

DK 264801

BA_TH 430

UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE II
Faculté de Médecine
La Timone

UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE III
Faculté des Sciences et Techniques
Saint Jérôme

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
Paris-Grignon

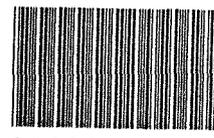
Mémoire présenté en vue de l'obtention du
Diplôme d'Etudes Approfondies
de Nutrition
Aspects Moléculaires et Cellulaires
Option Nutrition Animale

ADAPTATION DIGESTIVE DE LA VACHE À
LA SOUS-NUTRITION :

Digestibilité de la ration, transit des particules et
activités microbiennes dans le rumen.

Laboratoire de Recherches sur
la Sous-Nutrition des Ruminants
INRA de Theix
63122 St Genès Champanelle
Michel DOREAU responsable du stage

Patrice GRIMAUD
Septembre 1993



* 000003150 *

ADAPTATION DIGESTIVE DE LA VACHE À
L'À SOUS-NUTRITION :

Digestibilité de la ration, transit des particules et
activités microbiennes dans le rumen.

REMERCIEMENTS

Ma profonde reconnaissance va à Michel DOREAU, sous la responsabilité duquel j'ai effectué cette étude. Je le remercie particulièrement de sa disponibilité de tous les instants et de la qualité de ses conseils. Qu'il sache que j'aimerais poursuivre ma carrière avec le même humanisme que lui,

A Renée LEFAIVRE, pour sa compétence et sa douce autorité, à Catherine BARRAUD et Josiane CHABROT pour leur quiétude et leur efficacité, et à toutes les personnes du laboratoire, un très grand merci pour leur patience et leur bonne humeur,

A Gabrielle SAUVAGE pour son aide et sa prévenance, à Daniel THOMAS et Edouard GIRARD pour leur habileté, et à toute l'équipe de l'Unité Expérimentale "Les Cèdres", j'assure que j'ai pris un réel plaisir à travailler avec eux,

A Jean-François OTTOU, compagnon d'infortunes informatiques, et aux autres africains rencontrés lors de ce stage, j'exprime le vœu que nos chemins se croisent le plus souvent possible dans des contrées qui nous tiennent particulièrement à cœur,

A Yves CHILLIARD et, à travers lui, à tous ceux du service de la SNUT qu'il dirige, j'adresse ma gratitude pour la chaleur de leur accueil et le souhait que des collaborations futures entre l'INRA et le CIRAD puissent être aussi fructueuses et amicales que les nôtres.

Les résultats inclus dans ce mémoire présentent un caractère préliminaire et ne peuvent être diffusés sans l'autorisation du Laboratoire de la Sous-Nutrition des Ruminants de l'INRA de Theix.

Ils doivent être référencés comme suit :

GRIMAUD P., DOREAU M., 1993 : Adaptation digestive de la vache à la sous-nutrition : digestibilité de la ration, transit des particules et activités microbiennes dans le rumen. Résultats préliminaires, INRA de Theix, in Mémoire de DEA, Universités de Aix-Marseille II et III et Institut National Agronomique de Paris Grignon.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
MATERIEL ET METHODES.....	5
I- ANIMAUX ET SCHEMA EXPERIMENTAL.....	5
II- REGIMES ALIMENTAIRES.....	5
III- MESURES ET PRELEVEMENTS	7
1- Mesures zootechniques	7
2- Digestibilité.....	7
3- Transit digestif.....	8
a- Choix des marqueurs.....	8
et principe d'utilisation	8
b- Prélèvements.....	8
4- Digestion dans le rumen.....	8
a- Composition du liquide du rumen.....	8
b- Quantités de contenu du rumen.....	9
c- Dégradabilité de la matière sèche.....	9
IV- ANALYSES.....	9
1- Préparation des échantillons.....	9
2- Dosage des différents constituants.....	9
des aliments et des contenus digestifs.....	9
3- Mesure des concentrations de marqueurs.....	10
4- Comptage des protozoaires.....	10
5- Détermination des produits terminaux.....	10
de la digestion.....	10
V- CALCULS.....	10
RESULTATS ET DISCUSSION.....	11
I- COMPORTEMENT DES ANIMAUX.....	11
II- DIGESTIBILITE.....	12
III- CONTENU ET TRANSIT DIGESTIFS.....	13
1- Poids des contenus du rumen.....	13
2- Expression des transits.....	15
IV- LES ACTIVITES MICROBIENNES.....	17
1- La dégradation <i>in situ</i>	18
2- La concentration des protozoaires.....	18
3- Les produits terminaux de la digestion.....	20
CONCLUSION.....	23
BIBLIOGRAPHIE	

Le Laboratoire de Recherches sur la Sous-Nutrition des Ruminants de l'INRA existe depuis le 01/01/92. Sa création répond au besoin de préciser les mécanismes d'adaptation digestive et métabolique aux périodes de sous-nutrition que subissent les animaux. En effet, les ruminants peuvent être soumis à des périodes de sous-alimentation, de durée et d'intensité variables, pour diverses raisons :

Physiologiques, tout d'abord, puisque les femelles en début de lactation ne peuvent ingérer suffisamment d'aliment pour couvrir leurs besoins de production, et cela d'autant plus qu'elles sont fortes productrices de lait.

Politiques, ensuite, avec une conduite d'élevage qui se tourne progressivement vers l'extensification, aux dépens d'une intensification de plus en plus poussée qui a longtemps été de règle.

Economiques, enfin, la sous-nutrition pouvant résulter d'un choix de l'éleveur de vaches allaitantes désireux de réaliser une épargne de fourrages conservés ou d'aliments concentrés en période hivernale. C'est également, fréquemment, la sanction des faibles disponibilités alimentaires des pays du Sud.

Digestibilité de la matière organique (%)

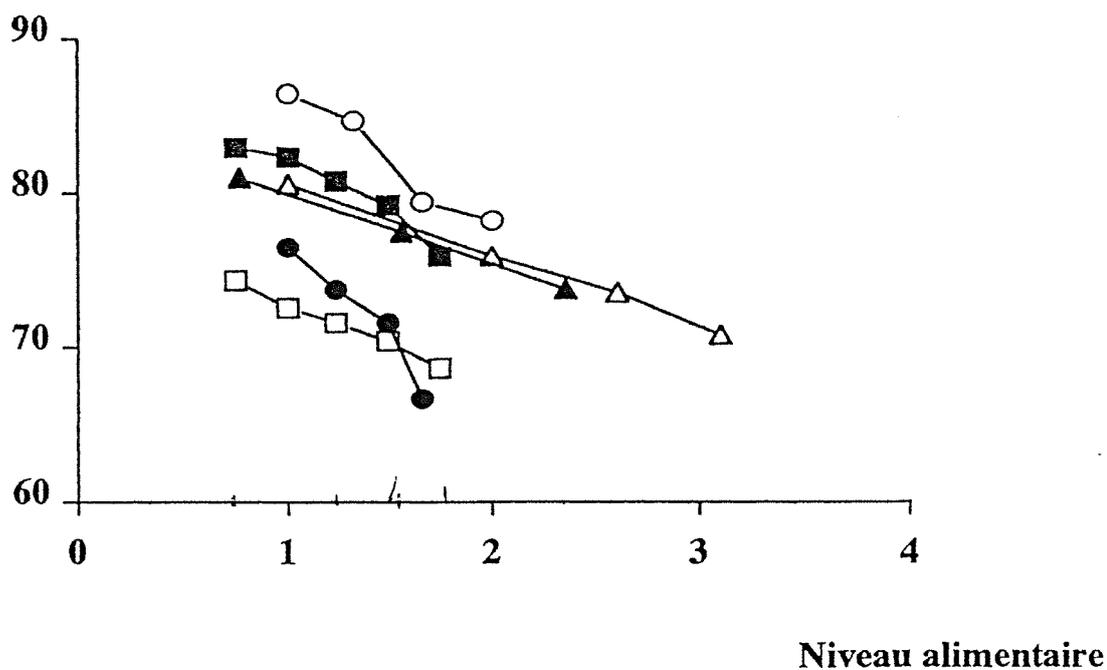


Figure 1 : Effet du niveau alimentaire sur la digestibilité de la matière organique

- GALYEAN et al., 1979
- ▲— DOREAU et al., 1986
- LEAVER et al., 1968 (50% de concentré)
- LEAVER et al., 1968 (80% de concentré)
- △— ALWASH et THOMAS, 1971
- OKINE et MATHISON, 1991

Le niveau alimentaire est défini par rapport aux quantités ingérées permettant de couvrir le besoin d'entretien des animaux (niveau 1).

INTRODUCTION

Les effets du niveau d'ingestion sur les phénomènes digestifs ont été étudiés par de nombreux auteurs. Tous n'ont pas particularisé la sous-alimentation et les différents résultats proviennent, le plus souvent, d'observations à partir de niveaux d'alimentation supérieurs à ceux nécessaires à la couverture des besoins d'entretien. Quoi qu'il en soit, il ressort de la grande majorité de ces expériences qu'une diminution du niveau d'ingestion se traduit généralement par une augmentation de la digestibilité. C'est ce qui est représenté sur la figure 1.

L'ensemble des valeurs présentées varient de façon significative en fonction du niveau d'alimentation. Mais certains auteurs n'ont pu mettre en évidence de tels phénomènes : ainsi, sur des expérimentations réalisées sur des moutons, VARGA et PRIGGE (1982), de même que MUDGAL et al. (1982), n'observent pas d'augmentation de la digestibilité lorsque la quantité de fourrage distribué est réduite. Certains résultats font enfin état d'une évolution dans le même sens des variations du niveau alimentaire et de celles de la digestibilité (LASSITER, 1958). De telles fluctuations doivent être cependant nuancées : par la forme de présentation du fourrage dans le régime (ALWASH et THOMAS, 1971), le niveau de la restriction alimentaire (HICKS et al., 1990 ; SLABBERT et al., 1992) ou encore la proportion de concentré dans la ration (BROWN et al., 1966 ; COLUCCI et al., 1989). L'effet du niveau d'ingestion sur la digestibilité ne semble en effet pas aussi net lorsque les rations sont riches en fourrage, et cela d'autant plus que la valeur alimentaire de celui-ci est pauvre (DULPHY et al., 1983).

Ces variations lors d'une modification du niveau alimentaire peuvent trouver une explication dans une proportion différente des digestions ruminale et intestinale. DOREAU et REMOND (1982) ont ainsi mis en évidence une augmentation de la quantité de matière organique digérée dans l'intestin de vaches laitières en début de lactation : l'accroissement des quantités ingérées à ce stade a pour conséquence une baisse de la digestibilité ruminale, et une compensation, quoiqu'incomplète, s'opère alors par une meilleure digestion de l'amidon au niveau de l'intestin grêle et de la cellulose au niveau du gros intestin. La perturbation de la digestion ruminale, qui est principalement tributaire du transit dans ce compartiment et des activités microbiennes qui s'y déroulent, se doit d'être étudiée sous ces deux aspects.

Plusieurs expériences ont montré que le temps de rétention dans le rumen était inversement proportionnel à la quantité de matière sèche ingérée. Parmi eux, COLUCCI et al. (1982), sur des vaches laitières, en déduisent que la première cause probable de la diminution de la digestibilité lors de l'augmentation du niveau d'alimentation serait un passage plus rapide de la ration dans le tractus digestif.

Ils rejoignent en cela les conclusions de FRANCOIS et COMPERE (1972), qui ont établi également une corrélation étroite chez le mouton entre le niveau d'alimentation, la vitesse de transit des résidus de la digestion et la digestibilité de la cellulose. MUDGAL et al. (1982) observent ainsi une réduction significative de 25% du temps de rétention des particules alimentaires dans le rumen lorsque la quantité de matière organique ingérée est doublée, sans que cela n'ait toutefois entraîné de différence de digestibilité. Cette variation du temps de transit en cas de sous-alimentation, corollaire le plus fréquemment d'une diminution de la vitesse de renouvellement des particules solides et liquides dans le rumen, s'accompagne généralement de l'augmentation du volume d'eau et de la baisse du pourcentage de la matière sèche du contenu ruminal (OWENS et GOETSCH, 1988).

Il ne semble pas que les activités microbiennes jouent un rôle déterminant dans la plus grande digestibilité des aliments en cas de sous-alimentation (DOREAU et al., 1986). Si les conclusions sur d'éventuelles modifications de l'activité cellulolytique lors d'une sous-alimentation sont rares (CAMPLING et al., 1961 ; ALWASH et THOMAS, 1971), il est plus fréquemment reporté des données sur les protozoaires, avec notamment une diminution de leur nombre et une variation de la composition de leur population (DEHORITY et ORPIN, 1988). Les acides gras volatils, produits terminaux de la digestion dans le rumen, sont le reflet de cette activité microbienne. Lorsque leur concentration varie, c'est logiquement vers une diminution (GROVUM et WILLIAMS, 1977), mais de nombreuses études, comme celle de MERCHEN et al. (1986), ne mettent pas en évidence de tels changements. Néanmoins, on peut penser que, lorsque la concentration en AGV ne varie pas, la quantité totale en acides gras volatils présents dans le rumen est modifiée en raison de son changement de volume.

Beaucoup de données sont ainsi disponibles sur les conséquences d'une variation du niveau de l'ingestion, mais aucune d'entre elles, à notre connaissance, n'apporte de résultats sur les éventuels ajustements qui sont mis en jeu lors du passage de l'un à l'autre de ces niveaux. Ces ajustements pourraient ainsi définir une adaptation digestive des animaux à leur nouveau régime alimentaire, de la même façon qu'il est prouvé qu'il existe des mécanismes métaboliques mis en jeu en réponse à une sous-alimentation (ORTIGUES, 1991). Cela apparaît d'autant plus difficile qu'il n'est pas certain que les relations entre les phénomènes digestifs et le niveau alimentaire en cas de sous-alimentation soient identiques à celles observées dans des conditions de suralimentation. En effet, si MCCGRAHAM et WILLIAMS (1962), estiment que ce sont les mêmes, DOREAU et al. (1982), montrent en revanche que lorsque l'animal est sous-nutri, on observe une stase liée à un remplissage incomplet du rumen, à l'origine d'une perturbation de la rumination et d'une évolution du transit différente de celle à laquelle on assiste lors d'une suralimentation.

L'objectif de notre travail est donc de déterminer s'il existe une adaptation à court et à moyen terme des phénomènes digestifs. L'étude que nous y présentons porte sur une diminution des valeurs du niveau alimentaire par rapport à la couverture des besoins d'entretien de 1,25 à 0,65, niveau que quatre vaches tarées conserveront durant cinq mois avant de retrouver leur niveau d'ingestion initial. L'originalité de ce travail est que la digestion y est appréhendée sous un angle multifactoriel, transit digestif et activité microbienne étant suivis simultanément dans la recherche de facteurs explicatifs des éventuelles variations de digestibilité entraînées par la baisse du niveau d'alimentation.

Un effort particulier est néanmoins porté sur les aspects du transit, considéré jusqu'à présent comme le principal facteur responsable des différences de digestibilité. Des mesures ont particularisé le trajet intestinal des aliments, alors qu'elles sont en général rarement réalisées, afin de déterminer au mieux les causes des événements qui se déroulent dans l'ensemble du tractus digestif.

MATERIEL ET METHODES

I-ANIMAUX ET SCHEMA EXPERIMENTAL

L'expérience a été réalisée sur quatre vaches vides, de race Holstein, d'un poids vif moyen de 755 kg, munies de canules du rumen et du duodénum proximal. Elle s'est déroulée sur une durée proche de sept mois, d'octobre 1992 à mai 1993. Les animaux ont été maintenus dans une étable à éclairage programmé leur assurant 12 heures quotidiennes de lumière et ont été soumis à deux régimes alimentaires différents.

Après trois semaines d'adaptation avec un régime à volonté, les vaches ont reçu les trois semaines suivantes un niveau d'alimentation "*sub ad libitum*" satisfaisant 125 p100 de leurs besoins énergétiques d'entretien - régime "haut"- . Les animaux ont ensuite été brutalement rationnés à un niveau alimentaire proche de 65 p100 de ces mêmes besoins - régime "bas"-, qu'ils ont gardé pendant cinq mois. A l'issue de cette période, ils ont été réalimentés progressivement pendant une semaine jusqu'à retrouver leur niveau initial d'alimentation. Les besoins en protéines et en minéraux étaient couverts durant l'ensemble de ces périodes. L'eau n'a été rationnée à aucun moment.

Six périodes de mesure ont été définies :

* De P1 à P4, quatre périodes de 11 jours de mesures :

- P1 : en fin de période à haut niveau d'alimentation
- régime "haut".
- P2 : en début de période à bas niveau d'alimentation
- régime "bas".
- P3 : quatre semaines après le début à bas niveau d'alimentation
- régime "bas".
- P4 : en fin de période à bas niveau d'alimentation
- régime "bas".

* P'3 et P'4, deux périodes de 5 jours où seule la digestibilité a été mesurée :

- P'3 : un mois après la fin de P3 - régime "bas" .
- P'4 : dix jours après la fin de P4 - régime "haut".

II-REGIMES ALIMENTAIRES

Les matières premières composant les régimes ainsi que les quantités distribuées, exprimées en kg de matière brute, figurent dans le tableau I.

**TABLEAU I : Quantités distribuées
des matières premières constituant le régime,
exprimées par rapport à la matière brute**

REGIME	HAUT	BAS
Foin (kg)	10	5
Tourteau de soja (kg)	1	0,5
Orge agglomérée (kg)	1	0,5
CMV ¹ (g)	50	200

1: Complément minéral et vitaminé 15/15

Le foin est un foin de prairie permanente de demi-montagne, récolté en juillet après déprimage, fané au sol par beau temps. Il est proposé aux animaux en deux distributions de quantités égales, le matin à 9 heures et l'après-midi à 16 heures.

Le mélange tourteau-orge-CMV est donné en une seule fois le matin, dans un seau, avant la première distribution de foin.

Les valeurs énergétiques (en UFL), protéiques (en MAT et PDI exprimées en g/kg de MS), et en minéraux (en g/kg de MS) de ces différentes matières premières, ainsi que leur composition en parois végétales (ADF -acid detergent fiber- et NDF -neutral detergent fiber-, en g/kg de MS), figurent dans le tableau II.

**TABLEAU II : Composition (en UFL et en g/kg MS)
des matières premières**

	UFL ¹	MAT ²	PDIN ¹	PDIE ¹	NDF ²	ADF ²	Ca ¹	P ¹	Mg ¹	Na ¹
Foin	0.56	82	54	63	703	425	3,5	2,5	2,0	2,0
T.soja	1,17	526	371	254	125	65	3,0	7,8	2,7	2,0
Orge	1,16	118	79	102	192	67	0,7	4,0	1,2	-
CMV	-	-	-	-	-	-	150	150	50	25

1 : valeurs estimées (INRA, 1981)

2 : valeurs de laboratoire

La couverture des besoins qui en résulte est représentée dans le tableau III.

TABLEAU III : Besoins théoriques et Rapports "r" (en %) Apports alimentaires / besoins des animaux

	UFL	PDI	Ca	P	Mg	Na
Besoins	5,6	445g	42g	32g	12g	11g
r						
Régime haut	125	200	100	125	200	120
Régime bas	65	100	100	130	170	100

III-MESURES ET PRELEVEMENTS

1-Mesures zootechniques

Les animaux sont pesés en début d'expérimentation ainsi qu'à la fin de chacune des périodes expérimentales. Parallèlement, une double notation de l'état corporel est effectuée. Elle se fait 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 (BAZIN et al., 1983) .

Les quantités d'aliment ingérées sont notées quotidiennement ; les refus sont relevés lors des deux périodes à "régime haut" (P1 et P'4), aucun refus n'étant observé durant l'ensemble des périodes à "régime bas". La consommation d'eau est relevée lors de chacune des périodes de digestibilité.

Un échantillon représentatif des aliments est constitué à chaque période pour les analyses, après détermination de sa teneur en matière sèche.

2-Digestibilité

La récolte totale des fèces est réalisée pendant 5 jours consécutifs ; l'urine est recueillie par l'intermédiaire de sondes urinaires durant 4 jours dans des bidons contenant 500 ml d'acide sulfurique 3,6 N.

Après homogénéisation et pesée des fèces, une part aliquote - 2 % du poids frais - est mise à l'étuve pendant 48 heures à 80°C pour le calcul de la matière sèche. Cette fraction est ensuite regroupée sur les 5 jours de la période de mesure afin de constituer un échantillon représentatif des fèces de chaque animal pour les analyses.

Les digestibilités de la matière sèche, de la matière organique, de l'ADF et du NDF en sont déduites.

3-Transit digestif

a-Choix des marqueurs et principe d'utilisation

Deux marqueurs sont utilisés pour l'estimation du transit digestif, le chlorure d'ytterbium et le polyéthylène glycol (PEG). Le cobalt-EDTA est employé comme marqueur du transit intestinal proprement dit. Le principe des mesures est l'étude de la cinétique des concentrations de ces différents marqueurs au niveau du rumen (PEG), du duodénum (chlorure d'ytterbium) et du rectum (cobalt-EDTA). L'ytterbium est une terre rare du groupe des lanthanides. C'est un marqueur quasiment indigestible et il se fixe sur les particules alimentaires des digesta. Contrairement au précédent, qui est un marqueur de la phase solide, le PEG est très soluble dans l'eau. Cette propriété en fait un bon marqueur de la phase liquide malgré une absorption proche de 5 %. Le cobalt-EDTA, enfin, fait partie d'un ensemble de marqueurs de la phase liquide caractérisés par la présence du chélatant EDTA.

Le chlorure d'ytterbium est préparé en solution concentrée (40 g/l) à partir d'oxyde d'ytterbium pour chacune des périodes. Le PEG est utilisé à raison de 65 grammes par litre d'eau. Chaque matin pendant 5 jours, la solution de PEG et 25 ml de solution concentrée de chlorure d'ytterbium sont infusés avec de l'eau, ajoutée en complément jusqu'à 2,5 litres, dans le rumen de chacune des vaches à un débit proche de 100 ml/h. Les transits sont mesurés à partir de l'arrêt de l'infusion. Dans le cas du PEG, une surcharge de 150 grammes dilués dans 500 ml d'eau est introduite dans la canule ruminale à l'arrêt de l'infusion, soit une heure avant le premier prélèvement. Un jour avant la fin de l'infusion de PEG et de chlorure d'ytterbium, 15 grammes de Cobalt-EDTA dissous dans 100 ml d'eau sont infusés dans le duodénum à 9 heures.

b-Prélèvements

La cinétique de concentration de l'ytterbium se fait à partir de 23 prélèvements de 300 ml de contenu duodéal échelonnés entre 1 et 168 heures après l'arrêt de l'infusion. L'analyse de PEG est effectuée sur 10 échantillons de liquide du rumen prélevés entre 1 et 28 heures après la surcharge. 14 prélèvements, de la troisième à la cinquante-quatrième heure après l'infusion de cobalt-EDTA, sont faits directement au niveau rectal et conservés à raison de 100 grammes environ par échantillon en vue de l'analyse de ce marqueur.

4-Digestion dans le rumen

a-Composition du liquide du rumen

A chaque période, 100 ml de liquide ruminal sont prélevés à 9 heures (immédiatement avant repas), 11 et 14 heures, pendant deux jours consécutifs sur chacune des vaches, à raison de 100 ml par prélèvement. Après mesure du pH et filtration, on mélange, pour une même vache et pour une même heure, les échantillons de ces deux journées en vue de l'analyse des acides gras volatils et du comptage des protozoaires.

b-Quantités de contenu du rumen

A la fin de chacune des périodes expérimentales, le rumen des quatre vaches est 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 qu'un échantillon représentatif d'environ 1000 grammes en ait été prélevé pour la détermination de la matière sèche.

c-Dégradabilité de la matière sèche

Dix-neuf sachets de nylon (fournisseur ANKOM, pores de 53 μm de diamètre), sont placés dans le rumen de chaque animal à chacune des périodes. Ils contiennent chacun 3 g du foin distribué aux vaches, préalablement broyé à une grille de 0,8 mm. Les sachets ont été soudés, et lestés par un anneau de plomb. Ils sont retirés par groupes de 3 au bout de 3, 6, 12, 24 et 48 heures, un dernier groupe de 4 étant retiré après 96 heures. Après lavage à l'eau froide et passage à l'étuve à 80°C, les sachets sont pesés. Seule la dégradation de la matière sèche est mesurée sur les résidus de sachets.

IV-ANALYSES

1-Préparation des échantillons

Les analyses des constituants pariétaux et des matières minérales sont faites sur des échantillons séchés par un passage à l'étuve à 80°C pendant 24 heures. Celles des matières azotées totales sont faites sur l'échantillon frais.

Les échantillons de contenu duodéal et de fèces sont lyophilisés, broyés puis passés 24 heures à l'étuve à 80°C. Les prélèvements de liquide ruminal pour l'analyse du PEG sont congelés.

Pour l'analyse des acides gras volatils, 10 ml de jus de rumen sont additionnés de 1 ml de H_3PO_4 5%. Les échantillons peuvent alors être congelés. Pour le comptage des protozoaires, 5 ml de jus sont mis en tube avec 5 ml d'un conservateur résultant du mélange de 50 ml de glycérol, 48 ml d'eau distillée et 2 ml de formaldéhyde. Seule la conservation par réfrigération est possible avant la lecture.

2-Dosage des différents constituants des aliments et des contenus digestifs

Les matières minérales sont déterminées sur les aliments, les fèces et les contenus duodénaux après passage dans un four à moufle à 550°C pendant 6 heures. Les matières azotées totales des aliments sont déterminées par la méthode de KJELDAHL. Les constituants pariétaux, ADF et NDF, sont dosés par la méthode de GOERING et VAN SOEST (1970).

3-Mesure des concentrations de marqueurs

Le PEG est dosé par turbidimétrie selon la méthode de HYDEN (1955), à partir des échantillons de liquide ruminal préalablement filtrés sur gaze. L'ytterbium est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les échantillons sont minéralisés par voie sèche à 550°C pendant 6 heures, et les sels de terre rare sont solubilisés à chaud en présence d'acide nitrique 1,5 N. Le cobalt-EDTA est déterminé selon la méthode de UDEN et al (1980) par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les échantillons subissent une minéralisation par voie sèche avant que les sels de cobalt ne soient solubilisés à chaud en présence d'acide chlorhydrique 0,6 M. Pour ces deux analyses, une gamme a été constituée par ajouts dosés pour chaque lieu de prélèvement et chaque animal.

4- Comptage des protozoaires

Le dénombrement des protozoaires du rumen est effectué en cuve de Dolfuss selon la méthode de SENAUD et al (1980).

5-Détermination des produits terminaux de la digestion

Les acides gras volatils du liquide ruminal sont dosés par chromatographie en phase gazeuse (JOUANY, 1982).

V-CALCULS

Les prélèvements 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 :

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

où t : temps écoulé depuis l'administration du marqueur
C : concentration du marqueur au temps t
C₀ : concentration au temps 0
k : taux de renouvellement ou de dilution, déduit des valeurs de transit.

La dégradation de la matière sèche est estimée selon le modèle d'ORSKOV et MACDONALD (1979). Elle suit une équation du type :

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

où a : partie rapidement dégradabile
b : partie plus lentement dégradabile
c : vitesse de dégradation de b

On en déduit la dégradabilité théorique D :

$$D = a + b [c/(c+k)]$$

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

RESULTATS ET DISCUSSION

I- COMPORTEMENT DES ANIMAUX

Dans le tableau IV sont reportés les poids et les notes d'état corporel des animaux, ainsi que les consommations quotidiennes d'aliment et d'eau relevées au cours des six périodes étudiées.

TABLEAU IV : Poids vifs (kg), notes d'état corporel
consommations d'aliment (kg MS/j) et d'eau (l/j)

	P1	P2	P3	P'3	P4	P'4	ES
Poids vifs	747 ^A	703 ^B	679 ^B	677 ^B	620 ^C	669 ^B	3,21
Notes d'état	3,75 ^A	3,25 ^B	2,88 ^B	2,67 ^B	2,25 ^C	2,25 ^C	0,05
Aliment	9,45	5,21	5,21	5,21	5,21	9,30	-
Eau	41,5 ^A	21,3 ^B	26,3 ^B	22,4 ^B	23,8 ^B	47,9 ^A	0,70

A, B, C : $p < 0,01$

ES : erreur standard

La sous-alimentation proprement dite a duré 157 jours, pendant lesquels les animaux ont perdu 127 kg de poids vif. Cette chute du poids vif peut être reliée à deux mécanismes essentiels, la baisse de poids des contenus digestifs d'une part et les variations de la masse et de la composition corporelle d'autre part (ORTIGUES, 1991).

A court terme, la variation du contenu ruminal explique près des deux-tiers de la diminution de poids vif (AGABRIEL et GIRAUD, 1988). Sur une période plus longue, les variations de poids des contenus digestifs en fonction du niveau alimentaire sont plus atténuées, et la perte de poids vif se fait alors aux dépens des tissus corporels.

La note d'état, reflet du dépôt de la graisse sous-cutanée des animaux, a diminué de façon parallèle au poids vif. Cette évolution similaire confirme la relation qui existe entre ces deux paramètres pour des valeurs moyennes de la note d'état (AGABRIEL, communication personnelle). L'apport énergétique, inférieur d'environ 2 UFL par jour au niveau d'entretien, a entraîné un déficit supérieur à 300 UFL sur l'ensemble de la période, qui s'est traduit par la chute de 1,5 points de cette note.

Le contenu ruminal a évolué de 90 à 69 kg de P1 à P4 (cf tableau VI, p.14). La perte de poids vif corrigé, obtenu par déduction des variations de ce contenu, est donc d'environ 106 kg. Les équivalents énergétique et pondéral d'une unité de note d'état sont alors de 200 UFL et de 71 kg. Ces valeurs sont plus élevées que celles reportées dans la synthèse de CHILLIARD et al (1987), 150 UFL et de 35 à 48 kg de poids vif corrigé, qui représentent la moyenne de chiffres en réalité dispersés. C'est ainsi que nos valeurs se rapprochent de celles de 187 UFL pour des vaches tarées trouvées par PETIT et al. (1992) et de 61 à 110 kg de poids vif calculées par WRIGHT et RUSSEL (1984).

Le rapport entre les consommations d'aliment durant les périodes "haut niveau" et "bas niveau" est proche de 1,8, soit différent du rapport théorique de 1,92 du protocole d'expérimentation (125/65). Cette valeur plus faible trouve son explication dans le fait qu'il y a eu des refus en période P1 malgré les ajustements qui ont suivi la phase d'adaptation, et qu'en P'4 les animaux n'ont pas retrouvé immédiatement leur niveau d'ingestion initial.

En revanche, la consommation d'eau a toujours été reliée à celle de la matière sèche : 4,77 l/kg MS en périodes "haut niveau" et 4,49 l/kg MS en périodes "bas niveau". De telles valeurs sont légèrement supérieures à celles attendues selon les équations de prédiction de PAQUAY et al. (1970), et ne mettent pas en évidence une diminution de la consommation d'eau rapportée à la matière sèche ingérée que l'on peut attendre d'une restriction alimentaire (JARRIGE, 1978).

II- DIGESTIBILITE

Les coefficients de digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et des constituants pariétaux -NDF et ADF- figurent dans le tableau V.

TABLEAU V : Digestibilités (%) au cours des six périodes

	P1	P2	P3	P'3	P4	P'4	ES
Mat.sèche	59,30 ^a	52,96 ^b	57,85 ^a	57,69 ^a	55,95 ^{ab}	58,82 ^a	0,46
Mat.organique	62,71 ^A	56,21 ^B	61,86 ^A	64,08 ^A	61,55 ^A	63,77 ^A	0,48
NDF	57,85	50,85	57,88	57,79	59,21	57,04	0,84
ADF	58,25	49,57	57,92	58,51	56,45	56,85	0,94

a, b : p < 0,05

A, B : p < 0,01

ES : erreur standard

Les coefficients de digestibilité ne diffèrent pas entre les périodes P1 et P4, soit entre un niveau haut d'ingestion et la fin d'une période de cinq mois de sous-alimentation. Ce résultat est surprenant dans la mesure où la grande majorité des auteurs s'accorde à relier la diminution du niveau d'ingestion à une augmentation de la digestibilité, comme l'a montré la figure 1.

Un tel phénomène peut s'expliquer par la faible part du concentré dans le régime alimentaire (moins de 20%). En effet, l'accroissement du régime alimentaire entraîne une chute de digestibilité d'autant plus forte que la proportion de concentré dans la ration est élevée (LEAVER et al., 1968 ; BROWN et al., 1966). Ainsi, pour des régimes variant dans un rapport de 1 à 5 fois le niveau d'entretien, distribués à des vaches laitières, ces derniers ont observé une baisse de la digestibilité de la matière organique de 6 ou de 15 points selon que le régime était composé de 50 ou de 20 % de foin.

On assiste même en période P2 à un phénomène inverse, puisque les vaches ont répondu à la chute brutale de leur niveau d'alimentation par une baisse significative de la digestibilité de la matière sèche ($p < 0,05$) et de la matière organique ($p < 0,01$). Seuls LASSITER et al. (1958) ont obtenu sur des vaches tarées, recevant un régime à base de foin, une amélioration des digestibilités de la matière sèche, de la matière organique et des constituants pariétaux, quand le niveau d'alimentation augmentait. Les conditions dans lesquelles ils ont réalisé leur expérimentation sont malheureusement trop peu détaillées pour qu'il soit possible d'en faire une analyse précise. Mais une telle variation dans le même sens du niveau d'alimentation et des valeurs de digestibilité est cependant rapportée par DULPHY et al (1983) sur des moutons recevant des rations à base de paille non traitée dans des proportions supérieures à 85% du régime. Ils notent en effet une baisse de 2 à 4,4 points de la digestibilité de la matière sèche lorsque les animaux passent d'un régime *ad libitum* à une alimentation restreinte.

Entre P1 et P2, les animaux ont subi une diminution drastique de leur niveau d'alimentation. La baisse des valeurs de digestibilité peut trouver son explication dans une perturbation soudaine de courte durée que les vaches n'ont pu surmonter aussi rapidement. En revanche, dès la période P3, qui correspond à un délai de quatre semaines après le début d'un régime à bas niveau d'ingestion, les animaux se sont accoutumés à leur nouvelle alimentation, ce qui a pour conséquence un retour des coefficients de digestibilité à leurs valeurs initiales de P1. Ils garderont ces valeurs jusqu'en P'4, où les quantités ingérées sont identiques à celles de P1.

Enfin, les coefficients de digestibilité des constituants pariétaux n'ont pas varié de manière significative de P1 à P'4. Cela est vraisemblablement à rapprocher de valeurs élevées de l'erreur standard.

III- CONTENU ET TRANSIT DIGESTIFS

1- Poids des contenus du rumen

Les poids du contenu total du rumen, ainsi que ceux du contenu sec et de l'eau qui le composent, sont reportés dans le tableau VI.

TABLEAU VI : Poids des contenus du rumen (kg)

	P1	P2	P3	P4	ES
Contenu sec	10,37 ^a	5,88 ^b	7,81 ^{ab}	6,72 ^b	0,47
Eau	79,65	66,32	73,34	62,10	3,78
Contenu total	90,02	72,20	81,15	68,82	4,23

a, b : $p < 0,05$

ES : erreur standard

Le contenu total du rumen n'a pas varié significativement de P1 à P4, de même que la quantité d'eau qui y est présente. En revanche, le contenu sec est significativement supérieur en période P1, ce que traduisent les valeurs des pourcentages de matière sèche, respectivement de 11,56 - 8,14 - 9,69 et 9,82%, soit une évolution similaire à celles qu'ont reportées SHAVER et al. (1985) et ROBINSON et al. (1987). Il est néanmoins nécessaire de préciser le comportement atypique de l'une des vaches, qui, notamment lorsqu'elle était sous-alimentée, a eu un poids de contenu ruminal particulièrement élevé. Si l'on exclut les valeurs de cet animal, les poids moyens de contenu total du rumen deviennent pour les 4 périodes 84,80 - 73,10 - 73,27 et 50,17 kg. De telles valeurs sont plus conformes à la réponse que l'on peut attendre d'une sous-alimentation. Celle-ci se traduit en effet à la fois par la diminution du contenu total du rumen, reflet du volume de ce compartiment, et par une baisse du pourcentage de la matière sèche de ce contenu. On assiste ainsi à une augmentation de la part relative de liquide dans le contenu ruminal lorsque la quantité de matière sèche ingérée diminue, ce qui confirme les résultats de DOREAU et al. (1986), qui l'avaient observée lors d'une restriction alimentaire sur des vaches laitières recevant de l'ensilage de maïs.

L'augmentation de la quantité d'eau dans le rumen quand les quantités ingérées sont plus faibles a eu pour résultat une moindre diminution du volume total du rumen. Cela pourrait correspondre à une compensation de l'animal pour maintenir son volume ruminal constant. Les valeurs obtenues à la période P4 montrent cependant qu'à l'issue de cinq mois à bas régime, où le contenu total du compartiment devient alors égal à 60% de son poids d'origine en P1, les animaux ne peuvent plus réguler ce phénomène, alors que les compositions en eau et en matière sèche n'ont pas été modifiées par rapport aux périodes précédentes.

L'évolution du volume de l'eau contenue dans le rumen en fonction du niveau d'alimentation a été suivie par différents auteurs. Les résultats qu'ils obtiennent ne vont pas tous dans le même sens, et, si nos observations confirment celles de GALYEAN et al. (1979) et de ADAMS et al. (1984), elles sont en revanche différentes des conclusions de SUTTON (1980) qui n'a pas noté de modifications ou de celles de BULL et al. (1979) et de COLUCCI et al. (1990) qui ont au contraire signalé une évolution dans le même sens du niveau d'ingestion et du contenu du liquide dans le rumen.

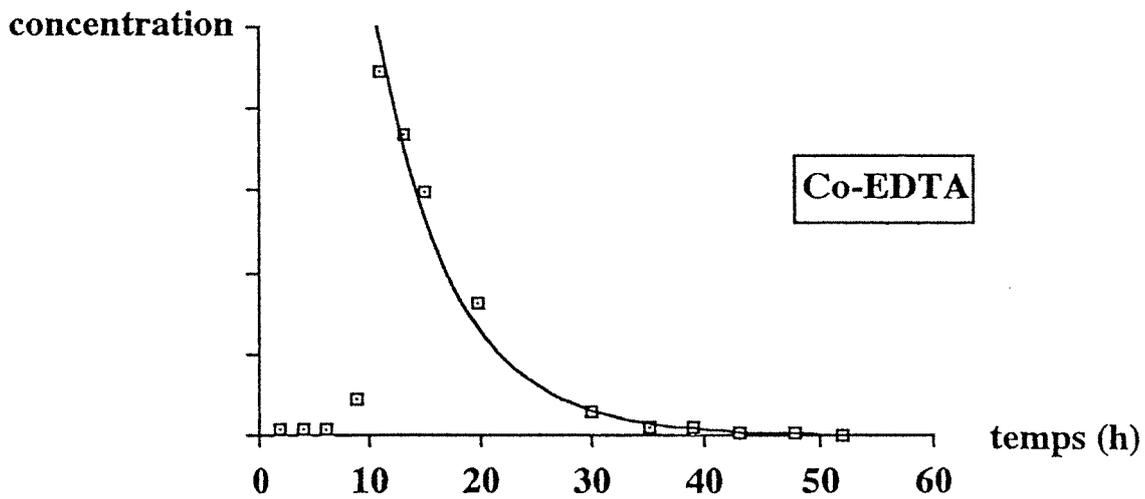
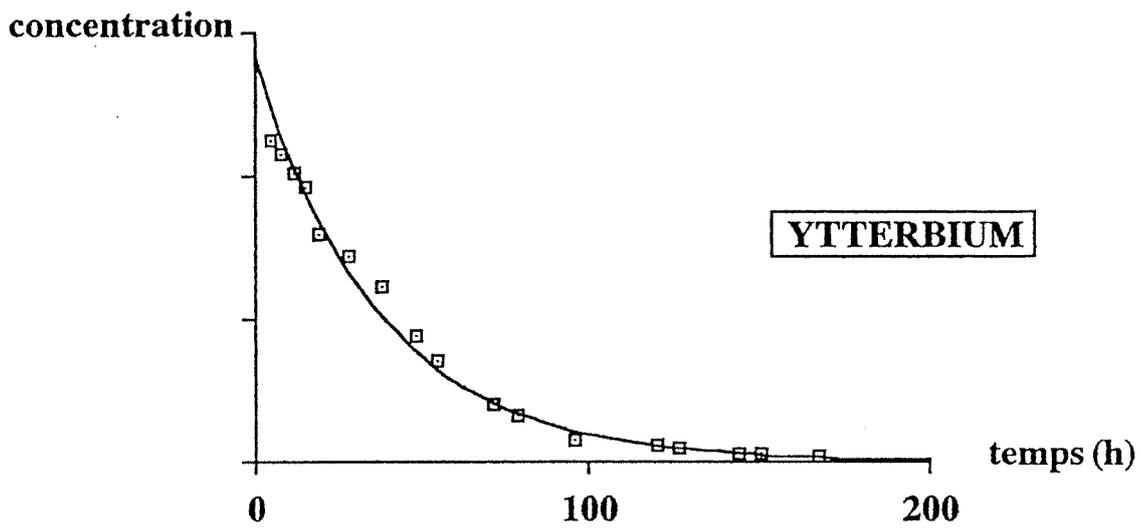
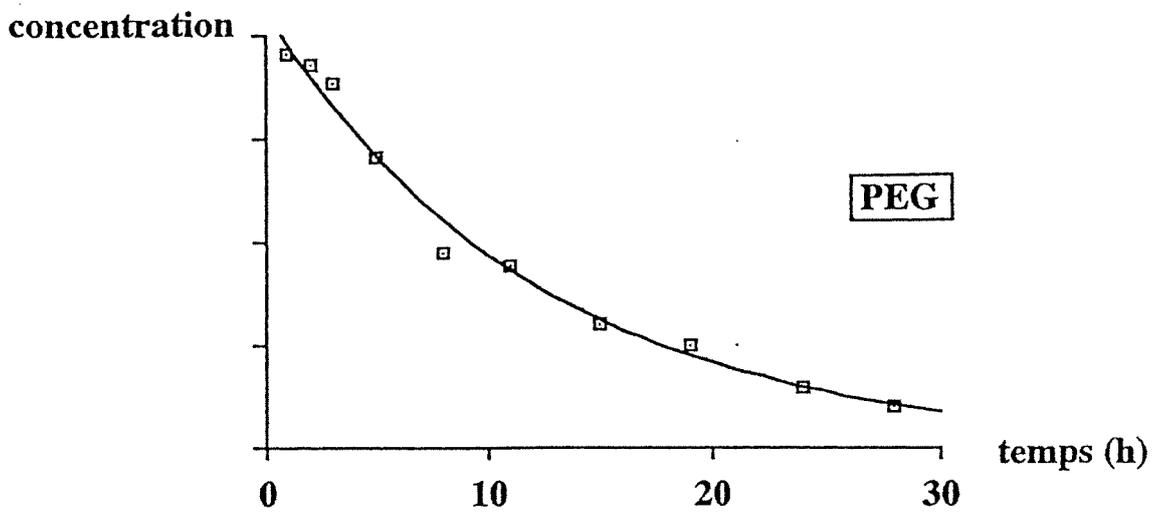


Figure 2 : Exemples de l'évolution des différents traceurs

MUDGAL et al. (1982) ont mis en évidence une augmentation de la concentration en matière sèche du rumen lorsque la quantité ingérée augmentait. Ils rejoignent en cela OWENS et GOETSCH (1988) qui ont en outre observé, dans leur synthèse sur les fermentations, une augmentation du volume ruminal liée positivement à la quantité de fourrage ingérée, à pourcentage constant de concentré dans la ration. De telles observations concordent avec nos résultats.

2- Expression des transits

Dans le tableau VII sont reportées les différentes vitesses de renouvellement des contenus digestifs dans le rumen et dans l'intestin. Elles résultent de l'analyse de la disparition des différents traceurs employés : PEG pour la phase liquide et ytterbium pour la phase solide dans le rumen, cobalt-EDTA pour la phase liquide de l'intestin, au sein duquel le transit est identique pour les phases solide et liquide (VAN BRUCHEM et al., 1981; DIXON et al., 1982 ; FADLALLA et al., 1987). L'évolution des concentrations de ces différents traceurs est illustrée par la figure 2, dans laquelle sont représentées trois des courbes parmi toutes celles obtenues.

TABLEAU VII : Vitesse de renouvellement des contenus digestifs (h^{-1})

	P1	P2	P3	P4	ES
RUMEN					
Phase liquide	0,0995 ^a	0,0731 ^{ab}	0,0670 ^b	0,0585 ^b	0,0043
Phase solide	0,0297	0,0259	0,0259	0,0280	0,0078
INTESTIN					
Phase liquide	0,0269 ^a	0,0226 ^{ab}	0,0179 ^b	0,0173 ^b	0,0096

a, b : $p < 0,05$

ES : erreur standard

La vitesse de renouvellement de la phase solide dans le rumen n'a pas varié au cours des cinq mois de sous-alimentation. En revanche, celle de la phase liquide dans ce même compartiment, tout comme celles des phases solide et liquide dans l'intestin, ont suivi une diminution progressive de la période P1 à la période P3, cette dernière présentant des vitesses identiques à celles enregistrées en P4. Une telle adaptation des vitesses de renouvellement en fonction des quantités ingérées est conforme aux résultats de GALYEAN et al. (1979) pour des niveaux d'ingestion supérieurs à l'entretien, ainsi que de GROVUM et WILLIAMS (1977) sur des moutons sous-alimentés. Elle ne correspond en revanche pas aux conclusions de DOREAU et al. (1986) qui ont noté des vitesses de renouvellement supérieures à 10% par heure même à très faibles niveaux d'ingestion (0,78 fois l'entretien).

La modification des quantités ingérées entraîne une variation des flux de matière sèche à l'entrée et à la sortie du rumen. Cette modification est le résultat soit d'une variation de la vitesse de renouvellement des phases, solides ou liquides, soit de celle du volume du rumen. La sous-alimentation n'a pas provoqué ici de diminution de la vitesse de renouvellement des particules solides, contrairement aux observations de DOREAU et al. (1986) sur des vaches sous-alimentées, ou de celles de BULL et al. (1979) et de COLUCCI et al. (1982 et 1990) qui ont observé des variations dans le même sens du niveau d'alimentation et du taux de renouvellement des particules solides. Ces conclusions sont confirmées par ROBINSON et al. (1987) sur des vaches laitières recevant un régime mixte à des niveaux d'ingestion variables, et cela quelle que soit la proportion d'amidon entrant dans la composition du concentré. MUDGAL et al. (1982) avaient quant à eux remarqué chez le mouton, à l'inverse de nos résultats, une forte augmentation du transit des particules solides pour un niveau double d'alimentation alors que la digestibilité de la matière organique n'avait pas varié. MERCHEN et al. (1986), enfin, n'ont pas mis en évidence de variation du transit des particules solides dans le rumen lorsque le niveau d'alimentation de moutons était modifié.

Seuls la vitesse de renouvellement de la phase liquide dans le rumen et le volume ruminal, dont il a été question précédemment, ont donc été affectés par la réduction du niveau alimentaire. C'est également le cas du transit dans les compartiments tubulaires de l'intestin, qui s'est pourtant révélé très court (inférieur à 9 heures), trop rapide pour qu'il soit possible d'en préciser les valeurs. La diminution de la vitesse de renouvellement dans l'intestin suit en effet une évolution parallèle à celle qui a lieu dans le rumen, sans que la compensation dont ont fait état DOREAU et REMOND (1982) n'ait été observée. Ces auteurs, sur des vaches en fin de gestation-début de lactation, relient en effet les fortes diminutions de la digestibilité de la matière organique, consécutive à l'augmentation du niveau alimentaire, à un accroissement important des quantités digérées dans l'intestin. Ce phénomène a également été observé par OKINE et MATHISON (1991).

IV- LES ACTIVITES MICROBIENNES

Entrent dans ce paragraphe des phénomènes liés à l'activité globale des microorganismes (la dégradation *in situ*), des informations plus spécifiques relatives aux protozoaires dont on sait qu'ils réagissent rapidement à toute modification du régime alimentaire, et enfin des données sur les AGV, produits terminaux de la digestion, et qui à ce titre peuvent être considérés comme la résultante de ces activités.

1- La dégradation *in situ*

La dégradation de la matière sèche à l'intérieur des sachets de nylon n'a pas montré de différences significatives entre les niveaux d'alimentation. Les valeurs moyennes des pourcentages de disparition de la matière sèche après 3, 6, 12, 24, 48 et 96 heures d'incubation ont été respectivement de 24,05- 28,09- 36,30- 48,83- 59,87 et 67,54. ZHAO et al. (1993) qui ont étudié trois niveaux alimentaires correspondant à 50, 100 et 150% des besoins d'entretien de chèvres, ont mis en évidence une plus lente dégradabilité de la matière sèche pour le niveau alimentaire le plus élevé lorsque la ration, à base de graminée, était riche en concentré. Cette tendance s'estompe en revanche pour un régime exclusivement constitué de fourrage. Les valeurs que nous obtenons s'accordent donc avec ces derniers résultats et montrent que l'activité cellulolytique des microorganismes se poursuit au moins pendant 96 heures à chacune des périodes, au cours desquelles la vitesse de renouvellement de la phase solide dans le rumen n'a pas changé.

L'activité microbienne n'a donc pas été modifiée au cours de l'expérimentation, même en période P2 au cours de laquelle une différence de digestibilité a été mise en évidence. DOREAU et al. (1986), qui ont étudié trois niveaux d'alimentation sur des vaches en fin de lactation, n'ont pu non plus relier l'accroissement de la digestibilité de la matière organique à une perturbation de l'activité des microorganismes du rumen.

Le tableau VIII, dans lequel sont reportées les valeurs déduites des coefficients a, b, et c du modèle d'ORSKOV et MACDONALD (1979), ainsi que de la dégradabilité théorique D, confirme cette absence de différence entre les périodes.

TABLEAU VIII : Dégradation de la matière sèche *in situ*

	P1	P2	P3	P4	ES
a (%)	19,11	18,48	18,55	16,93	0,26
b (%)	50,20	50,74	50,76	51,85	0,46
c (%/h)	3,48	3,89	3,58	4,06	0,17
D (%)	46,06	48,78	47,72	47,66	0,62

ES : erreur standard

2- La concentration des protozoaires

Les principaux protozoaires qui ont été dénombrés dans le rumen sont des ciliés qui appartiennent à la famille des *Isotrichidae*, avec essentiellement les genres *Isotricha* et *Dasytricha*, et à la famille des *Ophryoscolecidae*, dont notamment les genres *Entodinium* et *Ostracodinium*. La concentration de ces familles de protozoaires est reportée dans le tableau IX pour les points 9, 11 et 14 heures.

TABLEAU IX : Concentration des protozoaires
dans le liquide du rumen ($10^3/\text{ml}$)

	P1	P2	P3	P4	ES
9 heures					
Ophryoscolecidae	111,3 ^a	101,3 ^a	65,3 ^b	64,0 ^b	5,5
Isotrichidae	3,8	9,0	7,3	7,0	1,1
Total	115,0 ^a	110,3 ^a	72,5 ^b	71,0 ^b	5,5
11 heures					
Ophryoscolecidae	121,8 ^A	70,0 ^B	48,8 ^B	65,0 ^B	3,7
Isotrichidae	16,3 ^a	9,5 ^b	8,0 ^b	12,0 ^b	0,9
Total	128,0 ^A	79,5 ^B	56,8 ^B	77,0 ^B	3,9
14 heures					
Ophryoscolecidae	106,0 ^A	44,8 ^B	31,8 ^B	53,0 ^B	4,9
Isotrichidae	11,3	5,8	5,5	7,8	0,7
Total	117,3 ^A	50,5 ^B	37,3 ^B	60,8 ^B	5,0

a, b : $p < 0,05$

A, B : $p < 0,01$

ES : erreur standard

On observe une évolution identique à chacune des heures de prélèvement : la concentration en protozoaires est plus élevée en P1, avec un maximum à 11 heures, et montre des valeurs significativement supérieures à celles de la période P4, aux seuils 5% à 9 heures et 1% à 11 et 14 heures. Au point 9 heures, les valeurs en concentration totale de protozoaires sont les mêmes en P1 et P2, et diffèrent de celles observées en P3 et P4. A 11 et 14 heures, cette concentration est significativement plus élevée en période à "haut niveau" que pendant les trois périodes à "bas niveau" d'alimentation.

Une telle diminution de la population de protozoaires lorsque le niveau d'alimentation décroît rejoint les conclusions de DEHORITY et ORPIN (1988), qui l'ont attribuée à une baisse de la disponibilité en énergie qui limiterait la croissance de ces microorganismes. Toujours selon ces auteurs, cette réduction affecte principalement les genres *Dasytricha*, *Entodinium* et *Ophryoscolex*. Pourtant, dans notre expérimentation, les protozoaires de la famille des *Ophryoscolecidae* ont plus varié que ceux de la famille des *Isotrichidae*. D'autre part, la vitesse de renouvellement du liquide du rumen a été modifiée dans le même sens que la population en protozoaires. Cette évolution concorde avec les résultats de DOREAU et al. (1990), obtenus sur des vaches laitières fortes productrices entre la fin de la gestation et le début de la lactation. En revanche, elle ne correspond pas aux conclusions de ESTELL et GALYEAN (1985) qui ont établi sur des boeufs une relation inverse entre les deux événements. Ils précisent toutefois que les réponses fermentaires à une modification de la vitesse de renouvellement du liquide ruminal apparaissent complexes et difficilement prévisibles.

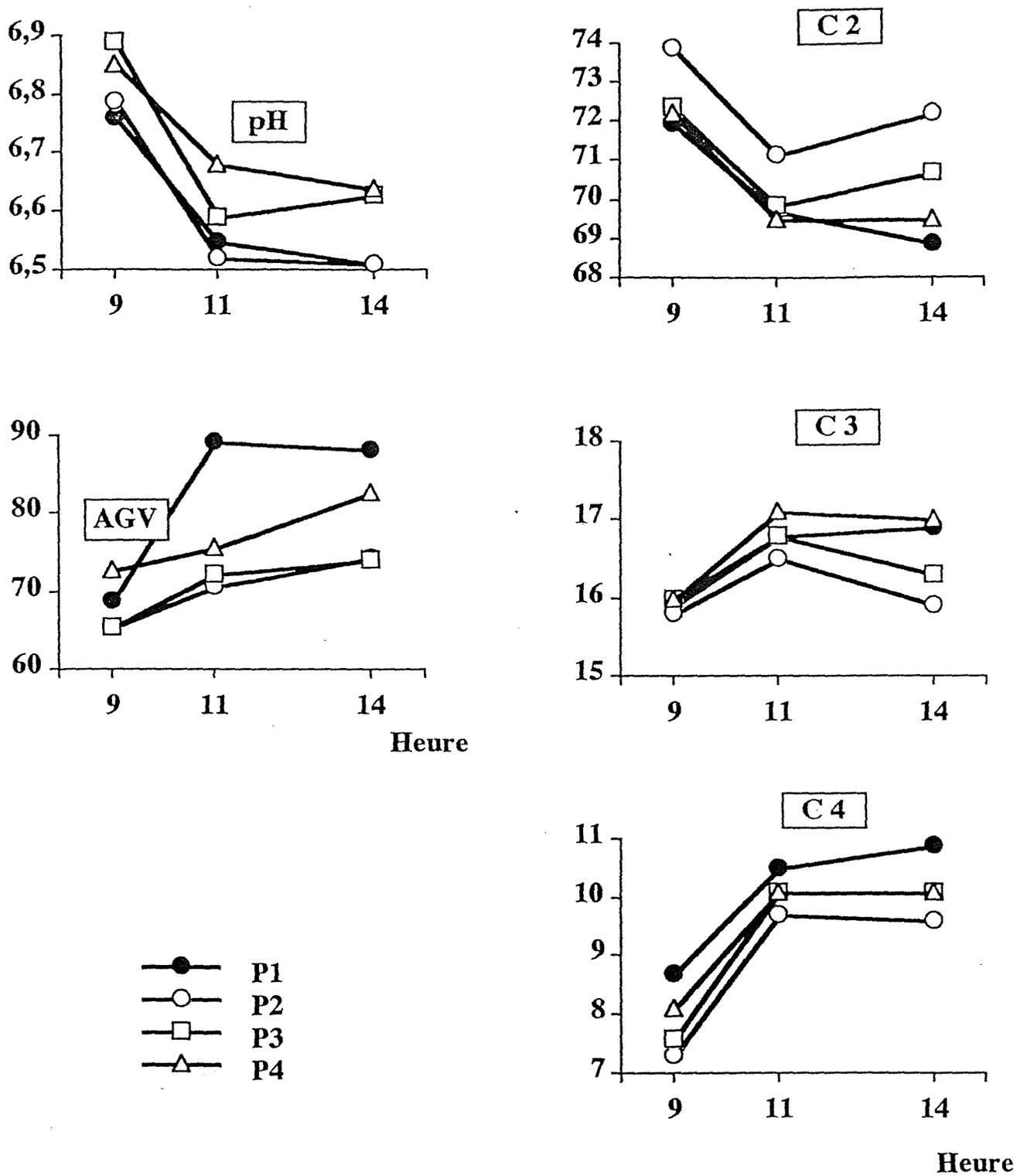


Figure 3 : Evolution du pH, de la concentration en AGV (mM), et des proportions molaires (mol/100 mol) en acétate (C2), propionate, (C3) et butyrate (C4), dans le liquide ruminal à 9, 11 et 14 heures, pendant les quatre périodes.

CRAWFORD et al. (1980), sur des essais *in vitro*, n'ont pas montré de relations entre ces deux paramètres. Par ailleurs, FAICHNEY et GRIFFITHS (1978) ont mis en relation une baisse du nombre des protozoaires avec l'augmentation de la matière sèche du contenu du rumen, qui va à l'encontre de nos observations.

Une estimation de la quantité des protozoaires peut être déduite de ces résultats, en multipliant la concentration moyenne totale de chacune des périodes par le volume de liquide du rumen. Pour les périodes P1 et P4, toutes heures confondues, les populations moyennes de ciliés sont respectivement de 9,56 et 4,32 10^6 , soit dans un rapport proche de celui des quantités ingérées entre les deux niveaux d'alimentation proposés.

3- Les produits terminaux de la digestion

L'évolution du pH ruminal ainsi que celles des concentrations en acétate, propionate, butyrate et en acides gras volatils totaux sont représentées sur la figure 3.

Le pH du liquide du rumen n'a pas varié d'une période à l'autre pour une heure donnée. En revanche, si la concentration totale en AGV n'a pas été modifiée entre les périodes pour le point 9 heures, soit juste avant le repas, il n'en est pas de même pour les prélèvements effectués deux et cinq heures après la distribution de l'aliment, qui ont suivi une évolution identique au cours de la sous-alimentation : elle se traduit par une valeur plus élevée en P1 (respectivement 89,3 et 88,1 mol/l), qu'en périodes P2 et P3 (moyennes de 71,5 mol/l à 11 heures et 74,3 mol/l à 14 heures) avant de retrouver une concentration intermédiaire en P4 (75,6 mol/l à 11 heures et 82,7 mol/l à 14 heures). Ces valeurs sont significativement différentes aux seuils de 1% à 11 heures et 5% à 14 heures.

Les observations relatives à l'évolution du pH sont nombreuses et ne varient pas toutes dans le même sens. Ainsi BATH et ROOK (1963) ont associé une augmentation du niveau d'ingestion à une chute de pH, alors que ZHAO et al. (1993) ont observé une élévation du pH ruminal avant le repas lorsque le niveau de fourrage distribué à des chèvres augmentait ; en revanche, VARGA et PRIGGE (1982) et DOREAU et al. (1986) n'ont pas trouvé de relation significative entre le pH et les quantités de matière sèche ingérées. Ces derniers ont néanmoins observé une modification de la concentration totale des AGV positivement liée à la quantité ingérée par les animaux. Pourtant, DOREAU et REMOND (1982), tout comme MERCHEN et al. (1986), n'ont pu relier la forte chute de digestibilité de la matière organique à une variation de la concentration des AGV dans le rumen, comme cela est rapporté dans la revue de SUTTON (1980). Cette relation entre le niveau d'ingestion et la concentration en AGV, observée ici pour les périodes P2 et P3, s'accorde avec les résultats de BATH et ROOK (1963) et de GROVUM et WILLIAMS (1977).

Seule la composition en principaux AGV au point 14 heures varie : la proportion d'acide acétique s'accroît aux dépens de celle d'acide propionique entre P1 et P2, alors que la proportion en acide butyrique n'est pas modifiée. Ces concentrations reviennent ensuite aux proportions initiales en P4. Les seules variations de la proportion molaire des AGV dont SUTTON (1980) fait état concernent les régimes riches en concentré. Elles sont en général peu affectées lorsque la ration est essentiellement composée de fourrages, ce qui est confirmé par les résultats de VARGA et PRIGGE (1982).

Dans notre expérimentation, on assiste à l'issue des cinq mois de sous-alimentation à un retour progressif à une composition en AGV et des proportions molaires proches des valeurs initiales de la période P1. La modification brusque à la période P2 est à mettre en relation avec la diminution temporaire de la digestibilité observée à cette période, ces deux phénomènes pouvant traduire une baisse de l'intensité des fermentations lors de la restriction brutale du niveau d'alimentation, reflet possible d'une modification de l'écosystème microbien.

CONCLUSION

L'étude de la sous-alimentation que nous avons suivie s'est déroulée pendant cinq mois sur des vaches tarées qui recevaient un régime composé approximativement de 80% de foin et de 20% de concentré. La proportion de foin a été choisie pour coller au plus près d'une réalité que vivent en général les animaux ayant à subir de longues périodes de sous-alimentation. Ils ne peuvent que rarement disposer de compléments alimentaires à leur ration de base, et le concentré n'a été distribué ici que dans le but de couvrir les besoins azotés et minéraux des animaux, afin de réduire les facteurs de variation de notre expérimentation. Les analyses ont été effectuées immédiatement, quatre semaines puis cinq mois après la début de la sous-alimentation. Elles nous ont donc permis d'étudier les phénomènes liés au changement brutal du niveau d'alimentation ainsi qu'à ceux qui pouvaient être révélateurs d'une adaptation à plus long terme.

Les niveaux d'alimentation, exprimés par rapport au besoin d'entretien, ont été de 1,25 et de 0,65. La baisse des quantités ingérées qui en a résulté s'est traduite par une diminution parallèle du poids vif des animaux et de leur note d'état corporel. En revanche, hormis au moment du changement brutal du niveau alimentaire, la digestibilité n'en a été que peu affectée, les variations observées ne montrant pas de différences significatives entre le niveau initial d'alimentation et celui à l'issue des cinq mois de restriction. L'explication peut en être recherchée dans la faible proportion de concentré qui entre dans la ration.

Le transit de la phase solide dans le rumen n'a pas non plus subi de variations significatives au cours des cinq mois de sous-alimentation. Néanmoins, l'observation de la baisse de la vitesse de renouvellement des liquides dans le rumen nous amène à conclure à certains ajustements des animaux à la réduction de leur niveau alimentaire, parmi lesquels le maintien d'un coefficient de remplissage constant du rumen a été mis en évidence. Il s'est traduit par une forte diminution du pourcentage de la matière sèche de son contenu, reflet à la fois de la quantité de matière sèche dans ce compartiment et du volume de l'eau contenue dans le rumen, qui ont évolué de manière indépendante.

Le suivi du transit intestinal a permis de mettre en évidence une évolution de la vitesse de renouvellement dans ce compartiment parallèle à celle de la phase liquide du rumen. Cependant, la digestibilité dans le rumen n'ayant vraisemblablement pas été augmentée par la diminution du niveau alimentaire, il ne nous est pas possible de conclure à une compensation de la modification de la digestion dans l'un des compartiments par une variation des phénomènes qui pourraient intervenir dans l'autre, comme cela est le cas pour les animaux à haut niveau d'alimentation.

Les modifications de l'activité microbienne ne montrent pas de tendance très nette nous autorisant à des conclusions précises quant à une éventuelle adaptation de la population microbienne à la sous-alimentation. L'activité cellulolytique des microorganismes n'a pas varié avec la réduction du niveau de distribution d'un même régime, et la population des protozoaires a diminué proportionnellement à la matière organique fermentescible de l'aliment. La concentration en AGV montre qu'à l'issue d'une longue période de sous-alimentation, les produits de la digestion microbienne sont identiques à ceux observés avec des régimes en mesure de satisfaire les besoins d'entretien. La baisse du volume ruminal a néanmoins entraîné une diminution de la quantité en acides gras volatils, malgré leur concentration qui est restée constante.

La chute de digestibilité lors du changement brutal du niveau d'alimentation va à l'encontre de la majorité des études de l'effet de la réduction des quantités ingérées sur la digestibilité. Elle montre l'intérêt d'une meilleure connaissance des phénomènes qui interviennent à très court terme. En effet, l'ensemble des événements, qui reviennent par la suite à une situation proche de ceux liés à l'état de "haut niveau" d'alimentation, montrent une perturbation temporaire des phénomènes digestifs qui pourrait correspondre à une modification de l'écosystème microbien.

Il est donc difficile de conclure de l'ensemble de ces observations à une adaptation nette des vaches à la sous-alimentation. Les chiffres obtenus montrent des variations, mais de trop faible amplitude, vraisemblablement dues à une différence trop étroite entre les deux niveaux d'alimentation testés. Cela limite la portée de l'étude des adaptations à long terme à de bas niveaux d'ingestion, à moins peut-être de garder comme modèle pour de si longues périodes la vache laitière autour de la période de la mise-bas, la différence dans les niveaux d'ingestion existant entre la fin de gestation et le début de lactation s'inscrivant dans un rapport de 1 à 4. La difficulté résidera alors dans l'extrapolation des résultats aux animaux qui seront dans des stades physiologiques différents.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS D.C., KARTCHNER R.J., 1984. Effect of level of forage intake on rumen ammonia, pH, liquid volume and liquid dilution rate in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 58, 708-713.
- 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.
- 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 by sheep. *J. Sci. Food Agric.*, 22, 611-615.
- BATH I.H., ROOK J.A.F., 1963. Evaluation of cattle foods and diets in terms of the ruminal concentration of volatile fatty acids. *J. Agric. Sci.*, 61, 341-348.
- BAZIN S, ITEB., EDE., INRA., 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie Noires. I.T.E.B. Publications, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12.
- BROWN L.D., 1966. Influence of intake on feed utilization. *J. Dairy Sci.*, 49, 223-230.
- BULL L.S., RUMPLER W.V., SWEENEY Y.F., ZINN R.A., 1979. Influence of ruminal turnover on site and extent of digestion. *Fed. Proc.*, 38, 2713-2719.
- 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.
- CHILLIARD Y., REMOND B., AGABRIEL J., ROBELIN J., VERITE R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, 70, 117-131.
- COLUCCI P.E., CHASE L.E., VAN SOEST P.J., 1982. Level of feed intake and diet digestibility in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 65, 1445-1456.
- COLUCCI P.E., MACLEOD G.K., GROVUM W.L., CAHILL L.W., MACMILLAN I., 1989. Comparative digestion in sheep and cattle fed different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *J. Dairy Sci.*, 72, 1774-1785.
- COLUCCI P.E., MACLEOD G.K., GROVUM W.L., MACMILLAN 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.
- CRAWFORD R.J., HOOVER W.H., KNOWLTON P.H., 1980. Effects of solids and liquid flows on fermentation in continuous cultures. I. Dry matter and fiber digestion, VFA production and protozoa numbers. *J. Anim. Sci.*, 51, 975-985.
- DEHORITY B.A., ORPIN C.G., 1988. Development of, and natural fluctuations in, rumen microbial populations. in "The rumen microbial ecosystem", HOBSON (Ed.), 151-183.
- DIXON R.M., NOLAN J.V., MILLIGAN L.P., 1982. Studies of the large intestine of sheep. 2. Kinetics of solid and liquid phase markers in the caecum and proximal colon. *Br. J. Nutr.*, 47, 301-309.

- 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.
- DOREAU M., LOMRI A.I., ADINGRA K., 1986.** Influence d'un faible niveau d'ingestion sur la digestion et le comportement alimentaire chez la vache recevant un régime très digestible. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 26, 329-330.
- DOREAU M., DELACROIX A., JOUANY J.P., DURIER C., REMOND B., 1990.** The influence of physiological state and dietary nitrogen supply on digestion in the dairy cow. *J. Anim. Sci.*, 68, 3853-3860.
- DULPHY J.P., BRETON J., LOUYOT J.M., BIENAIME A., 1983.** Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. III. Influence du niveau d'aliment concentré. *Ann. Zootech.*, 32, 53-80.
- ESTELL R.E., GALYEAN M.L., 1985.** Relationship of rumen fluid dilution rate to fermentation and dietary characteristics of beef steers. *J. Anim. Sci.*, 60, 1061-1070.
- FADLALLA B., KAY R.N.B., GOODAL E.D., 1987.** Effect of particle size on digestion of hay by sheep. *J. Agric. Sci., Camb.*, 109, 551-561.
- FAICHNEY G.J., GRIFFITHS G.A., 1978.** Behaviour of solute and particle markers in the stomach of sheep given a concentrate diet. *Br. J. Nutr.*, 40, 71-82.
- FRANCOIS E., COMPERE R., 1972.** Influence de la quantité ingérée sur le transit gastro-intestinal et la digestibilité d'un foin de graminée long ou condensé chez le mouton. in "Isotopes studies on the physiology of domestic animals". *Proc. Symp. Vienna, I.A.E.A.*, 301-319.
- GALYEAN M.L., WAGNER D.G., OWENS F.N., 1979.** Level of feed intake and site and extent of digestion of high concentrate diets by steers. *J. Anim. Sci.*, 49, 199-203.
- GOERING H.K., VAN SOEST P.J., 1970.** Forage fiber analysis. USDA, ARS AGR. Handbook N°379.
- 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 reticulorumen and intestines. *Br. J. Nutr.*, 38, 425-436.
- HICKS R.B., OWENS F.N., GILL D.R., MARTIN J.J., STRASIA C.A., 1990.** Effects of controlled feed intake on performance and carcass characteristics of feedlot steers and heifers. *J. Anim. Sci.*, 68, 233-244.
- HYDEN S., 1955.** A turbidimetric method for the determination of higher polyethylene glycols in biological materials. *Kungl. Lantbr. Ann.*, 22, 139-145.
- INRA, 1981.** Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Ed. INRA Publications, Route de St Cyr, 78000 Versailles, 531 p.
- JARRIGE R., 1978.** Alimentation des Ruminants, Ed. INRA Publications, Route de St Cyr, 78000 Versailles, 597 p.
- JOUANY J.P., 1982.** Volatile fatty acids and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents. *Sci. Aliments*, 2, 131-144.

- LASSITER C.A., HUFFMAN C.F., DUNCAN C.W., 1958. Effect of level of feed intake using hay : grain ratios on feed utilization of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 41, 721 (abstr.).
- LEAVER J.D., CAMPLING R.C., HOLMES W., 1969. The effect of level of feeding on the digestibility of diets for sheep and cattle. *Anim. Prod.*, 11, 11-18.
- McCGRAHAM N., WILLIAMS A.J., 1962. The effects of pregnancy on the passage of food through the digestive tract of sheep. *Aust. J. Agric. Sci.*, 13, 894-900.
- MERCHEN N.R., FIRKINS J.L., 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.
- MUDGAL V.D., DIXON R.M., KENNEDY P.M., 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, 1051-1055.
- 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.
- ORTIGUES I., 1991. Adaptation du métabolisme énergétique des ruminants à la sous-alimentation. Quantification au niveau de l'animal entier et de tissus corporels. *Reprod. Nutr. Dev.*, 31, 593-616.
- ORSKOV E.R., 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.
- OWENS F.N., GOETSCH A.L., 1988. Ruminal fermentation. in "The ruminant animal : Digestive physiology and nutrition", CHURCH (Ed.), 145-171.
- PAQUAY R., DE BAERE R., LOUSSE A., 1970. Statistical research on the fate of water in the adult cow. I. Dry cows. *J. Agric. Sci., Camb.*, 74, 423-432.
- PETIT M., KABRE P., AGABRIEL J., 1992. Estimate of maintenance energy requirements of Salers beef cows during mid-pregnancy. 7èmes journées des Recherches sur l'Alimentation et la Nutrition des Herbivores, p.17.
- ROBINSON P.H., TAMMINGA S., VAN VUUREN A.M., 1987. Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of ingesta turnover in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 17, 37-62.
- SAS, 1988. SAS user's Guide : statistics. SAS Institute, Cary, NC.
- SENAUD J., GROLIERE G.A., ZAINAB B., GRAIN P., JOUANY J.P., 1980. Implantation et développement des populations de protozoaires ciliés *Polyplastron vesiculatum*, *Entodinium sp.*, *Isotricha prostoma* dans le rumen de moutons recevant différents régimes alimentaires. I. Régime luzerne/orge (40/50). *Protistologica*, 16, 329-337.
- SHAVER R.D., SATTER L.D., JORGENSEN N.A., 1985. Ruminal retention time and fill in dairy cows: effects of level of feed intake, forage physical form and forage fiber content. *Proc. XVIII Conf. Rumen Function*, p.45.

- SLABBERT N., CAMPER J.P., SHELBY T., KUHN G.P., 1992.** The influence of dietary energy concentration and feed intake level on feedlot steers. I. Digestibility of diets and rumen parameters. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 22, 101-106.
- SUTTON J.D., 1980.** Digestion and end-product formation in the rumen from production rations. in RUCKEBUSCH and THIVEND (Ed.). *Digestive physiology and metabolism in ruminants. Proceedings of the 5th International Symposium, Clermont-Ferrand, France, pp. 271-290, MTP limited press, Lancaster, England.*
- UDEN P., COLUCCI P.E., 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.
- VAN BRUCHEM J., WIERSMA J., VAN ADRICHEM P.W.M., 1981.** An evaluation of the use of chromic oxide, polyethylene glycol and Cr-EDTA as markers for digestive studies along small intestine of ruminants. *Neth. J. Agric. Sci.*, 29, 151-162.
- VARGA G.A., PRIGGE E.C., 1982.** Influence of forage species and level of intake on ruminal turnover rates. *J. Anim. Sci.*, 55, 1498-1504.
- WRIGHT I.A., RUSSEL A.J.F., 1984.** Partition of fat, body composition, and body condition score in mature cows. *Anim. Prod.*, 38, 23-32.
- ZHAO Y.Z., SHIMOJO M., GOTO I., 1993.** The effects of feeding level and roughage/concentrate ratio on the measurement of protein degradability of two tropical forages in the rumen of goats, using the nylon bag technique. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 41, 261-269.