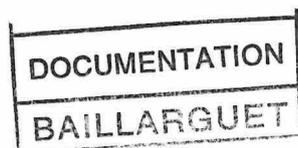


CIRAD-EMVT
Campus de Baillarguet
Montferrier-sur-Lez
B.P. 5035
34032 Montpellier cedex 1

Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS



**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

MEMOIRE DE STAGE

**INFLUENCE D'UNE VARIATION DU NIVEAU ALIMENTAIRE
SUR LA DIGESTION DE DEUX FOINS CHEZ DES VACHES
CHAROLAISES OU HOLSTEIN EN ZONE TEMPEREE (FRANCE).**

par

Abdoulaye DIAWARA

VT 970331

BALTH 193

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

INFLUENCE D'UNE VARIATION DU NIVEAU ALIMENTAIRE
SUR LA DIGESTION DE DEUX FOINS CHEZ DES VACHES
CHAROLAISES OU HOLSTEIN EN ZONE TEMPEREE (FRANCE)

par

Abdoulaye DIAWARA

Lieu du stage : INRA Theix 63122 Saint Genès Champanelle France

Organisme d'accueil : INRA Laboratoire Sous Nutrition des Ruminants

Période du stage : 05 mai 1997 au 30 septembre 1997

Rapport présenté oralement le : 07 octobre 1997



* TH02592 *

SOMMAIRE

RESUME	2
REMERCIEMENTS	3
LISTE DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION	4
A. MATERIEL ET METHODES	
1. ANIMAUX ET SCHEMA EXPERIMENTAL	6
2. REGIMES ALIMENTAIRES	7
3. MESURES ET ANALYSES DE LABORATOIRE	7
3.1 Mesures	6
3.1.1 Digestibilité et bilan azoté	
3.1.2 Transit des particules	
3.1.3 Dégradation in sacco	
3.1.4 Vidage	
3.2 Analyses de Laboratoire	9
3.2.1 Aliments, fèces et urine	
3.2.2 Mesures des concentrations des marqueurs	
3.2.3 Mesure de la taille des particules	
4. CALCULS ET ANALYSES STATISTIQUES	10
4.1 Calculs	10
4.1.1 Transit	
4.1.2 Dégradation in sacco	
4.1.3 Taille des particules	
4.2 Analyses statistiques	11
B. RESULTATS ET DISCUSSION	
1. DIGESTIBILITE DE LA RATION ET BILAN AZOTE	13
1.1 Digestibilité des la ration.....	13
1.2. Bilan azoté.....	14
2. DEGRADATION IN SACCO	15
3. TRANSIT DES PARTICULES DANS LE RUMEN ET LE TUBE DIGESTIF	17
4. CONTENUS DE RUMEN	18
5. GRANULOMETRIE DU RUMEN ET DES FECES	19
5.1 Granulométrie du rumen.....	19
5.2 Granulométrie des fèces.....	20
CONCLUSION	23
BIBLIOGRAPHIE	24

RESUME

Ce mémoire avait pour objectif d'étudier l'effet de la variation du niveau alimentaire sur la digestibilité, le bilan azoté, le transit et la digestion ruminale d'un foin de bonne qualité et d'un autre de qualité moyenne. Sur six Holstein et six Charolaises, nous avons mesuré la digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et des différentes fractions pariétales de la ration. Le bilan azoté a également été étudié de même que le transit des particules dans le rumen et le tube digestif, et la taille des particules dans les fèces. Enfin certaines mesures ont été réalisées seulement sur les Holstein qui étaient porteuses de canules du rumen : dégradation de la matière sèche in sacco, contenus de rumen, tailles des particules dans le rumen. Ces mesures ont été réalisées pour les deux foins et trois niveaux alimentaires très différents (haut, moyen et bas), le niveau moyen étant proche du niveau couvrant les besoins d'entretien.

La variation du niveau d'ingestion n'a pas entraîné de différence significative de digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et des parois végétales de la ration. Une tendance à la diminution de digestibilité a même été observée chez les animaux sous-alimentés. Ce résultat diffère de la tendance généralement observée, qui est un accroissement de digestibilité lorsque le niveau d'ingestion diminue. Le bilan azoté a été plus négatif lorsque les animaux étaient sous-alimentés sans qu'il y ait d'adaptation à une forte sous-alimentation. Lorsque les animaux étaient sous-alimentés, le temps de rétention des particules dans le rumen et l'ensemble du tube digestif s'est accru. Il apparaît donc dans cet essai qu'une augmentation du temps de transit ne permet pas d'améliorer la digestibilité. Par ailleurs, la variation du niveau d'ingestion n'entraîne pas de modification de la dégradation ruminale de la matière sèche, et n'a qu'une influence limitée sur la taille des particules dans le rumen et les fèces. Enfin, une diminution des quantités ingérées entraîne une diminution du contenu de rumen sec et frais, ainsi que de sa teneur en matière sèche.

Dans notre essai, il a été démontré que la digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et des différentes fractions pariétales de la ration a été, comme c'était prévu, plus élevée pour le foin de bonne qualité que pour le foin de qualité moyenne. Une partie de cette variation a pu s'expliquer par un temps de séjour plus long du foin dans le rumen. De plus, quelle que soit la qualité du fourrage, la relation entre la digestibilité ou la digestion ruminale et le niveau d'ingestion est identique. Aucune différence de digestibilité n'a en revanche été constatée entre les Holstein et les Charolaises. Il n'y a pas eu non plus d'effet de la race sur le bilan azoté ou sur le transit. L'absence d'interaction entre le niveau d'ingestion et la race dans notre essai, est conforme à l'hypothèse qu'il n'y a pas sur le plan digestif de race de bovin plus adaptée qu'une autre à la sous-alimentation.

Mots Clés :

Niveau d'alimentation, digestibilité, foin, micro-organisme, rumen, transit, taille des particules, fractions pariétales, bovin Holstein, bovin Charolais.

REMERCIEMENTS

Cette page nous donne l'occasion de remercier encore une fois **Allah**, le **Clément**, le **Miséricordieux**.

Je ne pourrai remercier **Allah** sans y associer son Prophète **Mohamed** (Paix et Salut sur Lui) qui demeure une référence pour tout bon musulman. Mais Allah n'a-t-il pas dit dans le Saint Coran celui qui ne remercie pas les hommes ne doit pas me remercier. Ainsi, je citerai ici certaines personnes eu égard à leurs précieux concours dont j'ai bénéficié et que je n'oublierai jamais, **Inch Allah**.

Tout d'abord, j'exprime mes sincères et profonds remerciements pour tout, aux Docteurs Abdoulaye Bouna **NIANG**, Vétérinaire-Zootechnicien, Directeur National de l'Elevage du Sénégal et Bouna Albourey **DIOP**, Vétérinaire, Coordinateur National du Projet-PARC / Sénégal.

Je remercie chaleureusement le Professeur Gérard **DUVALLET**, Directeur de l'Enseignement au **CIRAD-EMVT** et l'ensemble de son précieux et dévoué personnel (Brigitte, Marie-Caroline, Christine, Martine **GLADY**) pour leur disponibilité constante, leur hospitalité. Je leur exprime ma profonde reconnaissance. Je leur assure d'emblée qu'ils sont entrés dans l'éternité de mon cœur.

Je remercie vivement tous mes Professeurs au **DESS-PARC**, session de 1996 / 1997 de n'avoir ménagé aucun effort pour assurer à la promotion une formation de qualité.

Que Monsieur Hubert **GUERIN** (UR-Alfa / Nutrition, **CIRAD-EMVT** à Baillarguet, Montpellier) responsable du module Alimentation-Nutrition et ses collaborateurs à ce module qui, en raison de la qualité de leurs enseignements m'ont préparé au stage soient rassurés de ma reconnaissance. En outre, je remercie particulièrement Monsieur **GUERIN** pour l'intérêt qu'il a toujours porté à mon stage, pour la qualité de ses discussions scientifiques, pour ses précieux conseils et pour les corrections portées à ma synthèse bibliographique.

Je remercie Monsieur Yves **CHILLIARD**, Directeur de Recherches-Directeur du Laboratoire de Sous-Nutrition des Ruminants (INRA / THEIX) pour son accueil et sa sympathie et à travers lui, l'ensemble du personnel sans exception dudit Laboratoire et de l'Unité Expérimentale "Les Cèdres" pour leur ouverture, leur sympathie quotidienne dont je me souviendrai toujours. Il s'agit de Michel **DOREAU**, Pascale **BERAUD**, Yannick **FAULCONNIER**, Jeannette **FLECHET**, Anne **FERLAY**, Martine **TOURRET**, Renée **LEFAIVRE**, Josiane **CHABROT**, Paulette **L'HOTELIER**, François **BOCQUIER**, Pierre **NOZIERE**, Jacques **ROUEL**, Yann **TOURNADRE**, Yvette **FOURNIER**, Gaby **SAUVAGE**, Daniel **THOMAS**, Alain **OLLIER**, Carole **DELAVAUD**, Muriel **BONNET**.

Je remercie cordialement mon maître Monsieur Michel **DOREAU**, Directeur de Recherches. Je le remercie pour m'avoir confié un travail dont il a brillamment assuré la direction scientifique. Michel, je te remercie pour la qualité de ton encadrement, ta confiance, ta rigueur scientifique, ta disponibilité sans faille. Je t'assure de ma profonde gratitude ainsi qu'à Madame Brigitte **MICHALET-DOREAU** pour avoir corrigé en partie mon mémoire avec une rigueur scientifique digne d'admiration.

Ce mémoire est l'aboutissement d'un travail auquel plusieurs personnes ont efficacement participé. Que chacun reçoive ici mes remerciements et ma sympathie. Par rapport à cela, je tiens à remercier notamment :

- Monsieur Alain **OLLIER** et ses collaborateurs de l'Unité Expérimentale « Les Cèdres » en particulier Monsieur Daniel **THOMAS** et Madame Gabrielle **SAUVAGE** ;

- Mesdames Josiane **CHABROT** et Renée **LEFAIVRE** pour leurs conseils, leurs aides compétentes pendant les différents dosages.

Je remercie Mesdames Pascale **BERAUD** et Yvette **FOURNIER** pour les services qu'elles m'ont gracieusement rendus durant tout mon séjour à l'INRA de Theix.

Mon séjour durant ce stage a pu être facilité grâce au soutien de tous les jours, à la compréhension et à la sympathie sans commune mesure de la famille **DOREAU**, place du marché à Saint Saturnin (Michel, Brigitte, Bastien, Romain et Vincent), Pierre **NOZIERE** (le jeune) / la gentille Peggy **BRUYAND** prêts à rendre service à tout moment et **gratuitement**. Que ce beau monde soit vivement remercié. Je me rappellerai à chaque instant des sympathiques moments passés avec vous entre autres à Saint-Saturnin, à la rue Barbusse, à La Jonchère, à la rue Viviani.

Je remercie cordialement Madame Rokhaya Fall **DIAWARA**, mon épouse, pour ses précieux conseils qui ne m'ont jamais fait défaut, pour sa compréhension et mes chers enfants et amis (Ibrahima Guèye **DIAWARA** et Papa Mouhamadou Lamine **DIAWARA**) pour le sacrifice consenti.

Je remercie vivement mes camarades de la promotion 1996 / 1997 du **DESS-PARC / CIRAD-EMVT**, pour leur sympathie.

LISTE DES ABREVIATIONS

MO	Matière organique
MS	Matière sèche
ADF	Acid Detergent Fiber (fibre soluble dans un détergent acide)
NDF	Neutral Detergent Fiber (fibre soluble dans un détergent neutre)
PV	Poids vif
P^{0.75}	Poids métabolique
UFL	Unité Fourragère Lait

INTRODUCTION

Les variations saisonnières de la disponibilité fourragère compromettent, bien souvent sur une bonne partie de l'année, la couverture du besoin d'entretien des animaux. Des situations de sous-alimentation très variées sont observées.

En milieu tempéré, en France par exemple, pendant la saison hivernale, la sous-alimentation résulte d'une spéculation économique. Une restriction alimentaire délibérée des vaches allaitantes permet de limiter les stocks fourragers nécessaires pour traverser l'hiver, avec des économies substantielles sur le coût de production et de stockage des fourrages à conserver. Selon Doreau (1997), les nouvelles contraintes de la production agricole (surproduction, nécessité de prendre en compte les problèmes d'environnement et d'assurer la gestion de l'espace rural) entraînent des changements profonds dans les systèmes de production des ruminants. Au modèle intensif très largement répandu se juxtaposent désormais différents modèles moins axés sur la productivité et caractérisés par la réduction des intrants et une sous-utilisation des potentialités des animaux. Ainsi apparaissent des modes d'élevage extensifs qui peuvent se traduire par des états de sous-nutrition, et donc de carence alimentaire par rapport aux besoins nutritionnels. Cette situation est par ailleurs caractéristique de nombre de pays du Sud à faibles disponibilités alimentaires, du fait d'un climat aride, en zone méditerranéenne ou d'une saison sèche prononcée, en climat tropical où l'animal ne dispose sur ses parcours que de pailles herbacées sur pied ou de résidus de cultures vivrières, complétées éventuellement par des fourrages arbustifs. Ces pailles sont peu digestibles, par conséquent peu ingestibles. Même disponibles à volonté, comme seul aliment, elles ne couvrent au mieux que deux tiers des besoins d'entretien du ruminant. L'animal, grâce à ses déplacements et à son comportement de tri parvient souvent à couvrir ses besoins. Les jeunes rameaux, les fleurs, les fruits, les gousses, des Mimosacées (*Acacia*) en particulier, constituent des fourrages d'appoint non négligeables (Guérin, 1987).

Même si les animaux ont la possibilité de récupérer leurs réserves à certaines périodes de leur cycle, il existe souvent des problèmes notamment de reproduction liés à une forte sous-nutrition. Cette dernière entraîne un retard dans la reprise de cyclicité. Pour cette raison, il est important de bien connaître les apports alimentaires, et donc la valorisation de la ration, et en premier lieu sa digestibilité.

L'analyse de la bibliographie montre que, sur le plan digestif, l'animal a la capacité d'augmenter l'utilisation digestive des aliments qui lui sont offerts lorsque son ingestion diminue, ce qui lui permet d'en tirer une quantité maximale de nutriments. Cette meilleure utilisation digestive résulte de la modification d'un certain nombre de processus digestifs parmi lesquels l'allongement de la durée d'exposition des aliments à l'attaque des micro-organismes dans le rumen (Chilliard *et al*, 1995). Les micro-organismes eux-mêmes pourraient apporter leur contribution en ajustant leur activité de dégradation des aliments à la disponibilité du substrat dans le milieu. Cela suppose que la restriction énergétique ne soit pas doublée d'un déficit en éléments nutritifs comme les matières azotées, les minéraux, les vitamines qui sont aussi indispensables au bon fonctionnement de l'organisme microbien. Mais la plupart des travaux sur les relations entre niveau d'ingestion et digestion a été réalisée sur des animaux alimentés

au dessus de l'entretien. Pour les animaux sous-alimentés, les références manquent, d'où la mise en place d'un programme de recherche établi par l'INRA à Theix. Les études sont menées en collaboration avec le CIRAD et le CIRDES au Burkina Faso.

Ce mémoire présente les principales caractéristiques de la digestion ruminale, permettant de comprendre les processus digestifs. Mais l'objectif principal est de caractériser les ajustements des processus digestifs mis en oeuvre par le bovin quand les quantités de matière sèche et / ou de nutriments offerts sont limitées. Dans notre essai, nous avons comparé deux races et deux foins sur trois périodes différentes avec trois niveaux alimentaires. Les trois niveaux alimentaires étaient très différents (haut, moyen et bas) pour déterminer si la réponse des phénomènes digestifs à une variation du niveau d'ingestion était linéaire, ou variait selon qu'on se situait au dessus ou au dessous du niveau alimentaire correspondant au besoin d'entretien. L'usage du bon foin et du foin moyen a eu pour objectif de déterminer la relation digestibilité-transit à différents niveaux d'ingestion entre deux foins de qualité différente. Un mauvais foin n'a pas été trouvé pour cet essai, ce qui aurait été l'idéal pour étudier les relations entre qualité du foin et réponse à la sous-alimentation. Les deux races de l'essai étaient deux races extrêmes, les Holstein (race laitière) à capacité d'ingestion assez élevée et rarement placées en situation de quantités ingérées très faibles et les Charolaises, race à viande à capacité d'ingestion limitée et fréquemment alimentées en quantités réduites. Les quantités ingérées ont été rapportées au poids métabolique des animaux en vue d'avoir des quantités ingérées comparables entre les Holstein et les Charolaises.

MATERIEL ET METHODES

Tableau 1 : Schéma expérimental

		Numéro	Période			
			1	2	3	
BON FOIN	Holstein	90004	Haut	Bas	Moyen	
		90016	Bas	Moyen	Haut	
		91041	Moyen	Haut	Bas	
	Charolaise	89389	Haut	Moyen	Bas	
		89556	Bas	Haut	Moyen	
		93143	Moyen	Bas	Haut	
	FOIN MOYEN	Holstein	89241	Haut	Moyen	Bas
			90001	Bas	Haut	Moyen
			91048	Moyen	Bas	Haut
Charolaise		93008	Haut	Bas	Moyen	
		93011	Bas	Moyen	Haut	
		93012	Moyen	Haut	Bas	

Tableau 2 : Périodes d'adaptation et mesures

Période	Foin	Adaptation	Mesures
1	Moyen	20/01 au 15/02	16/02 au 24/02
1	Bon	27/01 au 22/02	23/02 au 03/03
2	Moyen	25/02 au 15/03	16/03 au 24/03
2	Bon	4/03 au 22/03	23/03 au 1/04
3	Moyen	25/03 au 12/04	13/04 au 21/04
3	Bon	2/04 au 19/04	20/04 au 28/04

1. ANIMAUX ET SCHEMA EXPERIMENTAL

L'expérience a été réalisée sur six vaches Holstein vides, tariées et canulées du rumen et six vaches Charolaises vides tariées non canulées, en stalles équipées pour la collecte des fèces. Elles ont reçu au cours de trois périodes expérimentales soit un bon foin (trois Holstein et trois Charolaises) soit un foin moyen (les trois autres Holstein et les trois autres Charolaises) distribué à trois niveaux alimentaires (haut, moyen, bas).

Le schéma expérimental figure sur le tableau 1.

Ce schéma est formé de deux séries de deux carrés latins complémentaires ce qui permet sur l'ensemble de l'essai qu'il ait autant d'accroissements que de diminutions d'ingestion.

Les durées des périodes d'adaptation et de mesures étaient respectivement de 27 jours et 9 jours. Pour faciliter la collecte, les dates de ces périodes ont été décalées ont été décalées d'une semaine entre les vaches sur le bon foin et celles sur le mauvais foin (tableau 2). Ce décalage a pour objectif d'obtenir une meilleure simultanéité des prélèvements en ayant seulement six animaux en mesures à chaque période.

Les animaux ont été pesés en début d'expérimentation. Parallèlement, une double notation de l'état corporel a été effectuée par appréciation de l'importance du gras de couverture lors du maniement des animaux à la base de la queue et sur le plat des côtes sur une échelle de 0 à 5 (Bazin *et al.* 1984).

Ces mesures ont permis de déterminer les caractéristiques des animaux au début de l'essai.

Holstein recevant le bon foin : poids vif : 734 ± 74 kg
note d'état corporel : $3,0 \pm 0,5$

Holstein recevant le foin moyen : poids vif : 741 ± 103 kg
note d'état corporel : $3,0 \pm 0,5$

Charolaises recevant le bon foin : poids vif : 806 ± 119 kg
note d'état corporel : $3,3 \pm 0,3$

Charolaises recevant le foin moyen : poids vif : 818 ± 40 kg
note d'état corporel : $3,3 \pm 0,3$

Tableau 3 : Besoins des animaux

BESOINS	Energie (UFL)	Azote (g PDI)
Holstein		
lot bon foin	5,80	462
lot foin moyen	5,84	465
Charolaises		
lot bon foin	6,23	498
lot foin moyen	6,30	504

2. REGIMES ALIMENTAIRES

La ration était constituée de foin seul. Le foin moyen était un dactyle 1^{er} cycle. Sa valeur nutritive théorique par kg MS estimée d'après sa composition botanique et sa composition chimique figurant sur les tables INRA de Jarrige (1988) était la suivante : 0,64 UFL, 79 g PDIE, 81 g PDIN.

Le bon foin était une prairie naturelle 2^{ème} cycle, dont la valeur nutritive théorique par kg MS était: 0,79 UFL, 86 g PDIE, 83 g PDIN.

La composition (en % de la MS) en parois végétales ADF, NDF et en MAT était en moyenne la suivante :

- bon foin : NDF : 39.12
ADF : 30.96
MAT : 11.96
- foin moyen : NDF : 65.30
ADF : 39.10
MAT : 14.06

On remarque que le foin moyen est plus riche en matières azotées que le bon foin, probablement en raison de leur origine botanique différente.

Un complément minéral a été apporté à raison de 150 g /j quel que soit le niveau alimentaire. Il comprenait 12 % de phosphore, 14 % de calcium et 5 % de magnésium.

Les niveaux haut, moyen et bas correspondent à 80, 50 et 20 g / kg P^{0,75}. Le fait de rapporter les quantités ingérées au poids métabolique permet de réduire les écarts entre les animaux de poids différents. Les besoins ont été estimés à partir des tables de Jarrige (1988). Ils figurent sur le tableau 3. Du fait de la différence de valeur énergétique entre les deux foin, les niveaux de couverture des besoins comme l'indique le tableau 4 étaient différents.

La ration a été distribuée en deux fois par jour, à 9 et 16 heures, en deux parties égales.

3. MESURES ET ANALYSES DE LABORATOIRE

3.1. Mesures

3.1.1. Digestibilité et bilan azoté

Tableau 4 : Ingestion, apports alimentaires et couverture des besoins des animaux selon les niveaux

	Ingéré (kgMS)	Apports UFL	Couverture besoins énergie (%)	Apports Azoté(g PDI)	Couverture besoins azotés (%)
HOLSTEIN					
Lot bon foin					
niveau haut	11,28	8,91	154	936	203
niveau moyen	7,05	5,57	96	585	127
niveau bas	2,82	2,22	38	234	51
Lot foin moyen					
niveau haut	11,36	7,27	124,5	897	193
niveau moyen	7,10	4,54	77,8	561	120
niveau bas	2,84	1,82	31	224	48
CHAROLAISES					
Lot bon foin					
niveau haut	12,08	9,54	153	1003	201
niveau moyen	7,55	6,00	96,3	627	126
niveau bas	3,02	2,38	38,2	251	50
Lot foin moyen					
niveau haut	12,24	8,00	127	1016	202
niveau moyen	7,65	5,00	79,4	635	126
niveau bas	3,06	2,00	32	254	50

Les quantités d'aliment ingérées ont été notées quotidiennement et les éventuels refus relevés. Un échantillon représentatif des aliments a été constitué à chaque période pour les analyses, après détermination de la teneur en matière sèche après passage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures.

Ces mesures ont été réalisées par collecte totale des fèces sur six jours consécutifs. L'urine a été recueillie durant cinq jours par l'intermédiaire d'un tube en plastique fixé sur la vulve et relié à des bidons contenant chacun 500 ml d'acide sulfurique à 10 % pour la conservation.

Après homogénéisation et pesée des fèces, une part aliquote (2, 2 ou 3 et 5 % du poids frais pour les niveaux haut, moyen et bas, respectivement) a été prélevée chaque jour et mise à l'étuve à 80°C. L'échantillon sec correspondant à chaque animal a été conservé pour l'analyse des cendres, du NDF et de l'ADF.

Une autre part aliquote de fèces (1, 1 et 2 % du poids frais pour les niveaux haut, moyen et bas, respectivement) a été prélevée et gardée à -15°C jusqu'à l'analyse d'azote. Cet échantillon a également été utilisé pour la mesure de la granulométrie des fèces. Un prélèvement journalier de 100 ml d'urine a été réalisé pour composer un échantillon moyen, conservé à -15°C jusqu'au dosage de l'azote.

3.1.2. Transit des particules

Le foin moyen, préalablement haché au hache-paille et lavé pour le débarrasser des parties solubles, a été marqué avec de l'ytterbium chlorure selon la technique d'Ellis *et al* (1982).

Une distribution dans l'auge de foin marqué a été réalisée le premier jour à 8 heures 30 minutes. Il a été mélangé à une quantité équivalente de foin non marqué de manière à favoriser sa consommation. Les quantités introduites étaient de 300, 200 et 150 g pour les niveaux d'ingestion haut, moyen et bas. Des prélèvements de 200 g au niveau rectal réalisés au bout de 8, 14, 23, 28, 32, 48, 52, 56, 72, 80, 96 et 144 heures, ont été congelés en barquettes dès leur récolte.

3.1.3. Dégradation in sacco

Dix huit sachets de nylon ont été placés dans le rumen de chaque animal à chacune des périodes. Ils ont contenu chacun 3 g du foin moyen et ceci quel que soit le foin de la ration, préalablement broyé à une grille de 0,8 mm. Les sachets en dacron de maille 53 µm et de taille 5 x 10 cm ont été soudés, et lestés dans le rumen par un anneau de plomb avant le repas du matin. Ils ont été retirés par groupe de 3 au bout de 3, 6, 12, 24, 48 et 96 heures. Après lavage à l'eau froide, ils ont été congelés jusqu'à la

mesure de MS résiduelle permettant d'estimer la dégradation suivant la méthodologie de Michalet-Doreau *et al.* (1987).

3.1.4. Vidage

A la fin de chacune des périodes expérimentales, à 14 heures environ, le rumen de chacune des vaches a été vidé de son contenu. Le vidage débute à la main, puis est terminé à la pompe à vide pour recueillir le liquide. Le contenu total est remis dans le rumen après avoir été pesé et après que deux échantillons représentatifs d'environ 1000 grammes chacun en aient été prélevés pour la détermination de la matière sèche d'une part à 103°C pendant 48 heures, d'autre part pour la mesure des tailles des particules.

3.2. Analyses de laboratoire

3.2.1 Aliments, fèces et urine

Les analyses des constituants pariétaux et des matières minérales ont été faites sur des échantillons de fèces séchés puis passés à l'étuve à 80° pendant 48 heures. Celles des matières azotées totales ont été faites sur l'échantillon frais.

Les matières azotées totales des aliments ont été déterminées par la méthode de Kjeldahl. Les constituants pariétaux, ADF et NDF, sont dosés par la méthode de Goering et Van Soest (1970).

3.2.2 Mesure des concentrations de marqueurs

L'ytterbium a été dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les échantillons ont été préalablement minéralisés par voie sèche à 550 °C pendant 6 heures, et par la méthode de Siddons *et al.* (1985), les sels de terre rare ont été solubilisés à chaud en présence d'acide nitrique (HNO₃) 1,5 N (à 2 pour mille de potassium) obtenu comme suit :

pour 1 litre :

- 3,8 g de Chlorure de Potassium (KCl)
- 135 ml d'acide nitrique (HNO₃) à 52,5 %.

3.2.3 Mesure de la taille des particules

La mesure de la taille des particules a été effectuée sur les échantillons de contenu de rumen des Holstein et des fèces des Holstein et des Charolaises. La teneur en matière sèche des échantillons a été déterminée en double selon la méthode de Grenet (1970). Deux prises de 20 grammes de matière fraîche (contenu de rumen ou fèces) sont mises à tremper dans une barquette avec environ 200 ml d'eau pendant au moins 30 minutes à la température ambiante. Elles sont ensuite tamisées en milieu liquide,

sur huit tamis à maille d'ouverture variable (50, 100, 160, 250, 500, 1000, 2000, 4000 μm) placés par ordre croissant de bas en haut, à l'aide d'une tamiseuse électromagnétique FRITSCH, équipée d'un couvercle avec tête à douche.

Pour l'analyse granulométrique des fèces, l'effluent a été filtré pour récupérer les très fines particules non retenues par le dernier tamis. Dans cette analyse, le tamis de maille d'ouverture 4000 μm n'a pas été utilisé.

Enfin, les barquettes placées à l'étuve au minimum quarante-huit heures à 103°C, sont laissées refroidir au dessiccateur environ vingt minutes et pesées.

4. CALCULS ET ANALYSES STATISTIQUES

4.1. Calculs

4.1.1 Transit

Les prélèvements de marqueurs à intervalles réguliers dans les différents compartiments digestifs permettent de tracer des cinétiques d'excrétion qui montrent toutes une phase descendante pouvant être ajustée à une exponentielle d'équation :

$$C = C_0 e^{-kt}$$

avec C : concentration du marqueur au temps t
 C_0 : concentration au temps 0
 k : taux de renouvellement des particules solides
 t : temps écoulé depuis l'administration du marqueur

Selon Grimaud *et al.* (1997), le temps total de rétention ruminale et dans l'ensemble du tube digestif était calculé et a été obtenu par la formule : $\sum (C_i \times t_i \times dt_i) / \sum (C_i \times dt_i)$, où C_i était la concentration en ytterbium au temps t_i , et dt_i est la différence entre t_i et t_{i+1} .

Le temps de latence est calculé à partir du temps de la première apparition du marqueur par interpolation.

4.1.2 Dégradation in sacco

La dégradation de la matière sèche est estimée selon le modèle d'Orskov et MacDonald (1979) et suit une équation du type :

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

avec a : partie rapidement dégradabile (%)

b : partie plus lentement dégradable (%)

c : vitesse de dégradation de b (% / h)

On en déduit la dégradabilité théorique (DT) (Michalet-Doreau *et al.*, 1987) selon la formule:

$$DT = a + b \times c / (c + k)$$

k : taux de sortie des particules solides. Deux valeurs de k ont été choisies :

k moyen : valeur moyenne de l'ensemble des analyses d'ytterbium, animaux et périodes confondues. Il caractérise l'activité microbienne intrinsèque du rumen.

k réel : valeur obtenue pour chaque animal et chaque période par l'analyse de l'ytterbium ci-dessus. Il traduit la dégradabilité effective mesurée sur chaque individu.

4.1.3 Taille des particules

La taille des particules dans le rumen et les fèces est déterminée par la moyenne arithmétique et la médiane selon Waldo *et al* (1971).

La moyenne arithmétique de la taille des particules a été déterminée par la formule :

$\sum P_i \times S'_i$, où P_i est le pourcentage de particules retenues sur le tamis i (S_i), S'_i est la taille moyenne des particules retenues sur le tamis i . Cette taille est déterminée pour $i = 1000 \mu\text{m}$ à $2000 \mu\text{m}$ comme $(S_i + S_{i+1}) / 2$; la taille moyenne des particules retenues sur le tamis de $4000 \mu\text{m}$ est prise comme $6000 \mu\text{m}$, la taille moyenne des particules passant à travers le tamis de $50 \mu\text{m}$ est prise comme $25 \mu\text{m}$.

La taille médiane des particules était déterminée par la méthode de Waldo *et al.* (1971) en faisant le cumul des pourcentages retenus sur les tamis.

Pour les fèces, la taille des particules a été déterminée par la même formule. La seule différence est que la fraction soluble, importante quantitativement, a été éliminée. La taille médiane a été également déterminée par la médiane selon Waldo *et al.* (1971) en faisant le cumul des pourcentages retenus sur les tamis et sur le filtre.

4.2 Analyses statistiques

Les analyses statistiques des résultats sont effectuées par analyse de variance à l'aide de la procédure General Linear Model du logiciel SAS.

Lorsque les données étaient obtenues sur Holstein et Charolaises, le modèle choisi a été le suivant :

$$Y = \mu + R_i + F_j + A(RF)k(ij) + P_l + N_m + P*N_{lm} + F*N_{jm} + R*N_{im} + F*R*N_{ijm} + e$$

avec Y = variable étudiée

μ = moyenne globale

R = race (i : holstein ou charolaise)

F = foin (j : bon ou moyen)

A = animal (k : numéro de l'animal)

P = période (l : 1 à 3)

N = niveau alimentaire (m : haut, moyen, bas)

P*N = interaction période-niveau alimentaire

F*N = interaction foin-niveau alimentaire

R*N = interaction race-niveau alimentaire

F*R = interaction foin-race

F*R*N = interaction foin-race-niveau alimentaire

e = erreur résiduelle

L'expression A(RF) signifie que l'effet animal était inclus dans l'effet race et dans l'effet foin (analyse en hiérarchie ou Split-plot).

Lorsque les données étaient obtenues sur Holstein seules, le modèle choisi a été :

$$Y = \mu + F_j + A(F)k(ij) + P_l + N_m + P*N_{lm} + F*N_{jm}$$

Quand l'effet niveau alimentaire était significatif, on a testé la linéarité ou la curvilinéarité de la réponse au niveau d'ingestion par une analyse de contrastes.

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 5 : Quantités ingérées et digestibilité de la ration

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Quantités ingérées (kg /j)								
Holstein	11.7	7.4	3.0	11.2	7.4	3.1		
Charolaise	12.2	8.0	3.2	12.0	8.0	3.2		
Digestibilité (%)								
Matière sèche							1.03	F**
Holstein	71.8	71.0	67.0	65.0	65.1	57.6		
Charolaise	69.4	70.5	71.9	66.0	65.0	60.4		
Matière organique							1.05	F**
Holstein	74.0	74.0	72.1	65.0	66.0	60.1		
Charolaise	72.0	73.5	75.3	66.3	65.0	62.0		
NDF							1.42	F**
Holstein	75.0	76.0	75.1	66.0	68.0	64.0		
Charolaise	72.1	75.1	78.5	67.6	67.0	65.5		
ADF							1.53	F**
Holstein	75.0	76.0	73.3	70.0	68.0	62.2		
Charolaise	72.3	75.3	76.9	66.6	66.0	63.5		
Hémicelluloses							1.75	F**
Holstein	75.2	75.1	77.3	60.0	67.3	66.5		
Charolaise	71.7	74.9	80.3	69.1	69.0	69.0		

F : effet du foin

** : $p < 0,01$

1. DIGESTIBILITE DE LA RATION ET BILAN AZOTE

1.1 Digestibilité de la ration

Aucun effet significatif du niveau d'ingestion n'a été observé sur la digestibilité de la matière organique ou des fractions pariétales de la ration (NDF, ADF et hémicelluloses). Toutefois, il existe une tendance à une diminution de digestibilité à niveau bas : la digestibilité de la MO a été, foins et races confondus, de 69.3, 69.6 et 67.4 % aux niveaux haut, moyen et bas (tableau 5). Parallèlement, la digestibilité de l'ADF pour ces mêmes niveaux a été de 70.9, 71.3 et 68.9 %, ce qui montre une stabilité entre les niveaux haut et moyen, et une légère baisse entre les niveaux moyen et bas.

L'effet négatif de l'accroissement des quantités ingérées sur la digestibilité a été largement démontré avec une grande variété de rations offertes en différentes quantités (Dulphy *et al.*, 1995, Michalet-Doreau *et al.*, 1997). Il est admis que, lorsque les quantités ingérées d'une ration déterminée diminuent, la digestibilité de cette ration augmente, et cette augmentation est liée essentiellement à l'accroissement du temps de rétention des aliments dans le rumen, la durée d'attaque des particules végétales par les micro-organismes du rumen étant prolongée (Doreau, 1997). Cela n'a pas été vérifié dans notre essai mais est déjà arrivé dans différents cas de sous-alimentation. Grimaud et Doreau (1995) n'ont pas observé de variations de digestibilité lorsque les animaux sont sous-alimentés. Dans un essai de Grimaud *et al.* (1997), il a même été observé une chute de digestibilité des animaux lorsqu'ils étaient sous-alimentés. Lorsque les animaux sont sous-alimentés, le temps de transit s'allongerait sans que cela permette d'accroître la digestibilité, et donc n'est plus un facteur limitant de cette dernière.

La digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et des différentes fractions pariétales de la ration a été, comme prévu, plus élevée ($p < 0,01$) pour le foin de bonne qualité que pour le foin de qualité moyenne (tableau 5). En revanche, il n'y a eu aucune différence entre races. La moyenne de digestibilité des Holstein, foins et niveaux d'ingestion confondus a été de 68.5 % pour la MO et 70.8 % pour l'ADF alors que la moyenne de digestibilité des Charolaises a été de 69,0 % pour la MO et 70.1 % pour l'ADF. Il n'existe pratiquement pas de comparaison de races dans la bibliographie. Selon Schneider et Flatt (1975), il n'y aurait pas différence de digestibilité significative entre race de bovins. Un essai pour lequel nous ne disposons d'aucun détail a indiqué qu'il y a une différence entre Holstein et Charolaise mais le sens de cette différence n'est pas précisé (Ahn *et al.* 1986). Par contre chez des moutons Givens et Moss (1994) ont trouvé un effet significatif de digestibilité lié à la race. Pour notre essai, la différence entre les deux races (Holstein et Charolaises) aurait pu résider dans le fait que les Holstein destinées à la production laitière ont une capacité d'ingestion plus élevée que les Charolaises (race à viande), et donc réagissent différemment lorsque leur niveau d'ingestion est comparable, comme dans notre essai.

Tableau 6 : Digestibilité de l'azote et bilan azoté

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Digestibilité de l'azote(%)							0.96	N* (L)
Holstein	61.5	58.9	56.7	64.9	63.5	55.3		
Charolaise	56.1	59.4	60.0	63.8	62.3	59.0		
Eléments du bilan azoté								
Azoté ingéré(g/j)								
Holstein	221.7	137.9	55.6	250.8	163.1	66.2		
Charolaise	230.5	147.7	59.9	267.3	176.8	70.0		
Azote fécal (g/j)							2.32	N** (L,C)
Holstein	85.3	56.7	23.9	87.1	60.3	29.6		
Charolaise	101.0	60.3	23.7	95.9	66.5	28.6		
Azote urinaire (g/j)							3.60	N**(L,C), FN*,F**
Holstein	122.3	83.3	62.2	161.9	115.6	72.7		
Charolaise	109.7	92.1	59.7	161.0	115.3	79.1		
Bilan azoté (g/j)							3.46	N** (L,C)
Holstein	14.0	-2.0	-30.6	1.8	-12.7	-36.1		
Charolaise	19.8	-4.5	-23.5	10.4	-4.9	-37.7		

N : effet du niveau alimentaire

F : effet du foin

F x N : effet de l'interaction entre le foin et le niveau alimentaire

L : réponse linéaire du niveau alimentaire

L, C : réponse linéaire et curvilinéaire du niveau alimentaire

** : $p < 0,01$

* : $p < 0,05$

En outre, il n'y a pas d'interaction entre le niveau d'ingestion et le foin ou la race. Cela signifie qu'il n'y a pas de race plus adaptée que l'autre à la sous-alimentation. Ceci confirme la comparaison entre espèces taurins Baoulé / zébus Peulh / moutons Bali-Bali de l'essai de Grimaud *et al.* (1997): les trois génotypes répondaient de la même manière à la sous-alimentation. Et quelle que soit la qualité du fourrage, la relation entre digestibilité et ingestion est la même. Cela avait été signalé par Dulphy *et al.* (1995); mais jusqu'à présent l'interaction entre niveau d'ingestion et qualité du fourrage n'avait pas été testée sur animaux sous-alimentés.

1.2. Bilan azoté

L'analyse statistique des résultats de digestibilité de l'azote et des éléments du bilan azoté (azote fécal, azote urinaire et bilan azoté proprement dit) montre des effets significatifs en terme de niveau d'ingestion, de qualité du foin et de l'interaction entre le foin et le niveau d'ingestion. L'effet race n'a pas été significatif (tableau 6).

La diminution du niveau d'ingestion réduit significativement et linéairement la digestibilité de l'azote ($p < 0.05$, contraste linéaire) : celle-ci, races et foins confondus a été de 61.6 % pour le niveau haut, 61.0 % pour le niveau moyen et 57.7 % pour le niveau bas. Cette diminution de digestibilité de l'azote est à rapprocher du fait que l'azote fécal diminue un peu moins rapidement que l'azote ingéré. En effet, la quantité d'azote fécal a été plus élevée ($p < 0.01$, contraste linéaire et curvilinéaire) pour les deux races et pour les deux foins au niveau haut (moyenne 92.3 g / j), qu'aux niveaux moyen (moyenne 60.9 g / j) et bas (moyenne 26.5 g / j). Le pourcentage de digestibilité de l'azote n'a pas été significativement différent entre foins, mais présente une tendance à être plus élevé pour le foin moyen (moyenne des deux races et des niveaux d'ingestion 61.4 %) que pour le bon foin (moyenne des deux races et des niveaux d'ingestion 58.8 %). Il en a logiquement été de même pour la quantité d'azote fécal qui a été en moyenne de 61.3 g / j pour le foin moyen et 58.5 g / j pour le foin de bonne qualité.

La quantité d'azote urinaire a été significativement ($p < 0.01$) plus importante au niveau haut (moyenne 138.8 g / j), qu'aux niveaux moyen (moyenne 101.5 g / j) et bas (moyenne 68.4 g / j). Les analyses de contrastes linéaire et curvilinéaire ont été toutes deux significatives. La quantité d'azote urinaire a été plus élevée ($p < 0.01$) pour le foin moyen (moyenne 117.6 g / j) que pour le bon foin (82.2 g / j). De plus, une interaction entre la nature du foin et le niveau alimentaire a été mise en évidence ($p < 0.05$). La variation des quantités d'azote urinaire excrété était plus importante avec le niveau alimentaire pour le foin moyen que pour le bon foin : de 161.5 à 75.9 g / j entre les niveaux haut et bas pour le foin moyen, mais de 116.5 à 60.9 g / j entre ces mêmes niveaux pour le bon foin. Aucune différence entre races n'a été mise en évidence.

Tableau 7 : Dégradation in sacco de la matière sèche à différentes heures d'incubation

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Dégradation (% MS)								
3 h	31.6	32.3	32.0	33.5	33.1	32.9	2.02	-
6 h	35.3	38.7	41.7	39.2	39.3	41.2	2.93	-
12 h	44.6	51.8	56.4	54.2	52.1	58.6	3.98	-
24 h	59.4	65.5	70.5	60.1	65.9	72.1	2.56	-
48 h	73.2	77.3	80.5	76.8	77.2	79.4	1.35	-
96 h	81.0	81.6	83.1	81.8	82.2	83.6	0.91	-

- : aucun effet significatif ($p > 0,05$)

Comme l'indique le tableau 6, le bilan azoté pour les deux races et les deux foins a été plus important ($p < 0.01$, contraste linéaire et curvilinéaire) au niveau haut (moyenne 11.5 g / j), qu'aux niveaux moyen (moyenne -6.1 g / j) et bas (moyenne -32.0 g / j). Le bilan azoté n'a pas été significativement différent entre Holstein (moyenne -13.2 g / j) et Charolaises (moyenne -6.7g / j), ni entre le bon foin (moyenne -4.5 g / j) et le foin moyen (moyenne -13.2 g / j). Il n'y a pas eu d'interaction significative entre le niveau d'ingestion et la race ou la nature du foin.

Le bilan azoté a été négatif au niveau d'ingestion moyen alors que les besoins azotés étaient largement couverts (environ 120 %) ce qui peut être dû soit à une erreur dans la détermination du bilan azoté, soit à une surestimation des valeurs PDI des aliments figurant dans les tables alimentaires. Cette seconde hypothèse est plus vraisemblable, car la dégradabilité des matières azotées du foin n'a pas été mesurée directement.

La diminution des pertes azotées et du bilan azoté lorsque les quantités ingérées, et donc l'azote ingéré, diminuent, est logique. Rémond et Journet (1978) avaient déjà observé une baisse de la quantité d'azote excrétée lorsque la teneur en azote de la ration diminuait. Dans l'essai de Grimaud et Doreau (1995), il y avait une adaptation des animaux au cours de la sous-alimentation par une plus forte rétention azotée, certainement due au fait que les besoins azotés étaient couverts au niveau bas d'alimentation. Selon Grimaud *et al.* (1997) le bilan azoté toujours positif qu'ils ont obtenu a été plus faible à niveau d'alimentation bas, mais après réalimentation a été plus élevé qu'avant la sous-alimentation. Cela était dû à une réduction des pertes, essentiellement fécales, la digestibilité de la matière azotée étant plus élevée et confirme donc une adaptation à moyen terme (quelques mois de sous-alimentation). Dans notre essai, la variation du bilan a été un peu plus marquée entre les niveaux d'ingestion bas et moyen (variation de 25.9 g / j) qu'entre les niveaux d'ingestion moyen et haut (variation de 17.6 g / j). Cela semble montrer qu'il n'y a pas de mécanisme d'économie d'azote qui se met en place à court terme lorsque les animaux sont sous-alimentés.

2. DEGRADATION IN SACCO

Les variations éventuelles de dégradation in sacco du foin traduisent la variation de l'activité cellulolytique du contenu ruminal.

Quelle que soit l'heure d'incubation, aucun effet significatif de la nature du foin consommé et du niveau d'ingestion n'a été mis en évidence (tableau 7). La dégradation de la matière sèche a toutefois été légèrement plus élevée au niveau d'alimentation bas à 12 heures d'incubation soit respectivement, 49.4 % pour le niveau haut, 51.9 % pour le niveau moyen et 57.5 % pour le niveau bas.

Tableau 8 : Dégradation de la matière sèche: paramètres et dégradabilité théorique

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Paramètres de dégradation								
a (%)	24.4	21.2	20.9	28.6	24.3	18.9	1.43	-
b (%)	58.9	61.7	61.8	54.9	58.1	63.7	1.49	-
a + b (%)	83.3	82.9	82.7	83.5	82.4	82.5	0.31	-
c (% / h)	3.8	6.0	7.1	5.2	5.3	7.8	0.56	-
Dégradabilité théorique (%)								
k moyen	57.7	61.8	65.1	63.7	62.2	65.5	2.11	-
k réel	57.8	63.0	68.4	60.1	59.5	70.0	2.60	-

- : aucun effet significatif ($p > 0,05$)

En ce qui concerne la dégradabilité théorique, calculée avec un taux de sortie moyen, ou avec le taux de sortie réellement mesuré, aucun des facteurs étudiés n'a eu d'effet significatif (tableau 8). Cependant, pour le niveau d'ingestion le plus bas, la dégradabilité calculée avec k moyen ou réel, était plus élevée que pour les deux autres niveaux, respectivement 60.7, 62.0 et 65.3 % pour les niveaux d'ingestion haut, moyen et bas avec k moyen, 58.9, 61.2 et 69.2 % avec k réel. Les différences de dégradation observées avec k moyen traduisent une augmentation de l'activité fibrolytique de l'écosystème microbien avec le bas niveau d'ingestion même si celle-ci n'est pas significative. Cette augmentation de la dégradation ruminale avec le bas niveau d'ingestion est plus importante quand on prend en compte le taux de sortie réel de particules dans le rumen, dans la mesure où le temps de séjour de particules était plus élevé avec le niveau bas qu'avec le niveau haut, c'est à dire que la durée de l'attaque des particules par les micro-organismes était également plus importante avec le niveau bas qu'avec le niveau haut.

Il n'y a eu aucune variation de a et b, mais il y a eu une tendance pour c (la moyenne des niveaux haut, moyen et bas est respectivement de 4.5, 5.6 et 7.4 % / h) avec une erreur standard assez élevée, ce qui explique que les résultats n'ont pas été significatifs.

Nos résultats correspondent à ceux d'Aitchison *et al.* (1986), Grimaud et Doreau (1995) et Grimaud *et al.* (1997) qui n'ont pas trouvé de variation de dégradabilité à bas niveau. Par contre, Kabré *et al.* (1995) ont trouvé que la dégradabilité réelle augmente sensiblement quand les quantités ingérées diminuent. Dans ce dernier cas, Kabré *et al.* (1994) ont expliqué ce résultat par l'accroissement de l'activité enzymatique des microbes à faible niveau d'ingestion. Il aurait été intéressant dans notre essai de savoir si l'absence de variation de dégradation était due à la stabilité de l'activité enzymatique des microbes.

Dans notre essai, on peut conclure que l'activité des micro-organismes n'a pas pu expliquer les variations de digestibilité. Il faut toutefois remarquer que la méthode de dégradation in sacco n'est pas parfaite pour estimer l'activité de dégradation à cause de deux principaux facteurs. Nozière (1996) et Nozière et Michalet-Doreau (1996) ont expliqué ces facteurs par le fait que les possibilités d'échanges entre les particules alimentaires et les micro-organismes sont limitées dans le sachet par la surface d'ouverture des pores du sachet (Lindberg *et al.*, 1984). Aussi, l'absence de mastication des aliments introduits dans les sachets pourrait contribuer aux différences d'activité entre le contenu ruminal et les sachets. Car, si la mastication a pour rôle de faciliter la sortie des constituants solubles qui seront ultérieurement fermentés, elle permet parallèlement d'accroître l'accessibilité des tissus végétaux aux micro-organismes (Pond *et al.*, 1987). La mastication, en modifiant la structure interne du végétal, favoriserait la colonisation microbienne, celle-ci se faisant essentiellement au niveau des parties endommagées du fourrage (Latham, 1980).

Tableau 9 : Transit des particules dans le rumen et le tube digestif

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Taux de sortie du rumen (% / h)							0.156	N**(L,C)
Holstein	2.85	2.56	2.18	3.74	3.60	1.89		
Charolaise	3.65	2.80	1.28	3.14	2.86	1.99		
Temps de séjour dans le rumen (h)							2.93	N**(L,C),F*
Holstein	37.2	39.4	52.7	27.2	30.0	53.7		
Charolaise	28.1	35.9	79.9	31.9	35.0	50.3		
Temps de délai (h)							0.85	
Holstein	7.7	7.2	9.0	9.9	10.5	7.5		
Charolaise	7.5	11.1	12.6	8.9	8.9	10.1		
Temps de séjour dans le tube digestif (h)							2.59	N**(L,C)
Holstein	64.1	69.6	88.4	56.0	64.2	85.6		
Charolaise	57.0	64.2	101.4	55.2	60.2	82.9		

N : effet du niveau alimentaire

F : effet du foin

L, C : réponse linéaire et curvilinéaire du niveau alimentaire

** : $p < 0,01$

* : $p < 0,05$

3. TRANSIT DES PARTICULES DANS LE RUMEN ET LE TUBE DIGESTIF

L'effet du niveau alimentaire a été significatif ($p < 0.01$, contraste linéaire et curvilinéaire) quel que soit le paramètre considéré sauf pour le temps de délai (tableau 9). Le taux de sortie des particules de fourrage hors du rumen a diminué lorsque le niveau d'alimentation était réduit, 3.44, 3.23, et 1.94 % respectivement pour les niveaux haut, moyen et bas pour le bon foin et 3.25, 2.68 et 1.73 pour le foin moyen.

Cette variation a été bien sûr observée pour le temps de séjour dans le rumen, qui est l'inverse du taux de sortie. Le temps de séjour dans l'ensemble du tube digestif a été plus faible pour les niveaux d'ingestion élevés (58.1 h) que pour les niveaux d'ingestion moyen (64.5 h) et faible (89.6 h), ce qui est logique dans la mesure où le temps de séjour dans le rumen représente à lui seul plus de 60 % du temps de séjour dans l'ensemble du tube digestif.

Cette augmentation du temps de séjour observée avec la diminution du niveau d'ingestion est toutefois classique (Colucci *et al* 1990, Chilliard *et al.*, 1995). L'aspect le plus original de ce travail réside dans le fait que nous avons travaillé à trois niveaux d'ingestion (la plupart des essais sont réalisés à deux niveaux), le niveau intermédiaire étant proche de l'entretien. L'analyse statistique des résultats a été significative à la fois pour les contrastes linéaire et curvilinéaire. Toutefois, la différence a été moindre entre les niveaux d'ingestion haut (31.1 h) et moyen (35.1 h), qu'entre les niveaux d'ingestion moyen (35.1 h) et bas (59.1 h). Cette tendance a également été trouvée avec des rations de fourrage par Grovum et Williams (1977) et Poncet *et al* (1995) sur des plages de quantités ingérées aussi importantes que dans cet essai. En revanche, Okine et Mathison (1991) ont trouvé une variation linéaire mais avec des animaux nourris au dessus de l'entretien. Cette variation linéaire a également été obtenue par Doreau *et al* (1986) avec un régime riche en concentré, donc avec un type de ration très différent du nôtre.

Dans notre essai, l'augmentation du temps de séjour lorsque les quantités ingérées diminuent ne s'est pas traduite par une augmentation de la digestibilité du fourrage, mais plutôt par une baisse, même si celle-ci n'est pas significative. Un résultat identique a été obtenu par Glenn *et al* (1989) avec des taurillons et par Grimaud *et al* (1997) avec des zébus et taurins sous-alimentés. Comme ni le transit, ni la dégradation de la matière sèche ne semblent expliquer les variations de digestibilité, nous devons chercher d'autres éléments d'explication de ces variations au niveau des caractéristiques du contenu ruminal.

Le temps de séjour des particules dans le rumen a été plus élevé ($p < 0.05$) avec le foin de bonne qualité (45.5 h) qu'avec le foin de qualité moyenne (38.0 h). Cette différence qui est significative au niveau ruminal se retrouve au niveau de l'ensemble

Tableau 10 : Contenus de rumen

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Contenu total (<i>kg</i>)	100.1	97.7	66.1	107.9	95.7	69.9	2.30	N*(L,C)
Matière sèche (%)	9.17	7.58	6.65	9.40	7.84	7.10	0.16	N*(L,C)
Contenu sec (<i>kg</i>)	9.18	7.51	4.40	10.06	7.50	4.93	0.16	N*(L,C)
Quantité d'eau (<i>kg</i>)	90.9	90.2	61.7	97.8	88.2	65.0	2.21	N*(L,C)

N : effet du niveau alimentaire

L, C : réponse linéaire et curvilinéaire du niveau alimentaire

* : $p < 0,01$

du tube digestif, respectivement 74.1 et 67.3 heures pour le bon foin et le foin de qualité moyenne, mais elle n'est pas significative. On pourrait penser que le foin le moins digestible a un temps de séjour plus élevé. Il y a toutefois peu de données dans la bibliographie. Un résultat quasiment identique a été obtenu par Glenn *et al* (1989) avec des Holstein recevant deux foins différents. Dans cet essai, le foin qui a le temps de séjour le plus élevé est le moins digestible pour la matière sèche, mais le plus digestible pour les parois. Par contre, Hart et Leibholz (1990) n'ont pas trouvé de différence de temps de séjour avec trois foins à deux stades de maturité différents. Dans un essai de Carle et Dulphy (1980) avec des moutons et vaches nourris de Ray-Grass (bon foin) ou de fléole (mauvais foin), le temps de séjour était plus élevé pour les animaux recevant le bon foin lorsqu'ils étaient alimentés *ad libitum*. Par contre, il était plus élevé quand les animaux recevaient le mauvais foin lorsqu'ils étaient nourris en quantité limitée. Cet ensemble de données étant assez contradictoire, il est nécessaire que d'autres essais soient menés pour pouvoir établir une relation entre qualité du foin et temps de transit.

Il n'y a pas eu de différence significative entre Holstein et Charolaises quel que soit le paramètre considéré. Aucune comparaison entre races ne semble avoir été publiée. Nos résultats concordent avec ceux de Grimaud *et al* (1997) qui n'ont pas trouvé de différence entre taurins et zébus dans un essai mené en milieu tropical. Cette absence de différence entre races n'est pas surprenante puisque même pour des animaux de format très différent comme les ovins et les bovins, les différences sont faibles, le temps de séjour étant un peu plus élevé pour les bovins (Dulphy *et al*, 1995). Dans certains essais, il n'y a même pas de différence (Colucci *et al*, 1990).

4 CONTENUS DE RUMEN

L'effet du niveau alimentaire a été significatif ($p < 0.05$, contraste linéaire et curvilinéaire) pour le contenu total, la teneur en matière sèche, le contenu sec (comme constaté par Rémond *et al.*, 1995) et la quantité d'eau. Ainsi, le contenu total a été (moyenne des deux foins) de 104.0 kg, 96.7 kg et 68.0 kg pour les niveaux haut, moyen et bas. Les valeurs correspondantes pour le contenu sec qui étaient de 9.65 kg, 7.50 kg et 4.65 kg respectivement pour les niveaux haut, moyen et bas. Le même résultat a été obtenu par Campling *et al* (1961), Minson (1966), Grovum et Williams (1977), Doreau *et al.* (1986) et Grimaud *et al.* (1997). Dans le cas du contenu total, il est curieux de constater que malgré une variation apparemment curvilinéaire avec le niveau d'ingestion, les contrastes linéaire et curvilinéaire ont été tous deux significatifs.

Mais le contenu total a varié d'un tiers environ (de 68.0 à 104.0 kg), alors que le contenu sec a varié du simple au double entre les niveaux bas (4.65 kg) et haut (9.65 kg) (tableau 10). Cette forte augmentation du contenu ruminal sec avec le niveau d'ingestion s'explique par le fait que le pourcentage de MS du contenu ruminal

Tableau 11 : Taille des particules dans le rumen

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Taille des particules (%)								
t>4000	30.1	27.5	37.1	26.9	28.5	32.8	2.16	-
2000<t<4000	4.3	3.4	3.1	4.4	3.7	3.0	0.72	-
1000<t<2000	9.2	7.3	6.2	10.7	7.9	7.5	1.08	F**
500<t<1000	7.7	6.3	5.3	9.6	6.9	7.0	0.69	F*
250<t<500	7.9	6.8	5.2	10.0	8.1	8.6	0.43	F**
160<t<250	4.0	3.8	3.3	6.7	4.8	5.1	0.47	F**
100<t<160	5.0	4.5	4.1	5.6	4.7	4.7	0.26	-
50<t<100	3.4	3.6	3.6	2.8	3.6	2.8	0.45	-
t<50	28.4	37.0	32.1	23.2	32.0	28.5	0.36	F*, N*(C), FxN
grosses (t>1000)	43.6	38.1	46.4	42.1	41.9	43.2	0.54	N* (L)
moyennes (250<t<1000)	15.6	13.1	10.5	19.6	16.8	15.6	1.09	F**
petites (50<t<250)	12.4	11.8	10.9	15.1	14.2	12.7	0.40	F*
moyenne arithmétique (µm)	2187	1955	2496	2047	2134	2278	87.3	-
moyenne selon Waldo (µm)	322	184	318	362	322	301	5.84	N*(L,C), FxN*

F : effet du foin

N : effet du niveau alimentaire

F x N : effet de l'interaction entre le foin et le niveau alimentaire

C : réponse curvilinéaire du niveau alimentaire

L : réponse linéaire du niveau alimentaire

** : p < 0,01

* : p < 0,05

augmente avec l'augmentation du niveau alimentaire. Ce pourcentage pour les deux foins est en moyenne de 6.87 % (niveau bas), 7.71 % (niveau d'ingestion moyen) et 9.28 % (niveau d'ingestion haut). Une variation comparable avait été observée également par Agabriel et Giraud. (1988) sur des vaches Charolaises recevant une ration à base de foin. Il faut en outre remarquer que dans certains essais, la variation de contenu total est faible; elle a même été non significative dans l'essai de Grimaud et Doreau (1995).

Le contenu total a été très voisin pour le bon foin (moyenne des trois niveaux 88.0 kg) et pour le foin moyen (moyenne des trois niveaux 91.1 kg). Il en a été de même pour le contenu sec avec 7.0 kg pour la moyenne des trois niveaux pour le bon foin et 7.5 kg pour le foin moyen. Selon Rémond *et al* (1995), à quantité ingérée égale, le contenu ruminal diminue quand la qualité de la ration augmente du fait d'un moindre encombrement. Ce sont les combinaisons entre la quantité d'aliment ingérée, d'une part, et la teneur en constituant indigestible (cellulose brute), d'autre part, qui sont le mieux reliées aux poids frais et sec du contenu digestif et à sa teneur en matière sèche. Dans notre essai, cela n'est pas le cas peut être à cause du fait que la différence entre les foins (bon, moyen) était insuffisante.

5. GRANULOMETRIE DU RUMEN ET DES FECES

5.1 Granulométrie du rumen

Lorsqu'on considère les résultats de l'analyse granulométrique du contenu ruminal pour chacune des neuf classes de particules, on n'observe pas de différence significative liée au niveau alimentaire (tableau 11). Mais le regroupement des particules en classes de grosses, moyennes et petites particules nous a permis de mettre en évidence un effet du niveau alimentaire, avec une augmentation de la proportion de grosses particules en réponse à une baisse du niveau alimentaire, respectivement 42.8 % pour le niveau haut, contre 44.8 % pour le niveau bas. La médiane calculée suivant la méthode de Waldo a été significativement plus élevée ($p < 0.05$, contraste linéaire) lorsque le niveau alimentaire était plus élevé : 342 μm pour le niveau haut, 253 μm pour le niveau moyen et 310 μm pour le niveau bas. Cet effet du niveau alimentaire varie également avec la nature du fourrage (interaction significative) : la taille des particules est comparable pour les niveaux haut et bas avec le foin de bonne qualité alors qu'elle est plus faible à bas niveau avec le foin de qualité moyenne.

La faible influence globale de la quantité ingérée sur la granulométrie est une conséquence du fait que la réduction du fourrage en particules fines par la mastication est peu modifiée avec le niveau d'ingestion). Doreau et Rémond (1982) et Okine et Mathison (1991) n'ont trouvé aucune différence d'efficacité de la mastication (temps de mastication / kg MS ingérée) lorsque les quantités ingérées variaient; seuls

Tableau 12 : Taille des particules dans les fèces

	Bon foin			Foin moyen			Erreur standard	Effets statistiques
	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas	Niveau haut	Niveau moyen	Niveau bas		
Taille des particules (%)								
Grosses ($t > 1000$)							1.1	N* (L)
Holstein	19.8	19.9	16.5	17.9	19.2	14.9		
Charolaise	15.5	12.9	11.4	20.8	20.4	11.4		
Moyennes ($250 < t < 1000$)							1.1	F**, R*
Holstein	27.3	22.6	25.8	31.2	35.2	36.2		
Charolaise	23.7	25.6	20.2	26.2	30.2	26.6		
Petites ($50 < t < 250$)							1.2	-
Holstein	41.3	40.1	41.7	32.5	33.8	37.4		
Charolaise	42.3	37.5	44.8	36.0	39.5	42.8		
Très petites ($t < 50$)							2.2	-
Holstein	11.6	17.3	16.0	18.3	11.7	11.4		
Charolaise	18.6	23.9	23.5	16.9	9.9	19.1		
Moyenne arithmétique (μm)							16.03	N** (L), F**
Holstein	310	311	230	381	386	305		
Charolaise	306	244	203	405	497	302		
Médiane selon Waldo (μm)							20.75	-
Holstein	195	161	158	177	206	202		
Charolaise	144	201	102	173	222	138		

N : effet du niveau alimentaire; L : réponse linéaire du niveau alimentaire

F : effet du foin

R : effet de la race

** : $p < 0,01$

* : $p < 0,05$

- : aucun effet significatif ($p > 0,05$)

Luginbuhl *et al.* (1989) ont trouvé une efficacité accrue pour les quantités ingérées faibles. Les tendances que nous avons observées sur la granulométrie du contenu sont apparemment en contradiction avec les résultats obtenus par Shaver *et al.* (1988) et Okine *et al.* (1991) qui rapportaient une augmentation de la proportion de grosses particules dans le contenu ruminal avec l'augmentation du niveau d'ingestion. Ces modifications de la granulométrie du contenu ruminal étaient plus importantes dans le sac ventral que dans les autres compartiments du rumen, ce compartiment étant occupé par un amas fibreux dont la compacité augmentait avec la proportion de longues particules (Robinson *et al.* 1987, Martin 1994). Dans notre essai, la baisse du niveau d'ingestion s'est traduite par une baisse du taux de sortie des particules et une tendance à l'augmentation de la fraction de grosses particules dans le contenu ruminal. On peut à partir de ces résultats, faire l'hypothèse que les quantités ingérées sont trop faibles pour stimuler les parois du rumen, maintenir une fréquence de contractions normales pour assurer l'ouverture de l'orifice rétulo-omasal, et donc l'évacuation du contenu ruminal (Evans *et al.*, 1973, Wyburn 1980) d'une part, un brassage efficace du contenu ruminal d'autre part. Aussi, le temps nécessaire à la réduction de la taille des grosses particules et à l'augmentation de leur densité, conditions nécessaires pour leur sortie du rumen, serait-il augmenté quand le niveau d'ingestion diminue.

La proportion de particules de taille intermédiaire (tableau 11) comprises entre 160 et 2000 μm est significativement plus importante avec le foin de qualité moyenne ($p < 0.01$ ou 0.05) qu'avec le foin de bonne qualité. Ce cas de figure est l'inverse pour les grosses (> 4000) et les petites (< 50) particules. Ces résultats rejoignent ceux de Shaver *et al.* (1988) avec trois foins (long, haché, broyé et aggloméré) et Baumont *et al.* (1992). Dans ce dernier cas, un Dactyle a été plus digestible qu'un foin de prairie naturelle avec moins de particules moyennes, plus de grosses et petites particules. L'effet de la digestibilité du fourrage sur la taille des particules est atténué par l'augmentation de l'efficacité de la mastication consécutive à l'accroissement de la teneur en parois des fourrages (Dulphy *et al.*, 1980). D'autre part, le fait que les petites et grosses particules varient de la même manière, en sens opposé à celui des particules moyennes, pourrait être une conséquence du fait que les petites particules sont retenues prisonnières dans un maillage de grosses particules qui constitue un amas fibreux occupant le sac dorsal et le haut du sac ventral (Luginbuhl *et al.*, 1989).

5.2 Granulométrie des fèces

Contrairement à la granulométrie du rumen qui donne l'état du contenu et fournit donc des explications sur le fonctionnement du rumen, la granulométrie des fèces, qui donne des résultats assez proches de la granulométrie du duodénum (Okine et Mathison 1991) montrent si la taille des particules quittent le rumen a été modifiée.

L'analyse granulométrique de la taille des différentes particules (grosses, moyennes, petites et très petites) dans les fèces (tableau 12), fait apparaître pour les

grosses particules un effet significatif lié au niveau alimentaire ($p < 0.05$, contraste linéaire). La proportion de grosses particules varie avec le niveau alimentaire de 18.5 % pour le niveau haut, et 18.1 % pour le niveau moyen à 13.5 % pour le niveau bas (moyenne des deux foins et des deux races). Les autres classes de particules ne varient pas significativement avec le niveau d'ingestion, mais on observe une tendance à une proportion plus élevée de petites particules avec le niveau bas (moyenne 41.7 %) qu'avec les niveaux moyen (37.7 %) et haut (38.0 %). On observe un effet significatif du niveau alimentaire sur la moyenne arithmétique ($p < 0.01$, linéaire). Cette moyenne est de 350 (niveau haut), 359 (niveau moyen) et 260 μm (niveau bas) pour les deux races et les deux foins confondus. En revanche, la médiane ne varie pas avec le niveau d'ingestion. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de la bibliographie. En effet, la diminution du niveau d'ingestion entraîne une diminution de la taille des particules (Shaver *et al*, 1988), et cet effet est linéaire (Luginbuhl *et al*, 1990, Okine et Mathison 1991). Il faut cependant remarquer que ces différents auteurs ont tous travaillé à des niveaux d'ingestion supérieurs au niveau bas de notre essai.

Il semble que l'analyse granulométrique soit plus sensible au niveau des fèces que du rumen, puisque nous n'avons pas trouvé d'effet du niveau d'ingestion sur la taille des particules dans le rumen. Ceci est peut-être dû à la difficulté d'avoir un prélèvement homogène au niveau du rumen.

On observe un effet significatif lié au foin ($p < 0.01$) sur les particules moyennes avec une moyenne pour les deux races de 24.2 % pour le bon foin, contre 30.9 % pour le foin de qualité moyenne. Les autres classes de particules n'ont pas varié significativement avec la nature du foin, mais le pourcentage de petites particules tend à être plus élevé avec le bon foin (moyenne des deux races et des trois niveaux alimentaires 41.3 %) qu'avec le foin moyen (moyenne 37.0 %). L'effet du foin est également significatif ($p < 0.01$) pour la moyenne arithmétique et est en moyenne pour les deux races et les trois niveaux de 267 μm pour le foin de bonne qualité et 379 μm pour le foin de qualité moyenne. Il n'y a pas de différence entre les foins portant sur la médiane. Ce résultat correspond à celui de Shaver *et al* (1988) qui avait trouvé que lorsque la qualité du foin augmentait, il y avait une plus faible proportion de particules moyennes et plus de grosses et petites particules. La similitude de résultats entre fèces et rumen laisse penser que l'explication fournie ci-dessus pour le rumen est également valable pour les fèces.

L'analyse statistique des résultats a montré un effet significatif lié à la race ($p < 0.05$), sur la taille des particules moyennes, qui est plus élevée pour les Holstein (moyenne des foins et des niveaux alimentaires 29.7 %) que pour les Charolaises (moyenne des foins et des niveaux alimentaires 25.4 %). On observe des tendances non significatives pour les grosses, les petites et les très petites particules (foins et niveaux d'ingestion confondus). La taille des grosses particules est plus élevée chez les Holstein que chez les Charolaises contrairement aux petites et très petites particules

qui sont plus élevées chez les Charolaises que chez les Holstein. A notre connaissance, il n'y a jusqu'à présent dans la bibliographie aucune comparaison entre races de la granulométrie des fèces.

CONCLUSIONS

Ce mémoire rassemble des informations, d'une part sur les caractéristiques générales de la digestion ruminale et, d'autre part, sur les effets du niveau d'alimentation et de la race sur la digestion.

La conduite de notre essai a permis de mettre en évidence un effet non significatif du niveau d'ingestion sur la digestibilité notamment de la matière organique ou des fractions pariétales de la ration (NDF, ADF et hémicellulose) sauf au niveau d'alimentation bas où il a été observé une tendance à la diminution de la digestibilité de la matière organique. Nos résultats ont confirmé la logique baisse des pertes azotées et du bilan azoté lorsque les quantités ingérées diminuent.

La variation du transit des particules dans le rumen et le tube digestif n'a pas entraîné de variation de digestibilité, comme cela a parfois été constaté dans la bibliographie.

Nous avons pu retenir dans notre essai que l'activité des micro-organismes n'a pas pu expliquer les variations de digestibilité et que la méthode de dégradation in sacco n'est pas parfaite pour estimer l'activité de dégradation à cause du micro-climat dans les sachets et l'absence de mastication des aliments introduits dans les sachets. Les variations de taille de particules au niveau du rumen ou des fèces sont modérées et n'entraînent pas de variation de digestibilité.

Le foin de bonne qualité a été naturellement plus digestible probablement en raison de la nature et de la teneur des parois, mais également parce que le transit dans le rumen a été prolongé. Il serait cependant intéressant que d'autres essais soient menés en vue d'établir une relation entre la qualité du foin et le temps de transit.

Il n'y a pas eu d'effet de la race quel que soit le paramètre étudié, ni d'interaction niveau d'ingestion-race. Ce résultat rejoint l'absence de différence entre taurins Baoulé et zébus Peulh de l'essai mené en milieu tropical par Grimaud *et al* (1997). Cet ensemble de résultats laisse penser qu'il y a peu de différences de réponses de la digestion à la sous-nutrition entre races bovines. De plus, on peut supposer que les nombreux résultats de digestion obtenus sur Holstein sont transposables aux autres races bovines.

BIBLIOGRAPHIE

AGABRIEL J., GIRAUD J.M., 1988. Contenu ruminal de la vache Charolaise. Influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, **28**, 107-108.

AHN C. N., THAK T. Y., KANG T. H., KIM K. S., 1987. The comparative digestibility of ruminants by species and breeds. Research Reports of Rural Development Administration (Livestock and Veterinary), S. Korea. **28**, p 18-26 In *Nutr. Abs. Rev.*, ser. B 1987, p.596.

AITCHISON E.M., GILL M., 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.

BAUMONT R., JAMOT J., DARDILLAT C., GRENET E., 1992. Influence de la nature du foin et de l'état alimentaire sur la teneur en matière sèche et la granulométrie des digesta à différents niveaux du réticulo-rumen de la vache. *Ann. Zootech.*, **41**, 61-62.

BAZIN S., ITEB., EDE., INRA., 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie Noires. I.T.E.B. Publications, Paris.

CAMPLING R.C., FREER M., BALCH C.C., 1961. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. II. Relationship between the voluntary intake of roughages, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract. *Br. J. Nutr.*, **15**, 531-540.

CARLE B., DULPHY J.P., 1980 Expérience "digestibilité comparée" Document interne INRA, Département Elevage et Nutrition des Animaux.

CHILLIARD Y., DOREAU M., BOCQUIER F., LOBLEY G. E., 1995. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to variations in food supply. In : M. Journet, E. Grenet, M. H. Farce, M. Thériez, C. Demarquilly (eds) Recent developments in the Nutrition of Herbivores. Proceedings of the IVth International Symposium on the Nutrition of Herbivores, 329-360. INRA Editions, Paris.

COLUCCI P.E., MACLEOD G.K. GROVUM W.L., MCMILLAN I., BARNEY D. J., 1990. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *J. Dairy Sci.* **73**, 2143-2156.

DOREAU M., 1997. Sous-nutrition et digestion chez les ruminants. Actualités de la vie scientifique du Centre INRA de Clermont-Ferrand-Theix, n° 115, 1 p.

DOREAU M., LOMRI, A.I., ADINGRA K., 1986. Influence d'un faible niveau d'ingestion et le comportement alimentaire chez la vache recevant un régime très digestible. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, **26**, 329-330.

DOREAU M., REMOND B., 1982. Comportement alimentaire et utilisation digestive d'une ration de composition constante chez la vache laitière en fin de gestation et début de lactation. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, **22**, 307-324.

DULPHY J.P., BALCH C.C., DOREAU M., 1995. Adaptation des espèces domestiques à la digestion des aliments lignocellulosiques In : R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. Demarquilly, M.H. Farce, M. Journet, eds. *Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion*. INRA, Paris. p 759-803.

DULPHY J.P. REMOND B. THERIEZ M., 1980. Ingestive behaviour and related activities in ruminants. In Ruckebusch Y, Thivend P. (Eds). *Digestive physiology and metabolism in ruminants*, MTP Press, Lancaster, pp.103-122.

ELLIS W. C., LASCANO C., TEETER R., OWENS F. N., 1982. Solute and particulate flow markers. In *Protein Requirements for cattle* (Ed. F. N. Owens), pp. 37-56. Stillwater, USA : Oklahoma State University.

EVANS E. W., PEARCE G. R., BURNETT J., PILLINGER S. L., 1973. Changes in some physical characteristics of the digesta in the reticulo-rumen of cows fed once daily. *Br. J. Nutr.*, **29**, 357-376.

GIVENS D.I., MOSS A. R., 1994. Effect of breed, age and bodyweight of sheep on the measurement of apparent digestibility of dried grass. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **46**, 155-162.

GLENN B.P., VARGA G.A., HUNGTINGTON G.B., WALDO D.R., 1989. Duodenal nutrient flow fed formaldehyde-and formic acid-treated alfalfa or orchardgrass silage at two intakes. *J. Anim. Sci.* **67**, 513-528.

GOERING H. K., VAN SOEST P. J., 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Handbook N° 379*. ARS, USDA, Washington DC.

GRENET E., 1970. Taille et structure des particules végétales au niveau du feuillet et des fèces chez les bovins. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 643-657.

GRIMAUD P., DOREAU M., 1995. Effect of extended underfeeding on digestion and nitrogen balance in nonlactating cows. *J. Anim. Sci.*, **73**, 211-219.

GRIMAUD P., RICHARD D., KANWE A., DURIER C., DOREAU M., 1997. Effect of undernutrition and refeeding on digestion in *Bos taurus* and *Bos indicus* under tropical environment. 21 p (envoyé pour publication).

GROVUM W. L., WILLIAMS V. J., 1977. Rate of passage of digesta in sheep. VI. The effect of food intake on mathematical predictions of the kinetics of digesta in the reticulo-rumen and intestines. *Br. J. Nutr.*, **38**, 425-436.

GUERIN H., 1987. Alimentation des ruminants domestiques sur les pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens : étude méthodologique dans la région du Ferlo du Sénégal. Thèse de Docteur-Ingénieur en Agronomie de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 211 p.

HART F.J., LEIBHOLZ J., 1990. The effect of species of grass, stage of maturity and level of intake on the degradation of protein and organic matter in the rumen of steers. *Aust. J. Agric. Res.*, **41**, 791-798.

JARRIGE R., 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. INRA, Paris, 470 p.

KABRE P., DOREAU M., MICHALET-DOREAU B., 1995. Effects of underfeeding and of meal supplementation on forage digestion in sheep. *J. Agric. Sci., Camb.*, **124**, 119-127.

KABRE P. MARTIN C., MICHALET-DOREAU B., 1994. Enzyme activities of rumen solid-adherent microorganisms in chronically underfed ewes. *J. Sci. Food Agric.* **65**, 423-428.

KENNEDY P.M., MURPHY M.R., 1988. The nutritional implications of differential passage of particles through the ruminal alimentary tract. *Nutr. Res. Rev.*, **1**, 189-208.

LATHAM M. J., 1980. Adhesion of rumen bacteria to plant cell walls. Eds Berkeley R.C.W., Lynch J. M., Melling J., Rutter P.R., Vincent B. In : *Microbial adhesion to surfaces*, Ellis Horwood Ltd, Chichester, pp 339-350.

LINDBERG J.E., KASPERSSON A., CISZUK P., 1984. Studies on pH, number of protozoa and microbial ATP concentrations in rumen-incubed nylon bags with different pore sizes. *J. Agric. Sci.* **102**, 501-504.

LUGINBUHL J. M., POND K. R., BURNS J. C., 1990. Changes in ruminal and fecal particle weight distribution of steers fed coastal bermudagrass hay at four levels. *J. Anim. Sci.* **68**, 2864-2873.

LUGINBUHL J.M., POND K.R., BURNS J.C., RUSS J.C., 1989. Effects of ingestive mastication on particle dimensions and weight distribution of coastal bermudagrass hay fed to steers at four levels. *J. Anim. Sci.* **67**, 538-546.

MARTIN C., 1994. Influence du pH ruminal sur la digestion des parois végétales, en relation avec les modifications de l'activité fibrolytique de l'écosystème microbien. 148 p., Thèse, Université de Clermont-Ferrand II.

MICHALET-DOREAU B., MARTIN C., DOREAU M., 1997. Optimisation de la digestion des parois végétales dans le rumen : quantification des interactions digestives. *Renc. Rech. Rum.*, **4**, (sous presse).

MICHALET-DOREAU B., VERITE R., CHAPOUTOT P., 1987. Méthodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A., 69, 5-7.

MINSON D. J., 1966. The apparent retention of food in the reticulo-rumen at two levels of feeding by means of an hourly feeding technique. Br. J. Nutr., 20, 765-773.

NOZIERE P., 1996. Etude des relations entre l'activité des glycosidases de la population microbienne adhérant aux particules et la dégradation ruminale des constituants glucidiques alimentaires : Effet d'un apport croissant d'orge dans la ration. 143 p., Thèse, Université d'Aix Marseille III.

NOZIERE P., MICHALET-DOREAU B., 1996. Validation of in sacco method : influence of sampling site, nylon bag or rumen contents, on fibrolytic activity of solid-associated microorganisms. Anim. Feed Sci. Technol., 57, 203-210.

OKINE E.K., MATHISON G. W., 1991. Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. J. Anim. Sci., 69, 3435-3445.

ØRSKOV E. R., MCDONALD I., 1970. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. Camb. 92, 499-503.

PONCET C., MICHALET-DOREAU B., MCALLISTER T., REMOND D., 1995. Dietary compounds escaping rumen digestion. In : In Journet M, Grenet E, Farce M H, Thériez M, Demarquilly C (eds) Recent Developments in the Nutrition of Herbivores : Proceedings of the IV th International Symposium on the Nutrition of Herbivores, 167-204. INRA Editions, Paris, France.

POND K.R., ELLIS W.C., LASCANO C.E., AKIN D.E., 1987. Fragmentation and flow of grazed coastal bermudagrass through the digestive tract of cattle. J. Anim. Sci. 65, 609-618.

REMOND B., BRUGERE H., PONCET C., BAUMONT R., 1995. Le contenu du réticulo-rumen In : R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. Demarquilly, M.H. Farce, M. Journet, eds. Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion. INRA, Paris. p 253-298.

REMOND B., JOURNET M., 1978. Effet du niveau d'apport azoté à des vaches au début de la lactation sur la production laitière et l'utilisation de l'azote. Ann. Zootech., 27, 139-158.

ROBINSON P.H., TAMMINGA S., VAN VUUREN A.M., 1987. Influence of degradability of supplemental protein and time post-partum in early lactation dairy cows. 2. Kinetics of rumen ingesta turnover and whole tract digestibility. Livest. Prod. Sci., 29, 167-180.

SCHNEIDER B.H., FLATT W.P., 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia Press, Athens, 226-233.

SHAVER R. D., NYTES A. J., SATTER L. D., JORGENSEN N.A., 1988. Influence of feed intake, forage physical form, and forage content on particle size of masticated forage, ruminal digesta, and feces of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 71, 1566-1572.

SIDDONS R.C., PARADINE J., BEEVER D.E., CORNELL P.R., 1985. Ytterbium acetate as a particulate-phase digesta-flow marker. *Br. J. Nutr.*, 54, 509-519.

WALDO D.R., SMITH L.W., COX E. L., WEINLAND B.T., LUCAS H.L., JR., 1971. Logarithmic normal distribution for description of sieved forage materials. *J. Dairy Sci.* 54, 1465-1469.

WELCH J.G., 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.*, 54, 885-894.

WYBURN R.S., 1980. The mixing and propulsion of the stomach contents of ruminants. In Ruckebusch Y, Thivend P. (Eds). *Digestive physiology and metabolism in ruminants*, MTP Press, Lancaster, pp. 35-51.