

Institut d'Elevage et de Médecine  
Vétérinaire des Pays Tropicaux  
10, rue Pierre Curie  
94704 MAISONS-ALFORT Cedex



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

---

DEGRADATION DES FOURRAGES DANS LE RUMEN

Effets de traitements à la chaleur  
sur la fermentation d'un foin

par

Brahim HAMEURLAINE

année universitaire 1988 - 1989



DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES  
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

---

DEGRADATION DES FOURRAGES DANS LE RUMEN

Effets de traitements à la chaleur  
sur la fermentation d'un foin

par

Brahim HAMEURLAINE

Lieu du stage : VANDOEUVRE LES NANCY (Meurthe-et-Moselle)

Organisme d'accueil : Institut National Polytechnique de Lorraine (ENSAIA)  
Département des Sciences Animales, Nancy.

Période du stage : du 10 mai au 13 septembre 1989

Rapport présenté oralement le : 22 septembre 1989

## AVANT PROPOS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma reconnaissance à un certain nombre de personnes de différentes compétences :

Monsieur BOUZID HAMMICHE, directeur général du bureau national d'études pour le développement rural, de m'avoir autorisé et aidé à poursuivre mon enseignement, ainsi qu'à tout le personnel technique et administratif du B.N.E.D.E.R régional de la wilaya de DJELFA

Monsieur GRUVEL, docteur et responsable de l'enseignement du D.E.S.S., d'avoir accepté ma candidature.

Monsieur VIGNON, professeur à l'INPL et responsable du service des sciences et techniques des productions animales de m'avoir accepté à passer la période de stage de fin de D.E.S.S. dans son laboratoire.

Monsieur BLANCHART, maître de conférence à l'ENSAIA de m'avoir dirigé, conseillé et enseigné durant la totalité de mon stage, et aussi pour l'aide qu'il m'a apporté lors de l'interprétation des résultats

Monsieur GUERIN, docteur et responsable du service nutrition à l'I.E.M.V.T. de m'avoir fait profiter de sa bibliographie personnelle et aussi de ses conseils

Monsieur MARIE, maître de conférence à l'ENSAIA de m'avoir facilité le contact avec les responsables et aussi de son aide.

Tout le personnel technique et administratif de l'I.E.M.V.T. de Maisons alfort

L'ensemble de l'équipe de recherche et travailleurs du laboratoire des sciences et techniques des productions animales (E.N.S.A.I.A.) et plus particulièrement, à toutes les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de ce mémoire.

RESUME

La dégradation des aliments dans le rumen dépend de plusieurs facteurs : le temps de séjour des aliments dans les poches gastriques, l'activité microbienne, la nature de l'aliment et les traitements qu'il a éventuellement subi.

La revue bibliographique montre que la fraction insoluble dans les détergents de Van soest représente une proportion non négligeable de la plante (de l'ordre de 40p.100). Une partie des parois végétales est constituée de matières azotées.

La dégradation des parois dans le rumen dépend surtout des actions des bactéries cellulolytiques.

La dégradation des protéines peut se poursuivre jusqu'au stade "ammoniac".

La cinétique de dégradation des matières azotées dans le rumen est le plus souvent décrite par le modèle exponentiel :

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

La dégradation des constituants pariétaux et azotées de quatre aliments (luzerne deshydratée, foin de prairie permanente non traité ou chauffé à 60 et à 80°C) est mesuré par la méthode des sachets.

Le chauffage des foin à provoqué une augmentation de la proportion de parois, surtout due à l'accroissement de la proportion des hemicelluloses, et un blocage des matières azotées dans la fraction lignocellulosique, qui se traduit par une élévation de la solubilité de l'azote insoluble dans le détérgent acide .

La vitesse de dégradation de la fraction lentement dégradable, et la dégradabilité instantanée, diminuent au fur et à mesure que la température du traitement augmente.

Ce travail, permet d'estimer la part des constituants pariétaux et azotées contenu dans le foin et prévoit leurs dégradabilités chez les ruminants.

**Mots clefs :** parois, matières azotées, rumen, dégradabilité, cinétique, chauffage

## SOMMAIRE

	Page
RESUME	1
INTRODUCTION	4
PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
1:LES CONSTITUANTS DE LA CELLULE VEGETALE	
11- LES MATIERES SOLUBLES	5
111- Les glucides solubles	5
112- Les lipides	6
113- Les matières azotées	6
12- LES CONSTITUANTS PARIETAUX	7
121- Définition de la fibre alimentaire	7
122- Structure de la paroi cellulaire	7
123- Les constituants de la paroi cellulaire	8
1231- La cellulose	9
1232- Les hémicelluloses	9
1233- La lignine	9
1234- Les substances pectiques	10
1235- Les matières azotées	10
2:LA DEGRADATION DES CONSTITUANTS PARIETAUX DANS LE RUMEN	
21-LA POPULATION MICROBIENNE DU RUMEN	11
211-Les protozoaires	11
212-Les bacteries	12
22-ACTIVITES DES BACTERIES CELLULOLYTIQUES SUR LES PAROIS	12
23-DEGRADATION DE LA MATIERE AZOTEE DANS LE RUMEN	13
3:PREVISION DE LA DEGRADATION DE LA MATIERE AZOTEE PAR LA METHODE IN SACCO	
31-LA METHODE DES SACHETS	14
32-JUSTIFICATION DE LA METHODE	14
33-LIMITES DE LA METHODE	15
34-MODELE DE CALCUL POUR LA PREDICTION DE LA DEGRADABILITE DES MATIERES AZOTEES DANS LE RUMEN	15

DEUXIEME PARTIE: ETUDE EXPERIMENTALE
---

1: MATERIELS ET METHODES

11-ANIMAUX	17
12-ALIMENTS	17
13-ANALYSES CHIMIQUES DES DIFFERENTS CONSTITUANTS	
131-La teneurs matière sèche	17
132-Les constituants pariétaux	18
133-Les matières azotées	20
14-MESURE DE LA DEGRADABILITE PAR LA METHODE IN SACCO	
141-Préparation des échantillons et sachets de nylons	21
142-Introduction des sachets	21
143-Récupération et séchage des sachets	21
144-Méthodes de calculs	23
15-ESSAI DE MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES	24

2: RESULTATS ET DISCUSSION

21-COMPOSITION CHIMIQUE DES ALIMENTS	26
22-DEGRADATION DES CONSTITUANTS DE LA MATIERE SECHE	
221-Composition chimique des résidus de fermentation	28
2211-les constituants pariétaux	28
2212-les matières azotées	28
222- Taux de disparitions	31
223-cinétique de disparition	37

CONCLUSION	40
------------	----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	41
-----------------------------	----

## INTRODUCTION

La dégradabilité dans le rumen de la matière organique dépend de la proportion de deux fractions :

- Une fraction rapidement dégradable par les micro-organismes du rumen, appelée "contenu cytoplasmique" représentant 60 p.100 de la matière sèche des aliments. Elle est composée essentiellement de matières azotées, de glucides solubles, de minéraux et de vitamines. Cette fraction est dépourvue de lignine.

- Une fraction lentement dégradable, composée principalement de polymères de nature soit glucidique, comme la cellulose, les hémicelluloses et les substances pectiques, soit non glucidique, comme la lignine. Cette fraction, appelée "paroi cellulaire", représente généralement 40 p.100 de la matière sèche des fourrages. Sa digestibilité est très influencée par la proportion de lignine.

L'élévation de la température des aliments peut causer des modifications de leur composition, et spécialement de l'importance relative des fractions pariétales. Ces modifications qui portent sur les fractions protéiques et sur les glucides, sont de nature à provoquer des changements dans la digestion des fourrages.

L'objectif de ce travail vise à caractériser les effets du chauffage sur la composition d'un foin, sur l'aspect de ses constituants pariétaux et de ses matières azotées et de préciser les conséquences de ces modifications sur la dégradabilité dans le rumen des différentes fractions de la matière sèche.

PREMIERE PARTIE :

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

# 1 : LES CONSTITUANTS DE LA CELLULE VEGETALE

## 11-LES MATIERES SOLUBLES :

Appelés communément "contenu cellulaire" ou "contenu cytoplasmique" Van SOEST les désigne sous le terme de N.D.S. (Neutral Detergent Soluble).

Ce sont des fractions de la cellule végétale représentant 60 p.100 de la matière sèche (Tableau 1) et renfermant environ 90 p.100 des protéines brutes de la plante (VAN SOEST, 1966 et 1967). Elles sont composées, en outre, de lipides, d'acides organiques, de pectine, de minéraux et de vitamines (Tableau 2)

La composition des matières solubles n'est pas modifiée par la lignification. Elles constituent une source facilement utilisable par la flore du rumen et sont presque entièrement digestibles (98 p.100) (VAN SOEST, 1967 ; GOERING et VAN SOEST, 1970 et SCHEHOVIC, 1975 ).

Tableau 1 : Digestibilité des constituants de la cellule végétale selon VAN SOEST (1967)

Constituants	Matière Sèche p.100	Digestibilité	Quantité Digestible p.100
Contenu Cellulaire (N.D.S)	60	0,98	58.8
Paroi Cellulaire (N.D.F)	40	0,45	18.0
Total	-	-	76.8

### 111-Les glucides solubles :

Les glucides solubles des fourrages verts, représentent généralement de 3 à 8 p.100 de la matière sèche (INRA, 1978)

Selon JARRIGE et MINSON (1964), la teneur en glucides solubles du Ray grass anglais et du Dactyle varie de 1,6 à 21,5 p.100 de la matière sèche. Ces teneurs sont plus élevées dans les tiges que dans les limbes (INRA 1978).

Les glucides solubles diffusent très vite dans le liquide ruminal. Ils sont utilisés en totalité par la population microbienne à laquelle ils apportent l'énergie le plus rapidement disponible.

Leur coefficient de digestibilité est généralement compris entre 99 et 100 p.100 (JARRIGE et MINSON, 1964).

#### 112-Les lipides :

Les lipides représentent 2 à 5 p.100 de la matière sèche des fourrages, dont la moitié est sous forme d'acide gras.(JARRIGE et MINSON, 1964)

Les microbes en incorporent une partie dans leurs lipides (JARRIGE, 1978).

#### 113-Les matières azotées :

Les matières azotées, qui sont en majorité des protéines, représentent de 5 à 60 p.100 de la matière sèche des aliments (SAUVANT, 1988).

Ce sont des constituants des chloroplastes (55 à 65 p.100) et du cytosol (20 à 35 p.100). Les mitochondries, le noyau et les membranes ont des teneurs beaucoup plus faibles, de l'ordre 5-7, 2 et 2 p.100 respectivement.

Les matières azotées non protéiques sont essentiellement des polypeptides de taille réduite, des acides aminés libres et des amides.

Les matières azotées subissent dans le rumen une dégradation plus ou moins complète et rapide, dont l'ammoniac est le produit terminal le plus important.

## 12-LES CONSTITUANTS PARIETAUX :

### 121-Définition de la fibre alimentaire :

De nombreux essais ont été entrepris pour définir la fibre alimentaire. La définition retenue, d'après TROWEL et al. (1976) cité par LOW (1985), est la suivante : " La fibre alimentaire est la somme de la lignine et d'autres polysaccharides qui ne sont pas digestibles par les sécrétions endogènes du tractus digestif ".

### 122-Structure de la paroi cellulaire :

La paroi de la cellule comprend une lamelle primaire (P), une lamelle centrale (M) et une lamelle secondaire (S), elle même formée d'une couche extérieure ( $S_1$ ) d'une couche intermédiaire ( $S_2$ ) et d'une couche intérieure ( $S_3$ ).

La paroi (P) est la première structure formée durant la croissance de la cellule végétale. La paroi (S) est formée après interruption de la croissance de la paroi (P) (LIN, PATTERSON et LANDISH, 1985)

La concentration de la lignine dans la paroi (M) peut atteindre jusqu'à 70 p. 100 dans le bois tendre et 90 p. 100 dans le bois dur (FENGEL et al., 1984 cités par LIN, PATTERSON et LANDISH, 1985). La lignine est également répartie dans la paroi (S), avec une forte concentration dans la couche ( $S_3$ ) (MORRISON, 1979).

La concentration de la cellulose est très élevée dans la paroi (S). L'hémicellulose et la lignine entourent les microfibrilles de cellulose et forment une matrice de lignine incrustée (COWLING, 1975).

123-Les constituants de la paroi cellulaire :

VAN SOEST (1967) les désigne sous le nom de N.D.F. (Neutral Detergent Fibre). Ils s'obtiennent par l'action combinée en milieu neutre et tamponné d'un détergent qui élimine l'essentiel du contenu cellulaire et, en particulier, les protéines et les complexes tannins-protéines (VAN SOEST 1975 ; ROBERTSON et VAN SOEST, 1981, cités par GIGER et POCHET, 1987)

La fraction N.D.F. renferme donc l'ensemble des hémicelluloses de la cellulose et de la lignine, représentant 40 p.100 de la matière sèche de l'aliment (VAN SOEST, 1965).

Des études sur la composition de la fraction N.D.F. des aliments montrent que cette fraction ne renferme pas la totalité des substances pariétales dont une partie est solubilisée par la solution détergente (GIGER et POCHET, 1987).

La digestibilité de la matière organique dépend directement de la digestibilité des polysaccharides de la membrane et du degré de lignification (VAN SOEST, 1967). JARRIGE et MINSON (1964) notent ainsi, dans le cas du Ray grass anglais et du Dactyle au cours du premier cycle de végétation, une diminution très importante de la digestibilité des parois qui peut passer de 95 à 45 P.100. Selon VAN SOEST (1967) la digestibilité des polysaccharides pariétaux varie aux environs de 45 p.100 (Tableau 1)

Tableau 2 : Classification des fractions des fourrages selon leurs caractéristiques nutritives (VAN SOEST, 1982)

Catégories	Fractions	Digestibilité
Catégorie A (N.D.S)	Sucres, carbohydrates solubles et amidon	complète
	Pectines	complète
	Azote non protéique	élevée
	Protéines	élevée
	Lipides	élevée
	Autres solubles	élevée
Catégorie B (N.D.F)	Hémicellulose	partielle
	Cellulose	partielle
	Lignine	indigestible

## 1231-La cellulose :

La cellulose est un polysaccharide structural très répandu dans le règne végétal et qui représente, selon VAN SOEST (1982) de 20 à 40 p.100 de la matière sèche et selon LIN , PATTERSON et LANDISH (1985) de 35 à 40 p.100 de la matière sèche des plantes.

La cellulose se compose de deux fractions (BLANCHE et GAILLARD, 1966 ; OSBOURN et TERRY, 1977 ; VAN SOEST, 1982) : une fraction potentiellement digestible ne contenant pas de lignine, l'autre fraction indigestible et très lignifiée.

La cellulose vraie renferme environ 90 p.100 de glucose (SULLIVAN, 1969 cité par FRANKLINE et BARTON, 1988) et est digestible à 90 p.100 (SCHEHOVIC, 1979 ; OSBOURN et TERRY, 1977). Selon JARRIGE et MINSON (1964) cette digestibilité peut atteindre 95 p.100 chez la plante jeune puis diminuer de façon grossièrement linéaire lorsque la plante vieillit. VAN SOEST (1967) trouve une digestibilité de la cellulose de 50 p.100.

## 1232-Les hémicelluloses :

Les hémicelluloses sont des polysaccharides complexes. Elles sont constituées par un amalgame de variétés polysaccharidiques très différentes du point de vue solubilité (VAN SOEST, 1967 et 1982 ; GIGER et POCHET, 1987 ; WILLIAM et al., 1987)

Le xylose et l'arabinose sont les principaux constituants des hémicelluloses (VAN SOEST, 1967).

Les hémicelluloses représentent de 20 à 30 p.100 de la matière sèche des fourrages dont 40 à 90 p.100 sont dégradés dans le rumen (LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985)

## 1233-La lignine :

La lignine est un composé pariétal de nature non glucidique dont la composition est complexe et variable selon les aliments (GIGER,

1985), à haut poids moléculaire (MORRISON, 1979 ; GIGER et POCHET, 1987).

Elle est fortement liée aux polysaccharides de la paroi et exerce une influence négative très forte sur leur digestibilité (VAN SOEST, 1975 ; MORRISON, 1979 ; MUNTIFERING, DEGREGORIO et DEETZ, 1981 ; LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985 ; WILLIAM et al., 1987).

Le degré de lignification à partir duquel un tissu devient indigestible est cependant toujours mal connu (BARRE et GENET, 1988). Pour SCHEHOVIC, (1979 ), au delà de 7 p.100 de lignine dans la matière sèche, les complexes lignine-polysaccharide ne sont plus attaquables par les enzymes des micro-organismes du rumen.

Les mesures de la digestibilité de la lignine donnent rarement des valeurs nulles (MUNTIFERING, DEGREGORIO et DEETZ, 1981). Selon BLANCHE et GAILLARD (1966), elle serait comprise entre 2,9 et 9 p.100.

#### 1234-Les substances pectiques :

Les substances pectiques sont considérées comme des polysaccharides riches en acide galacto-uronique (VAN SOEST, 1982).

Elles sont facilement soluble dans le détergent neutre de VAN SOEST et très digestibles (VAN SOEST, 1966).

Elles représentent environ 10 p.100 de la matière sèche des fourrages ( LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985).

#### 1235-Les matières azotées :

Les matières azotées pariétales représentent une proportion non négligeable des matières azotées totales de la plante. Les protéines des substances pectiques sont surtout localisées dans la paroi primaire de la membrane cellulaire (MORRISON, 1979). La cellulose brute renferme, dans le cas des légumineuses et des graminées, des teneurs en matières azotées allant de 0,5 à 2,5 p.100 et 0,5 à 1,5 p.100

respectivement (JARRIGE, 1961). L'azote incrusté dans la lignine représente de 5 à 15 p.100 de l'azote total de la plante (JARRIGE, 1961 ; VAN SOEST 1966 et 1967).

## 2:DEGRADATION DES CONSTITUANTS PARIETAUX DANS LE RUMEN

### 21-LA POPULATION MICROBIENNE DU RUMEN :

Le rumen est un système de fermentation continue qui est favorable à la prolifération d'une population microbienne très active : de l'ordre de  $10^{10}$  bactéries et  $10^{10}$  à  $10^{11}$  protozoaires par ml de jus de rumen (JARRIGE, 1977).

La forte teneur en eau du contenu ruminal (85 à 90 p.100), la mastication régulière au cours de la rumination, qui réduit la taille des particules et accroît la surface d'attaque pour les microbes, ainsi que la température du milieu voisine de 39 à 40°C sont les principaux facteurs favorisant la prolifération microbienne.

#### 211-Les protozoaires :

Les protozoaires sont presque exclusivement des Ciliés appartenant à une trentaine d'espèces. Leur taille est extrêmement variable : de 38 à 195 sur 15 à 109  $\mu\text{m}$  ( LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985).

Les protozoaires couvrent leurs besoins azotés à partir de fragments végétaux et des quantités énormes de bactéries qu'ils ingèrent (JARRIGE, 1978 ; BONDI, 1984).

Ils rejettent une partie de l'azote qu'il ingèrent, essentiellement sous forme d'acides aminés libres, contribuant ainsi à augmenter la concentration en ammoniac du liquide ruminal (ALLISON, 1970).

## 212-Les bactéries :

La population bactérienne est très dense et présente une grande diversité d'espèces et d'activités.

La plupart des souches isolées (98 p.100) sont des bactéries anaérobies strictes (JARRIGE, 1978; TELLER et GODEAU, 1984). L'anaérobiose du rumen permet notamment le développement des bactéries cellulolytiques anaérobies strictes, et rend possible la dégradation des polysaccharides pariétaux.

Pour la synthèse de leur protéines, les bactéries utilisent de l'ammoniac ; certaines, comme les bactéries cellulolytiques, en ont un besoin absolu. En moyenne la population bactérienne du rumen aurait une croissance maximum lorsque l'azote disponible est fourni pour 3/4 par de l' ammoniac et pour 1/4 par des acides aminés (INRA, 1978).

### 22-ACTIVITES DES BACTERIES CELLULOLYTIQUES SUR LES PAROIS :

Les parois cellulaires sont dégradées par l'action combinée des bactéries cellulolytiques et, à un degré moindre, par les protozoaires (BRYANT, 1973 et PRINS, 1980, cités par LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985). En l'absence d'activité cellulolytique bactérienne, les protozoaires peuvent dégrader 11 et 3,7 p.100 des fibres du Dactyle (Orchard grass) et du Cynodon (Bermuda grass) respectivement (AMOS et al., 1978 cités par LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985).

D'après FONTY et al. 1988 les principales espèces de bactéries cellulolytiques sont : Ruminococcus albus, Ruminococcus flavefaciens et Bacteroides succinogenes.

Une étude menée par LEATHERWOOD (1965) montre qu'une culture pure de Ruminococcus albus présente une activité cellulolytique correspondant à environ 20 p.100 de celle observée dans le contenu ruminal total. La cellulase de cette bactérie n'est active que lorsque le pH est compris entre 6 et 6,8 et la température optimum avoisine 45°C (SMITH et al., 1973, cités par LIN , PATTERSON et LANDISH, 1985).

## 23-DEGRADATION DES MATIERES AZOTEES DANS LE RUMEN:

Les matières azotées alimentaires subissent chez les ruminants, une protéolyse et une désamination sous l'action des enzymes protéolytiques produits par la flore microbienne. L'ampleur de cette dégradation varie selon la nature de l'aliment et le traitement éventuel qu'il a subi (KONE, 1987).

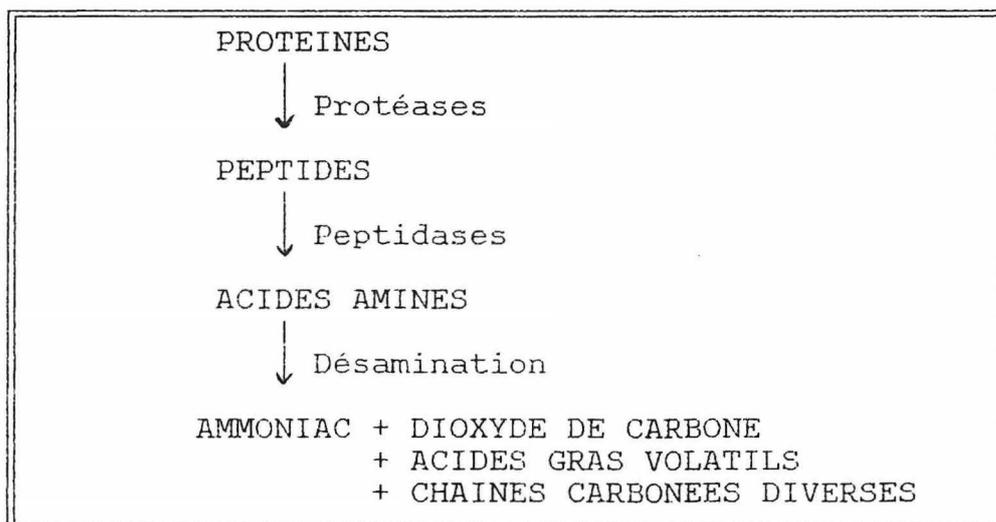
Dans un premier temps, les protéines sont dégradées en peptides sous l'action d'enzyme protéasique. Ces protéases sont situées pour la plupart à la surface de la cellule bactérienne (BLACKBURN, 1968, cité par KONE, 1987). Selon BONDI (1987), environ 40 p.100 des bactéries du rumen ont une activité protéolytique.

Les peptidases produites par les bactéries du rumen sont capable de dégrader les peptides en acides aminés.

La désamination est la voie principale de dégradation des acides aminés (BLANCHART, 1988). Elle aboutit à la production d'ammoniac, d'acides gras volatils et de dioxyde de carbone (Figure 1).

L'azote non protéique subit une dégradation intense dans le rumen. Il est parmi les principales sources azotées pour les micro-organismes du rumen. En particulier, l'urée est hydrolysée en ammoniac et en dioxyde de carbone sous l'action de l'uréase bactérienne.

Figure 1 : Dégradation des protéines dans le rumen



### 3:PREVISION DE LA DEGRADATION DES MATIERES AZOTEES PAR LA METHODE IN SACCO

Pour caractériser la dégradation dans le rumen des protéines de différents aliments, la méthode des sachets de nylon est actuellement très largement utilisée dans le monde. Son emploi dans la mesure de la dégradabilité des matières azotées alimentaires est envisagé depuis longtemps comme base de calcul dans le système P.D.I (Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle) par différents laboratoires de l'INRA (MICHALET DOREAU, VERITE et CHAPOUTOT, 1985).

#### 31-LA METHODE DES SACHETS :

Cette technique, dérivée de celle des poches de soie de QUIN et al. (1938), consiste à placer les échantillons à étudier dans des sachets de nylon perméables à la flore microbienne, eux même déposés dans le rumen pendant un temps d'incubation déterminé.

Ces sachets sont ensuite retirés, puis lavés afin d'être débarrassés des substances dissoutes, des microbes et des particules alimentaires ayant pénétré dans les sachets .

L'utilisation de cette méthode par VAN KEUREN et HEINEMANN (1962) puis, plus tard, par de nombreux chercheurs tels que DEMARQUILLY et CHENOST (1969), CHENOST et al. (1970 et 1979), MEHREZ et ORSKOV (1977), HACKER et MINSON (1981), WEAKLEY et al. (1983)... donne, au moins pour la matière organique, des résultats étroitement corrélés avec les valeurs de digestibilité in vivo (CHENOST et al,1970).

#### 32-JUSTIFICATION DU CHOIX DE LA METHODE :

La technique des sachets de nylon permet de suivre la cinétique de la digestion des fourrages dans le rumen et de mettre en évidence des différences entre fourrages.C'est la méthode la plus proche des conditions de la digestion in vivo et qui permet le mieux d'estimer la vitesse et l'intensité de la digestion dans le rumen (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969).

### 33-LES LIMITES DE LA METHODE :

Comme toutes les méthodes biologiques, elle a l'inconvénient d'être moins reproductible qu'une méthode chimique (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969). Il serait donc nécessaire d'incorporer dans chaque série de mesures des témoins pour corriger les résultats des variabilités aléatoires.

La technique des sachets, comme d'ailleurs la technique des fermentations in vitro, nécessite la présence d'animaux fistulés.

La qualité de la structure du tissu et spécialement la taille des mailles peut causer des variations dans les coefficients d'utilisation digestive de la matière organique et des matières azotées de 40 et 39,3 p.100 respectivement (FERRANDO et al., 1983).

### 34-MODELE DE CALCUL POUR LA PREDICTION DE LA DEGRADABILITE DES MATIERES AZOTEES DANS LE RUMEN :

La proportion de protéines dégradées dans le rumen dépend :

- De la vitesse de transit des particules alimentaires dans le rumen. Quand la ration de base est distribuée à volonté, la vitesse de transit des particules est de  $0,06 \text{ h}^{-1}$  (ORSKOV et MAC DONALD, 1979).

- De la cinétique de dégradation microbienne des protéines dont une estimation est donnée par la cinétique de disparition en sachets.

Il existe plusieurs modèles décrivant cette cinétique et la dégradation théorique (SAUVANT, 1988). Celui proposé par ORSKOV et Mc DONALD, (1979) est le plus couramment utilisé. Les mesures de la dégradabilité peuvent être décrites par une équation de la forme :

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

p : proportion d'azote disparue du sachet en un temps t

a et b : représentent respectivement les fractions rapidement et lentement dégradables

c : représente la vitesse de disparition de la fraction lentement dégradable.

Si on tient compte de la vitesse de transit des particules alimentaires, le modèle devient :

$$p = a + \{bc/(c+k_p)\} \{1 - e^{-\{c+k_p\}t}\}$$

$k_p$  : vitesse de transit des particules alimentaires.

Lorsque  $t$  devient très grand,  $p$  prend la valeur  $P$ , correspondant à la dégradation théorique, estimation de la dégradation effective :

$$P = a + bc/(c+k_p)$$

DEUXIEME PARTIE :

ETUDE EXPERIMENTALE

## 1: MATERIELS ET METHODES

### 11-ANIMAUX :

Deux moutons mâles castrés de race Texel, d'un poids moyen de 60kg et porteurs d'une canule permanente du rumen, sont utilisés tout au long de nos expérimentations

Ces animaux sont logés dans des box individuels à aire paillée et reçoivent un régime composé de 500g de foin de prairie permanente (13,5 p.100 de matières azotées totales et 49,6 p.100 de parois totales), et 250g de luzerne déshydratée (16,8 p.100 de matières azotées totales et 46,5 p.100 de parois totales). La ration est distribuée deux repas par jour, à 8 h et à 17 h.

### 12-ALIMENTS :

Durant l'expérimentation ,nous avons testé quatre aliments:

\* Une luzerne deshydratée, utilisée comme témoin de la stabilité des resultats.

\* Un foin de prairie permanente ayant subi différents traitements thermiques :

- Foin 1, non traité, servant tout au long des essais comme foin témoin

- Foin 2, traité à l'étuve à 60°C pendant 33 jours

- Foin 3, traité à l'étuve à 80°C pendant 25 jours

### 13-ANALYSES CHIMIQUES DES DIFFERENTS CONSTITUANTS :

#### 131-Teneur en matière sèche :

Une prise d'échantillon est placée pendant 48 h dans une étuve réglée à 80°C . Le poids final, exprimé en pourcentage du poids initial, nous permet d'obtenir la teneur en matière sèche.

132-Les constituants pariétaux : (Tableau 3)

Les teneurs en NDF, ADF et ADL sont déterminées par la méthode de VAN SOEST (1963) et VAN SOEST et WINE (1967).

Les teneurs en hémicelluloses et cellulose sont calculées à partir des différences entre :NDF et ADF d'une part et ADF et ADL d'autre part.

## 1321-Neutral detergent fibre : (NDF)

La teneur en NDF correspond à une prise d'essai de 1 gr d'échantillon ,ayant subit l'action d'une solution détergente en milieu neutre (100 ml) à ébullition sous reflux pendant 1 heure. Le résidu est récupéré par filtration dans un creuset en verre frité de porosité 2, préalablement taré. Il est ensuite rincé à l'eau bouillante plusieurs fois, puis à l'acétone et mis à l'étuve durant une nuit à 80°C.

Le résidu sec obtenu correspond au NDF plus les cendres ; son poids est exprimé en p.100 de la matière sèche de prise d'essai.

## 1322-Acid detergent fibre : (ADF)

Une solution à base de CTAB (bromure de cétyl triméthylammonium) et de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 1N, permet d'hydrolyser les constituants cytoplasmiques, les hémicelluloses et une partie des protéines. L'ADF contient virtuellement toute la cellulose et la lignine (GIGER et POCHET, 1987).

La teneur en ADF d'un aliment correspond à une prise d'essai de 2g ayant subit l'action d'une solution détergente en milieu acide (100 ml).

Après ébullition pendant une heure, le résidu est recueilli dans un creuset comme précédemment, rincé à l'eau bouillante puis à l'acétone et mis à sécher à l'étuve pendant une nuit.

Tableau 3 : Schéma de base pour l'analyse de fourrages à l'aide de détergents, d'après VAN SOEST (1982).

<u>Fractions</u>	<u>Réactifs</u>	<u>Traitements</u>	<u>Produit</u>
Neutral detergent fibre (NDF)	Na-lauryl sulphate. EDTA pH 7.0	Ebullition 1 heure	Parois - pectine
Acid detergent fibre (ADF)	CTAB dans H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ebullition 1 heure	Lignocellulose et cendres insolubles
Acid detergent Lignin (ADL)	640 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /l	3 h 20 mn	Lignine brute.
Cellulose	—	calculée: ADF-ADL	—
Hemicellulose	—	calculée NDF-ADF	—

Le résidu sec obtenu correspond à la fraction ADF plus les cendres ; son poids est exprimé en p.100 de la matière sèche de la prise d'essai.

#### 1323-Acid detergent lignin : (ADL)

Cette méthode consiste à traiter le résidu ADF à température ambiante pendant 3 heures avec une solution d'acide sulfurique à 72 p.100.

Au bout de 3 heures, le résidu est rincé à l'eau bouillante plusieurs fois puis à l'acétone et mis à séché à l'étuve à 80°C pendant une nuit.

Le résidu sec obtenu correspond à la fraction ADL plus les cendres ; son poids est exprimé en p.100 de la matière sèche de la prise d'essai.

#### 133-Les matières azotées :

##### 1331-Les matières azotées totales : (MAT)

Les teneurs en azote sont déterminées par la méthode de Kjeldahl, qui consiste à minéraliser l'échantillon par l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur.

Le minéralisat est ensuite alcalinisé par une solution de soude. L'ammoniac libéré est entraîné par distillation et recueilli dans un excès d'acide borique puis titré par l'acide sulfurique (N/50).

La teneur en MAT correspond à la teneur en azote total multipliée par le coefficient 6,25 puis exprimé en p.100 de la matière sèche initiale.

##### 1332-Les matières azotées pariétales : (NDIN, ADIN):

Les teneurs en azote des fractions NDF (NDIN) et ADF (ADIN) sont mesurées selon le même procédé que les matières azotées totales.

Ces teneurs sont exprimées en p.100 de l'azote total du produit.

#### 14- MESURE DE LA DEGRADABILITE PAR LA METHODE IN SACCO :

##### 141-Préparation des échantillons et des sachets de nylons :

Les différents aliments utilisés lors de l'expérimentation sont broyés dans un broyeur muni d'une grille de 1,5 mm, sans séchage préalable.

Les sachets de nylon à mailles fines (environ 50  $\mu\text{m}$ ), sont confectionnés à partir de morceaux de tissu dont les dimensions sont de 15cm x 18cm (surface de 270  $\text{cm}^2$ ).

Des prises d'essai correspondant à 5 g de produit brut de chaque aliment sont pesées et introduites dans les sachets.

Compte tenu de la surface réservée aux soudures, le rapport "Poids du substrat/Surface d'échange" est de 18  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

##### 142-Introduction des sachets :

Les sachets sont attachés par des colliers "rilsan" à une chaîne en acier inoxydable, lestée à son extrémité d'un poids de 250 g (Figure 2).

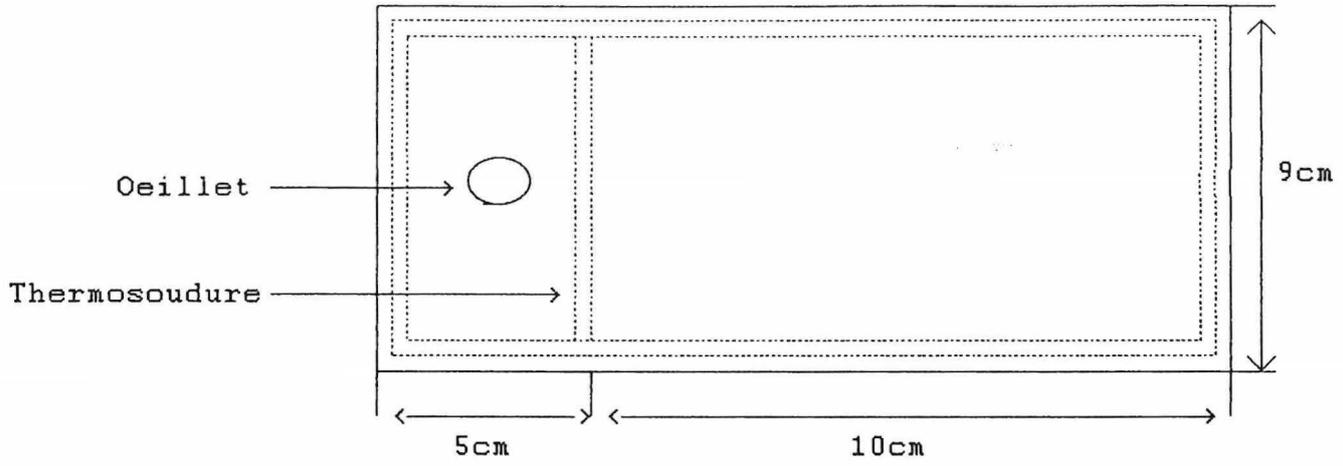
Avant la mise en incubation (après remplissage et soudure des sachets) les sachets sont trempés dans l'eau froide afin d'en chasser l'air et de faciliter ainsi la colonisation par les micro-organismes du rumen et d'éviter le maintient de zones sèches susceptibles d'introduire un temps de latence qui pourrait fausser les résultats. Quatre sachets à chaque fois sont introduits dans le rumen, juste avant le repas du matin (8 h), de manière à toujours placer les sachets dans des conditions d'incubation identiques.

##### 143-Récupération et séchage des sachets :

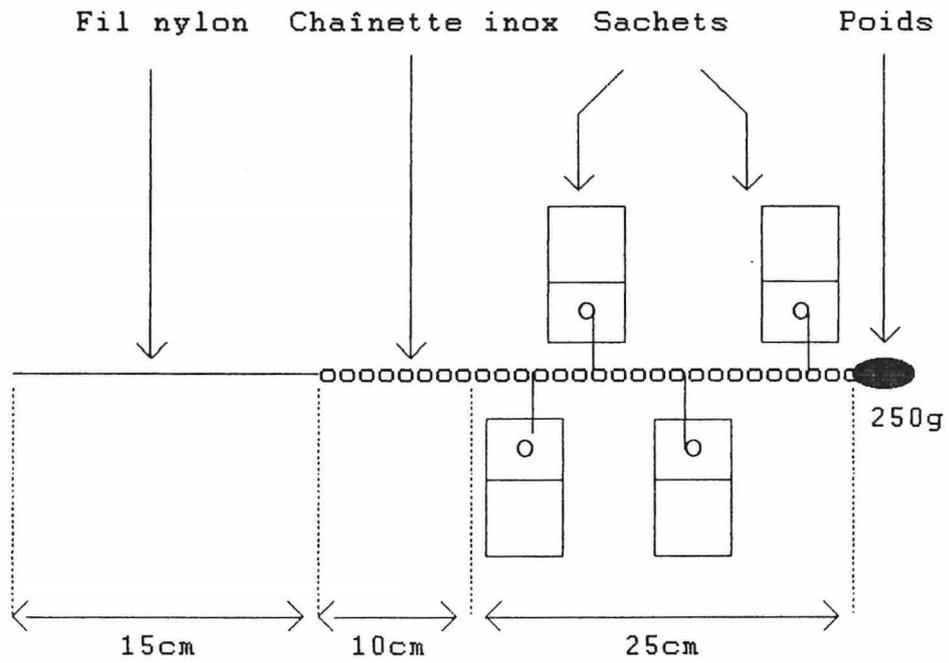
Les sachets sont retirés du rumen après un temps d'incubation de 2, 6, 12, 24 ou 48 heures. A chaque durée de séjour correspond 6 mesures (3 répétitions x 2 animaux). Dès que les sachets sont retirés,

FIGURE 2

## SCHEMA D'UN SAC DE NYLON



## DISPOSITION DES SACHETS SUR LA CHAINETTE



ils sont rincés à l'eau froide courante puis lavés en machine en deux cycles de 10 minutes. Ce lavage est très important car il permet de débarrasser les sachets des substances dissoutes, des particules alimentaires et des microbes qui ont pénétré au cours de la période d'incubation. Il doit, en particulier, détacher les bactéries fixées sur les particules alimentaires résiduelles.

Après le lavage, les sachets sont congelés puis lyophilisé en 48 heures pour être conservés jusqu'à analyse. La lyophilisation a été choisie comme procédé de séchage, à la place du passage à l'étuve, pour éviter qu'une élévation de température insolubilise une partie des constituants des résidus (OULD BAH et MICHALET-DOREAU, 1988).

Pour chaque durée de fermentation, les résidus des différentes répétitions sont pesés puis regroupés et les mélanges obtenus sont destinés aux différentes analyses (MAT, NDF, ADF, NDIN et ADIN).

#### 144-Méthodes de calculs :

##### 1441-Estimation de la dégradabilité par les taux de disparition :

Le taux de disparition permet d'estimer la dégradabilité dans le rumen des différentes fractions des aliments.

Nous appelons "Taux de disparition à 2, 6, 12, 24 ou 48 heures", le pourcentage d'une fraction d'aliment disparue des sachets après un séjour de 2, 6, 12, 24 ou 48 heures dans le rumen.

Après regroupement et analyse des différents résidus issus de la fermentation, les taux de disparitions sont calculés sur l'ensemble des fractions correspondant au même aliment et à la même durée d'incubation.

##### 1442-Cinétique de disparition :

Pour décrire la cinétique de disparition des substrats dans le rumen, le modèle d'ORSKOV et Mc DONALD (1979) est le plus souvent utilisé (BLANCHART, 1988) :

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

Il exprime la dégradation (p) d'un substrat en une durée de fermentation (t). Il tient compte de l'existence d'une fraction rapidement dégradable (a), disparue après un temps de séjour dans le rumen très court, et d'une fraction plus lentement dégradable (b) avec comme vitesse de disparition (c).

Pour caractériser la disparition de chacune des fractions des différents aliments étudiés, les taux de disparitions obtenus sont utilisés pour calculer les paramètres a, b et c à l'aide d'un logiciel de régression non linéaire (SAS, 1987).

#### 15-ESSAI DE MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES:

La luzerne déshydratée est l'aliment qui nous a servi, au cours d'essais préliminaires, à doser les différents constituants pariétaux (NDF, ADF et ADL) et à caractériser la qualité des résultats obtenus.

Répétabilité : la variabilité des résultats des dosages des fractions NDF et ADF est exprimée par le coefficient de variations (écart type/moyenne, en p.100). Sur 6 répétitions elle est de 1,5 p.100 pour la fraction NDF et de 2,5 p.100 pour la fraction ADF.

Comparaison des résultats à ceux obtenus par différents auteurs : Pour mieux valider les valeurs trouvées sur la luzerne déshydratée, nous avons consulté un certain nombre de résultats trouvés par différents auteurs sur des luzernes déshydratées (Tableau 4). Il n'apparaît pas de grande variation entre les valeurs trouvées et celles issues de la bibliographie. Seul les données fournies par WOLTER et al. (1979) diffèrent légèrement, l'échantillon de luzerne concerné présentant des teneurs en parois totales et en hémicelluloses un peu plus faibles que ceux des autres auteurs.

Tableau 4 : Composition chimique de la luzerne deshydraté :  
composition des parois selon différents auteurs

Auteurs	Année	MS	Constituants des parois en p.100 de la MS				
			NDF	ADF	HC <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	ADL
Nos résultats		93,6	46,5	32,0	14,4	23,1	8,9
VAN SOEST	1965	-	46,0	35,0	11,0	26,9	8,1
WOLTER et al.	1979	92,4	37,1	30,7	6,4	23,5	7,2
WILLIAM et al.	1987	-	42,0	32,0	10,0	24,4	7,6
BLANCHART	1988	-	47,2	31,7	15,5	-	-

1 : Hemicellulose

2 : cellulose

## 2:RESULTATS ET DISCUSSION

### 21:COMPOSITION CHIMIQUE DES ALIMENTS

Les compositions chimiques des foins utilisés au cours de nos expériences sont présentées dans le tableau 5.

Les traitements à 60 et à 80°C ont provoqué des élévations de la teneur en paroi de l'ordre de 6 et 10 p.100 respectivement. Ces augmentations sont davantage dues à l'accroissement de la proportion d'hémicellulose qu'à celui de la fraction ADF. Ainsi, l'effet de ces traitements sur la fraction ADF est un peu plus faible et dépasse à peine 5 p.100. Ces traitements ne provoquent pas d'augmentation de la part de la lignine dans la matière sèche. La proportion de lignine dans les parois a donc tendance à diminuer.

Les teneurs en matières azotées totales des foins traités sont très proches de celle du foin témoin.

La part de l'azote insoluble dans les détergents augmente d'autant plus que la température de traitement est élevée. Elle atteint 11p.100 pour la fraction NDIN et 39p.100 pour la fraction ADIN.

La solubilité des protéines dans des solutions salines diminue au fur et à mesure que la température du traitement augmente (ROGNON et TISSERAND, 1987).

L'insolubilisation de ces protéines se produit également vis à vis du détergent acide (VAN SOEST, 1982), d'autant plus que la température de traitement est plus forte. VAN SOEST (1975) montre ainsi que l'augmentation de la température de traitement d'aliments de 100 à 127°C provoque une augmentation des proportions dans la matière sèche des fractions ADF, ADIN et ADL de 29, 70 et 57 p.100 respectivement.

D'après certains auteurs, le chauffage des aliments à surtout des repercussions sur la fraction ADIN. La mesure de la proportion de l'azote insoluble dans le détergent acide de Van Soest (ADIN/NT)

pourrait être retenue comme prédicteur fiable pour le dépistage des aliments ayant subi un traitement thermique préalable excessif (YU et THOMAS, 1976).

Ce blocage des matières azotées dans les polysaccharides pariétaux est le resultat de réactions non enzymatiques accélérées par l'élévation de la température. Ces réactions, appelées aussi réactions de MAILLARD ou brunissement non enzymatique, provoquent, pour l'essentiel, une condensation des sucres avec les acides aminés (lysine), suivie d'une polymérisation. Il se forme une substance brune dans laquelle l'azote entre à raison de 11 p.100 et qui possède des propriétés identiques à celle de la lignine (VAN SOEST, 1982).

Ces réactions réduisent la solubilité de la matière azotée et induisent une diminution des actions enzymatiques des micro-organismes du rumen (VAN SOEST, 1982).

Tableau 5 : Composition chimique des aliments.

ALIMENTS	MS p100	en p.100 de la Matière sèche				en p.100 d'Azote		en p.100 des Parois		
		NDF	ADF	ADL	MAT	NDIN	ADIN	HC <sup>1</sup>	C <sup>2</sup>	ADL
Luzerne deshydratée	93,6	46,5	32,0	8,9	16,8	37,6	12,5	31,2	49,7	19,1
Foin témoin	94,0	57,6	40,3	12,5	12,2	55,7	15,1	30,0	48,2	21,7
Foin 60°C	93,4	61,2	40,7	11,3	12,0	58,1	18,6	33,4	48,0	18,4
Foin 80°C	92,8	63,6	42,5	11,8	12,3	62,0	21,0	33,1	48,2	18,5

1 : Estimation des hémicelluloses

HC = NDF - ADF

2 : Estimation de la cellulose

C = ADF - ADL

## 22:DEGRADATION DES DIFFERENTS CONSTITUANTS DE LA MATIERE SECHE

221-Composition chimique des résidus de fermentation:

## 2211-Les constituants pariétaux:

Pour l'ensemble des aliments les concentrations des constituants pariétaux (NDF et ADF) dans les résidus de fermentation augmentent progressivement avec le temps de séjour des aliments dans le rumen (Tableau 6).

Durant les deux premières heures d'incubation, la disparition du contenu cytoplasmique est beaucoup plus forte que celle des parois et la teneur en NDF du résidu est nettement plus élevée que celle de l'aliment initial. Au delà, les écarts entre les vitesses deviennent plus faibles. Les parois ne constituent jamais la totalité des résidus, laissant penser qu'une partie du contenu cytoplasmique reste non dégradée.

Le chauffage du foin n'a pas d'effet notable sur les concentrations des fractions NDF et ADF dans les résidus ni sur leur évolution en fonction du temps d'incubation.

## 2212-Les matières azotées :

## Les matières azotées totales :

Les concentrations des matières azotées dans les résidus de fermentation diminuent progressivement, montrant ainsi qu'elles sont plus dégradées que l'ensemble des constituants non azotés.

Cette diminution est moins rapide pour le foin chauffé à 80°C que pour les autres foins : après 12 heures de fermentation, la teneur en matières azotées est encore proche de la teneur initiale (-0,5 point) alors qu'elle a baissé d'environ 2,5 points pour le foin témoin et le foin traité à 60°C.

Tableau 6: Composition chimique des résidus de fermentation des différents aliments

ALIMENTS	DUREE en heures	p.100 de MS			p.100deN <sub>T</sub>	
		NDF	ADF	MAT	NDIN	ADIN
Luzerne deshydratée	2	71,3	49,7	14,0	53,9	20,9
	6	75,0	57,1	12,1	61,4	24,5
	12	78,9	57,4	10,2	72,7	29,8
	24	79,9	59,6	10,7	62,7	30,0
	48	81,3	60,2	9,1	71,5	35,0
Foin témoin	2	73,2	50,7	11,2	73,2	24,4
	6	72,1	51,0	11,7	68,4	25,7
	12	75,4	55,2	9,7	65,3	33,6
	24	77,2	56,8	7,9	61,6	40,3
	48	79,5	59,7	6,8	58,5	53,5
Foin 60°C	2	75,5	51,8	10,1	72,5	33,3
	6	76,0	53,7	10,3	68,6	32,6
	12	77,5	55,3	9,3	71,7	34,4
	24	77,6	57,1	7,4	59,8	47,0
	48	78,7	61,3	7,1	62,0	53,5
Foin 80°C	2	74,9	51,7	12,4	74,9	32,8
	6	75,6	51,8	12,5	70,2	22,7
	12	77,7	53,9	11,8	65,8	30,6
	24	78,1	54,4	9,7	63,6	35,3
	48	79,0	59,7	7,7	60,5	49,6

### L'azote insoluble dans le détergent neutre (NDIN) :

Contrairement à ce qui est observé pour la luzerne deshydratée, la part de l'azote insoluble dans le détergent neutre pour les trois foins diminue lorsque la durée d'incubation augmente. Il est possible que la fermentation des foins ait rendu une partie des matières azotées pariétales solubles dans le détergent neutre, sans pour autant les rendre solubles dans l'eau. Ces matières azotées subsisteraient dans les résidus lavés à l'eau mais seraient éliminées par le détergent neutre. Elles seraient donc comptabilisées comme des matières azotées non pariétales. La proportion de cette fraction tendrait à augmenter au cours de la fermentation.

Il est aussi probable qu'une partie des matières azotées non pariétales subsistant dans les résidus soit constituée de corps bactériens qui resteraient attachés aux résidus alimentaires malgré le lavage des sachets (LINDBERG, 1981 ; LINDBERG et VARVIKKO, 1982).

Ainsi OULD BAH, MICHALET DOREAU et JANNOT (1988) ont mesuré la proportion d'azote bactérien fixée sur les particules alimentaires lors du retrait des sachets du rumen. Pour des durées de fermentation ne dépassant pas 7 heures, le rapport "azote bactérien/azote résiduel" trouvé pour des foins était de 8 p.100 après lavage contre 22 p.100 avant cette opération.

### L'azote insoluble dans le détergent acide(ADIN):

La fraction ADIN dans l'azote total des résidus augmente avec la durée de fermentation pour l'ensemble des aliments (Tableau 6), montrant ainsi que cette fraction est moins dégradable que le reste des matières azotées.

La valeur atteinte en 48 heures dans le foin chauffé à 80°C est plus faible que celles obtenues dans le foin témoin et dans le foin chauffé à 60°C.

222-taux de disparitions :

Quelle que soit la fraction et la durée de fermentation, les taux de disparitions de la luzerne déshydratée sont supérieurs aux valeurs correspondantes mesurées pour les foins (Tableau 7).

Quelle que soit la durée de fermentation, les taux de disparitions des fractions NDF et ADF sont généralement peu différents entre foins. Seul le foin chauffé à 60°C présente des taux de disparition de ces fractions légèrement inférieurs aux autres (Figures 4 et 5).

Les taux de disparition des matières azotées totales et, pour les durées de fermentation inférieures à 48 heures, ceux de la fraction NDIN sont plus faibles pour le foin chauffé à 80°C que pour les autres foins (Figures 6 et 7).

Durant les premières heures de fermentation, les taux de disparition de la fraction ADIN sont nuls pour l'ensemble des foins. Lorsque la durée de fermentation augmente (24 et 48 heures) la dégradation de ADIN devient plus forte dans le foin chauffé à 80°C que dans les autres (Figure 8).

La quantité de NDF résistant à la dégradation et, un peu moins nettement, la quantité d'ADF, augmentent sous l'effet des traitements à la chaleur (Tableau 8). Cette augmentation est peu différente entre les deux températures de traitement. Elle est d'autant plus forte que les durées de fermentations sont courtes.

Pour les fractions azotées (MAT, NDIN et ADIN) une observation semblable peut être faite. La fraction ADIN paraît la plus sensible au traitement : la quantité de matières azotées insolubles dans le détergent acide qui résiste à la fermentation augmente avec la température de traitement.

Les traitements thermiques donnent lieu aux réactions de Maillard dont les conséquences sont surtout sensibles sur les quantités de substrat résistant aux fermentations. Les taux de disparition peuvent être réduits (fractions NDF et ADF du foin traité à 60°C) ou augmentés. Le taux de disparition de la fraction ADIN est nettement

Tableau 7 : Taux de disparition (en p.100) des différents composants des aliments étudiés

ALIMENTS	DUREE en heures	MS	NDF	ADF	MAT	NDIN	ADIN
Luzerne deshydratée	2	50,5	24,6	23,7	59,0	40,0	32,2
	6	60,3	36,3	27,9	71,5	53,6	43,3
	12	69,4	48,2	45,1	81,5	64,2	55,9
	24	73,8	56,7	51,7	83,4	72,5	60,5
	48	77,2	60,2	57,2	86,6	76,6	65,7
Foin témoin	2	32,2	15,5	15,4	37,6	19,5	00,0
	6	36,7	22,1	20,8	40,0	25,3	00,0
	12	50,0	34,6	31,4	60,1	53,5	12,0
	24	59,9	46,4	43,4	73,9	71,4	31,0
	48	67,7	55,6	52,1	81,9	81,2	36,5
Foin 60°C	2	28,5	12,6	9,3	39,9	25,2	00,0
	6	32,8	17,0	13,2	43,6	33,4	3,1
	12	43,0	28,3	23,0	56,0	45,9	18,8
	24	54,9	42,9	36,7	73,4	72,6	29,9
	48	62,5	53,0	44,9	77,9	76,5	36,8
Foin 80°C	2	27,5	16,0	12,9	27,8	13,3	00,0
	6	31,0	19,1	15,2	30,5	21,8	5,4
	12	42,8	30,9	28,1	45,5	42,4	20,9
	24	57,5	48,3	45,8	66,6	65,9	44,9
	48	65,4	57,6	51,9	78,6	79,0	49,9

FIGURE 3 : CINETIQUE DE DISPARITION DE  
LA MATIERE SECHE  
POUR LES QUATRE ALIMENTS

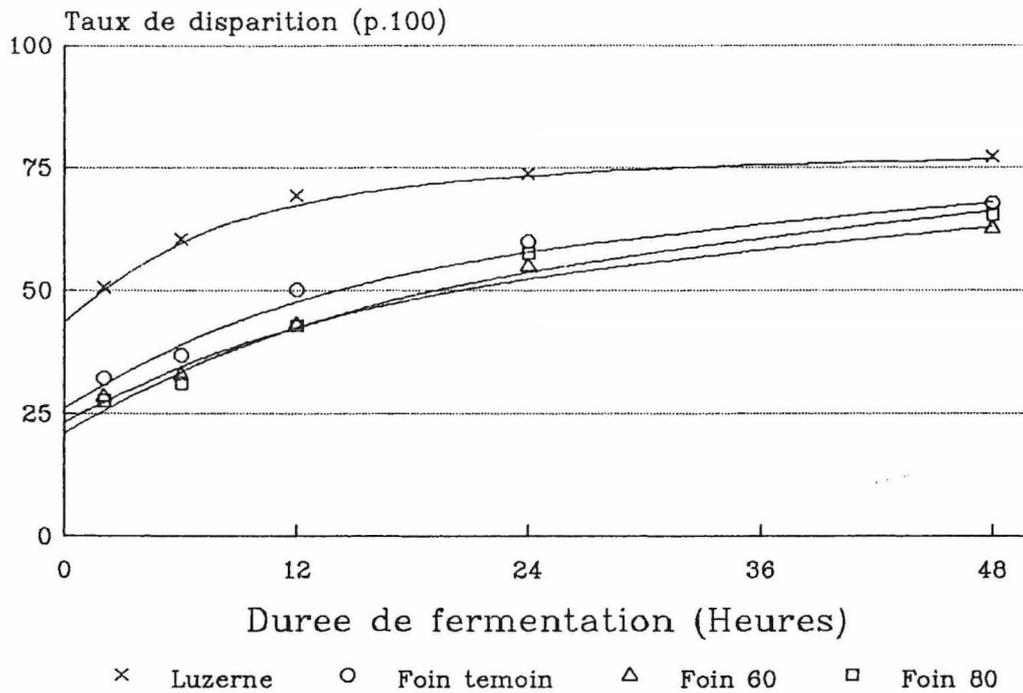


FIGURE 4 : CINETIQUE DE DISPARITION DE  
LA FRACTION NDF  
POUR LES QUATRE ALIMENTS

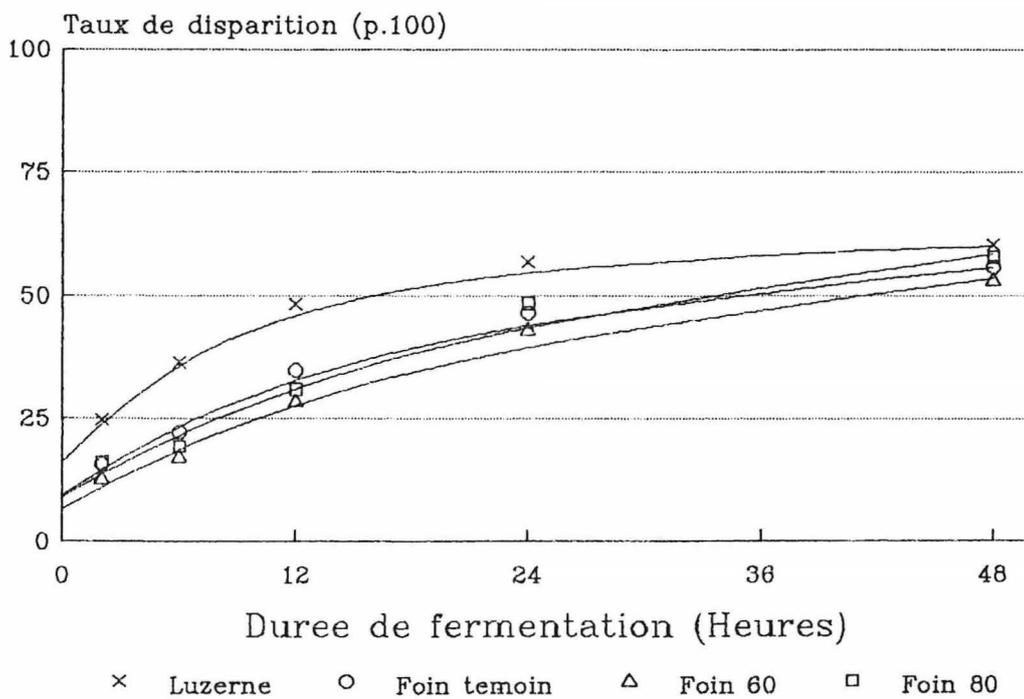


FIGURE 5 : CINETIQUE DE DISPARITION DE  
LA FRACTION ADF  
POUR LES QUATRE ALIMENTS

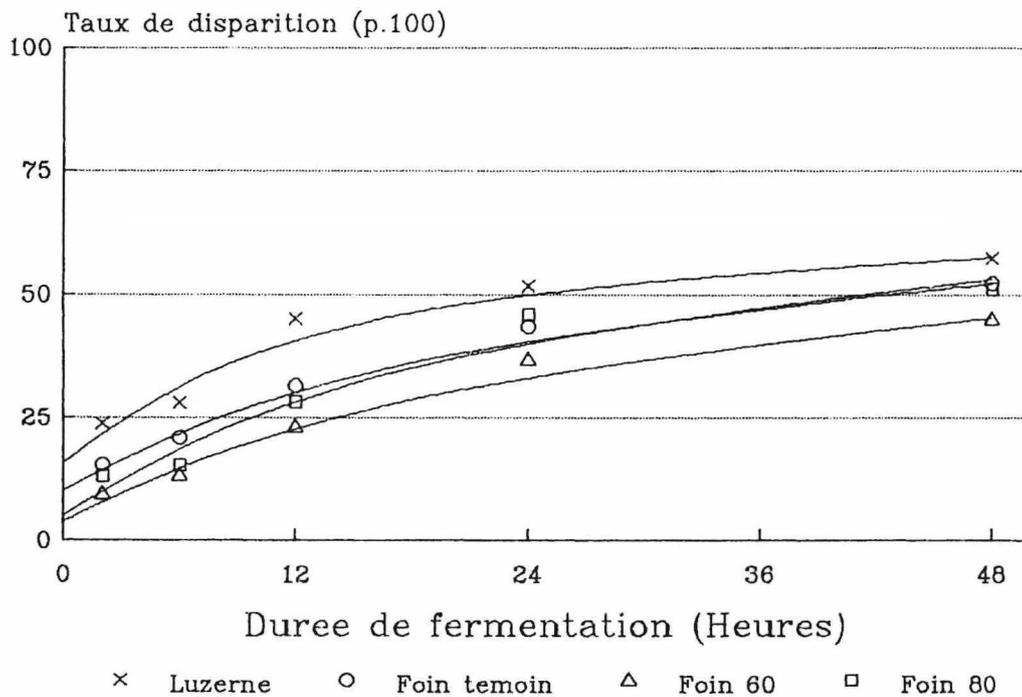


FIGURE 6 : CINETIQUE DE DISPARITION DE  
LA MATIERE AZOTEE  
POUR LES QUATRE ALIMENTS

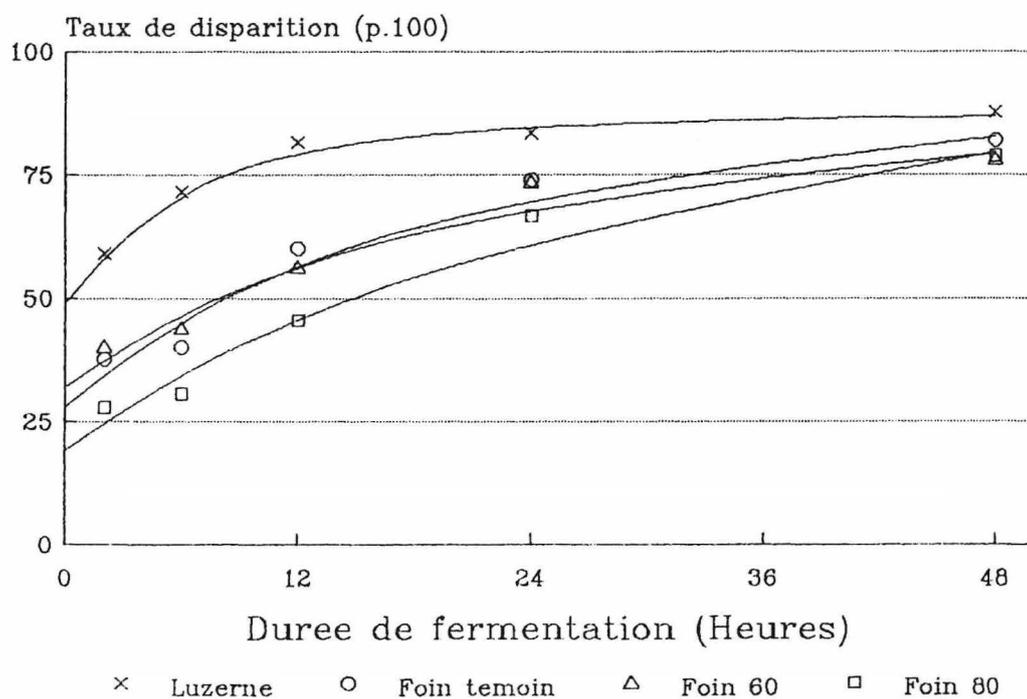


FIGURE 7 : CINETIQUE DE DISPARITION DE  
LA FRACTION NDIN  
POUR LES QUATRE ALIMENTS

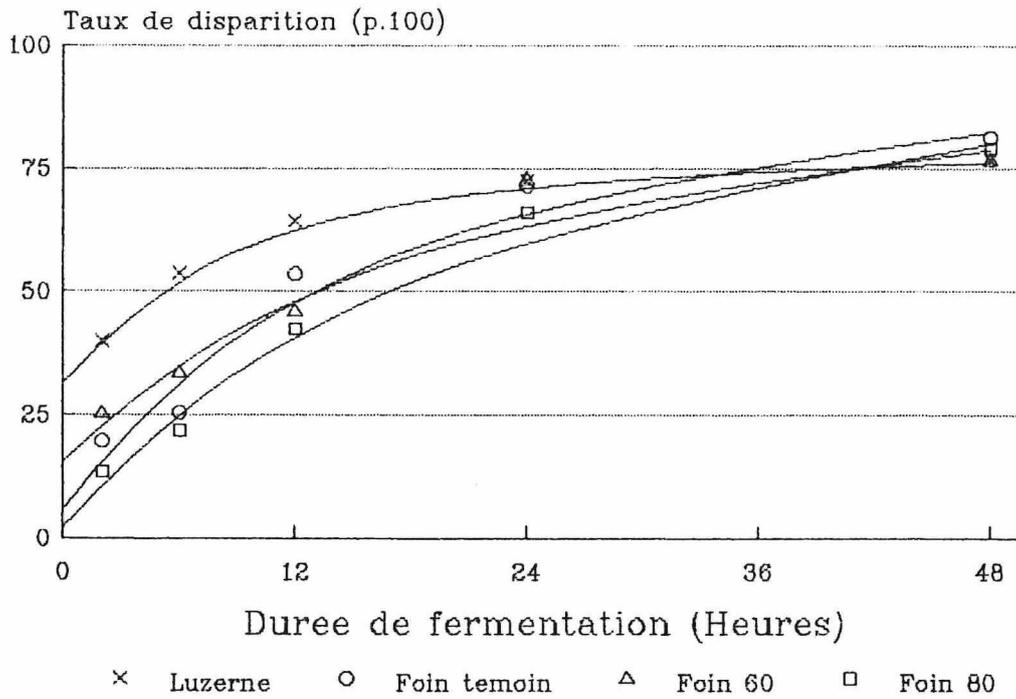


FIGURE 8 : CINETIQUE DE DISPARITION DE  
LA FRACTION ADIN  
POUR LES QUATRE ALIMENTS

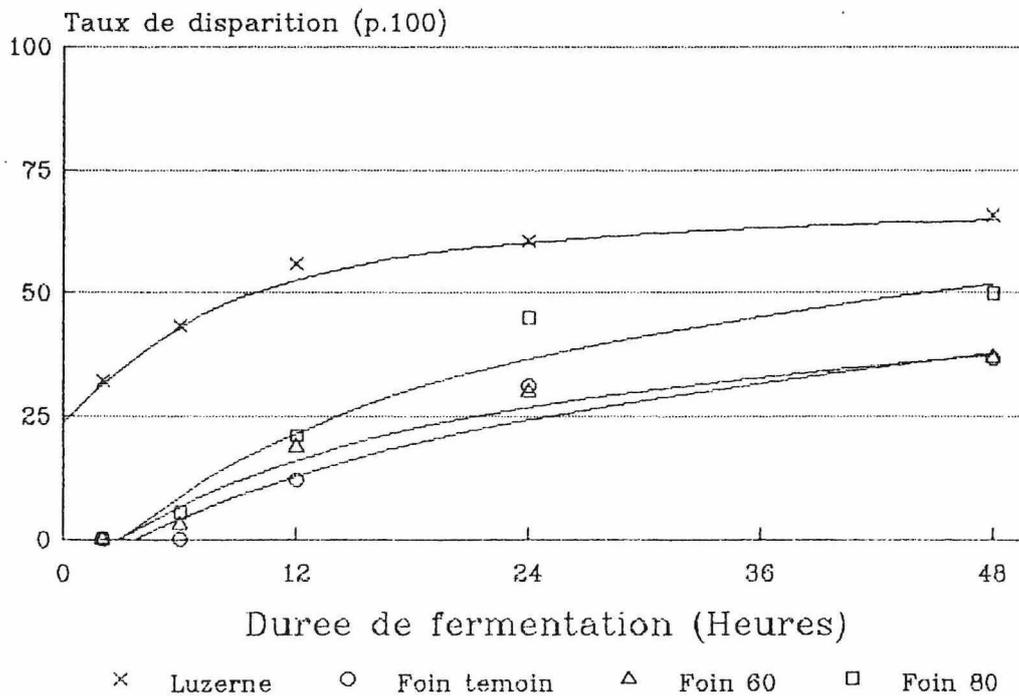


Tableau 8 : Effets des traitements à la chaleur sur les quantités de constituants non dégradés à différents temps de fermentation pour 100g de matière sèche initiale

ALIMENTS	DUREE en heures	NDF	ADF	MAT	NDIN	ADIN
Foin témoin	2	48,7	34,1	7,6	5,4	1,8
	6	44,9	31,9	7,3	5,0	1,8
	12	37,7	27,6	4,9	3,2	1,6
	24	30,9	22,8	3,2	2,0	1,3
	48	25,6	19,3	2,2	1,3	1,3
Foin 60°C	2	53,5	36,9	7,2	5,2	2,2
	6	50,8	35,3	6,8	4,6	2,1
	12	43,9	31,3	5,3	3,8	1,8
	24	34,9	25,8	3,2	1,9	1,6
	48	28,8	22,4	2,6	1,6	1,4
Foin 80°C	2	53,4	37,0	8,8	6,6	2,6
	6	51,4	36,0	8,5	6,0	2,4
	12	43,9	30,6	6,7	4,4	2,0
	24	32,9	23,0	4,1	2,6	1,4
	48	27,0	20,4	2,6	1,6	1,3

augmenté, probablement parce que l'azote bloqué dans la fraction ADF sous l'effet du traitement est plus dégradable que celui qui s'y trouve naturellement, comme l'a rappelé BLANCHART (1988).

### 223 -Cinétique de disparition :

Le modèle d'ORSKOV et Mc DONALD (1979) convient quel que soit l'aliments et la fraction.

Pour toutes les fractions étudiées, la dégradabilité instantanée, caractérisée par le paramètre a, est nettement plus forte chez la luzerne déshydratée que chez les foins (Tableau 9). A l'inverse, la proportion lentement dégradable (b) est inférieure à celle mesurée pour les foins, alors que la vitesse de dégradation de cette fraction (c) est, au contraire, plus forte.

La cause probable de cette différence réside dans la richesse de la luzerne déshydratée en constituants solubles dans l'eau et dans la digestibilité rapide de ses parois cellulaires (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969).

Il a été possible de comparer les valeurs obtenues dans le cas des matières azotées de la luzerne deshydratée avec certains résultats fournis par différents auteurs (MATHERS et MILLER, 1981 ; ABE, 1983 ; HA et KENNELLY, 1984 ; KENNELLY et al., 1986).. La dégradabilité instantanée est plus forte que celles mentionnée par ces auteurs (12,8 à 45,5 p.100) alors que la dégradabilité lente est, au contraire, plus faible (41,0 à 90,9 p.100). La vitesse de dégradation de la fraction lentement dégradable se situe dans la fourchette des valeurs proposées par ces différents auteurs (1,7 à 21,4 p.100h<sup>-1</sup>).

La dégradabilité instantanée (a) de la matière sèche du foin diminue avec le traitement thermique (-2,8 et -5 points respectivement après traitement à 60 et à 80°C). Cette observation peut aussi être faite, surtout après traitement à 80°C, sur les fraction ADF (-5 points), MAT (-8,8 points), NDIN (-3,7 points) et ADIN (-2,3 points). Pour ces différentes fractions, la proportion lentement dégradable (b) tend, au contraire à augmenter.

Tableau 9 : Paramètres a(en p.100), b(en p.100) et c(en p.100 h<sup>-1</sup>) du modèle exponentiel d'ORSKOV et Mc DONALD (1979) [TD= a+b (1-e<sup>-ct</sup>)] pour les différents constituants de la matière sèche et les différents aliments

ALIMENTS	Paramètres	MS	NDF	ADF	MAT	NDIN	ADIN
Luzerne deshydratée	a	43,5	16,0	15,7	48,9	31,4	23,7
	b	33,3	44,4	42,6	37,3	44,9	41,3
	c	11,9	10,4	8,0	15,7	10,9	11,3
Foin témoin	a	26,0	09,4	10,0	28,0	5,9	-8,0
	b	44,5	49,6	46,4	57,9	79,5	51,8
	c	5,9	5,6	5,0	6,0	6,7	4,5
Foin 60°C	a	23,2	6,6	3,8	32,0	15,4	-7,5
	b	43,6	53,2	46,9	50,4	67,2	47,4
	c	5,1	4,4	4,5	5,8	5,9	6,1
Foin 80°C	a	21,0	09,0	5,0	19,2	02,2	-10,3
	b	50,0	56,5	52,7	70,2	84,0	66,3
	c	4,9	4,3	5,1	4,1	5,4	5,8

a: fraction rapidement dégradabile

b: fraction lentement dégradabile

c: taux horaire de disparition de la fraction lentement dégradabile

Ce résultat caractérise l'effet du traitement thermique sur la solubilité des matières azotées et montre clairement les conséquences des réactions de Maillard. Il précise les résultats obtenus par KENNELLY et DE BOER (1986) sur des graines de colza expansées et par LINDBERG, SOLIMAN et SANNES (1982) sur du tourteau de colza.

Pour la plupart des composants de la matière sèche, la vitesse de dégradation de la fraction lentement dégradable diminue sous l'effet du traitement thermique, spécialement à 80°C. Seules les matières azotées insolubles dans le détergent acide font exception : les matières azotées bloquées par le traitement thermique sont plus rapidement dégradables que celles qui se trouvent naturellement dans la fraction lignocellulosique.

La diminution de la vitesse de dégradation des matières azotées sous l'effet des traitements thermiques a été décrite par différents auteurs cités par BLANCHART (1988). Cette vitesse est d'autant plus faible que la température de traitement est élevée.

### CONCLUSION

La connaissance des proportions des résidus insolubles dans les détergents de Van Soest, permet d'évaluer les parts de la matière sèche et des matières azotées contenues dans les principales fractions pariétales.

L'emploi de la technique in sacco, comme moyen de prévision de la dégradation des différents substrats, donne la possibilité de suivre la dégradation des aliments dans des conditions très proches des conditions naturelles.

Le traitement des foins par la chaleur provoque une augmentation de la proportion des parois, surtout due à l'accroissement de la fraction hémicellulosique. Il aboutit également au blocage, dans la fraction lignocellulosique, d'une partie des matières azotées.

L'augmentation de la proportion de parois va de pair avec une diminution de la dégradabilité instantanée et de la vitesse de dégradation de la fraction lentement dégradable.

La dégradabilité de la fraction azotée insoluble dans le détergent acide augmente. Cette augmentation ne compense pas totalement l'accroissement de la part de la fraction ADIN dans l'aliment. Les quantités d'azote total et d'azote bloqué dans la lignocellulose résistant aux actions microbiennes sont ainsi plus grandes dans les foins traités à la chaleur que dans le foin témoin.

Ces effets de la chaleur sont, pour la plupart, d'autant plus marqués que la température de traitement est élevée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
-----------------------------

- ALLISON M.I., 1970. Nitrogen metabolism of ruminant microorganism in physiology of digestion and metabolism in the ruminant Phillipson ed. Oriel. Press 8, pp 456-473.
- ABE M., 1983. Degradation properties and the susceptibility to degradation of feed protein in rumen of cows. In 4e Symp. Int. métabolisme et nutrition azotée , 223-226 , Ed. INRA Publ. , Versailles.
- BARRY P., GRENET E., 1988. Degradation microbienne dans le rumen de la tige de blé à différents stades de développement, observation au microscope électronique à balayage. Reprod. Nutrit. Develop. , 28 Suppl.1 , 89-90.
- BLANCHART G., 1988. Degradation des matières azotées d'origine végétale Explication et prévision à partir d'un fragment.Thèse de doctorat d'état , INPL-ENSAIA, pp 198.
- BLANCHE D.E., GAILLARD, 1966. Calculation of digestibility for ruminants of roughages from the contents of cell wall constituents Neth.j.Agric. Sci., 3, 215-233.
- BONDI .A. 1981. Metabolism of protein in ruminant animals. A review.Nutr. Rep. Inter. 23, 993-1004.
- CHENOST M. , GRENET E., DEMARQUILLY C. , JARRIGE R., 1970. The use of the nylon bag technique for the study of forage digestion in the rumen and predicting feed value Proceeding of the XI international grassland congress , 697-701
- DEMARQUILLY C. , CHENOST M., 1969. Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon ; liaison avec la valeur alimentaire Ann. Zootech. 18(4) , 419-436.

- FERRANDO R., MORELL G., BOIVIN R. et BOIVIN M., 1983. Mesure de la digestibilité par la méthode des sacs Bull. Acad. Vet. de France, 56 , 413-418.
- FRANKLINE et BARTON, 1988. Chemistry of lignocellulose: Methods of analysis and consequence of structure Ani. Food. Sci. And Technology 21, 279-286.
- FONTY G., FORANO E., GAUDET G., KOMISARCZUCK S. et GOVET P., 1988. Données nouvelles sur les bactéries cellulolytiques du rumen. Repro. Nutr. Develop. 28, Suppl.n°1, 19-32.
- GOERING H.K., VAN SOEST P.J., 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and applications) Agric. Handbook 379, P.20.
- GIGER S. et POCHE S., 1987. Methodes d'estimation des constituants pariétaux dans les aliments destinés aux ruminants Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix INRA , 70 , 49-60.
- GIGER S., 1985. Revue sur la méthode de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale. Ann. Zootech. 34, 85-122.
- HA J.K., KENNELLY J.J., 1984. In situ dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. Can. J. Anim. Sci., 64, 443-452.
- I.N.R.A , 1978. Alimentation des ruminants, pp 597 Edition, INRA, publication Versailles.
- I.N.R.A , 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins, pp.471 Edition INRA, publication Versailles
- JARRIGE R., 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères II. la lignocellulose : composition, dosage et comparaison avec la cellulose brute Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 1(4), 421-447.

- JARRIGE R. et MINSON D.J. , 1964. Digestibilité des constituants du Ray-Grass anglais S24 et du Dactyle S37, plus spécialement des constituants glucidiques. Ann. Zootech. 13 (2), 117-150.
- KENNELLY J.J., MURPHY J.J., DE BOER G., 1986. Relative value of feeds as sources of rumen undegradable protein. Agriculture Forestry Bulletin, N° Special 65 th Annual Feeder's Day Report, 61-64
- KONE A.R., 1987. Valeur nutritive de ligneux fourragers des zones sahéliennes soudaniennes d'Afrique occidentale : Recherche de méthode simple d'estimation de la digestibilité et de la valeur azotée. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. pp 150
- LINDBERG J.E., 1981. The effect of basal diet on the ruminant degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags Swedish J. Agric. Res. 11, 159-169
- LINDBERG J. E., SOLIMAN H.S., SANNES S., 1982. A study of the rumen degradability of untreated and heat-treated rape seed meal two nylon bag technique. Swedish J. Agric. Res., 12, 83-88.
- LOW A.G., 1985. Role of dietary fibre in pig diets Recent Adv. Anim. Prod. 87-112.
- LINDBERG J.E., VARVIKKO T., 1982. The effect of bag pore size on the ruminal degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags. Swedish J. Agric. Res., 12, 163-171
- LIN K.W., PATTERSON J.A. et LANDISH M.R. , 1985. Anaerobic fermentation Microbes from ruminants Enzyme Micro. Techn. 7, 98-107.
- MATHERS J. C., MILLER E. L., 1981. Quantitative studies of food protein degradation and the energetic efficiency of microbial protein synthesis in the rumen of sheep given chopped lucerne and rolled barley. J. Nutr., 45, 587-604.

- MICHALET DOREAU B., VERITE R. et 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 , INRA, 69 , 5-7.
- MUNTIFERING R.B., DEGREGORIO R.M., DEETZ L.E., 1981. Ruminal and postruminal lignin digestion in lambs Nutr. Report Inter. 24 (3) 543-549
- MORRISON I.M., 1979. Symposium on carbohydrate metabolism in the ruminant Carbohydrate Chemistry and rumen digestion Proc. nutr. soc. 38 , 269-274.
- OSBOURN D.F., TERRY R.A., 1977. In vitro techniques for the evaluation of ruminant feeds Proc. Nutr. Soc. 36 , 219-225.
- 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.
- OULD BAH M.Y., MICHALET DOREAU B., JANNOT J., 1988. Colonisation bactérienne des résidus alimentaires des sachets incubés dans le rumen : Utilisation du "stomocher" pour la réduire et conséquences sur la mesure de la dégradabilité ruminale de l'azote. Reprod. Nutr. Develop. 28 suppl. n°1, 107-108.
- OULD BAH M.Y., MICHALET DOREAU B., 1988. Influence du traitement des fourrages verts sur la cinétique de dégradation in sacco de l'azote dans le rumen. Reprod. Nutr. Develop. 28 suppl., n°1, 103-104.
- ROGNON G., TISSERAND J.L., 1987. Les fourrages secs, récolte, traitement : utilisation "observation sur les effets de l'échauffement de fourrages secs en zones de plateaux supérieur du DOUBS" p 276-280, INRA publication Versailles, pp 689.
- SAUVANT D. 1988. La modélisation de la digestion dans le rumen Reprod. Nutr. Develop. 28 suppl. n° 1 , 33-58.

- SHEHOVIC J., 1975. Evaluation de la quantité de fourrage sur la base de leur composition chimique Recherche agronomique de Suisse 14, P.137-152.
- SHEHOVIC J., 1979 . Prévion de la digestibilité de la matière organique et de la quantité de la matière sèche volontairement ingérée des graminées , sur la base de leur composition chimique Station fédérale de recherche agronomique de Changins Recherche agronomique de suisse , P.57-77
- SAS, 1987. SAS/stat. Guide for personal computers, version 6 edition- Cary, NC : SAS institute INC., 1028 pp.
- TELLER E., GODEAU J.M. 1984. Un fermenteur modele pour la production de proteine : le rumen des bovins II- la croissance microbienne Revue des fermentations et des industries alimentaires Bruxelles T.39 , 79-83.
- VAN SOEST P.J. et MOORE L.A., 1965. New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value Proc. Qé.Intrnat.Grassland Congress Sao-Paulo 1-2, 783-789.
- VAN SOEST P.J., 1966. Nonnutritive residues : A system of analysis for the remplacement of crude fibre Journal of the A.O.A.C. 49(3) , 546-551.
- VAN SOEST P.J., 1967. Development of a comprehensive system of feed and its application to forage J anim. sci. 26 , 119-128.
- VAN SOEST P.J., 1975. Digestion and metabolism in the ruminant Physico-chemical aspects of the fibre digestion Edited by : I.W. Mc Donald and A.C.I. Warner The university of new england 351-365.
- VAN SOEST P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant pp 474 O&B Books Cornels-Oregon

WILLIAM R., WINDHAM , HENRY E , AMOS et EVANS J. J., 1987.  
Hemicellulose digestibility by steers fed sun-cured hay and drum-  
deshydrated alfalfa and coastal bermuda grass J. Agric.  
Foodchem. 35(5) , 698-704

WOLTER R., DUREX A. , LETOURNEAU J.C. et CARCELAN M., 1979. Evaluation  
chez le poney de la digestibilité du maïs déshydraté, des pulpes  
sèches de betteraves, de la luzerne déshydratée, du son de blé et  
des pulpes de raisins. Ann. Zootech. 28 (1) , 93-100

YU Y., THOMAS J.W., 1976. Estimation of the extent of heat damage in  
Alfalfa haylage by laboratory measurements. J. Anim. Scie. 42 ,  
766-774

### ABREVIATION UTILISEES

ADF: Acid detergent fibre: fraction organique insoluble dans le detérgent acide de Van soest, estimation de la fraction lignocellulosique.

ADIN: Acid detergent insoluble nitrogen: Azote insoluble dans le detérgent acide de Van soest, estimation de l'azote lié à la fraction lignocellulosique.

ADL: Acid detergent lignin: residu de l'hydrolyse acide de la fraction ADF, estimation de la lignine.

C: Estimation de la cellulose =  $ADF - ADL$

HC: Estimation des hémicelluloses =  $NDF - ADF$

MAT: Matières azotées totales (  $NT \times 6,25$  ).

MS: Matière sèche.

NDF: Neutral detergent fibre: fraction organique insoluble dans le detérgent neutre de Van soest estimation des parois totales.

NDIN: Neutral detergent insoluble nitrogen: Azote insoluble dans le detérgent neutre de Van soest estimation de l'azote lié aux parois.

NT: Azote total mesuré par la methode de KJELDAHL.