l'animal (urée urinaire et TUL, allantoïne urinaire, ANP du lait, aminoémie) sont retenus pour étudier l'utilisation métabolique de l'azote.

Devant l'insuffisance, et parfois l'absence de l'information bibliographique obtenue sur caprins, nous avons été contraints de discuter nos résultats en nous référant principalement aux travaux similaires effectués sur d'autres ruminants (bovins et ovins).

PREMIERE PARTIE.

L'ESTIMATION DU FLUX DANS LE TUBE DIGESTIF DU RUMINANT: DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES.

CHAPITRE 1. FLUX DIGESTIF DANS L'INTESTIN DU RUMINANT: METHODES D'ESTIMATION ET FACTEURS DE VARIATION.

11. L'OXYDE DE CHROME ET LE POLYETHYLENE GLYCOL INDICATEURS DU FLUX DIGESTIF: AVANTAGES ET INCONVENIENTS.

111. Caractéristiques chimiques et comportement dans le tube digestif.

Depuis ELLIOT et BARCLAY-SMITH en 1904 (cités par KOTB et LUCKEY 1972), les marqueurs sont introduits dans l'étude de la physiologie de la digestion chez les ruminants. Des substances indigestibles (Cr_2O_3 , éléments des terres rares, PEG, etc...), spécifiques aux aliments et aux microorganismes (lignine, ARN, DAPA, etc...), colorantes (fuschine, vert brillant, etc...), éléments isotopes radioactifs et lourds (^{15}N , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , etc...) sont utilisés pour estimer les flux digestifs et caractériser leur composition.

Introduit par EDLIN en 1918 comme indicateur du flux, le sesquioxyde de chrome ($\text{Cr}_2(\text{III})\text{O}_3$) est une molécule insoluble dans l'eau, l'alcool, l'acétone et résistante à l'action des acides et des bases. Il n'est pas absorbé par les parois du tube digestif et ne présente pas de toxicité pour l'animal (WHITBY et LANG, SCHROEDER et al. cités par KOTB et LUCKEY 1972). Il est apporté en gélules, en suspension dans l'huile ou imprégné au papier. Il se mordance plus fortement aux particules alimentaires que le cérium (UDEN et al. 1980) et l'ytterbium (COLEMAN et al. 1984). MacRAE (1974) déconseille son utilisation comme marqueur de flux lorsque les prélèvements sont obtenus par une canule intestinale simple à cause de la grande variabilité de ses teneurs dans la matière sèche du contenu intestinal, mais THILL et al. (1978) obtiennent, chez les moutons, des courbes d'excrétion et une récupération fécale de Cr_2O_3 et du radiocérium (^{144}C) comparables. Leurs résultats confirment ceux de MILLER et CRAGLE, MILLER et al., et HUSTON et ELLIS cités par KOTB et LUCKEY (1972).

Le polyéthylène glycol (PEG), molécule organique soluble dans l'eau, est obtenue par propagation de la réaction de l'éthylène oxyde avec l'eau. L'éthylène glycol ou le diéthylène glycol (sous forme hydroxyl) assurent le rôle de groupes fonctionnels. Il est solide au-delà d'un poids moléculaire de 1000. Son utilisation comme indicateur du flux est préconisée par SPERBER et al. (1953). SMITH, DOWNES et McDONALD cités par KOTB et LUCKEY (1972) ne détectent pas de PEG-4000 dans les urines après son administration dans le rumen des veaux et des moutons, et estiment qu'il n'est pas absorbé par les parois du tube digestif. Les limites de son utilisation pour estimer le volume du rumen, particulièrement son inaptitude à marquer l'eau intracellulaire des particules (ALEXANDER et al. 1969), sont au contraire des avantages pour estimer le flux intestinal par la technique du fractionnement. Comparé au complexe chrome-éthylènediaminetétraacétique (CrEDTA), il est moins bien récupéré dans les fèces et moins aisément dosé. Par contre, il ne nécessite pas sa détermination dans les urines. CrEDTA ne peut pas être employé simultanément avec Cr_2O_3 .

112. Récupération fécale.

Malgré le caractère inerte de Cr_2O_3 et PEG dans le processus de la digestion, leur récupération dans les fèces est variable et parfois incomplète (Tabl. 1). Parmi les raisons avancées:

Tableau 1. Quelques taux de récupération fécale de PEG et de Cr₂O₃.

Animaux	Marqueurs	Taux de récup. (%)	Durée des mesures	Auteurs
Veaux	PEG	77 à 103	8 jours	Smith 1962
Veaux	PEG	91 ±3,5	6 jours	Smith 1959a
Vaches	PEG	94	6 jours	Hyden cité par Smith 1962
Vaches	Cr ₂ O ₃	76 à 119	7 jours	Carruthers et Briant 1983
Moutons	Cr ₂ O ₃	91 à 104	10 jours	Lu et al. 1982
Moutons	Cr ₂ O ₃	96 à 97	8 jours	Poncet et Rayssiguier 1980
Moutons	Cr ₂ O ₃	98 à 104	10 jours	Thill et al. 1978
Moutons	Cr ₂ O ₃	99,6 ±0,7	7 jours	MacRae et Armstrong 1969
Chèvres	PEG	86,7 ±4,8	7 jours	Abdelghani 1990
	Cr ₂ O ₃	82,0 ±3,0	7 jours	

- Une adsorption du PEG aux particules des contenus digestifs (CLARK et al. cités par KOTB et LUCKEY 1972),

- la possibilité de sa précipitation par les tannins de la ration (KAY cité par UDEN et al. 1980).

-La propension du marqueur à quitter rapidement le rumen et la proportion de fibres dans la ration provoquent une variation de sa teneur dans les fèces (CORBETT et al. cités par KOTB et LUCKEY 1972), et par suite une difficulté pour obtenir des prélèvements journaliers représentatifs.

L'oxyde de chrome n'est pas modifié dans le tube digestif. Il ne sédimente pas à l'intérieur du rumen malgré sa densité (THILL et al. 1978). Des taux de recouvrement faibles ou variables sont dûs, selon LANGLANDS (cité par CARRUTHERS et BRYANT 1983), à des problèmes de méthode et de chronologie des prélèvements, à des périodes d'adaptation et de prélèvements trop courtes, et à la sensibilité des méthodes de dosage.

113. Récupération et variation des teneurs dans le contenu intestinal.

MacRAE et ARMSTRONG (1969) utilisent des canules intestinales réentrantes et montrent, chez les moutons recevant les repas et le marqueur 2 fois par jour, une récupération de Cr₂O₃ dans le contenu du duodénum et de l'iléon incomplète et variable comparée à sa récupération fécale (Tabl. 2). La variation journalière du marqueur (mg/g MS) dans le duodénum et dans l'iléon indique que son transit intestinal n'est pas régulier. LEIBHOLZ et HARTMANN (1972) notent chez les moutons recevant du foin d'orge complémenté de luzerne et d'aliments composés une récupération du PEG dans le contenu duodénal variant de 93 à 102 p.100 . La teneur du marqueur varie de 59 à 130 mg/100 ml malgré son infusion continue.

Selon GOODALL et KAY (1965), qui observent une augmentation du flux dans l'iléon à partir du deuxième jour des mesures, Une récupération incomplète de Cr₂O₃ dans le contenu intestinal est due au stress provoqué le premier jour. Les résultats de OFFER et al. (1972)

Tableau 2: Récupération de l'oxyde de chrome dans les fèces, le contenu intestinal et variation de ses teneurs (MacRAE et ARMSTRONG 1969).

Moutons	Ration	Récupération (%)			Teneurs			
		Duod.	Iléon	Fèces	Duod.		Iléon	
		24h	24h	7 jours	CV(%)	n*	CV(%)	n*
B	900 g foin	71,0	72,7	98,3	8,8	13	14,2	8
Rg	900 g foin	92,2	90,0	100,8	13,7	13	25,3	8
B	600 g foin+	87,8	74,7	96,8	11,9	12	17,1	4
C	600 g foin+	89,1	83,8	101,2				
Moyenne		85,0	80,3	99,3				
E. type		8,3	7,0	1,8				

*: n=nombre de prélèvements effectués au cours de 24h.

montrent en effet que les taux de recouvrement des marqueurs Cr_2O_3 et PEG dans le contenu du duodénum de moutons alimentés 2 fois par jour sont proches de 100 p.100 lorsque la période de mesure se prolonge. Par contre THOMPSON et LAMMING (1972) ne décèlent pas, chez les moutons, de variation du flux duodénal liée au stress après 3 jours de mesure par des canules réentrantes.

12. METHODES D'ESTIMATION DU FLUX DIGESTIF.

121. Estimation par simple marquage.

L'utilisation d'un seul marqueur, généralement insoluble, pour estimer le flux digestif est associée à la technique d'échantillonnage du contenu par collection à travers une canule réentrante (MacRAE et al. 1972, CHAMBERLAIN et THOMAS 1979, HADJIPANAYIOTOU et al. 1982, LU et al. 1982, ZINN et OWENS 1983, SIDDONS et al. 1985). On considère que les prélèvements sont suffisamment représentatifs du flux transitant réellement dans l'intestin. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de MacRAE et al. (1972) qui trouvent de fortes corrélations entre les flux observés de Cr_2O_3 et ceux des constituants du contenu digestif dans le duodénum (avec matière sèche: $r=0,95$, matière organique: $r=0,96$, azote total: $r=0,89$, $n=10$) et dans l'iléon (avec MS: $r=0,93$, MO: $r=0,94$, Nt: $r=0,87$, $n=11$).

Le flux digestif estimé par un seul marqueur chez les animaux porteurs de canules intestinales simples (PONCET et RAYSSIGUIER 1980, GLENN et ELY 1984, RODE et al. 1985, Van BRUCHEM et al. 1985b,c) est différent de celui obtenu par les méthodes utilisant un couple de marqueurs. FAICHNEY (1980b), EGAN et DOYLE (1984) montrent que le marqueur des solides surestime le flux intestinal comparé à celui obtenu par la méthode "double marquage-estimation simultanée", alors que le marqueur soluble a tendance à le sous-estimer.

122. Estimation par 2 marqueurs.

Le contenu digestif est constitué d'une phase liquide contenant l'eau, les éléments solubilisés ou suffisamment fins pour accompagner les mouvements de l'eau, et d'une phase solide ou particulaire. Les techniques de caractérisation des phases dans le contenu intestinal sont arbitraires. La phase liquide est assimilée au filtrat obtenu par un tissu de térylène (FAICHNEY

1980a, EGAN et DOYLE 1984), par un tamis de 200 μm (HOGAN et WESTON 1967) ou au surnageant d'une centrifugation de 2400 g (AMANING-KWARTENG et KELLAWAY 1986). Ces différentes techniques de fractionnement fournissent une phase liquide plus ou moins riche en éléments fins supposés accompagner les mouvements de l'eau. Les différences de constitution, de durée de séjour et de transit des 2 phases dans le tube digestif nécessitent l'emploi de 2 marqueurs au moins: un pour chaque phase.

Les flux digestifs sont estimés :

1. A partir des teneurs des marqueurs dans le contenu total non fractionné (WELLER et al. 1971, COCKBURN et WILLIAMS 1984, MADSEN 1986). On considère que le flux réel est obtenu par la moyenne des flux individuels calculés pour chaque marqueur en divisant les quantités journalières administrées (ou excrétées) par sa teneur dans le regroupement journalier du contenu intestinal.

2. A partir des fractions solide et liquide du contenu intestinal (HOGAN et WESTON 1967, FAICHNEY 1980b, FREIRE et al. 1980, AMANING-KWARTENG et KELLAWAY 1986). Le flux digestif est obtenu à partir de la teneur du marqueur insoluble dans la phase solide et celle du marqueur soluble dans la phase liquide. La méthode nécessite que les marqueurs soient intimement associés aux phases. FAICHNEY (1980b) observe que l'association du marqueur à la phase marquée n'est pas totale et propose une méthode de détermination mathématique des fractions de marqueurs accompagnant effectivement les phases à partir de leurs teneurs dans le contenu total et le filtrat correspondant.

3. A partir des teneurs des marqueurs dans le contenu digestif total et le filtrat correspondant (FAICHNEY 1975a, 1980a, 1980b; EGAN et DOYLE 1984). Cette méthode apporte une solution théorique aux difficultés liées à la représentativité des prélèvements obtenus par des canules intestinales simples. On considère que la teneur des marqueurs et des constituants dans le contenu digestif prélevé sont apparentes et différentes des teneurs réelles dans le contenu passant au moment du prélèvement. Un coefficient de reconstitution du contenu digestif est utilisé pour estimer les flux. La méthode nécessite que la concentration des marqueurs dans le contenu digestif soit rendue constante par leur infusion et par une alimentation continue.

4. Le modèle matriciel "multiphasés-multimarqueurs" proposé par ARMENTANO et RUSSEL (1985) permet l'estimation des flux digestifs lorsque le contenu total est subdivisé en 2 ou plusieurs fractions, avec autant de marqueurs que de fractions. Il nécessite également une infusion continue des marqueurs. La formulation matricielle des concentrations des marqueurs dans les fractions, et vectorielle des taux d'infusion et des flux partiels, permet un calcul mathématique pour obtenir le flux total, et celui des constituants. Le modèle est particulièrement intéressant dans le cas du multimarquage particulière selon la nature des aliments (foin, concentré, etc...) ou selon la taille des particules (hachées, broyées, etc...).

13. VARIATION DES FLUX DIGESTIFS ENTRANT DANS L'INTESTIN.

131. Effets liés aux caractéristiques alimentaires.

Les facteurs qui modifient le volume du rumen, la durée de séjour des liquides et des particules, et la synthèse microbienne influencent le passage journalier dans le duodénum.

1311. Niveau d'ingestion.

Les équations d'EVANS (1981) montrent que la quantité de matière sèche ingérée influence le taux de sortie du rumen du liquide ($r=0,61$, $n=33$ chez les ovins; $r=0,71$, $n=28$ chez les bovins) et des solides ($r=0,48$, $n=35$ chez les ovins; $r=0,28$, $n=61$ chez les bovins). Le taux de sortie du rumen varie inversement à la teneur de la ration en énergie digestible, facteur de croissance microbienne, mais son intégration améliore significativement les corrélations ($r=0,82$ chez les ovins pour le liquide; $r=0,68$, $r=0,37$ respectivement chez les ovins et les bovins pour les solides).

Une augmentation du niveau d'ingestion de la ration provoque l'augmentation simultanée du volume, du taux de sortie du contenu du rumen, et accélère le transit dans le reste du tube digestif chez les moutons (ALWASH et THOMAS 1971, GROVUM et WILLIAMS 1977, BULL et al. 1979, MUDGAL et al. 1982, GREGORY et al. 1985).

KENNEDY et MILLIGAN (1978) réalisent simultanément l'estimation du flux duodénal et des mesures de transit des marqueurs liquide et particulaire dans le tube digestif des moutons (Tabl. 3). Ils montrent que le niveau d'ingestion de matière sèche provoque une augmentation du flux dans le duodénum, une diminution de la durée de séjour dans le rumen, et une accélération du transit intestinal.

Tableau 3. Influence du niveau d'ingestion sur le flux duodénal, et le transit des marqueurs liquide ($^{51}\text{Cr-EDTA}$) et particulaire ($^{103}\text{Ru-P}$). (KENNEDY et MILLIGAN 1978).

Ingestion MS (g/j)	RUMEN		DUODENUM		INTESTINS
	Durée de séjour (h) $^{103}\text{Ru-P}$	Taux de sortie (%/h) $^{51}\text{Cr-EDTA}$	Flux total (l/jour)	Flux MS (g/jour)	Durée de séjour (h) $^{103}\text{Ru-P}$
1410	12,1	11,5	16	1080	18,2
2350	10,4	13,6	24,9	1810	12,2

COOMBE et KAY (1965) montrent qu'une différence d'ingestion de matière sèche par les moutons influence la durée de séjour des particules marquées dans le gros intestin ($r= -0,93$, 4 ddl), mais pas dans l'intestin grêle ($r= -0,55$, 4 ddl). Ce dernier répond à une augmentation du flux digestif arrivant au duodénum par une plus grande distension (GOODALL et KAY cités par COOMBE et KAY 1965). GREGORY et al. (1985) notent par contre une forte relation ($r=-0,74$, $n= 73$) entre le niveau d'ingestion et la durée de séjour dans l'intestin grêle du contenu duodénal marqué au rouge de phénol chez les moutons. Ces différences entre auteurs proviennent certainement de la nature du marqueur utilisé (fixé aux particules chez COOMBE et KAY, soluble chez GREGORY et al.) et accréditent l'hypothèse que le transit des phases solide et liquide

continue à être indépendant, même dans les segments tubulaires du tractus digestif. Les résultats de COOMBE et KAY (1965) montrent en effet que les particules (colorées au vert brillant ou à la fuchsine) peuvent avoir un transit plus rapide que le liquide (marqué au PEG).

Des effets similaires du niveau d'ingestion de matière sèche sur la cinétique du passage des marqueurs dans le tube digestif des vaches, des veaux et des boeufs sont observés par COLE et al. (1976), HARTNELL et SATTER (1979), COLUCCI et al. (1984), PRIGGE et al. (1984), UDEN (1984).

Les résultats concernant l'influence du niveau d'ingestion de matière sèche sur le flux duodénal d'azote sont partagés. MADSEN (1986) ne décèle pas d'effets chez la vache. Il confirme les résultats de JOURNET et VERITE (1979), McALLAN et SMITH (1983) et MILLER cité par MADSEN (1986). Par contre, TAMMINGA et al. (1979), ZINN et OWENS (1983), ROBINSON et al. (1985), ROOKE et al. cités par MADSEN (1986), trouvent un effet du niveau d'ingestion sur le flux duodénal journalier d'azote exprimé par kg de matière sèche ingérée.

Les travaux de GOETSCH et GALYEAN (1983), COLEMAN et al. (1984) montrent que la fréquence de distribution des repas n'a pas d'effet sur la cinétique des marqueurs dans le tube digestif des veaux.

1312. Forme de présentation des aliments et proportion du concentré.

L'effet de la forme de présentation des aliments et de la proportion de concentré dans la ration sur le flux duodénal et le taux de sortie du rumen des marqueurs du liquide et des particules est mis en évidence par RODE et al. (1985) chez les vaches en lactation. Une augmentation de la proportion de concentré dans la ration réduit le volume du rumen et le flux digestif arrivant au duodénum (Tabl.4). Elle accélère la sortie du rumen du liquide, mais n'a pas d'effet sur la sortie des particules. Le traitement physique des aliments (hachage et broyage) réduit par contre la sortie du rumen du liquide et accélère la sortie des particules. Ces résultats confirment ceux de CHAMBERLAIN et THOMAS (1979) obtenus chez le mouton, et ceux de COLUCCI et al. (1984) obtenus chez les ovins et les bovins, qui montrent l'effet dépressif d'une augmentation de la part de concentré dans la ration sur le flux duodénal du liquide, de la matière sèche et de la matière organique.

UDEN et Van SOEST (1982) montrent que les particules de petite taille (300 à 1200 μ m) sortent du rumen du mouton plus rapidement que les particules plus grandes (>1200 μ m). HOGAN et WESTON (1967) montrent, chez les moutons alimentés à 90 p.100 de *ad-libitum*, que le broyage du foin de luzerne et de froment provoque une augmentation du flux duodénal de la matière organique, des constituants pariétaux et de la cellulose (Tabl. 5). THOMPSON et LAMMING (1972) ne décèlent pas d'effets du traitement du foin (entier, haché, broyé) sur le flux duodénal total et celui de la matière sèche chez les moutons recevant une ration de 900 g/jour, probablement parce que la part du foin dans la ration ne représente que 30 p.100. Le broyage du foin déprime cependant le flux duodénal d'amidon. Ils émettent l'hypothèse que le foin broyé apporté avec les céréales contribue à augmenter la durée de séjour de ces derniers dans le rumen, et donc leur plus grande dégradation. Ce qui semble être confirmé par les résultats de RODE et al. (1985) cités précédemment (Tabl. 4) chez les vaches en lactation recevant une ration composée de foin et de maïs broyé (80:20).

Tableau 4. Influence de la proportion de concentré et du traitement physique des aliments sur le flux digestif et la cinétique des marqueurs liquide et particuliers (RODE et al. 1985).

Paramètres	% de concentré				Traitement foin		
	20	42	62	76	Entier	Haché	Broyé
Poids du rumen (kg)	99,3	79,0	77,9	66,8			
Flux duodénum (l/jour)	219	213	199	162			
Sortie du rumen							
Liquide (Co-EDTA, %/h)	8,8	7,7	7,5	6,4	8,4	8,0	7,0
Grain (Ce fixé, %/h)	4,7	4,7	5,2	4,6	4,5*	4,3*	5,1*
Foin (Sm fixé, %/h)	3,4	3,2	3,3	3,0	3,9	3,3	4,8

*: Le cérium est infusé dans le rumen. Il représente donc le taux de sortie total des particules.

Tableau 5. Influence du broyage du foin sur le flux duodécal de matière organique, constituants pariétaux et cellulose (HOGAN et WESTON 1967).

Constituants	Foin de luzerne		Foin de froment	
	Haché	Broyé	Haché	Broyé
Matière organique				
Ingéré (g/jour)	930	1271	559	793
Duodénum (g/jour)	549	784	358	569
(% de l'ingéré)	59	62	64	73
Parois				
Ingéré (g/jour)	451	613	393	542
Duodénum (g/jour)	262	398	259	425
(% de l'ingéré)	58	65	66	78
Cellulose				
Ingéré (g/jour)	284	367	190	268
Duodénum (g/jour)	152	215	132	203
(% de l'ingéré)	54	59	69	76

132. Effets liés à l'espèce et au stade physiologique.

1321. Espèce Animale.

Des différences de durée de séjour des particules alimentaires et de sortie du rumen du liquide sont observées par COLUCCI et al. (1984) et PRIGGE et al. (1984) chez les ovins et les bovins soumis à différents niveaux d'ingestion et différentes proportions du concentré dans la ration (Tabl. 6). Une rétention plus longue des particules dans le rumen des bovins peut s'expliquer

par les différences de rumination entre espèces: WELCH (1982) montre que la durée de rumination par gramme de constituants pariétaux (CP) est d'autant plus importante que le poids métabolique est faible ($r^2=0,85$, $n=44$). Elle est de 1,18 mn/g CP chez le mouton et de 0,10 mn/g CP chez la vache. De même, les animaux jeunes ont une durée de rumination plus importante que les animaux adultes (2,05 mn/g CP chez l'agneau, 0,78 mn chez le veau).

Tableau 6. Durées de séjour des particules, sortie du rumen du liquide et flux duodénal chez les ovins et les bovins.

Paramètres	Ovins	Bovins	Auteurs
Sortie liquide (Co-EDTA, %/h)	8,50	11,85	Colucci et al. 1984
Sortie particules (Cr-mord., %/h)	4,20	4,00	
Flux duodénum (ml/h/kg P. vif)	9,19	12,33	
Sortie liquide (Co-EDTA, %/h)	9,45	9,53	Prigge et al. 1984
Durée séjour particules (Yb fixé,	17,38	25,53	

1322. Stade physiologique.

WESTON (1979) observe une modification des paramètres de la digestion dans le rumen et du flux digestif duodénal en fonction du stade physiologique (gestation, lactation) chez la brebis (Tabl. 7). La période de gestation s'accompagne d'une diminution simultanée du volume du rumen (probablement sous l'effet de sa compression par le fœtus) et du temps de séjour du liquide (ABDELGHANI 1990). Cette diminution persiste pendant la période de lactation. Par contre, la durée de séjour du liquide dans le reste du tube digestif n'est pas modifiée.

HARTNELL et SATTER (1979) montrent que la vache, nourrie *ad-libitum* avec du foin et du concentré, régule son ingestion en fonction du stade physiologique. Le volume du rumen augmente pendant la lactation, mais aucun effet significatif sur la sortie du liquide et des particules n'est observé, probablement parce que l'ingestion plus grande s'accompagne d'une augmentation de la proportion du concentré dans la ration, les effets respectifs de ces 2 facteurs ayant tendance à se compenser.

Tableau 7. Durée de séjour et flux duodénal chez la brebis à différents stades physiologiques (WESTON 1979).

Paramètres	STADE PHYSIOLOGIQUE			
	Tarie, non gestante	Début gestation	Fin gestation	Lactation, 3 ^{ème} semaine
Séjour rumen (^{51}Cr -EDTA h)	10,8	8,6	6,9	8,5
Séjour intestins (^{51}Cr -EDTA, h)	19,9	17,8	16,9	19,4
Volume rumen (l/kg MO ingérée)	5,9	4,9	4,1	5,7
Flux sortant du rumen (l/kg MO ingérée)	13,2	13,0	14,5	15,9

CHAPITRE 2. FLUX D'AZOTE DANS L'INTESTIN DU RUMINANT: PREDICTION, METHODES DE CARACTERISATION ET FACTEURS DE VARIATION.

21. RELATION AVEC LES CARACTERISTIQUES ALIMENTAIRES, FERMENTAIRES ET PREDICTION DU PASSAGE DANS LE DUODENUM.

Le flux d'azote arrivant dans le duodénum du ruminant est d'origine microbienne, alimentaire et endogène. La comparaison de données expérimentales montre qu'il est fortement lié à quelques caractéristiques de la ration (teneur en azote, part des concentrés) et des fermentations dans le rumen. La formulation d'équations de prédiction du flux (Tabl. 8) intègre en général un indicateur de la synthèse microbienne (digestibilité de la matière organique, énergie métabolisable) et un indicateur de l'azote non dégradé dans le rumen (solubilité, fermentescibilité *in vitro*). Les paramètres statistiques montrent que ces variables déterminent en grande partie les fournitures d'azote d'origine microbienne et alimentaire. Par contre, elles ne contrôlent pas la fraction d'origine endogène sortant du rumen. La variation et le signe du terme constant des équations montre que l'ajustement entre variables n'est pas suffisamment précis pour mettre en évidence la contribution de cette fraction dans la composition du flux d'azote. ROHR et al. (1986) notent que les équations de prédiction du flux d'azote dans le duodénum élaborées à partir des caractéristiques d'ingestion de l'énergie métabolisable et de l'azote (ARC 1984) expliquent 97 p.100 de la variation chez les bovins, mais seulement 75 p.100 chez les ovins. Selon ces auteurs, la formulation d'équations à partir des données mesurées directement dans le contenu duodénal constitue la méthode de prédiction la plus satisfaisante.

22. CARACTERISATION DES FRACTIONS AZOTEES DANS LE CONTENU INTESTINAL.

Les techniques permettant de caractériser l'azote du contenu intestinal selon son origine contribuent à l'amélioration des connaissances sur les fermentations dans le rumen, les mécanismes d'échanges et de recyclage de l'azote, et la protéosynthèse. Leur application a permis de raisonner la nutrition azotée des ruminants en termes de "digestibilité vraie" (système PDI).

221. Détermination de l'azote d'origine microbienne.

Deux catégories de techniques permettent de mesurer les fournitures d'azote d'origine microbienne dans le contenu digestif sortant du rumen.

1. L'utilisation de rations purifiées complémentées de sources azotées alimentaires entièrement solubles dans le rumen. On considère que l'azote protéique sortant du rumen provient de la synthèse microbienne (LOOSLI et al. 1949, HUME et al. 1970, HUME 1970).

2. L'utilisation de marqueurs internes (acides nucléiques, acides diaminopimelique, muramique, 2-aminoéthane phosphonique) ou de marqueurs isotopiques (^{15}N , ^{32}P , ^{35}S) pour estimer la fourniture d'azote microbien au duodénum en présence d'azote alimentaire. Les marqueurs internes sont mesurés dans le contenu digestif sortant de l'intestin et dans l'isolat

Tableau 8. Equations de prédiction du flux d'azote dans le duodénum du ruminant.

Animaux	Rations	Régressions	Auteurs
Vaches	Ens. maïs, Foin d'herbe, Concentré, Urée	$NAN = 40,11 DOM - 40,56$ $n = 84, R^2 = 0,80, CV = 0,119$ $NAN = 27,83 DOM + 0,34 NUFN - 24,17$ $n = 84, R^2 = 0,87, CV = 0,098$ $NAN = \text{azote non ammoniacal (g/jour)}$ $DOM = \text{matière organique digestible (g/jour)}$ $NUFN = \text{azote non uréique ingéré (g/jour)}$	ROHR et al. (1986)
Vaches	Foin, Ens. maïs, soja, molasse, amidon, concentré maïs+urée maïs+soja	$Nt \text{ duod.} = -35,64 X + 183,17$ $n = 58, r = -0,82$ $Nt \text{ duod.} = -64,52 X + 210$ $n = 21, r = 0,67$ $Nt \text{ duod.} = 48,26 X + 54,20$ $n = 15, r = 0,67$ $Nt \text{ duod.} = \text{azote arrivant au duodénum (en \% de N ingéré)}$ $X = \% \text{ d'azote dans la matière sèche de la ration.}$	TELLER et al. (1979)
Vaches et boeufs	Ens. maïs, P. betterave, céréales, rapeseed, soja, urée	$NAN = 22,62 DOM + 0,687 Nnd + 4,3$ $n = 58, R^2 = 0,93$ $NAN = 0,594 Nnd + 13,48 L + 0,47 \%C + 19,37$ $n = 58, R^2 = 0,58$ $NAN = 23,85 DOM + 0,60 Nnd + 8,6$ $n = 42, R^2 = 0,886$ $Nnd = \text{azote non dégradé.}$ $L = DOM/0,33 P^{0,75}$	JOURNET et VERITE (1979)
Vaches			
		$NAN = 0,65 NNS + 0,0215 MOD$	JARRIGE et al. (1978)
Moutons		$Nt = 25,6 DOM + 0,36 \text{ Feed N} - 0,96$	HOGAN et WESTON (1981)

.../...

Tableau 8. (suite).

Animaux	Rations	Régressions	Auteurs
Moutons	>13% MAT Solubilité élevée Solubilité faible	NAN = 48,6 FOR + 7,5 NAN = 39,1 FOR + 36,3 FOR = taux de sortie rumen de la MO.	JOHN et al. (1980)
Ruminants (mouton, jeune bovin, vache)	Diverses	NNA = 23,2 MOF + 1,11 NNDS + 5,3 MOND n = 405, R ² = 0,63 MOF = matière organique fermentée ingérée. NNDS = azote non dégradé en sachets. MOND = matière organique non digestible.	VERITE et al. (1987)

microbien du rumen (le rapport des concentrations d'azote total et du marqueur dans l'isolat servant d'estimateur). Les éléments marqués sont associés aux techniques de dilution isotopique dans le rumen.

Les mesures comparées du flux d'azote microbien dans le duodénum (Tabl. 9) montrent des différences considérables entre marqueurs. Le DAPA et l'AEP sont des constituants pariétaux spécifiques respectivement des bactéries et des protozoaires du rumen. EL-SHAZLY et NAGA (1980) montrent qu'employés simultanément, ils fournissent une bonne estimation du flux duodénal d'azote microbien, comparé à sa mesure directe chez des animaux recevant une ration purifiée complémentée en urée.

LING et BUTTERY (1978), COCKBURN et WILLIAMS (1984), détectent AEP dans les isolats bactériens du rumen et les particules alimentaires, et concluent à son inadéquation comme estimateur de l'azote des protozoaires.

Parmi les marqueurs internes, DAPA est le plus couramment utilisé pour caractériser la fraction azotée bactérienne. Il existe cependant dans certains aliments: pulpes de betterave deshydratées, foin de luzerne, ensilage de sorgho et de maïs (DUFVA et al. 1982), ces auteurs notent que le ratio N_{DAPA}/N total bactérien varie du simple au double selon les espèces et la concentration du milieu en hydrates de carbone. Il serait inexistant chez les souches de bactéries gram négatif.

GIESECKE et al. (1975) constatent, par référence à DAPA, que le flux d'azote bactérien sortant de la panse est supérieur à celui de l'azote total chez le mouton recevant du foin (*ad-libitum*) et du concentré (500 g/j). En revanche, SIDDONS et al. (1979), ROHR et al. (1986) observent que DAPA fournit une estimation par défaut des flux d'azote microbien, la proportion de l'azote des protozoaires dans l'azote total arrivant au duodénum, non prise en compte, étant variable et représente jusqu'à 40 p.100 de l'azote microbien (BRANDT et ROHR, TAMMINGA cités par Van BRUCHEM et al. 1985b).

Tableau 9: Proportion d'azote microbien dans l'azote total du duodénum (en %) mesurée par différents marqueurs.

Animaux	Rations	Estimateurs						Auteurs
		ARN	DAP	AEP	¹⁵ N	³² P	³⁵ S	
Vaches	Foin et concentré							COCKBURN et WILLIAMS 1984
	+urée	93	83	53				
	+ far. de noix	79	67	30				
	+ caséine	85	76	25				
Veaux	Foin et concentré	67	53			55		SMITH et al. 1976
	Foin	46	57			50		
Moutons	Foin et concentré							LING et BUTTERY 1978
	+urée	98	80				92	
	+far. de poisson	56	42				54	
	+far. de soja	70	47				64	

Les acides nucléiques alimentaires étant rapidement dégradés dans le rumen, on considère que le flux d'ARN et d'ADN arrivant au duodénum est d'origine microbienne. Ces acides sont utilisés comme estimateurs du flux duodénal d'azote microbien (GIESECKE et al. 1975, Mc ALLAN et SMITH 1976, ZINN et OWENS 1983). La présence d'ARN alimentaire résiduel dans le contenu du duodénum (SIDDON et al. 1979, Mc ALLAN et SMITH 1983), les différences de sa teneur dans les bactéries et les protozoaires et leur variation dans les isolats bactériens (LING et BUTTERY 1978, COCKBURN et WILLIAMS 1984) en font un marqueur critiqué.

La dilution des marqueurs isotopiques dans le rumen est la méthode de référence pour mesurer la synthèse microbienne (BORHAMI et al. 1979, MUDGAL et al. 1982). Associée à la mesure du volume, elle permet de déterminer les quantités d'azote microbien sortant du rumen. KENNEDY et MILLIGAN (1978), qui trouvent des différences de flux d'azote microbien mesuré simultanément par ³⁵S et ¹⁵N, estiment que ³⁵S organique peut revenir dans la panse et le feuillet avec les sécrétions endogènes.

Les travaux de LAURENT (1985) et de LINDBERG (1985) montrent que le flux duodénal d'azote microbien peut être prédit, chez la chèvre et le mouton, à partir de l'excrétion urinaire d'allantoïne, produit terminal du métabolisme des acides nucléiques. Une large part des purines excrétées dans les urines provient du catabolisme des acides nucléiques absorbés par l'intestin (RYS et al., ANTONIEWICZ cités par LINDBERG 1985), l'allantoïne représente 70 à 90 p.100 de ces purines. Sa relation très forte avec la matière organique digestible ingérée ($r=0,83$, $CV=15$, $n=67$; LINDBERG 1985) en fait un indicateur valable des fournitures d'azote microbien à l'intestin.

222. Détermination de l'azote d'origine alimentaire.

L'azote alimentaire qui échappe à la dégradation dans le rumen est estimé par différence de l'azote fermentescible à l'azote ingéré. La fermentescibilité de l'azote des aliments est mesurée par des techniques d'incubation *in vitro* dans du jus de rumen, des solutions enzymatiques ou des solvants; *in sacco* dans des fermenteurs à flux (continu, semi-continu) ou dans le rumen d'animaux munis de canules. Ces techniques procurent une cinétique de dégradation de l'azote alimentaire, donc des valeurs potentielles. Dans le rumen de l'animal, la dégradation de l'azote dépend aussi de la durée de séjour effective des aliments.

La dégradation effective de l'azote alimentaire dans le rumen est mesurée par l'association des méthodes de cinétique en sachets-nylon et la détermination du taux de sortie des particules alimentaires par dilution d'un marqueur fixé (ORSKOV et Mc DONALD 1979, GANEV et al. 1979, AMANING-KWARTENG et al. 1986). La quantité d'azote alimentaire qui échappe à la dégradation dans le rumen est assimilée à la différence entre les quantités ingérées et celles effectivement dégradées.

L'ajustement des coefficients de l'équation de dégradation d'ORSKOV et Mc DONALD au taux-constant de sortie du rumen des particules est obtenue par:

$$P = a + bc / K + c$$

Où

P est la dégradation effective de l'azote alimentaire.

a est le coefficient de dégradation instantanée.

b est le coefficient de dégradation de la fraction insoluble.

c est la vitesse de dégradation de la fraction insoluble dans l'équation:

$$Tdt = a + b (1 - e^{-ct})$$

K est le taux-constant de sortie du rumen des particules alimentaires marquées.

Cette technique est celle adoptée pour la détermination de l'azote fermentescible des aliments dans le système PDI (VERITE et al. 1987), mais elle reste sujette aux imprécisions relatives aux mesures *in sacco* (MEHREZ et ORSKOV 1977, FERRANDO et al. 1983) et celles des mesures par dilution du marqueur fixé (PONCET et al. 1985, PONCET et Al-ABD 1984, COLEMAN et al. 1984, HARTNELL et SATTER 1979).

223. Essais de quantification de l'azote d'origine endogène.

L'inexistence de techniques permettant de mesurer la contribution de l'azote d'origine endogène dans le flux duodénal est à l'origine de la disparité des valeurs estimées et de leur mode d'expression (Tabl. 10). La quantité journalière passant dans le duodénum est en général jugée négligeable par rapport au flux d'azote total, mais son importance relative au flux d'azote d'origine alimentaire introduit une erreur significative dans l'estimation de sa dégradation dans le rumen (MacRAE et REEDS 1980, SIDDON et al. 1985).

Tableau 10. Quantités d'azote d'origine endogène passant dans le duodénum.

Animaux	Quantités	Unités	Auteurs
Ovins	1,0 à 2,0	g/jour	PHILLIPSON 1964
	6,0	g/jour	MacRAE et REEDS 1980
	0,5 à 2,6	g/jour	HARROP 1974
	2,5	g/kg MS ingérée	SIDDONS et al. 1982
	1,5	g/jour	WELLER et PILGRIM 1974
	1,0	g/jour	WESTON et HOGAN 1967
Bovins	3,6	g/kg MS duod.	BRANDT et al. 1980
	0,27	% de MS duod.	Van't KLOOSTER et ROGERS 1969
	1,1 à 2,2	g/jour	ORSKOV et MacLEOD 1982
Caprins	4,23	g/jour	ABDELGHANI 1990

En plus de l'urée recyclée dans le rumen et facilement remaniée par les microorganismes; la salive, les sécrétions et les desquamations épithéliales apportent dans le rumen et la caillette des muco-protéines et de la kératine qui représenteraient 63 à 69 p.100 du recyclage azoté total et dont la fermentation dans le rumen est mal connue (SIDDONS et al. 1985).

224. Estimation simultanée: profils des acides aminés.

La méthode de mesure de la composition du flux azoté duodénal par le profil des acides aminés est proposée par EVANS et al. (1975) et OFFER et al. (1978). Elle est modifiée par COCKBURN et WILLIAMS (1984) en vue d'identifier la proportion de l'ensemble des composants du flux duodénal d'azote: bactérien, protozoaire, endogène et alimentaire.

On considère que le profil des acides aminés du contenu duodénal représente la somme des profils des acides aminés de chaque fraction. Les profils de référence sont obtenus sur un échantillon représentatif de la ration, sur l'isolat bactérien et celui des protozoaires, et sur un pepsinogène bovin ou porcin pour représenter la fraction endogène. L'identification des fractions dans le contenu duodénal se fait par itération-optimisation entre le profil aminé du contenu et ceux de référence.

Les résultats de COCKBURN et WILLIAMS (1984) montrent que la méthode des profils procure des informations physiologiquement interprétables comparée à l'estimation par marquage qui procure un flux d'azote microbien parfois supérieur à l'azote total passant dans le duodénum. Son utilisation est cependant difficile car la teneur variable en acides aminés de la population microbienne du rumen empêche l'élaboration de profils standard. L'utilisation du profil aminé de la pepsine comme référence de l'apport endogène est également discutable car sa proportion dans l'endogène total n'est pas connue. MacGREGOR et al. cités par Van BRUCHEM et al. (1985c) trouvent également que le profil des acides aminés des aliments et du résidu alimentaire non dégradé dans le rumen sont différents. Ils confirment les conclusions de SMITH et MOHAMED (1977), ce qui rend discutable l'utilisation du profil aminé de la ration comme référence.

23. VARIATION DE LA COMPOSITION DE LA FRACTION AZOTEE.

L'importance relative de l'azote microbien et alimentaire dans l'azote total qui arrive au duodénum dépend des facteurs qui affectent l'activité, la densité et le faciès de la population microbienne dans le rumen, ainsi que des facteurs qui modifient la structure, l'accessibilité, et la durée de séjour des protéines alimentaires. KEMPTON et al. (1979) illustrent chez l'agneau (Fig 1) l'effet du niveau d'ingestion azotée et du supplément en azote soluble et protégé sur la quantité et la composition de l'azote arrivant au duodénum. deux circuits de flux coexistent dans le rumen, contrôlés par la forme de l'azote ingéré et la quantité d'énergie digestible disponible: une plus grande proportion d'azote fermentescible ingéré privilégie le circuit du métabolisme de l'azote. La protection de l'azote de la ration favorise au contraire son passage direct au duodénum. Chez les animaux en production, le métabolisme des protéines alimentaires dans le rumen n'est pas souhaitable, d'une part à cause de l'extra-énergie dépensée par les microorganismes, d'autre part parceque la fourniture des protéines microbiennes à l'intestin n'est pas suffisante en général pour couvrir les besoins de l'animal (SMITH et MOHAMED 1977, VERITE 1978), d'où l'intérêt d'une bonne connaissance des facteurs qui régulent ces circuits afin de maximiser leur rendement.

231. Effets du traitement et de la protection des protéines alimentaires.

Les traitements physico-chimiques et thermiques des aliments permettent d'augmenter la part de l'azote d'origine alimentaire dans l'azote total arrivant au duodénum.

La distribution des aliments (fourrages et concentrés) sous forme broyée, hachée ou confectionnés en pellets contribue à augmenter l'ingestion de la ration, à réduire la durée de séjour des particules alimentaires et la digestibilité des constituants pariétaux, énergétiques et de l'azote dans le rumen (ALWASH et THOMAS 1971, THOMPSON et LAMMING 1972, SINGH et al. 1980, QUICK et DEHORITY 1986). Ces effets sont d'autant plus importants que les aliments sont finement broyés (HOGAN et WESTON 1967, NETEMEYER et al. 1980, FIRKINS et al. 1986) et contribuent à élever la proportion de l'azote alimentaire non dégradé dans le flux duodénal d'azote.

Les traitements thermiques et hydrothermiques (floconnage, vapocraquage, extrusion) appliqués aux fourrages et aux concentrés permettent simultanément de réduire la solubilité des protéines (FOCANT et al. 1988, OULD-BAH et MICHALET-DOREAU 1988) et d'accroître la digestibilité ruminale de l'amidon dans le cas des céréales (BORGIDA et al. 1975) et celle des polysides pariétaux des coques de tournesol (BARRY et al. 1988). L'augmentation du flux duodénal d'azote observée par FOCANT et al. (1988) chez la vache à la suite du floconnage du blé, et par DURAND et al., PAPASOLOMONTOS et WILKINSON, Mac MENIMAN cités par FOCANT et al. (1988) chez les ovins et les bovins après traitement de l'orge, serait due à une plus grande quantité d'azote non dégradé s'échappant du rumen. En effet, le chauffage de la farine de soja a pour conséquence de diminuer la fermentescibilité de l'azote incubé dans le jus de rumen (NETEMEYER et al. 1982), tandis que DENNIS et al. (1982) notent une diminution significative de la colonisation du rumen des bovins par les protozoaires holotriches et entodiniomorphes. Ces phénomènes indiquent une moins bonne efficacité des protéosynthèses.

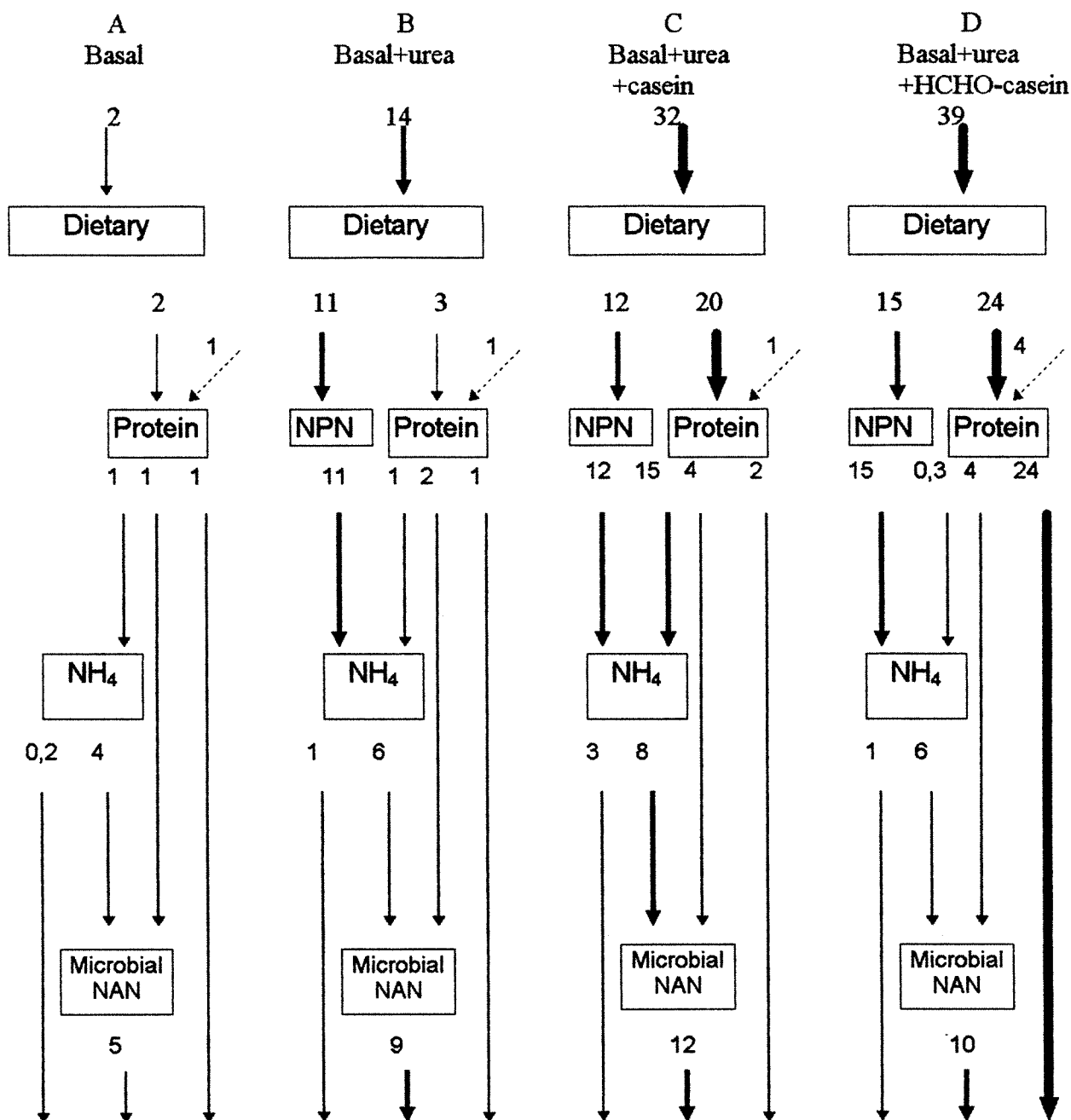


Figure 1. Flux d'azote (gN/j) dans le rumen des agneaux recevant un régime pauvre en protéines (A), additionné d'urée (B), d'urée et de caséine (C), d'urée et de caséine traitée au formaldéhyde (D).

NAN: azote non ammoniacal, NPN: azote non protéique.
(KEMPTON et al. 1979).

Tableau 11. Influence de l'apport d'azote rapidement dégradable (urée, caséine) en supplément ou en substitution de sources d'azote peu dégradable (farines de poisson, HCHO-caséine) sur l'efficacité des synthèses microbiennes et la composition du flux duodénal d'azote chez les ruminants.

Animaux	Caractéristiques ration		Traitements (1)	Protéo-synthèse		Flux duodénal d'azote			Auteurs
	Composition	% PB		g PB/kg (2)		g N/j (3)	% N microb.		
Béliers	Foin(18):Conc(82) 18:82	9,4	Témoin	163	MODR	14,2	Nt	74	Chamberlain et Thomas 1980
		9,4	U (15 g/j infusée)	204	MODR	17,3	Nt	70	
Ovins en croissance	Son d'avoine et Solka floc	1,2	Témoin	en moyenne		6,2	Nt	81	Kempton et al. 1979
			U (+12 gN/j)	133 (±6,8) Mof		11,2	Nt	80	
			U+C (+29 gN/j)			16,1	Nt	75	
			U+HCHO-C (+34 gN/j)			35,4	Nt	28	
Ovins en croissance	Paille(43):Conc.(57) 43:57 43:57 43:57	16,4	U(74g)+C(58 g)	181	MODR	57,1	Nt	70	McAllan et al. 1988
		17,6	Extr. prot.(300 g)	174	MODR	64,3	Nt	58	
		17,2	GM (320 g)	144	MODR	70,1	Nt	45	
		16,7	FC (560 g)	171	MODR	62,8	Nt	65	
Vaches	Ensilage (100%) Ryegrass:Trèfle	11,5	Témoin	138	MODR	89	Nna	71	Rooke et al. 1987
		11,5	U(61 g/j infusée)	156	MODR	91	Nna	75	
		11,5	C(131 g/j infusée)	156	MODR	94	Nna	80	
Bovins en croissance	Foin (43):Conc. (57) 43:57 43:57 43:57	16,5	U+C (55:45)	120	MOD	46,5	Nt	59	McAllan et al. 1986
		15,6	Farine de soja	114	MOD	53,7	Nt	45	
		20,5	Farine de poisson	102	MOD	57,5	Nt	39	
		20,2	Farine de poisson	87	MOD	61,1	Nt	30	
Bovins en croissance	Foin (87):Conc. (13) 87:13	9,6	U	59	MOD	94,7	Nna	29	Petersen et al. 1985
		9,6	Farine de soja	64	MOD	105,1	Nna	28	

Tableau 11. (suite).

Animaux	Caractéristiques ration		Traitements (1)	Protéo-synthèse		Flux duodéal d'azote			Auteurs
	Composition	% PB		g PB/kg	(2)	g N/j	(3)	% N microb.	
Bovins en croissance	Ens. maïs(84):Conc.(16)	14,0	T(7g U, 93g FP)	167	MODR	89,1	Nt	42	Cottrill et al. 1982
	84:16	15,3	U(+5g), FP(-22g)	273	MODR	110,8	Nt	58	
	84:16	14,9	U(+10g),FP(-43g)	248	MODR	103,5	Nt	62	
	84:16	15,0	U(+15g),FP(-64g)	142	MODR	75,5	Nt	55	
	Ens. maïs(54):Conc.(46)	15,0	T(7g U, 93g FP)	282	MODR	107,7	Nt	76	
	54:46	14,9	U(+15g),FP(-64g)	192	MODR	84,2	Nt	57	
Bovins en croissance	Gousses maïs(50):Conc.(50)	11,5	U(126 g/j)			128,3	Nt	66	Poos et al. 1979
	45:55	11,5	Drèches(1,08 kg/j)			145,0	Nt	48	

(1): T = régime témoin non supplémenté; U = urée; C = caséine; HCOH-C = caséine traitée au formaldéhyde; extr. Prot = extrait de protéines (single-cell protéin isolate); GM = gluten de maïs; FC = farine de colza; FP = farine de poisson.

(2): MODR = matière organique apparemment digérée dans le rumen; MOF = matière organique réellement digérée dans le rumen; MOD = matière organique apparemment digérée dans le tube digestif.

(3): Nt = flux d'azote total; Nna = flux d'azote non ammoniacal.

Le traitement chimique au formaldéhyde protège de la dégradation les protéines des fourrages de bonne qualité (BARRY 1976, MOORE et al. 1980, BEEVER et al. 1987) et de la caséine (MacRAE et al. 1972, SRISKANDARAJAH et al. 1982) dans un milieu à pH neutre ou légèrement acide (5,5 à 6,5); il empêche ainsi leur fermentation dans le rumen. La réversibilité des liaisons avec les groupes NH_2 et NH des protéines lorsque le pH est bas (inférieur à 3) permet ensuite leur libération dans la caillette et le duodénum.

232. Supplément en azote soluble.

L'apport avec la ration de sources azotées solubles (urée, caséine), ainsi que le traitement des pailles et des ensilages à l'ammoniac et à l'urée, procure aux microorganismes du rumen un substrat azoté facilement utilisable. Ce type de supplément est en général associé aux aliments contenant de l'azote peu dégradable, soit naturellement (farine de poisson, drèches), soit à cause des traitements de protection appliqués, particulièrement sur les fourrages. On corrige de cette manière les carences en azote fermentescible de la ration, ce qui permet un rendement optimal de la protéosynthèse microbienne.

L'urée ajoutée aux rations à faible teneur en protéines brutes (KEMPTON et al. 1979, CHAMBERLAIN et THOMAS 1980) et aux rations carencées en azote fermentescible soit naturellement (COTRILL et al. 1982), soit après traitements de protection (WINDSCHITL et STERN 1988, essais *in vitro*) stimule considérablement la protéosynthèse microbienne (Tabl. 11). Ajoutée à une ration d'ensilage, l'urée procure pratiquement les mêmes performances que la caséine en ce qui concerne la protéosynthèse microbienne et la proportion d'azote microbien dans le flux duodéal d'azote (ROOKE et al. 1987). Les essais de comparaison et de substitution des concentrés riches en protéines par de l'urée et de la caséine (POOS et al. 1979, COTTRILL et al. 1982, PETERSEN et al. 1985, McALLAN et al. 1986, 1988) montrent que le rendement des synthèses microbiennes dans le rumen, ainsi que la proportion d'azote microbien duodéal sont en général plus élevés chez les animaux recevant ces suppléments.

DEUXIEME PARTIE.
ETUDE EXPERIMENTALE.

CHAPITRE 1.: DISPOSITIFS, MATERIELS, ANALYSES ET METHODES.

11. PLANS EXPERIMENTAUX ET DEROULEMENT.

111. Essai N° 1: "réduction des apports alimentaires".

1111. Objectifs.

1/. Influence d'une restriction alimentaire modérée sur le flux, la digestion et l'utilisation des matières azotées chez les chèvres tarées.

2/. Etude du comportement des marqueurs de flux oxyde de chrome (Cr_2O_3) et polyéthylène glycol 4000 (PEG) dans le tube digestif de la chèvre.

1112. Animaux, rations et périodes.

3 chèvres adultes tarées équipées de canules simples du rumen, du duodénum proximal et de l'iléon terminal étaient placées en cage à bilan et recevaient une ration composée de foin de prairie, de luzerne déshydratée et de pulpes de betteraves déshydratées (1:1:1 en matière sèche). L'accès à l'eau et à la pierre à lécher était libre. Elles étaient alimentées à volonté pendant la première période expérimentale, et restreintes à 75 p.100 en moyenne de la MS ingérée à volonté pendant la deuxième période. Une période préliminaire de 15 jours a servi à déterminer la capacité d'ingestion à volonté de la ration. 6 g/jour de papier imprégné d'oxyde de chrome contenant 2,043 g Cr_2O_3 , et 30 g/jour de polyéthylène glycol 4000 en solution (30 p.100 p/v) sont administrés par la canule du rumen en demi dose au moment de la distribution des repas à 8h et 16h.

Les périodes expérimentales comportaient 14 jours de transition, 5 jours de contrôle de la digestibilité et du bilan azoté. Les prélèvements du contenu de l'iléon, du duodénum étaient effectués toutes les 2h pendant 24h respectivement à J20 et J21. Les prélèvements du jus de rumen étaient effectués le 22^{ème} et le 23^{ème} jour à des intervalles variables pour mesurer l'évolution des paramètres fermentaires (pH , N.NH_3). Seuls les prélèvements effectués le 22^{ème} jour sont regroupés pour constituer l'isolat bactérien du rumen.

112. Essai N° 2: "Addition de méthionine et lysine protégées".

1121. Objectif.

Influence d'une supplémentation alimentaire en méthionine et lysine protégées sur le flux, la digestion et l'utilisation des matières azotées chez les chèvres en lactation.

1122. Animaux, rations et périodes.

4 chèvres adultes d'un poids moyen de 49 kg ($\sigma=5,7$), équipées de canules simples du rumen, du duodénum proximal et de l'iléon terminal sont placées en cage à bilan. Trois chèvres étaient au 2^{ème} mois de lactation tandis qu'une chèvre entamait son 4^{ème} mois de lactation. elles recevaient une ration composée de foin de prairie, de maïs plante entière déshydraté, de pulpes de betteraves déshydratées, et de maïs en grain concassé. La ration était supplémentée en urée (Tabl. 12). L'accès à l'eau et à la pierre à lécher était libre.

L'apport du supplément aminé (DL-méthionine et L-lysine monochlorhydrate protégées) est réalisé selon 4 modalités:

Modalité témoin (3-0 ML): 3 g de produit méthionine et 0 g de produit lysine par chèvre et par jour.

Modalité 3-5 ML : 3 g produit méthionine et 5 g produit lysine.

Modalité 3-13 ML: 3 g produit méthionine et 13 g produit lysine.

Modalité 3-22 ML: 3 g produit méthionine et 22 g produit lysine.

Le produit méthionine comprend 73 p.100 de méthionine base dont 50 p.100 est fermentescible. 1 g de produit méthionine fournit 0,723 g de DL-méthionine pure.

Le produit lysine comprend 60 p.100 de lysine monochlorhydrate dont 50 p.100 est fermentescible. 1 g de produit lysine fournit 0,474 g de lysine pure.

L'expérimentation a été réalisée selon un dispositif 4×4 carré latin. L'affectation initiale des animaux aux différentes modalités est faite au hasard. Le passage de chaque animal d'une modalité à une autre a été réalisé de manière à éviter des transitions trop brusques (Fig. 2).

6 g/jour de papier imprégné d'oxyde de chrome contenant 2,043 g de Cr_2O_3 et 30 g/jour de polyéthylène glycol 4000 en solution (30 p.100 p/v) sont administrés, avec le supplément aminé, en demi dose par la canule du rumen simultanément à la distribution des repas à 8h et 18h.

Les périodes expérimentales comportaient 7 jours de transition, 5 jours de contrôle de la digestibilité et du bilan azoté et 4 jours de prélèvements du contenu de l'iléon, du duodénum, du rumen et du sang. Les prélèvements du contenu de l'iléon et du duodénum ont été effectués simultanément pendant les 13^{ème}, 14^{ème} et 15^{ème} jours (Fig. 4). 5 prélèvements du jus de rumen ont été effectués le 16^{ème} jour, toutes les 2h à partir de 8h. Un échantillon de sang a été prélevé dans la veine jugulaire à 13h.

12. TRAITEMENTS ET ANALYSES.

121. Contrôle de la digestibilité et du bilan azoté.

100 ml d'acide sulfurique 10 p.100 p/v sont ajoutés dans le bac de récupération des urines. Les quantités d'aliments refusés, l'excrétion fécale et urinaire, la production de lait sont mesurés quotidiennement. La matière sèche est déterminée quotidiennement sur les aliments, les refus et les fèces. Les analyses sont effectuées sur des échantillons journaliers des urines et du lait, sur des regroupements pondérés des aliments, des refus et des fèces.

122. Traitement des contenus digestifs.

1221. Jus de rumen.

Le pH et l'ammoniac sont déterminés dans chaque prélèvement du jus de rumen. Le regroupement journalier est utilisé pour constituer l'isolat bactérien: Le surnageant d'une centrifugation de 1000 g-20 mn est récupéré par une deuxième centrifugation (30000 g-20 mn), lavé 2 fois avec une solution physiologique (NaCl 9 p.100 p/v), 1 fois avec de l'eau distillée, et lyophilisé.

Tableau 12. Composition des rations individuelles (g aliment/jour, essai 2).

Chèvres	Foin de prairie	Maïs déshydraté	Pulpes de bettr. déshydratées	Maïs grain	Urée
71	450	700	900	1000	30
78	450	770	450	100	10
27	450	1100	670	400	24
982	450	800	400	100	15

Traitements	Périodes			
	1	2	3	4
3-0 ML	C78	C27	C982*	C71
3-5 ML	C27	C78	C71	C982*
3-13 ML	C71		C27	C78
3-22 ML	C122*	C71	C78	C27

*: Chèvre 122 éliminée du dispositif en 2^{ème} période après maladie, chèvre 982 entrée en 3^{ème} période.

Figure 2. Affectation des chèvres (par N°), selon les périodes, aux différents traitements (essai 2).

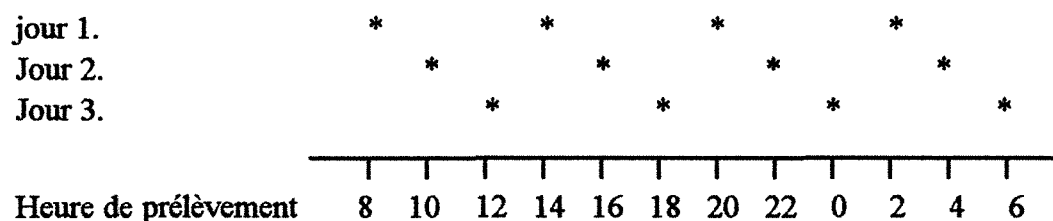


Figure 3. Modalité des prélèvements du contenu de l'iléon et du duodénum (essai 2).

1222. Contenus du duodénum et de l'iléon.

Dans l'essai N°1, un échantillon moyen journalier du contenu du duodénum est constitué par le regroupement de fractions aliquotes des prélèvements journaliers. Une partie (environ 2/3) de l'échantillon moyen, ainsi qu'une partie du contenu de chaque prélèvement sont filtrés à travers un tamis de 200 μm . Le résidu de filtration est lavé et récupéré. Le dosage de l'azote non protéique, des acides ribonucléiques et de l'acide diaminopimelique sont effectués seulement sur l'échantillon moyen journalier et son filtrat. Les autres constituants (Cr_2O_3 , PEG, MS, MO, Nt,

ANP, $N.NH_3$) sont déterminés dans le contenu total de chaque prélèvement et dans le filtrat correspondant. Dans les résidus de filtration de chaque prélèvement, la matière sèche et l'azote total sont déterminés.

Les volumes prélevés de l'iléon sont trop faibles pour permettre des traitements individuels. Les prélèvements sont regroupés, une partie est filtrée à travers un tamis de 200 μm . Le résidu de filtration est lavé et récupéré.

Dans l'essai N°2, les prélèvements du contenu du duodénum et de l'iléon de chaque chèvre sont regroupés en un échantillon journalier. Une fraction de chaque échantillon est filtrée (200 μm) pour constituer le filtrat correspondant.

123. Méthodes d'analyse.

1231. Matière sèche, matière organique.

La matière sèche (80°C jusqu'à poids constant, en moyenne 48h, étuve à circulation d'air) et la matière organique (550°C, 5h au four à moufle) sont déterminés dans les aliments, les refus, les fèces, les contenus intestinaux et leurs filtrats.

1232. Azote total, soluble, non protéique, ammoniacal, uréique.

L'azote total (Nt) est déterminé selon KJELDAHL dans les aliments, les refus, les fèces, les urines, le lait, les contenus intestinaux et leurs filtrats, les isolats bactériens. Les prises d'essai sont minéralisées en présence d'acide sulfurique RP. L'azote est ensuite déplacé par distillation en milieu basique vers une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4 N/50) et titré par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH N/50). La neutralisation est mesurée colorimétriquement en présence d'un indicateur de pH. Aux normalités données, 1 ml de H_2SO_4 est neutralisé par 0,28 mg d'azote.

L'azote soluble des aliments (Ns) est défini comme la fraction solubilisée par agitation pendant 2 heures dans une solution saline dont la composition est proche de celle de la salive (VERITE et DEMARQUILLY 1978). Les teneurs sont déterminées dans le filtrat selon KJELDAHL.

L'azote non protéique (ANP) est défini comme la fraction azotée non précipitée par une solution finale d'acide trichloroacétique de 12 p.100 p/v pour les laits, et de 8 p.100 p/v pour les contenus intestinaux, leurs filtrats, les aliments et les fèces préalablement macérés et dilués (10 g de fèces frais dans 100 ml d'eau distillée). Les teneurs en azote non protéique sont déterminées dans le filtrat selon KJELDAHL. L'azote non protéique des aliments est déterminé après précipitation au TCA des protéines solubles contenues dans la solution saline ayant servi à l'extraction de l'azote soluble.

L'azote ammoniacal ($N.NH_3$) est déterminé par ionimétrie dans les contenus intestinaux, les filtrats correspondants, la solution d'extraction de l'azote soluble des aliments et dans les fèces. L'ammoniac des prises d'essai est déplacé par NaOH 10N apporté au $1/100^{ème}$ du volume testé. La différence de potentiel de l'électrode ammoniac est exprimée en millivolts. Les teneurs sont déterminées par référence à une gamme étalon.

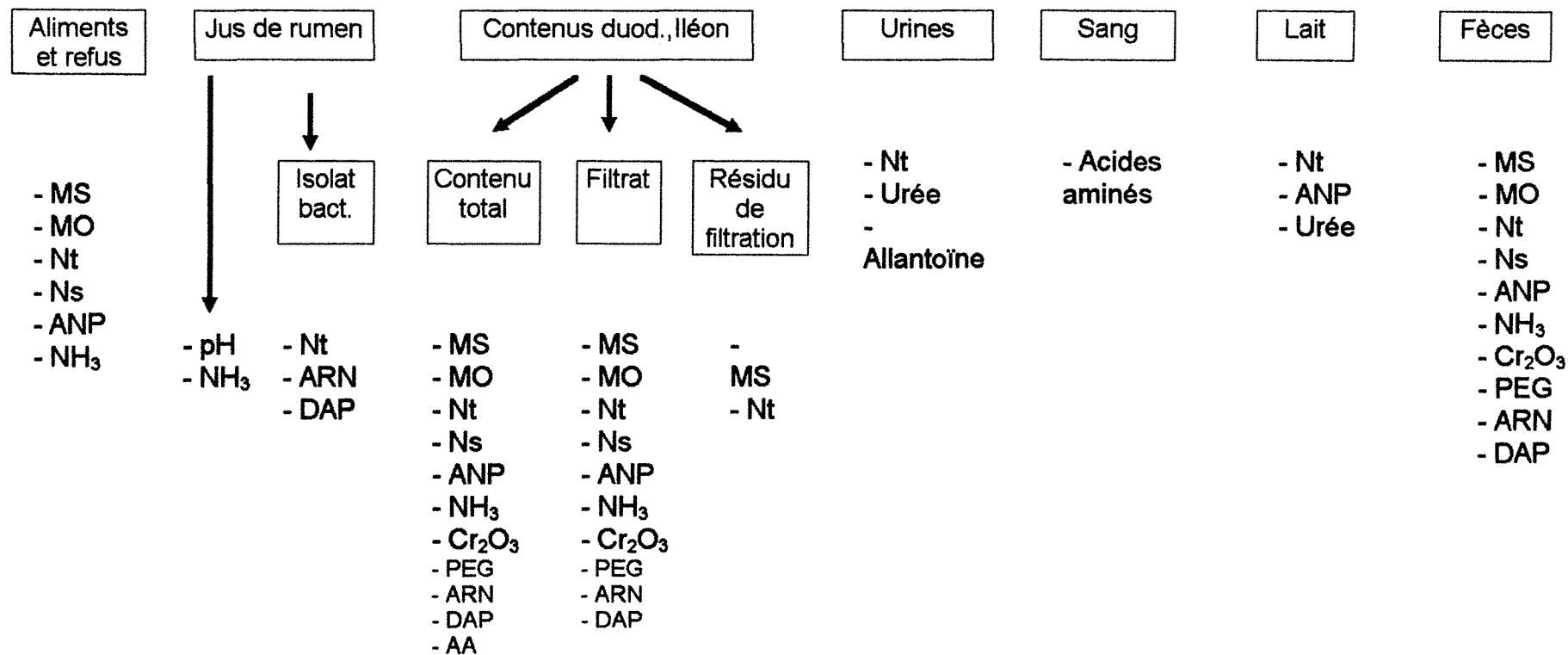


Figure 4. Diagramme général des traitements et dosages effectués sur les prélèvements expérimentaux.

Les teneurs en urée du lait et des urines sont déterminées sur autoanalyser selon le principe de sa réaction colorimétrique avec le diacétyl-monoxime en milieu peu acide (MARSH et al. 1965). La présence de thiosemi-carbazine et d'ions ferriques intensifie le développement de la coloration à 90°C.

1233. Allantoïne urinaire.

L'allantoïne urinaire est dosée selon le principe de sa réaction colorimétrique avec le ferricyanure de potassium (VOGELS et VAN DER DRIFT 1970). Après dilution adéquate des urines pour ramener la concentration finale en N au-dessous de 0,1 g/l, les prises d'essai (1 ml) sont additionnées de 2 ml H₂O, 1 ml NaOH 0,5N et hydrolysés (100°C-7mn). Une 2^{ème} hydrolyse (100°C-5mn) est effectuée après ajout de HCl 0,65N. Les tubes à essai sont placés dans un bac à glace et 1 ml de tampon (pH 7), 1 ml de phénylhydrazine (0,333 p.100 p/v), 5 ml de HCl RP. glacé, et 1 ml de ferricyanure de potassium (1,666 p.100 p/v) sont ajoutés. La lecture est effectuée après 15 mn sur un spectromètre d'absorption atomique à 540 nm.

1234. Oxyde de chrome, polyéthylène glycol.

L'oxyde de chrome (Cr₂O₃) est dosé dans les contenus intestinaux, leurs filtrats et dans les fèces selon FRANCOIS et al. (1978). La méthode FRANCOIS est modifiée dans sa phase initiale. La minéralisation est faite par calcination des prises d'essai (550°C, 5h) pour éviter les risques de volatilisation du chrome sous forme de chlorure de chromyle en présence de matière organique. L'oxydation du chrome est réalisée en milieu nitro-perchlorique (1v:2v), et complétée par ébullition pendant 10 mn en présence de persulfate d'ammonium 10 p.100 p/v (50 ml), et de nitrate d'argent 1,5 p.100 p/v en solution nitrique (35 ml HNO₃ RP/litre, 15 ml). Les prises d'essai sont acidifiées par 10 ml d'acide sulfurique 6N et 5 ml d'acide phosphorique 65 p.100 p/v. Elles sont titrées par une solution de sel de MOHR 0,02N en présence d'un indicateur d'oxydo-réduction (3 gouttes de diphénylamine sulfonide 0,5 p.100 p/v.).

Les teneurs en polyéthylène glycol dans les contenus intestinaux, dans leurs filtrats et dans les fèces sont déterminées selon le principe de sa réaction turbidimétrique avec l'acide trichloroacétique (HYDEN 1956). Les prises d'essai sont déprotéinisées et désulfatées par addition de chlorure de baryum 10 p.100 p/v, d'hydroxyde de baryum 0,3N et de sulfate de zinc 10 p.100 p/v. On ajoute au filtrat (1 ml) une solution (5 ml) d'acide trichloroacétique 30 p.100 p/v-chlorure de baryum 5 p.100 p/v. La turbidité est lue, 45 mn à 1 heure après addition, sur turbidimètre en lumière blanche.

1235. Acides ribonucléiques, acide diaminopimelique.

Les acides ribonucléiques des isolats bactériens, des contenus intestinaux, des filtrats correspondants et des fèces sont extraits selon BENGHEDALIA (1981) et dosés selon la méthode de HATCHER et GOLDSTEIN (1969) modifiée par LAURENT (1985). Les prises d'essai sont macérées (12h, 5°C) dans du détergent neutre (solution NDF). Les ARN sont extraits par homogénéisation du milieu (extracteur 20000 T/mn, 1 mn), et précipités par du chlorure de cadmium 2N dans un bain-marie à 40°C pendant 10 mn. Le culot de centrifugation (30000 g, 20 mn) est lavé 2 fois avec une solution de chlorure de Cadmium (CdCl₂ 0,5N). La réaction colorimétrique des ARN avec l'orcinol 4 p.100 p/v (1 ml), l'eau (1 ml) et le ferricyanure (3 ml) après hydrolyse (90°C, 1h) est lue sur spectromètre d'absorption atomique à 660 nm.

L'acide diaminopimelique des isolats bactériens, des contenus intestinaux, des filtrats correspondants et des fèces est déterminé selon CZERKAWSKI (1974). Les prises d'essai sont hydrolysées (105°C, 16h) dans HCl 6N, purifiées sur colonne de mélange chromosorbe-charbon végétal et reconcentrées. L'acide diaminopimelique est fixé sur colonne de résine amberlite IR-120 préalablement ramenée à pH 2,00, séparé à pH 3,60, et récupéré par élution à pH 4,20. La réaction colorimétrique de l'acide diaminopimelique avec la ninhydrine après passage au bain-marie (100°C, 5 mn) est lue sur spectromètre d'absorption atomique à 440 nm.

1236. Acides aminés du sérum sanguin et des contenus digestifs.

Le sérum sanguin est déprotéinisé par l'acide sulfosalicylique: 10 ml de sérum sont additionnés de 1,212 g d'acide sulfosalicylique dihydraté cristallisé et de 1 ml d'une solution de standard interne (0,1464 g. N-Valine/litre de tampon Li⁺ 2,2), homogénéisés et centrifugés (12000 t/mn, 20 mn). Le surnageant est amené à pH 2,2 par de la lithine 5N, ajusté à 25 ml par le tampon Li⁺ 2,2, filtré sur millépore et conservé à 4°C jusqu'à analyse. Le contenu digestif du duodénum et de l'iléon servant au dosage des acides aminés est lyophilisé et conservé jusqu'à analyse. Les dosages des acides aminés sont réalisés par le laboratoire d'analyses chimiques de AEC-RHONE POULENC à COMMENTRY. Les acides aminés sont dosés par chromatographie à échanges d'ions, sur Biotronic 5000 (Eppendorf, Maintal Allemagne).

13. METHODES D'ESTIMATION DES FLUX DIGESTIFS.

Les flux digestifs sont estimés à partir de la concentration des marqueurs dans le contenu du duodénum et de l'iléon. Tenant compte des pertes du contenu à travers les canules du rumen, du duodénum et de l'iléon, ils sont exprimés en fonction de la quantité de marqueur excrétée par jour.

131. Méthode du "double marquage - estimation simultanée".

Les flux digestifs sont obtenus selon la méthode du "double marquage - estimation simultanée" de FAICHNEY (1975a, 1980a).

Principe: estimation par reconstitution du contenu digestif.

Les teneurs des marqueurs et des autres constituants du contenu digestif sont déterminées à la fois dans le contenu total et le filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 mm.

Si Crct, Crf, Crcr sont les teneurs (g/litre) du marqueur oxyde de chrome respectivement dans le contenu total, le filtrat et le contenu reconstitué, exprimées en pourcentage de la quantité journalière excrétée.

PEGct, PEGf, PEGcr sont les teneurs (g/litre) du marqueur polyéthylène glycol dans le contenu total, le filtrat et le contenu reconstitué, exprimées en pourcentage de la quantité journalière excrétée.

Cct, Cf, Ccr sont les teneurs (g/litre) d'un constituant quelconque du contenu digestif dans le contenu total, le filtrat et le contenu reconstitué.

Le facteur de reconstitution du contenu réel (R) est obtenu par:

$$R = (Crct - PEGct) / (PEGf - Crf) \quad (1)$$

R représente la quantité de filtrat à ajouter au (ou à retrancher du) contenu total pour obtenir le contenu reconstitué. Ce dernier est défini comme la quantité pour laquelle les teneurs des marqueurs (exprimées en pour-cent de leur quantité journalière excrétée) s'équilibrent.

Le contenu reconstitué peut être calculé indifféremment à partir des teneurs du marqueur soluble ou insoluble:

$$CR_{cr} \text{ (litres)} = PEG_{cr} = PEG_{ct} + (PEG_f \times R) / 1 + R \quad (2)$$

Le flux de contenu reconstitué (Flux_{cr}) est obtenu par:

$$Flux_{cr} \text{ (litres/jour)} = 100 / PEG_{cr} \quad (3)$$

Le flux journalier de tout constituant (Flux C_{cr}) est obtenu en remplaçant dans l'équation 2 les teneurs du marqueur par celles du constituant dans le contenu total et le filtrat et en multipliant par le flux de contenu reconstitué.

$$Flux \text{ C}_{cr} \text{ (g/jour)} = (C_{ct} + (C_f \times R)) \times flux_{cr} / 1 + R \quad (4)$$

132. Méthode du "2 marqueurs - estimation séparée".

A des fins de comparaison dans l'essai N°1, la méthode "2 marqueurs - estimation séparée", (FAICHNEY 1980b) est utilisée.

Principe: estimation des flux digestifs par fractionnement des phases liquide et solide.

La fraction liquide (FL) dans 1 litre de contenu digestif total est obtenue par:

$$FL \text{ (litre)} = ((1000 - MS_{ct}) / (1000 - MS_f)) \times 100 \quad (1)$$

Où MS_{ct} et MS_f sont les teneurs en matière sèche (g/litre) respectivement dans le contenu total et le filtrat.

La fraction de PEG (PEG_{effect.}) accompagnant effectivement la fraction liquide et exprimée en pourcentage du contenu total est obtenue par:

$$PEG_{effect.} = (PEG_f / PEG_{ct}) \times FL \quad (2)$$

Où PEG_f et PEG_{ct} sont les teneurs en PEG (g/litre) dans le filtrat et le contenu total exprimés en pour-cent de la quantité journalière excrétée.

Le flux de la phase liquide (Flux_{liq.}) en litres/jour est donné par:

$$Flux_{liq.} = FL / PEG_{ct.} \quad (3)$$

Le flux de Cr₂O₃ dans la phase liquide est retranché de l'unité pour obtenir la fraction de marqueur insoluble (Cr₂O₃_{effect.}) accompagnant effectivement la phase solide.

$$Cr_2O_3_{effect.} = 100 - (Cr_2O_3_f \times Flux_{liq.}) \quad (4)$$

La concentration de Cr₂O₃ dans la phase solide (Cr₂O₃_{conc.}) exprimée en g/kg, est donnée par:

$$Cr_2O_3_{conc.} = \frac{Cr_2O_3_{ct} - (FL \times Cr_2O_3_f)}{(100 - FL) \times Cr_2O_3_{effect.}} \quad (5)$$

Le flux des solides est obtenu en divisant l'unité par la concentration du marqueur:

$$Flux_{sol.} = 100 / Cr_2O_3_{conc.} \quad (6)$$

Le flux de contenu total (litres/24h) est la somme des flux liquide et solide.

$$Flux_{tot.} = Flux_{liq.} + Flux_{sol.} \quad (7)$$

Le flux total de tout autre constituant est obtenu par la somme de ses flux respectifs dans les phases liquide et solide.

Exemple:

$$\text{Flux N} = (\text{Nf} \times \text{Fluxliq.}) + \left(\frac{\text{Nct} - (\text{FL} \times \text{Nf})}{100 - \text{FL}} \times \text{Fluxsol} \right) \quad (8)$$

Où Flux N est le flux total d'azote total (g/24h).

Nf est la teneur en azote total du filtrat (g/litre).

Nct est la teneur en azote total du contenu total (g/litre).

133. Méthode du "2 marqueurs - flux moyens".

Cette méthode est utilisée à des fins de comparaison à partir des données de l'essai N°1. Le flux digestif total est obtenu à partir du rapport de la quantité de marqueur excrétée (g/jour) à la teneur du marqueur dans le contenu digestif (g/litre).

Il vient pour le polyéthylène glycol:

$$\text{Flux total PEG (litre/jour)} = \text{PEGfec} / \text{PEGcd} \quad (1)$$

où PEGfec est la quantité de PEG excrétée (g/jour).

PEGcd est la teneur du PEG dans le contenu digestif (g/litre).

Le flux total par référence à l'oxyde de chrome est obtenu de la même manière:

$$\text{Flux total Cr}_2\text{O}_3 \text{ (l/jour)} = \text{Cr}_2\text{O}_3\text{fec} / \text{Cr}_2\text{O}_3\text{cd} \quad (2)$$

nous considérons que le flux total passant réellement dans le tube digestif est celui obtenu par référence au PEG.

Le flux des autres constituants est déterminé par la moyenne des flux individuels obtenue en multipliant la teneur du constituant dans le contenu digestif par le flux total calculé à partir de la concentration de chacun des marqueurs.

Exemple:

$$\text{Flux MS (g/jour)} = ((\text{MScd} \times \text{flux totalPEG}) + (\text{MScd} \times \text{flux total Cr}_2\text{O}_3)) / 2. \quad (3)$$

où MScd est la teneur en matière sèche du contenu digestif (g/litre).

14. ANALYSES STATISTIQUES ET TRAITEMENT DES DONNEES.

L'analyse de la variance à 1 voie de classification (dispositif factoriel, "traitements × blocs") et à 2 voies de classification (dispositif bifactoriel, "Traitement 1 × Traitement 2 × blocs") est appliquée aux données d'expérimentation acceptant un classement orthogonal. Dans l'essai 2, ces dispositifs sont préférés à celui du carré latin pour éviter le problème de l'estimation des données manquantes; en contrepartie, nous avons parfois perdu des degrés de liberté en retranchant de l'analyse les données de la chèvre 982.

Les comparaisons de moyennes entre traitements sont effectuées par le test de Newman-Keuls (PPAS, P=0,05). Le test de Student-Fisher (PPDS, P=0,05, P=0,01) est appliqué lorsque des moyennes d'effectifs inégaux sont comparées.

La relation entre 2 ou plusieurs variables est mesurée par les méthodes de la régression linéaire (simple et multiple) selon le principe des moindres carrés. Les coefficients de corrélation et les écarts types résiduels sont calculés.

Quelques modèles de régression curviligne de type exponentiel et monomoléculaire sont appliqués lorsque la relation entre variables n'est pas linéaire. La régression est obtenue par itérations successives jusqu'à minimisation des carrés des écarts résiduels de la dispersion.

Les données résultant du travail expérimental ainsi que celles obtenues à partir de la bibliographie sont constituées en fichiers et traitées sous le logiciel "STAT-ITCF".

CHAPITRE 2. CONTRIBUTION A LA METHODOLOGIE D'ESTIMATION DU FLUX DIGESTIF.

21. COMPORTEMENT DE PEG-4000 ET DE Cr_2O_3 DANS LE TUBE DIGESTIF.

211. Résultats et discussion.

2111. Variation des teneurs des marqueurs et de leur rapport dans le contenu du duodénum.

Les courbes de concentration du PEG dans le contenu duodénal au cours de 24h, obtenues chez les chèvres nourries 2 fois par jour (Fig. 5) montrent un appauvrissement progressif et régulier du milieu ruminal en marqueur pendant les phases séparant les moments d'administration. L'allure de ces courbes est semblable à celles obtenues après une administration unique du marqueur (pulse dose) et permettent, pour chaque phase post-prandiale, de calculer les paramètres cinétiques du marqueur (taux-constant de sortie et durée de séjour). La variation de Cr_2O_3 au cours de 24 heures dans le contenu du duodénum (Fig. 5) est par contre irrégulière. Un début d'appauvrissement du milieu n'est observé que 8 à 10 heures après la distribution du repas car le marqueur, imprégné au papier, est libéré progressivement dans le rumen. Ces résultats sont en accord avec les observations de LEIBHOLZ et HARTMANN (1972) qui notent une certaine variabilité de la concentration du PEG au cours de 24h dans le contenu du duodénum du mouton, même lorsque l'alimentation et le marqueur sont apportés en continu, et les observations de MacRAE et ARMSTRONG (1969) qui montrent que la concentration de Cr_2O_3 (mg/g MS) dans le contenu du duodénum échantillonné varie considérablement au cours de 24h chez les moutons nourris 2 fois par jour. Ces résultats indiquent que la variabilité des teneurs intra-journalières des marqueurs dans le contenu duodénal n'est pas éliminée, même après une administration prolongée. Ceci impose un choix judicieux du nombre de prélèvements à effectuer et de leur fréquences.

La variation circadienne des teneurs des marqueurs dans le contenu duodénal est étudiée (Tabl. 13). La concentration moyenne en PEG calculée à partir des prélèvements diurnes ne diffère pas ($P=0,05$) de celle obtenue à partir des prélèvements nocturnes. En revanche, la teneur moyenne de Cr_2O_3 est plus élevée dans les prélèvements effectués pendant la période nocturne. Ces résultats sont en accord avec les observations de DOVE et al. (1988) qui mesurent, chez la brebis au pâturage, un transit duodénal de contenu total, de matière sèche, de particules alimentaires et d'azote nettement plus élevé durant la nuit, comparé au transit diurne. Les teneurs moyennes élevées de Cr_2O_3 sont certainement en relation avec un transit particulière nocturne plus important.

Le rapport des concentrations du marqueur soluble à celles du marqueur particulaire dans le contenu intestinal (ramené au rapport des quantités administrées) est un indicateur de l'équilibre Entrée-Sortie du rumen (steady state). Mesuré au cours de 24h dans les prélèvements individuels, il restitue les écarts de sortie des marqueurs du rumen en comparaison de sa valeur idéale (égale à l'unité) si aucune modification du flux des marqueurs n'intervient. L'évolution de ce rapport dans le contenu duodénal met en évidence un phénomène de découplage du transit des marqueurs lorsque l'apport n'est pas continu (Fig. 6). La propension du PEG à quitter plus rapidement le rumen imprime au rapport des valeurs supérieures à l'unité dans la période qui suit immédiatement le repas. Les périodes dans lesquelles le rapport des concentrations est inférieur à l'unité

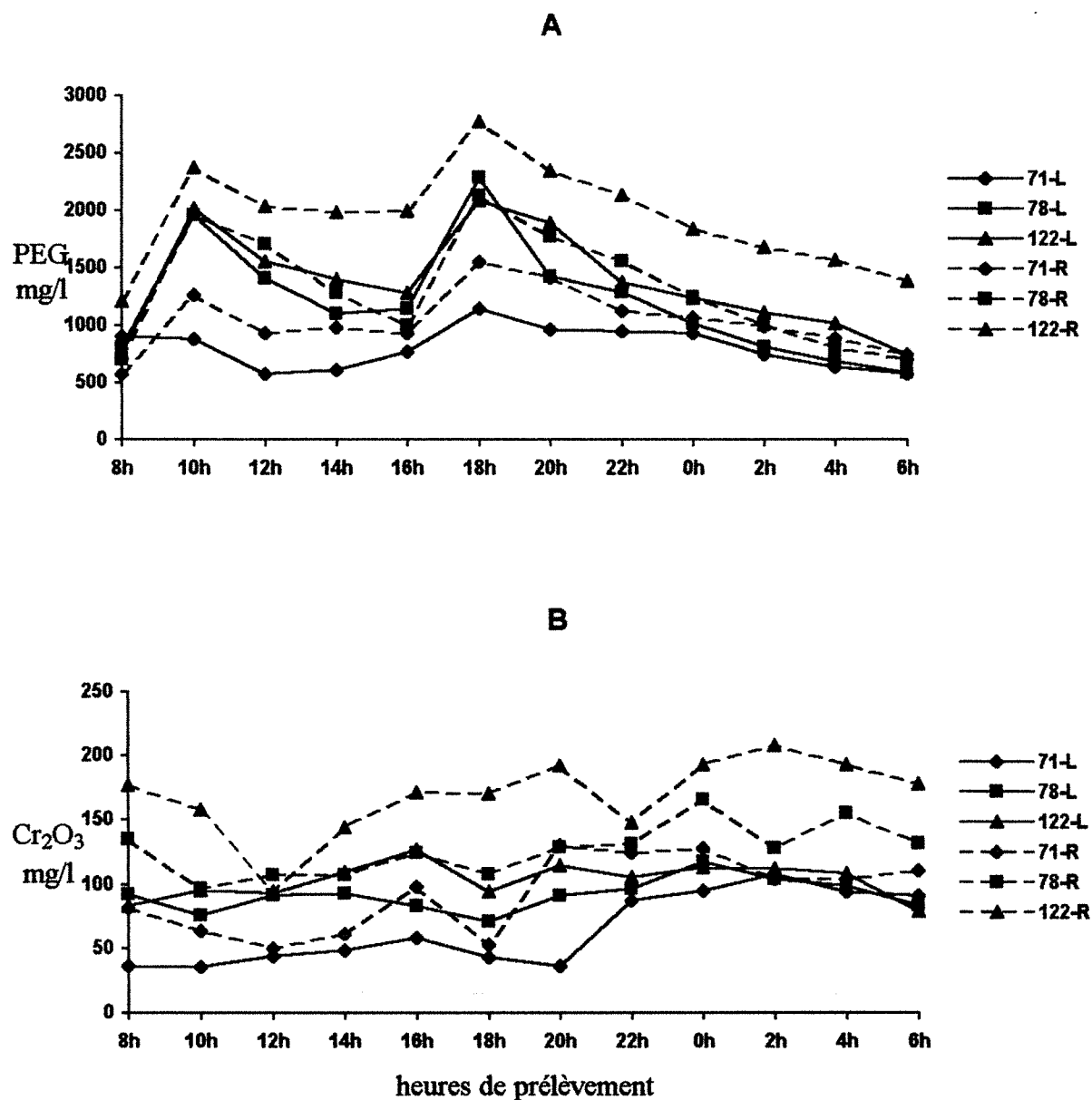


Figure 5. Variation journalière des teneurs de PEG (A) et de Cr₂O₃ (B) dans le contenu du duodénum des chèvres alimentées à volonté (L) et restreintes (R).

correspondent à un plus fort transit de Cr₂O₃. Une évolution similaire du rapport (soluble/insoluble) des marqueurs est mise en évidence par WELLER et al. (1962) concernant PEG et lignine dans le rumen de moutons recevant un repas par jour.

Mesuré dans les regroupements du contenu du duodénum, de l'iléon et dans les fécès (Tabl.14), le rapport des concentrations des marqueurs traduit les variations Entrée-Sortie des différents compartiments du tube digestif. Dans le duodénum, la valeur moyenne du rapport des marqueurs est inférieure à l'unité (0,94, $\sigma=0,12$). Mesuré dans le contenu de l'iléon, ce rapport est supérieur à la valeur observée dans le duodénum. En moyenne, il est de 1,06 ($\sigma=0,09$) et sa variabilité est inférieure à celle observée dans le contenu du duodénum (CV= 8,5 p.100 contre

Tableau 13. Concentrations moyennes de PEG et de Cr₂O₃ dans les prélèvements diurnes (6h-18h) et nocturnes (20h-4h) du contenu duodénal des chèvres nourries *ad libitum* (L) et restreintes à 75% de la MS consommée *ad libitum* (R).

Chèvres et régimes	PEG (mg/litre)		T (Student)	Cr ₂ O ₃ (mg/litre)		T (Student)
	Diurne	Nocturne		Diurne	Nocturne	
71-L	781	845	NS	51	84	*
78-L	1347	1047	NS	84	102	**
122-L	1405	1327	NS	97	111	*
71-R	998	1097	NS	74	118	**
78-R	1355	1277	NS	116	142	**
122-R	1963	1914	NS	157	187	*

^{NS} P>0,05 ; *P<0,05 ; **P<0,01.

12,8 p.100). Le rapport d'excrétion fécale des marqueurs est inférieur à l'unité car on récupère dans les fèces moins de PEG que de Cr₂O₃ administrés (82,78 p.100, $\sigma=4,68$ contre 95,10 p.100, $\sigma=4,47$). Ces résultats montrent que le flux des marqueurs entre les différents compartiments du tube digestif des chèvres subit des modifications. WELLER et al. (1971), HUME et al. (1970), HOGAN cité par HUME et al. (1970) notent aussi, chez le mouton nourri en continu, des rapports des concentrations des marqueurs (PEG/Lignine) variables et en moyenne inférieurs à l'unité dans le contenu du duodénum et de la caillette. WELLER et al. (1971) observent des valeurs du rapport des marqueurs dans le contenu de l'iléon supérieurs en moyenne à l'unité et aux valeurs correspondantes du duodénum lorsque la période des prélèvements est inférieure à 5 jours. Si le prélèvement du contenu du duodénum est effectué pendant une semaine à travers des canules réentrantes munies d'un dispositif de mélange du contenu, le rapport des concentrations des marqueurs est en moyenne égal ou très proche de l'unité. Les causes des variations du rapport des concentrations des marqueurs sont attribuées:

a). à une possible altération des marqueurs sous l'effet de l'acidité gastrique et des phénomènes fermentaires (DONALDSON et BARRERAS cités par MacRAE et ARMSTRONG 1969, TEETER et OWENS 1983), et à leur absorption (DEINUM et al. cités par MacRAE et ARMSTRONG 1969) décelée par la présence d'oxyde de chrome dans les glandes lymphatiques et les organes des vaches. Des taux de recouvrement incomplets de Cr₂O₃ et de PEG dans le duodénum et dans l'iléon après collection totale (OFFER et al. 1972, MacRAE et ARMSTRONG 1969) viennent conforter ces hypothèses.

b). à une variabilité intra et interjournalière de la composition du contenu intestinal, particulièrement chez les animaux recevant des repas espacés (BRUCE et al. cités par WELLER et al. 1971).

c). Aux effets de stress pendant les manipulations des animaux et aux durées des prélèvements trop courtes pour tenir compte de la variabilité du flux des marqueurs (WELLER et al. 1971, EHOUSOU cité par GUILLOTEAU 1986).

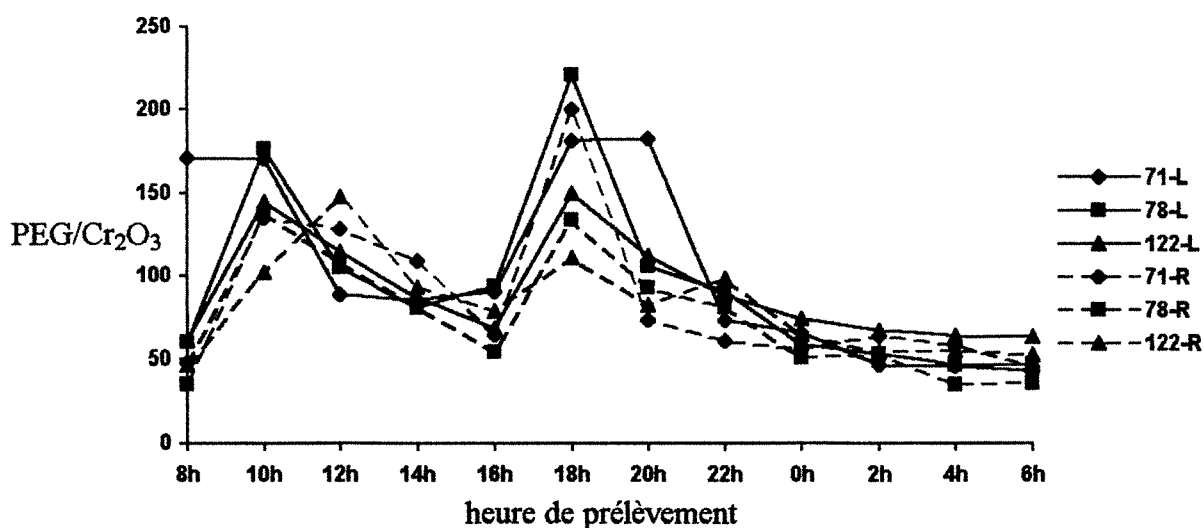


Figure 6. Evolution du rapport PEG/Cr₂O₃ (en p.100 du rapport d'administration) dans le contenu du duodénum des chèvres alimentées à volonté (L) et restreintes (R).

Tableau 14. Valeurs moyennes du rapport PEG/Cr₂O₃ dans les contenus intestinaux et récupération fécale chez les chèvres recevant, par la canule du rumen, 30 g/j de PEG et 2,043 g/j de Cr₂O₃.

Chèvres N°	Régimes	MS ingérée g/j	PEG / Cr ₂ O ₃ (1)			Récupération fécale (2)	
			Duod.	Iléon	Fèces	Cr ₂ O ₃	PEG
Essai 1							
71	ad lib.	1977	1,04	1,07	0,80	102,2	82,0
71	restr.	1453	0,87	1,09	0,84	97,3	82,1
78	ad lib.	1928	0,95	1,20	0,88	92,9	81,7
78	restr.	1569	0,75	1,07	0,92	94,0	86,6
122	ad lib.	1621	0,91	1,07	0,87	96,9	84,3
122	restr.	1157	0,82	0,89	1,00	82,5	82,8
Essai 2							
78	3:0 ML	1625	0,87	0,95	0,88	92,7	81,7
78	3:5 ML	1531	0,90	0,95	0,93	91,5	84,8
78	3:13 ML	1246	0,89	1,11	0,93	91,8	85,2
78	3:22 ML	1418	0,98	1,23	0,81	101,0	81,6
27	3:0 ML	1907	0,92	1,07	0,86	90,2	77,5
27	3:5 ML	2398	0,86	0,96	0,89	95,0	84,8
27	3:13 ML	1967	0,97	1,10	0,94	99,4	93,4
27	3:22 ML	2032	0,87	1,04	0,83	97,0	80,1
71	3:0 ML	1997	0,85	0,98	0,75	100,9	76,1
71	3:5 ML	2268	1,28	1,23	0,75	94,9	71,5
71	3:13 ML	2385	0,87	1,02	0,90	99,9	82,0
71	3:22 ML	2081	0,95	1,00	0,98	93,4	91,7
982	3:0 ML	1601	1,16	1,16	0,90	92,9	83,1
982	3:5 ML	1605	1,05	0,99	0,86	95,8	82,6
Moyenne			0,94	1,06	0,87	95,1	82,8
E. type			0,12	0,09	0,07	4,6	4,8

(1): rapporté à PEG/Cr₂O₃ administrés; (2): en p.100 des quantités administrées.

2112. Relation entre marqueurs et constituants du contenu duodénal.

La corrélation de Cr_2O_3 avec les constituants du contenu digestif prélevé du duodénum (Tabl. 15) révèle une tendance du marqueur à accompagner la variation des teneurs en matière sèche (MS), en matière organique (MO) et en azote total (N total), mais une variabilité des coefficients de corrélation entre animaux est observée. La teneur en Cr_2O_3 varie de manière indépendante de celle de PEG dans le contenu duodénal de 2 chèvres. Chez la chèvre 78, Cr_2O_3 diminue lorsque la teneur en PEG augmente. La teneur du marqueur soluble est par contre indépendante de celle de MS, de MO et de N total dans 5 mesures. Chez la chèvre 78-L où une corrélation significative est observée, PEG varie inversement à la teneur de MS, MO et N total. Ces résultats confirment un transit du marqueur soluble indépendant des autres constituants du flux digestif. La variabilité des coefficients de corrélation entre Cr_2O_3 et MS, MO et N total respectivement traduit certainement des différences de répartition de ces constituants en fraction solubilisée accompagnant la phase liquide (dont les variations sont indépendantes de celles de Cr_2O_3) et en fraction contenue dans les particules non dégradées et les cellules microbiennes. Ces relations, obtenues au cours de 24h, confirment les résultats de MacRAE et al. (1972) qui montrent de fortes corrélations du flux duodénal journalier de Cr_2O_3 avec celui de MS ($r=0,95$), de MO ($r=0,96$) et de N ($r=0,89$) après collection totale chez des moutons nourris continuellement. Cr_2O_3 accompagne non seulement la MS totale chez le ruminant, mais aussi la matière sèche ($r=0,56$, $n=4$, $P=0,01$) et l'azote ($r=0,68$, $n=4$, $P=0,01$) des bactéries mesurés à la fin de l'iléon chez le veau préruminant nourri de bactéries cultivées sur méthanol (GUILLOTEAU 1986).

Tableau 15. Coefficients de corrélation entre marqueurs et constituants du contenu duodénal prélevé toutes les 2 heures pendant 24h chez les chèvres taries alimentées *ad libitum* (L) et restreintes à 75 p.100 de *ad libitum* (R).

Chèvres et régimes	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
Cr_2O_3 mg/litre						
PEG mg/litre	-0,274	-0,612	0,180	-0,066	-0,583	-0,254
MS g/litre	0,974	0,814	0,368	0,956	0,715	0,910
MO g/litre	0,977	0,825	0,343	0,937	0,726	0,915
N total g/litre	0,915	0,760	-0,031	0,947	0,860	0,926
PEG						
MS	-0,256	-0,705	0,155	0,122	-0,324	-0,075
MO	-0,286	-0,688	0,138	0,137	-0,377	-0,129
N total	-0,282	-0,772	-0,033	0,080	-0,547	-0,156
MS						
MO	0,999	0,997	0,997	0,997	0,996	0,997
N total	0,955	0,796	0,325	0,945	0,876	0,927
MO						
N total	0,955	0,777	0,306	0,923	0,879	0,924

Seuil de signification: $r=0,576$ ($P=0,05$; $ddl=10$)

22. INFLUENCE DU NOMBRE DES PRELEVEMENTS JOURNALIERS ET DES METHODES DE TRAITEMENT ET DE CALCUL SUR L'ESTIMATION DU FLUX DIGESTIF DANS LE DUODENUM.

221. Traitement du contenu duodénal, détermination des modalités de prélèvement, méthodes d'estimation.

Les teneurs en PEG, Cr_2O_3 , MS et Nt déterminées dans chaque prélèvement et dans le filtrat correspondant servent à calculer la teneur moyenne dans le contenu duodénal en fonction des modalités définies (Fig. 7). Ces modalités diffèrent par le nombre de prélèvements effectués durant 24h à partir du prélèvement précédant le premier repas (modalités 12/24h, 6/24h, 4/24h). Les modalités 7D et 5N sont définies pour mesurer les écarts correspondant aux périodes de prélèvement diurne et nocturne.

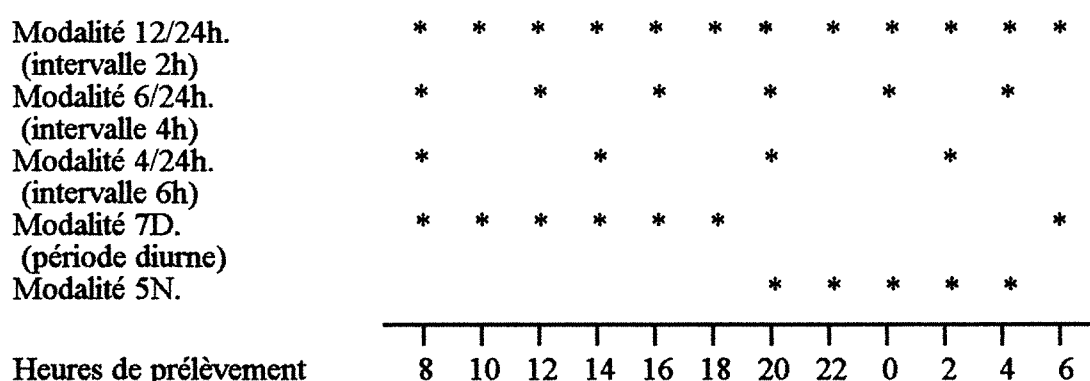


Figure 7. Modalités de prélèvement dans le duodénum.

Les méthodes d'estimation du flux digestif testées sont celles déjà présentées, il s'agit:

- de la méthode du "Double Marquage-Estimation Simultanée" (DM-ES, Faichney 1975, 1980a).
- de la méthode du "2 Marqueurs-Estimation Séparée" (2M-ES, Faichney 1980b).
- de la méthode du "2 Marqueurs-Flux Moyens" (2M-FM).

222. Résultats.

a). Influence sur l'estimation du flux de contenu total.

Les méthodes comparées retiennent par hypothèse un rapport des flux de marqueurs dans le duodénum identique au rapport de leur excrétion fécale. Les écarts observés résultent donc uniquement des différences de traitement du contenu digestif et des calculs appliqués par chaque méthode. Les résultats du tableau N°16 montrent que la diminution des fréquences de prélèvement (12/24h à 6/24h à 4/24h) n'a pas occasionné des écarts significatifs sur l'estimation du flux duodénal de contenu total et ce, quelle que soit la méthode d'estimation utilisée. En revanche, lorsque la journée est divisée en périodes diurne (7D) et nocturne (5N), le flux duodénal de contenu total estimé à partir des prélèvements correspondants diffère ($P < 0,01$) si aucun traitement de correction (physique ou mathématique) n'est appliqué, comme c'est le cas de la méthode

Tableau 16. Flux de contenu total (litres/jour) dans le duodénum des chèvres estimé selon différentes modalités de prélèvement et différentes méthodes de traitement du contenu digestif et de calcul.

Méthodes	Nombre des prélèvements					Moyenne	σ résid.	F
	12/24h	6/24h	4/24h	7 diurnes	5 noct.			
DM-ESim.	20,71	21,85	21,78	20,41	21,31	21,21	1,10	NS
2M-ESép.	20,77	22,02	22,04	20,68	21,05	21,31	1,08	NS
2M-FMoy.	20,28	20,78	21,17	21,82	19,00	20,61	1,44	*
Moyenne	20,59 ^a	21,55 ^a	21,66 ^a	20,97 ^a	20,45 ^b	21,04	1,35	*
σ résid.	0,68	1,14	1,44	1,33	0,61	1,35		
F	NS	NS	NS	NS	**	NS		

^{NS} $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

a, b: groupes de moyennes différents au test de Student ($P = 0,05$).

"2M-FMoy". Ces différences proviennent certainement du phénomène de découplage du transit des marqueurs utilisés déjà étudié précédemment. Lorsque les méthodes "DM-ESim" et "2M-ESép" sont utilisées, les traitements correctifs appliqués diminuent la variabilité dans l'estimation du flux duodénal diurne et nocturne de contenu total. La comparaison des résultats obtenus par l'utilisation des différentes méthodes d'estimation montre que celles qui utilisent des traitements correctifs (DM-ESim et 2M-ESép) fournissent en définitive des flux duodénaux semblables à ceux obtenus par la méthode "2M-FMoy" (qui n'utilise aucun traitement correctif) lorsque les prélèvements sont répartis sur toute la journée (12/24h, 6/24h et 4/24h). Des différences entre ces 2 catégories de méthodes sont mises en évidence ($P < 0,01$) lorsque les flux sont estimés à partir des prélèvements nocturnes: la méthode "2M-FMoy" fournit un flux duodénal de contenu total nettement inférieur aux autres. Des effets d'interaction non significatifs indiquent que les modalités des facteurs "nombre de prélèvements" et "méthodes d'estimation" sont indépendantes.

b). Influence sur l'estimation du flux de matière sèche.

Etudiée à l'intérieur de chaque méthode d'estimation, la variabilité du flux duodénal de matière sèche due au nombre de prélèvements journaliers est plus ou moins importante selon les traitements appliqués (Tabl. 17): l'utilisation d'un coefficient de reconstitution du contenu digestif (méthode DM-ESim) permet de minimiser la variabilité occasionnée par les modalités du facteur "nombre de prélèvements", de sorte que les flux duodénaux de matière sèche estimés ne sont pas différents. Lorsque le flux duodénal de matière sèche est estimé après fractionnement du contenu total (2M-ESép), une influence des différentes modalités de prélèvement est observée ($P < 0,05$), mais les moyennes restent insuffisamment discriminées pour détecter des différences dues aux intervalles de prélèvements ou à la division de la journée en périodes diurne et nocturne. Par la méthode "2M-FMoy.", le flux de matière sèche estimé à partir des prélèvements diurnes est inférieur ($P = 0,05$) au flux estimé à partir des prélèvements nocturnes tandis que la diminution du nombre des prélèvements (12/24h, 6/24h, 4/24h) n'a pas d'influence.

Tableau 17. Flux de matière sèche (g/jour) dans le duodénum des chèvres estimé selon différentes modalités de prélèvement et différentes méthodes de traitement du contenu digestif et de calcul.

Méthodes	Nombre des prélèvements					Moyenne	σ résid.	F
	12/24h	6/24h	4/24h	7 diurnes	5 noct.			
DM-ESim.	980	999	1003	989	981	990 ^b	21	NS
2M-ESép.	981	1000	1006	992	977	991 ^b	17	*
2M-FMoy.	993	1035	1038	975	1035	1015 ^a	36	*
Moyenne	985 ^b	1011 ^a	1016 ^a	985 ^b	998 ^{ab}	999	28	**
σ résid.	14	25	24	21	19	28		
F	NS	*	NS	NS	**	**		

^{NS} $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

a, b: groupes de moyennes différents au test de Newman-Keuls ($P = 0,05$).

Les méthodes d'estimation "DM-ESim" et "2M-ESep" fournissent un même flux duodéal de matière sèche quelles que soient les modalités de prélèvement à l'intérieur desquelles elles sont comparées. La méthode "2M-FMoy" a tendance à surestimer ($P < 0,05$) le flux de matière sèche, particulièrement à l'intérieur des modalités 6/24h ($P < 0,05$) et nocturne ($P < 0,01$). Les effets d'interaction des facteurs "méthodes d'estimation" et "nombre de prélèvements" ne sont pas significatifs. Comme pour l'estimation du flux de contenu total, ces facteurs sont indépendants.

c). Influence sur l'estimation du flux d'azote total.

Le flux duodéal d'azote total est influencé par le nombre des prélèvements journaliers ($P < 0,05$) lorsqu'il est estimé par les méthodes "DM-ESim" et "2M-ESep" (Tabl. 18). Des écarts similaires entre modalités de prélèvements, mais non significatifs, sont également observés lorsque le flux est obtenu par la méthode "2M-FMoy". Le flux duodéal d'azote est d'autant plus élevé que le nombre des prélèvements diminue (à l'intérieur des modalités 12/24h, 6/24h et 4/24h). Cette tendance est attribuée à la variabilité importante des teneurs en azote total des contenus digestifs entre période diurne et période nocturne; la valeur moyenne retenue pour l'estimation sera donc d'autant plus élevée que le rapport prélèvements nocturnes/ prélèvements totaux de chaque modalité est grand. La valeur du rapport est de 42 p.100 dans la modalité 12/24h et de 50 p.100 dans les modalités 6/24h et 4/24h. Pour cette même raison de variabilité des teneurs, le flux duodéal d'azote total calculé à partir des prélèvements diurnes est nettement inférieur à celui obtenu à partir des prélèvements nocturnes. Dans ce cas particulier de l'estimation du flux duodéal d'azote total, nous constatons que les différents traitements physiques et mathématiques appliqués par les méthodes "DM-ESim" et "2M-ESep" n'ont pas été suffisants pour corriger la variabilité due aux modalités de prélèvements, contrairement à ce qui a été observé concernant l'estimation du flux de contenu total et de matière sèche.

Tableau 18. Flux d'azote total (g/jour) dans le duodénum des chèvres estimé selon différentes modalités de prélèvement et différentes méthodes de traitement du contenu digestif et de calcul.

Méthodes	Nombre des prélèvements					Moyenne	σ résid.	F
	12/24h	6/24h	4/24h	7 diurnes	5 noct.			
DM-ESim.	38,9	40,3	40,7	38,4	40,2	39,7	1,4	*
2M-ESép.	39,0	40,4	40,9	38,6	40,0	39,8	1,3	*
2M-FMoy.	38,8	40,1	40,8	38,7	39,9	39,7	1,4	NS
Moyenne	38,9b	40,3a	40,8a	38,6b	40,0a	39,7	1,3	**
σ résid.	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	1,3		
F	NS	NS	NS	NS	NS	NS		

^{NS} $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

a, b: groupes de moyennes différents au test de Newman-Keuls ($P = 0,05$).

Les différentes méthodes d'estimation testées fournissent des flux d'azote total dans le duodénum pratiquement identiques, de sorte que les traitements de correction appliqués par les méthodes "DM-ESim" et "2M-ESép" n'apportent aucune modification par rapport aux flux calculés par la méthode "2M-FMoy". Les effets d'interaction entre méthodes d'estimation et nombre de prélèvements n'ont pas été significatifs.

223. Discussion.

a). Nombre des prélèvements.

MacRAE (1974), WELLER et al. (1971) établissent que l'estimation du flux digestif à partir du prélèvement du contenu (comparé au flux estimé à partir de la collection totale et de l'échantillonnage) introduit des erreurs à cause de la variabilité du contenu, de celle du flux des marqueurs et des incertitudes liées à la représentativité du prélèvement. On retient généralement comme hypothèse que la multiplicité des prélèvements compense les erreurs introduites par ces facteurs, mais peu de données bibliographiques concernant l'incidence du nombre des prélèvements journaliers sur l'estimation du flux digestif à l'entrée de l'intestin sont disponibles. WALLER et al. (1980) ont montré que la modification des intervalles de prélèvement ainsi que leur nombre n'influence pas l'estimation du flux duodéal d'azote, mais ces travaux ont concerné des veaux nourris en continu et se sont limités à l'étude des marqueurs de la phase solide (Cr_2O_3 , NDF, ADF). Nos propres résultats, obtenus chez l'animal nourri 2 fois par jour, montrent que le problème du nombre de prélèvements, ainsi que la possibilité d'effectuer des prélèvements sur une partie de la journée, doit être raisonné en relation avec la méthode d'estimation utilisée (même si les effets d'interaction ne sont pas statistiquement significatifs) et la nature du composant estimé.

1). Si la méthode d'estimation utilisée fait appel au traitement correctif du contenu (reconstitution ou fractionnement), la diminution du nombre des prélèvements journaliers (de 12 à 6, à 4), de même qu'un prélèvement bi-horaire diurne ou nocturne, ne provoquent pas de différences significatives dans l'estimation du flux duodéal de contenu total et de MS. Par contre,

des écarts significatifs sont provoqués concernant l'estimation du flux duodénal d'azote total. On conclut que l'allègement du nombre des prélèvements n'a pas d'incidences sur l'estimation du flux de contenu total et de MS parce que les traitements correctifs s'appliquent spécifiquement à ces phases. Dès qu'un constituant non spécifiquement marqué est estimé (azote total) des différences dues au nombre des prélèvements sont observées.

2). Si la méthode d'estimation ne fait appel à aucun traitement correctif (2M-FMoy), la diminution du nombre des prélèvements, de même que le prélèvement diurne ou nocturne, provoquent des différences dans l'estimation du flux duodénal de contenu total et de MS; mais le flux d'azote total n'est pas modifié. On conclut que lorsque le flux d'azote total est estimé à partir de sa teneur dans le contenu total, les différentes modalités de prélèvement ont moins d'incidence sur sa variation que lorsqu'il est estimé après application d'un facteur de correction.

b). Méthodes d'estimation.

Plusieurs méthodes d'estimation du flux digestif sont proposées (BALCH 1957, FAICHNEY 1975, 1980a, 1980b, ARMENTANO et RUSSEL 1986). Ces méthodes ont gagné au fur et à mesure en formulation mathématique des flux et en facteurs de correction des problèmes de représentativité du contenu prélevé (OWENS 1987), mais peu de résultats comparatifs sont fournis par la bibliographie. FAICHNEY (1980b) recommande d'estimer le flux digestif par reconstitution du contenu lorsque les repas et les marqueurs sont apportés en continu, et par fractionnement lorsqu'on s'écarte de ces conditions. Nos résultats montrent que les 3 méthodes testées fournissent des flux de contenu total, de MS et d'azote total semblables, sauf lorsque le flux est estimé à partir des prélèvements nocturnes. Dans ce cas, la méthode "2M-FMoy" sous-estime le flux de contenu total et surestime le flux de MS à cause de l'élévation importante des concentrations nocturnes de Cr_2O_3 . On conclut que les traitements (physiques et mathématiques) appliqués par les méthodes de reconstitution du contenu (DM-ESim.) et de fractionnement (2M-ESep.) ne provoquent pas de corrections significatives dans l'estimation du flux digestif et de ses composants, comparés aux flux obtenus sans application d'un facteur de correction (2M-FMoy.). Concernant le flux d'azote, les résultats fournis par les différentes méthodes sont tellement proches que même la variabilité résiduelle n'est pas modifiée.

23. PROPOSITION D'UN MODELE POUR LA DETERMINATION DE LA SATURATION DU RUMEN EN MARQUEUR ET L'ESTIMATION DU FLUX DUODENAL.

231. Justifications.

Les modèles d'estimation du flux digestif basés sur la mesure d'une teneur moyenne du marqueur dans le contenu digestif sont mis au point chez des animaux recevant les repas et les marqueurs en continu. Dans ces conditions, on estime que le flux digestif est suffisamment régulier pour que le rapport des concentrations des marqueurs soit constant et identique, en tous points du tube digestif, au rapport des quantités infusées; Mais, dans le cas d'animaux recevant les repas et les marqueurs à intervalles éloignés et irréguliers, cette hypothèse n'est pas vérifiée. De plus, les incertitudes liées à la représentativité du prélèvement à travers une canule intestinale simple demeurent. Le modèle proposé préconise une nouvelle approche de la méthodologie d'estimation du flux digestif duodénal qui tienne compte de la variation des paramètres liés à la physiologie de la digestion (volume du rumen, taux-constant de sortie du rumen) et de celle des paramètres

caractérisant les conditions du marquage (doses, durée des phases). Il est basé sur une hypothèse qui revient à la définition initiale du flux digestif duodénal comme résultant d'un volume du rumen et d'un taux de sortie.

Le modèle actuel de marquage par dose unique (pulse dose), formulé par GROVUM et WILLIAMS (1977), est complété et adapté au cas du marquage régulier et prolongé. Il résoud, par la détermination des courbes d'isosaturation du rumen en marqueur, un paramètre initialement considéré comme inconnu et qui s'opposait à son utilisation comme estimateur du flux digestif: la quantité de marqueur résiduelle présente dans le rumen au moment des dernières administrations avant prélèvement.

232. Le modèle.

2321. Principe.

Résolution des lois de saturation du compartiment (le rumen) en marqueur. Détermination du volume du rumen et du flux digestif entrant dans l'intestin à partir des cinétiques duodénales du marqueur.

2322. Conditions expérimentales de réalisation.

- Le marqueur est apporté simultanément aux repas et il existe, au cours d'un cycle de marquage de 24 heures, autant de phases de dilution (k_i) que de repas. Le modèle est formulé pour le cas où les animaux reçoivent 2 repas par jour.
- Les prélèvements de contenu du duodénum sont effectués après une période d'administration du marqueur suffisamment longue pour permettre un équilibre Sortie-Entrée et une saturation du compartiment en marqueur.
- Le marqueur continue à être administré pendant la période des prélèvements.
- La concentration en marqueur est mesurée dans chaque prélèvement de contenu du duodénum, et les courbes de dilution sont élaborées pour chaque phase postprandiale.

2323. Hypothèses.

Chaque repas marque le début d'une phase de vidange du rumen en marqueur. Pour chaque phase de vidange, les hypothèses conventionnelles du calcul du taux-de-flux (flow-rate) sont retenues: le taux de sortie du marqueur et le volume du rumen sont considérés constants.

Entre 2 phases de vidange, le taux de sortie et le volume du rumen peuvent varier avec les modifications liées aux conditions d'alimentation (variation des quantités ingérées, durée des phases) et avec les modifications d'origine physiologique (différences d'apport d'eau endogène au rumen, différences de rumination, variations circadiennes du passage).

Pour des cycles consécutifs de marquage, on admet que la quantité journalière de marqueur transitant dans le duodénum est égale à celle administrée. Les valeurs du k_i et les volumes du rumen mesurés dans chaque phase ne varient pas.

2324. Théorie.

Le modèle est constitué de 3 grandes catégories d'informations:

- Paramètres initiaux provenant des courbes de dilution du marqueur dans le contenu du duodénum.
- Paramètres servant à déterminer les courbes de saturation du compartiment en marqueur et le temps pour lequel le système entre en équilibre (Sortie de marqueur=Entrée).
- Paramètres de sortie permettant la détermination du volume du rumen et l'estimation du flux digestif duodénal.

a). Paramètres initiaux.

La partie décroissante des concentrations en marqueur dans le contenu du duodénum est ajustée selon une loi exponentielle.

Pour la phase k_1 : dilution du marqueur:

$$M_{k1} = A_1 \cdot e^{-k_1 \cdot t}, \quad t \leq t_1 \quad (1)$$

où: A_1 = concentration initiale du marqueur.

k_1 = taux-constant de sortie du marqueur.

t_1 = durée de la phase postprandiale k_1 .

Quantité résiduelle initiale de marqueur présente dans le rumen à la fin de la phase postprandiale k_1 (Q_{ri1}):

$$Q_{ri1} = D_1 \cdot e^{-k_1 \cdot t_1} \quad (2)$$

où: D_1 = dose initiale de marqueur administrée.

Quantité initiale de marqueur ayant quitté le rumen à la fin de la phase k_1 (Q_{si1}):

$$Q_{si1} = D_1 \cdot (1 - e^{-k_1 \cdot t_1}) \quad (3)$$

Pour la phase k_2 , dilution du marqueur:

$$M_{k2} = A_2 \cdot e^{-k_2 \cdot t}, \quad t \leq t_2 \quad (4)$$

où: A_2 = concentration initiale du marqueur.

k_2 = taux-constant de sortie du marqueur.

t_2 = durée de la phase postprandiale k_2 .

Quantité résiduelle initiale de marqueur présente dans le rumen à la fin de la phase k_2 (Q_{ri2}):

$$Q_{ri2} = (D_2 + Q_{ri1}) \cdot e^{-k_2 \cdot t_2} \quad (5)$$

où: D_2 = dose de marqueur apportée au début de la phase k_2 .

Quantité initiale de marqueur ayant quitté le rumen à la fin de la phase k_2 (Q_{si2}):

$$Q_{si2} = (D_2 + Q_{ri1}) \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot t_2}) \quad (6)$$

Quantités additionnelles de marqueur sortant du rumen pendant le deuxième cycle (Qsadd):

Pour la phase k_1 , on détermine $Qsadd_{k1}$ par:

$$Qr_{2k1} = (D_1 + Qri_{k2}) \cdot e^{-k_1 \cdot t_1} \quad (7)$$

$$Qs_{2k1} = (D_1 + Qri_{k2}) \cdot (1 - e^{-k_1 \cdot t_1}) \quad (8)$$

$$Qsadd_{k1} = Qs_{2k1} - Qsi_{k1} \quad (9)$$

Pour la phase k_2 , on détermine $Qsadd_{k2}$ par:

$$Qs_{2k2} = (D_2 + Qr_{2k1}) \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot t_2}) \quad (10)$$

$$Qsadd_{k2} = Qs_{2k2} - Qsi_{k2} \quad (11)$$

b). Courbes de saturation du compartiment en marqueur.

Le système comprend 2 phases:

- Une phase instable tant que le bilan journalier Sortie-Entrée du marqueur est négatif. La durée de cette phase est variable et dépend de plusieurs paramètres, dont le volume du rumen, les doses de marqueur apportées et les taux-constants de sortie. A un moment donné durant cette phase, l'accumulation du marqueur dans le rumen, de cycle en cycle, est toujours croissante.

- Une phase d'équilibre, atteinte lorsque le bilan journalier Sortie-Entrée du marqueur devient nul. La quantité résiduelle de marqueur présente dans le rumen à un moment donné, de cycle en cycle, est invariable. le système entre en saturation.

Ces phases sont formalisées par des courbes de saturation du compartiment en marqueur qui représentent, à un moment donné, l'évolution de la quantité résiduelle de marqueur (Mr) présente dans le compartiment. Ces courbes sont de type monomoléculaire (elles admettent une asymptote et une origine différente de 0) de forme générale:

$$Mr = (a - b) \cdot e^{-km \cdot t} \quad (12)$$

où: a = valeur asymptotique (quantité résiduelle maximale de marqueur).

$b = (a - y_0)$ où y_0 = quantité résiduelle initiale de marqueur.

km = taux de croissance.

t = temps.

Il existe théoriquement un faisceau de courbes de saturation, mais les plus caractéristiques sont celles correspondant à la fin de chaque phase postprandiale. Formulée par phase, l'équation devient:

A la fin de la phase k_1 :

$$Mr_{k1} = Qre_{k1} - (Qre_{k1} - Qri_{k1}) \cdot e^{-km \cdot t}, \quad t \geq t_1 \quad (13)$$

où Qre_{k1} = quantité résiduelle maximale de marqueur présente dans le compartiment à la fin de la phase k_1 , après équilibre Sortie-Entrée.

A la fin de la phase k_2 :

$$Mr_{k2} = Qre_{k2} - (Qre_{k2} - Qri_{k2}) \cdot e^{-km.t}, \quad t \geq (t_1 + t_2) \quad (14)$$

où Qre_{k2} = quantité résiduelle maximale de marqueur présente dans le compartiment à la fin de la phase k_2 , après équilibre Sortie-Entrée.

Le taux de croissance (Km) est une moyenne obtenue en pondérant les taux de dilution respectifs par un coefficient de durée des phases:

$$Km = \alpha \cdot k_1 + (1 - \alpha) \cdot k_2, \quad \alpha = t_1 / (t_1 + t_2) \quad (15)$$

Les quantités résiduelles maximales de marqueur (Qre_{k1} , Qre_{k2}) présentes dans le rumen à la fin de chaque phase, après équilibre, sont déterminées par l'analyse des lois d'évolution du système:

1). Pour chaque phase, le rapport de la quantité de marqueur quittant le rumen à la quantité résiduelle est constant.

$$(Qsi_{k1} / Qri_{k1}) = (Qse_{k1} / Qre_{k1}) \quad (16)$$

$$\text{et } (Qsi_{k2} / Qri_{k2}) = (Qse_{k2} / Qre_{k2}) \quad (17)$$

2). A l'équilibre, les quantités totales de marqueur sortant du compartiment de cycle en cycle sont égales aux quantités administrées.

$$(Qse_{k1} + Qse_{k2}) = (D_1 + D_2) \quad (18)$$

La quantité totale de marqueur ($Qsaddt$) additionnée à la quantité initiale sortie du compartiment pendant le premier cycle est:

$$Qsaddt = (D_1 + D_2) - (Qsi_{k1} + Qsi_{k2}) = Qri_{k2} \quad (19)$$

3). $Qsaddt$ (ou Qri_{k2}) est répartie dans chaque phase en fonction d'un coefficient de distribution du marqueur (Cd). En revenant aux paramètres initiaux, on vérifie que:

$$Cd = Qsaddt / (Qsadd_{k1} + Qsadd_{k2}) \quad (20)$$

On détermine, pour la phase k_1 :

$$Qse_{k1} = Qsi_{k1} + (Qsadd_{k1} \times Cd) \quad (21)$$

$$\text{et d'après (16), } Qre_{k1} = (Qse_{k1} \times Qri_{k1}) / Qsi_{k1} \quad (22)$$

Pour la phase k_2 :

$$Qse_{k2} = Qsi_{k2} + (Qsadd_{k2} \times Cd) \quad (23)$$

$$\text{et d'après (17), } Qre_{k2} = (Qse_{k2} \times Qri_{k2}) / Qsi_{k2} \quad (24)$$

Les moments d'entrée en équilibre du système (T_e) correspondent, pour la fin de chaque phase, aux moments où la quantité résiduelle de marqueur additionnée de cycle en cycle (Q_{radd}) devient nulle. Cette quantité évolue en fonction du temps tel que:

$$Q_{radd} = A \cdot e^{-km \cdot t} \quad (25)$$

Théoriquement Q_{radd} tend vers 0 pour t infini, mais on peut retenir comme repère mathématique la valeur de t pour laquelle $\ln Q_{radd} = 0$. Le rumen est en équilibre virtuel car il ne reste que 1 unité de marqueur résiduel à gagner (dans notre cas 1 mg de PEG). Cette valeur est considérée négligeable au regard du volume du rumen et de la quantité de marqueur déjà présente.

Pour la phase k_1 , on détermine:

$$Q_{radd_{k1}} = (Q_{re_{k1}} - Q_{ri_{k1}}) \cdot e^{-km \cdot t}, \quad t \geq t_1 \quad (26)$$

$$\ln Q_{radd_{k1}} = \ln (Q_{re_{k1}} - Q_{ri_{k1}}) - km \cdot t \quad (27)$$

$$T_{e_{k1}} = t_1 + (\ln (Q_{re_{k1}} - Q_{ri_{k1}}) / km) \quad (28)$$

Pour la phase k_2 , on détermine:

$$Q_{radd_{k2}} = (Q_{re_{k2}} - Q_{ri_{k2}}) \cdot e^{-km \cdot t}, \quad t \geq (t_1 + t_2) \quad (29)$$

$$\ln Q_{radd_{k1}} = \ln (Q_{re_{k1}} - Q_{ri_{k1}}) - km \cdot t \quad (30)$$

$$T_{e_{k2}} = (t_1 + t_2) + (\ln (Q_{re_{k2}} - Q_{ri_{k2}}) / km) \quad (31)$$

c). Paramètres de sortie: volumes du rumen et flux duodénal.

Le volume du rumen (Vol_r) est déterminé en rapportant, pour chaque phase, la quantité totale de marqueur présente après administration à la concentration initiale du marqueur dans le contenu du duodénum. Le flux digestif arrivant au duodénum (Fld) est obtenu par la formule de WARNER et STACY décrite par GROVUM et WILLIAMS (1977), c'est le produit d'un taux-de-flux (flow-rate) par la durée des phases postprandiales.

Pour la phase k_1 ,

$$Vol_{r_{k1}} = (Q_{re_{k2}} + D_1) / A_1 \quad (32)$$

$$Fld_{k1} = \left(\frac{Vol_{r_{k1}} \times 0,693}{T_{1/2}(k_1)} \right) \times t_1 \quad (33)$$

où $T_{1/2}(k_1) = 0,693 / k_1$, demi-vie du marqueur pendant la phase k_1 .

Pour la phase k_2 ,

$$Vol_{r_{k2}} = (Q_{re_{k1}} + D_2) / A_2 \quad (34)$$

$$Fld_{k2} = \left(\frac{Vol_{r_{k2}} \times 0,693}{T_{1/2}(k_2)} \right) \times t_2 \quad (35)$$

où $T_{1/2}(k_2) = 0,693 / k_2$, demi-vie du marqueur pendant la phase k_2 .

233. Application.

2331. Origine des données et méthodes utilisées.

Les cinétiques de concentration du PEG dans le contenu duodénal des chèvres taries utilisées dans l'essai "réduction des apports alimentaires" sont ajustées au modèle exponentiel de dilution du marqueur. La valeur des paramètres initiaux ($A_1, k_1; A_2, k_2$) est déterminée après ajustement. Les données du modèle sont celles retenues par le dispositif expérimental:

$$\begin{aligned} D_1 &= D_2 = 15000 \text{ mg PEG} \\ t_1 &= 480 \text{ mn}, t_2 = 960 \text{ mn.} \end{aligned}$$

Aux fins de comparaison avec le modèle proposé, le flux digestif duodénal est également estimé selon la méthode du "Double Marquage-Estimation Simultanée" de FAICHNEY (1980a), avec 2 variantes: flux estimé en rapport aux quantités de marqueurs administrées (DM-ESa); flux estimé en rapport aux quantités de marqueurs récupérées dans les fèces (DM-ESf). Pour chaque variante, un coefficient de reconstitution du contenu total (R) est calculé. Les comparaisons sont effectuées à l'intérieur d'un dispositif factoriel en blocs d'analyse de la variance, les moyennes sont comparées par le test de NEWMAN-KEULS. Des équations de régression sont calculées pour étudier les déviations de pentes.

2332. Résultats.

a). Paramètres de sortie du modèle.

L'hypothèse de la variabilité du volume du rumen par phase postprandiale est bien restituée par le modèle (tabl. 19). On s'attend logiquement à ce que le volume du rumen soit plus important au début de la phase k_2 , à cause de la durée réduite de la phase k_1 . Cette situation est la plus fréquemment rencontrée, mais elle n'est pas systématique. Des volumes du rumen exagérés déterminés chez la chèvre 71 (20,7 à 43,5 litres) proviennent certainement d'un décalage entre le flux maximum de marqueur dans le duodénum et les moments des premiers prélèvements; ces derniers ont été trop espacés de sorte qu'ils n'ont pas coïncidé avec les pics de concentration du marqueur. Les flux duodénaux déterminés par le modèle montrent que ce dernier restitue aussi bien les variations entre individus que celles occasionnées par le niveau d'ingestion. En comparant les phases postprandiales, il passe dans le duodénum nettement plus de flux durant la phase k_2 (qui englobe la période nocturne) à cause de sa durée plus longue, mais aussi à cause de l'élévation du taux-de-flux (flow-rate, tabl. 19).

Les valeurs "Te" permettent de juger, à posteriori, de la durée du marquage. Ces valeurs varient, selon les chèvres, de 3,4 à 9,8 jours (tabl. 18) et illustrent la variabilité du fonctionnement du système ruminal. On retient de ces résultats qu'il faut effectuer au moins 10 jours de marquage avec le PEG avant de prélever le contenu digestif.

b). Représentation graphique des données et paramètres du modèle.

La figure N°8 représente les principales données et paramètres du modèle calculés chez la chèvre 78-R. Les équations A et B proviennent des courbes d'ajustement de la concentration de PEG dans le contenu du duodénum. Les équations C et D sont les courbes de saturation du rumen en marqueur à la fin des phases k_1 et k_2 respectivement. Le milieu ruminal atteint la saturation virtuelle en marqueur pour $Te_{k_2} = 5013$ mn, soit au cours du 4^{ème} cycle de marquage.

Tableau 18. Détermination, par le modèle, du volume du rumen et du flux digestif liquide dans le duodénum des chèvres nourries à volonté (L) et restreintes (R).

Paramètres	C H E V R E S					
	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
<u>Initiaux</u>						
A1 (mg/l)	761	2169	2224	1260	2559	2397
k1 (10^3)	-0,284	-1,545	-1,225	-0,708	-1,919	-0,459
Qsik1 (mg)	1913	7853	6668	4319	9030	2965
Qrik1 (mg)	13087	7147	8332	10681	5970	12035
Qaddk1 (mg)	1478	2065	1183	2911	2748	2172
A2 (mg/l)	1289	2484	2446	1723	2627	2996
k2 (10^3)	-0,922	-1,797	-1,347	-0,971	-1,588	-0,937
Qsik2 (mg)	16499	18203	16928	15571	16405	16043
Qrik2 (mg)	11588	3944	6404	10110	4565	10992
Qaddk2 (mg)	5939	1545	2584	4365	1421	5234
<u>Déterminés</u>						
km (10^3)	-0,710	-1,713	-1,306	-0,883	-1,699	-0,778
Cd	1,5624	1,0927	1,6999	1,3895	1,0949	1,4842
Qsek1 (mg)	4221	10110	8679	8365	12039	6189
Qsek2 (mg)	25778	19890	21321	21635	17961	23811
Qrek1 (mg)	28884	9200	10845	20683	7959	25125
Qrek2 (mg)	18106	4310	8066	14048	4998	16314
Tek1 (mn)	14916	6321	8180	11976	6338	13599
Tek2 (mn)	14629	6273	8150	11880	6401	13402
<u>de sortie</u>						
Volrk1 (litres)	43,50	8,90	10,37	23,05	7,82	13,06
Volrk2 (litres)	34,05	9,74	10,57	20,71	8,74	13,39
Fldk1 (litres)	4,12	4,58	4,23	5,44	5,00	2,00
Fldk2 (litres)	20,93	11,67	9,49	13,41	9,25	8,36
Flux total (litres/j)	25,05	16,25	13,72	18,85	14,25	10,36

c). Comparaison avec la méthode du "Double Marquage-Estimation Simultanée".

Les flux duodénaux calculés par le modèle sont strictement liés à ceux obtenus par la méthode du "DM-ESa" (équation 1), mais significativement ($P < 0,05$) inférieurs (tabl. 19), montrant que cette dernière (basée sur l'hypothèse de récupération totale des marqueurs et le rétablissement de leur rapport d'administration dans le site du prélèvement) tend à surestimer le passage (+1,42 l./j, $\sigma = 0,59$).

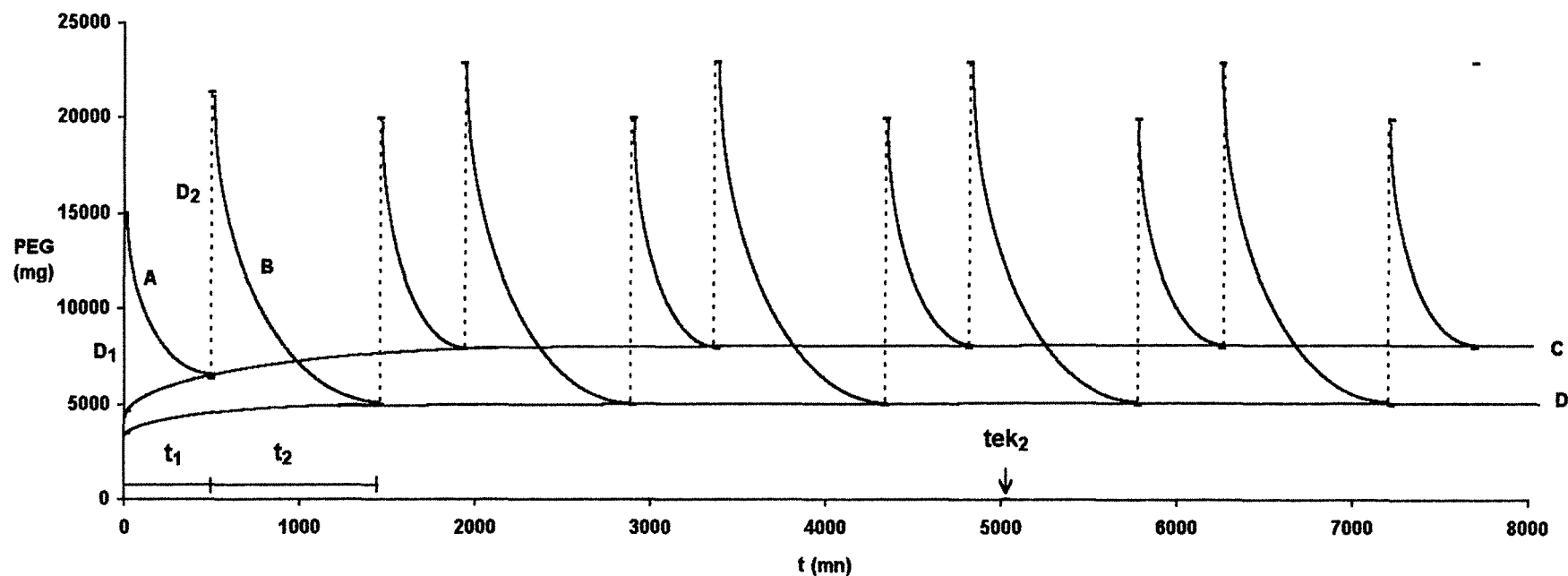


Figure 8. Représentation graphique des données et paramètres du modèle proposé selon les résultats de la chèvre N° 78-R.

Equation A: $Mri_{k1} = 15000 \cdot e^{-0,001919.480 \cdot t}$

Equation B: $Mri_{k2} = 20970 \cdot e^{-0,001588.960 \cdot t}$

Equation C: $Mre_{k1} = 7959 - (1989 \cdot e^{-0,001699 \cdot t})$, $t > tek_1$

Equation D: $Mre_{k2} = 4998 - (433 \cdot e^{-0,001699 \cdot t})$, $t > tek_2$

$$\text{Flux modèle} = 0,996 \text{ Flux "DM-ESa"} - 1,32, \quad r=0,997, n=6 \quad (1)$$

$$\text{Flux modèle} = 1,226 \text{ Flux "DM-ESf"} - 1,93, \quad r=0,991, n=6 \quad (2)$$

En comparant avec la variante "DM-ESf", les flux restent très fortement corrélés, mais la pente de la régression a significativement dévié de l'unité (équation 2), indiquant que l'effet des 2 méthodes sur l'estimation du flux duodénal n'est pas équivalent. Le rétablissement du rapport d'excrétion fécale des marqueurs a très nettement diminué du niveau estimé du passage duodénal (-2,77 l/j, $\sigma=1,65$, $P<0,01$), les écarts sont d'autant plus importants que le flux est élevé.

les valeurs du coefficient de reconstitution du contenu total (R) indiquent les quantités de filtrat à ajouter (ou à retrancher) pour rétablir le rapport des marqueurs dans le site du prélèvement. Ces valeurs sont élevées, indiquant une variabilité du rapport des marqueurs ajoutée à celle, journalière, de leur concentration dans le contenu prélevé (tabl. 19). Les variantes "DM-ESa" et "DM-ESf" fournissent des valeurs de flux qui seraient les bornes d'un intervalle à l'intérieur duquel se trouverait le niveau de flux réel. L'utilisation du taux-de-flux fournit des valeurs toujours comprises à l'intérieur de cet intervalle, indiquant que ce paramètre est certainement meilleur estimateur que le coefficient de reconstitution de FAICHNEY.

Tableau 19. Teneurs moyennes des marqueurs dans le contenu du duodénum (12 prélèvements) et flux estimés par différentes méthodes de calcul.

Paramètres	C H E V R E S					
	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
Teneurs des marqueurs						
Cr ₂ O ₃ (g/litre)	0,065	0,092	0,103	0,093	0,127	0,169
CV (%)	42	13	14	30	15	17
PEG (g/litre)	0,807	1,211	1,373	1,039	1,322	1,943
CV (%)	22	40	31	25	36	22
<u>Méthode DM-ESa</u>						
R	0,2178	0,1779	0,1378	0,3582	0,5885	0,4519
Flux duodénum (l/jour)	37,04	24,72	21,81	28,84	22,44	15,45
<u>Méthode DM-ESf</u>						
R	-0,0580	-0,0265	-0,0542	0,1229	0,4137	0,4615
Flux duodénum	30,53	20,25	18,43	23,69	19,48	12,79
<u>Modèle proposé</u>						
Taux de flux k1 (ml/mn)	12,35	13,75	12,70	16,32	15,01	5,99
Taux de flux k2 (ml/mn)	31,39	17,50	14,24	20,11	13,88	12,55
Flux duodénum (l/jour)	36,07	23,40	19,77	27,14	20,52	14,92

234. Discussion.

La méthodologie développée pour l'étude cinétique de la digestion (BALCH 1950, GROVUM et WILLIAMS 1973, 1977, FAICHNEY et GRIFFITHS 1978, ELLIS et al. 1979, POND et al. 1988) est complètement indépendante de celle développée pour l'estimation du flux digestif (BALCH 1957, FAICHNEY 1975, 1980a, 1980b, ARMENTANO et RUSSELL 1985). Alors que la première catégorie de méthodes étudie des courbes de concentration en marqueur, les méthodes de flux utilisent des teneurs journalières moyennes dans le contenu. Toutefois, chacune de ces 2 catégories présente des limites:

- La cinétique des marqueurs est souvent critiquée parce qu'elle est sensible au site de prélèvement (CRUICKSHANK et al. 1989, LALLES et PONCET 1990), à la dose de marqueur utilisée (LIRETTE et MILLIGAN 1989), à la technique de marquage (dose unique ou arrêt d'une infusion continue) ainsi qu'au modèle mathématique de représentation retenu (POND et al. 1988, NAJAR et al. 1990, GOMEZ et al. 1992)

- Les méthodes de flux sont discutées à cause d'une récupération fécale des marqueurs incomplète, d'une trop grande variabilité journalière de la composition du flux digestif et celle de la concentration des marqueurs (WELLER et al. 1971). Elles nécessitent la stabilisation des phénomènes digestifs (steady state), difficile à obtenir même avec une alimentation et une infusion des marqueurs continues (HUME et al. 1970).

Le modèle proposé est destiné à déterminer, par une adaptation mathématique proche de la dynamique des flux, les courbes de saturation du rumen en marqueur. Cet aspect constitue le principal obstacle à l'utilisation des modèles cinétiques pour la mesure du flux car, dans le cas du marquage régulier, la détermination du volume du rumen dépendra cumulativement de la dose ajoutée et de la quantité résiduelle de marqueur présente. En résolvant les lois de saturation, il devient possible d'allier les techniques spécifiques du marquage du flux (administration régulière, prolongée et non interrompue des marqueurs) aux modèles de représentation cinétiques qui ont l'avantage d'intégrer les principaux paramètres liés à la physiologie de la digestion. Le modèle est "biphasé", c'est à dire apte à restituer la variabilité des nycthémères chez l'animal recevant 2 repas par jour, situation la plus fréquemment rencontrée tant en élevage qu'en expérimentation.

Hormis sa construction mathématique, l'originalité du modèle et son intérêt résident dans la simplicité et la souplesse des conditions de sa réalisation, ainsi que dans le nombre et la qualité des informations qu'il fournit:

- Il admet des doses de marqueurs apportées (D_1 , D_2) égales ou différentes.
- Il admet des durées de phases postprandiales (t_1 , t_2) égales ou différentes, quoiqu'il soit conseillé de travailler par phases de 12-12 heures ou 10-14 heures pour ne pas introduire de biais dans les courbes de dilution du marqueur.
- Il admet des taux-constants de sortie du rumen (k_1 , k_2) égaux ou différents.
- travaillant sur des cinétiques de dilution, la récupération quantitative des marqueurs (dans les fèces et dans le site du prélèvement) n'est plus nécessaire à l'estimation du flux. L'hypothèse du "steady state" est abandonnée de fait à cause de la structure "biphasé" du modèle.

Appliqué aux courbes de dilution de PEG dans le duodénum des chèvres, le modèle restitue la variabilité du volume du rumen et celle du flux duodéal entre les nycthémères. Le passage duodéal plus important pendant la phase k_2 serait dû à sa durée, mais également à l'accélération du transit nocturne observée chez les ruminants par DOVE et al. (1988), et indiquée dans nos résultats par des taux-de-flux plus élevés. On retient de la comparaison des flux avec ceux de la méthode "DM-ESa" que cette dernière tend probablement à surestimer le passage duodéal dans la mesure où elle ne tient pas compte des paramètres caractérisant le fonctionnement du rumen. Au contraire, la correction par le recouvrement fécal des marqueurs (méthode "DM-ESf") a nettement diminué le niveau du passage. Le modèle étant indépendant de ces variantes, les résultats tendent à montrer que la correction par le recouvrement fécal, très largement adoptée, procède plus de l'approximation que du raisonnement démontré, d'autant que les sites digestifs d'altération (et de perte) des marqueurs ne sont ni définis, ni constants. Les résultats de la chèvre 71 montrent que les paramètres de sortie du modèle procurent suffisamment d'informations pour juger des biais expérimentaux qui peuvent être introduits dans les courbes de dilution: les volumes du rumen exagérés indiquent une inadaptation du nombre et des fréquences de prélèvement, de sorte que les concentrations maximales du marqueur ne figurent certainement pas sur les courbes. Il faudrait donc multiplier les prélèvements pendant les 3 ou 4 heures suivant les repas.

24. ESTIMATION DU FLUX D'AZOTE BACTERIEN DANS LE DUODENUM PAR ARN ET DAP.

Le flux d'azote d'origine microbienne dans le duodénum du ruminant est obtenu fréquemment par référence aux marqueurs internes acides ribonucléique (ARN) et diaminopimélique (DAP). On considère qu'après digestion dans le rumen, le flux duodéal d'ARN est spécifique aux microorganismes tandis que DAP est néoformé par les bactéries du rumen. La composition des bactéries du rumen en N, ARN et DAP est étudiée. Le flux et la digestion intestinaux de ces marqueurs sont mesurés et une méthode d'estimation du flux duodéal de N. bactérien par l'utilisation simultanée des 2 marqueurs est proposée.

241. Composition des bactéries du rumen et facteurs de variation.

2411. Résultats.

a). Influence du supplément aminé et de la période de lactation.

Par gramme de matière sèche de bactéries du rumen, les variations de ARN et de DAP (CV= 0,20 et 0,18) sont plus importantes que celle de N (CV= 0,11) (Tabl. 20). Le supplément en méthionine et lysine protégées n'influence pas la composition des bactéries en N, ARN et DAP, comme il n'a pas d'effets sur les estimateurs bactériens (N/ARN, N/DAP) et sur le rapport ARN/DAP. La teneur en DAP mesurée à la fin de la 2^{ème} période de lactation est plus élevée que celle mesurée à la fin des autres périodes; de même la période de lactation influence les écarts du rapport N/DAP, mais l'évolution des moyennes est irrégulière et ne définit pas de tendance à la hausse ou à la baisse.

b). Corrélations entre constituants bactériens.

Dans la matière sèche des bactéries du rumen, la variation de N. est indépendante ($P=0,05$) de celle de ARN et de DAP (tabl. 21). De même, ARN et DAP ne sont pas liés. Si on convertit les teneurs en N. et en DAP. par gramme d'ARN. bactérien, une relation s'exprime telle que:

Tableau 20. Composition des bactéries isolées du jus de rumen des chèvres en lactation. Influence du supplément aminé et de la période de lactation.

Chèvre N°	Régime	Période de lactation	N. mg/gMS	ARN. mg/gMS	DAP. mg/gMS	N/ARN	N/DAP	ARN/DAP
78	3-0 ML	1	50,68	57,78	1,45	0,88	35,00	39,90
78	3-5 ML	2	58,38	70,23	2,18	0,83	26,75	32,19
78	3-13 ML	4	51,80	47,69	1,61	1,09	32,25	29,69
78	3-22 ML	3	62,02	52,80	1,64	1,17	37,70	32,10
27	3-0 ML	2	70,70	62,22	2,24	1,14	31,60	27,81
27	3-5 ML	1	62,02	73,18	1,75	0,85	35,48	41,87
27	3-13 ML	3	65,52	52,88	1,72	1,24	38,18	30,82
27	3-22 ML	4	62,72	69,38	1,57	0,90	39,85	44,08
71	3-0 ML	3	63,14	45,73	1,46	1,38	43,13	31,24
71	3-5 ML	4	57,12	71,41	1,55	0,80	36,85	46,07
71	3-13 ML	1	68,04	93,60	1,84	0,73	36,92	50,79
71	3-22 ML	2	74,76	78,28	1,73	0,95	43,11	45,14
982	3-0 ML	3	61,88	68,85	2,07	0,90	29,86	33,23
982	3-5 ML	4	58,80	77,97	1,17	0,75	50,17	66,53
Moyenne			61,97	65,86	1,71	0,97	36,92	39,39
E. type			6,61	13,44	0,30	0,20	6,03	10,68
Effets testés (1)								
Supplément aminé	3-0 ML		61,51	55,24	1,72	1,13	36,58	32,98
	3-5 ML		59,17	71,61	1,83	0,83	33,03	40,04
	3-13 ML		61,79	64,72	1,72	1,02	35,78	37,10
	3-22 ML		66,50	66,82	1,65	1,01	40,22	40,44
	σ résid		6,01	14,67	0,32	0,22	3,27	7,73
	F		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Période de lactation		1	62,49	69,75	1,64	0,89	37,87	42,30
		2	65,71	75,35	2,09	0,90	31,76	36,93
		3	63,56	50,47	1,61	1,26	39,67	31,38
		4	57,21	62,83	1,58	0,93	36,32	39,95
		σ résid.	5,55	10,65	0,14	0,16	2,59	6,65
		F	NS	NS	*	NS	*	NS

(1): Chèvre N° 982 exclue.

NS: P>0,05 ; *P<0,05

a,b: groupes de moyennes différents au test de Newman-Keuls (P=0,05).

$$\text{DAP/ARN} = 0,0345 - 0,4366 \cdot e^{-4,4677 \cdot \text{N/ARN}} \quad (1)$$

$$R^2 = 0,66, \sigma \text{ résid} = 0,0040$$

Exprimées par gramme DAP, les teneurs en ARN. sont également liées à celles de N. tel que:

$$\text{ARN/DAP} = 12,2631 \cdot e^{0,0311 \cdot \text{N/DAP}} \quad (2)$$

$$R^2 = 0,49, \sigma \text{ résid} = 7,96$$

Les équations 1 et 2 traduisent des relations d'ordre métabolique. A quantité constante d'ARN, 66 p.100 de la variation de DAP est expliquée par celle de N. On peut retenir que l'équation 1 représente un processus de conversion de N en acides aminés pariétaux. L'équation 2 montre que 49 p.100 seulement de la variation de ARN est expliquée par celle de N. La production d'ARN dépend en effet plus de la fraction azotée constituant le substrat des synthèses protéiques que de la teneur en azote total.

Par contre, les rapports N/ARN et N/DAP, qui sont des estimateurs bactériens classiques, sont indépendants ($r=0,049$). Cela traduit bien la référence à des constituants cellulaires différemment localisés dans la cellule et obéissant à des processus métaboliques séparés.

Tableau 21. Coefficients de corrélation entre composants et estimateurs bactériens.

	N	ARN	DAP	N/ARN	N/DAP
N (mg/g MS)	1				
ARN (mg/g MS)	0,366	1			
DAP (mg/g MS)	0,399	0,143	1		
N/ARN	0,179	-0,832	0,014	1	
N/DAP	0,215	0,132	-0,786	0,049	1
ARN/DAP	0,006	0,709	-0,562	-0,700	0,669

c). Relation avec les paramètres d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière.

La variation des teneurs en N, ARN, DAP et des estimateurs bactériens est mise en relation avec 15 paramètres d'ingestion et de fermentation dans le rumen susceptibles de modifier le faciès bactérien et l'activité des synthèses. 8 paramètres d'excrétion urinaire et de production laitière sont retenus comme prédicteurs de la variation de la composition des bactéries (Tabl. 22).

La teneur en azote des bactéries est indépendante du niveau d'ingestion de matière sèche et des paramètres d'ingestion énergétiques (MO et UFL/MOD). Par contre, elle diminue significativement avec l'élévation de la proportion de foin dans la MS ingérée. L'augmentation du niveau d'ingestion azotée (N/MOD) provoque une baisse de la teneur en azote, mais cette dernière évolue différemment selon la nature de l'azote apporté: elle diminue avec l'élévation des fractions

Tableau 22. Coefficients de corrélation simple entre les paramètres de composition des bactéries, et ceux d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière.

Variables	N mg/gMS	ARN mg/gMS	DAP mg/gMS	N/ARN	N/DAP	ARN/DAP
<u>Ingestion</u>						
* MS g/j						
* Foin/MS g/100 g	-0,533					
* MO g/j						
* N/MOD g/kg	-0,614					
Ns/MOD g/kg	0,537					
Nns/MOD g/kg	-0,654					
* ANP/MOD g/kg	0,537					
* Np/MOD g/kg	-0,650					
* PDIN/MOD g/kg	-0,550					
* PDIE/MOD g/kg	-0,754					
* UFL/MOD ufl/kg						
* dPDI/UFL g/ufl	0,632					
<u>Fermentation rumen</u>						
* pH						
* N.NH ₃ mg/100 ml					0,800	0,608
* N recyclé/MOD g/kg	0,553					
<u>Excrétion urinaire</u>						
* N g/j	0,564					
* N uréique g/j						
* allantoïne g/j						
<u>Production laitière</u>						
* quantité ml/j						
* N g/j						
* N protéique g/j						
* ANP mg/l						
* TUL mg/l	0,785				0,616	

Les coefficients de corrélation inférieurs au seuil de signification ($r=0,532$; $P=0,05$; ddl=12) ne sont pas reportés.

*: variables explicatives testées simultanément dans les régressions multiples.

non soluble (Nns/MOD) et protéique (Np/MOD), tandis qu'elle évolue dans le même sens que la quantité d'azote soluble (Ns/MOD) et d'azote non protéique (ANP/MOD) ingérés. Parmi les paramètres fermentaires, seul le recyclage net d'azote (g/kg MOD), qui traduit un apport supplémentaire d'azote fermentescible au rumen, provoque une modification de la teneur en N. des bactéries. Parmi les paramètres retenus comme prédicteurs, l'excrétion urinaire d'azote et le taux d'urée du lait (TUL) augmentent avec l'élévation de la teneur en azote des bactéries.

Plus de 73 p.100 de la variation de l'azote dans la matière sèche des bactéries est expliquée par celle de PDIE/MOD et de TUL:

$$\begin{aligned} N. &= 0,0386 \text{ TUL} - 0,2403 \text{ PDIE/MOD} + 79,17 \\ R &= 0,856, \sigma \text{ résid} = 3,71 \end{aligned} \quad (3)$$

La relation entre la teneur des bactéries en azote et le TUL est indirecte car ce dernier est un très bon prédicteur du taux d'urée sanguin, facteur déterminant l'apport d'urée endogène au rumen. Il représenterait dans l'équation l'effet de l'urémie. Une relation plus forte de la teneur en azote des bactéries avec PDIE/MOD qu'avec PDIN/MOD s'explique certainement par l'apport au rumen d'azote fermentescible de source endogène qui compense la carence du fermentescible ingéré.

La teneur en ARN des bactéries du rumen, de même que la teneur en DAP, sont indépendantes des paramètres d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière. Ces constituants bactériens résultent de processus de synthèse et leur teneur doit certainement dépendre de paramètres qui rendent mieux compte du métabolisme cellulaire (ATP, acides aminés libres, etc...).

La teneur en azote rapportée au gramme d'ARN est indépendante de l'ensemble des paramètres testés; par contre, rapportée au gramme DAP, elle dépend fortement de la concentration en $N.NH_3$ dans le milieu de fermentation et, à un degré moindre, du TUL (prédicteur de l'urémie) mais la part de variance résiduelle expliquée par ce facteur dans la régression n'est pas significative à cause de sa corrélation avec $N.NH_3$ ($r = 0,650$).

$$\begin{aligned} N/DAP &= 0,6976 N.NH_3 + 23,97 \\ r &= 0,800, \sigma \text{ résid} = 0,239 \end{aligned} \quad (4)$$

Rapportée au gramme DAP, la teneur en ARN est liée à la concentration en $N.NH_3$ dans le milieu de fermentation:

$$\begin{aligned} ARN/DAP &= 0,9395 N.NH_3 + 21,95 \\ r &= 0,608, \sigma \text{ résid} = 8,83 \end{aligned} \quad (5)$$

2412. Discussion.

La variabilité des concentrations en acides ribonucléiques et en azote dans les bactéries isolées du contenu du rumen de moutons, de chèvres, de veaux et de taurillons, et celle de leur ratio ARN/N sont rapportées par LING et BUTTERY (1978), COCKBURN et WILLIAMS (1984), LAURENT (1985), McALLAN et al. (1986), LALLES (1988), PONCET et al. (1988). Les résultats de CRAWFORD et al. (1980) montrent une variabilité plus grande de l'ARN comparée à celle de N dans les isolats bactériens de l'effluent d'un fermenteur à flux continu. Ces variations sont attribuées à l'heure de prélèvement après repas, à la composition de la ration, à l'espèce animale (SMITH et McALLAN cités par CRAWFORD et al. 1980), aux problèmes de contamination par de l'ARN alimentaire et à la surestimation des concentrations d'ARN lors de leur dosage en présence d'acide désoxyribonucléique (ADN) (LING et BUTTERY 1978). Le traitement du jus de rumen avant extraction (lyophilisation, congélation) provoque une

modification des teneurs en ARN dans l'isolat bactérien (McALLAN et SMITH 1983). Chez les ovins, ARN/N bactérien varie de 0,25 (LAURENT 1985) à 1,10 (PONCET et al. 1988) pour des rations composées respectivement de raygrass anglais et de foin+concentrés (70:30).

La teneur en acide diaminopimelique et le rapport DAP/N chez les bactéries cultivées in vitro sont soumis à des variations d'ordre spécifique (certains types, comme *streptococcus bovis*, seraient dépourvus de DAP alors que des souches bactériennes mutantes en seraient surchargées) et dépendent de la concentration du milieu en hydrates de carbone (KASE et al. cités par LING et BUTTERY 1978, DUFVA et al. 1982). Selon McALLAN et SMITH (1983), la variation de DAP et de DAP/N des bactéries du rumen de taurillons n'est pas influencée par le niveau d'ingestion de MS et de N, la nature du concentré et la proportion de matières azotées totales de la ration. Par contre, Le supplément en azote soluble (urée) et la protection au formaldéhyde du supplément (caséine) modifie DAP/N chez les taurillons recevant des rations isoazotées (COCKBURN et WILLIAMS 1984) ou différents niveaux d'azote fermentescible (AMANING-KWARTENG et al. 1986, McALLAN et al. 1986). La relation faible des teneurs en DAP avec les paramètres d'ingestion serait due à un taux de renouvellement (turnover) des acides aminés pariétaux faible comparé à celui des acides aminés totaux des bactéries du rumen, mesurés par enrichissement au ^{15}N (SALTER et al. 1979). Les valeurs de DAP/N (g/100g N) obtenues par LING et BUTTERY (1978), CHAMBERLAIN et THOMAS (1979), JOUANY et THIVEND (1983), AMANING-KWARTENG et al. (1986), USHIDA et al. (1986) chez les ovins sont comprises entre 3,09 et 5,00. Des valeurs comprises entre 2,84 et 8,15 sont obtenues chez les taurillons par McALLAN et SMITH (1983), COCKBURN et WILLIAMS (1984), McALLAN et al. (1986) et RAHNEMA et THEURER (1986).

Les résultats obtenus confirment la variation des teneurs d'azote, d'ARN et de ARN/N bactériens chez les chèvres. Les valeurs du rapport se situent à l'intérieur de l'intervalle de variation défini par les données bibliographiques obtenues chez les petits ruminants. Elles montrent, pour des rations carencées en azote fermentescible, que la teneur d'azote des bactéries dépend du niveau d'ingestion azotée, mais surtout de la quantité d'azote facilement dégradable apportée (N. soluble et N. non protéique). La relation de la teneur d'azote des bactéries avec PDIE/MOD et avec TUL (prédicteur de l'urémie: $r=0,92$, $n=144$, BRUN-BELLUT et al. 1986) traduit certainement des effets de compensation de la carence alimentaire en azote fermentescible grâce à l'apport au rumen d'azote d'origine endogène. Les teneurs des bactéries en ARN et en DAP sont par contre indépendantes de la teneur d'azote des bactéries et de l'ensemble des paramètres d'ingestion, de fermentation et des indicateurs du métabolisme azoté. A la différence de l'azote bactérien (incorporé à partir du milieu de fermentation), ARN et DAP sont des produits de synthèse cellulaire; la variation de leur concentration devrait certainement dépendre des paramètres du métabolisme intra-cellulaire plus que des paramètres mesurant l'ingestion et la fermentation.

Si en termes de concentration dans les bactéries l'azote, l'ARN et le DAP sont indépendants, des relations d'ordre métabolique sont cependant observées entre ces constituants: rapportés à ARN, la variation de DAP dépend de celle de N. Cette relation, d'ordre exponentiel, représenterait (si on admet que la variation de DAP est indicatrice de celle des autres acides aminés pariétaux) un processus de conversion de l'azote en protéines pariétales. Rapportés au gramme DAP, ARN et N. sont liés, mais moins fortement que la liaison de DAP avec N. car la synthèse de ARN dépendrait surtout de la fraction azotée non encore structurée en protéines bactériennes.

Aucune relation significative avec les paramètres mesurés d'ingestion, de fermentation et du métabolisme azoté n'est observée concernant le rapport N/ARN. Par contre, la concentration de l'azote rapportée au gramme DAP (N/DAP) est très fortement liée ($P=0,01$) à la concentration en $N.NH_3$ du rumen. Cette relation est en accord avec les résultats de COCKBURN et WILLIAMS (1984), AMANENG-KWARTING et al. (1986) et MacALLAN et al. (1986) qui montrent un lien du rapport avec la solubilité et la fermentescibilité de l'azote alimentaire.

242. Flux et digestion intestinale de ARN et de DAP.

Le flux et la digestibilité des acides ribonucléiques et de l'acide diaminopimelique sont mesurés dans 14 contenus intestinaux (duodénum, iléon, fèces) de chèvres en lactation et dans 6 contenus intestinaux de chèvres tarées.

2421. Résultats.

a). Flux et digestion de ARN.

Les quantités d'ARN entrant dans le duodénum sont très fortement digérées dans les intestins des chèvres qu'elles soient tarées (85 p.100) ou en lactation (90 p.100) (Tabl. 23). Chez les chèvres tarées, la quasi totalité de l'ARN digéré disparaît dans l'intestin grêle, le gros intestin est pratiquement inactif; lorsque les chèvres sont en lactation, la digestibilité de l'ARN dans l'intestin grêle diminue sensiblement (-13 pts), certainement à cause de l'accélération du transit intestinal, mais sa disparition dans le gros intestin augmente (+ 16 pts).

Tableau 23. Flux et digestion intestinale des acides ribonucléiques chez les chèvres (en lactation, tarées).

		Chèvres en lactation (essai 2, n=14)	Chèvres tarées (essai 1, n=6)
Flux			
duodénum	g/j	33,7	42,5
	σ	9,5	15,9
iléon	g/j	8,3	5,9
	σ	3,3	1,8
fèces	g/j	3,3	5,9
	σ	0,6	1,5
Digestion			
Intestin grêle	% de ARN duod.	72	85
	σ	16	6
Gros intestin	% de ARN duod.	17	0
	σ	15	5
totale	% de ARN duod.	90	85
	σ	3	4

b). Flux et digestion de DAP.

L'acide diaminopimelique est au total mieux digéré dans les intestins des chèvres taries (77 p.100 du flux duodénal) comparé à sa digestion chez les animaux en lactation (40 p.100 du flux duodénal) (Tabl. 24). Cette baisse de digestibilité témoigne d'une moins bonne utilisation digestive des constituants pariétaux bactériens dans l'intestin des chèvres en lactation. Les modifications de la digestibilité de DAP interviennent surtout dans l'intestin grêle (seulement 10 p.100 des quantités duodénales de DAP disparaissent dans l'intestin grêle des chèvres en lactation contre 55 p.100 dans celui des chèvres taries).

Tableau 24. Flux et digestion intestinale de l'acide diaminopimelique chez les chèvres (en lactation, taries).

		Chèvres en lactation (essai 2, n=14)	Chèvres taries (essai 1, n=6)
Flux			
duodénum	mg/j	657	607
	σ	146	192
iléon	mg/j	573	263
	σ	130	52
fèces	mg/j	395	138
	σ	187	31
Digestion			
Intestin grêle	% de DAP duod.	10	55
	σ	24	8
Gros intestin	% de DAP duod.	30	22
	σ	27	7
totale	% de DAP duod.	40	77
	σ	26	3

c). Digestibilité comparée de ARN et de DAP.

Chez les chèvres en lactation, l'utilisation digestive de l'ARN et de DAP est très différente: il disparaît au total dans les intestins 90 p.100 du flux duodénal d'ARN contre seulement 40 p.100 de celui de DAP (Fig. 9). En termes de digestibilité compartimentale, l'ARN disparaît essentiellement dans l'intestin grêle (72 p.100 du flux duodénal) alors que le DAP n'y est que peu digéré (10 p.100 du flux duodénal). Ces différences montrent que le DAP, constituant pariétal bactérien, est très peu accessible à la dégradation enzymatique dans la caillette et dans l'intestin grêle des chèvres en lactation. Lorsque les chèvres sont taries, la digestion intestinale totale de DAP est très sensiblement améliorée, mais reste inférieure à celle de l'ARN (77 p.100 du flux duodénal de DAP contre 85 p.100 de celui de l'ARN). L'essentiel de ces modifications intervient dans l'intestin grêle où il disparaît 55 p.100 du flux duodénal. La meilleure digestibilité de DAP dans l'intestin grêle des chèvres taries pourrait être attribuée aux modifications physiologiques accompagnant le tarissement, principalement au ralentissement du transit intestinal des particules.

2422. Discussion.

Le flux et la disparition intestinale des acides ribonucléiques sont fréquemment mesurés, par contre ceux de l'acide diaminopimelique (estimateur bactérien très utilisé) sont paradoxalement peu étudiés. Des digestibilités intestinales apparentes totales de l'ARN comprises entre 73 et 86 p.100 chez les chèvres et les moutons sont rapportées par STORM et al. (1983) et LAURENT (1985). Les travaux de ELLIS et BLEICHNER, CONDON et HATFIELD, SMITH et McALLAN, COELHO DA SILVA et al., ROTH et KIRCHGESSNER cités par LAURENT (1985) rapportent des digestibilités comprises entre 80 et 90 p.100 chez le mouton, la génisse et le jeune boeuf en croissance. Nos résultats confirment une forte digestibilité de l'ARN dans les intestins des chèvres, qu'elles soient tarées ou en lactation. Toutefois, des modifications quant au

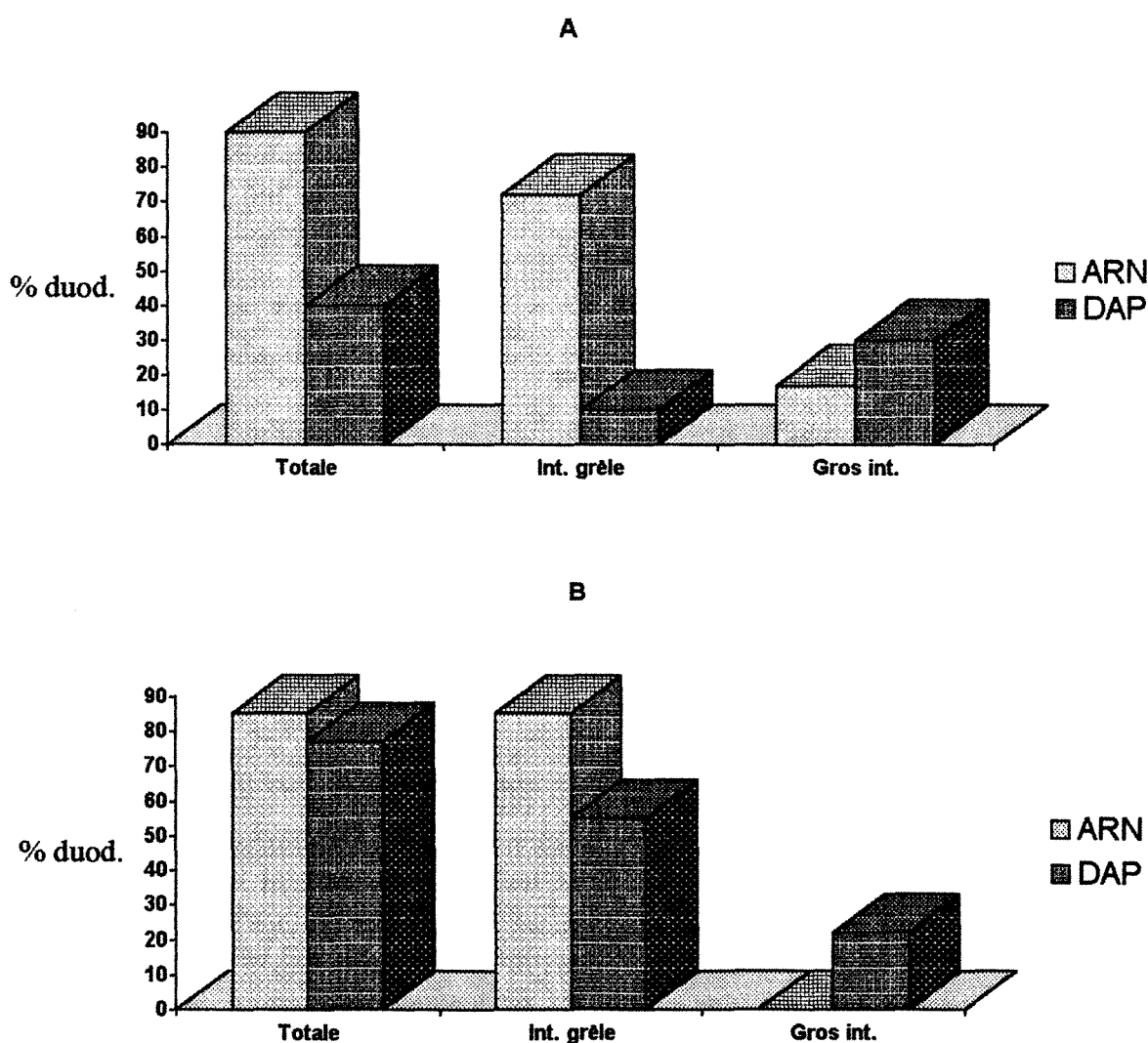


Figure 9. Digestibilité (en p.100 des quantités arrivant au duodénum, % duod.) de ARN et de DAP dans l'intestin des chèvres en lactation (A) et des chèvres tarées (B).

site de la digestion sont observées: chez les chèvres taries, la quasi totalité de la digestion s'effectue dans l'intestin grêle; chez les chèvres en lactation, la digestion dans l'intestin grêle diminue au profit d'une plus grande disparition dans le gros intestin.

Les données disponibles sur la digestion de DAP montrent que ce constituant est peu utilisé par le ruminant, et dans des proportions variables. STORM et al. (1983) mesurent une digestion apparente de DAP dans l'intestin des ovins de 0,39, alors que GUILLOTEAU (1986) montre que

DAP n'est pratiquement pas digéré dans l'intestin grêle du jeune veau (-0,07) mais sa disparition dans le gros intestin atteint 0,86. Nos résultats montrent que DAP est peu digéré dans les intestins des chèvres en lactation, chez ces animaux une digestibilité totale de 0,40 confirme le chiffre avancé par STORM et al (1983) toutefois une variabilité importante autour de cette moyenne est observée (± 26 pts). Le taux de disparition totale de DAP chez les chèvres taries est sensiblement amélioré, la totalité du gain de digestibilité observé s'effectue dans l'intestin grêle, indiquant une meilleure dégradation des constituants pariétaux bactériens.

Les différences de digestibilité de l'ARN et de DAP, ainsi que la variabilité observée dans la digestion totale et compartimentale de ces constituants rend très difficile et imprécise leur utilisation comme estimateurs du flux bactérien au-delà du duodénum. Après la digestion dans l'intestin grêle, l'ARN a tendance à sous-estimer le flux bactérien tandis que le DAP a tendance à le surestimer.

243. Estimation du flux duodéal d'azote bactérien par utilisation simultanée de ARN et de DAP.

Le recours simultané à 2 marqueurs internes bactériens permet d'introduire, en plus des indicateurs habituels N/ARN et N/DAP bactériens, la notion du rapport des marqueurs comme 2^{ème} indicateur du flux duodéal d'azote bactérien. On considère:

1. Que le rapport N/ARN (ou N/DAP) déterminés dans la matière sèche des bactéries du rumen est identique au rapport N. bactérien/ARN (ou N. bactérien/DAP) du contenu (ou du flux) duodéal. Ces estimateurs sont en général utilisés indépendamment et susceptibles tous deux de provoquer une surestimation du flux duodéal d'azote bactérien.

2. La surestimation du flux duodéal d'azote bactérien par l'un ou l'autre des marqueurs peut être quantifiée et corrigée si on considère que le rapport ARN/DAP des bactéries présentes dans le contenu duodéal (ou le flux) ne doit pas être différent du rapport ARN/DAP déterminé dans les bactéries isolées du rumen. 3 cas de figure sont possibles:

a/. $\text{ARN/DAP}_{\text{duodénum}} = \text{ARN/DAP}_{\text{isolat}}$, signifie que le flux duodéal de ARN et de DAP sont spécifiquement d'origine bactérienne. On peut utiliser indifféremment l'un ou l'autre marqueur comme indicateur du flux d'azote bactérien par l'utilisation des formules de calcul classiques.

b/. $\text{ARN/DAP}_{\text{duodénum}} > \text{ARN/DAP}_{\text{isolat}}$, signifie qu'une fraction du flux duodéal d'ARN n'est pas d'origine bactérienne. L'estimation du flux d'azote bactérien devra être obtenue par DAP, la formulation mathématique qui permet de tenir compte du principe d'identité du rapport des marqueurs est la suivante:

$$\text{Flux N. bact} = \frac{(\text{DAPd} \times \frac{\text{Ni}}{\text{DAp}_i}) + (\text{ARNd} \times \frac{\text{Ni}}{\text{ARN}_i})}{1 + (\frac{\text{ARNd} / \text{DAPd}}{\text{ARN}_i / \text{DAp}_i})} \quad (1)$$

Où Flux N. bact = Flux d'azote d'origine bactérienne (g/j).

Ni = teneur de l'isolat bactérien du rumen en azote total (mg/g MS).

DAp_i = teneur de l'isolat bactérien du rumen en DAP (mg/g MS).

ARN_i = teneur de l'isolat bactérien du rumen en ARN (mg/g MS).

DAPd = flux duodéal de DAP (g/j).

ARNd = flux duodéal d'ARN (g/j).

c/. ARN/DAP duodénum < ARN/DAP isolat, signifie q'une fraction du flux duodéal de DAP n'est pas d'origine bactérienne. L'estimation du flux d'azote bactérien devra être obtenue par ARN, la formule de calcul est la suivante:

$$\text{Flux N. bact} = \frac{(\text{DAPd} \times \frac{\text{Ni}}{\text{DAp}_i}) + (\text{ARNd} \times \frac{\text{Ni}}{\text{ARN}_i})}{1 + (1 / \frac{\text{ARNd} / \text{DAPd}}{\text{ARN}_i / \text{DAp}_i})} \quad (2)$$

La méthode proposée qui consiste à tenir compte du principe d'identité du rapport des marqueurs dans les bactéries du rumen et dans celles du duodénum pour calculer le flux duodéal d'azote bactérien nous semble plus pertinente qu'une simple pondération des problèmes de surestimation par le calcul d'un flux moyen. Elle nécessite cependant une collection totale des bactéries du rumen (libres et fixées aux particules) pour constituer l'isolat.

244. Flux duodéal des constituants bactériens et relations avec les paramètres d'ingestion et du métabolisme.

2441. Résultats.

a). Flux duodéal des constituants bactériens.

La méthode proposée permet de caractériser le flux duodéal d'ARN, de DAP et de N en fractions bactérienne et non bactérienne (Tabl. 25). Le rapport ARN/DAP mesuré dans le contenu du duodénum est très souvent supérieur à celui mesuré dans les bactéries isolées du jus de rumen, mais beaucoup moins variable (CV=18 p.100 contre 27 p.100 de variation pour ARN/DAP isolat). La présence de DAP non bactérien n'est observée que dans un seul des 14 contenus du duodénum traités. La variation du flux duodéal de l'ARN (CV=34 p.100), de DAP (CV=26 p.100) et de l'azote (CV=30 p.100) bactériens est plus faible que celle des fractions correspondantes non bactériennes (CV respectifs = 94, 311 et 40 p.100).

b). Relations avec les paramètres d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière.

Les composants du flux duodénal bactérien (ARN, DAP, N) sont liés et évoluent dans le même sens (Tabl 26). Les variations du flux duodénal de ARN et de N non bactériens sont non seulement indépendantes du flux de ARN, DAP et N bactériens, mais également indépendantes entre elles ($r=0,242$).

Tableau 25. Estimation du flux duodénal des acides ribonucléiques, de l'acide diaminopimelique et de l'azote bactériens chez les chèvres en lactation.

Chèvre N°	ARN/DAP isolat	ARN/DAP duodénum (1)	Flux ARN bactérien g/j	Flux ARN non bact. g/j	Flux DAP bactérien g/j	Flux DAP non bact. g/j	Flux N bactérien g/j	Flux N non bact. g/j
78	39,90	42,64	26,0	1,8	0,651	0,0	22,8	6,1
78	32,19	53,43	18,7	12,4	0,582	0,0	15,6	15,5
78	29,70	50,40	15,1	10,5	0,507	0,0	16,4	11,9
78	32,10	61,44	12,9	11,8	0,402	0,0	15,2	12,5
27	27,81	60,36	23,4	27,4	0,840	0,0	26,6	20,6
27	41,87	52,75	37,2	9,7	0,890	0,0	31,6	22,5
27	30,82	64,15	17,3	18,8	0,562	0,0	21,5	23,3
27	44,08	43,13	35,4	0,0	0,804	0,017	32,0	13,0
71	31,24	53,30	22,3	15,7	0,713	0,0	30,8	14,5
71	46,07	62,59	29,3	10,5	0,636	0,0	23,4	19,1
71	50,79	52,22	33,0	0,9	0,650	0,0	24,0	32,6
71	45,14	49,43	37,7	3,6	0,836	0,0	36,0	11,2
982	66,53	41,39	24,3	0,0	0,365	0,222	18,3	13,4
982	33,23	31,46	16,4	0,0	0,495	0,028	14,8	13,6
Moyenne	39,39	51,34	24,9	8,8	0,638	0,019	23,5	16,4
E. type	10,68	9,31	8,5	8,3	0,165	0,059	6,8	6,4

(1): Flux duodénal d'ARN (g/j) / flux duodénal de DAP (g/j).

Tableau 26. Corrélations entre fractions bactérienne et non bactérienne du flux duodénal des acides ribonucléiques, d'acide diaminopimelique et d'azote.

	Flux ARN bactérien g/j	Flux ARN non bactérien g/j	Flux DAP bactérien g/j	Flux N non bactérien g/j
Flux ARN bactérien	1			
Flux ARN non bactérien	-0,362	1		
Flux DAP bactérien	0,739	0,202	1	
Flux N bactérien	0,825	0,015	0,875	1
Flux N non bactérien	0,238	0,242	0,208	0,111

La variation du flux duodénal d'ARN, de DAP et de N bactériens et non bactériens est testée avec celle de 23 paramètres d'ingestion azotée et énergétique, de fermentation dans le rumen, d'excrétion urinaire et de production laitière (Tabl 27). Le rapport ARN/DAP mesuré dans le contenu du duodénum est indépendant de l'ensemble de ces paramètres. Les quantités d'ARN, de DAP et d'azote d'origine bactérienne passant dans le duodénum dépendent ($P=0,05$) de certains paramètres d'ingestion et de fermentation dans le rumen. Ces quantités augmentent avec le niveau

Tableau 27. Corrélations entre le flux duodénal d'ARN, de DAP et de N (bactériens, non bactériens), et les paramètres d'ingestion, de fermentation, d'excrétion urinaire et de production laitière.

Variables	ARN/DAP duodénum	Flux ARN bactérien	Flux ARN non bact.	Flux DAP bactérien	Flux N bactérien	Flux N non bact.
<u>Ingestion</u>						
MS g/j		0,791		0,684	0,726	0,656
Foin/MS g/100 g		-0,735		-0,636	-0,711	-0,598
MO g/j		0,784		0,678	0,724	0,656
N total g/j		0,792		0,664	0,690	0,639
N soluble g/j		0,727		0,657	0,755	0,645
N non soluble g/j						
N non ammoniacal g/j		0,795		0,660	0,685	0,637
N protéique g/j		0,537				
ANP g/j		0,718		0,651	0,755	0,640
PDIN g/j		0,734		0,632	0,627	0,696
PDIE g/j		0,631		0,550	0,530	0,745
UFL ufl/j		0,764		0,660	0,734	0,627
dPDI g/j						-0,600
<u>Fermentation rumen</u>						
N recyclé net g/j				0,661	0,676	0,664
pH						
N.NH ₃ mg/100 ml						
MOD g/j		0,788		0,681	0,736	0,674
<u>Excrétion urinaire</u>						
N g/j						
N uréique g/j						
allantoïne g/j		0,603		0,588	0,690	
<u>Production laitière</u>						
quantité ml/j		0,622		0,627	0,610	0,593
N g/j		0,579		0,577	0,553	0,550
N protéique g/j		0,565		0,556		0,533
ANP g/j		0,640		0,694	0,708	0,632
TUL mg/l		0,540			0,593	

Les coefficients de corrélation inférieurs au seuil de signification ($r=0,532$; $P=0,05$; $ddl=12$) ne sont pas reportés.

d'ingestion de MS et de MO, mais diminuent lorsque la proportion de foin dans l'ingéré augmente. Le niveau d'ingestion azotée provoque l'augmentation du flux duodéal d'ARN, de DAP et de N bactériens, mais cette relation est surtout déterminée par le niveau d'ingestion des fractions d'azote soluble et non protéique. Lorsque l'ingestion d'azote est exprimée en protéines vraies digestibles dans l'intestin grêle, les quantités d'ARN, de DAP et de N bactériens sont mieux liées à l'ingestion des PDIN qu'à celle des PDIE, mais elles sont indépendantes de l'indicateur de carence en azote fermentescible (dPDI). Parmi les paramètres fermentaires, la variation de la MO apparemment digérée dans le tube digestif (prédicteur de la MO alimentaire fermentée dans le rumen) provoque celle du flux duodéal d'ARN, de DAP et de N bactériens.

Ces quantités sont également liées aux indicateurs du métabolisme azoté chez les chèvres en lactation (allantoïne urinaire, quantités de lait et excrétion laitière d'azote total et de ses fractions protéique, non protéique et uréique).

Le flux duodéal d'azote d'origine bactérienne obtenu par la méthode proposée est très bien prédit par les paramètres d'ingestion (MO et PDIE) et les indicateurs du métabolisme azoté (N urée urinaire et allantoïne urinaire) dans le modèle:

$$\begin{aligned} \text{Nbact.} &= 6,471 \text{ Allant.} + 0,038 \text{ MO} - 1,057 \text{ N urée} - 0,370 \text{ PDIE} - 0,60 & (3) \\ \sigma &= 1,535 \qquad \qquad 0,006 \qquad \qquad 0,470 \qquad \qquad 0,079 \\ R &= 0,951, \sigma \text{ résid} = 2,63 \end{aligned}$$

Plus de 90 p.100 de la variation de Nbact.(g/j.) est expliquée par cette équation. Le terme constant non significativement différent de 0 montre qu'il n'y a pas d'autres indicateurs susceptibles d'expliquer la variation de Nbact. La matière organique apparemment digérée dans le tube digestif (MOD. g/j.: indicateur habituel des fournitures d'azote microbien au duodénum), introduite initialement comme variable explicative, est éliminée de la régression après introduction de MO ingérée et de N urée urinaire qui expliquent une part plus importante de la variance.

La variation du flux duodéal d'ARN d'origine bactérienne (ARNbact., g/j.) est déterminée à 91 p.100 par les paramètres d'ingestion azotée (Nna, PDIE en g/j), de MS (g/j) et par la MOD (g/j) dans l'équation:

$$\begin{aligned} \text{ARNbact.} &= 2,158 \text{ Nna} + 0,076 \text{ MS} - 0,610 \text{ PDIE} - 0,054 \text{ MOD} - 26,10 & (4) \\ \sigma &= 0,562 \qquad \qquad 0,022 \qquad \qquad 0,120 \qquad \qquad 0,022 \\ R &= 0,954, \sigma \text{ résid} = 3,05 \end{aligned}$$

Toutes ces variables entrent significativement dans la régression (P à l'introduction et à l'élimination inférieure à 0,05) malgré leur forte inter-corrélation (Tabl. 27). Le terme constant (différent de 0) de l'équation indique que ces variables ne définissent pas correctement toute la variation de ARNbact. La régression de ARNbact avec les indicateurs du métabolisme azoté montre que l'excrétion d'azote uréique du lait (Nurée lait, g/j) et d'allantoïne urinaire (g/j) sont plus à même de représenter la variation dans l'équation:

$$\begin{aligned} \text{ARNbact} &= 14,444 \text{ Nurée lait} + 6,018 \text{ Allantoïne} - 0,11 & (5) \\ \sigma &= 4,644 \qquad \qquad \qquad 2,474 \\ R &= 0,813, \sigma \text{ résid} = 5,357 \end{aligned}$$

Le modèle est moins précis que celui formulé avec les paramètres d'ingestion, mais un terme constant pratiquement égal à 0 montre que ces 2 paramètres restituent très bien la variation du flux duodénal d'ARN bactérien.

L'introduction du recyclage net d'azote dans le rumen (Recycl. g/j) améliore significativement la précision du modèle:

$$\begin{aligned} \text{ARNbact} &= 29,689 \text{ Nurée lait} + 8,056 \text{ Allantoïne} - 1,091 \text{ Recycl.} - 3,92 & (6) \\ \sigma &= 7,410 \quad 2,229 \quad 0,452 \\ R &= 0,887, \sigma \text{ résid} = 4,47 \end{aligned}$$

mais ce paramètre ne peut être mesuré que chez des animaux munis de canules duodénales.

Le flux duodénal de DAP d'origine bactérienne (DAPbact., g/j.) est corrélé individuellement avec beaucoup de paramètres, mais testées par régression multiple, aucune variable n'entre significativement dans l'explication de la variance résiduelle non prise en compte par l'excrétion d'azote non protéique du lait (Nnp lait, g/j):

$$\begin{aligned} \text{DAPbact} &= 293 \text{ Nnp lait} + 421 & (7) \\ r &= 0,694, \sigma \text{ résid} = 124 \end{aligned}$$

Le flux duodénal d'ARN non bactérien est indépendant ($P=0,05$) de l'ensemble des paramètres d'ingestion, de fermentation dans le rumen, d'excrétion urinaire et de production laitière testés (Tabl 27). Par contre, le flux d'azote non bactérien (N non bact. g/j.) est lié à ces paramètres. Il augmente avec le niveau d'ingestion de MS et de MO, mais il diminue lorsque la proportion de foin dans la MS ingérée s'élève. Comme pour le flux d'azote bactérien, il est corrélé positivement avec le niveau d'ingestion de l'azote total et de ses fractions soluble et non protéique; mais au contraire, il est mieux corrélé à PDIE qu'à PDIN et augmente lorsque dPDI diminue. Le flux duodénal d'azote non bactérien dépend également du recyclage net d'azote dans le rumen et de la MOD. Il est indépendant des paramètres d'excrétion urinaire, mais lié aux paramètres de production laitière, particulièrement à la fraction d'azote non protéique. Tous ces paramètres testés par régression multiple ne contribuent pas significativement à expliquer la part de variance résiduelle non prise en compte par PDIE:

$$\begin{aligned} \text{N non bact.} &= 0,1736 \text{ PDIE} - 8,76 & (8) \\ r &= 0,745, \sigma \text{ résid} = 4,62 \end{aligned}$$

Tableau 28. Coefficients de corrélation entre variables explicatives du flux duodénal d'azote d'origine bactérienne (FNbact., g/j).

	MO ingérée g/j	PDIE ingérés g/j	N urée urinaire g/j	Allantoïne urinaire g/j
MO ingérée	1			
PDIE ingérés	0,939	1		
N urée urinaire	0,248	0,128	1	
Allantoïne urinaire	0,509	0,475	0,498	1
FNbact.	0,724	0,530	0,280	0,690

Tableau 29. Coefficients de corrélation entre variables explicatives du flux duodénal d'ARN d'origine bactérienne (ARNbact., g/j).

	MS ingérée g/j	Nna ingéré g/j	PDIE ingérés g/j	MO digérée g/j
MS ingérée	1			
Nna ingéré	0,945	1		
PDIE ingérés	0,941	0,940	1	
MO digérée	0,987	0,928	0,899	1
ARNbact.	0,791	0,795	0,631	0,788

2442. Discussion.

Des problèmes de surestimation du flux duodénal d'azote bactérien obtenu par l'ARN par rapport à DAP, à ^{35}S , à ^{32}P , à ^{15}N et à la méthode du profil des acides aminés sont rapportés par SMITH et al. (1976), LING et BUTTERY (1978), SIDDONS et al. (1979), COCKBURN et WILLIAMS (1984), McALLAN et al. (1986) chez les taurillons et les moutons. Cette surestimation proviendrait de l'apport au duodénum d'ARN résiduel alimentaire et d'ARN des protozoaires. SMITH et al. (1978) montrent chez les taurillons dont le rumen est défauné, recevant une ration composée de foin+concentrés (50:50), que l'ARN résiduel alimentaire représente 15 p.100 du flux duodénal total d'ARN; depuis, beaucoup de travaux appliquent ce coefficient de correction. McALLAN et SMITH (1983) confirment ce résultat chez les taurillons défaunés, mais OLDHAM et al. (1979), MacALLAN et al. (1986) trouvent que la part d'ARN résiduel alimentaire varie avec la proportion de concentrés dans la ration chez les vaches laitières et avec la forme de présentation de l'aliment chez les taurillons dont le rumen est défauné. Ces derniers suggèrent qu'en général, les facteurs qui modifient la durée de séjour des particules alimentaires dans le rumen provoquent aussi une variation du flux d'ARN résiduel alimentaire entrant dans le duodénum.

La variation des teneurs en DAP dans les bactéries en fonction de l'espèce et de la richesse du substrat n'est pas un handicap à son utilisation comme estimateur de l'azote bactérien car le faciès microbien du rumen se stabilise lorsque le régime alimentaire et sa distribution sont uniformes (JARRIGE 1978, VAN SOEST et al. 1983). Par contre, une surestimation peut résulter de l'apport de DAP avec les aliments, d'autant plus élevée que le taux de dégradation de DAP alimentaire dans le rumen (pratiquement inconnu) est faible. Les travaux, assez rares, qui ont montré une surestimation de l'azote bactérien duodénal obtenu par DAP (GIESECKE et al. 1975, LALLES 1988, NIKOLIC et JOVANOVIC, WHITELAW et al. cités par LALLES 1988) attribuent leurs résultats à la non représentativité de l'échantillon bactérien prélevé du rumen. Chez les animaux dont le rumen est défauné, le flux journalier d'azote bactérien obtenu par DAP est semblable à celui obtenu par ^{35}S , considéré comme marqueur microbien de référence (McALLAN et al. 1986, USHIDA et al. 1986). DAP, ^{32}P (SMITH et al. 1976) et lysine (RAHNEMA et THEURER 1986) fournissent des flux d'azote bactérien dans le duodénum semblables chez les taurillons. Des proportions d'azote bactérien obtenues par DAP inférieures à celles de ^{35}S (LING et BUTTERY 1978) ou supérieures (SIDDONS et al. 1979) sont attribuées respectivement soit à la prise en compte de l'azote des protozoaires par ^{35}S , soit aux apports alimentaires de DAP et aux différences d'ordre méthodologique relatives à l'utilisation de ces estimateurs. On admet en général

que le DAP fournit une estimation par défaut du flux d'azote microbien dans le duodénum car il est spécifique aux bactéries; cependant l'apport de DAP avec les aliments peut provoquer une surestimation de la proportion d'azote bactérien dans le duodénum variant de 7 à 23 p.100 (RAHNEMA et THEURER 1986). Une fraction de DAP d'origine bactérienne, contenue dans les cellules des protozoaires, sort du rumen indépendamment du flux bactérien. ABE et KANDATSU (1969), COTTLE et al. (1978) montrent en effet que 40 à 77 p.100 de la masse bactérienne du rumen est ingérée par les protozoaires. L'importance de cette fraction dans le flux duodénal de DAP dépend de la capacité des protozoaires à stocker cet acide et de leur contribution au flux duodénal d'azote. Cette contribution est mal connue et souvent négligée (JARRIGE et al. 1978) ou incorrectement prise en compte par l'utilisation de l'ARN et des bases puriques comme estimateurs microbiens. Les essais de quantification dans le duodénum par l'acide 2-aminoethylphosphonique (AEP), bien que discutés, montrent que la proportion d'azote des protozoaires varie de 14 à 60 p.100 de l'azote duodénal chez la vache laitière, le jeune boeuf et le mouton (IBRAHIM et INGALLS 1972, LING et BUTTERY 1978, COCKBURN et WILLIAMS 1984).

L'utilisation simultanée des indicateurs N/ARN, N/DAP et ARN/DAP permet de corriger la surestimation du flux duodénal d'azote bactérien provoquée individuellement par l'un ou l'autre des marqueurs. L'application de cette méthode à nos données montre que dans la grande majorité des cas, c'est le flux duodénal d'ARN qui est corrigé, alors que le problème de surestimation par DAP n'est observé que dans un seul des 14 contenus du duodénum traités.

Estimée par la méthode proposée, la fraction bactérienne du flux duodénal d'azote répond très bien à la variation des paramètres d'ingestion énergétique (MO), azotée (PDIE), et à celle des paramètres d'excrétion urinaire (azote uréique et allantoïne). Dans nos conditions expérimentales (et sous réserve de confirmation), ces paramètres sont susceptibles de prédire avec une grande précision le flux duodénal d'azote bactérien. Le modèle proposé vient confirmer et compléter les hypothèses de LINDBERG (1985) et le modèle de LAURENT (1985) concernant l'utilisation de l'allantoïne urinaire prédicteur du flux duodénal d'azote microbien.

Le flux duodénal d'ARN bactérien est lié aux paramètres d'ingestion énergétique et azotée (MS, MOD, Nna et PDIE), mais sa prédiction par les indicateurs du métabolisme azoté (N. uréique du lait, allantoïne urinaire) et par le recyclage net d'azote dans le rumen (lorsqu'il est possible de mesurer ce paramètre) semblent mieux restituer sa variation, même si les modèles perdent en précision.

La variation du flux duodénal de DAP bactérien, bien qu'individuellement liée à beaucoup de paramètres d'ingestion, de fermentation dans le rumen et du métabolisme azoté, n'est pas prédite avec suffisamment de précision, certainement parceque d'une part, DAP duodénal est moins bien lié aux paramètres d'ingestion que ARN, et d'autre part, sa digestion intestinale chez les chèvres en lactation est faible et variable.

La fraction non bactérienne du flux duodénal d'ARN représente en moyenne 26 p.100 du flux total. Cette valeur est supérieure à celle obtenue par SMITH et al. 1978 (qui propose 15 p.100), et trop variable (CV = 94 p.100) pour qu'elle soit retenue comme facteur de correction. Sa variation, indépendante de tous les paramètres testés et particulièrement des paramètres d'ingestion susceptibles de déterminer le flux duodénal des particules alimentaires (proportion de foin dans la MS ingérée, azote non soluble ingéré), n'est certainement pas due aux apports d'ARN résiduel

alimentaire. Il reste que la contribution, variable et parfois importante, des protozoaires au flux duodénal d'ARN est susceptible d'expliquer cette variation. Une deuxième hypothèse, d'ordre méthodologique, est retenue: le rapport ADN/ARN du contenu duodénal serait plus élevé que celui de l'isolat bactérien, ADN alimentaire n'étant que partiellement dégradé dans le rumen (JARRIGE et al. 1978). L'interférence introduite par ADN dans la méthode de dosage de l'ARN à l'orcinol, précédée d'une extraction non spécifique des acides nucléiques (LING et BUTTERY 1978), serait proportionnelle aux différences de ce rapport.

Au-delà du duodénum, l'utilisation de ces composants comme estimateurs du flux d'azote bactérien s'avère aléatoire à cause des différences de leur digestion intestinale. Le recours à d'autres éléments (^{15}N , ^{35}S) marquant spécifiquement l'azote bactérien est donc nécessaire pour les mesures de digestion.

25. CONCLUSIONS.

L'analyse, au cours de 24h, des concentrations des marqueurs et des constituants du contenu digestif montre d'importantes variations. Elle indique pour PEG, une dilution très nette dans le rumen et pour Cr_2O_3 , une élévation de sa concentration dans la période nocturne. Le rapport de leurs concentrations dans le contenu duodénal (indicateur de l'équilibre Entrée-Sortie des marqueurs) est également variable. La concentration de PEG (marqueur soluble) est indépendante de celle de Cr_2O_3 et des autres constituants mesurés (MS et N total) tandis que Cr_2O_3 accompagne significativement ces constituants, mais de manière variable. La variabilité observée provient des effets de plusieurs facteurs:

a). Le mode d'apport des marqueurs: lorsque PEG est administré (et non infusé), il est découplé de l'abreuvement, mais aussi des échanges hydriques du rumen. Cr_2O_3 imprégné au papier est libéré progressivement, mais on ignore si sa vitesse de libération équivaut à la vitesse de dégradation des particules dans le rumen, d'où une variation possible du rapport Cr_2O_3 libre/particules dégradées pouvant s'échapper du rumen.

b). Le mode d'alimentation des animaux et la composition de la ration: les animaux recevant 1 ou 2 repas par jour ont un passage intestinal irrégulier (FAICHNEY 1980b), une durée de rumination et sa distribution au cours de 24h différentes des animaux nourris continuellement (WELCH et SMITH 1969). De même, des concentrations différentes en constituants pariétaux dans la ration provoquent des modifications de la durée de rumination (WELCH et SMITH 1971) et donc du fonctionnement du rumen.

Les modèles d'estimation du flux digestif à partir d'une teneur moyenne des marqueurs dans le contenu intestinal annulent l'effet de ces facteurs en régularisant le passage intestinal par une alimentation continue, et en stabilisant le rapport des concentrations des marqueurs par leur infusion dans le rumen. Si ces conditions ne sont pas respectées, le comportement cinétique des marqueurs et les variations nycthémérales de la digestion et du passage peuvent introduire des erreurs d'estimation même si les prélèvements sont multipliés. Le modèle proposé d'estimation du flux duodénal à partir de la cinétique du passage des marqueurs dans le duodénum est conçu en réponse aux incertitudes introduites par ces facteurs chez les animaux recevant les repas et les marqueurs de manière espacée. A défaut de pouvoir les quantifier (et les corriger) chez l'animal muni d'une canule intestinale simple, l'hypothèse est d'en tenir compte en adaptant les modèles de transit aux conditions d'estimation du flux digestif. Testé chez 3 chèvres nourries *ad libitum* et

restreintes par la suite à 75 p.100 de la MS ingérée *ad libitum*, le modèle proposé répond très bien aux particularités du fonctionnement du rumen et du passage duodéal entre chèvres et, pour une même chèvre, entre niveaux d'ingestion de MS.

L'estimation du flux digestif chez les animaux munis de canules intestinales simples s'est généralisée, mais autant le matériel expérimental est allégé, autant les manipulations sur l'animal (générateurs de stress) sont fréquentes pendant la période des prélèvements car on considère que leur multiplicité permet d'obtenir un regroupement du contenu digestif représentatif du passage journalier. Peu de travaux sont cependant effectués à l'appui de cette hypothèse. Nos résultats permettent de conclure, sous nos conditions expérimentales, qu'il est possible de diminuer le nombre des prélèvements journaliers de 12 à 6, voire à 4, ou bien d'effectuer des prélèvements bi-horaires pendant la période diurne seulement sans affecter significativement l'estimation du flux duodéal de contenu total, de MS et de N total. Cette conclusion doit cependant être pondérée, d'abords sous réserve de confirmation avec des effectifs d'animaux plus importants ou sous des conditions expérimentales différentes des nôtres; ensuite il faut souligner que même si les écarts ne sont pas significatifs en comparaison à la modalité de référence (12 prélèvements/24h), la diminution du nombre des prélèvements provoque une tendance à la surestimation du flux de contenu total, de MS et d'azote total alors que les flux obtenus à partir des prélèvements diurnes ont tendance à être sous-estimés.

Diverses méthodes d'estimation du flux digestif sont proposées. Les plus remarquables sont celles du "double marquage-estimation simultanée" basée sur le rétablissement, dans le site de prélèvement, du rapport d'administration (ou d'excrétion fécale) des marqueurs et celle du "2 marqueurs-estimation séparée" basée sur l'hypothèse d'accompagnement des phases liquide et solide par des marqueurs spécifiques. Une troisième méthode, simplifiée, est celle du "2 marqueurs-flux moyens" qui ne demande aucun traitement correctif du contenu intestinal. Ces méthodes, comparées à l'intérieur de chaque modalité de prélèvement montrent qu'en définitive, les corrections apportées par la reconstitution et le fractionnement du contenu ne provoquent pas de modifications sensibles du flux duodéal de contenu total, de MS et de N total, sauf si le flux est calculé à partir des prélèvements nocturnes.

La contribution des bactéries du rumen au flux duodéal d'azote total est obtenue très souvent par utilisation des indicateurs internes ARN et DAP, mais ces constituants sont tous deux susceptibles de surestimer les apports car l'hypothèse de leur spécificité bactérienne à la sortie du rumen n'est pas confirmée. La méthode proposée consiste à les utiliser simultanément pour déterminer, dans l'isolat bactérien du rumen et dans le contenu du duodénum, le ratio ARN/DAP. Ce ratio intervient pour corriger la surestimation relative provoquée par un marqueur par rapport à l'autre. L'hypothèse de spécificité bactérienne des marqueurs à la sortie du rumen est donc abandonnée au profit de l'hypothèse d'identité du ratio ARN/DAP mesuré dans l'isolat bactérien, à celui des bactéries passant dans le duodénum.

A cause d'une digestibilité intestinale de DAP très différente de celle de l'ARN, et surtout très variable, il devient aléatoire d'estimer le flux d'azote bactérien à la sortie de l'intestin grêle par le recours à ces marqueurs. Toutefois, l'étude de la digestion de ces marqueurs dans l'intestin grêle fournit des renseignements sur l'utilisation digestive des composés pariétaux bactériens, appréciée par le taux de disparition de DAP. Une modification de la digestion de DAP en fonction du stade physiologique (40 p.100 du flux duodéal de DAP chez les chèvres en lactation, 77 p.100 chez les

chèvres taries) témoigne d'une utilisation digestive très différente des composés pariétaux bactériens. Le site de la digestion de DAP (et donc des composés pariétaux) est le gros intestin chez la chèvre en lactation, alors que la chèvre tarie est capable d'absorber DAP à travers son intestin grêle.

Le flux duodénal journalier d'azote d'origine bactérienne est prédit par quelques paramètres caractéristiques de l'ingestion énergétique et azotée (MO ingérée, PDIE), et du métabolisme azoté (N uréique urinaire, allantoïne urinaire). La précision du modèle indique que ces paramètres tiennent compte aussi bien du remaniement de l'azote alimentaire que de celui des apports d'azote d'origine endogène au rumen.

CHAPITRE 3. FLUX, DIGESTION ET UTILISATION DE L'AZOTE.

31. INFLUENCE DE LA RESTRICTION ALIMENTAIRE.

311. Caractéristiques des rations, valeur alimentaire et consommation.

La ration distribuée (Tabl. 30) apporte 11,8 p.100 de Protéines Brutes. Cette formulation alimentaire procure une solubilité de l'azote relativement faible (25 et 22 p.100 du total) et reste déficitaire en azote fermentescible mesuré par dPDI/UFL (-20 g par kg MS en périodes 1 et 2). Ces niveaux de déficit sont très proches des seuils tolérables de carence définis par BRUN-BELLUT (1986) et VERITE et al. (1987) pour lesquels il y a compensation par un apport au rumen d'azote d'origine endogène (respectivement -18 et -14 g dPDI/UFL). L'azote ammoniacal (NNH₃) et l'azote non protéique (ANP) sont dosés dans les aliments, et calculés pour la ration, afin d'effectuer les bilans de la digestion de ces composés dans le rumen.

Tableau 30. Structure, composition chimique et valeur alimentaire des rations distribuées.

	Période 1	Période 2
<u>Structure (g/100 g MS)</u>		
Foin de prairie	33,5	33,4
Pulpes de betteraves deshydratées	32,7	32,8
Luzerne deshydratée	33,8	33,8
<u>Composition chimique</u>		
Matières organiques g/kg MS	913	911
Azote total g/kg MS	18,9	19,0
Solubilité de l'azote %	25	22
Azote ammoniacal g/kg MS	1,2	1,0
Azote non protéique	4,4	4,0
<u>Valeur alimentaire *</u>		
PDIN g/kg MS	75	75
PDIE g/kg MS	91	91
dPDI g/kg MS	-16	-16
UFL ufl/kg MS	0,80	0,80

*: Valeurs PDI calculées à partir de la composition chimique des aliments par les équations PDI (VERITE et al. 1987, VERITE et PEYRAUD 1988); valeurs UFL calculées à partir des valeurs-table des aliments (système PDI, INRA, 1988).

Le régime de restriction a permis de faire baisser les quantités consommées de 437 g/jour en moyenne (Tabl. 31). Les quantités consommées ont permis des indices de couverture des besoins d'entretien allant de 2,00 à 3,51 pour les PDI, et de 1,33 à 2,28 pour les UFL. Selon les chèvres, les refus enregistrés ont été soit des pulpes de betterave deshydratées, soit du foin de prairie, soit de la luzerne deshydratée.

Tableau 31. Quantités consommées, refusées et niveau de couverture des besoins d'entretien.

Chèvre N°	Régime	Quantités consommées			Quantités refusées		Indice de couverture des besoins (1)		Nature des refus
		MS g/j	PDI g/j	UFL	MS g/j	PDI g/j	PDI	UFL	
71	ad lib.	1967	151	1,53	185	10	3,51	2,22	bettr. desh. foin luzerne
78	ad lib.	1912	149	1,57	398	24	3,47	2,28	
122	ad lib.	1620	121	1,30	30	3	2,81	1,88	
71	restr.	1470	110	1,18	0	0	2,56	1,71	
78	restr.	1569	118	1,26	0	0	2,74	1,83	
122	restr.	1149	86	0,92	0	0	2,00	1,33	

(1): besoins déterminés pour les PDI et pour les UFL selon MORAND-FEHR et SAUVANT (1988).

312. Bilan de la digestion dans le rumen: fermentations, recyclage net d'azote et efficacité des synthèses.

3121. Résultats.

L'évolution du pH dans le jus prélevé du rumen (Fig. 10) n'est pas significativement influencée par la restriction alimentaire. Après le repas du matin, le pH demeure légèrement plus élevé dans le rumen des chèvres restreintes (+0,11 en moyenne). Au cours de la deuxième phase postprandiale (17h à 22h), les valeurs du pH sont quasiment identiques quel que soit le niveau d'ingestion, mais inférieures à celles enregistrées entre 8h et 16h ($m=5,82$, $\sigma=0,04$ et $m=6,31$, $\sigma=0,26$ respectivement) indiquant une plus grande acidité du milieu de fermentation. La concentration en azote ammoniacal varie de 29 à 8 mg/100 ml dans le rumen des chèvres quand elles sont nourries à volonté, et de 24 à 8 mg/100 ml quand elles sont restreintes. Ces amplitudes sont importantes; les plus fortes concentrations sont enregistrées après la prise des repas et elles décroissent régulièrement au cours du nycthémère. La limitation de l'ingestion ne provoque pas de baisse significative des concentrations en azote ammoniacal (inférieure à 3 mg/100 ml en moyenne).

Une plus grande quantité ($P<0,05$) de matière organique est fermentée dans le rumen des chèvres soumises à la restriction alimentaire (Tabl. 32). Le pH moyen du milieu ruminal n'est pas modifié, de même que la concentration moyenne en azote ammoniacal. Le recyclage journalier net d'azote dans le rumen est plus faible chez les chèvres restreintes (-1,9 g/j), mais cet écart n'est pas

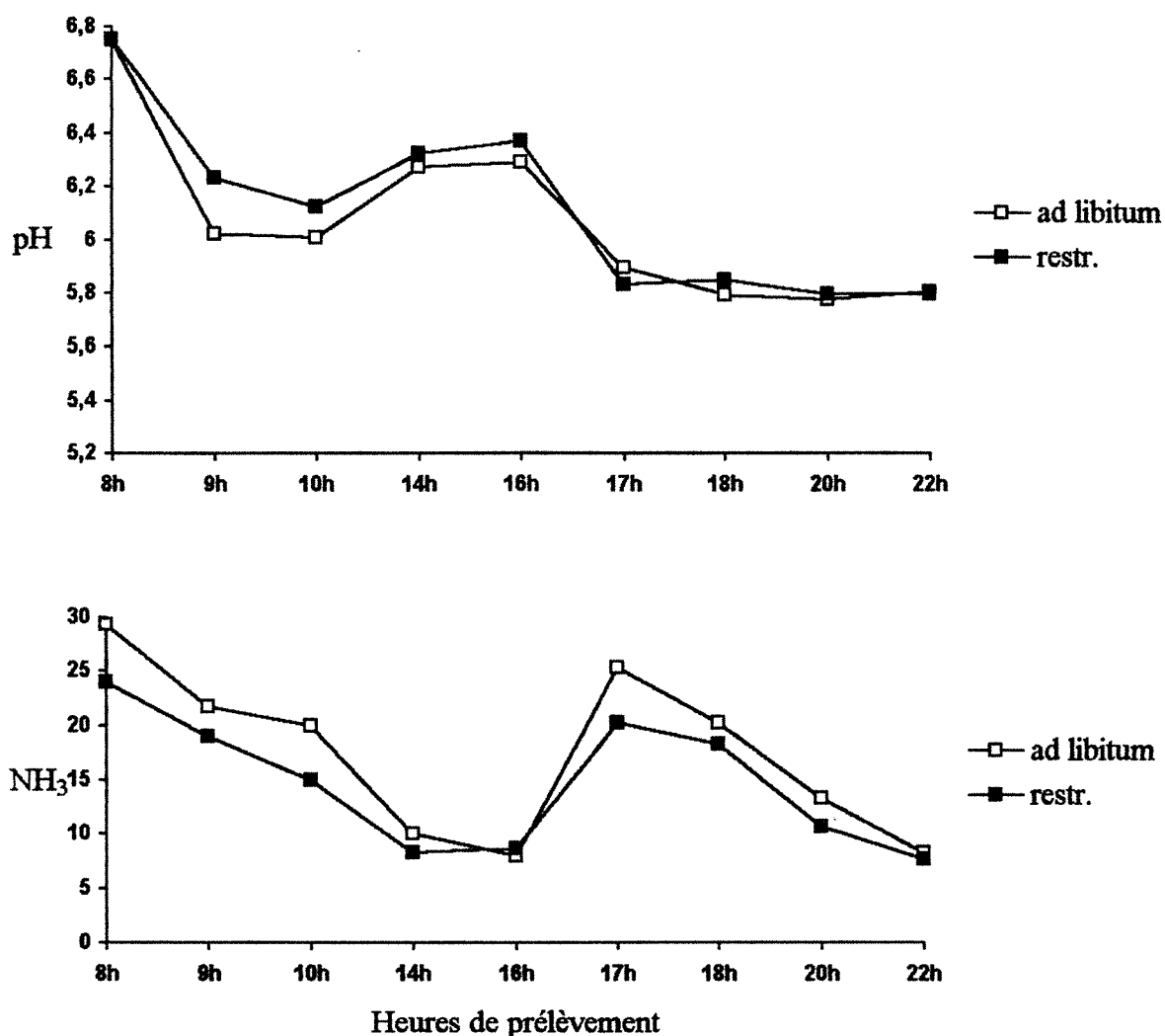


Figure 10. Evolution du pH et de la concentration en azote ammoniacal (mg/100 ml) dans le contenu du rumen des chèvres alimentées à volonté (ad libitum) et restreintes à 75% du consommé à volonté (restr.).

significatif. Aucun effet significatif de la restriction alimentaire n'est décelé sur le flux duodénal des composants bactériens (MO, Nbact., ARNbact., DAPbact.) malgré les écarts observés entre régimes. Ces écarts déterminent toutefois des tendances car, chez les chèvres restreintes, il passe dans le duodénum moins de matière organique et d'azote bactérien. La proportion d'azote bactérien dans le flux journalier d'azote total transitant par le duodénum est plus élevée (+10 pts) chez les chèvres nourries à volonté. La production d'azote bactérien rapportée au kg de matière organique digérée dans le rumen (MODR), au kg de matière organique fermentée dans le rumen (MOF) et au kg de matière organique digérée dans le tube digestif (MOD) a tendance à diminuer avec le niveau d'ingestion de la ration. Par kg MOD, le rumen des chèvres nourries à volonté produit 175 g de MAT d'origine bactérienne contre 145 g produits par le rumen des chèvres

restreintes. La MOD semble être un bon critère d'appréciation du rendement des synthèses bactériennes dans le rumen, car les valeurs fournies par ce paramètre ne sont pas très différentes de celles obtenues par l'utilisation de la Mof.

Tableau 32. Fermentation dans le rumen, flux duodénal des composés bactériens et efficacité des synthèses.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Fermentation rumen				
pH	5,98	6,04	0,12	NS
N.NH ₃ mg/100 ml	17	15	10	NS
MO fermentée (1) g/j	1083	840	51	*
Recyclage net d'azote g/j	8,7	6,8	2,0	NS
Flux duodénum				
MO des bactéries g/j	331	213	52	NS
N des bactéries g/j	31,9	20,6	5,0	NS
N bact./N total duod. (%)	72	61	11	NS
ARN des bactéries g/j	37,6	24,2	5,9	NS
DAP des bactéries g/j	0,677	0,437	0,104	NS
Rendement des synthèses				
N bact./MODR g/kg	42,3	32,4	7,4	NS
N bact./MOD g/kg	27,9	23,3	4,6	NS
N bact./MO fermentée g/kg	29,1	24,2	3,5	NS

(1): MO fermentée = MODR + flux duodénal de MO des bactéries.

^{NS}P>0,05 ; *P<0,05.

3122. Discussion.

Les travaux disponibles étudiant l'influence d'une variation du niveau d'ingestion d'une même ration sur les paramètres de la digestion (Tabl. 33) montrent, aussi bien chez les ovins que chez les bovins, une tendance à la baisse du pH du milieu ruminal et de la concentration en azote ammoniacal du jus de rumen lorsque les quantités ingérées journalièrement augmentent (ROOKE et al. 1985, MERCHEN et al. 1986, FIRKINS et al. 1986, MADSEN 1986). L'évolution de ces paramètres est certainement en relation avec les modifications anatomiques (augmentation du volume du rumen: PRIGGE et al. 1984, AMANING-KWARTENG et al. 1986, MERCHEN et al. 1986, MALBERT et BAUMONT 1989) et cinétiques (diminution des durées de séjour, accélération du taux de renouvellement des phases liquide et solide: EVANS 1981a, 1981b, COLUCCI et al. 1984, PRIGGE et al. 1984, UDEN 1984) occasionnées par l'élévation du niveau d'ingestion. La tendance à l'amélioration de l'efficacité des synthèses microbiennes dans le rumen indique que les conditions fermentaires sont meilleures lorsque les animaux ingèrent une plus

Tableau 33. Modifications fermentaires occasionnées par la variation du niveau d'ingestion d'une même ration chez les ovins et les bovins (valeurs calculées).

Caractéristiques ration		Ingestion additionnelle (1)		Paramètres de fermentation (1)		Gain des productions du rumen (1)			Gain d'efficacité g N/kg (U)		Auteurs
% PB	% conc.	MS g/j	Nt g/j	Gain pH	Gain N.NH ₃ mg/100 ml	N microb. g/j	N non microb	N recycl. g/j			
Ovins											
16,4	25,0	600	14,1	-0,07	-8,6	+15,2	+7,0	+8,4	+10,9	MOF	MERCHEN et al. 1986
16,6	75,0	600	15,9			+7,1	+11,3	+2,4	+2,1	MOF	
Bovins											
8,2	10,0	1550	21,0			+27,7	-0,3	-2,0	+6,0	MOF	McALLAN et SMITH
14,2	12,0	1590	34,8			+10,4	+5,1	-19,3		-2,4	
14,2	12,0	1590	38,5			+5,5	+17,5	-15,5	+0,2	MOF	
15,4	25,0	2500	59,7		-0,5	+39,5	+35,0	+14,8	+0,5	MOF	FIRKINS et al. 1986
15,3	60,0	2890	71,2	-0,21	-9,7	+52,3	+23,1	+4,2	+7,7	MODR	ROOKE et al. 1985
15,3	60,0	2890	70,3	-0,30	-12,0	+43,0	+37,2	+9,9	+5,0	MODR	
	80,0	750	21,8			+9,1	+15,2	+2,5	+1,1	MOF	ZINN et OWENS 1983
	80,0	1500	38,6			+22,3	+38,9	+22,6	+6,0	MOF	
	80,0	2250	55,6			+24,0	+59,7	+28,1	+3,5	MOF	
20,6	74,0	6400	223,0	-0,30		+98,0	+134,0	+9,0			MADSEN 1986
16,8	74,0	6900	191,0	0,0		+120,0	+100,0	+29,0			
19,3	74,0	6900	219,0	-0,20		+83,0	+91,0	-45,0			
16,4	74,0	6900	186,0	-0,30		+121,0	+63,0	-2,0			
14,3	0,0	6300	145,0	+0,10		+74,0	+59,0	-12,0			
17,1	0,0	6200	174,0	0,0		+70,0	+58,0	-45,0			
25,2	74,0	7000	283,0	0,0		+96,0	+108,0	-80,0			

(1): chaque valeur représente un effet net (valeur du lot considéré - valeur du lot témoin subissant la restriction).

grande quantité de la ration. Nos résultats sont en accord avec cet ensemble d'observations; ils montrent chez les caprins, qu'une élévation des quantités ingérées, même modérée, améliore les conditions fermentaires du rumen et provoque un meilleur rendement de la protéosynthèse bactérienne. Du point de vue quantitatif, le passage d'un régime de restriction à une offre alimentaire plus grande provoque systématiquement (chez les ovins et les bovins, Tabl. 33) un gain d'azote microbien et d'azote non microbien arrivant au duodénum. Par contre, le comportement variable du recyclage net d'azote dans le rumen lorsque le niveau d'ingestion augmente montre que la relation entre ces 2 paramètres dépend des conditions générales d'alimentation (composition de la ration, nature de l'azote apporté, niveau d'alimentation azotée) et de certains paramètres liés à l'animal (état physiologique, orientation des productions). Chez les chèvres taries utilisées dans notre essai, le passage du régime restreint à une alimentation *ad libitum* a provoqué un plus grand afflux au duodénum d'azote bactérien et d'azote d'origine endogène (même si les différences ne sont pas statistiquement significatives à cause des écarts d'ingestion modérés et du nombre limité d'animaux testés). Ces phénomènes sont en accord avec ceux observés chez les ovins et les bovins (Tabl. 33). Par contre, la quantité d'azote non bactérien arrivant au duodénum est restée remarquablement constante (12,7 g/j). La même observation est effectuée par McALLAN et SMITH (1983) chez les bovins en croissance soumis à une restriction modérée d'un régime carencé en protéines brutes (8,5 p.100) et composé essentiellement de fourrages (90 p.100); ils montrent que le gain d'azote arrivant au duodénum est composé uniquement d'azote microbien.

313. Flux de contenu total.

3131. Résultats.

Malgré un écart de 4,4 l/j, le flux de contenu digestif total dans le duodénum n'est pas différent entre lots de chèvres alimentées *ad-libitum* et restreintes (Tabl. 34). Exprimé au kg de MS et aux 100 g de PB ($N_t \times 6,25$) ingérés, les écarts de flux de contenu digestif total sont réduits respectivement à 0,76 et 0,86 litres, ce qui indique que les variations du flux duodénal total suivent celles des quantités ingérées de MS et de PB. Une plus grande quantité de contenu digestif total semble nécessaire aux chèvres restreintes pour permettre le transit duodénal de MS (+2,4 l/kg MS duodénale), mais cet écart n'est pas statistiquement significatif. Rapporté aux 100 g de PB passant dans le duodénum, le flux de contenu total n'a pas différé ($P < 0,05$) avec les régimes malgré un écart de +0,5 litres enregistré chez les chèvres restreintes.

Après la digestion dans l'intestin grêle, le flux de contenu digestif total des chèvres alimentées *ad libitum* est plus riche en PB ($P < 0,05$) que celui des chèvres restreintes, mais aucune différence entre régimes n'est observée lorsque le flux est calculé en l/jour ou exprimé au rapport des quantités de MS et de PB ingérées.

3132. Discussion.

Bien que sans signification statistique, la réponse du flux duodénal de contenu total à l'augmentation du niveau d'ingestion est de 13,6 l/kg MS additionnelle. Cette valeur se situe à l'intérieur des marges (9,45 à 26,5 l/kg additionnel de MO ingérée) fournies par les travaux de MERCHEN et al. (1986), KENNEDY et al. (1982) chez les moutons, FIRKINS et al. (1986)

Tableau 34. Flux de contenu total dans le duodénum et dans l'iléon.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Duodénum				
litres/jour	22,93	18,49	2,26	NS
litres/kg MS ingérée	12,36	13,12	0,96	NS
litres/100 g PB ingérées	10,19	11,05	0,98	NS
litres/kg MS duodénum	19,97	22,37	2,03	NS
litres/100 g PB duodénum	8,24	8,74	1,20	NS
Iléon				
litres/jour	6,25	6,02	0,96	NS
litres/kg MS ingérée	3,39	4,34	0,42	NS
litres/100 g PB ingérées	2,80	3,66	0,38	NS
litres/kg MS iléon	6,26	10,59	2,36	NS
litres/100 g PB iléon	6,48	8,19	0,49	*

^{NS}P>0,05 ; *P<0,05.

chez les bovins à l'engraissement et RODE et al. (1985) chez les vaches laitières. Selon GREGORY et al. (1985), le flux de contenu total duodéal (ml/h) répond linéairement à l'augmentation du niveau d'ingestion de MS lorsque la composition de la ration ne change pas, ce qui confirme les faibles écarts obtenus lorsque le flux est rapporté au kg de MS et aux 100 g de protéines brutes ingérées. McALLAN (1981) montre que la composition du contenu duodéal en matière sèche ne varie pas beaucoup (CV = 3,6 p.100) chez les bovins à l'engraissement, même lorsque les rations distribuées diffèrent par leurs ingrédients et par le taux de concentré, tandis que la teneur en azote total est plus sujette à variations (CV = 11,5 p.100) et dépend des quantités ingérées. Aucune donnée bibliographique n'est trouvée concernant l'influence du niveau d'ingestion sur le passage dans l'iléon et sur la composition de son contenu, toutefois nos données montrent que les quantités résiduelles arrivant à l'iléon sont moins bien corrélées aux paramètres d'ingestion que les quantités arrivant au duodénum (MS: $r=0,56$ contre $r=0,74$ dans le duodénum, PB: $r=0,51$ contre $r=0,70$ dans le duodénum). Leur composition, particulièrement en protéines brutes, est plus variable que celle du contenu duodéal.

314. Flux et digestion des composés secs et organiques.

3141. Résultats.

Le flux duodéal et iléal de matière sèche, ainsi que l'excrétion fécale diminuent significativement lorsque les chèvres sont restreintes (Tabl. 35). La digestibilité totale de la matière sèche et sa distribution dans les 3 compartiments digestifs n'est pas influencée par la restriction alimentaire; cependant, on note chez les chèvres restreintes une amélioration légère (+2 pts) du taux de disparition dans le rumen suivi d'une élévation de la disparition dans l'intestin grêle (+7pts), certainement à cause du ralentissement du transit occasionné par la diminution de l'ingestion.

Le flux duodénal, iléal et l'excrétion fécale de matière organique diminuent ($P < 0,05$) chez les chèvres restreintes (Tabl. 35), mais la digestibilité totale et sa distribution compartimentale ne sont pas influencées par la restriction alimentaire. Comme pour la matière sèche, une tendance à une meilleure digestion dans le rumen (+4 pts) et dans l'intestin grêle (+8 pts) est observée lorsque l'ingestion diminue.

Tableau 35. Flux et digestion de la matière sèche et de la matière organique.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Flux (g/jour)				
Ingéré				
Matière sèche	1842	1393	59	**
Matière organique	1692	1272	40	**
Duodénum				
Matière sèche	1143	817	48	*
Matière organique	941	645	45	*
Iléon				
Matière sèche	999	617	97	*
Matière organique	871	505	92	*
Excrétion fécale				
Matière sèche	658	471	38	*
Matière organique	558	397	35	*
Disparition (% de l'ingéré)				
Rumen				
Matière sèche	38	41	1	NS
Matière organique	45	49	2	NS
Intestin grêle				
Matière sèche	8	15	8	NS
Matière organique	4	12	9	NS
Gros intestin				
Matière sèche	19	10	6	NS
Matière organique	19	8	7	NS
Totale				
Matière sèche	65	66	1	NS
Matière organique	67	69	1	NS

NS $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

3142. Discussion.

L'élévation du flux intestinal de matière sèche et de matière organique, ainsi que leur excrétion fécale, en réponse à l'augmentation du niveau d'ingestion de la ration est confirmée par les travaux de MERCHEN et al. (1986) effectués sur moutons. FIRKINS et al. (1986), ROOKE et al. (1985) trouvent également le même type de réponse chez les bovins à l'engraissement. Par contre, l'influence d'une variation du niveau d'ingestion de la ration sur la digestibilité compartimentale et totale de ces composés est diversement appréciée. En général, une dépression significative de la digestibilité apparente totale de la matière sèche et de la matière organique est enregistrée dans des essais portant soit sur des restrictions alimentaires sévères, soit sur un grand nombre de mesures (DOREAU et al. 1988, AITCHISON et al. 1986, MERCHEN et al. 1986, McALLAN et SMITH 1983, ALWASH et THOMAS 1971). D'autres travaux (MARTIN-ROSSET et DULPHY 1987, MADSEN 1986, FIRKINS et al. 1986, ROOKE et al. 1985, ZINN et OWENS 1983, MUDGAL et al. 1982) ne détectent pas d'effets du niveau d'ingestion sur la digestibilité totale de la MS et de la MO. L'examen de l'ensemble de ces données montre toutefois qu'il existe une tendance à la baisse de la digestibilité des composés secs et organiques (parfois petite mais significative, parfois importante mais non significative) lorsque le niveau d'ingestion de

Tableau 36. Relation des paramètres de flux et de digestibilité de la matière organique (Y) avec les quantités ingérées (X) chez les ovins.

Y	a	X	b	r	CV résid. (%)	n	F régress
Flux							
MO duod. (g/j)	0,667	MOI (g/j)	-119	0,94	19	85	**
MO fèces (g/j)	0,484	MOI	-158	0,83	37	62	**
Digestibilité							
MODR (g/100 g MOI)	-0,014	MOI	60,7	-0,42	19	85	**
MODR	0,012	MOCI (g/j)	46,6	0,32	20	85	**
MODR	-0,013	MOFI (g/j)	57,2	-0,53	18	85	**
MODI (g/100 g MOI)	0,0007	MOI	22,3	0,04	24	58	NS
MODI	0,013	MOCI	19,0	0,65	18	58	**
MODI	-0,005	MOFI	25,6	-0,36	22	58	**
MODT (g/100 g MOI)	-0,016	MOI	85,2	-0,41	15	62	**
MODT	0,035	MOCI	61	0,77	11	62	**
MODT	-0,021	MOFI	83,1	-0,75	11	62	**

MOI: matière organique ingérée; MOCI: MO ingérée avec les aliments concentrés;

MOFI: MO ingérée avec les fourrages; MODR: MO apparemment digérée dans le rumen;

MODI: MO apparemment digérée dans les intestins; MODT: MO apparemment digérée dans le tube digestif.

^{NS}P>0,05 ; **P<0,01.

Sources (N° des publications utilisées): 7, 29, 31, 33, 34, 76, 85, 90, 91, 92, 94, 102, 105, 107, 122, 125, 134, 135, 136, 141, 147, 167, 186, 188, 190, 213, 226.

Tableau 37. Relation des paramètres de flux et de digestibilité de la matière organique (Y) avec les quantités ingérées (X) chez les bovins.

Y	a	X	b	r	CV résid. (%)	n	F régress
Bovins (engr. entret.)							
<u>Flux</u>							
MO duod. (g/j)	0,472	MOI (g/j)	259	0,79	20	118	**
MO fèces (g/j)	0,284	MOI	-107	0,67	30	40	**
<u>Digestibilité</u>							
MODR (g/100 g MOI)	0,0012	MOI	41,3	0,13	23	118	NS
MODR	-0,0008	MOCI (g/j)	47,6	-0,10	23	118	NS
MODR	0,0012	MOFI (g/j)	43,3	0,19	23	118	*
MODI (g/100 g MOI)	0,0011	MOI	23,1	0,14	32	40	NS
MODI	0,0043	MOCI	18,3	0,75	22	40	**
MODI	-0,0038	MOFI	36,8	-0,66	25	40	**
MODT (g/100 g MOI)	-0,0007	MOI	77,4	-0,11	10	40	NS
MODT	0,0023	MOCI	68,6	0,52	8	40	**
MODT	-0,0028	MOFI	80,3	0,61	8	40	**
Bovins (lait)							
<u>Flux</u>							
MO duod. (g/j)	0,743	MOI (g/j)	-1227	0,95	12	31	**
MO fèces (g/j)	0,390	MOI	-408	0,88	19	31	**
<u>Digestibilité</u>							
MODR (g/100 g MOI)	-0,0011	MOI	49,6	0,41	22	31	*
MODR	0,0005	MOCI (g/j)	35,4	0,17	24	31	NS
MODR	-0,0018	MOFI (g/j)	48,0	0,62	19	31	**
MODI (g/100 g MOI)	0,0006	MOI	20,8	0,31	23	31	NS
MODI	0,0006	MOCI	24,1	0,31	23	31	NS
MODI	0,0	MOFI	27,3	0,01	24	31	NS
MODT (g/100 g MOI)	-0,0005	MOI	70,5	0,25	10	31	NS
MODT	0,0011	MOCI	59,5	0,55	8	31	**
MODT	-0,0017	MOFI	75,2	0,86	5	31	**

NS $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

Source (N° des publications utilisées): 11, 18, 28, 37, 43, 47, 68, 108, 120, 124, 127, 129, 130, 157, 169, 177, 180, 181, 182, 198, 199, 200, 208, 217, 218, 244, 245.

la ration augmente. Cette évolution est certainement la conséquence de modifications tant à caractère cinétique (diminution de la durée de séjour dans les réservoirs, augmentation de la vitesse de transit dans l'intestin grêle) occasionnées par l'élévation du niveau d'ingestion, mis en évidence par GROVUM et WILLIAMS (1977), ALWASH et THOMAS (1971), MUDGAL et al. (1982), GREGORY et al. (1985), AITCHISON et al. (1986), qu'à caractère fermentaire intervenant dans le rumen (baisse de la concentration en acides gras volatils, diminution du pH et de la concentration en $N.NH_3$) constatés par FIRKINS et al. (1986), ROOKE et al. (1985), MERCHEN et al. (1986) et ALWASH et THOMAS (1971).

Les tendances occasionnées par la variation du niveau d'ingestion de la matière organique sur le flux et la digestibilité de ce composé sont étudiées dans un recueil des données bibliographiques obtenues à partir de 55 références (totalisant 91 bilans digestifs effectués sur ovins et 151 bilans effectués sur bovins). Le flux duodénal et l'excrétion fécale de la matière organique sont linéairement et fortement influencés par le niveau d'ingestion tant chez les ovins (Tabl. 36) que chez les bovins (Tabl. 37). Une différence entre espèces est observée quant aux relations de la digestibilité totale de la matière organique (MODT) avec le niveau de son ingestion: cette relation existe ($P < 0,01$) chez les ovins pour lesquels la MODT diminue de 15,8 points par kg de MO ingérée, alors que chez les bovins à l'engraissement et à l'entretien, et chez les vaches productrices de lait, la MODT est indépendante des quantités de MO ingérées. La variation de la MODT est surtout influencée par le taux de disparition apparent dans le rumen (MODR) puisque la disparition intestinale est indépendante des niveaux d'ingestion quelle que soit l'espèce considérée et la nature des productions. Même lorsque au total le taux de disparition n'est pas lié aux quantités ingérées, il semble que l'utilisation digestive de la MO diffère selon son origine alimentaire (MO provenant des concentrés, MO provenant des fourrages): aussi bien chez les ovins que chez les bovins, la MODT augmente ($P < 0,01$) lorsque la quantité de MO ingérée provenant des concentrés (MOCI) s'élève; elle diminue ($P < 0,01$) lorsque la quantité de MO ingérée provenant des fourrages (MOFI) augmente. Ces effets simultanés suffisent à déterminer (par compensation) chez les bovins des relations non significatives entre la MODT et la MO totale ingérée. Chez les ovins (Tabl. 36), l'augmentation des quantités de MO ingérée avec les concentrés provoque l'élévation du taux de disparition de la matière organique tant dans le rumen (MODR: 12,4 pts/kg MOCI) que dans les intestins (MODI: 13,3 pts/kg MOCI), alors que l'élévation des quantités de matière organique ingérées avec les fourrages agit en sens contraire (MODR: -13,3 pts/kg MOFI, MODI: -4,5 pts/kg MOFI). Chez les bovins à l'engraissement et à l'entretien (Tabl. 37), l'origine de la matière organique ingérée a une influence particulièrement sur son taux de disparition intestinal. Ce critère augmente avec la quantité de MO ingérée provenant du concentré (4,3 pts/kg MOCI), il est inversement lié à la quantité de MO ingérée provenant des fourrages (-3,8 pts/kg MOFI). La digestibilité compartimentale de la matière organique chez les vaches laitières n'est pas affectée par la quantité de matière organique ingérée provenant des aliments concentrés. La quantité de matière organique ingérée à partir des fourrages déprime la MODR (-1,8 pts/kg MOFI), mais la MODI en est indépendante.

Il apparaît que le flux digestif des composés organiques est indéniablement lié aux variations des quantités ingérées chez les espèces étudiées, quels que soient l'état physiologique et l'orientation des productions. Par contre, la relation entre la digestibilité (totale et compartimentale) de la matière organique et les quantités ingérées n'est pas systématique; elle dépend des différences spécifiques et dans tous les cas, elle gagne à être raisonnée en fonction de son origine alimentaire.

315. Flux et digestion des composés azotés.

3151. Résultats.

a). Azote total et azote non ammoniacal.

La diminution de l'ingestion d'azote total (-9,4 g/j) et d'azote non ammoniacal (-8,9 g/j) provoque une baisse ($P < 0,05$) des quantités journalières passant par le duodénum (Tabl. 38) ainsi que celle des quantités excrétées dans les fèces ($P < 0,01$), mais les différences de flux observées

Tableau 38. Flux et digestion de l'azote total et de l'azote non ammoniacal.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Flux (g/jour)				
Ingéré				
azote total	35,9	26,5	0,7	**
azote soluble	7,9	5,8	0,1	**
azote non ammoniacal	33,8	24,9	0,4	**
Duodénum				
azote total	44,6	33,3	2,2	*
azote non ammoniacal	43,3	32,4	2,2	*
Iléon				
azote total	15,5	11,9	1,4	NS
azote non ammoniacal	13,9	10,6	2,2	NS
Excrétion fécale				
azote total	13,1	9,4	0,4	**
azote non ammoniacal	12,9	9,2	0,5	**
Disparition				
Rumen (% de l'ingéré)				
azote total	-24	-26	7	NS
azote non ammoniacal	-27	-30	8	NS
Intestin grêle (% du flux duod.)				
azote total	65	64	4	NS
azote non ammoniacal	68	67	6	NS
Gros intestin (% du flux duod.)				
azote total	5	8	2	NS
azote non ammoniacal	3	5	4	NS
Totale (% du flux duod.)				
azote total	70	72	3	NS
azote non ammoniacal	71	72	3	NS

NS $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

dans l'iléon ne sont pas significativement liées à la restriction alimentaire en ces composés. Leur digestibilité totale et compartimentale n'est pas influencée par la restriction alimentaire, toutefois on note chez les chèvres restreintes une tendance à l'amélioration de la digestibilité de l'azote total (+2 pts) et de l'azote non ammoniacal (+3 pts).

b). Azote protéique et azote non protéique.

Malgré une ingestion d'azote protéique alimentaire nettement plus faible ($P < 0,01$) chez les chèvres soumises à la restriction alimentaire, son flux duodénal et iléal n'est pas différent de celui observé chez les chèvres nourries à volonté (Tabl. 39). Cependant, ces dernières excrètent dans

Tableau 39. Flux et digestion de l'azote protéique et de l'azote non protéique.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Flux (g/jour)				
Ingéré				
azote protéique	28,0	20,8	0,2	**
azote non protéique	7,9	5,7	0,7	NS
Duodénum				
azote protéique	26,5	18,6	2,4	NS
azote non protéique	18,1	14,7	0,9	*
Iléon				
azote protéique	8,6	6,0	1,3	NS
azote non protéique	6,8	5,9	0,5	NS
Excrétion fécale				
azote protéique	9,6	6,7	0,2	**
azote non protéique	3,5	2,7	0,2	NS
Disparition				
Rumen (% de l'ingéré)				
azote protéique	6	10	9	NS
azote non protéique	-131	-158	33	NS
Intestin grêle (% du flux duod.)				
azote protéique	67	68	7	NS
azote non protéique	62	59	5	NS
Gros intestin (% du flux duod.)				
azote protéique	-4	-4	4	NS
azote non protéique	19	22	4	NS
Totale (% du flux duod.)				
azote protéique	63	65	5	NS
azote non protéique	81	82	3	NS

NS $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

leur fèces plus d'azote protéique ($P < 0,01$) que lorsqu'elles sont restreintes. La digestibilité totale et compartimentale de l'azote protéique n'est pas influencée par la restriction alimentaire, toutefois l'utilisation digestive de ce composé est particulière comparée à celle de l'azote total et de l'azote non ammoniacal. Il y a en effet disparition effective dans le rumen (6 et 10 p.100 respectivement chez les chèvres nourries à volonté et restreintes) simultanément à une production de Nt et de Nna, et production dans le gros intestin (-4 p.100 chez les 2 lots) alors que Nt et Nna sont digérés. Au total, l'azote protéique entrant dans l'intestin est moins bien digéré que l'azote total (-7 pts en moyenne).

c). Composition du flux d'azote.

Le niveau de restriction appliqué (75 p.100 du consommé *ad libitum*) n'a aucun effet sur la composition de l'azote total en ses fractions ammoniacale ($N.NH_3$), non protéique-non ammoniacale (ANP-non NH_3) et protéique (Np) mesurée aux différents sites de prélèvements (ingestion, duodénum, iléon et fèces) (Tabl. 40). Par contre, les phénomènes fermentaires intervenant dans les réservoirs digestifs (protéolyse, protéosynthèse) et les échanges azotés à travers leur paroi provoquent des modifications importantes de la composition de l'azote entrant. Ainsi, la composition de l'azote arrivant au duodénum diffère de celle de l'azote ingéré par la baisse de la proportion de l'azote structuré en protéines (-21 pts en moyenne) et de la proportion de l'azote ammoniacal (-3 pts) au profit d'une élévation de la part d'azote non protéique-non ammoniacal. Dans le gros intestin, les phénomènes fermentaires et les échanges azotés ont au

Tableau 40. Composition de l'azote total ingéré, transitant dans l'intestin et excrété dans les fèces.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Ingestion (% de Nt ingéré)				
N. NH_3	5,7	6,0	1,1	NS
ANP-non NH_3	16,4	15,7	0,7	NS
N protéique	77,9	78,3	1,7	NS
Duodénum (% de Nt duod.)				
N. NH_3	2,7	2,6	0,7	NS
ANP-non NH_3	38,6	41,6	2,1	NS
N protéique	58,7	55,8	2,7	NS
Iléon (% de Nt iléon)				
N. NH_3	10,0	10,2	7,0	NS
ANP-non NH_3	34,5	40,4	6,0	NS
N protéique	55,5	49,4	5,4	NS
Fèces (% de Nt fèces)				
N. NH_3	1,5	2,3	0,4	NS
ANP-non NH_3	24,9	26,8	1,8	NS
N protéique	73,6	71,0	1,6	NS

NS $P > 0,05$.

contraire pour effet de diminuer simultanément la part d'azote non protéique-non ammoniacal (-15 pts) et d'azote ammoniacal (-8 pts) au profit d'une élévation de la proportion de l'azote protéique. Le transit et l'absorption dans l'intestin grêle n'entraînent que des modifications mineures dans la structure de l'azote total. L'effet principal observé est la trop forte proportion de l'azote ammoniacal dans l'azote total arrivant à l'iléon. Ce phénomène peut être expliqué par un début de colonisation bactérienne de la région distale de l'intestin grêle, mais il est également probable que l'azote ammoniacal ne soit pas (ou soit très peu) absorbé, dans ce cas l'élévation de sa proportion serait due à un simple effet de concentration.

d). Flux et digestion de l'ARN et de DAP.

Sauf pour l'excrétion fécale d'acide diaminopimelique, nettement inférieure chez les animaux restreints, le flux intestinal journalier et la digestion des acides ribonucléiques et du DAP ne sont pas significativement modifiés par la variation du niveau d'ingestion de la ration (Tabl 41). Il passe toutefois dans le duodénum des chèvres alimentées à volonté plus d'ARN (+14,1 g/j) et de

Tableau 41. Flux et digestion des acides ribonucléiques et de l'acide diaminopimelique.

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Flux				
Duodénum				
ARN (g/j)	49,6	35,5	16,7	NS
DAP (mg/j)	741	474	101	NS
Iléon				
ARN (g/j)	6,8	5,1	0,6	NS
DAP (mg/j)	286	240	14	NS
Excrétion fécale				
ARN (g/j)	5,8	5,9	1,7	NS
DAP (mg/j)	163	113	9	*
Disparition (% du flux duodénal)				
Intestin grêle				
ARN	85	84	9	NS
DAP	61	50	9	NS
Gros intestin				
ARN	2	-1	6	NS
DAP	17	26	7	NS
Totale				
ARN	88	83	2	NS
DAP	77	76	2	NS

^{NS}P>0,05 ; *P<0,05.

DAP (+46 mg/j). Un gain de digestibilité (+5 pts pour l'ARN, +1 pt pour le DAP) est observé chez ces animaux. L'ARN disparaît pour l'essentiel dans l'intestin grêle, alors que le DAP continue à être digéré dans le gros intestin. Au total, l'ARN est plus fortement digéré que le DAP. (+9 pts en moyenne).

3152. Discussion.

Lorsque des effets de restriction alimentaire sont étudiés sans variations notables de la composition de la ration et de la nature de l'azote apporté, une élévation du niveau d'ingestion provoque aussi celle du flux duodénal d'azote total et d'azote non ammoniacal (Tabl. 42) tant chez les ovins que chez les bovins. Des indices de recouvrement dans le duodénum souvent supérieurs à 1,0 montrent que les quantités additionnelles arrivant au duodénum dépassent les quantités additionnelles ingérées. La digestibilité de l'azote dans le rumen a tendance à diminuer, parfois dans des proportions importantes, tandis que le gain de digestibilité dans les intestins ne varie pas de manière aussi nette que celui observé dans le rumen. L'influence du niveau d'ingestion de l'azote sur la digestibilité est toutefois très variable: MALBERT et BAUMONT (1989), MERCHEN et al. (1986) montrent chez les ovins qu'une élévation des quantités d'azote ingéré induit une baisse de la digestibilité ruminale. Les résultats de ORSKOV et FRASER (1973) concluent à l'amélioration de la digestibilité ruminale de l'azote simultanément à l'élévation du niveau d'ingestion d'une ration titrant 11,9 p.100 de PB; une plus grande ingestion d'une ration très riche en PB (19,2 p.100) provoquant au contraire une baisse de la digestibilité de l'azote dans le rumen. HOGAN et WESTON (1967) trouvent que la digestibilité ruminale de l'azote est améliorée suite à une augmentation des quantités ingérées, mais la digestibilité de l'azote entrant dans l'intestin diminue; les mêmes observations sont avancées par MacRAE et al. (1985) pour une ration composée exclusivement de fourrages secs d'une teneur de 14,5 p.100 de PB. Chez les bovins, McALLAN et SMITH (1983) notent une augmentation de la digestibilité ruminale de l'azote lorsque le niveau d'ingestion d'une ration riche en protéines (14,2 g PB/100g MS) s'élève. ZINN et OWENS (1983) montrent que l'élévation des quantités consommées induit au contraire une baisse de la digestibilité ruminale de l'azote, partiellement compensée par un gain de digestibilité dans les intestins, d'autant plus grand que les quantités ingérées sont plus importantes. FIRKINS et al. (1986) observent une élévation simultanée de la digestibilité de l'azote dans le rumen et dans les intestins lorsque les quantités d'azote ingéré augmentent. Les résultats de ROOKE et al. (1985) montrent que l'élévation du niveau d'ingestion provoque une baisse simultanée de la digestibilité de l'azote dans le rumen et dans les intestins.

Les équations de régression (Tabl. 43) formulées à partir d'un recueil des données bibliographiques réalisé après exploitation de 56 références (96 bilans digestifs sur ovins, 151 bilans sur bovins) établissent l'influence linéaire de la variation du niveau d'ingestion de l'azote de la ration sur le flux duodénal d'azote total et son excrétion fécale ($P < 0,01$) quelle que soit l'espèce considérée et la nature des productions. Des CV résiduels de 19 à 22 p.100 observés autour du flux duodénal d'azote montrent que la diversité des rations, des traitements appliqués et des marqueurs employés ne modifie pas cette réponse linéaire. La relation entre la quantité d'azote ingéré et sa digestibilité diffère selon l'espèce animale. Lorsque des relations significatives sont observées (particulièrement chez les ovins), elles sont surtout attribuées aux phénomènes digestifs

Tableau 42. Données bibliographiques montrant l'influence d'une élévation du niveau d'ingestion d'une même ration sur le flux duodénal d'azote et la digestibilité (rumen, intestins, valeurs calculées).

Caractéristiques ration		Paramètre mesuré au duodénum	N additionnel ingéré (1) (g/j)	N additionnel au duodénum (1) (g/j)	Indice de recouvrement au duodénum (3)	Gain de digestibilité (4)		Auteurs
%PB	%Conc.					Rumen	Intestins	
Ovins								
19,2	0,0	Nt	10,9	8,6	0,79	1,7	-3,0	Hogan et Weston 1967
11,9	100	Nna	5,3	6,6	1,25	9,1	4,6	Orskov et Fraser 1973
11,9	100	Nna	10,7	13,8	1,29	9,4	7,1	
11,9	100	Nna	15,8	19,5	1,23	14,4	2,9	
19,2	100	Nna	8,6	9,1	1,06	-5,5	6,3	
19,2	100	Nna	17,1	17,0	0,99	-3,1	5,3	
19,2	100	Nna	25,6	25,4	0,99	-3,7	7,6	
14,3	0,0	Nt	15,2	13,3	0,88	-1,4		Malbert et Baumont 89
16,6	25,0	Nna	15,9	18,3	1,15	-13,5		Merchen et al 1986
16,4	75,0	Nna	14,1	22,5	1,60	-24,3		
13,0	0,0	Nna	4,9	7,2	1,47	-6,6	0,3	MacRae et al 1985
14,5	0,0	Nna	5,8	5,5	0,95	5,0	-3,9	
Bovins								
8,2	10,0	Nna	21,0	27,4	1,30	-5,1		McAllan et Smith 1983
14,2	12,0	Nna	34,8	15,5	0,45	19,0		
14,2	12,0	Nna	38,5	23,0	0,60	24,3		
15,4	25,0	Nt	59,7	74,5	1,25	1,3	1,3	Fikins et al 1986
15,3	60,0	Nna	71,2	75,4	1,06	-14,2	-2,5	Rooke et al 1985
15,3	60,0	Nna	70,3	80,2	1,14	-12,8	-1,2	
	80,0	Nt	21,8	24,3	1,11	-4,7	2,4	Zinn et Owens 1983
	80,0	Nt	38,6	61,2	1,59	-25,0	3,8	
	80,0	Nt	55,6	83,7	1,50	-27,0	7,1	

(1)=N ingéré par le lot considéré - N ingéré par le lot restreint.

(2)=flux de N duodénal du lot considéré - flux de N duodénal du lot restreint.

(3)=(2)/(1).

(4)=Cud rumen du lot considéré - Cud rumen du lot restreint (en % de N ingéré).

Cud intestins du lot considéré - Cud intestins du lot restreint (en % de N duodénum).

intervenant dans le rumen; la digestibilité intestinale de l'azote étant indépendante de son niveau d'ingestion. Chez les animaux en croissance et à l'entretien, des digestibilités initiales dans le rumen négatives (-30,6 chez les ovins, -11,2 chez les bovins) indiquent que le recyclage net d'azote contribue à la formation du flux duodénal lorsque le niveau d'ingestion est bas (au-dessous de

19,4 g/j chez les ovins et de 104,1 g/j chez les bovins); cette situation n'est pas observée dans le rumen des animaux producteurs de lait où le bilan des échanges à travers la paroi du rumen est négatif quel que soit le niveau d'ingestion de l'azote.

La technique de fractionnement de l'azote en ses composés protéiques (Np) et non protéiques (ANP) est assez souvent utilisée pour caractériser l'azote de la ration (ELLIOT et TOPPS 1965, HARMEYER et al. 1976, SIDDONS et PARADINE 1981, SONI et SHARMA 1982, PRASAD et RAGHAVAN 1984) et pour fractionner l'azote contenu dans le rumen (PICHARD et VAN SOEST 1977, LU et al. 1982, LUDRI et RAZDAN 1982, SIDDONS et al. 1985). Paradoxalement, peu de données bibliographiques existent concernant le fractionnement de l'azote duodénal et le devenir de ses constituants (Np, ANP) dans l'intestin. Pourtant, la technique est relativement simple, plus proche des considérations nutritionnelles (lorsqu'elle est complétée par une détermination des acides aminés) et permet d'affiner l'analyse des phénomènes digestifs intervenant dans l'intestin. La tendance généralisée de caractériser l'azote arrivant au duodénum selon son origine (alimentaire, microbienne, endogène) traduit la priorité qu'accordent jusqu'à présent les chercheurs à la compréhension et à l'optimisation du fonctionnement du rumen. En comparaison, les phénomènes digestifs intervenant après le duodénum sont peu étudiés (du point de vue qualitatif) et les quelques essais réalisés (BEN-GHEDALIA et al. 1974, TAMMINGA 1975) ne manquent pas d'avoir recours à cette méthode. GLENN et ELY (1984) montrent chez le mouton que la proportion d'azote protéique dans l'azote total du contenu duodénal représente 63 p.100 et est remarquablement constante tant que la composition du régime ne change pas notablement (rations apportant 6,7 à 8,4 p.100 de PB et 73 p.100 de fourrages). Les mesures effectuées par BEN-GHEDALIA et al. (1974) chez le mouton recevant une ration mixte (40 p.100 fourrages, 12,6 p.100 PB) montrent que l'azote non protéique représente 33 p.100 du flux d'azote total dans le duodénum; cette proportion s'élève à 39 p.100 à la fin du premier tiers de l'intestin (7 m du duodénum) pour ne représenter que 23 p.100 dans l'iléon terminal. Les auteurs mettent ainsi en évidence un phénomène d'inversion des vitesses de protéolyse intestinale et d'absorption des produits terminaux (acides aminés libres): dans le premier tiers de l'intestin grêle, le taux de protéolyse est supérieur au taux d'absorption; dans le reste de l'intestin, le taux d'absorption devient supérieur au taux de protéolyse. Ces résultats confirment nos propres données et montrent qu'une part appréciable de l'azote arrive au duodénum sous forme non protéique. L'utilisation digestive des composés protéiques et non protéiques chez les caprins est fort différente. Des taux de disparition totale apparents de l'azote protéique et de l'azote non protéique ne donnent pratiquement pas d'informations utiles sur leur utilisation digestive car, pour chacun de ces composés, il existe des sites de disparition et des sites de production. Par contre, des bilans digestifs partiels effectués à la sortie de chaque compartiment permettent de raisonner leur utilisation respective. Tenant compte des conditions de l'essai (chèvres taries, régime apportant 33 p.100 de fourrages et 12 p.100 de PB), les données obtenues montrent que la vitesse de protéolyse dans le rumen est supérieure à la vitesse de protéosynthèse, ce qui se traduit par un bilan Sortie-Entrée des protéines négatif alors que le bilan de l'azote total est positif. Dans l'intestin grêle, le taux de disparition de l'azote protéique est supérieur à celui de l'azote non protéique, là aussi on conclut que la vitesse de protéolyse est supérieure à la vitesse d'absorption par la lumière intestinale. Le gros intestin est un site de production de l'azote protéique alors qu'une partie importante de l'azote non protéique disparaît apparemment; ce composé continue à être absorbé par la paroi du gros intestin, mais un taux de disparition aussi élevé est expliqué surtout par le remaniement de l'azote non protéique en azote protéique à cause de la reprise des fermentations microbiennes.

Tableau 43. Relation des paramètres de flux et de digestibilité de l'azote (Y) avec les quantités d'azote ingéré (NI, g/j) chez les ovins et les bovins.

Y	a (NI)	b	r	CV résid (%)	n	F régress
<u>Ovins (croiss., entret.)</u>						
N duod. (g/j)	0,795	4,0	0,88	19	96	**
N fèces (g/j)	0,253	0,7	0,80	30	70	**
Cud rumen (% de NI)	1,2860	-30,6	0,51	477	96	**
Cud intestins (% de N duod.)	0,0280	70,7	0,04	10	70	NS
Cud total (% de NI)	0,3811	61,7	0,34	14	70	**
<u>Bovins (croiss., entret.)</u>						
N duod. (g/j)	0,772	23,7	0,81	22	120	**
N fèces (g/j)	0,332	0,9	0,82	25	33	**
Cud rumen (% de NI)	0,0987	-11,2	0,19	8575	120	*
Cud intestins (% de N duod.)	0,0135	66,6	0,14	6	33	NS
Cud total (% de NI)	0,0209	63,3	0,11	12	33	NS
<u>Vaches (lait)</u>						
N duod. (g/j)	0,968	-7,0	0,87	19	31	**
N fèces (g/j)	0,409	-24,1	0,93	14	17	**
Cud rumen (% de NI)	-0,0220	13,2	0,14	278	31	NS
Cud intestins (% de N duod.)	0,0029	63,6	0,05	8	17	NS
Cud total (% de NI)	-0,0270	76,2	0,47	7	17	NS

NS $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

N° des publications utilisées:

Fichier ovins: 7, 29, 31, 33, 34, 76, 85, 90, 91, 92, 93, 94, 102, 105, 107, 122, 125, 134, 135, 136, 141, 147, 167, 186, 188, 190, 213, 226.

Fichier bovins (croiss., entret.): 11, 18, 28, 37, 43, 47, 68, 120, 127, 129, 130, 157, 169, 180, 181, 182, 198, 199, 208, 217, 218, 244, 245.

Fichier vaches (lait): 108, 124, 177, 200.

Une forte digestion intestinale des acides ribonucléiques (73 à 86 p.100) est rapportée par STORM et al. (1983) et par LAURENT (1985). Les travaux de ELLIS et BLEICHNER, CONDON et HATFIELD, SMITH et McALLAN, COELHO DA SILVA et al., ROTH et KIRCHGESSNER cités par LAURENT (1985) rapportent des digestibilités de l'ARN comprises entre 80 et 90 p.100 chez le mouton, la génisse et le jeune boeuf en croissance. Nos résultats montrent que l'ARN est fortement digéré dans l'intestin des chèvres taries (83 à 88 p.100 du flux duodénal), cette digestion intervient pour l'essentiel dans l'intestin grêle. Bien que fréquemment utilisé comme marqueur bactérien, la digestion intestinale de l'acide diaminopimelique est très peu

mesurée. STORM et al. (1983) montrent que la digestion intestinale du DAP chez les ovins est faible (39 p.100 du flux duodénal); GUILLOTEAU (1986) montre que le DAP n'est pratiquement pas digéré dans l'intestin grêle du jeune veau (-7 p.100) mais sa disparition dans le gros intestin atteint 86 p.100. Dans notre cas, une disparition intestinale de 76 à 77 p.100 du flux duodénal de DAP témoigne d'une meilleure utilisation digestive des composés pariétaux bactériens par les chèvres taries. Contrairement à l'ARN, le DAP continue à être dégradé dans le gros intestin (17 et 26 p.100 du flux duodénal).

316. Utilisation de l'azote alimentaire.

3161. Résultats.

La quantité d'azote absorbé dans le tube digestif, calculée par la méthode du bilan, diminue ($P<0,01$) lorsque les chèvres sont restreintes, de même que la quantité d'azote retenu ($P<0,05$) (Tabl. 44). L'excrétion journalière d'azote total et d'azote uréique dans les urines n'est cependant pas affectée par la restriction alimentaire. Un bilan azoté aussi largement positif est peu habituel; il peut être expliqué en partie par un apport alimentaire d'azote excédant de beaucoup les besoins PDI des chèvres taries, mais aussi par une possibilité de surestimation de l'azote absorbé et de l'azote retenu. En effet, les pertes de contenu digestif à travers les canules du rumen et de l'intestin surviennent inévitablement et constituent une source de surestimation de l'azote absorbé, les pertes par les phanères ne sont pas prises en compte et des problèmes de contamination des urines par du contenu digestif sont observés.

Tableau 44. Bilan de l'utilisation de l'azote alimentaire (g/j).

	Traitements		E. type résid.	F
	ad libitum	75 % ad libitum		
Azote ingéré	35,9	26,5	0,7	**
Couverture besoins PDI	3,3	2,4		
Azote fèces	13,1	9,4	0,4	**
Azote absorbé	22,8	17,1	0,4	**
Azote urinaire	9,8	9,9	1,3	NS
dont N urée	7,3	7,7	1,3	NS
Azote retenu	13,0	7,2	1,7	*

^{NS} $P>0,05$; * $P<0,05$; ** $P<0,01$.

3162. Discussion.

L'exploitation de l'information bibliographique disponible concernant l'utilisation métabolique de l'azote de la ration (Tabl. 45, 10 références concernant les jeunes animaux en croissance, 9 références concernant les animaux adultes) montre qu'une composante importante du niveau de la rétention azotée est déterminée par la quantité d'azote ingéré. Ce paramètre explique 57 p.100 de la variation de la rétention corporelle d'azote chez le jeune ruminant en croissance, et

Tableau 45. Relations entre la rétention corporelle d'azote (Y, g/j) et les quantités d'azote ingéré et absorbé apparemment dans le tube digestif (X, g/j) chez les jeunes ruminants (ovins, caprins) en croissance (A) et les ruminants adultes (ovins caprins) à l'entretien (B).

Y	a	X	b	r	n	F régress.
A						
N retenu	0,375	N ingéré	-0,46	0,76	50	**
N retenu	0,509	N absorbé	0,17	0,85	50	**
B						
N retenu	0,313	N ingéré	-4,25	0,70	32	**
N retenu	0,635	N absorbé	-5,17	0,91	32	**

**P<0,01.

N° des publications utilisées:

Jeunes ruminants: 8, 17, 29, 31, 73, 104, 136, 151, 155, 242.

Ruminants adultes: 5, 76, 85, 93, 107, 109, 141, 147, 188.

49 p.100 de la variation chez le ruminant adulte à l'entretien. En mettant en relation l'azote retenu et l'azote alimentaire apparemment absorbé dans le tube digestif, on prend en compte l'hétérogénéité due à l'efficacité digestive de l'azote; dans ce cas, 72 p.100 et 83 p.100 de la variation de l'azote retenu est expliquée par la quantité d'azote absorbé respectivement chez les animaux en croissance et ceux à l'entretien. Les facteurs de nature métabolique (pool corporel circulant de l'azote, orientation du substrat azoté vers les voies de catabolisme énergétique, vitesses de catabolisme-anabolisme, etc...) n'interviennent donc que pour une part mineure dans la variation des quantités journalières d'azote retenu par l'organisme. Un effet de seuil est observé chez les petits ruminants adultes à l'entretien (ovins, caprins): ces animaux ne commencent à fixer l'azote de la ration qu'à partir d'une ingestion journalière de 14 grammes et d'une absorption apparente dans le tube digestif de 8 grammes. La comparaison des valeurs observées de la rétention azotée chez les chèvres taries utilisées dans notre essai aux valeurs estimées par les équations de régression formulées chez les animaux adultes à l'entretien confirme le problème de surestimation (+3,7 g/j chez le lot alimenté *ad libitum*, +1,5 g/j chez le lot soumis au régime de restriction); toutefois des niveaux de rétention supérieurs sont observés par AL-RAHMOUN (1985) chez les boucs (+18,3 g/j) et chez les béliers (+24,8 g/j) ingérant respectivement 66,9 et 85,0 g/j d'azote.

32. INFLUENCE DU SUPPLEMENT ALIMENTAIRE EN METHIONINE-LYSINE.

321. Composition, valeur alimentaire des rations et consommation.

Les rations sont formulées au début de l'essai pour couvrir les besoins d'entretien et de production laitière déterminés pour l'énergie selon MORAND-FEHR et SAUVANT (1978), et pour l'azote selon BRUN-BELLUT et al. (1984). Les formulations initiales sont maintenues durant tout l'essai. La composition chimique et la valeur alimentaire des rations individuelles n'ont pratiquement pas varié entre périodes comme l'indiquent les écarts-type (Tabl. 46). L'urée en solution ajoutée à 50 g de maïs grain est proposée à l'ingestion au début des repas. Le taux de protéines brutes varie, selon les formulations, de 10,8 à 15,3 p.100. La valeur dPDI des rations varie entre -20 et -31 g/kg MS, indiquant que les rations restent carencées en azote fermentescible malgré l'apport d'urée. Les teneurs en azote ammoniacal (N.NH₃) et en azote non protéique (ANP) sont déterminés dans les aliments pour mesurer le bilan digestif des fractions azotées correspondantes dans le rumen.

Tableau 46. Structure, composition chimique et valeur alimentaire des rations.

	Chèvre 71	Chèvre 78	Chèvre 27
Structure (g/100 g MS)			
Foin de prairie	15	26	17
Pulpes de betteraves deshydratées	30	25	26
Maïs deshydraté	23	43	42
Maïs grain	32	6	15
Urée (g/jour)	30	10	24
Composition chimique			
Matière organique (g/kg MS)	948 (2)	935 (4)	941 (3)
Azote total (g/kg MS)	24,5 (0,1)	17,2 (0,2)	23,1 (0,2)
Solubilité de N (%)	69 (0,5)	45 (0,5)	61 (0,7)
Azote ammoniacal (g/kg MS)	1,0 (0,03)	1,0 (0,07)	1,1 (0,04)
Azote non protéique (g/kg MS)	15,5 (0,1)	7,5 (0,1)	13,9 (0,1)
Valeur alimentaire *			
PDIN (g/kg MS)	59 (0,3)	59 (1,1)	63 (0,7)
PDIE (g/kg MS)	90 (0,1)	84 (0,5)	87 (0,3)
dPDI (g/kg MS)	-31 (0,3)	-25 (0,8)	-24 (0,5)
UFL (/kg MS)	0,99	0,86	0,92

*: valeurs PDI calculées à partir de la composition chimique des aliments selon VERITE et al. (1987), VERITE et PEYRAUD (1988); valeurs UFL calculées à partir des valeurs-table des aliments (système PDI, INRA 1988).

Les chiffres entre parenthèses sont les écarts-types interpériodes.

La consommation individuelle des chèvres, ainsi que les quantités refusées sont fournies dans le tableau 47. Les refus sont constitués essentiellement de concentrés; les quantités consommées ont baissé entre les périodes 1 et 4, consécutivement à la diminution du niveau de production laitière.

Tableau 47. Consommation de la ration (hors méthionine-lysine) et refus enregistrés par chèvre et par période.

	Période 1		Période 2		Période 3		Période 4	
	Cons.	Refus(1)	Cons.	Refus (1)	Cons.	Refus (1)	Cons.	Refus (1)
Chèvre 71								
MS (g/jour)	2385	369 (C)	2046	671 (C)	2258	494 (F+C)	1984	772 (C)
PDI (g/jour)	140	22	116	45	129	34	109	55
UFL (/jour)	2,37	0,37	2,03	0,67	2,24	0,49	1,97	0,77
Chèvre 78								
MS (g/jour)	1612	0,0	1509	60 (C)	1390	211 (C)	1222	378 (C)
PDI (g/jour)	93		91	2	85	11	78	19
UFL (/jour)	1,38		1,29	0,10	1,20	0,18	1,05	0,33
Chèvre 27								
MS (g/jour)	2385	0,0	1894	433 (C)	1951	425 (C)	1995	378 (F+C)
PDI (g/jour)	147		122	24	126	24	131	19
UFL (/jour)	2,19		1,74	0,39	1,79	0,39	1,83	0,35

(1): nature des refus: C=concentrés; F=foin.

322. Bilan de la digestion dans le rumen: fermentations, recyclage net d'azote et efficacité des synthèses.

3221. Résultats.

Malgré une fermentescibilité de 50 p.100 du produit aminé, ce dernier, apporté en quantités croissantes, ne provoque pas de modifications sensibles dans le fonctionnement du rumen des chèvres (Tabl. 48). Le pH moyen du jus de rumen ne varie pas entre lots supplémentés, de même que la concentration moyenne du jus de rumen en azote ammoniacal malgré une tendance régulière à l'élévation (15 mg/100 ml chez le lot 3-0 gM-L à 21 mg/100 ml chez le lot 3-22 gM-L). Aucune évolution significative n'est observée quant-à la quantité de matière organique alimentaire fermentée dans le rumen (MOF) et le bilan des échanges azotés à travers la paroi (recyclage net de N). La production bactérienne du rumen, mesurée au niveau du duodénum par les fournitures de matière organique bactérienne, d'azote bactérien (et sa proportion dans N du contenu total), de ARN et de DAP bactériens ne subit pas de modifications attribuables aux différents niveaux du supplément aminé malgré les écarts, parfois importants, observés. L'efficacité

Tableau 48. Fermentation dans le rumen, flux duodénal des composés bactériens et efficacité des synthèses.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
<u>Fermentation rumen</u>						
pH					0,31	NS
N.NH ₃ (mg/100 ml)	15	17	20	21	4	NS
MO fermentée (g/jour)	1193	1305	1125	1208	148	NS
Recyclage net de N (g/jour)	10,6	9,8	11,8	9,0	4,2	NS
<u>Flux duodénum</u>						
MO des bactéries (g/j)	365	329	277	344	73	NS
N des bactéries (g/jour)	26,7	23,5	20,6	27,7	4,6	NS
N des bactéries/Nt duod. (%)	68	55	49	67	10	NS
ARN des bactéries (g/jour)	23,9	28,4	21,8	28,7	8,1	NS
DAP des bactéries (mg/jour)	735	703	573	681	114	NS
<u>Rendement des synthèses</u>						
N bact./MODR (g/kg)	33,1	24,5	27,1	31,4	5,1	NS
N bact./MOD (g/kg)	22,9	17,6	17,4	22,3	3,3	NS
N bact./MO fermentée (g/kg)	22,6	18,1	19,4	22,5	2,6	NS

^{NS}P>0,05.

de la synthèse protéique bactérienne, exprimée par référence à la matière organique digérée dans le rumen (MODR), à la matière organique digérée dans le tube digestif (MOD) et à la matière organique fermentée dans le rumen (MOF) n'est pas influencée par les niveaux du supplément aminé.

Les valeurs obtenues en rapportant N bactérien au kg MOD et au kg MOF sont très proches, ce qui indique que la MOD peut constituer un bon prédicteur de la MOF, par ailleurs assez difficile à mesurer car elle demande la mise en oeuvre des techniques de marquage et d'estimation du flux duodénal de matière organique bactérienne (ou microbienne).

3222. Discussion.

Peu d'information bibliographique est fournie sur les modifications fermentaires et celles des bilans digestifs du rumen occasionnées par l'addition des acides aminés protégés dans l'alimentation du ruminant. Les paramètres mesurés dans les essais sont surtout de nature métabolique (bilans azotés, paramètres sanguins), obtenus généralement chez des animaux non fistulés ou porteurs d'une canule du rumen. Les travaux de ARAMBEL et al. (1987) effectués sur des génisses montrent toutefois que l'apport de méthionine protégée provoque une meilleure colonisation du contenu du rumen par les bactéries et une plus grande efficacité des synthèses protéiques à cause de sa dégradabilité partielle. Le pH moyen journalier du jus de rumen n'est pas modifié. Des essais effectués in vitro (GIL et al. 1973), montrent que les bactéries du rumen sont capables d'incorporer la méthionine hydroxy-analogue (sous forme de N-formyl méthionine) dans

la protéosynthèse, mais aussi de la cataboliser ou de l'utiliser en grande partie comme substrat énergétique en cas de carence en énergie soluble. Le catabolisme des acides aminés soufrés dans le rumen est mis en évidence par ZIKAKIS et SALSBURY (cités par GIL et al. 1973) qui détectent la production de gaz sulfureux.

La protection du produit aminé apporté aux chèvres dans notre essai a certainement limité son utilisation fermentaire dans la mesure où les paramètres mesurés dans le rumen n'évoluent pas significativement avec l'accroissement des quantités administrées. Toutefois, nous constatons une tendance à l'élévation progressive du pH moyen et à une accumulation de $N.NH_3$ dans le jus de rumen, témoins d'une moins bonne activité fermentaire. La fourniture au duodénum de matière organique et d'azote bactériens a en effet tendance à diminuer (en g/j et en proportion de Nt duodéal) lorsque la L-lysineHCl est introduite dans le produit aminé à raison de 3g/j et de 7,8 g/j. L'apport de 13,2 g/j de L-lysineHCl rétablit la production bactérienne du rumen au même niveau que celle enregistrée chez le lot témoin (0,0 g/j de L-lysineHCl). Dans la mesure où la quantité de matière organique alimentaire fermentée dans le rumen (MO_f) n'a pas baissé, il est probable que l'addition de L-lysineHCl a plus limité les activités de synthèse protéique que les activités de dégradation, donnant ainsi des rendements de protéosynthèse inférieurs. Il est également probable, au vu des paramètres de composition des produits bactériens du rumen (N.bact./MO.bact., N.bact/ARN.bact, DAP.bact/ARN.bact), que le faciès de la population bactérienne ai changé.

323. Flux de contenu total, flux et digestion des composés secs et organiques.

3231. Résultats.

a). Flux de contenu total.

Les différents niveaux d'apport du supplément aminé aux chèvres en lactation ne provoquent pas de modifications du flux journalier de contenu total transitant dans le duodénum et dans l'iléon (Tabl. 49), malgré une tendance à la diminution du flux observée particulièrement chez les chèvres recevant 3-22 g ML. Les quantités de contenu digestif total transitant dans le duodénum et dans l'iléon ne sont pas influencées par le supplément aminé même lorsqu'elles sont rapportées au kg de MS ingérée et au kg de MS passant par le duodénum et l'iléon. Calculé par 100 g de d'azote ingéré, transitant dans le duodénum et dans l'iléon, le flux duodéal de contenu digestif total semble diminuer lorsque le niveau du supplément aminé augmente (-15,1 l/100 g Nt ingéré et -10,3 l/100 g Nt duod. entre les lots 3-0 g ML et 3-22 g ML). Le contenu digestif total transitant dans l'iléon diminue également (-3,8 l/100g Nt ingéré et -10,3 l/100g Nt iléon entre les lots 3-0g M-L et 3-22g M-L), mais ces écarts n'ont pas permis de déceler un effet significatif.

b). Flux et digestion des composés secs et organiques.

L'introduction par la canule du rumen du produit aminé ne provoque pas de modifications significatives des quantités de matière sèche et de matières organiques ingérées par les chèvres en lactation, et excrétées dans les fèces (Tabl. 50). De même, les variations du flux journalier de matière sèche et de matière organique estimés dans le duodénum et dans l'iléon ne sont pas dues

Tableau 49. Flux de contenu total dans le duodénum et dans l'iléon.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
<u>Duodénum</u>						
litres/jour	23,5	22,5	22,8	19,9	4,6	NS
litres/kg MS ingérée	12,7	11,0	12,4	10,6	1,9	NS
litres/100 g Nt ingéré	78,7	69,7	73,8	63,6	12,9	NS
litres/kg MS duodénum	21,3	19,2	20,7	18,9	3,3	NS
litres/100 g Nt duodénum	59,7	53,3	53,9	49,4	6,9	NS
<u>Iléon</u>						
litres/jour	8,1	8,1	7,6	7,2	1,3	NS
litres/kg MS ingérée	4,4	4,0	4,3	3,9	0,6	NS
litres/100 g Nt ingéré	27,1	25,2	25,4	23,3	4,0	NS
litres/kg MS iléon	9,1	8,8	8,7	8,2	2,8	NS
litres/100 g Nt iléon	60,9	58,0	50,6	50,6	9,5	NS

^{NS}
P>0,05.

aux niveaux d'apport du supplément aminé. La digestibilité totale et compartimentale de la MS et de la MO ne diffère pas entre les lots soumis aux traitements aminés; on note cependant chez les chèvres fortement supplémentées (3-22 g ML) une participation pratiquement nulle de l'intestin grêle à la disparition de la matière sèche (3 p.100) et de la matière organique (-1 p.100), alors que dans le gros intestin, le taux de disparition de ces composés est supérieur en moyenne à celui observé chez les lots recevant des quantités de produit aminé moins importantes (+7 pts et +8 pts respectivement pour la MS et la MO). On note donc un phénomène de transfert de la digestion de ces composés de l'intestin grêle vers le gros intestin sans que la digestibilité totale ne soit significativement affectée.

3232. Discussion.

Lorsque la ration est suffisamment pourvue en azote et en énergie fermentescibles, l'apport d'acides aminés de synthèse protégés de la dégradation dans le rumen n'est pas susceptible de provoquer des modifications significatives de l'utilisation digestive des constituants énergétiques dans le tube digestif des ruminants. Cela est confirmé par les travaux de GLENN et ELY (1984), OKE et al. (1986) et WRIGHT et LOERCH (1988) qui n'enregistrent pratiquement aucune modification du flux et de la digestibilité des constituants énergétiques (MS, NDF, ADF) en réponse à l'ingestion par des ovins ou à l'administration par la canule du rumen de doses croissantes de méthionine, de lysine protégées ou de leur mélange. Même lorsque l'acide aminé (méthionine) n'est pas protégé, son infusion dans le rumen ne modifie pas la digestibilité totale de l'énergie ingérée (MOORE et al. 1980). Les résultats obtenus dans notre essai sont en accord avec ces observations car les rations distribuées comportent de l'urée et ont été formulées de manière à couvrir les besoins en PDI et en énergie. Toutefois, dans des conditions alimentaires particulières (rations semi purifiées ingérées par des génisses), l'apport en supplément de méthionine protégée influence le fonctionnement du rumen (diminution du volume, accélération du taux de sortie de la

Tableau 50. Flux et digestion de la matière sèche et de la matière organique.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
Flux (g/jour)						
Ingestion						
Matière sèche	1843	2066	1866	1844	189	NS
Matière organique	1733	1945	1763	1736	183	NS
Duodénum						
Matière sèche	1107	1164	1106	1044	116	NS
Matière organique	905	970	914	872	96	NS
Iléon						
Matière sèche	890	956	887	954	196	NS
Matière organique	774	834	778	845	200	NS
Excrétion fécale						
Matière sèche	626	687	595	584	81	NS
Matière organique	562	618	519	525	72	NS
Disparition (% ingéré)						
Rumen						
Matière sèche	40	43	39	43	2	NS
Matière organique	47	49	46	49	2	NS
Intestin grêle						
Matière sèche	12	10	12	3	12	NS
Matière organique	8	8	8	-1	12	NS
Gros intestin						
Matière sèche	14	13	17	22	10	NS
Matière organique	12	11	16	21	11	NS
Totale						
Matière sèche	66	66	68	68	2	NS
Matière organique	67	68	70	69	2	NS

^{NS}
P>0,05.

phase liquide et meilleure colonisation bactérienne du contenu) et provoque des changements qualitatifs des produits terminaux de la digestion énergétique (augmentation de la concentration molaire d'acide acétique et diminution de celle de l'acide butyrique) (ARAMBEL et al. 1987). Les essais in vitro effectués par GIL et al. (1973) montrent également que l'apport de Méthionine Hydroxy-analogue (MHA) aux bactéries du rumen introduit de profondes modifications de la structure des AGV produits (Fig. 11): la part relative de lactate augmente considérablement au détriment des autres AGV; la proportion de butyrate diminue plus rapidement que celle de l'acétate. Ces modifications sont observées lorsque le régime (ou le substrat d'incubation) est

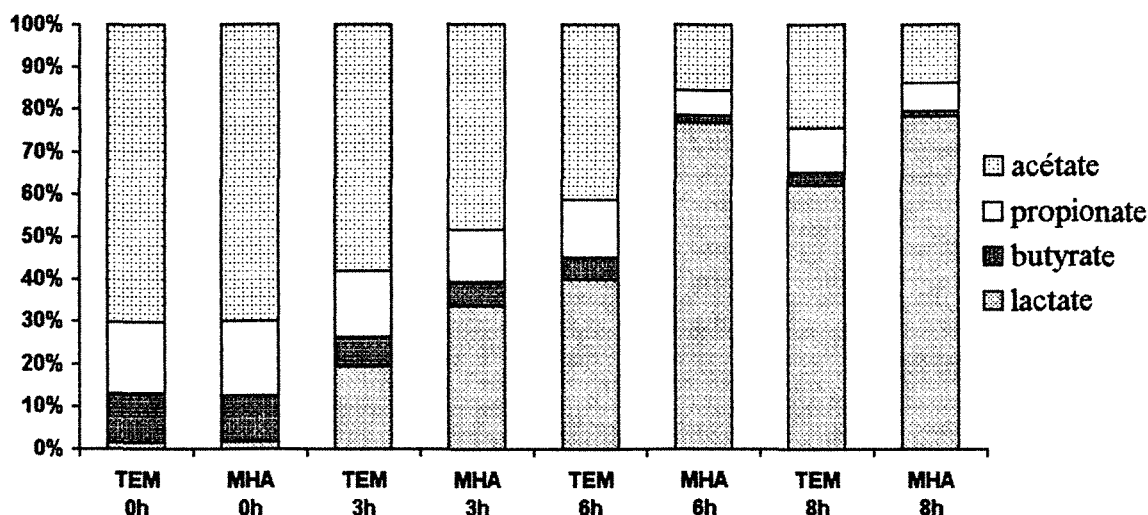


Figure 11. Structure des AGV produits par les bactéries du rumen après incubation dans un milieu de glucose (3h, 6h, 8h) en absence (TEM) et en présence (MHA) de méthionine hydroxy analogue (GIL et al. 1973).

carencé en azote rapidement dégradable et occasionnent une augmentation de la teneur en matières grasses du lait chez les animaux supplémentés consécutivement à l'accroissement du ratio acétate/butyrate dans le rumen (DAUGAARD, CHANDLER et al., STOKES et al. cités par ARAMBEL et al. 1987).

324. Flux, digestion des composés azotés et utilisation métabolique.

3241. Résultats.

a). Azote total et azote non ammoniacal.

Aucun effet du supplément aminé n'est observé sur l'ingestion, le flux duodénal, le flux iléal et l'excrétion fécale de l'azote total et de sa fraction non ammoniacale (Nna) (Tabl. 51). La digestibilité totale et sa répartition à travers les compartiments du tube digestif (rumen, intestin grêle, gros intestin) n'est également pas modifiée par les différents niveaux du supplément aminé.

b). Azote protéique et azote non protéique.

L'apport d'azote aminé ne provoque aucune modification significative de l'ingestion de l'azote protéique et de l'azote non protéique, de leurs flux respectifs dans le duodénum et dans l'iléon, ainsi que des quantités excrétées dans les fèces (Tabl. 52). La digestibilité totale et compartimentale des quantités arrivant au duodénum n'est pas influencée par le supplément aminé. En revanche, on décèle des tendances d'ordre qualitatif concernant la production ruminale de ces composés et leur disparition intestinale:

- Il semble que le supplément aminé apporté à raison de 3-22 gM-L déprime le gain d'azote structuré en protéines (Np) arrivant au duodénum (-18 pts comparé au niveau 3-0 g ML). L'apport de 3-5 g ML provoque au contraire une diminution de l'azote non protéique (ANP) gagné par le rumen (-20 pts comparé au niveau 3-0 g ML).

Tableau 51. Flux et digestion de l'azote total et de l'azote non ammoniacal.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
Flux (g/jour)						
Ingestion						
Azote total	29,9	32,7	31,4	31,0	3,8	NS
Azote soluble	14,3	15,4	15,1	14,6	1,1	NS
Azote non ammoniacal	28,1	30,7	29,3	28,9	3,7	NS
Duodénum						
Azote total	40,4	42,5	43,2	40,0	5,1	NS
Azote non ammoniacal	39,7	40,9	41,4	38,7	4,7	NS
Iléon						
Azote total	13,8	13,9	15,5	14,3	1,2	NS
Azote non ammoniacal	13,1	13,0	14,6	13,4	1,0	NS
Excrétion fécale						
Azote total	12,2	13,4	12,4	11,5	1,8	NS
Azote non ammoniacal	11,9	13,0	12,1	11,1	1,7	NS
Disparition						
Rumen (% ingéré)						
Azote total	-35	-30	-37	-28	15	NS
Azote non ammoniacal	-41	-33	-41	-33	16	NS
Intestin grêle (% duod.)						
Azote total	66	67	63	64	2	NS
Azote non ammoniacal	67	67	64	65	2	NS
Gros intestin (% duod.)						
Azote total	3	1	8	7	4	NS
Azote non ammoniacal	2	1	7	6	5	NS
Totale (% duod.)						
Azote total	69	68	71	71	4	NS
Azote non ammoniacal	69	68	71	71	5	NS

^{NS} P>0,05.

- Les proportions respectives d'azote protéique et d'azote non protéique disparues dans l'intestin grêle et dans le gros intestin subissent des modifications: alors que la digestibilité de Np et de ANP dans l'intestin grêle des animaux recevant 3-0 g ML est pratiquement semblable (64 p.100 Np-67 p.100 ANP), ces proportions deviennent 52 p.100 Np-76 p.100 ANP dans l'intestin grêle des animaux soumis au traitement 3-22 g ML; dans le même temps les proportions disparues dans le gros intestin passent de -9 p.100 Np-17 p.100 ANP à 5 p.100 Np-9 p.100 ANP. Ces résultats mettent en évidence des phénomènes de transfert qui ne sont pas observés lorsque la digestibilité de l'azote total est mesurée: l'élévation du niveau du supplément aminé provoque simultanément la baisse de la part de Np duodénal digéré dans l'intestin grêle et l'élévation de la part de ANP digéré.

Dans le gros intestin, on passe d'un état de production de l'azote protéique à un état de disparition effective alors que la part de l'azote non protéique duodénal digéré diminue.

Au total, l'azote protéique arrivant au duodénum est moins bien digéré dans les intestins que l'azote non protéique (-24 pts en moyenne sur les 20 mesures effectuées). Ces écarts interviennent surtout dans le gros intestin puisqu'au niveau de l'iléon, l'avantage de la digestibilité de ANP sur Np n'est que de 7 pts. On peut retenir que la disparition relativement élevée de l'azote non protéique après l'iléon soit due surtout au remaniement de l'azote consécutif à la reprise des fermentations dans la partie distale du tube digestif.

Tableau 52. Flux et digestion de l'azote protéique et de l'azote non protéique.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
Flux (g/jour)						
Ingestion						
Azote protéique	15,9	17,9	16,8	16,9	2,9	NS
Azote non protéique	13,9	14,9	14,6	14,1	0,98	NS
Duodénum						
Azote protéique	20,8	25,2	23,4	20,6	3,5	NS
Azote non protéique	19,6	17,3	19,9	19,4	2,2	NS
Iléon						
Azote protéique	7,6	8,4	10,0	9,9	1,3	NS
Azote non protéique	6,2	5,5	5,5	4,4	0,8	NS
Excrétion fécale						
Azote protéique	9,1	10,1	9,5	8,7	1,3	NS
Azote non protéique	3,1	3,3	2,9	2,7	0,6	NS
Disparition						
Rumen (% ingéré)						
Azote protéique	-40	-40	-37	-22	20	NS
Azote non protéique	-43	-23	-42	-40	12	NS
Intestin grêle (% duod.)						
Azote protéique	64	65	57	52	6	NS
Azote non protéique	67	68	71	76	5	NS
Gros intestin (% duod.)						
Azote protéique	-9	-6	3	5	9	NS
Azote non protéique	17	13	15	9	3	NS
Totale (% duod.)						
Azote protéique	55	59	60	57	5	NS
Azote non protéique	83	81	86	85	4	NS

^{NS} P>0,05.

c). Composition du flux d'azote dans le tube digestif.

La composition du flux d'azote transitant aux points séparant les compartiments digestifs traduit les modifications occasionnées dans le fonctionnement de ces compartiments lorsqu'on applique aux animaux des traitements différents. Le fractionnement de l'azote total (Nt) en azote ammoniacal (N.NH₃), azote non protéique (ANP) et azote protéique (Np) est proche des considérations nutritionnelles puisque la valeur alimentaire et l'utilisation métabolique de ces composés diffère. L'apport par la canule du rumen des différents niveaux du supplément aminé ne

Tableau 53. Composition de l'azote ingéré, transitant dans le duodénum et dans l'iléon, et excrété dans les fèces.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
Ingestion (% de Nt)						
N.NH ₃	6	6	7	7	0,5	NS
ANP-non NH ₃	40	38	38	38	2,4	NS
N protéique	54	56	55	55	2,9	NS
Duodénum (% de Nt duod.)						
N.NH ₃	2	4	4	3	1,0	
ANP-non NH ₃	47 ^a	37 ^b	42 ^{ab}	45 ^a	3,0	*
N protéique	51 ^b	59 ^a	54 ^{ab}	52 ^b	2,5	*
Iléon (% de Nt iléon)						
N.NH ₃	4	5	6	6	2,2	NS
ANP-non NH ₃	42	34	30	25	6,1	NS
N protéique	54	61	64	69	6,5	NS
Fèces (% de Nt fèces)						
N.NH ₃	2	3	3	3	0,7	NS
ANP-non NH ₃	23	22	20	21	2,6	NS
N protéique	75	75	77	76	2,7	NS

^{NS} P>0,05 ; *P<0,05. a,b: groupes de moyennes différents au test de NEWMAN-KEULS (P=0,05).

provoque pas de modifications de la composition de l'azote ingéré, par contre on remarque qu'un apport modéré de lysine (niveau 3-5 g ML) contribue à l'augmentation de la part de Np dans Nt duodénal (+9 pts) en même temps que celle de ANP diminue (-10 pts) (Tabl. 53). Lorsqu'on passe à des niveaux du supplément aminé plus importants, ce gain initial en Np s'annule pratiquement au profit de l'augmentation de la part de ANP, de telle sorte que la composition du flux duodénal de Nt des chèvres recevant 3-0 g ML et 3-22 g ML est identique. Ce type d'évolution ne persiste pas au niveau de l'iléon malgré des écarts observés plus importants. La composition de l'azote excrété dans les fèces ne varie pas entre lots différemment supplémentés.

d). Flux et digestion de ARN et de DAP.

Le flux intestinal des acides ribonucléiques et de l'acide diaminopimelique, ainsi que leur excrétion fécale, ne sont pas significativement modifiés par l'apport en quantités croissantes du produit aminé (Tabl. 54). Toutefois, il passe dans le duodénum des chèvres fortement supplémentées (3-13 g et 3-22 g ML) sensiblement moins de ARN et de DAP que dans celui des chèvres recevant les niveaux 3-0 g et 3-5 g ML. La digestibilité intestinale de ARN est très forte (89 à 91 p.100 du flux duodénal), mais elle n'est pas influencée par le niveau du supplément aminé; il disparaît dans le gros intestin entre 8 et 16 p.100 de ARN duodénal. DAP est nettement moins bien digéré que ARN, et dans des proportions très variables (22 à 53 p.100 du flux duodénal), sa disparition est observée surtout dans le gros intestin (12 à 48 p.100 du flux duodénal) alors que dans l'intestin grêle, il ne disparaît apparemment que 5 à 14 p.100.

Tableau 54. Flux et digestion des acides ribonucléiques et de l'acide diaminopimelique.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
Flux						
Duodénum						
ARN (g/jour)	38,8	39,3	31,9	33,8	4,3	NS
DAP (mg/jour)	735	703	573	686	115	NS
Iléon						
ARN (g/jour)	9,6	6,3	7,4	7,8	3,7	NS
DAP (mg/jour)	624	636	559	567	154	NS
Excrétion fécale						
ARN (g/jour)	3,1	3,5	3,5	3,2	0,7	NS
DAP (mg/jour)	392	544	409	316	116	NS
Disparition (% duod.)						
Intestin grêle						
ARN	75	83	76	74	11	NS
DAP	14	10	5	5	30	NS
Gros intestin						
ARN	16	8	13	16	12	NS
DAP	32	12	28	48	17	NS
Totale						
ARN	91	91	89	90	2	NS
DAP	46	22	32	53	18	NS

^{NS} P>0,05.

d). Utilisation métabolique de l'azote alimentaire.

Les résultats du bilan de l'utilisation de l'azote alimentaire mesuré chez les chèvres en lactation montrent que l'élévation des quantités du produit aminé apporté en supplément ne provoque pas de modifications de l'absorption digestive apparente de l'azote et de son utilisation métabolique aux fins de production du lait et des tissus (Tabl. 55). Les quantités d'azote total et d'azote protéique excrétées dans le lait, de même que le taux d'urée mesuré, ne diffèrent pas entre lots de chèvres subissant l'accroissement du supplément aminé. Les quantités d'azote considérées comme retenues par l'organisme varient entre -0,2 g/j chez les chèvres recevant le niveau 3-0 g ML et 0,6, 0,7 et 1,8 g/j lorsque les chèvres sont plus fortement supplémentées sans que ces écarts ne soient déterminés significativement par le traitement aminé. En réalité, les quantités d'azote retenu par l'organisme sont surestimées car elles comprennent l'azote excrété dans les phanères (poils, cornes, onglons, etc...).

Tableau 55. Bilan de l'utilisation de l'azote alimentaire (g/jour).

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
Azote ingéré	29,9	32,7	31,4	31,0	3,8	NS
Azote fécal	12,2	13,4	12,4	11,5	1,8	NS
Azote absorbé	17,7	19,3	19,0	19,5	2,7	NS
Azote urinaire	10,2	9,4	9,9	10,3	1,2	NS
dont N urée	6,5	5,6	6,3	7,7	1,5	NS
Azote utilisé	7,5	10,0	9,1	9,3	3,1	NS
Azote du lait	7,7	9,2	8,5	7,5	1,8	NS
dont N protéique lait	6,9	8,4	7,7	6,7	1,7	NS
TUL (mg/litre)	299	307	272	367	57	NS
Azote retenu	-0,2	0,8	0,6	1,8	0,2	NS

^{NS} P>0,05.

e). Efficacité digestive et métabolique de la lysine-HCl

Les paramètres de flux, de digestion et d'utilisation métabolique de l'azote (Tabl. 56) sont ramenés aux quantités ingérées pour éliminer les disparités dues à la consommation. Bien que dans l'ensemble les écarts (calculés par différence au lot témoin non supplémenté en LysineHCl) ne sont pas statistiquement significatifs, l'analyse de ces données montre que l'adjonction à la ration de 0,379 g.N.lys/j (correspondant à 3,0 g lys.HCl) n'apportent que peu de modifications du flux intestinal d'azote et de sa digestion. Un effet mobilisateur de l'azote disponible pour le métabolisme est toutefois nettement perceptible; il se traduit par une économie de son excrétion urinaire (-3,88 pts) simultanément à sa meilleure utilisation pour la production laitière (+2,82 pts) et pour la rétention azotée (+2,85 pts).

L'administration de 0,986 g.N.lys/j (correspondant à 7,8 g lys.HCl) provoque une amélioration sensible non seulement de la mobilisation métabolique, mais aussi du flux intestinal et de la digestion de l'azote: il passe dans le duodénum 9,69 g d'azote supplémentaires/100 g d'azote

ingéré, tandis que l'excrétion fécale n'a pas augmenté (-0,57 pts). La digestion intestinale de l'azote duodénal augmente aussi bien dans l'intestin grêle (+5,75 pts) qu'en bilan total (+10,27 pts). Les quantités d'azote additionnelles disponibles pour le métabolisme, provenant de la meilleure digestibilité et de l'économie de l'excrétion urinaire (-2,57 pts) semblent être valorisées dans la production laitière (+10,10 pts) au détriment de la rétention par l'organisme (-2,77 pts).

Lorsque 1,669 g.N.lys/j (correspondant à 13,2 g lys.HCl) sont additionnés, l'excrétion fécale ainsi que l'excrétion urinaire d'azote diminuent légèrement (respectivement -2,01 et -2,39 pts) indiquant la persistance du phénomène d'économie digestive et métabolique; toutefois, le flux duodénal d'azote ainsi que sa digestion dans l'intestin grêle ne sont pratiquement pas modifiés. Le gain de digestibilité observé en bilan total (+2,99 pts) intervient donc pour l'essentiel dans le gros intestin. L'excrétion d'azote dans le lait ainsi que sa rétention par l'organisme augmentent (respectivement +4,25 et +3,31 g N./100 g N. ingéré).

Tableau 56. Critères d'efficacité digestive et métabolique de l'azote de la lysine-HCl administrée par la canule du rumen aux chèvres en lactation.

	Quantités de N.lysine administrées (g/jour) (1)			T
	0,379	0,986	1,669	
Flux				
N. duod./N. ingéré (g/100 g)	-1,48 (14,94)	9,69 (15,29)	0,97 (16,45)	NS
N. iléon/N. ingéré (g/100g)	-1,78 (4,13)	3,94 (3,66)	0,20 (3,82)	NS
N. fèces/N. ingéré (g/100 g)	0,38 (4,97)	0,57 (5,19)	-2,01 (4,89)	NS
Digestion				
N. digéré I. grêle/N. ingéré (g/100g)	0,31 (13,11)	5,75 (13,07)	0,77 (13,68)	NS
N. digéré total/N ingéré (g/100 g)	1,85 (13,50)	10,27 (12,84)	2,99 (15,44)	NS
Utilisation métabolique				
N. urines/N. ingéré (g/100 g)	-3,88 (6,79)	-2,57 (12,06)	-2,39 (9,12)	NS
N. urines/N. duod. absorbé (g/100 g)	-7,74 (12,73)	-11,00 (11,12)	-9,79 (11,17)	NS
N. lait/N. ingéré (g/100 g)	2,82 (9,76)	10,10 (16,08)	4,25 (10,95)	NS
N. lait/N. duod. absorbé (g/100 g)	0,87 (14,20)	6,75 (14,11)	1,68 (13,97)	NS
N. retenu/N. ingéré (g/100 g)	2,95 (10,70)	-2,77 (13,69)	3,31 (13,49)	NS
N. retenu/N. duod. absorbé (g/100 g)	6,87 (19,35)	4,26 (21,88)	8,11 (21,84)	NS

^{NS} P>0,05 au test T de Student-Fisher.

(1): les chiffres entre parenthèses sont les écarts-types de la différence.

Lorsque les paramètres du métabolisme azoté sont rapportés aux quantités du flux duodénal d'azote absorbé dans les intestins, l'hétérogénéité due à l'utilisation digestive est corrigée; dans ce cas, le gain d'azote disponible pour le métabolisme s'exprime uniquement par l'économie de son excrétion urinaire (-7,74 à -11,00 g N./100 g N. absorbé), ce gain est destiné préférentiellement à la rétention azotée (+4,26 à +8,11 g N. supplémentaires/100 g N. absorbé), sa mobilisation pour la production laitière n'est observée que chez le lot de chèvres recevant 0,986 g N.lys/j (+6,75 pts).

De l'ensemble de ces résultats, il ressort que les chèvres recevant 0,986 g N.lys/j ont réalisé les meilleures performances en termes d'utilisation digestive et métabolique de l'azote, c'est le seul niveau de supplément ayant permis une nette augmentation de la production d'azote du lait. Lorsque la quantité de N. lys apporté en supplément augmente (1,669 g/j), les avantages observés sur le flux intestinal et l'utilisation digestive de l'azote sont pratiquement annulés; mais un meilleur rendement métabolique de l'azote absorbé persiste, principalement en termes de rétention azotée.

3242. Discussion.

L'introduction des acides aminés de synthèse dans l'alimentation des ruminants procède d'un objectif de correction des carences en acides aminés limitant le métabolisme cellulaire de structure (croissance et développement du jeune organisme), le métabolisme de régulation (biosynthèses enzymatiques) et les voies métaboliques à l'origine d'une production animale (laine, poils, lait). Le caractère limitant de certains acides aminés provient de l'incapacité (totale ou partielle) des cellules de l'organisme à les synthétiser en cas de carence; ils doivent être fournis aux cellules par l'intermédiaire de l'absorption digestive. Les acides aminés considérés comme indispensables (au sens métabolique du terme) chez les ruminants sont les mêmes que ceux définis par ROSE (cité par MacRAE et al. 1972, 1985) chez le rat (Arg, His, Ileu, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Val, Tyr, Cys). La tyrosine et la cystine sont néanmoins souvent classées chez le ruminant comme acides aminés non indispensables (TAMMINGA 1975, YOUNG et al. 1981, MERCHEN et al. 1986, ROGERS et al. 1986). La notion d'AA indispensables est controversée chez les ruminants au regard de leurs particularités digestives: la majeure partie des protéines arrivant au duodénum est d'origine microbienne, globalement bien pourvue en acides aminés et de composition relativement constante. Les nouvelles méthodes d'évaluation du besoin aminé chez le jeune ovin en croissance (STORM et ORSKOV 1984) montrent cependant que ces protéines restent carencées en méthionine, en lysine, en arginine et en histidine. Comparées au profil aminé du lait, les protéines bactériennes sont carencées, selon WELLER et KAUFMANN (cités par DENNISON et PHILLIPS 1983), en leucine, en tyrosine, en histidine, en sérine, en glutamine et en proline. La DL-méthionine (et son Hydroxy-analogue) et la L-lysine monochlorhydrate sont les produits aminés les plus utilisés comme additifs alimentaires tant chez les monogastriques en croissance (porcs et volailles, PARSONS et POTTER 1981, BATTERHAM et MURISON 1981, WALTON et al. 1984) que chez les ruminants en croissance et en lactation (Tabl. 57). Pour cette dernière catégorie d'animaux, l'utilisation des acides aminés en l'état pose un problème particulier car ils sont très largement dégradés dans le rumen (COTTLE et VELLE 1989). On procède alors soit à leur infusion par la canule du duodénum (réalisable seulement en conditions expérimentales), soit à leur protection (par enrobage lipidique ou par polymérisation) pour diminuer de leur dégradabilité. Le taux de recouvrement duodénal de la L-lysineHCl polymérisée est de $53,2 \pm 4,9$ p.100 (AMOS et al. 1980); lorsqu'elle est enrobée, GLENN et ELY (1984) retrouvent 65,1 p.100

Tableau 57. Modifications du flux digestif d'azote et de son utilisation métabolique occasionnées par l'addition d'acides aminés de synthèse et de caséine à la ration des ruminants.

Animaux	% PB ration	Supplément g/j AA		Mode d'apport	Flux de Nt (4) (g/jour)			Bilan Nt (4) (g/jour)			Efficacité digestive et métabolique (g/g)		Auteurs
					Ingéré	Duod.	Fèces	N absorbé	N urines	N retenu	N absorbé/ N AA adm.	N retenu/ N AA adm.	
Agneaux	12,0	0,38	MP	infusé R	-0,3		-0,7	+0,4	-0,8	+1,2	6,6	19,7	OKE et al. 1986
	12,0	1,00	LP	infusé R	+1,2		+0,1	+1,1	+0,3	+0,8	6,9	5,0	
	12,0	1,29	MLP	infusé R	+0,3		-0,8	+1,1	-1,3	+2,4	5,3	11,6	
	11,2	1,29	MLP	infusé R	0,0		-0,1	0,0	-0,9	+1,0	0,0	4,8	
	11,2	1,29	MLP	ingéré	0,0		+0,1	-0,1	-1,1	+1,1	-0,5	5,3	
	11,2	1,29	ML	ingéré	0,0		-0,2	+0,2	-0,4	+0,6	1,0	2,9	
Agneaux	10,0	62,0	MSG	infusé R	+5,3		-0,5	+5,8	+3,4	+2,4	1,2	0,5	YOUNG et al. 1981
	10,0	12,0	AA4	infusé R	+5,3		-0,3	+5,6	+3,3	+2,3	2,9	1,2	
	10,0	30,0	AA10	infusé R	+5,3		0,0	+5,3	+1,8	+3,5	1,1	0,7	
Agneaux	14,5	3,0	M	infusé R	0,0		-0,2	+0,2	+0,1	+0,1	0,4	0,2	MOORE et al. 1980
	14,5	3,0	M	infusé R	0,0		-0,2	+0,2	-0,6	+0,8	0,4	1,7	
Agneaux	11,1	0,3	MP	ingéré	0,0		-0,3	+0,2	+0,4	-0,2	4,2	-4,2	WRIGHT et LOERCH 1988
	11,1	0,6	MP	ingéré	0,0		-0,1	+0,1	+0,3	-0,2	1,0	-2,1	
	11,1	0,9	MP	ingéré	-0,1		-0,3	+0,2	+0,1	+0,2	1,4	1,4	
	11,1	1,2	MP	ingéré	0,0		0,0	0,0	+0,2	-0,1	0,0	-0,5	
Agneaux	9,8	5,0	L	infusé R	+0,2		-0,2	+0,4	-0,6	+1,0	0,7	1,6	AMOS et al. 1980
	9,8	7,0	ML	infusé R	+0,9		-0,2	+1,1	-0,1	+1,2	1,2	1,3	
	9,8	2,6	L	infusé R	+0,4		0,0	+0,4	0,0	+0,4	1,3	1,3	
	9,8	5,2	L	infusé R	+0,8		0,0	+0,8	+0,1	+1,7	1,3	2,7	
	9,8	5,0	L	ingéré	+0,1		-1,0	+1,1	+0,6	+0,5	1,8	0,8	
	9,8	3,5	LP	ingéré	+3,0		+0,5	+2,5	+0,4	+2,1	5,9	4,9	
	9,8	5,5	MLP	ingéré	+3,3		+1,3	+2,0	+0,4	+1,6	2,7	2,1	
Béliers	6,7	9,5	L	ingéré	+2,1	+0,8	-0,2	+2,2	+2,8	-0,6	1,8	-0,5	GLENN et ELY 1984
	6,7	9,5	LP	ingéré	+2,1	-0,6	-0,2	+2,5	+3,3	-0,8	2,1	-0,7	

Tableau 57. (suite).

Animaux	% PB ration	Supplément		Mode d'apport	Flux de Nt (4)			Bilan Nt (4)			Efficacité digestive et métabolique (g/g)		Auteurs
		g/j	AA		Ingéré	Duod.	Fèces	N absorbé	N urines	N retenu	N absorbé/ N AA adm.	N retenu/ N AA adm.	
Jeunes bovins	10,2	24,0	Arg	infusé R	+6,4		+0,5	+5,9	+3,0	+3,0	2,0	1,0	KOENIG et al. 1982
Chèvres en lact.		3,0	LP	infusé R	+3,0	+2,1	+1,2	+1,6	-0,8	+1,0	4,4	2,7	HALBOUCHE résultats actuels
		7,8	LP	infusé R	+1,5	+2,8	+0,2	+1,3	-0,3	+0,8	1,4	0,8	
		13,2	LP	infusé R	+1,1	-0,4	+0,7	+1,8	+0,1	+2,0	1,1	1,3	
Béliers	16,3	60,0	C	ingéré	+9,1	+6,3	+0,6	+8,5	+6,9	+1,3	0,9	0,2	MacRAE et al. 1972
	16,3	60,0	CP	ingéré	+8,8	+8,9	+1,0	+7,8	+4,7	+3,1	0,8	0,3	
Béliers	3,3	140,0	C	infusé D	+19,7		+1,6	+18,1	+7,2	+10,9	0,8	0,5	BEN-GHEDALIA et al. 1976
	3,3	140,0	C	infusé D	+19,7		-0,4	+20,1	+6,6	+13,5	0,9	0,6	
Béliers	10,8	108,0	C	ingéré	+14,5	-0,3	-1,0	+15,5	+16,8	-1,3	0,9	-0,1	LEIBHOLZ et HARTMANN 1972
	1,0	108,0	C	ingéré	+14,7	+6,3	+1,3	+13,4	+6,7	+6,7	0,8	0,4	
Jeunes bovins	3,1	360,0	CP	ingéré	+65,2		+7,9	+57,3	+42,7	+14,7	1,0	0,3	SRISKANDARAJAH et al. 1982
	8,0	383,0	CP	ingéré	+37,0	+14,0							
	8,0	335,0	C	ingéré	+29,0	+4,0							
Vaches en lact.	13,6	200,0	C	infusé R	+27,0		+1,4	+25,6	+6,7	+6,0	0,9	0,2	WHITELAW et al. 1986
	13,6	400,0	C	infusé R	+52,0		+2,9	+49,1	+9,6	+19,3	0,9	0,3	
	13,6	600,0	C	infusé R	+82,0		+3,9	+78,1	+26,5	+27,1	0,9	0,3	

(1): Quantités effectives d'acides aminés apportés.

(2): M=méthionine, MP=méthionine protégée, L=L-lysine HCl, LP=L-lysine HCl protégée, ML= méthionine+lysine, MLP=méthionine+lysine protégées, MSG=monosodium glutamate, AA4=mélange de 4 acides aminés (His, Ile, Phe, Thr), AA10= mélange de 10 acides aminés indispensables, Arg=arginine HCl, C=caséine, CP=caséine protégée.

(3): infusé R=infusé dans le rumen, infusé D=infusé dans le duodénum.

(4): Les valeurs reportées sont des effets nets (valeur mesurée chez le lot supplémenté - valeur mesurée chez le lot témoin non supplémenté).

de la quantité administrée. La méthionine en l'état est moins dégradée dans le rumen que la lysine (COTTLE et VELLE 1989); lorsqu'elle est enrobée, son taux de recouvrement duodénal est de 72 p.100 (ARAMBEL et al. 1987). Des cinétiques de dégradation de la méthionine polymérisée effectuées par WRIGHT et LOERCH (1988) montrent que le produit est très peu dégradé pendant les 6 premières heures suivant son introduction dans le rumen (0,61 p.100/h en moyenne), sa vitesse de dégradation est maximum entre 12 et 24 heures de séjour (2,4 p.100/h en moyenne).

Tenant compte des quantités (en général minimales) apportées en supplément ou en substitution de l'azote de la ration (Tabl. 57), les acides aminés n'entraînent que peu de modifications sur le flux et l'utilisation digestive de l'azote total ingéré par le ruminant en croissance et à l'entretien. L'excrétion fécale journalière d'azote a tendance à diminuer légèrement, mais la digestibilité totale apparente n'est pas significativement améliorée (AMOS et al. 1980, KOENIG et al. 1982, OKE et al. 1986, WRIGHT et LOERCH 1988). Nos résultats montrent, en accord avec ces travaux, que l'addition du produit aminé n'a pas entraîné chez les chèvres en lactation de modifications significatives des quantités journalières de d'azote total (et de Nna) transitant aux différents sites de mesure (ingestion, duodénum, iléon et fèces) et de la digestibilité (totale et compartimentale) de l'azote. Toutefois, lorsque les modifications digestives marginales sont considérées (Tabl. 57), on constate que l'efficacité digestive du supplément aminé est très élevée ($2,11 \pm 2,04$ g N additionnel absorbé/g N AA administré) comparée à l'efficacité digestive des protéines structurées de haute valeur biologique (caséine, $0,87 \pm 0,07$ g N additionnel absorbé/g N caséine administré). L'efficacité digestive du supplément aminé est plus élevée lorsque ce dernier est protégé ($2,97 \pm 2,60$ g N additionnel absorbé/ g N des acides aminés protégés contre $1,32 \pm 0,66$ g N additionnel absorbé lorsque les acides aminés sont administrés en l'état). Le mode d'apport par infusion dans le rumen ou par ingestion avec les aliments ne modifie pas sensiblement l'efficacité digestive du supplément aminé ($2,25 \pm 2,32$ g N additionnel absorbé/g N AA infusé par le rumen contre $1,95 \pm 1,74$ g N additionnel absorbé/g N AA ingéré). La quantité journalière additionnelle d'azote total absorbé est liée à la quantité d'azote des acides aminés administrés (dans la limite des quantités utilisées en supplément par les auteurs) par les régressions suivantes:

$$\text{N AA protégés (g/j)} = 3,58 \text{ N add. absorbé (g/j)} + 0,06$$

$$r=0,81, n=11$$

$$\text{N AA non protégés (g/j)} = 1,24 \text{ N add. absorbé (g/j)} + 0,09$$

$$r=0,95, n=13$$

mais la relation naturelle est certainement de type exponentiel (monomoléculaire) car le coefficient d'efficacité digestive du supplément aminé a tendance à diminuer lorsque les quantités administrées augmentent.

Les résultats obtenus dans notre essai montrent que l'apport du supplément aminé protégé à la chèvre en lactation provoque les mêmes modifications digestives que celles observées par la majorité des auteurs cités (Tabl. 57), à savoir une élévation des quantités additionnelles journalières d'azote total apparemment absorbées par le tube digestif et une bonne efficacité digestive marginale du produit, supérieure à 1,0, mais décroissante (de 4,39 à 1,12) lorsque la quantité de lysine apportée augmente.

Les effets du supplément aminé sur le métabolisme de l'azote sont plus perceptibles que ceux observés sur son utilisation digestive. En plus de son incidence favorable sur l'absorption intestinale, l'addition alimentaire des acides aminés exerce une action de mobilisation de l'azote disponible pour le métabolisme de production (N utilisé pour le lait et N retenu) soit par une économie de l'excrétion urinaire d'azote (AMOS et al. 1980, MOORE et al. 1980, OKE et al. 1986), dans ce cas le coefficient d'efficacité métabolique est supérieur au coefficient d'efficacité digestive (Tabl. 57), soit par une meilleure utilisation métabolique de l'azote additionnel absorbé (AMOS et al. 1980, YOUNG et al. 1981, KOENIG et al. 1982). Ces effets se traduisent parfois, chez le ruminant en croissance, par une élévation du gain de poids journalier, mais les paramètres de carcasse ne sont pas modifiés (GOSSET et al. 1962, OKE et al. 1986, WRIGHT et LOERCH 1988). Lorsque les acides aminés sont additionnés (par ingestion ou par infusion) à des rations de production destinées aux vaches en lactation, les effets observés se traduisent par une élévation du taux protéique du lait, la production laitière n'ayant pas tendance à augmenter, sauf au début de la lactation (RULQUIN 1992, DONKIN et al. 1989, ROGERS et al. 1989). LE HENAFF et al. (1990) détectent au contraire une élévation de la production laitière et du taux butyreux lorsque la lysine et la méthionine sont infusées dans le duodénum des vaches recevant une ration à base d'ensilage de maïs.

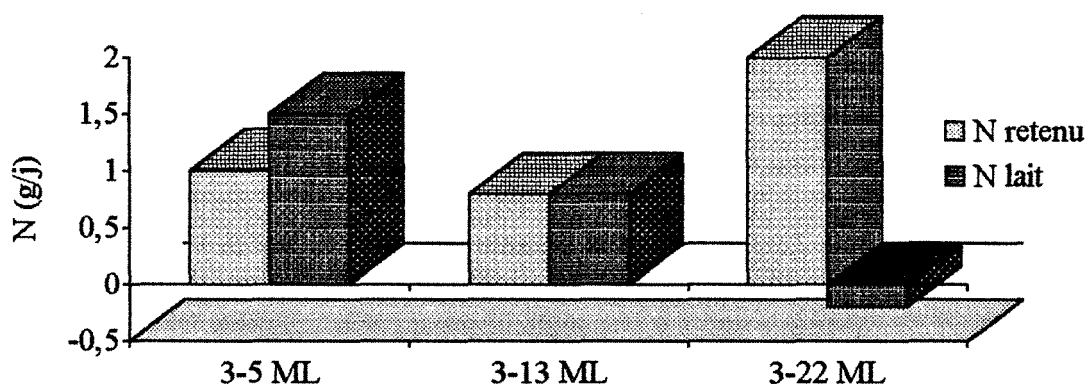


Figure 12. Utilisation chez la chèvre en lactation, de l'azote additionnel absorbé consécutivement à l'apport du produit aminé (ML) en quantités croissantes (3-5, 3-13, 3-22 g/j), (résultats actuels).

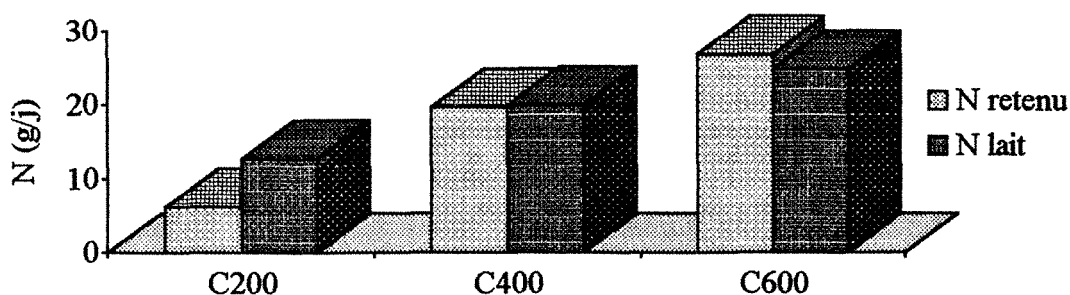


Figure 13. Utilisation chez la vache en lactation, de l'azote additionnel absorbé consécutivement à l'apport de caséine (C) en quantités croissantes (200, 400, 600 g/j), (WHITELAW et al. 1986).

Dans notre essai, le phénomène d'économie de l'azote par une diminution de son excrétion urinaire est observé chez la chèvre en lactation en réponse à l'introduction de L-lysineHCl dans le supplément aminé. Toutefois, l'économie d'azote décroît proportionnellement à l'augmentation des quantités de lysine apportées (de 0,8 g/j de N soustrait à l'excrétion urinaire lorsque la chèvre reçoit 3 g/j de L-lysineHCl à -0,1 g/j lorsque 13,2 g/j de L-lysineHCl sont apportés). La quantité de d'azote disponible pour le métabolisme décroît (Fig. 12), ainsi que le rendement de sa conversion en azote du lait. Ce dernier phénomène est également observé chez la vache en lactation par WHITE LAW et al. (1986) pour des quantités croissantes de caséine infusées dans le rumen (Fig. 13) et par VERITE et al. (1983) dans le cas du supplément en urée.

Lorsque le devenir digestif et métabolique du flux duodéal d'azote est étudié en relation avec les quantités croissantes de L-lysineHCl administrées (Tabl. 56), il apparaît que le supplément aminé provoque un phénomène d'économie aussi bien de son excrétion fécale que de son excrétion urinaire. Le gain d'azote provenant de l'amélioration de son utilisation digestive et métabolique profite cependant plus à la rétention azotée par l'organisme qu'à la production d'azote du lait. De plus, les animaux fortement supplémentés (+1,669 g N.lys/j) ont enregistré des performances moindres quant à la digestion intestinale de l'azote et sa production dans le lait comparés aux animaux recevant 0,986 g N.lys/j., indiquant ainsi une perte d'efficacité digestive et métabolique du supplément aminé.

325. Profils, flux, digestion intestinale et concentration plasmatique des acides aminés.

3251. Résultats.

a). Composition du contenu du duodénum et de l'iléon en acides aminés.

La teneur de 100 g MS du contenu duodéal en Nna, en Np et en acides aminés totaux n'est pas modifiée par l'apport en quantités croissantes du produit méthionine-lysine (Tabl 58). La proportion de l'azote aminé (16g N/100 g AA) dans l'azote non ammoniacal est remarquablement constante (70 à 73 p.100) et ne varie pas entre lots différemment supplémentés. La proportion de N aminé dans Np représente 127 à 137 p.100 ; ces variations ne sont pas dues au supplément aminé. Une teneur en N aminé supérieure à Np indique qu'une fraction des acides aminés du contenu duodéal existe sous une forme non précipitable par le TCA (probablement des acides aminés libres, des amines et des amides réagissant en chromatographie de manière analogue aux acides aminés). Aucune modification de la teneur de 100 g MS du contenu duodéal en acides aminés individuels, en relation avec les niveaux des traitements, n'est observée. La teneur en lysine accuse une légère élévation (1,05 à 1,36 g/100 g MS), mais sans commune mesure avec l'accroissement des quantités apportées en supplément et malgré la protection du produit aminé contre les fermentations du rumen.

Dans 100 g de contenu sec de l'iléon, la variation des teneurs en Nna, Np et en acides aminés totaux n'est pas influencée par les différents niveaux d'apport du supplément aminé (Tabl. 59). N aminé représente 49 à 61 p.100 de Nna sans que ces variations ne puissent être attribuées à un effet du supplément aminé. Compte tenu des proportions enregistrées dans le contenu duodéal sec, on observe un appauvrissement de Nna iléal en acides aminés. Rapportée à l'azote protéique,

la proportion de l'azote aminé varie de 77 à 103 p.100 sans qu'elle soit influencée par les différents niveaux d'apport du supplément aminé. Des valeurs du rapport N aminé/Nprotéique inférieures à 100 p.100 sont difficilement acceptables car elles ne correspondent pas à une réalité biologique; elles peuvent être expliquées par les hypothèses suivantes:

- Le rapport de conversion en N aminé (16 g N/100 g protéines) n'est peut-être pas pertinent quand il s'agit de résidus digestifs ayant subi la dégradation enzymatique dans l'intestin grêle.

- Des erreurs inhérentes aux méthodes de fractionnement de l'azote du contenu de l'iléon mises en oeuvre peuvent survenir (surestimation de Np ou sous-estimation de N aminé).

Tableau 58. Composition du contenu duodénal en acides aminés (g/100 g MS).

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
N non ammoniacal (Nna)	3,66	3,58	3,71	3,77	0,35	NS
N protéique (Np) (1)	1,88	2,04	2,07	1,97	0,25	NS
N des AA dosés/Nna	0,71	0,72	0,73	0,70	0,10	NS
N des AA dosés/Np	1,37	1,27	1,32	1,34	0,21	NS
acide aspartique	1,67	1,71	1,81	1,73	0,21	NS
sérine	0,80	0,82	0,84	0,81	0,09	NS
acide glutamique	2,14	2,26	2,36	2,28	0,19	NS
proline	0,70	0,78	0,78	0,78	0,07	NS
glycine	0,81	0,85	0,88	0,86	0,08	NS
alanine	1,15	1,21	1,20	1,20	0,12	NS
thréonine	0,78	0,80	0,87	0,82	0,09	NS
valine	0,96	0,97	1,02	0,99	0,08	NS
cystine	0,17	0,16	0,23	0,20	0,07	NS
méthionine	0,36	0,37	0,34	0,37	0,05	NS
isoleucine	0,86	0,92	0,96	0,91	0,14	NS
leucine	1,41	1,49	1,53	1,47	0,14	NS
tyrosine	0,79	0,84	0,86	0,79	0,12	NS
phénylalanine	0,75	0,79	0,84	0,81	0,07	NS
lysine	1,05	1,17	1,35	1,36	0,17	NS
histidine	0,44	0,42	0,40	0,34	0,11	NS
arginine	0,67	0,73	0,73	0,70	0,09	NS
Total AA essentiels	8,24	8,66	9,13	8,76		
Total AA non essentiels	7,27	7,63	7,87	7,66		
Total AA	15,51	16,29	17,00	16,42	1,69	NS

^{NS} P>0,05.

(1): précipité par une solution de TCA (8 p.100 p/v final) après hydrolyse (90°C, 10 mn).

Tableau 59. Composition du contenu de l'iléon en acides aminés (g/100 g MS).

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
N non ammoniacal (Nna)	1,80	1,72	1,99	1,97	0,23	NS
N protéique (Np) (1)	1,01	1,06	1,26	1,39	0,23	NS
N des AA dosés/Nna	0,55	0,61	0,49	0,55	0,10	NS
N des AA dosés/Np	1,03	0,99	0,77	0,81	0,21	NS
acide aspartique	0,66	0,70	0,65	0,72	0,09	NS
sérine	0,37	0,37	0,37	0,39	0,05	NS
acide glutamique	0,91	0,96	0,89	0,95	0,12	NS
proline	0,38	0,40	0,33	0,39	0,05	NS
glycine	0,39	0,43	0,37	0,43	0,05	NS
alanine	0,49	0,53	0,50	0,55	0,07	NS
thréonine	0,40	0,42	0,36	0,41	0,05	NS
valine	0,37	0,39	0,37	0,41	0,06	NS
cystine	0,14	0,16	0,14	0,14	0,03	NS
méthionine	0,09	0,10	0,09	0,10	0,02	NS
isoleucine	0,31	0,33	0,30	0,34	0,03	NS
leucine	0,49	0,52	0,49	0,53	0,06	NS
tyrosine	0,33	0,35	0,33	0,36	0,04	NS
phénylalanine	0,24 ^{ab}	0,26 ^{ab}	0,22 ^b	0,28 ^a	0,02	*
lysine	0,29	0,33	0,30	0,33	0,04	NS
histidine	0,15	0,16	0,14	0,15	0,02	NS
arginine	0,16	0,17	0,14	0,16	0,04	NS
Total AA essentiels	2,97	3,19	2,88	3,21		
Total AA non essentiels	3,20	3,39	3,11	3,43		
Total AA	6,17	6,58	6,00	6,64	0,72	NS

^{NS}P>0,05 ; *P<0,05. a,b: groupes de moyennes différents au test de NEWMAN-KEULS (P=0,05).

(1): précipité par une solution de TCA (8 p.100 p/v final) après hydrolyse (90°C, 10 mn).

Hormis la teneur en phénylalanine qui subit des variations (irrégulières) lorsque le supplément aminé augmente (P<0,05), les teneurs des autres acides aminés dans le contenu iléal sec ne sont pas modifiées par les niveaux des traitements. Des teneurs en lysine stables (0,29 à 0,33 g/100 g MS iléon) montrent que l'élévation des quantités administrées dans le rumen ne se traduit pas par l'élévation de la teneur dans le contenu iléal.

b). Flux des acides aminés dans le duodénum et dans l'iléon.

Le flux journalier d'azote aminé arrivant au duodénum représente 72 à 74 p.100 de celui de Nna, et 121 à 137 p.100 de celui de Np. Ces proportions ne sont pas modifiées lorsque le produit aminé est apporté en quantités croissantes (Tabl. 60). Aucune variation significative du flux duodénal des acides aminés individuels n'est observée. Le flux duodénal total des acides

aminés n'est également pas modifié, mais on constate une tendance qui introduit la notion de limite (effets de surcharge?) de l'efficacité du produit aminé puisque le gain en acides aminés totaux arrivant au duodénum par gramme de lysine pure additionnelle passe de 8,82 g chez le lot recevant 3-5 g ML à -0,53 g lorsque le traitement 3-13 g ML est appliqué; il diminue encore (-4,31 g) lorsque le supplément aminé apporté est de 3-22 g ML. Il ne semble pas que l'accroissement des quantités de lysine apportée dans le supplément alimentaire soit suivi de celui de son flux journalier dans le duodénum. Lorsqu'on rapporte le gain de lysine duodénale (calculé en retranchant le flux duodénal de lysine du lot témoin recevant 0 g lysine) aux quantités de lysine administrées, on retrouve dans le duodénum 92 p.100 de la lysine administrée chez le lot recevant 3-5 g ML (correspondant à 2,37 g lysine pure administrée). Ce taux n'est que de 55 p.100 lorsque les animaux reçoivent 3-13 g ML (correspondant à une administration de 6,16 g lysine pure), et seulement 24 p.100 de la lysine administrée est retrouvée dans le flux duodénal des animaux

Tableau 60. Flux journalier des acides aminés dans le duodénum.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
N des AA dosés/Nna	0,72	0,74	0,73	0,72	0,11	NS
N des AA dosés/Np	1,37	1,21	1,31	1,35	0,18	NS
Acides aminés (g/jour)						
acide aspartique	18,59	20,31	20,33	18,21	3,64	NS
sérine	8,84	9,66	9,51	8,44	1,42	NS
acide glutamique	23,73	26,66	26,53	23,98	3,53	NS
proline	7,80	9,26	8,76	8,24	1,37	NS
glycine	8,96	10,04	9,83	9,00	1,32	NS
alanine	12,79	14,38	13,55	12,63	2,33	NS
thréonine	8,70	9,55	9,81	8,66	1,73	NS
valine	10,66	11,47	11,48	10,42	1,70	NS
cystine	1,85	1,86	2,61	2,08	0,81	NS
méthionine	3,94	4,44	3,78	3,91	0,92	NS
isoleucine	9,63	10,87	10,77	9,61	2,18	NS
leucine	15,68	17,70	17,25	15,53	2,77	NS
tyrosine	8,78	9,97	9,66	8,36	2,00	NS
phénylalanine	8,33	9,34	9,49	8,54	1,45	NS
lysine	11,70	13,89	15,07	14,19	2,78	NS
histidine	4,88	5,11	4,57	3,56	1,63	NS
arginine	7,46	8,63	8,19	7,40	1,62	NS
Total AA essentiels	91,6	102,9	102,7	92,3		
Total AA non essentiels	80,7	90,3	88,5	80,5		
Total AA	172,3	193,2	191,2	172,8	31,6	NS

^{NS}
P>0,05.

subissant le traitement 3-22 g ML (lysine pure apportée: 10,43 g). Ces valeurs montrent que le taux de recouvrement dans le duodénum de la lysine administrée est fort quand il s'agit de petites quantités; il diminue considérablement lorsque les quantités apportées augmentent, malgré les traitements de protection subis par le produit.

Dans l'iléon des chèvres subissant les différents niveaux du supplément aminé, aucune modification du flux journalier des acides aminés totaux n'est observée (Tabl. 61). De même, les rapports N aminé/Nna et N aminé/Np ne sont pas modifiés malgré des variations entre traitements assez importantes (59 à 78 p.100 pour N aminé/Nna, 87 à 123 p.100 pour N aminé/Np). Considérés individuellement, les quantités d'acides aminés arrivant à l'iléon ne varient pas lorsque les animaux reçoivent différentes quantités du produit aminé.

Tableau 61. Flux journalier des acides aminés dans l'iléon.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
N des AA dosés/Nna	0,67	0,78	0,59	0,77	0,23	NS
N des AA dosés/Np	1,23	1,21	0,87	1,09		
Acides aminés (g/jour)						
acide aspartique	5,87	6,83	5,81	6,82	1,74	NS
sérine	3,30	3,63	3,34	3,65	1,02	NS
acide glutamique	8,08	9,41	8,04	8,98	2,66	NS
proline	3,39	3,95	3,04	3,62	1,10	NS
glycine	3,51	4,20	3,27	4,06	1,12	NS
alanine	4,38	5,22	4,47	5,23	1,55	NS
thréonine	3,55	4,08	3,24	3,87	0,96	NS
valine	3,34	3,82	3,30	3,88	1,16	NS
cystine	1,25	1,63	1,28	1,39	0,56	NS
méthionine	0,78	0,95	0,80	0,92	0,25	NS
isoleucine	2,74	3,21	2,70	3,19	0,88	NS
leucine	4,38	5,07	4,45	5,00	1,37	NS
tyrosine	2,91	3,49	2,95	3,34	0,96	NS
phénylalanine	2,10	2,54	2,02	2,62	0,68	NS
lysine	2,62	3,21	2,72	3,13	0,91	NS
histidine	1,34	1,52	1,26	1,45	0,42	NS
arginine	1,40	1,67	1,25	1,53	0,69	NS
Total AA essentiels	26,4	31,3	26,0	30,3		
Total AA non essentiels	28,5	33,2	28,0	32,4		
Total AA	54,9	64,5	54,0	62,7	17,7	NS

^{NS} P>0,05.

c). Digestion dans l'intestin grêle.

L'élévation des quantités du produit aminé administré dans le rumen n'a pas influencé significativement l'absorption (g/j) et la digestibilité (en p.100 des quantités duodénales) des acides aminés dans l'intestin grêle (Tabl. 62). Au total, il y a bien tendance à une amélioration de l'absorption chez les chèvres recevant jusqu'à 3-13 g ML (+10 g par niveau), mais l'intestin grêle des chèvres fortement supplémentées (3-22 g ML) absorbe quantitativement moins d'acides aminés comparé aux autres lots. L'analyse des écarts au traitement témoin (Fig. 14) montre que l'amélioration de l'absorption intestinale n'est pas sélective, elle concerne pratiquement tous les acides aminés (sauf cystine pour le lot 3-5 g ML, méthionine et histidine pour le lot 3-13 g ML). De même, lorsque le phénomène de baisse de l'absorption intestinale est observé (chez les chèvres recevant 3-22 g ML), il semble concerner la majorité des acides aminés (sauf lysine et proline). Une amélioration de la digestibilité des acides aminés dans l'intestin grêle n'est observée que chez les animaux soumis au régime 3-13 g ML (Fig. 15).

L'absorption dans l'intestin grêle de la lysine subit une légère tendance à l'amélioration lorsque le supplément aminé augmente de 3-0 g ML à 3-13 g ML (+3,27 g/j), mais diminue (-1,29 g/j) lorsque les chèvres passent de 3-13 g ML à 3-22 g ML (Tabl. 74). Sa digestibilité dans l'intestin grêle est meilleure chez les animaux recevant 3-13 g ML (82 p.100) comparé aux autres traitements (76 à 77 p.100). Quel que soit le traitement appliqué, la digestibilité dans l'intestin grêle des acides aminés essentiels est toujours plus élevée que celle des acides aminés non essentiels (+6 à 7 pts, tabl. 74).

d). Concentration plasmatique des acides aminés.

L'apport de lysine dans le produit aminé provoque l'élévation ($P<0,05$) de la concentration des acides aminés totaux dans le plasma sanguin (Tabl. 63), cette concentration est à son niveau le plus fort chez les chèvres recevant 3-13 g ML, mais l'apport supplémentaire de lysine (chez les animaux recevant 3-22 g ML) se traduit au contraire par une baisse relative de la concentration plasmatique. La concentration plasmatique de la lysine est fortement influencée ($P<0,01$) par le supplément aminé (élévation de 1,19 à 3,26 mg/100 ml), malgré une absorption dans l'intestin grêle semblable entre chèvres subissant les différents niveaux d'apport du supplément. La concentration d'un groupe d'acides aminés (Thr, Glu, Val, Ileu, Orn) évolue significativement ($P<0,05$) avec l'élévation du niveau d'apport du produit aminé, mais l'augmentation de la teneur du sérum sanguin est déterminée surtout par le facteur absence-présence de lysine dans le produit aminé (traitement 3-0 g ML comparé aux autres niveaux d'apport), le niveau d'apport de lysine en supplément (traitements 3-5, 3-13, 3-22 g ML) ne provoque que certaines modifications secondaires, particulièrement celles de la glutamine dont la concentration est irrégulière. La concentration sérique des autres acides aminés dosés ne semble pas évoluer significativement avec le niveau d'apport du supplément aminé.

La comparaison du profil des acides aminés absorbés par l'intestin grêle à celui de leur concentration plasmatique (Fig. 16) montre qu'ils sont différents. Le groupe des acides aminés dont la proportion diminue fortement dans le sérum sanguin est constitué de l'asparagine, de la glutamine et de la leucine. A l'inverse, les proportions de la glycine, de l'arginine (de la lysine chez les animaux recevant les régimes 3-13 et 3-22 g ML) sont plus élevées dans le sérum sanguin. La proportion des autres acides aminés (Met, His, Pro, Val, Ala, Ser, Tyr, Thr, Phe, Ile) n'a pas

Tableau 62. Quantités digérées (g/jour) et taux de disparition (en p.100 du flux duodéal, % duod.) des acides aminés dans l'intestin grêle.

		Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
		3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
acide aspartique	g/jour	12,71	13,49	14,51	11,39	3,49	NS
	% duod.	68	66	70	61	10	NS
sérine	g/jour	5,54	6,04	6,17	4,79	1,41	NS
	% duod.	62	62	62	56	10	NS
acide glutamique	g/jour	15,65	17,25	18,48	15,00	3,26	NS
	% duod.	66	64	69	61	9	NS
proline	g/jour	4,41	5,31	5,72	4,61	1,44	NS
	% duod.	56	56	66	53	13	NS
glycine	g/jour	5,44	5,85	6,56	4,94	1,34	NS
	% duod.	61	57	65	53	11	NS
alanine	g/jour	8,41	9,16	9,08	7,40	2,55	NS
	% duod.	65	63	66	57	12	NS
thréonine	g/jour	5,15	5,47	6,56	4,79	1,76	NS
	% duod.	59	56	66	53	12	NS
valine	g/jour	7,32	7,65	8,18	6,54	2,06	NS
	% duod.	69	65	70	60	13	NS
cystine	g/jour	0,60	0,23	1,33	0,69	0,52	NS
	% duod.	29	8	50	30	20	NS
méthionine	g/jour	3,16	3,49	2,97	3,00	0,91	NS
	% duod.	80	77	78	76	7	NS
isoleucine	g/jour	6,89	7,66	8,08	6,42	2,18	NS
	% duod.	71	69	74	65	10	NS
leucine	g/jour	11,30	12,63	12,80	10,53	2,70	NS
	% duod.	72	70	73	66	8	NS
tyrosine	g/jour	5,87	6,48	6,71	5,03	1,94	NS
	% duod.	66	64	69	57	12	NS
phénylalanine	g/jour	6,23	6,80	7,48	5,92	1,37	NS
	% duod.	74	72	78	68	8	NS
lysine	g/jour	9,08	10,68	12,35	11,06	2,47	NS
	% duod.	77	76	82	77	6	NS
histidine	g/jour	3,55	3,59	3,31	2,10	1,53	NS
	% duod.	71	66	71	58	12	NS
arginine	g/jour	6,07	6,96	6,94	5,87	1,80	NS
	% duod.	80	80	84	78	11	NS
Total AA essentiels	g/jour	65,2	71,6	76,7	62,0		
	% duod.	71	70	75	67		
Total AA non essentiels	g/jour	52,2	57,1	60,5	48,1		
	% duod.	65	63	68	60		
Total AA	g/jour	117,4	128,7	137,2	110,1	30,7	NS
	% duod.	68	66	71	62	10	NS

NS
P>0,05.

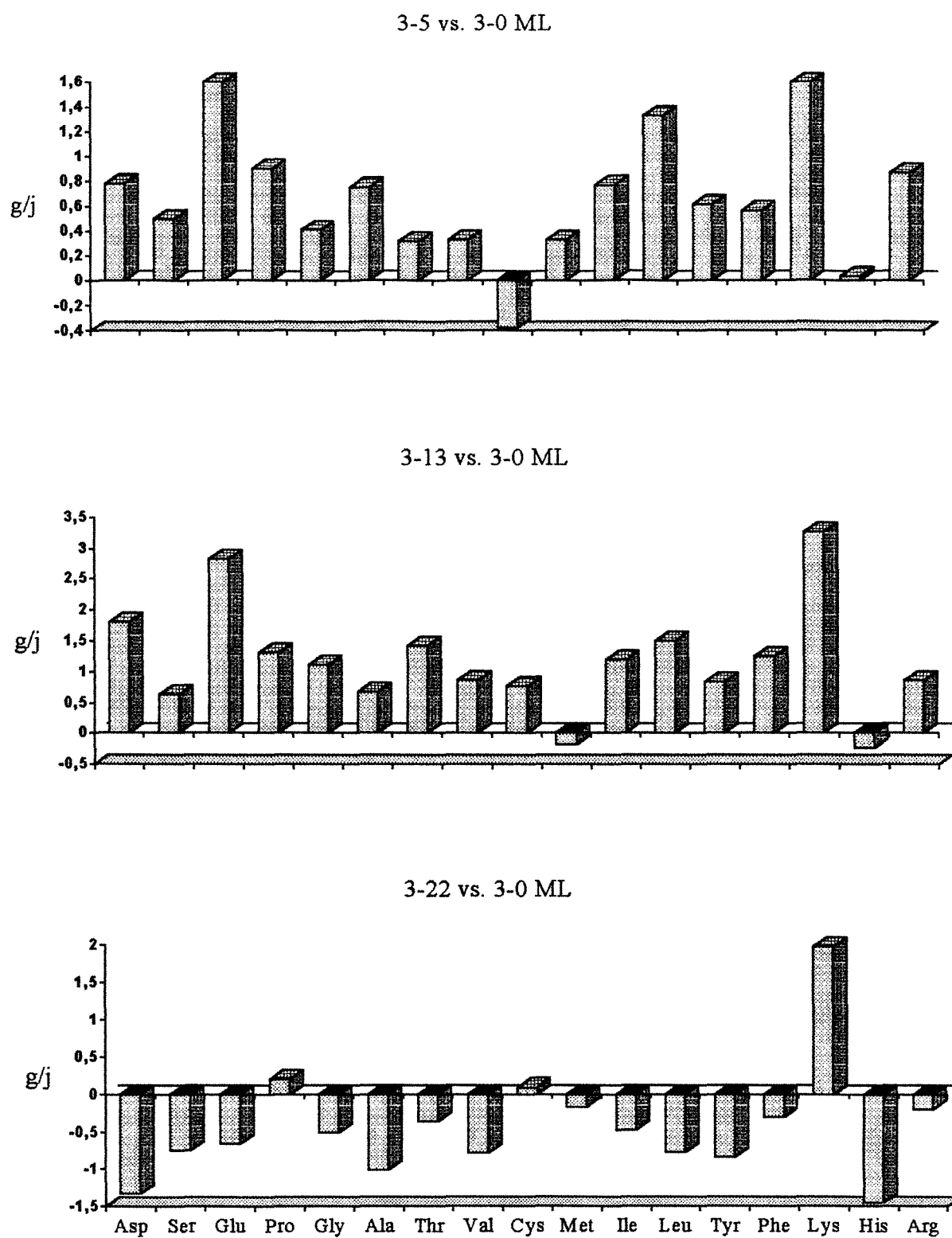


Figure 14. Ecart au témoin de la digestion (en g/jour) des acides aminés dans l'intestin grêle des chèvres.

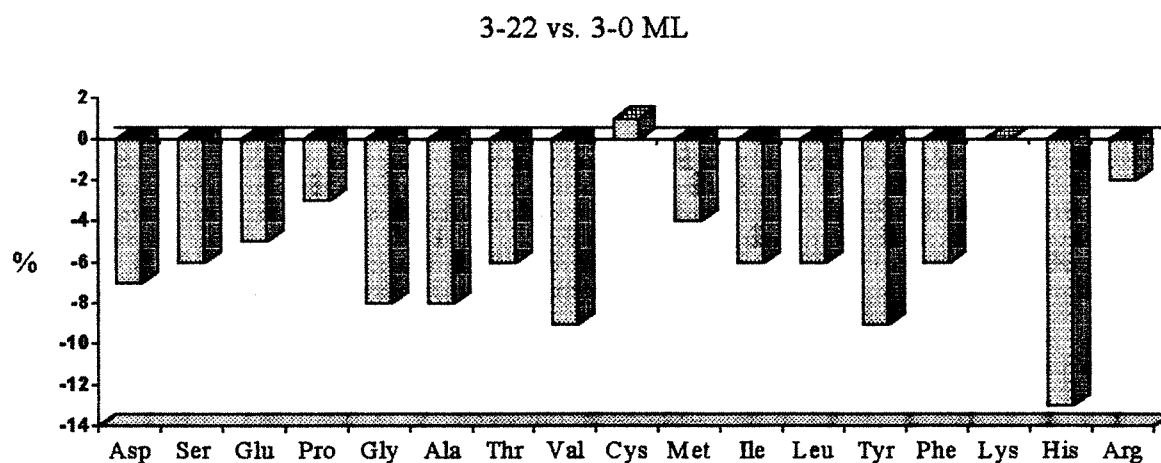
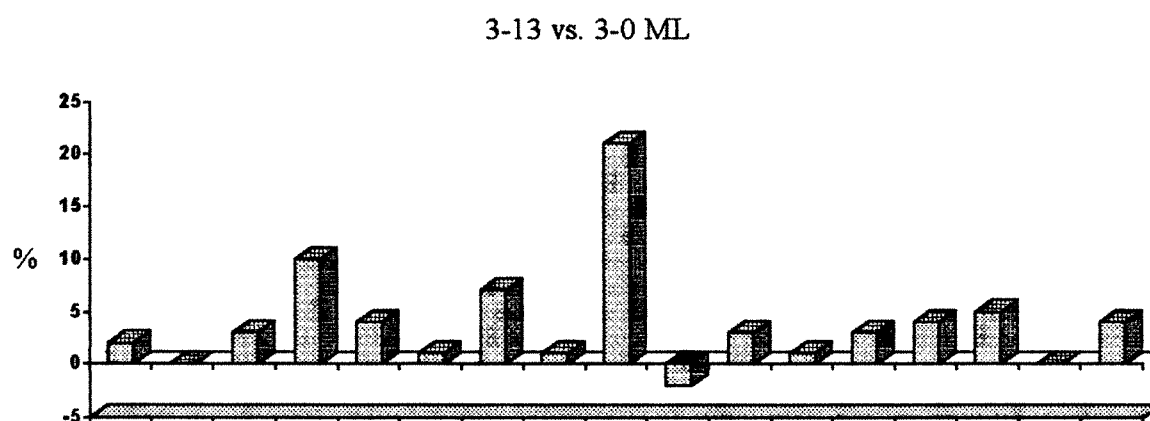
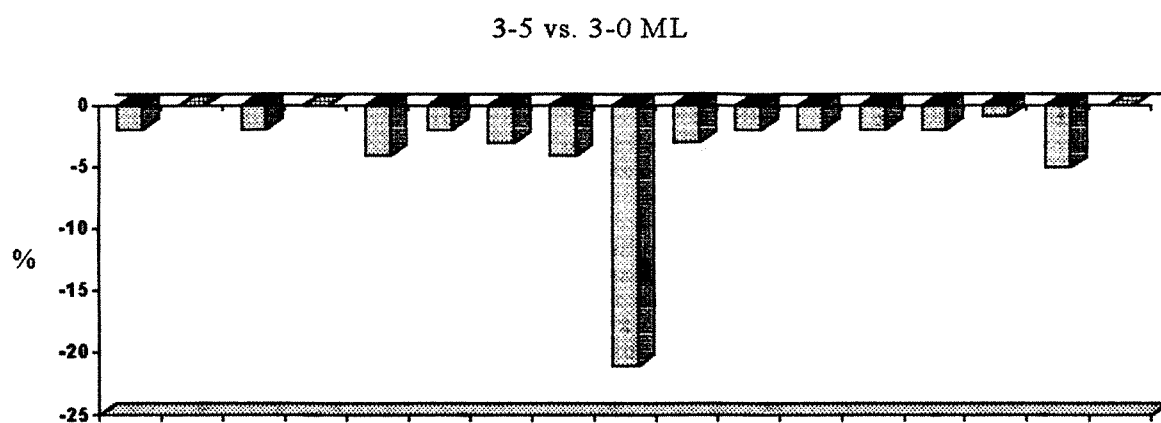


Figure 15. Ecart au témoin de la digestibilité (en p.100 des quantités arrivant au duodénum, %) des acides aminés dans l'intestin grêle des chèvres.

Tableau 63. Concentration des acides aminés libres dans le sérum sanguin (mg/100 ml) prélevé 4 heures après le repas du matin.

	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)				E. type résid.	F
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML		
acide aspartique	0,10	0,15	0,06	0,09	0,07	NS
thréonine	0,28 ^b	0,46 ^a	0,46 ^a	0,40 ^a	0,04	**
sérine	0,48	0,64	0,65	0,60	0,08	NS
glutamine	1,72 ^{ab}	1,54 ^{bc}	1,77 ^a	1,41 ^c	0,09	*
proline	1,26	1,70	1,75	1,37	0,19	NS
glycine	3,58	3,79	3,44	3,60	0,40	NS
alanine	1,30	1,68	1,76	1,62	0,19	NS
citrulline	2,12	2,72	2,81	2,60	0,45	NS
valine	1,25 ^b	1,68 ^a	1,79 ^a	1,61 ^a	0,16	*
méthionine	0,58	0,67	0,77	0,63	0,08	NS
isoleucine	0,58 ^b	0,92 ^a	1,05 ^a	0,82 ^{ab}	0,13	*
leucine	1,10	1,47	1,63	1,30	0,23	NS
tyrosine	0,68	0,99	0,81	0,69	0,11	NS
phénylalanine	0,58	0,64	0,72	0,64	0,05	NS
ornithine	0,73 ^b	1,02 ^a	1,14 ^a	1,12 ^a	0,10	*
lysine	1,19 ^b	2,18 ^a	3,12 ^a	3,26 ^a	0,45	**
histidine	0,69	0,86	0,86	0,62	0,18	NS
arginine	1,88	2,43	2,69	2,53	0,28	NS
Total AA	20,10 ^b	25,54 ^a	27,28 ^a	24,90 ^a	1,80	*

^{NS} P>0,05 ; *P<0,05 ; **P<0,01.

a,b,c: groupes de moyennes différents au test de NEWMAN-KEULS (P=0,05).

sensiblement changé. Ces différences dans les profils indiquent certainement l'existence de sites d'absorption autres que l'intestin grêle, elles sont également à mettre en relation avec la notion de vitesse d'utilisation métabolique des acides aminés par les cellules de l'organisme. En dehors de la lysine (dont la proportion sérique augmente plus vite que sa proportion parmi les acides aminés absorbés dans l'intestin grêle), la proportion des autres acides aminés ne semble pas être influencée par l'administration de quantités croissantes du produit aminé.

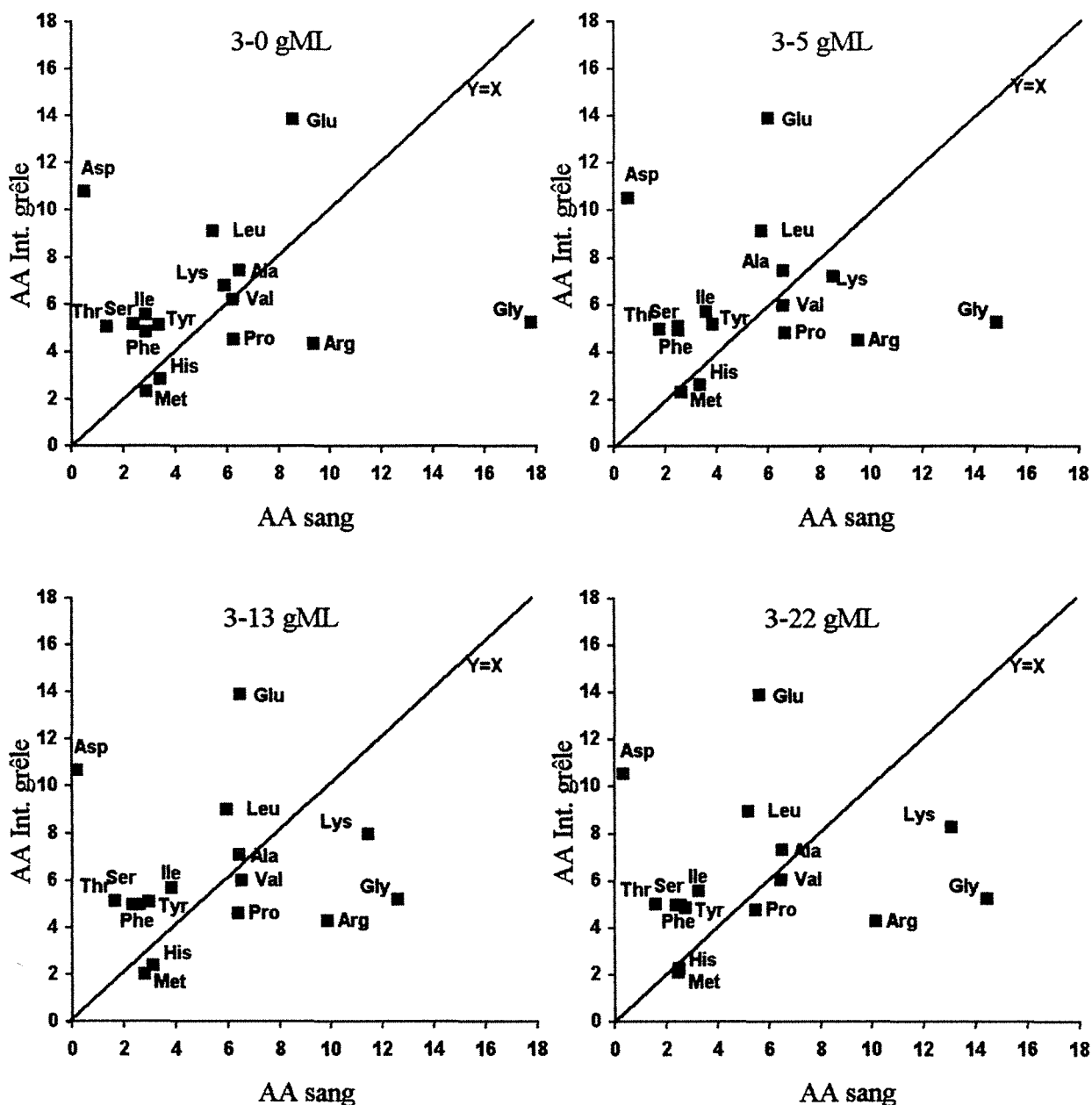


Figure 16. Comparaison du profil des acides aminés absorbés dans l'intestin grêle (AA int. grêle, g/100 g AA) au profil des concentrations dans le plasma sanguin (AA sang, g/100 g AA) des chèvres soumises aux différents niveaux du supplément aminé.

3252. Discussion.

Alors que le flux et la digestion de la lysine dans l'intestin grêle ne sont pas significativement modifiés par le supplément aminé, sa concentration sanguine répond au contraire très fortement à l'accroissement des quantités apportées (Tabl. 64). L'élévation significative de la concentration plasmatique des acides aminés suite à leur addition à l'aliment (ou dans le rumen) est également observée par OKE et al. (1986), WRIGHT et LOERCH (1988) dans le cas du mélange méthionine-lysine, par AMOS et al. (1980) pour la lysine, par KOENIG et al. (1982) pour l'arginine et par YOUNG et al. (1981) dans le cas de l'infusion d'un mélange de 10 acides aminés. ROGERS et al. (1989) montrent aussi que la concentration de Méthionine et de lysine augmente

nettement dans le sérum sanguin des vaches en lactation, suite à l'incorporation de ces acides aminés dans les rations. L'infusion dans le duodénum des vaches en lactation de lysine et de méthionine a entraîné élévation significative de la concentration plasmatique de lysine et de taurine (métabolite de la méthionine) selon SEYMOUR et al. (1990). Nos résultats incitent à penser que des proportions non négligeables de lysine apportée en supplément arrivent dans le sang par l'intermédiaire de l'absorption à travers les parois des réservoirs digestifs (poches gastriques et gros intestin). Il est en effet établi que ces parois sont perméables au passage des acides aminés (DEMAUX et al. 1961, MASON 1984) et que la concentration en N aaminé du sang efférent du rumen (REYNOLDS et HUNTINGTON 1988) et du caecum (JENSEN et ASPLUND 1982) dépend des quantités de protéines (ou d'acides aminés infusés) qui entrent dans ces compartiments. Il y a lieu également de souligner que les valeurs sanguines sont ponctuelles et correspondent théoriquement au pic de la concentration plasmatique en acides aminés après la prise du premier repas, alors que les valeurs concernant l'absorption intestinale sont des moyennes journalières; on ne peut conclure efficacement à une meilleure absorption de la lysine apportée que si on dispose d'une cinétique d'évolution des concentrations plasmatiques correspondant à chaque niveau du traitement.

Tableau 64. Accroissement indiciaire du flux duodéal de lysine, de sa digestion dans l'intestin grêle et de sa concentration dans le plasma sanguin.

Croissance indiciaire	Supplément Méthionine-Lysine (g/jour)			
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML
Flux duodénum	1,00	1,19	1,29	1,21
Digestion intestin grêle	1,00	1,18	1,36	1,22
Concentration plasmatique	1,00	1,83	2,62	2,74

L'élévation de la concentration plasmatique de la lysine est accompagnée dans notre essai de celles de la thréonine, de la valine, de l'isoleucine et de l'ornithine alors que la concentration de l'acide glutamique diminue. AMOS et al. (1980), OKE et al. (1986), WRIGHT et LOERCH (1988), qui additionnent à la ration du ruminant en croissance de la lysine et de la méthionine protégées, séparément ou en mélange, notent également une élévation de la concentration plasmatique de l'arginine, de l'isoleucine et de l'ornithine simultanément à la diminution significative de la concentration plasmatique d'un autre groupe d'acides aminés (glycine, alanine, acide aspartique, histidine, tyrosine, acide glutamique). Même lorsque de la L-méthionine est perfusée dans la veine jugulaire de la chèvre en lactation, des effets d'interaction avec les autres acides aminés sont observés par CHAMPREDON et PION (1979) qui notent une diminution de la concentration plasmatique des acides aminés non indispensables (sérine, alanine). Il est probable que les modifications digestives marginales de l'azote total introduites par le supplément aminé ne concernent pas indifféremment tous les acides aminés, et qu'il y ait donc, soit au niveau de l'intestin grêle, soit au niveau des autres compartiments digestifs, une absorption sélective du groupe d'acides aminés dont la concentration plasmatique est élevée.

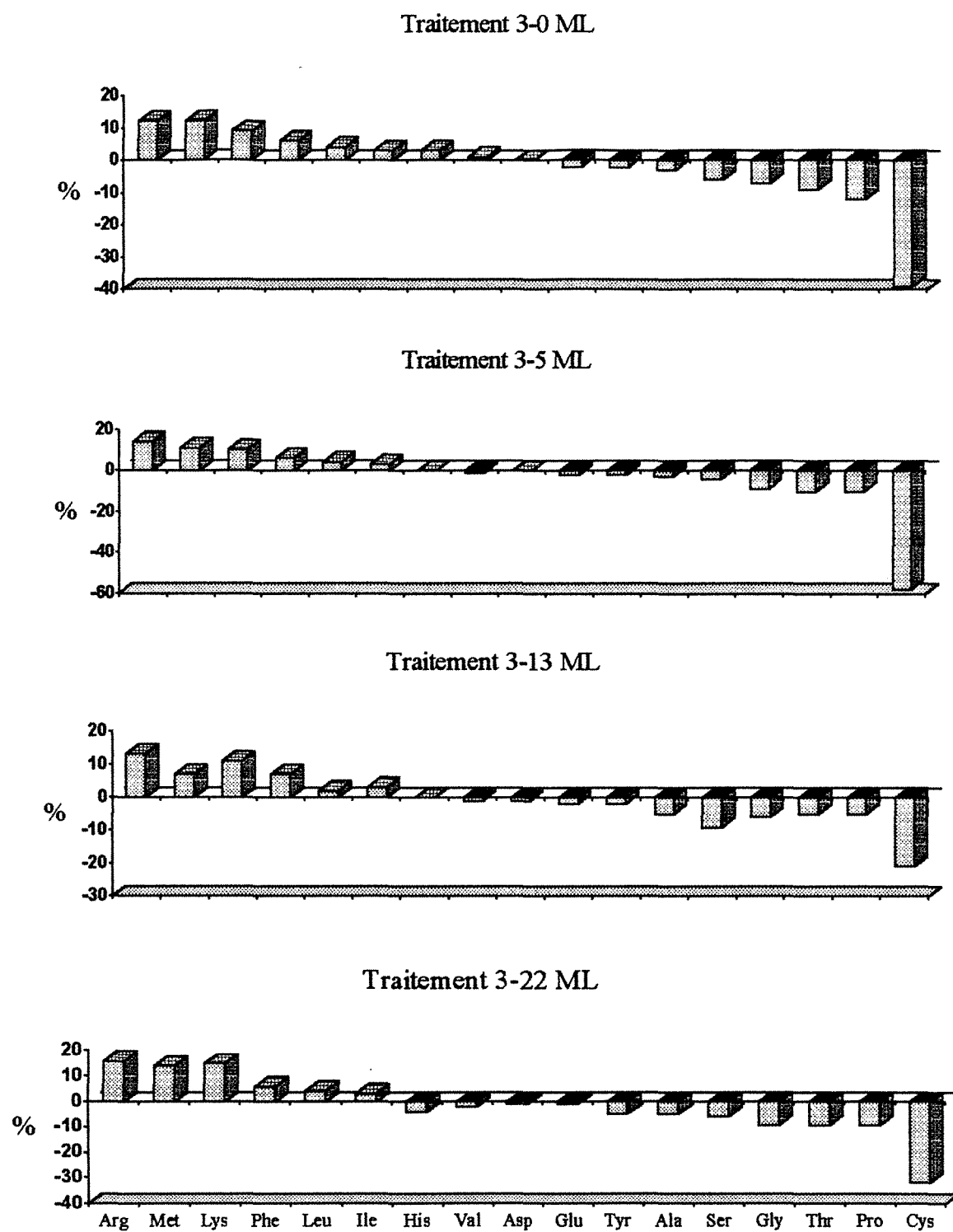


Figure 17. Variation (autour de la digestibilité moyenne) de la digestibilité individuelle des acides aminés dans l'intestin grêle des chèvres soumises aux différents niveaux du supplément aminé.

Alors que la digestibilité dans l'intestin grêle de chaque acide aminé (y compris celle de la lysine) n'est pas modifiée par l'accroissement des quantités de L-lysineHCl administrées, des différences de digestibilité intestinale entre acides aminés sont observées chez la chèvre en lactation (Fig. 17): le groupe d'acides aminés dont la digestibilité individuelle est supérieure à la digestibilité des acides aminés totaux comprend l'arginine, la méthionine, la lysine, la phénylalanine, la leucine et l'isoleucine. Hormis l'arginine, les autres acides aminés constituant ce groupe sont considérés comme limitant la synthèse tissulaire et la production laitière (CHAMPREDON et PION 1979). Chez la vache en lactation, STERN et al. (1985) notent également que la méthionine, la lysine, l'arginine et l'histidine font partie des acides aminés les mieux digérés dans l'intestin grêle. A l'opposé un deuxième groupe d'acides aminés est moins bien digéré; il s'agit de la cystine, de la thréonine, de la proline, de la glycine et de la sérine. Ces 3 derniers acides aminés ne sont pas indispensables, alors que la trop faible digestibilité intestinale de la cystine est confirmée par les travaux de HOGAN et LINDSAY (1979), STERN et al. (1985), et Van BRUCHEM et al. (1989). TAMMINGA (1975) note que le contenu de l'iléon et les fèces s'enrichissent régulièrement en AA soufrés (proportionnellement aux AA totaux) comparés à leur teneur dans le contenu duodénal. Selon Van BRUCHEM et al. (1985c), la digestibilité réelle de cet acide aminé dans l'intestin grêle serait très élevée (85 p.100), mais sa digestibilité apparente est faible (46 p.100) à cause des apports endogènes importants.

33. CONCLUSIONS.

a). Limitation de l'ingestion.

Les résultats de l'essai sur la restriction alimentaire font ressortir la nécessité de tenir compte, dans le raisonnement de l'alimentation du ruminant, non seulement du principe de couverture des besoins mais aussi de l'adéquation des quantités offertes à la capacité d'ingestion de l'animal. En effet, le niveau des synthèses protéiques, ainsi que le niveau du recyclage net d'azote sont meilleurs dans le rumen des chèvres nourries à volonté, même lorsque les besoins énergétiques et azotés sont déjà largement couverts par le régime de restriction. La quantité de matière organique fermentée dans le rumen est également améliorée.

Dans le duodénum, il entre nettement plus d'azote total lorsque les chèvres sont alimentées à volonté. Ce gain d'azote (+11,3 g/j) est supérieur aux quantités additionnelles d'azote ingéré (+9,4 g/j) et représente exclusivement des protéines brutes bactériennes, mieux digérées et mieux utilisées par l'animal. Le rapport N structuré en protéines (Np)/N total, qu'on peut retenir comme indicateur de la qualité de l'azote, est amélioré.

Nous avons observé une tendance à la baisse de la digestibilité apparente de la matière organique dans le rumen et dans l'intestin grêle des chèvres alimentées à volonté, probablement à cause d'une accélération du transit, mais il y a compensation dans le gros intestin, de sorte que la digestibilité apparente totale de la matière organique n'est pratiquement pas affectée. Concernant l'azote, l'augmentation du niveau d'ingestion n'a pas affecté sa digestibilité intestinale; en conséquence la quantité d'azote apparemment absorbée par le tube digestif a augmenté. Cette absorption est métaboliquement utile car elle est intervenue en totalité dans l'intestin grêle.

Même si le niveau de rétention azotée nous semble surestimé, il demeure que l'élévation du niveau d'ingestion de l'azote de la ration n'a pas été accompagné de l'élévation de l'excrétion urinaire d'azote. Le taux d'azote uréique urinaire a même eu tendance à baisser (de 78 à 74 p.100 de N urinaire) indiquant probablement une meilleure mobilisation de l'urée sanguine par la paroi du rumen.

b). Supplément en méthionine-lysine .

L'utilisation de la L-lysine HCl protégée comme additif alimentaire à la ration formulée pour la chèvre en lactation n'a pas significativement influencé les paramètres zootechniques traditionnels mesurés (bilans azotés, production laitière et qualité de l'azote du lait). Au niveau digestif, les modifications observées quant-à la production bactérienne du rumen et la valorisation digestive des composés énergétiques et azotés n'ont pas été suffisantes pour déterminer de manière certaine un effet avantageux du produit aminé. Il est probable, au vu de ces résultats et tenant compte de la structure et de la valeur alimentaire des rations formulées, que la lysine n'a pas été un facteur limitant la production laitière. Toutefois, il n'est pas exclu que l'apport alimentaire de L-lysineHCl ait modifié le profil aminé des protéines du lait si on considère les changements occasionnés sur l'aminoémie.

Malgré l'absence d'effets significatifs produits sur les bilans digestif et métabolique de l'azote, il est intéressant de noter les modifications marginales introduites par le supplément de L-lysineHCl sur la digestion de l'azote et son utilisation métabolique:

- Lorsque 3 g/j de L-lysineHCl sont apportés, l'efficacité digestive marginale du produit est très élevée; elle est accompagnée d'une nette réduction de l'excrétion urinaire d'azote et d'une orientation préférentielle de l'azote disponible pour le métabolisme vers la production laitière.

- Lorsque les quantités administrées de L-lysineHCl augmentent (7,8 et 13,2 g/j), les avantages marginaux observés sur la digestion et le métabolisme de l'azote deviennent moins nets, jusqu'à s'annuler ou s'inverser chez les chèvres fortement supplémentées: l'efficacité digestive marginale du produit décroît jusqu'à l'unité, l'excrétion urinaire d'azote augmente et la production laitière diminue. Ce type d'évolution indique qu'il existe, pour la lysine, un effet seuil au-delà duquel les apports provoquent des perturbations d'ordre métabolique, particulièrement sur la production laitière.

A N N E X E S

Annexe A: Tableaux relatifs à l'essai N°1 (restriction alimentaire).

Annexe B: Tableaux relatifs à l'essai N°2 (supplémentation en méthionine et lysine protégées).

ANNEXE A

Tableau A1. Rations distribuées (g/jour).

	Foin de prairie	Luzerne deshydratée	Pulpes de better. deshydratées	Total
Chèvres nourries à volonté				
71-L	799	780	809	2388
78-L	860	840	871	2571
122-L	614	600	622	1836
Chèvres restreintes				
71-L	548	534	554	1636
78-L	584	570	592	1746
122-L	428	418	433	1279

Tableau A2. Composition chimique et valeur nutritionnelle des aliments.

Code (1)		MS g/kg	MO (2)	Nt (2)	Ns (2)	N.NH ₃ (2)	ANP (2)	Valeur nutritionnelle (g/kg MS)			
								PDIA	PDIN	PDIE	UFL
	Période 1										
461	Foin de prairie	910	922	15,6	4,6	1,8	4,4	26	61	75	0,69
564	Luzerne desh.	918	883	27,2	7,2	0,9	6,7	53	107	93	0,70
599	Pulpe bett. desh.	886	938	13,8	2,1	1,0	1,9	35	56	105	1,01
	Période 2										
461	Foin de prairie	901	916	16,0	3,9	1,2	3,8	26	62	75	0,69
564	Luzerne desh.	911	880	27,5	6,4	0,8	6,1	54	109	94	0,70
599	Pulpe bett. desh.	885	940	13,6	2,4	1,1	2,1	34	55	105	1,01

(1): N° de l'aliment dans la table des valeurs nutritionnelles (INRA 1988).

(2): g/kg MS.

Tableau A3. Quantité et composition chimique des refus alimentaires.

Chèvres (1)	Nature des refus	Quantité g/j (2)	MS g/kg	MO g/kg MS	Nt g/kg MS	Ns g/kg MS	N.NH ₃ g/kg MS	ANP g/kg MS
71-L	concentré	204 (92)	907	937	13,6	1,9	0,9	1,7
78-L	foin	437 (56)	911	941	12,7	4,1	1,6	3,6
122-L	concentré	52 (24)	910	861	25,7	4,1	0,8	3,9

(1): L=chèvres nourries à volonté.

(2): Les chiffres entre parenthèses sont les écarts-types intrapériode.

Tableau A4. Composition chimique (g/litre) du contenu du duodénum (regroupement journalier).

Chèvres (1)	MS	MO	Nt	N.NH ₃	ANP	ARN	DAP	Cr ₂ O ₃	PEG
71-L									
Contenu total	40,2	32,4	1,587	0,066	0,613	1,113	0,027	0,065	0,807
Filtrat (2)	18,1	11,1	0,895	0,053	0,602	0,410	0,016	0,010	0,678
78-L									
Contenu total	59,4	49,9	2,402	0,042	0,954	2,892	0,044	0,092	1,211
Filtrat (2)	28,4	18,9	1,537	0,038	0,937	1,569	0,021	0,030	1,191
122-L									
Contenu total	50,1	40,4	1,877	0,043	0,902	3,081	0,029	0,103	1,373
Filtrat (2)	26,3	17,3	1,356	0,041	0,988	1,368	0,024	0,026	1,394
71-R									
Contenu total	38,4	30,2	1,634	0,080	0,697	1,676	0,021	0,093	1,039
Filtrat(2)	17,9	10,9	1,012	0,068	0,669	1,712	0,015	0,009	1,044
78-R									
Contenu total	56,5	46,1	2,015	0,026	0,773	2,566	0,026	0,127	1,322
Filtrat (2)	26,6	17,4	1,338	0,028	0,741	0,375	0,013	0,030	1,363
122-R									
Contenu total	62,2	51,8	2,413	0,029	1,026	1,357	0,034	0,169	2,009
Filtrat (2)	31,8	21,2	1,707	0,033	1,033	0,580	0,021	0,051	2,043

(1): L=chèvres nourries à volonté, R=chèvres restreintes (75% du consommé à volonté).

(2): Filtrat obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A5. Composition chimique (g/litre) du contenu de l'iléon (regroupement journalier).

Chèvres (1)	MS	MO	Nt	N.NH ₃	ANP	ARN	DAP	Cr ₂ O ₃	PEG
71-L									
Contenu total	82,5	65,6	1,927	0,279	0,990	0,917	0,040	0,217	3,409
Filtrat (2)	50,0	33,3	1,685	0,263	0,979	0,918	0,033	0,190	3,471
78-L									
Contenu total	105,5	82,9	2,305	0,241	1,226	1,494	0,056	0,266	4,682
Filtrat (2)	63,7	42,1	2,095	0,185	1,190	1,305	0,047	0,224	4,916
122-L									
Contenu total	93,9	74,8	2,030	0,162	0,991	1,031	0,043	0,294	4,608
Filtrat (2)	57,0	39,1	1,853	0,194	0,978	1,052	0,039	0,254	4,629
71-R									
Contenu total	87,2	68,6	1,932	0,337	1,008	0,702	0,046	0,279	4,471
Filtrat(2)	53,8	35,9	1,717	0,197	0,991	0,691	0,038	0,227	4,766
78-R									
Contenu total	88,9	70,4	1,806	0,083	0,924	1,026	0,040	0,256	4,041
Filtrat (2)	54,2	35,9	1,577	0,134	0,936	0,958	0,038	0,215	4,411
122-R									
Contenu total	83,3	65,8	1,909	0,087	1,008	0,733	0,032	0,352	4,589
Filtrat (2)	50,8	34,3	1,638	0,107	1,041	0,666	0,025	0,275	4,763

(1): L=chèvres nourries à volonté, R=chèvres restreintes (75% du consommé à volonté).

(2): Filtrat obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A6. pH et concentration en azote ammoniacal (mg/100 ml) du jus de rumen.

Heures de prélèvement	Chèvre 71-L		Chèvre 78-L		Chèvre 122-L		Chèvre 71-R		Chèvre 78-R		Chèvre 122-R	
	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃
8h	6,75	35	6,82	31	6,68	22	6,74	17	6,79	12	6,73	43
9h	6,23	30	5,75	26	6,08	9	6,40	15	6,18	14	6,12	28
10h	6,18	29	5,71	24	6,13	7	6,31	13	6,13	12	5,92	20
14h	6,67	16	6,11	10	6,03	4	6,62	5	6,27	6	6,08	14
16h	6,62	15	6,13	5	6,12	4	6,65	5	6,34	9	6,12	12
17h	5,90	39	5,66	26	6,12	11	5,80	17	5,89	16	5,81	28
18h	5,84	32	5,57	22	5,96	7	6,06	16	5,75	15	5,73	24
20h	5,85	24	5,61	10	5,87	6	6,06	10	5,71	6	5,62	16
22h	5,87	10	5,70	10	5,84	5	5,90	5	5,75	6	5,74	12

Tableau A7. Paramètres calculés de fermentation dans le rumen.

	Chèvres et régimes					
	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
pH	6,15	5,78	6,02	6,23	6,00	5,89
N.NH ₃ (mg/100 ml)	24	17	7	12	10	19
MODR (g/jour)	777	767	712	661	696	523
MO fermentée (1) (g/jour)	1072	1205	971	909	941	670
Recycl. net N (g/jour)	11,2	10,3	4,6	9,4	5,6	5,5

(1): MO fermentée=MODR+MO d'origine bactérienne arrivant au duodénum.

Tableau A8. Excrétion et composition chimique des urines et des fèces.

	Chèvres et régimes					
	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
Urines						
Excrétion (ml/jour)	1383	2202	2200	1217	2463	690
Nt (g/litre)	6,269	5,078	4,278	8,588	4,674	11,020
N uréique (g/litre)	4,474	3,849	3,259	6,831	3,698	8,190
Allantoïne (g/litre)	2,385	1,547	1,435	2,282	1,344	3,238
Fèces						
Excrétion (g/jour)	2241	1972	1241	1402	1332	726
MS (g/kg)	345	347	415	376	405	478
MO (g/kg MS)	853	857	829	842	846	844
Nt (g/kg MS)	19,320	20,161	20,322	20,230	19,928	19,484
N.NH ₃ (g/kg MS)	0,248	0,374	0,295	0,475	0,375	0,496
ANP (g/kg MS)	4,944	5,493	5,346	5,200	6,228	5,879
ARN (g/kg MS)	6,980	9,130	11,120	13,970	13,481	9,081
DAP (g/kg MS)	0,227	0,253	0,274	0,245	0,200	0,294
Cr ₂ O ₃ (g/kg MS)	2,698	2,769	3,845	3,778	3,564	4,856
PEG (g/kg MS)	31,795	35,782	49,103	46,821	48,213	71,594

Tableau A9. Ingestion et flux intestinal (duodénum, iléon).

	Chèvres et régimes					
	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
Ingestion (g/jour)						
MS foin	728	385	553	494	526	390
MS concentrés	1249	1543	1068	959	1043	767
MS totale	1977	1928	1621	1453	1569	1157
MO	1803	1794	1480	1327	1431	1058
Nt	38,2	38,8	30,6	27,7	29,8	21,8
Ns	8,4	8,5	6,8	6,1	6,6	4,7
N.NH ₃	2,5	2,2	1,5	1,5	1,7	1,5
ANP	9,0	8,4	6,4	5,8	6,2	5,0
Duodénum						
Volume (l/jour)	30,1	20,2	18,4	23,7	19,5	12,3
MS (g/jour)	1262	1219	948	858	930	664
MO (g/jour)	1026	1027	769	666	735	535
Nt (g/jour)	49,4	49,1	35,1	37,1	35,4	27,3
N.NH ₃ (g/jour)	2,0	0,9	0,8	1,9	0,5	0,4
ANP (g/jour)	18,5	19,3	16,5	16,4	14,9	12,7
ARN (g/jour)	33,5	58,5	56,8	39,7	50,0	16,7
DAP (g/jour)	0,799	0,895	0,528	0,507	0,500	0,415
N des bactéries (g/jour)	28,5	42,3	25,0	23,9	23,6	14,2
MO des bact. (1)(g/j)	295	438	259	248	245	147
Iléon						
Volume (l/jour)	7,5	5,7	5,5	5,9	6,8	5,3
MS (g/jour)	1169	982	846	731	755	364
MO (g/jour)	1038	843	731	616	627	273
Nt (g/jour)	18,6	15,0	12,8	12,8	13,3	9,5
N.NH ₃ (g/jour)	2,4	1,9	0,6	2,9	0,3	0,5
ANP (g/jour)	7,6	7,3	5,6	6,1	6,3	5,4
ARN (g/jour)	6,9	8,5	5,0	4,2	7,0	3,9
DAP (g/jour)	0,302	0,317	0,240	0,274	0,275	0,172

Tableau A10. Bilans de l'utilisation de l'azote alimentaire (g/jour).

	Chèvres et régimes					
	71-L	78-L	122-L	71-R	78-R	122-R
N ingéré	38,2	38,8	30,6	27,7	29,8	21,8
N fèces	15,0	13,8	10,5	10,6	10,7	6,8
N absorbé	23,2	25,0	20,1	17,1	19,1	15,0
N urines	8,7	11,2	9,4	10,5	11,5	7,6
N retenu	14,5	13,8	10,7	6,6	7,6	7,4

Tableau A11. Composition chimique des prélèvements du duodénum de la chèvre 71-L.

Heures de prélèv.	MS		MO		Nt		N.NH ₃		Cr ₂ O ₃		PEG	
	CT(1)	F (1)	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F
8h	26	15	18	9	1,226	0,692	0,076	ND	0,036	0,004	0,907	0,901
10h	29	19	21	10	1,207	0,701	0,078	-	0,035	0,003	0,881	0,898
12h	32	17	26	10	1,236	0,738	0,045	-	0,044	0,011	0,575	0,576
14h	33	17	26	11	1,309	0,711	0,048	-	0,049	0,010	0,610	0,621
16h	32	15	25	9	1,320	0,801	0,043	-	0,058	0,012	0,771	0,759
18h	32	19	25	11	1,345	0,988	0,075	-	0,043	0,008	1,139	1,172
20h	30	17	22	10	1,350	0,868	0,092	-	0,036	0,012	0,965	0,972
22h	52	24	44	16	1,929	1,106	0,080	-	0,088	0,013	0,946	1,035
0h	53	19	44	13	1,704	1,033	0,064	-	0,095	0,013	0,930	0,942
2h	55	19	46	11	2,117	1,281	0,067	-	0,108	0,018	0,746	0,766
4h	53	18	45	12	2,160	0,842	0,056	-	0,094	0,014	0,636	0,590
6h	55	19	47	12	2,136	0,979	0,071	-	0,091	0,004	0,580	0,656

(1): CT=contenu total, F=filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A12. Composition chimique des prélèvements du duodénum de la chèvre 78-L.

Heures de prélèv.	MS		MO		Nt		N.NH ₃		Cr ₂ O ₃		PEG	
	CT(1)	F (1)	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F
8h	64	25	54	15	2,414	1,453	0,067	ND	0,092	0,022	0,816	0,811
10h	55	30	46	22	2,142	1,269	0,053	-	0,076	0,038	1,956	1,982
12h	57	25	49	17	2,171	1,198	0,041	-	0,091	0,022	1,407	1,435
14h	58	23	49	13	2,247	1,222	0,033	-	0,093	0,025	1,102	1,121
16h	59	25	49	15	2,537	1,531	0,031	-	0,083	0,023	1,144	1,168
18h	46	32	37	22	2,041	1,495	0,039	-	0,071	0,041	2,290	2,303
20h	65	25	55	14	2,358	1,501	0,037	-	0,092	0,029	1,426	1,432
22h	55	24	46	12	2,295	1,658	0,033	-	0,097	0,042	1,290	1,259
0h	69	33	60	24	2,774	1,990	0,043	-	0,118	0,024	1,018	1,102
2h	62	34	53	26	2,720	1,794	0,039	-	0,104	0,029	0,816	0,760
4h	63	32	54	23	2,643	1,617	0,041	-	0,099	0,028	0,685	0,742
6h	59	33	49	23	2,484	1,706	0,046	-	0,084	0,038	0,581	0,609

(1): CT=contenu total, F=filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A13. Composition chimique des prélèvements du duodénum de la chèvre 122-L.

Heures de prélèv.	MS		MO		Nt		N.NH ₃		Cr ₂ O ₃		PEG	
	CT(1)	F (1)	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F
8h	46	30	36	20	2,051	1,634	0,039	ND	0,083	0,021	0,752	0,740
10h	60	28	50	19	2,127	1,471	0,068	-	0,095	0,020	2,019	2,099
12h	52	25	42	16	1,781	1,191	0,077	-	0,093	0,027	1,555	1,594
14h	49	25	39	16	1,770	1,273	0,043	-	0,109	0,026	1,400	1,385
16h	52	27	42	18	1,932	1,441	0,038	-	0,127	0,036	1,281	1,323
18h	43	25	34	17	1,639	1,236	0,048	-	0,095	0,025	2,082	2,137
20h	50	27	39	17	1,716	1,294	0,037	-	0,115	0,033	1,894	1,917
22h	44	24	34	16	1,625	1,170	0,035	-	0,106	0,028	1,369	1,401
0h	48	28	38	19	1,854	1,431	0,043	-	0,113	0,035	1,239	1,250
2h	57	27	47	18	2,111	1,457	0,041	-	0,113	0,024	1,114	1,143
4h	59	26	49	18	1,467	1,467	0,024	-	0,109	0,019	1,021	0,999
6h	41	22	33	14	1,712	1,210	0,016	-	0,079	0,018	0,745	0,745

(1): CT=contenu total, F=filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A14. Composition chimique des prélèvements du duodénum de la chèvre 71-R.

Heures de prélèv.	MS		MO		Nt		N.NH ₃		Cr ₂ O ₃		PEG	
	CT(1)	F (1)	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F
8h	35	16	27	9	1,513	0,958	0,082	ND	0,082	0,003	0,576	0,586
10h	33	16	26	9	1,376	0,867	0,148	-	0,064	0,006	1,259	1,298
12h	28	15	22	9	1,323	0,844	0,212	-	0,050	0,005	0,934	0,928
14h	31	17	23	10	1,449	0,878	0,155	-	0,061	0,010	0,985	0,961
16h	40	17	32	10	1,635	0,963	0,022	-	0,098	0,007	0,932	0,928
18h	29	18	21	11	1,413	1,028	0,071	-	0,053	0,006	1,554	1,560
20h	54	23	45	15	2,066	1,235	0,045	-	0,130	0,008	1,415	1,441
22h	47	19	39	13	1,736	1,056	0,030	-	0,125	0,009	1,123	1,130
0h	47	19	38	12	1,891	1,100	0,049	-	0,128	0,015	1,066	1,070
2h	39	18	30	11	1,764	1,081	0,031	-	0,104	0,015	0,988	0,959
4h	39	18	30	11	1,667	1,081	0,050	-	0,104	0,015	0,891	0,916
6h	40	19	31	10	1,770	1,050	0,066	-	0,111	0,009	0,744	0,752

(1): CT=contenu total, F=filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A15. Composition chimique des prélèvements du duodénum de la chèvre 78-R.

Heures de prélèv.	MS		MO		Nt		N.NH ₃		Cr ₂ O ₃		PEG	
	CT(1)	F (1)	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F
8h	59	27	48	18	2,192	1,494	0,031	ND	0,135	0,034	0,703	0,717
10h	55	25	44	16	1,865	1,235	0,051	-	0,097	0,022	1,961	2,025
12h	59	27	48	18	1,960	1,302	0,039	-	0,108	0,033	1,705	1,731
14h	50	22	40	14	1,765	1,095	0,036	-	0,107	0,017	1,281	1,315
16h	50	23	41	15	1,827	1,176	0,133	-	0,125	0,023	1,001	1,049
18h	48	24	38	15	1,721	1,095	0,034	-	0,108	0,016	2,128	2,174
20h	62	27	51	18	2,043	1,285	0,027	-	0,129	0,019	1,771	1,858
22h	55	28	45	18	1,987	1,340	0,022	-	0,132	0,019	1,561	1,579
0h	64	29	53	19	2,285	1,473	0,019	-	0,166	0,047	1,247	1,291
2h	54	28	44	19	2,099	1,450	0,013	-	0,129	0,045	0,997	1,028
4h	63	31	53	22	2,283	1,669	0,015	-	0,156	0,061	0,808	0,833
6h	59	27	49	18	2,000	1,438	0,017	-	0,132	0,029	0,704	0,751

(1): CT=contenu total, F=filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau A16. Composition chimique des prélèvements du duodénum de la chèvre 122-R.

Heures de prélèv.	MS		MO		Nt		N.NH ₃		Cr ₂ O ₃		PEG	
	CT(1)	F (1)	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F	CT	F
8h	67	35	57	24	2,429	1,618	0,032	ND	0,176	0,058	1,210	1,193
10h	63	28	52	17	2,339	1,495	0,046	-	0,158	0,027	2,375	2,401
12h	39	28	30	17	1,778	1,422	0,040	-	0,094	0,042	2,031	2,066
14h	59	31	49	18	2,272	1,511	0,034	-	0,144	0,060	1,979	2,002
16h	63	30	52	19	2,223	1,566	0,028	-	0,172	0,051	1,994	2,018
18h	65	34	54	22	2,416	2,187	0,039	-	0,170	0,029	2,774	2,765
20h	77	36	65	29	2,790	2,129	0,031	-	0,193	0,066	2,351	2,369
22h	55	39	44	29	2,323	1,533	0,029	-	0,148	0,044	2,134	1,999
0h	66	31	55	20	2,607	1,899	0,017	-	0,193	0,055	1,842	1,890
2h	68	30	58	21	2,689	1,842	0,013	-	0,209	0,080	1,680	1,684
4h	65	31	55	21	2,521	1,572	0,019	-	0,194	0,058	1,565	1,558
6h	65	29	56	17	2,580	1,710	0,028	-	0,178	0,042	1,379	1,371

(1): CT=contenu total, F=filtrat correspondant obtenu avec un tamis de 200 µm.

ANNEXE B

Tableau B1. Composition chimique et valeur nutritionnelle des aliments.

Code (1)		MS g/kg	MO (2)	Nt (2)	Ns (2)	NNH ₃ (2)	ANP (2)	Valeur nutritionnelle (g/kg MS)			
								PDIA	PDIN	PDIE	UFL
	Période 1										
495	Foin de prairie	918	934	10,2	2,8	0,7	2,6	17	40	60	0,57
599	Pulpe bett. desh.	880	928	14,3	1,9	1,0	1,8	36	58	106	1,01
566	Maïs desh.	916	943	13,3	3,7	1,1	3,5	26	52	86	0,90
614	Maïs grain	878	983	5,1	3,4	1,0	2,9	20	26	96	1,27
	Période 2										
	Foin de prairie	904	914	11,6	3,2	1,2	2,9	19	45	61	0,57
	Pulpe bett. desh.	890	927	14,4	1,8	1,1	1,6	36	58	106	1,01
	Maïs desh.	864	941	13,2	3,7	1,1	3,4	26	52	85	0,90
	Maïs grain	875	982	4,9	3,2	0,9	2,9	18	24	94	1,27
	Période 3										
	Foin de prairie	889	939	11,7	3,1	1,0	3,0	19	46	62	0,57
	Pulpe bett. desh.	902	926	14,3	1,9	1,1	1,7	36	58	106	1,01
	Maïs desh.	906	942	13,6	3,5	1,1	3,4	26	54	86	0,90
	Maïs grain	876	983	4,7	3,0	1,0	2,9	18	24	94	1,27
	Période 4										
	Foin de prairie	896	907	12,3	3,3	0,8	3,2	20	48	62	0,57
	Pulpe bett. desh.	903	926	14,7	2,7	1,1	2,4	37	60	106	1,01
	Maïs desh.	899	939	13,4	3,5	1,1	3,3	26	53	86	0,90
	Maïs grain	881	985	4,5	3,2	1,1	3,0	17	23	94	1,27
714	Urée								1472		
	Produit méth.			70,5							
	Produit lysine.			88,2							

(1): N° de l'aliment dans la table des valeurs nutritionnelles (INRA 1988).

(2): g/kg MS.

Tableau B2. Quantité et composition chimique des refus alimentaires.

Chèvre et période	Nature des refus	Quantité g/j (1)	MS g/kg	MO g/kg MS	Nt g/kg MS	Ns g/kg MS	N.NH ₃ g/kg MS	ANP g/kg MS
71-P1	Foin	11 (21)	927	944	5,3	1,5	ND	1,3
	Concentré	423 (105)	872	942	15,1	4,6	1,0	4,4
27-P1	Foin	6 (10)	920	856	13,9	3,7	ND	3,5
71-P2	Concentré	770 (89)	872	933	17,4	5,7	0,6	5,2
27-P2	Concentré	490 (119)	884	931	15,4	4,6	0,7	4,5
78-P2	Concentré	60 (120)	893	926	14,5	4,3	0,7	4,2
71-P3	Foin	43 (65)	882	781	12,9	3,1	ND	3,1
	Concentré	537 (53)	865	930	18,9	6,2	1,5	6,1
27-P3	Foin	27 (36)	913	776	16,9	3,8	ND	3,6
	Concentré	467 (158)	873	920	14,5	3,0	0,3	3,0
78-P3	Concentré	239 (92)	884	941	14,9	4,3	0,5	3,0
71-P4	Foin	15 (20)	895	632	9,1	2,0	ND	1,9
	Concentré	862 (51)	880	928	19,1	6,7	1,2	6,0
27-P4	Foin	46 (55)	895	513	9,7	1,9	ND	1,7
	Concentré	381 (32)	880	920	15,3	3,7	0,3	3,5
78-P4	Concentré	429 (90)	881	935	13,9	4,2	0,5	4,1

(1): Les chiffres entre parenthèses sont les écarts-types intrapériode.

Tableau B3. Composition chimique (g/litre) du contenu du duodénum.

Chèvres	Trait.	MS	MO	Nt	NNH ₂	ANP	ARN	DAP	Cr ₂ O ₃	PEG
Chèvre 78	3-0 ML									
Contenu total		55	46	1,423	0,030	0,687	1,378	0,032	0,094	1,201
Filtrat (1)		25	17	1,048	0,037	0,672	0,740	0,019	0,044	1,192
Chèvre 78	3-5 ML									
Contenu total		53	44	1,689	0,035	0,728	1,704	0,032	0,103	1,364
Filtrat		25	17	1,220	0,040	0,713	1,003	0,017	0,049	1,406
Chèvre 78	3-13 ML									
Contenu total		50	41	1,643	0,034	0,750	1,511	0,030	0,111	1,449
Filtrat		23	15	1,083	0,034	0,633	0,662	0,017	0,046	1,446
Chèvre 78	3-22 ML									
Contenu total		58	48	1,937	0,054	0,946	1,616	0,028	0,133	1,916
Filtrat		28	20	1,393	0,060	0,874	0,840	0,019	0,063	1,951
Chèvre 27	3-0 ML									
Contenu total		47	39	1,946	0,026	0,983	2,049	0,034	0,073	0,991
Filtrat		25	18	1,563	0,039	0,990	1,288	0,024	0,034	1,065
Chèvre 27	3-5 ML									
Contenu total		50	42	1,859	0,098	0,712	1,620	0,031	0,068	0,856
Filtrat		23	16	1,208	0,090	0,739	0,932	0,018	0,024	0,859
Chèvre 27	3-13 ML									
Contenu total		60	52	2,147	0,114	1,048	1,722	0,027	0,096	1,365
Filtrat		26	19	1,451	0,129	0,990	1,012	0,019	0,038	1,362
Chèvre 27	3-22 ML									
Contenu total		52	44	2,077	0,072	1,012	1,612	0,037	0,089	1,140
Filtrat		25	18	1,524	0,075	0,939	0,980	0,023	0,043	1,132
Chèvre 71	3-0 ML									
Contenu total		36	28	1,605	0,045	0,801	1,313	0,025	0,069	0,865
Filtrat		20	13	1,090	0,056	0,721	0,720	0,016	0,027	0,853
Chèvre 71	3-5 ML									
Contenu total		38	31	1,647	0,079	0,881	1,309	0,023	0,061	1,147
Filtrat		20	14	1,101	0,080	0,858	0,580	0,014	0,023	1,167
Chèvre 71	3-13 ML									
Contenu total		38	30	1,817	0,082	0,823	1,083	0,021	0,064	0,814
Filtrat		23	17	1,281	0,088	0,815	0,690	0,018	0,030	0,826
Chèvre 71	3-22 ML									
Contenu total		42	35	1,850	0,062	0,939	1,634	0,033	0,076	1,065
Filtrat		22	15	1,339	0,064	0,917	0,773	0,018	0,023	1,056
Chèvre 982	3-0 ML									
Contenu total		50	40	1,724	0,049	0,852	0,948	0,032	0,104	1,775
Filtrat		29	20	1,325	0,077	0,837	0,643	0,025	0,061	1,804
Chèvre 982	3-5 ML									
Contenu total		52	42	1,888	0,078	0,895	1,362	0,034	0,107	1,651
Filtrat		26	18	1,356	0,085	0,823	0,746	0,022	0,051	1,663

(1): Filtrat obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau B4. Composition chimique (g/litre) du contenu de l'iléon.

Chèvres	Trait.	MS	MO	Nt	NNH ₃	ANP	ARN	DAP	Cr ₂ O ₃	PEG
Chèvre 78	3-0 ML									
Contenu total		85	71	1,176	0,037	0,664	0,710	0,071	0,206	2,865
Filtrat (1)		40	27	0,999	0,036	0,478	0,629	0,055	0,160	2,964
Chèvre 78	3-5 ML									
Contenu total		88	73	1,559	0,053	0,655	0,900	0,066	0,243	3,430
Filtrat		46	32	1,409	0,042	0,670	0,462	0,052	0,212	3,648
Chèvre 78	3-13 ML									
Contenu total		79	66	1,479	0,044	0,597	1,109	0,050	0,234	3,818
Filtrat		45	32	1,297	0,041	0,568	1,001	0,039	0,186	4,045
Chèvre 78	3-22 ML									
Contenu total		84	70	1,498	0,100	0,626	1,401	0,054	0,268	4,830
Filtrat		45	32	1,330	0,106	0,612	1,272	0,035	0,233	4,983
Chèvre 27	3-0 ML									
Contenu total		88	73	1,755	0,043	0,713	0,888	0,077	0,200	3,131
Filtrat		46	32	1,507	0,046	0,713	0,319	0,071	0,155	3,304
Chèvre 27	3-5 ML									
Contenu total		83	70	1,421	0,120	0,590	0,425	0,072	0,171	2,405
Filtrat		40	27	1,227	0,110	0,612	0,711	0,053	0,129	2,480
Chèvre 27	3-13 ML									
Contenu total		75	62	1,827	0,153	0,815	0,897	0,051	0,218	3,534
Filtrat		45	33	1,671	0,162	0,830	0,499	0,046	0,194	3,672
Chèvre 27	3-22 ML									
Contenu total		82	70	1,685	0,095	0,699	1,147	0,053	0,202	3,092
Filtrat		43	32	1,521	0,095	0,699	1,083	0,043	0,172	3,215
Chèvre 71	3-0 ML									
Contenu total		78	66	1,773	0,145	0,801	1,203	0,056	0,213	3,071
Filtrat		41	31	1,540	0,122	0,713	0,868	0,035	0,159	3,206
Chèvre 71	3-5 ML									
Contenu total		81	68	1,687	0,158	0,743	0,640	0,073	0,201	3,642
Filtrat		42	30	1,463	0,176	0,699	0,407	0,065	0,158	3,672
Chèvre 71	3-13 ML									
Contenu total		99	84	2,086	0,183	0,772	0,500	0,095	0,233	3,504
Filtrat		52	38	1,573	0,178	0,783	0,656	0,077	0,184	3,725
Chèvre 71	3-22 ML									
Contenu total		80	66	2,016	0,161	0,462	0,423	0,067	0,239	3,519
Filtrat		51	38	1,806	0,160	0,487	0,330	0,062	0,215	3,800
Chèvre 982	3-0 ML									
Contenu total		80	65	1,703	0,230	0,703	1,249	0,044	0,240	4,099
Filtrat		43	30	1,535	0,221	0,699	1,096	0,030	0,204	4,155
Chèvre 982	3-5 ML									
Contenu total		90	75	1,820	0,124	0,699	1,917	0,055	0,261	3,797
Filtrat		46	32	1,549	0,127	0,699	1,659	0,037	0,202	4,036

(1): Filtrat obtenu avec un tamis de 200 µm.

Tableau B5. pH et concentration en azote ammoniacal (mg/100 ml) du jus de rumen.

Heures de prélèvement	Chèvres et traitements											
	Chèvre 78 3-0 ML		Chèvre 78 3-5 ML		Chèvre 78 3-13 ML		Chèvre 78 3-22 ML		Chèvre 27 3-0 ML		Chèvre 27 3-5 ML	
	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃
8h	6,80	11,1	6,77	9,1	7,29	9,2	7,02	16,5	6,24	14,5	6,60	12,3
10h	5,67	14,4	5,99	12,8	6,60	19,5	6,23	23,4	6,47	27,4	5,85	29,1
12h	5,90	6,6	6,37	9,8	6,31	4,8	6,40	5,6	6,18	12,5	5,61	16,8
14h	6,12	8,9	6,52	10,5	6,77	12,4	6,80	4,9	5,96	10,0	6,08	13,0
16h	6,31	12,8	6,63	9,8	6,47	13,3	5,69	16,7	6,15	9,8	5,41	11,3

Tableau B5. (suite).

Heures de prélèvement	Chèvres et traitements											
	Chèvre 27 3-13 ML		Chèvre 27 3-22 ML		Chèvre 71 3-0 ML		Chèvre 71 3-5 ML		Chèvre 71 3-13 ML		Chèvre 71 3-22 ML	
	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃
8h	7,01	24,7	7,50	17,8	6,61	12,4	6,85	22,0	6,08	28,2	6,21	28,8
10h	7,12	37,0	6,42	37,9	6,32	27,1	5,95	21,4	5,75	15,7	6,13	42,1
12h	6,17	13,1	6,47	22,7	5,88	18,8	6,68	41,3	5,78	17,5	6,10	25,4
14h	6,40	17,1	6,54	13,5	5,98	16,7	6,38	13,7	6,05	11,2	6,01	18,6
16h	5,71	53,5	6,65	14,8	5,85	19,2	6,50	15,9	6,05	23,7	6,06	19,2

Tableau B5. (suite).

Heures de prélèvement	Chèvres et traitements			
	Chèvre 982 3-0 ML		Chèvre 982 3-5 ML	
	pH	NNH ₃	pH	NNH ₃
8h	6,87	ND	7,01	37,6
10h	5,79	26,0	6,14	64,7
12h	5,98	7,9	6,30	13,7
14h	6,08	7,7	6,53	21,2
16h	5,72	8,9	6,23	19,6

Tableau B6. Paramètres calculés de fermentation dans le rumen.

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 78 3-0 ML	Chèvre 78 3-5 ML	Chèvre 78 3-13 ML	Chèvre 78 3-22 ML	Chèvre 27 3-0 ML	Chèvre 27 3-5 ML	Chèvre 27 3-13 ML
pH	6,16	6,45	6,69	6,43	6,20	5,91	6,48
N.NH ₃ mg/100 ml	11	10	12	13	15	17	29
MODR g/jour	603	629	466	557	810	1065	765
MO fermentée g/j	978	851	729	760	1123	1489	1038
Recycl. net N g/j	0,5	6,9	7,0	3,8	14,9	14,4	10,1

Tableau B6. (suite).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 27 3-22 ML	Chèvre 71 3-0 ML	Chèvre 71 3-5 ML	Chèvre 71 3-13 ML	Chèvre 71 3-22 ML	Chèvre 982 3-0 ML	Chèvre 982 3-5 ML
pH	6,72	6,13	6,50	5,94	6,10	6,09	6,44
N.NH ₃ mg/100 ml	21	19	23	19	27	13	31
MODR g/jour	940	1072	1232	1314	1095	737	705
MO fermentée g/j	1366	1478	1574	1608	1497	936	965
Recycl. net N g/j	8,6	16,3	8,1	18,4	14,5	1,1	3,8

Tableau B7. Excrétion et composition chimique du lait, des urines et des fèces.

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 78 3-0 ML	Chèvre 78 3-5 ML	Chèvre 78 3-13 ML	Chèvre 78 3-22 ML	Chèvre 27 3-0 ML	Chèvre 27 3-5 ML	Chèvre 27 3-13 ML
<u>Lait</u>							
Production ml/j	1286	1162	1107	1206	1733	2321	1445
Nt g/litre	5,274	5,278	5,229	5,188	4,378	4,447	4,434
ANP g/litre	0,328	0,392	0,490	0,346	0,505	0,506	0,491
TUL mg/litre	170	242	115	323	353	381	323
<u>Urines</u>							
Excrétion ml/j	2591	2098	1429	1518	1528	878	1104
Nt g/litre	3,080	4,285	5,038	5,211	6,597	11,560	9,357
N uréique g/l	1,644	2,579	3,611	3,762	3,619	6,196	5,045
Allantoïne g/l	2,076	1,115	1,826	1,416	2,003	7,118	2,518
<u>Fèces</u>							
Excrétion g/j	1758	1654	1081	1438	1353	1970	1573
MS g/kg	359	351	407	376	425	382	398
MO g/kg MS	894	883	868	891	887	896	898
Nt g/kg MS	17,183	17,529	17,489	18,102	18,414	19,098	19,963
N.NH ₃ g/kg MS	0,345	0,462	0,314	0,532	0,626	0,575	0,727
ANP g/kg MS	5,153	4,422	3,593	4,135	4,477	4,932	5,177
ARN g/kg MS	5,306	5,419	6,007	5,074	4,461	5,053	4,724
DAP g/kg MS	0,548	0,553	0,375	0,372	0,588	0,810	0,473
Cr ₂ O ₃ g/kg MS	2,981	3,224	4,261	3,815	3,203	2,578	3,243
PEG g/kg MS	38,600	43,850	58,084	45,222	40,407	33,788	44,765

Tableau B7. (suite).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 27 3-22 ML	Chèvre 71 3-0 ML	Chèvre 71 3-5 ML	Chèvre 71 3-13 ML	Chèvre 71 3-22 ML	Chèvre 982 3-0 ML	Chèvre 982 3-5 ML
<u>Lait</u>							
Production ml/j	1134	1872	2402	2940	2447	490	384
Nt g/litre	4,493	4,720	4,687	4,566	4,501	5,510	5,396
ANP g/litre	0,585	0,595	0,431	0,483	0,459	0,406	0,487
TUL mg/litre	349	389	295	374	426	269	398
<u>Urines</u>							
Excrétion ml/j	619	1089	984	871	911	2900	2230
Nt g/litre	18,417	11,534	9,106	13,846	12,678	4,303	5,596
N uréique g/l	15,412	8,953	6,138	9,414	8,661	2,621	4,448
Allantoïne g/l	7,625	3,186	2,805	7,325	3,128	0,952	1,085
<u>Fèces</u>							
Excrétion g/j	1625	1903	2279	2331	1631	1396	1330
MS g/kg	409	351	319	308	335	378	410
MO g/kg MS	911	910	916	854	894	888	888
Nt g/kg MS	18,385	22,572	21,411	23,650	22,410	17,820	18,242
N.NH ₃ g/kg MS	0,405	0,437	0,595	0,603	0,725	0,307	0,279
ANP g/kg MS	4,484	4,969	4,957	5,330	5,467	3,723	3,840
ARN g/kg MS	5,379	4,826	4,777	6,823	6,005	5,367	5,479
DAP g/kg MS	0,400	0,735	0,962	1,067	0,883	0,576	0,437
Cr ₂ O ₃ g/kg MS	2,980	3,085	2,662	2,843	3,496	3,593	3,593
PEG g/kg MS	36,137	34,181	29,456	34,274	50,388	47,239	45,484

Tableau B8. Ingestion et flux intestinal des constituants (duodénum, iléon).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 78 3-0 ML	Chèvre 78 3-5 ML	Chèvre 78 3-13 ML	Chèvre 78 3-22 ML	Chèvre 27 3-0 ML	Chèvre 27 3-5 ML	Chèvre 27 3-13 ML
<u>Ingestion (g/j)</u>							
MS foin	413	403	401	394	408	408	375
MS concentrés	1189	1099	809	980	1463	1948	1542
MS totale (1)	1625	1531	1246	1418	1907	2398	1967
MO	1517	1420	1150	1318	1785	2255	1862
Nt	28,4	24,1	21,3	23,8	32,3	39,6	34,6
Ns	9,5	9,1	8,2	8,4	16,2	18,4	16,7
N.NH ₃	1,5	1,5	1,5	1,6	2,0	2,3	2,4
ANP	9,1	8,7	7,8	8,2	15,5	17,8	16,3
<u>Duodénum</u>							
Volume (l/j)	20,4	18,6	17,6	12,9	23,7	29,7	20,5
MS (g/j)	1114	969	851	895	1170	1436	1273
MO (g/j)	915	791	684	761	975	1190	1097
Nt (g/j)	28,9	31,0	28,3	27,7	47,2	54,1	44,8
N.NH ₃ (g/j)	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	2,9	2,3
ANP (g/j)	14,0	13,5	13,1	12,5	23,2	21,2	21,6
ARN (g/j)	27,8	31,1	25,6	24,7	50,7	46,9	36,1
DAP (g/j)	0,651	0,582	0,507	0,402	0,840	0,890	0,562
N bact. (g/j)	22,8	15,6	16,4	15,2	26,6	31,6	21,5
MO bact(2)(g/j)	375	222	263	203	313	424	273
<u>Iléon</u>							
Volume (l/j)	8,6	7,5	7,0	5,6	7,8	10,7	8,3
MS (g/j)	841	722	728	1101	951	1011	901
MO (g/j)	720	605	631	1003	826	860	788
Nt (g/j)	10,6	11,9	11,2	11,1	15,2	15,7	16,6
N.NH ₃ (g/j)	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	1,3	1,2
ANP (g/j)	6,2	4,9	4,3	3,7	5,5	6,2	6,6
ARN (g/j)	6,3	7,4	8,3	9,9	10,5	3,7	11,1
DAP (g/j)	0,650	0,519	0,401	0,612	0,634	0,819	0,460

(1): MS totale=MS foin+MS concentrés+urée+minéraux+supplément aminé.

(2): calculée selon la teneur du regroupement des isolats bactériens (83,2 g MO/100 g MS)

Tableau B8. (suite).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 27 3-22 ML	Chèvre 71 3-0 ML	Chèvre 71 3-5 ML	Chèvre 71 3-13 ML	Chèvre 71 3-22 ML	Chèvre 982 3-0 ML	Chèvre 982 3-5 ML
Ingestion (g/j)							
MS foin	361	389	362	387	406	400	401
MS concentrés	1611	1565	1858	1942	1609	1173	1169
MS totale (1)	2032	1997	2268	2385	2081	1601	1605
MO	1920	1897	2160	2276	1970	1496	1485
Nt	36,4	28,9	34,4	38,2	32,8	27,3	28,0
Ns	17,4	17,4	18,6	20,3	17,9	11,7	12,1
N.NH ₃	2,4	1,9	2,1	2,3	2,2	1,7	1,6
ANP	16,8	17,2	18,1	19,6	17,4	11,4	11,7
Duodénum							
Volume (l/j)	21,1	26,3	19,1	30,3	25,8	14,2	15,1
MS (g/j)	1166	1038	1086	1195	1071	910	940
MO (g/j)	980	825	928	962	875	759	780
Nt (g/j)	45,0	45,2	42,5	56,6	47,3	28,4	31,7
N.NH ₃ (g/j)	1,5	1,1	1,5	2,5	1,6	0,4	1,1
ANP (g/j)	21,5	21,5	17,3	24,9	24,2	12,3	13,9
ARN (g/j)	35,4	38,0	39,8	34,0	41,3	16,4	24,3
DAP (g/j)	0,821	0,713	0,636	0,650	0,836	0,523	0,587
N bact. (g/j)	32,0	30,8	23,4	24,0	36,0	18,3	14,8
MO _{bact} (2)(g/j)	426	406	342	294	402	260	199
Iléon							
Volume (l/j)	8,2	7,8	6,0	7,4	7,8	6,2	6,7
MS (g/j)	1100	877	1134	1032	661	911	758
MO (g/j)	982	775	1038	914	550	803	650
Nt (g/j)	15,6	15,5	14,0	18,7	16,1	12,5	13,2
N.NH ₃ (g/j)	0,8	1,3	0,6	1,4	1,3	1,5	0,8
ANP (g/j)	5,7	6,9	5,2	5,7	3,6	5,1	4,7
ARN (g/j)	10,1	11,9	7,8	2,7	3,4	9,5	13,8
DAP (g/j)	0,553	0,588	0,570	0,817	0,538	0,432	0,428

(1): MS totale=MS foin+MS concentrés+urée+minéraux+supplément aminé.

(2): calculée selon la teneur du regroupement des isolats bactériens (83,2 g MO/100 g MS)

Tableau B9. Bilans de l'utilisation de l'azote alimentaire (g/jour).

	Trait.	N ingéré	N fèces	N absorbé	N urines	N utilisé	N lait	N retenu
Chèvre 78	3-0 ML	28,4	10,9	17,5	8,0	9,5	6,8	2,7
Chèvre 78	3-5 ML	24,1	10,2	13,9	9,0	4,9	6,1	-1,2
Chèvre 78	3-13 ML	21,3	7,7	13,6	7,2	6,4	5,8	0,6
Chèvre 78	3-22 ML	23,8	9,8	14,0	7,9	6,1	6,3	-0,2
Chèvre 27	3-0 ML	32,4	10,6	21,7	10,1	11,6	7,6	4,0
Chèvre 27	3-5 ML	39,6	14,4	25,2	10,2	15,0	10,3	4,7
Chèvre 27	3-13 ML	34,6	12,5	22,1	10,3	11,8	6,4	5,4
Chèvre 27	3-22 ML	36,4	12,2	24,2	11,4	12,8	5,1	7,7
Chèvre 71	3-0 ML	28,9	15,1	13,8	12,6	1,2	8,8	-7,6
Chèvre 71	3-5 ML	34,4	15,6	18,8	9,0	9,8	11,3	-1,5
Chèvre 71	3-13 ML	38,2	17,0	21,2	12,1	9,1	13,4	-4,3
Chèvre 71	3-22 ML	32,8	12,3	20,5	11,6	8,9	11,0	-2,1
Chèvre 982	3-0 ML	27,3	9,4	17,9	12,5	5,4	2,7	2,7
Chèvre 982	3-5 ML	28,0	9,9	18,1	12,5	5,6	2,1	3,5

Tableau B10. Teneurs du contenu du duodénum en acides aminés (g/100 g MS).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 78	Chèvre 78	Chèvre 78	Chèvre 78	Chèvre 27	Chèvre 27	Chèvre 27
	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML
A. aspartique	1,49	1,37	1,55	1,49	1,98	1,92	1,67
thréonine	0,68	0,61	0,73	0,68	0,90	0,91	0,80
sérine	0,70	0,60	0,66	0,77	0,89	0,85	0,88
A. glutamique	1,86	1,60	1,96	1,98	2,30	2,38	2,36
proline	0,61	0,54	0,63	0,64	0,79	0,86	0,78
glycine	0,71	0,64	0,76	0,79	0,92	0,91	0,88
* alanine	1,05	0,95	0,99	1,05	1,33	1,35	1,19
* cystine	0,16	0,08	0,21	0,20	0,11	0,13	0,23
* valine	0,85	0,75	0,88	0,83	1,10	1,08	1,00
* méthionine	0,32	0,28	0,31	0,34	0,36	0,43	0,26
* isoleucine	0,80	0,71	0,78	0,80	1,05	1,02	0,90
* leucine	1,24	1,08	1,21	1,24	1,58	1,63	1,51
* tyrosine	0,71	0,63	0,68	0,66	0,92	0,94	0,78
* phénylalanine	0,68	0,61	0,70	0,74	0,85	0,86	0,84
* lysine	0,95	0,85	1,17	1,32	1,20	1,33	1,21
* histidine	0,44	0,29	0,30	0,33	0,54	0,57	0,36
* arginine	0,64	0,57	0,62	0,63	0,82	0,82	0,69

*: Acides aminés indispensables et semi indispensables.

Tableau B10. (suite).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 27	Chèvre 71	Chèvre 71	Chèvre 71	Chèvre 71	Chèvre 982	Chèvre 982
	3-22 ML	3-0 ML	3-5 ML	3-13 ML	3-22 ML	3-0 ML	3-5 ML
A. aspartique	1,86	1,54	1,85	2,22	1,83	1,84	1,83
thréonine	0,87	0,77	0,89	1,09	0,91	0,83	0,83
sérine	0,80	0,80	1,01	0,98	0,85	0,95	0,95
A. glutamique	2,41	2,27	2,79	2,75	2,44	2,41	2,44
proline	0,82	0,71	0,94	0,92	0,88	0,69	0,78
glycine	0,91	0,79	1,00	0,99	0,87	0,75	0,96
* alanine	1,25	1,07	1,34	1,43	1,30	1,05	1,28
* cystine	0,27	0,24	0,27	0,26	0,12	0,23	0,21
* valine	1,07	0,93	1,07	1,19	1,06	0,84	1,05
* méthionine	0,37	0,39	0,41	0,45	0,41	0,31	0,36
* isoleucine	0,93	0,74	1,02	1,19	1,01	0,94	0,98
* leucine	1,51	1,42	1,77	1,86	1,67	1,48	1,53
* tyrosine	0,80	0,74	0,95	1,11	0,92	0,85	0,83
* phénylalanine	0,84	0,72	0,90	0,99	0,86	0,88	0,92
* lysine	1,37	1,01	1,32	1,66	1,38	1,16	1,23
* histidine	0,35	0,33	0,40	0,55	0,34	0,38	0,38
* arginine	0,74	0,58	0,79	0,88	0,74	0,77	0,76

Tableau B11. Teneurs du contenu de l'iléon en acides aminés (g/100 g MS).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 78 3-0 ML	Chèvre 78 3-5 ML	Chèvre 78 3-13 ML	Chèvre 78 3-22 ML	Chèvre 27 3-0 ML	Chèvre 27 3-5 ML	Chèvre 27 3-13 ML
A. aspartique	0,55	0,62	0,70	0,66	0,72	0,73	0,51
thréonine	0,31	0,37	0,38	0,37	0,44	0,42	0,28
sérine	0,33	0,33	0,39	0,34	0,38	0,37	0,26
A. glutamique	0,80	0,80	0,89	0,86	0,92	0,92	0,63
proline	0,30	0,32	0,25	0,36	0,40	0,36	0,25
glycine	0,33	0,37	0,38	0,42	0,41	0,42	0,29
* alanine	0,40	0,45	0,48	0,50	0,52	0,50	0,38
* cystine	0,11	0,12	0,14	0,15	0,13	0,14	0,12
* valine	0,27	0,34	0,38	0,41	0,42	0,33	0,30
* méthionine	0,07	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,06
* isoleucine	0,25	0,29	0,29	0,33	0,32	0,31	0,24
* leucine	0,40	0,45	0,47	0,47	0,53	0,50	0,37
* tyrosine	0,27	0,27	0,31	0,32	0,34	0,35	0,25
* phénylalanine	0,22	0,20	0,21	0,26	0,20	0,23	0,17
* lysine	0,25	0,29	0,30	0,34	0,31	0,33	0,24
* histidine	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,10
* arginine	0,11	0,12	0,14	0,19	0,14	0,13	0,11

*: Acides aminés indispensables et semi indispensables.

Tableau B11. (suite).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 27 3-22 ML	Chèvre 71 3-0 ML	Chèvre 71 3-5 ML	Chèvre 71 3-13 ML	Chèvre 71 3-22 ML	Chèvre 982 3-0 ML	Chèvre 982 3-5 ML
A. aspartique	0,76	0,70	0,76	0,75	0,73	0,76	0,72
thréonine	0,41	0,44	0,47	0,43	0,46	0,41	0,41
sérine	0,41	0,40	0,42	0,47	0,41	0,41	0,38
A. glutamique	0,97	1,00	1,16	1,16	1,03	0,98	0,90
proline	0,34	0,44	0,52	0,49	0,48	0,38	0,41
glycine	0,43	0,44	0,50	0,43	0,43	0,42	0,46
* alanine	0,59	0,55	0,65	0,63	0,56	0,55	0,52
* cystine	0,15	0,18	0,23	0,17	0,13	0,14	0,16
* valine	0,39	0,43	0,50	0,43	0,43	0,45	0,43
* méthionine	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10
* isoleucine	0,33	0,35	0,39	0,37	0,35	0,36	0,34
* leucine	0,54	0,54	0,61	0,64	0,59	0,57	0,51
* tyrosine	0,35	0,37	0,44	0,42	0,40	0,33	0,34
* phénylalanine	0,25	0,29	0,34	0,29	0,34	0,26	0,30
* lysine	0,32	0,32	0,37	0,37	0,32	0,39	0,34
* histidine	0,15	0,17	0,18	0,18	0,16	0,17	0,17
* arginine	0,15	0,22	0,25	0,17	0,13	0,16	0,22

Tableau B12. Concentration des acides aminés dans le sérum sanguin (mg/100 ml).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 78 3-0 ML	Chèvre 78 3-5 ML	Chèvre 78 3-13 ML	Chèvre 78 3-22 ML	Chèvre 27 3-0 ML	Chèvre 27 3-5 ML	Chèvre 27 3-13 ML
A. aspartique	0,15	0,14	0,01	0,14	0,13	0,16	0,13
thréonine	0,29	0,52	0,55	0,48	0,33	0,47	0,43
sérine	0,53	0,62	0,69	0,68	0,49	0,75	0,66
A. glutamique	1,83	1,67	1,82	1,60	1,68	1,39	1,80
proline	1,35	1,55	1,58	1,41	1,19	1,53	1,72
glycine	4,37	4,07	4,08	4,06	3,38	3,89	3,05
alanine	1,24	1,52	1,93	1,62	1,40	1,69	1,49
cytosine	1,71	2,02	1,95	2,45	2,45	2,82	3,23
valine	1,21	1,62	1,84	1,47	1,63	1,77	1,93
méthionine	0,60	0,66	0,86	0,70	0,50	0,47	0,56
isoleucine	0,70	0,89	0,97	0,79	0,53	0,83	1,03
leucine	1,02	1,17	1,31	1,22	1,27	1,37	1,77
tyrosine	0,85	1,04	0,85	0,73	0,66	1,14	0,88
phénylalanine	0,55	0,61	0,68	0,60	0,70	0,67	0,78
ornithine	0,76	1,01	1,24	1,13	0,80	1,21	1,22
lysine	1,32	2,23	3,68	3,74	1,38	2,24	2,61
histidine	0,64	0,82	0,76	0,73	0,81	0,82	1,07
arginine	1,95	2,28	2,74	2,90	2,36	2,60	2,97

Tableau B12. (suite).

	Chèvres et traitements						
	Chèvre 27 3-22 ML	Chèvre 71 3-0 ML	Chèvre 71 3-5 ML	Chèvre 71 3-13 ML	Chèvre 71 3-22 ML	Chèvre 982 3-0 ML	Chèvre 982 3-5 ML
A. aspartique	0,01	0,01	0,15	0,05*	0,13	0,11	0,01
thréonine	0,40	0,23	0,39	0,38*	0,31	0,29	0,26
sérine	0,50	0,43	0,54	0,61*	0,63	0,41	0,36
A. glutamique	1,36	1,64	1,55	1,71*	1,26	1,83	1,42
proline	1,03	1,25	2,02	1,96*	1,68	1,19	0,91
glycine	2,92	3,00	3,41	3,19*	3,81	3,21	2,91
alanine	1,41	1,25	1,84	1,87*	1,83	1,91	1,15
cytosine	2,10	2,19	3,33	3,25*	3,24	2,61	3,43
valine	1,97	0,92	1,64	1,59*	1,40	1,61	1,92
méthionine	0,48	0,64	0,89	0,89*	0,70	0,58	0,50
isoleucine	0,64	0,51	1,05	1,14*	1,04	0,82	0,61
leucine	1,17	1,00	1,88	1,80*	1,50	1,25	1,08
tyrosine	0,65	0,52	1,78	0,69*	0,70	0,58	0,39
phénylalanine	0,65	0,50	0,63	0,70*	0,66	0,54	0,47
ornithine	1,38	0,62	0,84	0,95*	0,84	0,80	1,53
lysine	2,48	0,87	2,07	3,08*	3,55	1,28	1,87
histidine	0,86	0,61	0,94	0,75*	0,28	0,75	0,74
arginine	2,58	1,34	2,41	2,36*	2,10	1,95	1,38

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- (1). ABDELGHANI A. 1990.
Contribution à l'étude du flux de matières azotées dans le tube digestif de chèvres laitières: effets du stade physiologique. Thèse de l'INPL, 152 pp.
- (2). ABE M. et KANDATSU M., 1969.
Utilization of non-protein nitrogenous compounds in ruminants. 3. Ingestion of bacteria by protozoa in the rumen. Jap. J. Zootech. Sci., 40 (8): 313-319.
- (3). AITCHISON E. M., GILL M. et OSBOURN D.F., 1986.
The effect of supplementation with maize starch and level of intake of perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Endura) hay on the removal of digesta from the rumen of sheep. Br. J. Nutr., 56: 477-486.
- (4). ALEXANDER C.L., MEYER R.M. et BARTLEY E.E., 1969.
Effect of quantity of rumen dry matter and other factors on determinations of rumen fluid volume with polyethylene glycol. J. Anim. Sci., 29 (1): 69-74.
- (5). ALRAHMOUN W., 1985.
Utilisation digestive comparée chez les caprins et les ovins. Effets de la nature du régime, du traitement des pailles par la soude, de la nature de la source azotée. Th. Doct. Etat es Sciences. Université de DIJON, U.E.R. de Nutrition. 213 pp.
- (6). ALWASH A.H., THOMAS P.C., 1971.
The effect of the physical form of the diet and the level of feeding on the digestion of dried grass by sheep. J. Sci. Food Agric., 22: 611-615.
- (7). AMANING-KWARTENG K., KELLAWAY R.C. et KIRBY A.C., 1986.
Supplemental protein degradation, bacterial protein synthesis and nitrogen retention in sheep eating sodium hydroxide-treated straw. Br. J. Nutr., 55: 557-569.
- (8). AMOS H.E., EVANS J.J. et BURDICK D., 1980.
Nitrogen balance and abomasal lysine levels in wethers fed supplemental polymerized L-lysine-HCl. J. Anim. Sci., 50 (2): 315-322.
- (9). ARAMBEL M.J., BARTLEY E.E., CAMAC J.L., DENNIS S.M., NAGARAJA T.G. et DAYTON A.D., 1987.
Rumen degradability and intestinal availability of a protected methionine product and its effects on rumen fermentation, and passage rate of nutrients. Nutrition Reports International, 35 (4): 661-671.
- (10). ARMENTANO L.E. et RUSSEL R.W., 1985.
Method for calculating digesta flow and apparent absorption of nutrients from nonrepresentative samples of digesta. J. Dairy Sci., 68 (11): 3067-3070.
- (11). AXE D.E., BOLSEN K.K., HARMON D.L., LEE R.W., MILLIKEN G.A. et AVERY T.B., 1987.
Effect of wheat and high-moisture sorghum grain fed singly and in combination on ruminal fermentation, solid and liquid flow, site and extent of digestion and feeding performance of cattle. J. Anim. Sci., 64: 897-906.
- (12). BALCH C.C., 1950.
Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 1. The rate of passage of food through the digestive tract. Br. J. Nutr., 4: 361-388.

(13). BALCH C.C., 1957.

Use of the lignin-ratio technique for determining the extent of digestion in the reticulo-rumen of the cow. Br. J. Nutr., 11: 213-227.

(14). BARRY J.L., VIGNON M., EXCOFFIER G., GUENEAU S. et DAVID Agnès, 1988.

Traitement des coques de tournesol par vapocraquage: influence sur la composition et la dégradation *in sacco* des polysides pariétaux. Reprod. Nutr. Dévelop., 28 (suppl. N°1): 95-96.

(15). BARRY T.N., 1976.

Evaluation of formaldehyde-treated lucerne hay for protecting protein from ruminal degradation, and for increasing nitrogen retention, wool growth, live-weight gain and voluntary intake when fed to young sheep. J. agric. Sci., Camb., 86: 379-392.

(16). BATTERHAM E.S. et MURISON R.D., 1981.

Utilization of free lysine by growing pigs. Br. J. Nutr., 46: 87-92.

(17). BEEDE D.K., SCHELLING G.T., MITCHELL G.E., TUCKER R.E., GILL W.W., KOENIG S.E. et LINDSEY T.O., 1986.

Nitrogen utilization and digestibility by growing steers and goats of diets that contain monensin and low crude protein. J. Anim. Sci., 62: 857-863.

(18). BEEVER D.E., LOSADA H.R., GALE D.L., SPOONER M.C. et DHANOA M.S., 1987.

The use of monensin or formaldehyde to control the digestion of the nitrogenous constituents of perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Melle) and white clover (*Trifolium repens* cv. Blanca) in the rumen of cattle. Br. J. Nutr., 57: 57-67.

(19). BEN-GHEDALIA D., 1981.

Fate of digesta ribonucleic acid in small intestine of sheep. J. Dairy Sci., 64: 2422-2425.

(20). BEN-GHEDALIA D., TAGARI H., BONDI A. et TADMOR A., 1974.

Protein digestion in the intestine of sheep. Br. J. Nutr., 31: 125-142.

(21). BEN-GHEDALIA D., TAGARI H. et BONDI A., 1976.

The ileum of the sheep as a site of protein digestion. Br. J. Nutr., 36: 211-217.

(22). BORGIDA L.P., DURAND Michèle et DELORT-LAVAL J., 1975.

Evaluation de divers traitements technologiques des céréales. 8. Efficacité comparée de traitements thermiques du maïs pour l'utilisation de l'urée *in vitro* et chez le chevreau précocement sevré. Ann. Zootech. (D10, placard 1), reprise de Proc. Nutr. Soc. (1973), 32: 83A-84A.

(23). BORHAMI B.E.A., EL-SHAZLY K., ABOU AKKADA A.R., NAGA M.A., NOUR A.M. et ABAZA M.A., 1979.

Nitrogen (^{15}N) utilization and microbial protein synthesis in the rumen of urea fed cattle. J. Anim. Sci., 49 (5): 1306-1311.

(24). BRUN-BELLUT J., 1986.

Détermination des besoins azotés de la chèvre en lactation. Th. Doct. Etat en Sciences. I.N.P.L.-E.N.S.A.I.A., Nancy I, 180 pp.

(25). BRUN-BELLUT J., ABDUL-AHAD N. et VIGNON B., 1986.

Effet du jeûne et de la fréquence de distribution des repas sur les variations de l'urémie et du taux d'urée du lait chez la chèvre laitière. 2èmes Journées Herbivores, I.N.R.A., PARIS.

- (26). BRUN-BELLUT J., LAURENT F. et VIGNON B., 1984.
Taux d'urée du lait, allantoïne urinaire, témoins de la nutrition azotée chez la chèvre. *Can. J. Anim. Sci.*, 64 (suppl.): 781-782.
- (27). BULL L.S., RUMPLER W.V., SWEENEY T.F. et ZINN R.A., 1979.
Influence of ruminal turnover on site and extent of digestion. *Federation Proc.* 38: 2713-2719.
- (28). BUNTING L.D., BOLING J.A. et MacKOWN C.T., 1989.
Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine: 1. Nitrogen recycling and intestinal protein supply in calves. *J. Anim. Sci.*, 67: 810-819.
- (29). BUNTING L.D., BOLING J.A., MacKOWN C.T. et MUNTIFERING R.B., 1987.
Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in lambs: studies using ¹⁵N-nitrogen. *J. Anim. Sci.*, 64: 855-867.
- (30). CARRUTHERS V.R. et BRYANT A.M., 1983.
Evaluation of the use of chromic oxide to estimate the feed intake of dairy cows. *New Zealand J. of Agric. Res.*, 26: 183-186.
- (31). CATON J.S., WILLIAMS J.E., BEAVER E.E., MAY T. et BELYEA R.L., 1989.
Effects of dairy biomass protein on ruminal fermentation and site and extent of nutrient digestion by lambs. *J. Anim. Sci.*, 67: 2762-2771.
- (33). CHAMBERLAIN D.G. et THOMAS P.C., 1979.
Ruminal nitrogen metabolism and the passage of amino acids to the duodenum in sheep receiving diets containing hay and concentrates in various proportions. *J. Sci. Food Agric.*, 30: 677-686.
- (34). CHAMBERLAIN D.G. et THOMAS P.C., 1980.
The effects of urea and artificial saliva on rumen bacterial protein synthesis in sheep receiving a high-cereal diet. *J. Sci. Food Agric.*, 31: 432-438.
- (35). CHAMPREDON C. et PION R., 1979.
Intravenous infusion of amino acids to lactating goats. *Ann. Rech. Vét.*, 10 (2/3): 379-381.
- (36). COCKBURN J.E. et WILLIAMS A.P., 1984.
The simultaneous estimation of the amounts of protozoal, bacterial and dietary nitrogen entering the duodenum of steers. *Br. J. Nutr.*, 51: 111-132.
- (37). COLE N.A., JOHNSON R.R., OWENS F.N. et MALES J.R., 1976.
Influence of roughage level and corn processing method on microbial protein synthesis by beef steers. *J. Anim. Sci.*, 43 (2): 497-504.
- (38). COLEMAN S.W., EVANS B.C. et HORN G.W., 1984.
Some factors influencing estimates of digesta turnover rate using markers. *J. Anim. Sci.*, 58 (4): 979-986.
- (39). COLUCCI P.E., MACLEOD G.K., GROVUM W.L. et McMILLAN I., 1984.
Comparative digestion and digesta kinetics in sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 64 (suppl.): 173-174.
- (40). COOMBE J.B. et KAY R.N.B., 1965.
Passage of digesta through the intestines of the sheep. Retention times in the small and large intestines. *Br. J. Nutr.*, 19: 325-338.

- (41). COTTLE D.J., NOLAN J.V. et LENG R.A., 1978.
Turnover of protozoa and bacteria in the rumen of sheep. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 12: 138.
- (42). COTTLE D.J. et VELLE W., 1989.
Degradation and outflow of amino acids from the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.*, 61: 397-408.
- (43). COTTRILL B.R., BEEVER D.E., AUSTIN A.R. et OSBOURN D.F., 1982.
The effect of protein -and non-protein- nitrogen supplements to maize silage on total amino acid supply in young cattle. *Br. J. Nutr.*, 48, 527-541.
- (44). CRAWFORD R.J., HOOVER W.H. et JUNKINS L.L., 1980.
Effects of solids and liquid flows on fermentation in continuous cultures. 2. Nitrogen partition and efficiency of microbial synthesis. *J. Anim. Sci.*, 51 (4): 986-995.
- (45). CRUICKSHANK G.J., POPPI D.P. et SYKES A.R., 1989.
Theoretical considerations in the estimation of rumen fractional outflow rate from various sampling sites in the digestive tract. *Br. J. Nutr.*, 62: 229-239.
- (46). CZERKAWSKI J.W., 1974.
Methods for determining 2,6-diaminopimelic acid and 2-aminoethyl-phosphonic acid in gut contents. *J. Sci. Food Agr.*, 25: 45-55.
- (47). DAWSON J.M., BRUCE C.I., BUTTERY P.J., GILL M. et BEEVER D.E., 1988.
Protein metabolism in the rumen of silage-fed steers: effect of fishmeal supplementation. *Br. J. Nutr.*, 60: 339-353.
- (48). DEMARQUILLY C., ANDRIEU J. et SAUVANT D., 1978.
Composition et valeur nutritive des aliments. In R. JARRIGE, "Alimentation des ruminants." Ed. I.N.R.A. Publications, VERSAILLES, pp. 469-509.
- (49). DEMAUX G., LE BARS H., MOLLE J., RERAT A. et SIMONNET H., 1961.
Absorption des acides aminés au niveau du rumen, de l'intestin grêle et du caecum chez le mouton. *Bul. Acad. Vét. Fr.*, 34 (2): 85-88.
- (50). DENNIS S.M., ARAMBEL M.J., BARTLEY E.E., RIDDELL D.O. et DAYTON A.D., 1982.
Effect of heated or unheated soybean meal with or without niacin on rumen protozoa. *J. Dairy Sci.*, 65: 1643-1646.
- (51). DENNISON C. et PHILLIPS Anne M., 1983.
Estimation of the duodenal amino acid supply in ruminants by amino acid analysis of the products of fermentation in vitro. *S.Afr. J. Anim. Sci.*, 13 (2): 120-126.
- (52). DONKIN S.S., VARGA G.A., SWEENEY T.F. et MULLER L.D., 1989.
Rumen-protected methionine and lysine: effects on animal performance, milk protein yield, and physiological measures. *J. Dairy Sci.*, 72: 1484-1491.
- (53). DOREAU M., ADINGRA K., REMOND B. et CHILLIARD Y., 1988.
Effets respectifs des quantités ingérées et du stade physiologique sur la digestibilité d'une même ration chez la vache laitière. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28 (suppl. N°1): 189-192.
- (54). DOVE H., MILNE J.A., SIBBALD A.M., LAMB C.S. et McCORMACK H.A., 1988.
Circadian variation in abomasal digesta flow in grazing ewes during lactation. *Br. J. Nutr.*, 60: 653-668.

- (55). DUFVA G.S., BARTLEY E.E., ARAMBEL M.J., GALITZER S.J. et DAYTON A.D., 1982.
Content of 2-aminoethylphosphonic acid in feeds, bacteria and protozoa and its role as a rumen protozoal marker. *J. Anim. Sci.*, 54 (4): 837-840.
- (56). EGAN J.K. et DOYLE P.T., 1984.
A comparison of particulate markers for the estimation of digesta flow from the abomasum of sheep offered chopped oaten hay. *Aust. J. Agric. Res.*, 35: 279-291.
- (57). ELLIOT R.C. et TOPPS J.H., 1965.
Effects of various low protein diets on the distribution of ruminal nitrogen and on the nitrogen required for maintenance of african sheep. *Anim. Prod.* 6: 345-355.
- (58). ELLIS W.C., MATIS J.H. et LASCANO C., 1979.
Quantitating ruminal turnover. *Federation Proc.*, 38: 2702-2706.
- (59). EL-SHAZLY K. et NAGA M.A., 1980.
Diaminopimelic and 2-amino-ethane-phosphonic acid as markers for the estimation of microbial protein in the rumen. *Zeits-tierphys.-tierernährung. Futtermit.*, 44 (1): 18-19.
- (60). EVANS E., 1981a.
An evaluation of the relationships between dietary parameters and rumen liquid turnover rate. *Can. J. Anim. Sci.*, 61: 91-96.
- (61). EVANS E., 1981b.
An evaluation of the relationships between dietary parameters and rumen solid turnover rate. *Can. J. Anim. Sci.*, 61: 97-103.
- (62). EVANS R.A., AXFORD R.F.E. et OFFER N.W., 1975.
A method for estimating the quantities of microbial and dietary proteins flowing in the duodenal digesta of ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, 34: 65A.
- (63). FAICHNEY G.J., 1975.
The use of markers to partition digestion within the gastro-intestinal tract of ruminants. In *Digestion and Metabolism in the Ruminant*. (Ed. I.W. McDONALD and A.C.I. WARNER), pp. 277-291. ARMIDALE, N.S.W.: University of New England.
- (64). FAICHNEY G.J., 1980a.
Measurement in sheep of the quantity and composition of rumen digesta and of the fractional outflow rates of digesta constituents. *Aust. J. Agric. Res.*, 31: 1129-1137.
- (65). FAICHNEY G.J., 1980b.
The use of markers to measure digesta flow from the stomach of sheep fed once daily. *J. agric. Sci., Camb.*, 94: 313-318.
- (66). FAICHNEY G.J. et GRIFFITHS D.A., 1978.
Behaviour of solute and particle markers in the stomach of sheep given a concentrate diet. *Br. J. Nutr.*, 40: 71-82.
- (67). FERRANDO R., MORELL G., BOIVIN R. et BOIVIN M., 1983.
Mesure de la digestibilité par la méthode des sacs. *Bul. Acad. Vét. Fr.*, 56: 413-418.

- (68). FIRKINS J.L., BERGER L.L., MERCHEN N.R. et FAHEY, Jr G.C., 1986.
Effects of forage particle size, level of feed intake and supplemental protein degradability on microbial protein synthesis and site of nutrient digestion in steers. *J. Anim. Sci.*, 62: 1081-1094.
- (69). FOCANT M., ALLART B., Van HOECKE Annick et VANBELLE M., 1988.
Influence du floconnage du blé sur le flux intestinal chez la vache. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28 (suppl. N°1): 121-122.
- (70). FRANCOIS E., THILL Nicole et THEWIS A., 1978.
Méthode rapide de dosage de l'oxyde de chrome dans les aliments, les fèces et les contenus digestifs par titrage après oxydation nitro-perchlorique. *Ann. Zootech.*, 27 (3): 355-361.
- (71). FREIRE L.C.L., BONIFACE A.N. et MURRAY R.M., 1980.
Digestion of high fibre roughage in the rumen of sheep. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 13: 225-228.
- (72). GANEV G., ORSKOV E.R. et SMART R., 1979.
The effect of roughage or concentrate feeding and rumen retention time on total degradation of protein in the rumen. *J. agric. Sci., Camb.*, 93: 651-656.
- (73). GANGADEVI P. et KUNJIKUTTI N., 1984.
Studies on the influence of dietary protein levels on the nitrogen balance and haematological values in cross-bred kids. *Ind. J. Nutr. Dietet.*, 18: 205-212.
- (74). GIESECKE D., Von ENGELHARDT W. et ERBERSDOBLER H., 1975.
Passage of ¹⁴⁴Ce hay particles, DNA, protein and amino acids from omasum of sheep. Reprint from "Tracer studies on non-protein nitrogen for ruminants II", Int. Atomic energy Agency, VIENNA: 133-140.
- (75). GIL L.A., SHIRLEY R.L. et MOORE J.E., 1973.
Effect of Methionine Hydroxy Analog on growth, amino acid content, and catabolic products of glucolytic rumen bacteria in vitro. *J. Dairy Sci.*, 56 (6): 757-762.
- (76). GLENN B.P. et ELY D.G., 1984.
Effect of lipid-coated lysine on digestion and nitrogen metabolism by wethers. *Internat. J. Vit. Nutr. Res.*, 54: 377-386.
- (77). GOETSCH A.L. et GALYEAN M.L., 1983.
Influence of feeding frequency on passage of fluid and particulate markers in steers fed a concentrate diet. *Can. J. Anim. Sci.*, 63: 727-730.
- (78). GOMEZ L., LALLES J.P., BOGAERT C. et PONCET C., 1992.
Kinetics of particulate and solute marker passage in sheep supplemented with cationomycin and lasalocid antibiotics. Comparisons among methods for calculating mean retention time. *Reprod. Nutr. Dev.*, 32: 173-190.
- (79). GOODALL E.D. et KAY R.N.B., 1965.
Digestion and absorption in the large intestine of the sheep. *J. Physiol.*, 176: 12-23.
- (80). GOSSET W.H., PERRY T.W., MOHLER M.T., PLUMLEE M.P. et BEESON W.M., 1962.
Value of supplemental lysine, methionine, methionine analog, and trace minerals on high urea fattening rations for beef steers. *J. Anim. Sci.* 21 (2): 248-252.

- (81). GREGORY P.C., MILLER S.J. et BREWER A.C., 1985.
The relation between food intake and abomasal emptying and small intestinal transit time in sheep. *Br. J. Nutr.*, 53: 373-380.
- (82). GROVUM W.L. et WILLIAMS V.J., 1973.
Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of the rate-constants derived from the changes in concentrations of marker in feces. *Br. J. Nutr.*, 30: 313-329.
- (83). GROVUM W.L. et WILLIAMS V.J., 1977.
Rate of passage of digesta in sheep. 6. The effect of level of food intake on mathematical predictions of the kinetics of digesta in the reticulorumen and intestines. *Br. J. Nutr.*, 38: 425-436.
- (84). GUILLOTEAU P., 1986.
Digestion des protéines chez le jeune ruminant. Th. Doct. Etat es Sciences, Université Pierre et Marie Curie (PARIS VI), 246 pp.
- (85). HADJIPANAYIOTOU M., HARRISON D.G. et ARMSTRONG D.G., 1982.
The effects upon digestion in sheep of the dietary inclusion of additional salivary salts. *J. Sci. Food Agric.*, 33: 1057-1062.
- (86). HARMEYER H., HOLLER H., MARTENS H. GRABE (von) C., 1976.
Estimate of microbial protein synthesis in vitro by the simultaneous use of three different isotopic markers. Reprint from "Tracer studies on non-protein nitrogen for ruminants III", Int. Atomic energy Agency, VIENNA: 69-80.
- (87). HARTNELL G.F. et SATTER L.D., 1979.
Determination of rumen fill, retention time and ruminal turnover rates of ingesta at different stages of lactation in dairy cows. *J. Anim. Sci.*, 48 (2): 381-393.
- (88). HATCHER D.W. et GOLDSTEIN G., 1969.
Improved methods for determination of RNA and DNA. *Anal. Biochem.*, 31: 42-50.
- (89). HEMBRY F.C., PFANDER W.H. et PRESTON R.L., 1975.
Utilization of nitrogen from soybean meal, casein, and urea by mature sheep. *Journal of Nutrition*, 105 (3): 267-274.
- (90). HOGAN J.P. et LINDSAY J.R., 1979.
The digestion of nitrogen associated with plant cell wall in the stomach and small intestine of the sheep. *Aust. J. agric. Res.*, 31: 147-153.
- (91). HOGAN J.P. et WESTON R.H., 1967.
The digestion of chopped and ground roughages by sheep. 2. The digestion of nitrogen and some carbohydrate fractions in the stomach and intestines. *Aust. J. agric. Res.*, 18: 803-819.
- (92). HUME I.D., 1970.
Synthesis of microbial protein in the rumen. 3. The effect of dietary protein. *Aust. J. agric. Res.*, 21: 305-314.
- (93). HUME I.D., 1974.
The proportion of dietary protein escaping degradation in the rumen of sheep fed on various protein concentrates. *Aust. J. agric. Res.*, 25: 155-165.

(94). HUME I.D., 1975.

Use of ³⁵S to estimate the proportion of dietary protein degraded in the rumen. reprint from "Tracer studies on non-protein nitrogen for ruminants II", Int. Atomic energy Agency, VIENNA: 1-6.

(95). HUME I.D., MOIR R.J. et SOMERS M., 1970.

Synthesis of microbial protein in the rumen. 1. Influence of the level of nitrogen intake. Aust. J. agric. Res., 21: 283-296.

(96). HYDEN S., 1956.

A turbidimetric method for the determination of higher polyethylene glycols in biological materials. Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler, 22: 139-145.

(97). IBRAHIM E.A. et INGALLS J.R., 1972.

Microbial protein synthesis in the rumen. J. Dairy Sci., 55 (7): 971-978.

(98). JARRIGE R., 1978.

Digestion. In R. JARRIGE, "Alimentation des ruminants." Ed. I.N.R.A. Publications, VERSAILLES, pp. 23-45.

(99). JARRIGE R., JOURNET M., VERITE R., CHAMPREDON C. et PION R., 1978.

Azote. In R. JARRIGE, "Alimentation des ruminants." Ed. I.N.R.A. Publications, VERSAILLES, pp. 89-128.

(100). JENSEN D.O. et ASPLUND J.M., 1982.

The absorption of ammonia and amino acids from the cecum of sheep. Nutrition Reports International, 26 (5): 923-930.

(101). JOHN A., ULYATT M.J., JONES W.T. et SHELTON I.D., 1980.

Factors influencing nitrogen flow from the rumen. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 40: 226.

(102). JOUANY J.P. et THIVEND P., 1983.

Influence of protozoa on nitrogen digestion in the ruminant. IV. th. Int. Symp. Protein metabolism and nutrition, CLERMONT-FERRAND (FRANCE), 5-9 sept. 1983. Ed. I.N.R.A. Publ., 1983, II. (les Colloques de l'I.N.R.A., N° 16): 287-290.

(103). JOURNET M. et VERITE R., 1979.

Predicting equations of N duodenal flow in dairy cattle. Effects of level of feeding and proportion of concentrate in the diet. Ann. Rech. Vét., 10 (2/3): 303-306.

(104). KEMPTON T.J., NOLAN J.V. et LENG R.A., 1979.

Protein nutrition of growing lambs. 2. Effect on nitrogen digestion of supplementing a low-protein-cellulosic diet with either urea, casein or formaldehyde-treated casein. Br. J. Nutr., 42: 303-315.

(105). KENNEDY P.M., CHRISTOPHERSON R.J. et MILLIGAN L.P., 1982.

Effects of cold exposure on feed protein degradation, microbial protein synthesis and transfer of plasma urea to the rumen of sheep. Br. J. Nutr., 47: 521-535.

(106). KENNEDY P.M., CLARKE R.T.J. et MILLIGAN L.P., 1981.

Influences of dietary sucrose and urea on transfer of endogenous urea to the rumen of sheep and numbers of epithelial bacteria. Br. J. Nutr., 46: 533-541.

- (107). KENNEDY P.M. et MILLIGAN L.P., 1978.
Transfer of urea from the blood to the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.*, 40: 149-154.
- (108). KIRKPATRICK B.K. et KENNELLY J.J., 1989.
Influence of supplemental protein source and protein concentration on ruminal and intestinal digestion in heifers. *J. Anim. Sci.*, 67: 2743-2750.
- (109). KISHAN Jai, ARORA S.P. et CHOPRA R.C., 1983.
Influence of levels of energy on the utilization of nutrients in goats. *Indian J. Dairy Sci.*, 36 (2): 192-195.
- (110). KOENIG J.M., BRADLEY N.W. et BOLING J.A., 1982.
Liver arginase activity and urea metabolism in beef heifers fed urea diets and abomasally infused with arginine and(or) ammonium acetate. *J. Anim. Sci.*, 54 (2): 426-433.
- (111). KOTB A.R. et LUCKEY T.D., 1972.
Markers in nutrition. *Nutrition Abstracts and reviews*, 42 (3): 813-846.
- (112). LALLES J.P., 1988.
Etude de la digestion, du transit digestif et de quelques paramètres métaboliques et immunologiques chez le veau au cours du sevrage, dans le cas de deux rations différant par la nature des protéines de l'aliment concentré (pois ou tourteau de soja). Th. Doct.-Ing., E.N.S.A.-Université, Rennes, 217 pp.
- (113). LALLES J.P. et PONCET C., 1990.
Rate of passage of digesta during and after weaning in calves fed concentrate diets containing pea or soya-bean meal. *Livestock Production Science*, 24: 333-345.
- (114). LAURENT F., 1985.
Flux d'acide ribonucléique dans le tube digestif des petits ruminants. Th. Doct. Etat en Sciences. I.N.P.L.-E.N.S.A.I.A., NANCY I, 164 pp.
- (115). LE HENAFF L., RULQUIN H. et VERITE R., 1990.
Lactational responses to postruminal infusions of amino acids in dairy cows fed maize silage, hay or grass silage. *Reprod. Nutr. Dev.*, suppl. 2:237s.
- (116). LEIBHOLZ Jane et HARTMANN P.E., 1972.
Nitrogen metabolism in sheep. 1. The effect of protein and energy intake on the flow of digesta into the duodenum and on the digestion and absorption of nutrients. *Aust. J. agric. Res.*, 23: 1059-1071.
- (117). LINDBERG J.E., 1985.
Urinary allantoin excretion and digestible organic matter in dairy goats. *Swedish J. agric. Res.*, 15: 31-37.
- (118). LING J.R. et BUTTERY P.J., 1978.
The simultaneous use of ribonucleic acid, ³⁵S, 2,6-diaminopimelic acid and 2-aminoethylphosphonic acid as markers of microbial nitrogen entering the duodenum of sheep. *Br. J. Nutr.*, 39: 165-179.
- (119). LIRETTE A. et MILLIGAN L.P., 1989.
A quantitative model of reticulo-rumen particle degradation and passage. *Br. J. Nutr.*, 62: 465-479.

- (120). LOERCH S.C., BERGER L.L., PLEGGE S.D. et FAHEY, Jr. G.C., 1983.
Digestibility and rumen escape of soybean meal, blood meal, meat and bone meal and dehydrated alfalfa nitrogen. J. Anim. Sci., 57 (4): 1037-1047.
- (121). LOOSLI J.K., WILLIAMS H.H., THOMAS W.E., FERRIS Fent H. et MAYNARD L.A., 1949.
Synthesis of amino acids in the rumen. Science, 110: 144-145.
- (122). LU C.D., JORGENSEN N.A. et AMUNDSON C.H., 1982.
Ruminal degradation and intestinal absorption of alfalfa protein concentrate by sheep. J. Anim. Sci., 54 (6): 1251-1262.
- (123). LUDRI R.S. et RAZDAN M.N., 1982.
Total and particulate nitrogen fractions, pH and VFA in the rumen of cow and buffaloes on urea based diets. Indian J. Dairy Science, 35 (1): 35-39.
- (124). MADSEN J., 1986.
Influence of feeding level on digestion and protein passage to the duodenum in cows fed high concentrate diets. Acta Agric. Scand., 36: 275-285.
- (125). MALBERT C.H. et BAUMONT R., 1989.
The effects of intake of lucerne (*Medicago sativa* L.) and orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) hay on the motility of the forestomach and digesta flow at the abomaso-duodenal junction of the sheep. Br. J. Nutr., 61: 699-714.
- (126). McALLAN A.B., 1981.
Changes in the composition of digesta during passage through the small intestines of steers. Br. J. Nutr., 46: 431-440.
- (127). McALLAN A.B., COCKBURN J.E., WILLIAMS A.P. et SMITH R.H., 1988.
The degradation of different protein supplements in the rumen of steers and the effects of these supplements on carbohydrate digestion. Br. J. Nutr. 60: 669-682.
- (128). McALLAN A.B. et SMITH R.H., 1976.
Effect of dietary nitrogen source on carbohydrate metabolism in the rumen of the young steer. Br. J. Nutr., 36: 511-522.
- (129). McALLAN A.B. et SMITH R.H., 1983.
Estimation of flows of organic matter and nitrogen components in postruminal digesta and effects of level of dietary intake and physical form of protein supplement on such estimates. Br. J. Nutr., 49: 119-127.
- (130). McALLAN A.B., WILLIAMS A.P., COCKBURN J.E., GRIFFITH E.S., LEWIS Patricia E. et SMITH R.H., 1986.
The effects of different sources of nitrogen supplementation on the post ruminal flows of organic matter and different nitrogenous constituents in steers. Arch. Tierernähr., Berlin, 36 (4/5): 409-418.
- (131). MARSH W.H., FINGERHUT B. et MILLER H., 1965.
Automated and manual direct methods for the determination of blood urea. Clinical Chemistry, 11: 624-627.

- (132). MARTIN-ROSSET W. et DULPHY J.P., 1987.
Digestibility interactions between forages and concentrates in horses: influence of feeding level - comparison with sheep. *Livestock Production Science*, 17: 263-276.
- (133). MASON V.C., 1984.
Metabolism of nitrogenous compounds in the large gut. *Proc. Nutr. Soc.*, 43: 45-53.
- (134). MATHERS J.C. et MILLER E.L., 1981.
Quantitative studies of food protein degradation and the energetic efficiency of microbial protein synthesis in the rumen of sheep given chopped lucerne and rolled barley. *Br. J. Nutr.*, 45: 587-604.
- (135). MERCHEN N.R., FIRKINS J.L. et BERGER L.L., 1986.
Effect of intake and forage level on ruminal turnover rates, bacterial protein synthesis and duodenal amino acid flows in sheep. *J. Anim. Sci.*, 62: 216-225.
- (136). MOORE C.K., AMOS H.E., EVANS J.J., LOWREY R.S. et BURDICK D., 1980.
Nitrogen balance, abomasal crude protein and amino acids in wethers fed formaldehyde-treated coastal bermudagrass and infused with methionine, glucose or monensin. *J. Anim. Sci.*, 50 (6): 1145-1159.
- (137). MORAND-FEHR P. et SAUVANT D., 1978.
Caprins. In R. JARRIGE, "Alimentation des ruminants.", Ed. I.N.R.A. Publications, VERSAILLES. p. 449-467.
- (138). MacRAE J.C., 1974.
The use of intestinal markers to measure digestive function in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, 33: 147-154.
- (139). MacRAE J.C. et ARMSTRONG D.G., 1969.
Studies on intestinal digestion in the sheep. 1. the use of chromic oxide as an indigestible marker. *Br. J. Nutr.*, 23: 15-23.
- (140). MacRAE J.C. et REEDS P., 1980.
Prediction of protein deposition in ruminants. In "Protein deposition in animals.", Ed. BUTTERY P.J. and LINDSAY D.B., Butterworths, LONDON, pp. 225-259.
- (141). MacRAE J.C., SMITH J.S., DEWEY P.J.S., BREWER A.C., BROWN D.S. et WALKER A., 1985.
The efficiency of utilization of metabolizable energy and apparent absorption of amino acids in sheep given spring -and autumn- harvested dried grass. *Br. J. Nutr.*, 54: 197-209.
- (142). MacRAE J.C., ULYATT M.J., PEARCE P.D. et HENDTLASS Jane, 1972.
Quantitative intestinal digestion of nitrogen in sheep given formaldehyde-treated and untreated casein supplements. *Br. J. Nutr.*, 27: 39-50.
- (143). MUDGAL V.D., DIXON R.M., KENNEDY P.M. et MILLIGAN L.P., 1982.
Effect of two intake levels on retention times of liquid, particle and microbial markers in the rumen of sheep. *J. Anim. Sci.*, 54 (5): 1051-1055.
- (144). NAJAR T., SAUVANT D., PONCET C. et GIGER-REVERDIN Sylvie., 1990.
Comparaison des différents modèles d'ajustement des courbes d'excrétion fécale des marqueurs du transit. *Reprod. Nutr. Dev.*, 30 (Suppl. 2): 179-180.

- (145). NETEMEYER D.T., BUSH L.J. et OWENS F.N., 1980.
Effect of particle size of soybean meal on protein utilization in steers and lactating cows. J. Dairy Sci., 63: 574-578.
- (146). NETEMEYER D.T., BUSH L.J., WARD J.W. et JAFRI S.A., 1982.
Effect of heating soybean meal for dairy cows. J. Dairy Sci., 65: 235-241.
- (147). NEUTZE S.A., KELLAWAY R.C. et FAICHNEY G.J., 1986.
Kinetics of nitrogen transfer across the rumen wall of sheep given a low-protein roughage. Br. J. Nutr., 56: 497-507.
- (148). NOUR A.M., ABOU AKKADA A.R., EL-SHAZLY K., NAGA M.A., BORHAMI B.E. et ABAZA M.A., 1979.
Effect of increased levels of urea in the diet on ruminal protozoal counts in four ruminant species. J. Anim. Sci., 49 (5): 1300-1305.
- (149). OFFER N.W., AXFORD R.F.E. et EVANS R.A., 1972.
The recovery of markers in passage through the duodenum of the sheep. Proc. Nutr. Soc., 31: 39A-40A.
- (150). OFFER N.W., AXFORD R.F.E., et EVANS R.A., 1978.
The effect of dietary energy source on nitrogen metabolism in the rumen of sheep. Br. J. Nutr., 40: 35.
- (151). OKE B.O., LOERCH S.C. et DEETZ L.E., 1986.
Effects of rumen-protected methionine and lysine on ruminant performance and nutrient metabolism. J. Anim. Sci., 62: 1101-1112.
- (152). OLDHAM J.D., NAPPER D.J., SMITH T. et FULFORD Rosemary J., 1985.
Performance of dairy cows offered isonitrogenous diets containing urea or fishmeal in early and in mid-lactation. Br. J. Nutr. 53: 337-345.
- (153). OLDHAM J.D., SUTTON J.D. et McALLAN A.B., 1979.
Protein digestion and utilization by dairy cows. Ann. Rech. Vét., 10 (2/3): 290-293.
- (154). ORSKOV E.R. et FRASER C., 1973.
The effect of level of feeding and protein concentration on disappearance of protein in different segments of the gut in sheep. Proc. Nutr. Soc., 32: 68A-69A.
- (155). ORSKOV E.R., FRASER C. et McDONALD I., 1972.
Digestion of concentrates in sheep. 4. The effects of urea on digestion, nitrogen retention and growth in young lambs. Br. J. Nutr. 27: 491-501.
- (156). ORSKOV E.R. et Mc DONALD I., 1979.
The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. agric. Sci., Camb., 92: 499-503.
- (157). ORTIGUES Isabelle, SMITH T., OLDHAM J.D., McALLAN A.B. et SIVITER J.W., 1989.
Nutrient supply and growth of cattle offered straw-based diets. Br. J. Nutr., 62: 601-619.
- (158). OULD-BAH M.Y. et MICHALET-DOREAU Brigitte, 1988.
Influence du traitement des fourrages verts sur la cinétique de dégradation *in sacco* de l'azote dans le rumen. Reprod. Nutr. Dévelop., 28 (suppl. N°1): 103-104.

- (159). OWENS F.N., 1987.
New techniques for studying digestion and absorption of nutrients by ruminants. *Federation Proc.*, 46: 283-289.
- (160). PARSONS C.M. et POTTER L.M., 1981.
Utilization of amino acids analogues in diets of young turkeys. *Br. J. Nutr.* 46: 77-86.
- (161). PETERSEN M.K., CLANTON D.C. et BRITTON R., 1985.
Influence of protein degradability in range supplements on abomasal nitrogen flow, nitrogen balance and nutrient digestibility. *J. Anim. Sci.*, 60 (5): 1324-1329.
- (162). PHILLIPSON A.T., 1964.
The digestion and absorption of nitrogenous compounds in the ruminant. In. "Mammalian protein metabolism.". Ed. MUNRO H.N. and ALLISON J.B., Academic Press, NEW-YORK. p. 71-103.
- (163). PICHARD G. et Van SOEST P.J., 1977.
Protein solubility of ruminant feeds. *Proc. Cornell. Nutr. Conf.*: 91-100.
- (164). PONCET C. et AL-ABD A., 1984.
Particulate and fluid passage studies in sheep fed a hay-based diet. *Can. J. Anim. Sci.*, 64 (suppl.): 77-79.
- (165). PONCET C., BEAUFORT M.T. et AL-ABD A., 1985.
Vitesse de passage des résidus alimentaires et des liquides dans le tube digestif du mouton selon le marqueur et le type de ration. 1ères Journées Herbivores, PARIS. 21-22 Mars.
- (166). PONCET C., LALLES J.P., YANG W.Z., BERNARD Laurence, MARVALIN O. et DELVAL E., 1988.
Différences de teneurs en azote et ARN entre les bactéries libres et les bactéries fixées aux particules alimentaires du contenu de rumen, dans le cas de différentes rations; conséquences sur l'estimation de la proportion d'azote bactérien dans l'azote duodénal. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28 (suppl. N°1): 115-116.
- (167). PONCET C. et RAYSSIGUIER Y., 1980.
Effect of lactose supplement on digestion of lucerne hay by sheep. 1. Sites of organic matter and nitrogen digestion. *J. Anim. Sci.*, 51 (1): 180-185.
- (168). POND K.R., ELLIS W.C., MATIS J.H., FERREIRO H.M. et SUTTON J.D., 1988.
Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. *Br. J. Nutr.*, 60: 571-595.
- (169). POOS M.I., HANSON T.L. et KLOPFENSTEIN T.J., 1979.
Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *J. Anim. Sci.*, 48 (6): 1516-1524.
- (170). PRASAD V.R. et RAGHAVAN G.V., 1984.
Effect of processing of feeds on the concentration of various nitrogen fractions and total volatile fatty acids in the rumen fluid of buffaloes. *Indian J. Anim. Sci.*, 54 (6): 527-532.
- (171). PRIGGE E.C., BAKER M.J. et VARGA G.A., 1984.
Comparative digestion, rumen fermentation and kinetics of forage diets by steers and wethers. *J. Anim. Sci.*, 59 (1): 237-245.
- (172). QUICK T.C. et DEHORITY B.A., 1986.
A comparative study of feeding behavior and digestive function in dairy goats, wool sheep and hair sheep. *J. Anim. Sci.*, 63: 1516-1526.

- (173). RAHNEMA S.H. et THEURER B., 1986.
Comparison of various amino acids for estimation of microbial nitrogen in digesta. *J. Anim. Sci.*, 63: 603-612.
- (174). RAO Z.P. et THOMSEN K.V., 1984.
In vitro study on the utilization of various carbohydrates by rumen microbes using different nitrogen sources. *Indian J. Dairy Sci.*, 37 (4): 321-325.
- (175). REYNOLDS K.C. et HUNTINGTON G.B., 1988.
Partition of portal-drained visceral net flux in beef steers. 1. Blood flow and net flux of oxygen, glucose and nitrogenous compounds across stomach and post-stomach tissues. *Br. J. Nutr.*, 60: 539-551.
- (176). ROBINSON P.H., SNIFFER C.J. et Van SOEST P.J., 1985.
Influence of level of food intake on digestion and bacterial yield in the forestomachs of dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 65: 437-444.
- (177). RODE L.M., WEAKLEY D.C. et SATTER L.D., 1985.
Effect of forage amount and particle size in diets of lactating dairy cows on site of digestion and microbial protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.*, 65: 101-111.
- (178). ROGERS J.A., CONRAD H.R., DEHORITY B.A. et GRUBB J.A., 1986.
Microbial numbers, rumen fermentation, and nitrogen utilization of steers fed wet or dried brewers' grains. *J. Dairy Sci.*, 69: 745-753.
- (179). ROGERS J.A., PEIRCE-SANDNER S.B., PAPAS A.M., POLAN C.E., SNIFFEN C.J., MUSCATO T.V., STAPLES C.R. et CLARK J.H., 1989.
Production responses of dairy cows fed various amounts of rumen protected methionine and lysine. *J. Dairy Sci.*, 72: 1800-1817.
- (180). ROOKE J.A. et ARMSTRONG D.G., 1989.
The importance of the form of nitrogen on microbial protein synthesis in the rumen of cattle receiving grass silage and continuous intrarumen infusions of sucrose. *Br. J. Nutr.*, 61: 113-121.
- (181). ROOKE J.A., GREIFE H.A. et ARMSTRONG D.G., 1985.
The digestion by cattle of silage-containing diets fed at two dry matter intakes. 1. Digestion of organic matter and nitrogen. *Br. J. Nutr.*, 53: 691-708.
- (182). ROOKE J.A., LEE N.H. et ARMSTRONG D.G., 1987.
The effects of intraruminal infusions of urea, casein, glucose syrup and a mixture of casein and glucose syrup on nitrogen digestion in the rumen of cattle receiving grass-silage diets. *Br. J. Nutr.*, 57: 89-98.
- (183). RULQUIN H., 1992.
Intérêts et limites d'un apport de méthionine et de lysine dans l'alimentation des vaches laitières. *INRA Prod. Anim.*, 5 (1): 29-36.
- (184). SALTER D.N., DANESHVAR K. et SMITH R.H., 1979.
The origin of nitrogen incorporated into compounds in the rumen bacteria of steers given protein - and urea- containing diets. *Br. J. Nutr.*, 41: 197-209.
- (185). SEYMOUR W.M., POLAN C.E. et HERBEIN J.H., 1990.
Effects of dietary protein degradability and casein or amino acid infusions on production and plasma amino acids in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 73: 735-748.

- (186). SIDDONS R.C., BEEVER D.E. et NOLAN J.V., 1982.
A comparison of methods for the estimation of microbial nitrogen in duodenal digesta of sheep. Br. J. Nutr., 48: 377-389.
- (187). SIDDONS R.C., BEEVER D.E., NOLAN J.V., McALLAN A.B. et MacRAE J.C., 1979.
Estimation of microbial protein in duodenal digesta. Ann. Rech. Vét., 10 (2/3): 286-287.
- (188). SIDDONS R.C., NOLAN J.V., BEEVER D.E. et MacRAE J.C., 1985.
Nitrogen digestion and metabolism in sheep consuming diets containing contrasting forms and levels of N. Br. J. Nutr., 54: 175-187.
- (189). SIDDONS R.C. et PARADINE J., 1981.
Effect of diet on protein degrading activity in the sheep rumen. J. Sci. Food Agric. 32: 973-981.
- (190). SIDDONS R.C., PARADINE J., GALE D.L. et EVANS R.T., 1985.
Estimation of the degradability of dietary protein in the sheep rumen by *in vivo* and *in vitro* procedures. Br. J. Nutr., 54: 545-561.
- (191). SINGH U.B., MEHRA USHA R. et JOHRI S.B., 1980.
Effect of particle size of feed on the measurements of the degradability of proteins and dry matter in the rumen. (Short communication), Ref. indéterminée, p. 462-464.
- (192). SMITH R.H., 1959.
The development and function of the rumen in milk-fed calves. J. Agric. Sci., 52: 72-78.
- (193). SMITH R.H., 1962.
Net exchange of certain inorganic ions and water in the alimentary tract of the milk-fed calf. Biochem. J., 83: 151-163.
- (194). SMITH R.H., LEWIS Patricia E. et McALLAN A.B., 1976.
Estimation of microbial nitrogen compounds entering the ruminant duodenum using different reference components including a ³²P label. Proc. Nutr. Soc., 36: 6A.
- (195). SMITH R.H., McALLAN A.B., HEWITT D. et LEWIS P.E., 1978.
Estimation of amounts of microbial and dietary nitrogen compounds entering the duodenum of cattle. J. agric. Sci., Camb., 90: 557-568.
- (196). SMITH R.H. et MOHAMED O.E., 1977.
Effect of degradation in the rumen on dietary protein entering the ruminant duodenum. Proc. Nutr. Soc., 36: 153A.
- (197). SONI V.K. et SHARMA D.D., 1982.
Influence of concentrate levels on nitrogen metabolites and volatile fatty acid pattern in goat rumen. Indian J. Dairy Sci. 35 (4): 460-466.
- (198). SPICER L.A., THEURER C.B., SOWE J. et NOON T.H., 1986.
Ruminal and post-ruminal utilization of nitrogen and starch from sorghum grain, -corn- and barley-based diets by beef steers. J. Anim. Sci., 62: 521-530.
- (199). SRISKANDARAJAH N., KELLAWAY R.C. et LEIBHOLZ Jane, 1982.
Utilization of low-quality roughages; effects of supplementing with casein treated or untreated with formaldehyde on digesta flows, intake and growth rate of cattle eating wheat straw. Br. J. Nutr., 47: 553-562.

- (200). STERN M.D., SANTOS K.A. et SATTER L.D., 1985.
Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated whole soybeans. *J. Dairy Sci.*, 68: 45-56.
- (201). STORM E., ORSKOV E.R. et SMART R., 1983.
The nutritive value of rumen micro-organisms in ruminants. 2. The apparent digestibility and net utilization of microbial N for growing lambs. *Br. J. Nutr.*, 50: 471-478.
- (202). STORM E. et ORSKOV E.R., 1984.
The nutritive value of rumen micro-organisms in ruminants. 4. The limiting amino acids of microbial protein in growing sheep determined by a new approach. *Br. J. Nutr.*, 52: 613-620.
- (203). TAMMINGA S., 1975.
Observation on protein digestion in the digestive tract of dairy cows. 1. Distribution of amino acids in rumen microbes and digesta. *Z. Tierernähr. u. Futtermittelkde.*, 35: 337-346.
- (204). TAMMINGA S., Van Der KOELEN C.J. et Van VUUREN A.M., 1979.
Effect of the level of food intake in nitrogen entering the small intestine of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 6: 255-262.
- (205). TEETER R.G. et OWENS F.N., 1983.
Characteristics of water soluble markers for measuring rumen liquide volume and dilution rate. *J. Anim. Sci.*, 56 (3): 717-728.
- (206). TELLER E., GODEAU J.M. et DE BAERE R., 1979.
Urea and the fate of dietary nitrogen in the rumen. *Ann. Rech. Vét.*, 10 (2/3): 451-453.
- (207). THILL Nicole, FRANCOIS E., THEWIS A. et THIELEMANS Marie-France, 1978.
Comparaison chez le mouton, de l'oxyde de chrome-papier et du radiocérium, marqueurs de la phase solide des digesta. *Ann. Zootech.*, 27 (3): 363-376.
- (208). THOMPSON D.J., BEEVER D.E., LONSDALE C.R., HAINES M.J., CAMMELL S.B. et AUSTIN A.R., 1981.
The digestion by cattle of grass silage made with formic acid and formic acid-formaldehyde. *Br. J. Nutr.*, 46: 193-207.
- (209). THOMPSON F. et LAMMING G.E., 1972.
The flow of digesta, dry matter and starch to the duodenum in sheep given rations containing straw of varying particle size. *Br. J. Nutr.*, 28: 391-403.
- (210). UDEN P., 1984.
The effect of intake and hay:concentrate ratio upon digestibility and digesta passage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 11: 167-179.
- (211). UDEN P., COLUCCI P. et Van SOEST P.J., 1980.
Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.*, 31: 625-632.
- (212). UDEN P. et Van SOEST P.J., 1982.
The determination of digesta particle size in some herbivores. *Anim. Feed Sci. Technol.* 7: 35-44.
- (213). USHIDA K., JOUANY J.P. et THIVEND P., 1986.
Role of rumen protozoa in nitrogen digestion in sheep given two isonitrogenous diets. *Br. J. Nutr.*, 56: 407-419.

- (214). Van BRUCHEM J., BONGERS L.J.G.M., LAMMERS-WIENHOVEN S.C.W., BANGMA G.A. et Van ADRICHEM P.W.M., 1989.
Apparent and true digestibility of protein and amino acids in the small intestine of sheep as related to the duodenal passage of protein and non-protein dry matter. *Livest. Prod. Sci.*, 23: 317-327.
- (215). Van BRUCHEM J., BONGERS L.J.G.M., Van WALSEM J.D., ONCK W. et Van ADRICHEM P.W.M., 1985c.
Digestion of proteins of varying degradability in sheep. 3. Apparent and true digestibility in the small intestine and ileal endogenous flow of N and amino acids. *Neth. J. agric. Sci.*, 33: 285-295.
- (216). Van BRUCHEM J., ROUWERS S.M.G., BANGMA G.A., LAMMERS-WIENHOVEN S.C.W. et Van ADRICHEM P.W.M., 1985b.
Digestion of proteins of varying degradability in sheep. 2. Amount and composition of the protein entering the small intestine. *Neth. J. agric. Sci.*, 33: 273-284.
- (217). VEIRA D.M., MacLEOD G.K., BURTON J.H. et STONE J.B., 1980.
Nutrition of the weaned holstein calf. 1. Effect of dietary protein level on rumen metabolism. *J. Anim. Sci.*, 50 (5): 937-944.
- (218). VEIRA D.M., MacLEOD G.K., BURTON J.H. et STONE J.B., 1980.
Nutrition of the weaned holstein calf. 2. Effect of dietary protein level on nitrogen balance, digestibility and feed intake. *J. Anim. Sci.*, 50 (5): 945-951.
- (219). VERITE R., 1978.
Alimentation azotée de la vache laitière. In "La vache laitière.", Ed. I.N.R.A. Publications, VERSAILLES. p. 183-198.
- (220). VERITE R. et DEMARQUILLY C., 1978.
Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants. In "La vache laitière.", Ed. I.N.R.A. Publications, VERSAILLES, p. 143-157.
- (221). VERITE R., DULPHY J.P. et JOURNET M., 1983.
La complémentation azotée des rations d'ensilage pour les vaches laitières. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, 52: 43-51.
- (222). VERITE R., MICHALET-DOREAU B., CHAPOUTOT P., PEYRAUD J.L. et PONCET C., 1987.
Révision du système des Protéines Digestibles dans l'Intestin (P.D.I.). *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, 70: 19-34.
- (223). Van't KLOOSTER A.T. et ROGERS P.A.M., 1969.
Observation on the digestion of food along the gastro-intestinal tract of fistulated cows. 1. The rate of flow of digesta and the net absorption of dry matter, organic matter, ash, nitrogen and water. *Meded. Landbouwdhigest. Wageningen.*, 69:3.
- (224). VOGELS G.D. et VAN DER DRIFT C., 1970.
Differential analysis of glyoxylate derivatives. *Anal. Biochem.*, 33: 143-157.
- (225). Van SOEST P.J., UDEN P. et WRICK K.F., 1983.
Critique and evaluation of markers for use in nutrition of humans and farm and laboratory animals. *Nutrition Reports International*, 27 (1): 17-28.

- (226). WAGHORN G.C., ULYATT M.J., JOHN A. et FISHER M.T., 1987.
The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. Br. J. Nutr., 57: 115-126.
- (227). WALDO D.R., 1968.
Nitrogen metabolism in the ruminant. J. Dairy Sci., 51 (2): 265-275.
- (228). WALLER J., MERCHEN N., HANSON T. et KLOPFENSTEIN T., 1980.
Effect of sampling intervals and digesta markers on abomasal flow determinations. J. Anim. Sci., 50 (6): 1122-1126.
- (229). WALTON M.J., COWEY C.B. et ADRON J.W., 1984.
The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Br. J. Nutr., 52: 115-122.
- (230). WELCH J.G., 1982.
Rumination, particle size and passage from the rumen. J. Anim. Sci., 54 (4): 885-894.
- (231). WELCH J.G. et SMITH A.M., 1969.
Influence of forage quality on rumination time in sheep. J. Anim. Sci., 28: 813-818.
- (232). WELCH J.G. et SMITH A.M., 1969.
Effect of varying amounts of forage intake on rumination. J. Anim. Sci., 28: 827-830.
- (233). WELCH J.G. et SMITH A.M., 1971.
Effect of beet pulp and citrus pulp on rumination activity. J. Anim. Sci., 33 (2): 472-475.
- (234). WELLER R.A. et PILGRIM A.F., 1974.
Passage of protozoa and volatile fatty acids from the rumen of the sheep and from a continuous *in vitro* fermentation system. Br. J. Nutr., 32: 341-351.
- (235). WELLER R.A., PILGRIM A.F. et GRAY F.V., 1962.
Digestion of foodstuffs in the rumen of the sheep and the passage of digesta through its compartments. 3. The progress of nitrogen digestion. Br. J. Nutr., 16: 83-90.
- (236). WELLER R.A., PILGRIM A.F. et GRAY F.V., 1971.
Level of food intake and the passage of markers and nitrogen along the alimentary tract of sheep. Br. J. Nutr., 26: 487-497.
- (237). WESTON R.H. et HOGAN J.P., 1967.
The transfer of nitrogen from the blood to the rumen in the sheep. Aust. J. Biol. Sci., 20: 967-973.
- (238). WHITELOW F.G., EADIE Margaret J., BRUCE L.A. et SHAND W.J., 1984.
Microbial protein synthesis in cattle given roughage-concentrate diets: the use of 2,6-diaminopimelic acid, 2-aminoethylphosphonic acid and ³⁵S as markers. Br. J. Nutr., 52: 249-260.
- (239). WHITELOW F.G., MILNE J.S., ORSKOV E.R. et SMITH J.S., 1986.
The nitrogen and energy metabolism of lactating cows given abomasal infusions of casein. Br. J. Nutr., 55: 537-556.
- (240). WILLIAMS C.H., DAVID D.J. et IISMAA O., 1962.
The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. J. Agric. Sci., 59: 381-385.

- (241). WINDSCHITL P.M. et STERN M.D., 1988.
Effects of urea supplementation of diets containing lignosulfonate-treated soybean meal on bacterial fermentation in continuous culture of ruminal contents. *J. Anim. Sci.*, 66: 2948-2958.
- (242). WRIGHT M.D. et LOERCH S.C., 1988.
Effects of rumen-protected amino acids on ruminant nitrogen balance, plasma amino acid concentrations and performance. *J. Anim. Sci.*, 66: 2014-2027.
- (243). YOUNG A.W., SCHELLING G.T., TUCKER R.E. et MITCHELL, Jr G.E., 1981.
Plasma amino acid response to abomasal infusions of amino acids in sheep. *J. Anim. Sci.*, 52 (6): 1421-1429.
- (244). ZINN R.A., BULL L.S. et HEMKEN R.W., 1981.
Degradation of supplemental proteins in the rumen. *J. Anim. Sci.*, 52 (4): 857-866.
- (245). ZINN R.A. et OWENS F.N., 1983.
Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. *J. Anim. Sci.*, 56 (2): 471-475.
- (246). ZINN R.A. et OWENS F.N., 1983.
Site of protein digestion in steers: predictability. *J. Anim. Sci.*, 56 (3): 707-716.

S U M M A R Y.

The effects of an alimentary restriction and addition in the rumen of protected amino acids (methionine, lysine) on the digestion and nitrogen utilization was studied in the adult goats.

In the alimentary restriction experiment (*ad libitum* vs. 75% of *ad libitum* level of intake of a hay (1/3): dehydrated beet pulp (1/3): dehydrated lucerne (1/3) ration.) the goats used was dry. The methionine-lysine experiment (3-0 g/d of Methionine-Lysine product added in the rumen, 3-5 ML, 3-13 ML and 3-22 ML) was carried out with a lactating goats. Cr_2O_3 and PEG was used as indigestible and soluble markers of digestive flow. Bacterial nitrogen flow was estimated with DAP and RNA markers. On the fistulated animals (rumen, duodenum, ileum), the flow of nutrients, digestive and nitrogen balances (compartmental and total) were measured.

The results reporting the methodological aspects of the flow estimation appears in the second part of this work (chapter 2); those concerning the digestion and the metabolic utilization of nitrogen are included in chapter 3.

a). Methodological aspects of the digestive flow estimation.

Circadian variation of the markers concentration in the duodénal content was observed despite their long-term administration (21 days, for PEG: CV=23 to 42%, for Cr_2O_3 : CV=14 to 43%). The soluble/insoluble ratio of markers was also variable in the duodénium and indicate a differential transit of PEG and Cr_2O_3 . The mean values of PEG/ Cr_2O_3 (rapported to the ratio of administrated PEG/ Cr_2O_3) was 0,94 ($n=20$, $\sigma=0,12$) in the duodénium, 1,06 ($\sigma=0,09$) in the ileum and 0,87 ($\sigma=0,07$) in the feces, indicating differential losses of markers in the digestive tract compartments. The amount of Cr_2O_3 in the duodenal digesta was strongly related with those of dry matter, organic matter and total nitrogen; fecal recovery was better than those of PEG (95% vs. 83%).

A comparison of many sampling frequency (12, 6 and 4 samples/day) and different methods of flow estimation (double markers-simultaneous estimation, 2 markers-separate estimation, 2 markers-mean flow) shown that there is no significant effects on the flow estimation, suggesting that number of samples and estimation methods can be simplified without estimation bias.

A model for the determination of marker saturation in the rumen is proposed; it can be used in the duodenal flow estimation from kinetic parameters (rate of passage, rumen volume) of digestion. Tested on the duodenal concentration curves of PEG, and compared with double marker-simultaneous estimation method, the model provide a reliable and more precise results. Differential responses within animals and within a level of intake on the duodenal flow estimation was restituted by the results.

In the free bacteria (isolated from rumen juice), DAP, ARN and N amounts was variable (CV=0,18, 0,20 and 0,11 respectively), while N/DAP and N/ARN was independants ($r=0,049$). N amount of bacteria was related to soluble N intake ($r=0,537$), dPDI/UFL intake ($r=0,632$) and urea milk rate ($r=0,785$), as uremia predictor.

ARN was very strongly digested in the intestines (85% in the dry goats, 90% in the lactating goats), while the intestinal digestion of DAP was variable (77% in dry goats vs. 40% in lactating goats). These substances cannot be reliably used as bacterial markers in the hind gut, assuming a variability in their intestinal digestion..

Bacterial N flow in the duodenum of lactating goats (14 measures) represent 59% of total N passing in this part ($\sigma=11$). It is inversely related to the proportion of hay in the ration ($r=-0,735$), and positively influenced by soluble N intake ($r=0,727$) and by a net gain of N in the duodenum (N recycled, $r=0,676$). Bacterial N flow in the duodenum is reliably predicted by intake parameters (OM intake, PDIE intake) and metabolic indicators (urinary allantoin, urinary Nurea) in the following equation:

$$N_{\text{bact.}} = 6,47 \text{ allant.} + 0,04 \text{ OM intake} - 1,06 \text{ Nurea} - 0,37 \text{ PDIE} - 0,6$$

b). Intake limitation and methionine-lysine addition.

In the restricted dry goats, some modifications were observed in the rumen activity and digestion processes. the quantity of OM fermented in the rumen was reduced (-296 g/d) and efficiency of bacterial synthesis was diminished (-4,6 g N/kg DOM). In the duodenum, the reduction of N flow (-11,3 g/d) was entirely from bacterial origin. The quantity of N digested in the small intestine decreased (-7,7 g/d), but no effect of alimentary restriction was observed on the intestinal digestibility of N. The quantity of N retained in the restricted animals decreased (-5,8 g/d), but no differences was observed on the urinary N excretion. This results suggest that digestion and metabolism efficiency in the dry goats was affected by the restriction regimen, although the nitrogen needs stays largely covered by intake (3,3 times in *ad libitum* regimen, 2,4 in restriction regimen).

The addition of L-lysine HCl (3,0 , 7,8 and 13,2 g/d) in the rumen of lactating goats had not affect the digestive and metabolic processes of nitrogen. None modifications has been observed on the fermentation parameters, flow and digestion of N. The metabolic utilization and milk N composition has not been modified, indicating probably that L-lysine has not been a limiting factor in milk production. However the blood concentration of lysine has been significantly elevated in response to rumen administration of methionine-lysine product, accompanied by increasing concentrations of another group of amino acids (Thr., Ile., Orn., Val.). Despite the absence of significant effects on the quantitative processes of digestion and N metabolism, the marginal efficiency of lysine was very high, but decreased with increase of administred quantities. with 3,0 g/d of L-lysine HCl administred, intestinal absorption of N increased to 4,4 g N/g N-lys. administred, and N retention to 2,7 g/g N-lys. Urinary excretion of N was decreased (-2,1 g/g N-lys.), and further N was mobilised in milk production (+3,9 g/g N-lys.). These marginal performances decreased with 7,8 g/d of L-lysine HCl administred, and annulated with a 13,2 g/d treatment.

**AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE
DE LORRAINE**

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

**Monsieur PONCET Claude, Directeur de Recherche, INRA Theix
Clermont Ferrand,**

**Monsieur VANBELLE Marcel, Professeur, Faculté des Sciences
Agronomiques Louvain la Neuve (Belgique).**

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur HALBOUCHE Miloud

à soutenir devant l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,
une thèse intitulée :

"Flux, digestion et utilisation des matières azotées par les caprins".

en vue de l'obtention du titre de :

**DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
LORRAINE**

Spécialité : **"SCIENCES AGRONOMIQUES"**

NANCY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORET-DE-HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 5 4 5 0 1
VANDŒUVRE CEDEX

Fait à Vandoeuvre le, **30 Septembre 1994**

Le Président de l'INPL,

M. LUCIUS

