

CN0100592

## **R** APPORT DE STAGE

### LES FOURRAGES

\*\*\*\*\*

- Digestibilité
- Emploi, conditionnement, utilisation
- Procédés physiques, chimiques, biologiques pour améliorer leur valeur alimentaire
- Plans de rationnement pour élevages spécialisés

Par

**Alioune DIA**

Avril 1980

Centre National de Recherches Agronomiques  
de Bambey

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLE:S

## REMERCIEMENTS

Nous avons la plaisir de présenter nos sincères remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin nous ont aide à faire ce travail et surtout ont contribué à rendre notre stage des **plus agréables, particulièrement** :

- A MM. Moussa FALL, Mahawa MBODJ et Gora BEYE du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey, pour nous **avoir** proposé à ce stage.

- A M. LECLERC et Mlle MABIRE de la Division du Perfectionnement de l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (I.E.M.V.T.) à Maisons-ALFORT qui nous ont accueilli et pris en charge pendant notre séjour en France.

- Au Professeur Daniei SAUVANT, Directeur du Cours Supérieur d'Alimentation des Animaux Domestiques à l'Institut National Agronomique (PARIS-GRIGNON) de nous avoir autorisé à suivre la session du C.S.A.A.D. à l'I.N.A. en 1979,

- A MM. DEMARQUILLY, notre Directeur de stage, Directeur du Laboratoire des Aliments et de la Digestion à Theix et DULPHY, son adjoint, qui ont bien voulu nous recevoir dans leur laboratoire et superviser nos travaux.

- A tout le personnel du laboratoire des Aliments du Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix (I.N.R.A.) ; en particulier Mlle CARL&, MM. BOUSQUET et L'HOTELIER pour leur **précieuse** collaboration.

- Ainsi qu'à tous nos amis qui nous ont soutenu moralement : Ismaïl GHABBI, Abdallah IHERKANY et Madame, Kouamé KOFFI, Yves GORGEU, Audalbert BIENAIME, M. et Mme SARR, M. et Mme MBODJ Alioune, Yakhya LY, Boubacar LY, Diam LY, M. et Mme DARWICHE.

# S O M M A I R E

Page

|                                                                                           |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| AVERTISSEMENT .....                                                                       |  |
| INTRODUCTION.....                                                                         |  |
| <b><u>CHAPITRE I</u></b> - COMPOSITION DES ALIMENTS DES ANIMAUX.....                      |  |
| 11 - Composition brute.....                                                               |  |
| 12 - Objet de l'analyse des aliments.....                                                 |  |
| 121 - L'analyse fourragère classique.....                                                 |  |
| 122 - L'analyse minérale.....                                                             |  |
| 123 - Dosage de certaines formes d'azote<br>non protidique.....                           |  |
| 124 - Dosage de certains Glucides.....                                                    |  |
| 125 - Dosage des différents constituants de<br>la membrane végétale.....                  |  |
| 126 - Analyses spécifiques aux ensilages.....                                             |  |
| 13 - Etude critique de l'analyse fourragère.....                                          |  |
| 131 - Matières azotées totales ou protéines<br>brutes (Nt x 6,25).....                    |  |
| 132 - Matières grasses.....                                                               |  |
| 133 - Matières minérales ou cendres.....                                                  |  |
| 134 - Cellulose brute ou matières cellulosi-<br>ques.....                                 |  |
| <b><u>CHAPITRE II</u></b> - CLASSIFICATION DES ALIMENTS.....                              |  |
| 21 - Rappels généraux.....                                                                |  |
| 22 - Principes de la constitution des rations des<br>différentes espèces domestiques..... |  |
| <b><u>CHAPITRE III</u></b> - LES FOURRAGES.....                                           |  |
| - Composition morphologique.....                                                          |  |
| 32 - Variations de la composition.....                                                    |  |
| 33 - Deux exemples de cultures fourragères.. , . . .                                      |  |
| 331 - Le maïs.....                                                                        |  |
| 332 - Le sorgho.....                                                                      |  |
| 34 - Conservation des fourrages.....                                                      |  |
| 341 - Fenaison.....                                                                       |  |
| 342 - Ensilage.....                                                                       |  |
| 343 - Deshydratation.....                                                                 |  |
| 344 - Pertes lors de la conservation.....                                                 |  |
| 35 - Fertilisation et qualité du fourrage.....                                            |  |
| 351 - fertilisation azotée.....                                                           |  |
| 352 - Fertilisation phosphatée et potassique,                                             |  |
| 353 - Conclusion.....                                                                     |  |

36 - Différentes catégories de fourrages pauvres:

- 361 - Les pailles.....
- 362 - Les sous-produits de cultures, exemple du maïs.....
- 363 - Les copeaux de bois.....
- 364 - Les déchets cellulósiques, source énergétique dans l'alimentation des ruminants.....
- 365 - Les marcs de raisin.....

CHAPITRE IV - RAPPEL SUR CERTAINS ASPECTS DE LA DIGESTION CHEZ LES RUMINANTS.....

- 41 - Transit des aliments.....
- 42 - L'activité microbienne dans le rumen.....
- 43 - Produits terminaux de la digestion.....
- 44 - Les besoins en glucose.....
- 45 - Le rôle des matières grasses.....
- 46 - La synthèse et la dégradation des protéines..

CHAPITRE V - VALEUR ALIMENTAIRE.....

- 51 - Définition de la Valeur alimentaire.....
- 52 - Rappels.....
- 53 - Différentes méthodes de prévision de la V.A..
  - 531 - Prévision de la teneur en M.A.D.....
  - 532 - Prévision de la valeur énergétique....
  - 533 - Prévision de la quantité ingérée.....
    - 5331 - méthodes chimiques.....
    - 5332 - méthodes biologiques.....
    - 5333 - méthodes physiques.....

CHAPITRE VI - DIGESTIBILITE.....

- 61 - Méthodes de mesure de la digestibilité.....
  - 611 - Méthodes biologiques.....
  - 612 - Méthodes chimiques.....
  - 613 - Méthodes physiques.....
  - 614 - Méthodes mathématiques.....
- 62 - Facteurs de variation de la digestibilité.....
  - 621 - Lignification et digestibilité.....
  - 622 - Sorgho et maïs.....
  - 623 - Fourrages conservés.....
  - 624 - Fertilisation azotée.....
  - 625 - Traitement à la soude.....
  - 626 - Complémentation azotée.....

CHAPITRE VII - INGESTIBILITE.....

- 71 - Facteurs de variation.....
  - 711 - Consommation volontaire de fourrage vert.....
  - 712 - Consommation volontaire des foin.....
  - 713 - Consommation volontaire d'ensilage....
  - 714 - Régulation de l'ingestion volontaire..
  - 715 - Interaction fourrage-concentré.....

## CHAPITRE VIII - TRAITEMENTS DES FOURRAGES

- 81 - Paramètres de traitement .....
- 82 - Traitements physiques (mécaniques).....
  - 821 - Broyage.....
  - 822 - Hachage.....
  - 823 - Mode d'incorporation.....
- 83 - Traitements physico-chimiques.....
  - 831 - Nature des substrats en présence.....
  - 832 - Mode d'action de la soude .....
  - 8321 - Procédé "sec".....
  - 8322 - Procédé "humide".....
  - 8323 - Autoclave .....
  - 8324 - Ammoniation en place.....
  - 833 - Conclusion.....
- 84 - Traitements biologiques.....

## CHAPITRE IX - CONDITIONNEMENT DES FOURRAGES

## CHAPITRE X - COMPLEMENTATION ET UTILISATION DES FOURRAGES

- 101 - Les céréales.....
- 102 - L'urée et les tourteaux.....
- 103 - L'ensilage de maïs plante entière.....
- 104 - Les sous-produits de betterave sucrière....
  - 1041 - Les pulpes.....
  - 1042 - La mélasse.....
- 105 - Les drèches de brasserie.....
- 106 - Les sous-produits laitiers.....
  - 1061 - Le lactosérum.....
- 107 - Paturage et affouragement en vert.....
- 108 - Fourrages secs.....
- 109 - Utilisation des pailles dans les systèmes de production animale intensifs .....

## CHAPITRE XI - PLANS DE RATIONNEMENT

- 111 - Quantité de concentré à distribuer en fonction de la qualité du fourrage et du niveau de production des vaches.....
- 112 - Complémentation minérale, azotée et vitaminique pour régimes à base de fourrages pauvres (paille).....
  - 1121 - Complémentation azotée.....
  - 1122 - Complémentation minérale et vitaminique.....
  - 1123 - Complémentation énergétique.....
    - 11231 - "Canna de maïs".....

- 113 - Rations à base de pailles de céréales pour  
bovins d'élevage et vaches allaitantes.....
- 114 - Brebis : rationnement .....

CHAPITRE. XII - NOUVEAU SYSTEME D'APPRECIATION DE LA VALEUR  
AZOTEE ET DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES  
ALIMENTS ET DES BESOINS DES RUMINANTS,  
PROPOSE PAR L'I.N.R.A .....

- 121 - Valeur azotée.....
  - 1211 - Pourquoi un nouveau système.....
  - 1212 - D'où proviennent les P.D.I.....
- 122 - Valeur énergétique.....
  - 1221 - Pourquoi un nouveau système.....
  - 1222 - Bases scientifiques du nouveau  
système.....
  - 1223 - Principe du nouveau système.....

CHAPITRE XIII - CONCLUSIONS .....

---

## A V E R T I S S E M E N T

Cette étude n'est qu'un simple rapport de stage et ne fait que traiter succinctement un problème important qui aurait nécessité un travail beaucoup plus long et plus approfondi,

Elle ne fait que récapituler des résultats d'analyses de laboratoire, dressais de digestibilités, de traitements et d'utilisation des fourrages, à l'aide d'études bibliographiques.

Dans le cadre limite d'une seule année et devant l'ampleur du sujet qui comprenait plusieurs parties aussi importantes les unes que les autres et pouvant chacune faire l'objet d'une étude de longue durée, il nous a paru illusoire d'entreprendre de tout traiter à fond et nous laisser aller à une aventure. Aussi nous sommes-nous limités tout simplement à ce qui nous a paru essentiel, à savoir les principaux paramètres régissant chaque thème abordé.

Il était heureux de constater par ailleurs que tous les éléments de l'étude étaient liés intimement, ce qui a facilité notre démarche que nous avons voulu synthétique.

Nous espérons pour finir, que l'idée que nous nous sommes toujours faite de la finalité de l'alimentation des animaux domestiques, bien les <sup>alimenter</sup> pour mieux nous nourrir, sera étayée par les lignes qui vont suivre.

"Nous sommes capables d'éliminer la faim de la surface de la terre en l'espace de notre génération. Il nous faut seulement la volonté de le faire".

J.F. KENNEDY

## INTRODUCTION

La faim dans le monde est devenue, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, une évidence qui ne cesse de s'affirmer **et de devenir de plus en plus préoccupante et angoissants pour les nutritionnistes, les économistes et les gourmets.**

Aujourd'hui les  $\frac{2}{3}$  de la population mondiale souffrent de malnutrition par manque de calories et de protéines.

Cette malnutrition frappe essentiellement les populations de la zone intertropicale où l'alimentation reste encore très déséquilibrée, la viande y étant rare.

Avec le problème de la sécheresse, la reconstitution du cheptel s'avère difficile et partant l'approvisionnement régulier des pays consommateurs sera de plus en plus déficitaire en raison de la croissance démographique, de l'augmentation du taux d'urbanisation et de l'amélioration du niveau de vie.

On sait que les protéines animales sont produites en quantités souvent insuffisantes dans les pays en développement, or la solution à ce problème passe par une amélioration de la production de ruminants dans des conditions alimentaires non concurrentielles à l'homme, c'est-à-dire à base de rations riches en cellulose.

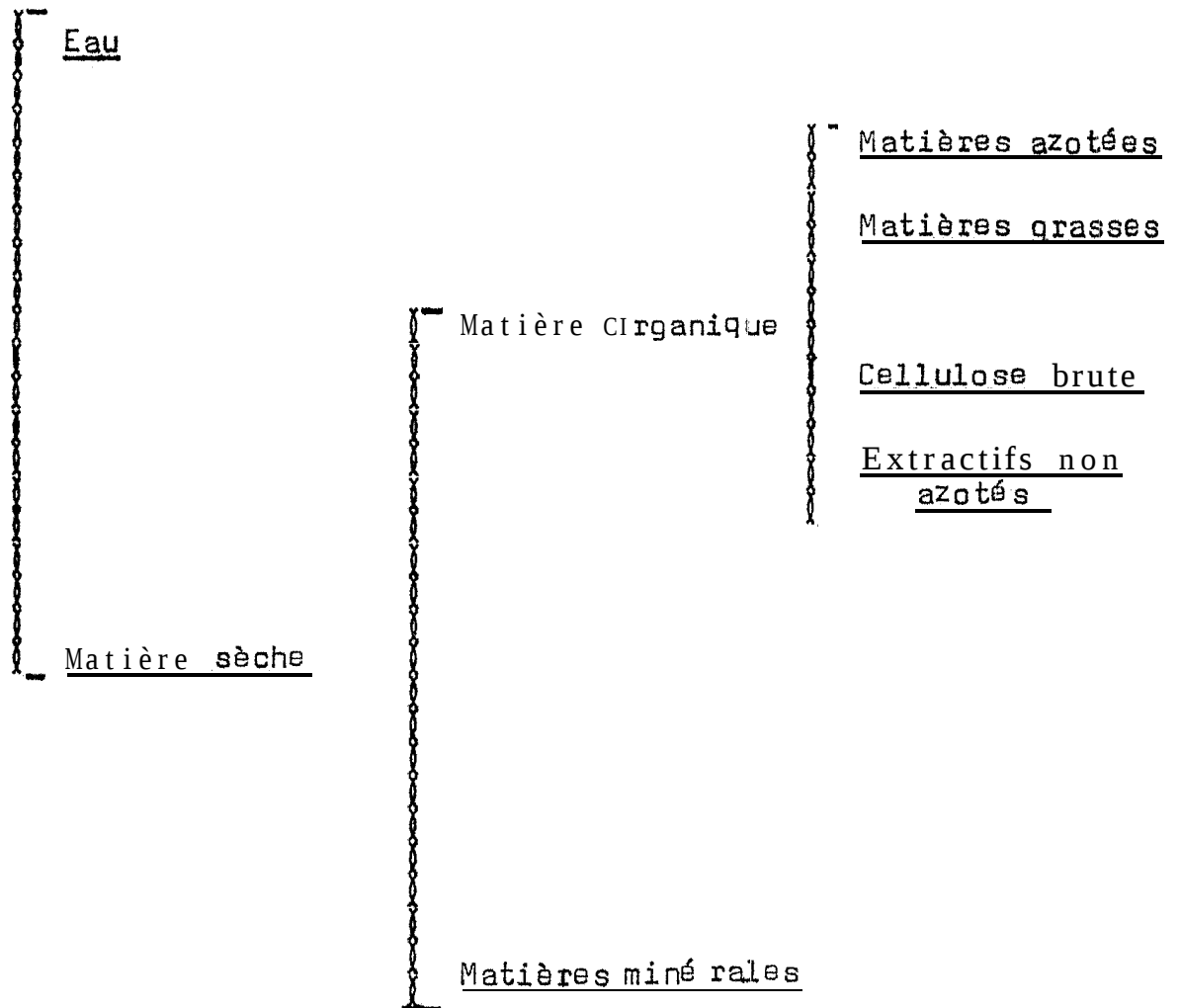
Les membranes végétales (10 à 90 % de la matière sèche des aliments) constituent une source immense d'énergie. On estime ainsi que les 10<sup>10</sup> tonnes de cellulose synthétisées chaque année, par photosynthèse sur terre, sont à peu près équivalentes à 10 fois la quantité d'énergie ingérée par le genre humain pendant la même période.

L'amélioration de la production totale de viande passe certes par un accroissement numérique du cheptel, mais aussi et surtout par l'amélioration de l'alimentation et des conditions d'exploitation des animaux qui est le moyen le plus efficace pour obtenir, dans des délais rapides, un accroissement de la productivité des troupeaux, le facteur alimentaire étant celui qui limite le plus la production.

L'étude des fourrages et des modalités de leur utilisation rationnelle par les ruminants s'inscrit dans ce cadre qui s'avère être une priorité à laquelle nous essayons d'apporter notre modeste contribution à travers les pages qui vont suivre.

TABLEAU I

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| CHAPITRE I | COMPOSITION DES ALIMENTS |
|------------|--------------------------|



Note : Les principes soulignés sont analysés, les autres se déduisent par différence.

# I - COMPOSITION DES ALIMENTS DES ANIMAUX

## 11 - Composition brute

Les aliments se composent d'eau et de matière sèche, celle-ci comporte des matières minérales et des matières organiques que l'analyse fourragère permet de répartir en matières azotées (M.A.), matières grasses (M.G.), matières cellulosiques (M.C.) ou cellulose brute (C.B.) et extractifs non azotés (E.N.A.). Ces derniers correspondent aux glucides non inclus dans la cellulose brute.

## 12 - Objet de l'analyse des aliments

L'analyse des aliments a pour but de déterminer des critères permettant de prévoir la valeur nutritive des aliments et de composer des rations équilibrées assurant la couverture des besoins des animaux..

### 12.1 - L'analyse fourragère classique donne :

a/ - Humidité : teneur en eau ; perte de masse subie par un aliment en étant maintenu dans des conditions déterminées de dessiccation, variant avec sa nature.. Ces conditions concernent la température, la pression, la durée.

b/ - Matières minérales (cendres brutes); la teneur en MM d'un aliment est conventionnellement le résidu de la substance après incinération à 550°C.

c/ - Matières azotées totales ou protéines brutes : L'azote total est dosé par la méthode de KJELDAHL.

d/ - Cellulose brute ou matières cellulosiques : la méthode proposée est celle de la Station Agronomique de WEENDE.

e/ - Matières grasses :

- extrait à l'éther ou matières grasses brutes
- matières grasses totales, s'appliquant aux aliments dont les M.G. ne peuvent être totalement extraites à l'éther éthylique sans hydrolyse préalable par un acide minéral dilué (Hcl).

f/ - Extractifs non azotés :

E.N.A. = 100 - (Eau + MM + MG + MA + MC).

Selon VAN SOEST (cité par MBCJDJ), la matière sèche des plantes se répartit en deux fractions :

- le contenu cellulaire composé de :

- lipides
- protéines
- hydrates de carbone
- autres substances solubles dans l'eau

- la membrane cellulaire ou couche protectrice formée de :

Du point de vue nutritionnel, la première fraction est pour la plupart, digestible, donc utilisable par le bétail ; la seconde par contre est de digestibilité très faible voire nulle du fait de la gangue ligno-cellulosique que forment la cellulose, l'hémicellulose et la lignine,

#### 122 - L'analyse minérale

- a/ - Matières minérales (cendres)
- b/ - Chlore des chlorures - Après avoir mis les chlorures en solution, on les titre avec la méthode sulfocyanométrique - les chlorures d'un aliment sont exprimés soit en chlore, soit conventionnellement en chlorure de sodium.
- c/ - Phosphore,
- d/ - Calcium
- e/ - Cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique.

#### 223 - Dosage de certaines formes d'azote non protidique

- a/ - Bases azotées volatiles
- b/ - Urée.

#### 124 - Dosage de certains glucides

- a/ - Amidon (Méthode polarimétrique (EWERS), méthodes enzymatiques (pancréatine, - amyloglucosidase).
- b/ - Sucres solubles dans l'alcool
- c/ - Lactose : les sucres sont dissouts dans l'eau On fait agir la levure (*Saccharomyces cerevisiae*) qui laisse le lactose intact, puis on détermine la teneur en lactose de la solution par la méthode LUFF-SCHOORL, après défécation et filtration.

#### 125 - Dosage des différents constituants de la membrane végétale

Etant donné les limites de la cellulose brute selon la méthode de WEENDE, de nombreux auteurs ont tenté de mettre au point des méthodes de dosage des différents constituants de la membrane végétale, en particulier, depuis la dernière guerre mondiale les travaux des chercheurs allemands de l'Est (NEHRING et coll.), américains (VAN SOEST et coll.), français (JARRIGE et coll.), hollandais (GAILLARD et coll.), et néozélandais (BAILEY et coll.).

Depuis quelques années, il semble que la méthode proposée par VAN SOEST s'impose au niveau international en raison de sa relative simplicité (utilisation de détergents) et de ses possibilités de semi-automatisation.

Cette technique permet de doser successivement, sur le même échantillon, les composés membranaires suivants :

- la membrane végétale totale (Neutral Detergent Fiber : NDF) obtenue comme le résidu de l'attaque avec une solution détergente en milieu neutre,

- la lingocellulose (Acid detergent Fiber : ADF) comprenant surtout la cellulose vraie et la lignine, obtenue comme le résidu de l'attaque avec une solution détergente en milieu acide.

- la lignine, estimée par différence, après destruction de la cellulose vraie par l'acide sulfurique ( $= \text{lignine } \text{H}_2\text{SO}_4$ ), ou bien directement par oxydation au permanganate ( $= \text{lignine } \text{KMnO}_4$ ).

- la cutine, estimée comme la différence entre les lignines  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et  $\text{KMnO}_4$ .

- la silice, évaluée par l'attaque à l'acide fluorhydrique.

Au passage, ces résultats permettent de quantifier, par différence, les hémicelluloses et la cellulose vraie.

#### 126 - Analyses spécifiques aux ensilages

L'appréciation de la qualité se fait par la mesure du PH des teneurs en acide lactique et en acides gras volatils (acides acétique, butyrique et éventuellement propionique), en alcool, en azote ammoniacal et en azote soluble.

#### 13 - Etude critique de l'analyse fourragère

##### 131 - Matières azotées totales ou protéines brutes ( $\text{Nt} \times 6,25$ )

a/ - L'N total dosé par la méthode de KJELDAHL correspond à des substances azotées de nature différente dont la signification alimentaire n'est pas similaire : certaines sont des protides et d'autres des matières azotées non protidiques (MANP) telles que les amides et les sels ammoniacaux.

b/ - L'N soluble représente une fonction relativement importante de l'Nt dans les ensilages verts (50 à 65 %), les chaux fourragers (45 %), et les betteraves (75 à 80 %). Par contre, il n'en constitue qu'une faible partie dans les fourrages verts et les foin (20 à 25 %) ainsi que dans les concentrés (10 %). Dans ce dernier cas, qui intéresse la totalité du régime des porcs et des volailles, la majeure partie de l'N total est donc protidique.

c/ - La méthode de Mme DURAND (1977) {citée par SAUVANT} permet d'estimer rapidement la teneur en N soluble dans une solution minérale dont la composition est proche de celle de la salive du ruminant.

Elle permet d'apprécier la proportion de protéines dégradées dans le rumen (PDI).

d/ - Le coefficient 6,25 suppose que les M.A. analysées ont en moyenne 16 % d'N ; or, toutes les protéines ne possèdent pas ce taux d'N et toutes les M.A. contenues dans les aliments ne sont pas des protéines. En réalité, les M.A.T. doivent être essentiellement considérées comme de l'N, au coefficient 6,25 près.

e/ - En outre, le dosage des M.A.T. ou protéines brutes ne rend pas compte de la valeur nutritionnelle des protéines qui dépend de leur composition en A.A. dont certains, dits essentiels, doivent nécessairement figurer dans la régime à des taux appropriés,

### 132 - Matières grasses

L'extractif éthéré ne comporte qu'une fraction de matières grasses et renferme par contre des substances non grasses solubles dans l'éther. Sa signification alimentaire appelle des réserves, en particulier pour les fourrages. En effet, l'extractif éthéré peut contenir plus de la moitié des pigments pour ces aliments. Ce fait risque d'après SAUVANT (25), d'entraîner des erreurs lorsque l'on essaie, à partir de fourrages, d'établir des équations destinées à prédire la valeur énergétique de l'ensemble des aliments.

### 133 - Matières minérales ou cendres

Sa signification pour l'alimentation minérale est nulle si une analyse minérale plus détaillée n'est pas effectuée. Le dosage des cendres ne sert en fait qu'à évaluer, par différence, la matière organique contenue dans un aliment,,

### 134 - Cellulose brute ou matières cellulosiques

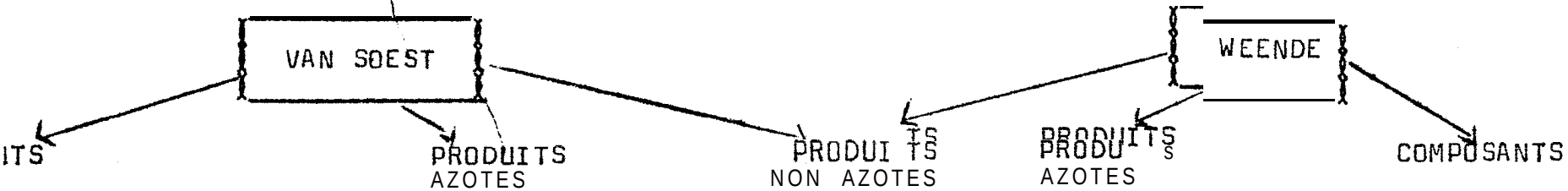
La méthode de WEENDE tend à évaluer l'importance de la membrane végétale dans les aliments pour constituer une base de prévision de l'utilisation digestive des aliments et même de l'utilisation métabolique des nutriments absorbés.

La moyenne de la C.B. constitue en fait une détermination par défaut de la teneur en membranes végétales qui est en réalité de 2 à 4 fois plus importante. Ce facteur multiplicatif varie selon l'espèce végétale considérée puisqu'il est de l'ordre de 4 pour les sous-produits de céréales contre 2 pour les graines de légumineuses. Si on se place d'un point de vue analytique, on remarque que le résidu d'hydrolyse, appelé C.B., comprend en fait des proportions variables des différents constituants membranaires ou d'éléments tels que des protéines déjà pris en compte dans le dosage des matières azotées totales.

SAUVANT soutient qu'actuellement on sait expliquer une partie des variations représentées à la figure 3. Ainsi, la lignine des graminées est plus solubilisée par la technique de WEENDE que celle des légumineuses (fig.4). En conséquence, la digestibilité de l'extractif non azote des fourrages est dans plus d'un cas sur deux inférieure à celle de la cellulose brute pour des graminées; alors que la proportion correspondante est de moins de 10 % pour les légumineuses (BUTTERWORTH, 1976). Par ailleurs, les chercheurs de Rostock (NEHRING et coll.) ont montré que l'on retrouvait une proportion d'autant plus importante de lignine et surtout de pentosanes (constituants principaux des hémicelluloses) que l'aliment était riche en membrane végétale, estimée par la teneur en cellulose brute.

TABEAU 2

COMPARAISON DE LA PARTITION ANALYTIQUE D'UN ALIMENT VEGETAL  
ENTRE LES SYSTEMES ANALYTIQUES WEEDE ET VAN SOEST



|              |                        | LIPIDES                                  | EXTRAIT ETHERE                       |
|--------------|------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| CONTENTS"    | AZOTE NON PROTEIQUE    | GLUCIDES SOLUBLES<br>F'ECTINES<br>AMIDON |                                      |
|              | ACID DETERGENT SOLUBLE | HEMICELLULOSE                            | EXTRACTIF NON AZOTE                  |
| NT<br>(NDF)  | ACID DE TERGENT FIBER  | LIGNINE SOLUBLE W EENDE                  |                                      |
| ALL<br>UENTS | LIGNOCELLULOSE         | LIGNINE INSOLUBLE                        | CELLULOSE BRUTE                      |
|              |                        | CELLULOSE                                |                                      |
|              |                        | MATIERES AZOTEES                         | MATIERES AZOTEES<br>PROTEINES BRUTES |



## 21 - Rappels généraux

Classiquement les aliments des animaux sont classés en deux catégories, les aliments concentrés et les aliments grossiers, suivant la teneur de leur matière sèche en matières cellulosiques et leur richesse en eau.

Les aliments concentrés sont théoriquement <sup>des aliments</sup> secs dont la teneur de la matière sèche en matières cellulosiques est inférieure à 15 %.

Les aliments grossiers sont constitués par des aliments encombrants dont la teneur de la matière sèche en matières cellulosiques est supérieure à 15 %, et par les aliments succulents riches en eau et dont le taux de matières cellulosiques dans la matière sèche rappelle en fait celui des aliments concentrés,

Les grains, les issues de meunerie, les tourteaux, les levures, les aliments d'origine animale sont des aliments concentrés les fourrages verts, les ensilages verts, les foin, les pailles appartiennent au groupe des aliments encombrants, qui représentent les aliments grossiers avec les aliments succulents tels que les racines, les tubercules et leurs dérivés.

Les ruminants sont des consommateurs d'aliments grossiers et d'aliments concentrés ; les Porcs et les volailles reçoivent des aliments concentrés, mais les porcs peuvent également consommer des aliments succulents,

## 22 - Principes de la constitution des rations des différentes espèces domestiques

### a/ - Bovins, ovins et caprins

1. Ration de base : .Aliments grossiers : herbe, ensilages, foin  
(source d'énergie et de matières azotées).

.Aliments succulents : racines, tubercules  
(source d'énergie).

2. Ration de concentré :

. Aliments concentrés :  
+ grains (source d'énergie)  
+ issues de meunerie (source d'énergie et de matières azotées)  
+ tourteaux (source d'énergie et de matières azotées).

3. Composé minéral vitaminisé.

b/ - Porcs (Aliments concentrés et éventuellement succulents)

1. Groupe énergétique : grains, racines et tubercules
- 2, Groupe énergétique et azoté : tourteaux, aliments d'origine animale, lait écrémé, sérum ds fromagerie, farine de viande et poisson, levures,
- 3, Groupe minéral et vitaminique

c/ - Volailles (Aliments concentrés)

1. Groupe énergétique : grains
2. Groupe énergétique et azoté : tourteaux, aliments d'origine animale et levure.
- 3, Croupe minérale et vitaminique.

---:---:---:---:---:---

### 31 - Composition morphologique :

#### légumineuse :

feuille  
tige  
fleurs  
débris

#### graminée :

limbe  
tige t 'gain8  
épis  
débris.

### 32 - Variations de la composition

DEMARQUILLY, dans ses comparaisons à des âges ou des stades de développement équivalents, constat8 des différences systématiques de composition chimique entre les légumineuses et les graminées des pays tempérés.

Les légumineuses sont plus riches en matières azotées notamment au cours du premier cycle de végétation, en acides organiques, en calcium, magnésium, cuivre, carotène et généralement moins riches en sucre et en glucides solubles,, parce qu'elles ne contiennent pas de fructosanes,

Les légumineuses contiennent moins de membranes mais ces membranes ont mains d'hémicelluloses que les graminees et généralement plus de lignines et de substances pectiques.

Les différences de teneur en matières azotées et en membranes entre légumineuses et graminées résultent essentiellement du fait que les feuilles de légumineuses ont une composition presque constante durant la croissance, du moins tant que les feuilles restent vertes et actives et que cette composition est caractérisée par une teneur élevée en contenus cellulaires (protéines, etc...) et une teneur faible en constituants membranaires. En revanche, la teneur en membranes est plus élevée dans les feuilles de graminees et elle augmente avec l'âge tandis que leur teneur en matières azotées diminue,

Les feuilles de légumineuses et à un degré moindre les tiges sont plus rapidement digérées dans le rumen que les feuilles et les tiges de graminées. La raison en est que les légumineuses sont plus pauvres en membranes et que leurs membranes quoi que moins digestibles parcs que plus lignifiées sant plus rapidement digérées car la lignification est beaucoup moins diffuse que pour les graminées,

Tandis que MINSON et Mc LEOD, 1970, cites par DEMARQUILLY, XANDE et CHESNOST notent que les fourrages tropicaux sont d'une manière générale "plus riches en constituants membranaires, moins

riches en matières azotées, moins digestibles et moins ingestibles que les fourrages des pays tempérés. Cette infériorité peut certes être d'origine génétique mais semble surtout due aux facteurs climatiques, notamment la température et l'"évapotranspiration".

Il existerait une influence de la saison sur la composition chimique, la digestibilité et surtout sur la quantité ingérée (CHEJNOST, 1972).

Il convient cependant, malgré toutes ces observations, de vérifier comme pour les fourrages méditerranéens, si les méthodes de calcul ou les relations utilisées peuvent s'appliquer ou non aux fourrages tropicaux.

### 33 - Deux exemples de cultures fourragères

#### 331 - le maïs

Le maïs a connu depuis 20 ans un essor considérable. On peut attribuer ce développement spectaculaire à deux séries de raisons :

- d'une part le potentiel de production et la valeur alimentaire du maïs ensilé plante entière (les insuffisances propres à cette plante sont faciles à corriger ; déficit en matières azotées et en certains minéraux),

- d'autre part, les techniques de culture, de récolte et de conservation sont bien au point et ont fait l'objet d'une bonne diffusion auprès des éleveurs. Des variétés de mieux en mieux adaptées aux différents climats ont permis de répondre à des situations variées.

L'ensilage de maïs, convenablement complété, résout le difficile problème de l'alimentation des ovins et des bovins en période sèche. C'est un aliment hautement énergétique (0,75 UF/kg de M.S.) qui suffit aux besoins d'entretien et pour une forte part aux besoins de production (10 litres de lait).

La ration doit être équilibrée en matières azotées soit avec de l'urée à la dose de 4 kg/tonne de maïs vert (à 25 % - 30 % de M.S.) soit avec du tourteau,

Le maïs est pauvre en calcium et en phosphore. Il est indispensable de rétablir l'équilibre avec un condiment minéral,

Le maïs est une céréale dont l'amidon est digéré en partie dans le rumen, et en partie dans l'intestin. Dans certains cas (% important de maïs dans la ration par exemple), une partie de l'amidon peut échapper à l'action des agents digestifs et ne pas être utilisée par l'animal. On peut donc penser que tous les traitements technologiques qui augmentent l'état de dégradation de l'amidon, sans provoquer une accélération du transit, pourront avoir un effet favorable sur l'utilisation digestive de la céréale.

C'est le cas de certains traitements mécaniques (broyage, broyage fin et pressage) qui améliorent légèrement la digestibilité de la ration (BERANGER, THIVEND, JARRIGE, 1972) ; cette amélioration est d'autant plus importante que la proportion de maïs dans la

ration est élevée (EMBRY, GQODRICH et GASTLER, 1966). les traitements hydrothermiques semblent beaucoup moins efficaces, Seuls, JOHNSON, MATSUSHIMA et KNOX, 1968) ont signalé une augmentation de la digestibilité de la matière sèche du maïs cuit puis aplati. En France, VERMOREL, GEAY et THIUEND (1972) n'ont observé aucune influence bénéfique de la précuisson du maïs sur la digestibilité des différents constituants du régime.

Au niveau des phénomènes digestifs, l'action des traitements technologiques du maïs se traduit par une diminution de la part de l'amidon digéré dans l'intestin sous forme de glucose (ARMSTRONG et BEEWER, 1969 ; SUTTON et NICHOLSON, 1968 ; QRSKOV, FRASER et KAY, 1969), au profit de la digestion de l'amidon dans le rumen. Mais, on a rarement pu mettre en évidence une différence significative de l'augmentation de la production d'AGV (ARMSTRONG et BLAXTER, 1961). C'est sans doute ce qui explique, au moins en partie, l'amélioration très modeste des performances zootechniques que l'on observe en utilisant du maïs qui a subi un traitement technologique. Signalons enfin qu'un traitement technologique qui provoque une dégradation trop importante de l'amidon (gélatinisation) peut avoir un effet dépressif sur l'utilisation digestive de la ration comme l'ont montré MUDD et PERRY (1969).

### 332 - Le sorgho

Les sorghos fourragers sont des plantes annuelles d'origine tropicale qui demandent pour bien se développer, une quantité importante de chaleur.

De toutes les plantes fourragères cultivées en France, ce sont certainement celles qui sont les plus érigentes en chaleur au départ de la végétation et qui, ensuite, résistent le mieux aux fortes températures de l'été.

Grâce à leur système racinaire profond et à leur bonne utilisation de l'eau disponible, les sorghos tolèrent bien la sécheresse dès que la levée est assurée et les racines bien développées.

Seules les grandes plaines de la moitié Sud de la France peuvent espérer en année normale un rendement de 8 à 14 t/ha en trois coupes de juillet à septembre,

Comme pour la plupart des graminées fourragères, c'est une exploitation au cours de la montaison qui fournit l'optimum de rendement et de valeur alimentaire ; en fait, c'est environ deux semaines avant l'épiaison qu'il faudrait exploiter pour obtenir un fourrage voisin de 0,70 UF/kg de M.S. et 120 g de M.A.D. Mais, faute de pouvoir échelonner la production par des variétés décalées ou des dates de semis différentes, l'exploitation va commencer plus tôt que ce stade optimal et se poursuivre plus tard pour se terminer avant l'épiaison. La valeur du fourrage va donc en pratique passer de 0,72 UF et 140 g de M.A.D./kg de M.S. à 0,53 UF 1260 g de M.A.D./kg de M.S.

Lors des repousses, la diminution de la digestibilité est plus lente au cours du vieillissement que lors de la première pousse, aussi l'exploitation est-elle plus souple,

Des études américaines montrent que la valeur du kilo de matière sèche pour la production laitière diminue au cours de la maturité du grain. En revanche, la digestibilité des repousses feuillues de sorgho est assez élevée (70 % soit 0,68 UF environ) et pratiquement constante entre six et neuf semaines d'âge (DEMARQUILLY, 1970). Si lors du premier cycle de végétation, le sorgho est nettement moins digestible que le maïs et un peu moins que le blé ou l'orge, il est, en revanche, ingéré en plus grande quantité surtout à un stade jeune puisque les quantités ingérées restent supérieures à 2,15 kg de M.S./100 kg de P.V. au premier cycle et à 2,40 kg avec les repousses.

Les sorghos fourragers semblent donc bien adaptés à une exploitation sous forme de fourrages verts (Zéro pâturage). Au premier cycle, celle-ci devrait se situer durant la montaison, la valeur alimentaire étant alors à son maximum, et une exploitation à ce stade permettant d'obtenir des repousses importantes dont la valeur alimentaire est, elle aussi, élevée.

En revanche, les sorghos fourragers (mais il n'en est peut-être pas de même des sorghos grains) semblent mal adaptés à une exploitation sous forme d'ensilage ; en effet, au stade laiteux, le sorgho possède une valeur alimentaire faible et une teneur en matière sèche encore insuffisante (25 %) pour permettre une bonne conservation et une consommation élevée.

Le sorgho est actuellement la céréale qui permet de valoriser au maximum les différents traitements technologiques. Comparé à l'orge, au blé et au maïs, le sorgho est moins digestible et d'une façon générale, les différents traitements technologiques vont améliorer la digestibilité de certains de ses constituants, en particulier celle de l'amidon. Au niveau de la digestion, les traitements technologiques provoquent comme pour le maïs, une diminution de la digestion intestinale de l'amidon (Mc NEILL, POTTER et RIGGS, 1970) au profit de la digestion dans le rumen. On note généralement une augmentation de la production d'AGV, mais sans qu'il y ait une modification de la composition molaire du mélange de ces différents acides. En outre, on a constaté (POTTER, Mc NEILL et RIGGS, 1971) que certains traitements hydrothermiques du sorgho provoquent un remaniement favorable des protéines dans le rumen en améliorant la qualité des matières azotées qui arrivent dans l'intestin grêle. Dans l'ensemble, ces traitements améliorent la vitesse de croissance et l'efficacité alimentaire, sans modifier le rendement et la qualité des carcasses.

#### 34 - Conservation des fourrages

##### 341 - Fenaison

Sous la dénomination générale de "foin", on désigne un fourrage composé de graminées ou de légumineuses diverses, soit seul, soit en mélange ayant une teneur en matière sèche voisine de 85 %, ce qui lui permet de se conserver une, voire plusieurs années sans précautions autres qu'une couverture le mettant à l'abri de la pluie.

La digestibilité de la matière organique de 250 foin étudiés depuis 1960 par DEMARQUILLY a varié de 49,9 à 77,5 % ce qui correspond à une variation de la valeur énergétique de 0,32 à 0,84 UF/kg de M.S. et la quantité de M.S.I. par les moutons à varié de 1,17 à 2,89 kg pour 100 kg de poids vif.

La valeur du foin dépend de celle du fourrage sur pied au moment de la fauche et elle lui est généralement inférieure Par suite des pertes lors de la récolte et de la conservation,

La fenaison a été pendant très longtemps, la méthode traditionnelle de conservation des fourrages utilisée par les éleveurs pour faire des stocks, destinés à l'alimentation hivernale de leurs ruminants. Depuis une dizaine d'années (en France), cette technique régresse au profit de l'ensilage, qui permet d'exploiter rationnellement les pousses de fourrages précoces au printemps ou tardives à l'automne.

### 342 - Ensilage

L'ensilage est un processus de fermentation anaérobie visant à conserver les fourrages verts ou les autres aliments à l'état humide, avec le minimum de pertes de matière sèche et de valeur nutritive, sans formation de produit de fermentation dangereuse pour la santé des animaux.

Pour cela il faut que la quantité d'acide lactique formée aux dépens des sucres de la plante soit telle qu'il se produise une espèce de stérilisation du fourrage, permettant ainsi une conservation prolongée sous un état stable, notamment par suite de l'inhibition totale de tout développement des microorganismes butyriques parce que ceux-ci sont protéolytiques et putréfiants.

Etant beaucoup plus indépendante des conditions météorologiques que la fenaison, la conservation par ensilage permet de récolter des fourrages à un stade optimum et d'intensifier la production fourragère par l'emploi d'engrais.

### 343 - Déshydratation

La déshydratation, par son séchage rapide, est la méthode de conservation qui provoque le moins de perte ; les pertes, y compris celles de la récolte représentent environ 5 à 10 % de la M.S. présente dans le champ.

Pour Qtre déshydratés, les fourrages doivent être hachés. Il est donc indispensable de les conditionner à la sortie de la déshydrateuse pour faciliter la manutention, le stockage, le transport et la distribution des fourrages aux animaux. Ce conditionnement est obtenu :

- soit en les condensant
- soit en les compactant
- soit en les camprimant.

### 344 - Pertes lors de la conservation

Elles sont de trois origines :

\* pertes sous forme de jus, d'autant plus élevées que le fourrage est plus humide et que la hauteur du silo est grande ;

\* pertes sous forme de matière sèche inconsommable, parce que moisie ;

\* pertes sous forme de gaz, essentiellement carbonique et résultant de la respiration et des fermentations (autres que lactiques de l'ensilage).

### 35 - Fertilisation et qualité du fourrage

Elle peut, en augmentant leur teneur en azote, augmenter la digestibilité de la matière organique de certaines graminées tropicales, généralement pauvres en azote, et dont la teneur en azote à des stades tardifs de végétation est souvent insuffisante pour assurer une activité normale des micro-organismes du rumen (SMITH, 1962 ; CHEMIST, résultats non publiés).

La fertilisation azotée ne modifiant pas la digestibilité de la M.O. il doit en être de même pour la valeur énergétique nette. Cela a d'ailleurs été confirmé par des études en chambres respiratoires (BLAXTER et al, 1971) et directement à partir des gains de lipides et de protéines réalisés par des agneaux en croissance (THOMSON, 1964), cités par DEMARQUILLY.

### 352 - Fertilisation phosphatée. et potassique

DEMARQUILLY soutient que d'après les essais de WEIR et al (1958), BROW et APGAR (1969), REID et JUNG, 1965, on peut conclure que la fertilisation phosphatée et potassique ne modifie ni la digestibilité de la matière organique, ni la valeur énergétique des fourrages, du moins quand les fourrages sont comparés à âge égal.

### 353 - Conclusion

Ne modifiant pas un peu la valeur alimentaire des fourrages, la fertilisation s'avère bénéfique dans la mesure où il est possible d'utiliser correctement le supplément de la production de matière sèche obtenu,

Elle est pleinement justifiée pour les prairies pâturées pour lesquelles elle augmente relativement peu les pertes à conditions que les dates d'exploitation par le pâturage soient déterminées par la quantité d'herbe présente à l'hectare et que le chargement animal soit adapté à cette quantité d'herbe présente.

La fertilisation azotée présente en outre l'avantage d'augmenter la teneur en matières azotées des graminées, notamment quand elles sont exploitées à un stade précoce,

L'optimum de la fertilisation azotée se situerait suivant les conditions de milieu, l'année, l'espèce fourragère et le type de production animale envisagé entre 200 et 350 kg/ha/an d'N.

Un des intérêts de la fertilisation azotée, à condition qu'elle soit correctement modulée, est de mieux répartir la production fourragère au cours de l'année ; l'exemple est montré par le "déprimage" qui nécessite une fumure azotée hivernale qui assure ainsi une production précoce suffisante que les animaux pâturent peu après la sortie à l'herbage,

### 36 . Différentes catégories de fourrages pauvres

361 - Les pailles ont une valeur alimentaire très faible, et n'ont été utilisées jusqu'à présent qu'en petites quantités dans la ration des ruminants. Leur structure physique permet comme nous le verrons plus loin, d'améliorer l'utilisation digestive de certaines rations riches en énergie ; elles ne peuvent pas par contre, constituer la base d'une ration alimentaire pendant une période de longue durée.

Chaque année des quantités importantes de pailles sont brûlées dans les champs ou sont utilisées comme litière dans les étables.

### 362 - Les sous-produits de la culture de maïs

Les tiges, les feuilles, rafles et épiques de maïs peuvent être utilisées dans les rations des ruminants.

Les cannes de maïs sont moins riches en membranes et surtout moins lignifiées que les pailles. Elles ont une valeur énergétique nettement plus élevée (de l'ordre de 0,5 UF/kg de M.S.).

Le niveau de consommation des ensilages de cannes serait compris entre 1,3 et 1,9 kg de M.S. par 100 kg de poids vif selon la méthode de conservation et l'importance de la qualité des aliments concentrés complémentaires.

Canes et rafles de maïs peuvent aussi être traitées aux alcalis. L'amélioration de valeur nutritive qui en résulte, est du même ordre de grandeur que celle observée sur les pailles de céréales : + 11,2 points pour la digestibilité de la M.S. dans le cas de rafles de maïs broyées et traitées avec 4 % de soude.

### 363 - Les copeaux de bois

On peut utiliser les copeaux comme un fourrage grossier dans l'alimentation des ruminants, à une proportion d'environ 20 % de la ration. On préfère utiliser les copeaux après les avoir broyés grossièrement. Les incidences de l'abcès du foie tendent à diminuer avec l'augmentation du taux de copeaux et le broyage grossier.

### 364 - Les déchets cellulósiques, source énergétique dans l'alimentation des ruminants

Aux Etats-Unis, les quantités de déchets cellulósiques agricoles disponibles en 1946 ont été évalués à 1,73 x 108 tonnes. A l'heure actuelle on estime à 100 milliards de tonnes par an les déchets cellulósiques mondiaux, notamment les vieux papiers et les déchets agricoles (MICROWAVES, 1974).

TABLEAU 3 - DIMINUTION DE VALEUR NUTRITIVE ET D'INGESTIBILITE ENTRAINEE  
PAR LA FENAIISON (DE MARQUILLY)

| METHODES DE FENAIISON                                                                             | GRAMINEES               |                                                  |                 | LUZERNE                 |                         | TREFLE VIOLET           |                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                                                                   | Séchage<br>en<br>grange | Séchage en andain<br>sur le sol<br>Sans<br>pluie | Avec<br>pluie   | Séchage<br>en<br>grange | Séchage<br>en<br>andain | Séchage<br>en<br>grange | Séchage<br>en<br>andain |
| Nombre d'échantillons                                                                             | 31                      | 26                                               | 21              | 9                       | 10                      | 6                       | 5                       |
| Diminution par rapport au fourrage<br>vert :                                                      |                         |                                                  |                 |                         |                         |                         |                         |
| - digestibilité de la matière<br>organique (points)                                               | - 4,7 $\pm$ 1,5         | - 3,7 $\pm$ 1,6                                  | - 7,7 $\pm$ 2,5 | - 4,2 $\pm$ 2,5         | - 7,9 $\pm$ 3,5         | - 6,5 $\pm$ 3,5         | - 11,0 $\pm$ 5          |
| - matières azotées digestibles<br>(g/kg de matière sèche)                                         | -10 $\pm$ 4             | -10 $\pm$ 4                                      | -22 $\pm$ 8,0   | -23 $\pm$ 17            | -41 $\pm$ 16            | -26 $\pm$ 11            | -23 $\pm$ 19            |
| -- quantité de matière sèche ingérée<br>(en p.100 de la quantité ingérée<br>en vert)              | -15,0                   | -18,0                                            | -26,0           | -11,0                   | -23,0                   | -15,0                   | -15,0                   |
| - quantité de matière organique<br>digestible ingérée en p.100 de<br>la quantité ingérée en vert. | -21,2                   | -23,4                                            | -34,1           | -14,9                   | -31,1                   | -22,8                   | -27,6                   |

TABLEAU 4 - MODIFICATIONS DE VALEUR ALIMENTAIRE ENTRAINEES PAR L'ENSILAGE.

|                                                                                                      |                                                                                                    |       |       |    |           |                                       |       |       |    |           |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|----|-----------|---------------------------------------|-------|-------|----|-----------|------|
| Diminution digestibilité matière sèche (points)<br>en matières azotées digestibles<br>azotée réelle. | GRAMINEES                                                                                          |       |       |    |           | LEGUMINEUSES                          |       |       |    |           | Maïs |
|                                                                                                      | Direct avec ou sans conservateur                                                                   |       |       |    | Préfané   | Direct avec ou sans conservateur      |       |       |    | Préfané   |      |
|                                                                                                      |                                                                                                    |       |       |    | 30 % M.S. | % M.S. de l'herbe lors de l'ensilage. |       |       |    | 30 % M.S. |      |
|                                                                                                      | 14                                                                                                 | 16    | 18    | 20 |           | 14                                    | 16    | 18    | 20 |           |      |
|                                                                                                      | - 2,5                                                                                              | - 1,5 | - 0,5 | 0  | - 2,5     | - 2,5                                 | - 1,5 | - 0,5 | 0  | - 2,5     |      |
|                                                                                                      | pas de diminution                                                                                  |       |       |    |           |                                       |       |       |    |           |      |
|                                                                                                      | Diminution variable suivant qualité de conservation et importance complémentarisation énergétique. |       |       |    |           |                                       |       |       |    |           |      |

|                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               |                  |                     |                  |                  |                     |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|
| Matière ingérée en % quantité en vert :<br>les moutons :<br>ensilage direct<br>ensilage préfané<br>ensilage direct + conservateur efficace<br>les bovins :<br>ensilage direct<br>ensilage préfané<br>ensilage direct + conservateur efficace | GRAMINEES                                                     |                  |                     | LEGUMINEUSES     |                  |                     | HAIS                |
|                                                                                                                                                                                                                                              | Finesse de hachage de l'ensilage : longueur des brins (en cm) |                  |                     |                  |                  |                     |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                              | Longs<br>10 à 25                                              | Moyens<br>5 à 15 | Courts<br>0,5 à 1,5 | Longs<br>10 à 25 | Moyens<br>5 à 15 | Courts<br>0,5 à 1,5 | Courts<br>0,5 à 1,5 |
|                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               |                  |                     |                  |                  |                     |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 38                                                            | 64               | 75                  |                  |                  | 79                  |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               | 70               | 75                  |                  |                  | 79                  | 95 à 100            |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 42                                                            | 69               | 80                  | 61               | 68               | 82                  |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 75                                                            | 85               | 87                  |                  |                  |                     |                     |
|                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               | 93               | 95                  |                  |                  |                     | 95 à 100            |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 82                                                            | 92               | 95 à 100            |                  |                  | 95 à 100            |                     |

TABLEAU 5

INFLUENCE DU DEPRIMAGE, SUR LA VALEUR DES FOINS DE  
PRAIRIE NATURELLE DE MONTAGNE

récoltés par MM. MIQUEUX et ARNAULT à LAQUEUILLE (1100 m. d'altitude)

|             | Date<br>ré-<br>colte | Valeur/kg M.S. |      |              | M.S.<br>in-<br>gérée | Rendement/ha  |               |               |
|-------------|----------------------|----------------|------|--------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
|             |                      | DIG.<br>M.O.   | U.F. | M.A.D<br>(g) |                      | M.S.<br>(kg)  | U.F.          | M.A.D<br>(kg) |
| NON DEPRIME | 6.7                  | 60.6           | 0.54 | 64           | 100                  | 5.700         | 3.080         | 365           |
| DEPRIMAGE   |                      |                |      |              |                      |               |               |               |
| - Précoce   |                      |                |      |              |                      |               |               |               |
| (03.5)      | 6.7                  | 61.4           | 0.62 | 78           | 120                  | 5.1 (+250)    | (+225)        | 310-430       |
| - Moyen     |                      |                |      |              |                      |               |               |               |
| (10.5)      | 6.7                  | 63.7           | 0.60 | 75           | 117                  | 5.10 (+630)   | 535           | 060 380       |
| - Tardif    |                      |                |      |              |                      |               |               |               |
| (17.5)      | 6.7                  | 68.1           | 0.68 | 97           | 153                  | 3.800 (+1400) | 2.580 (+1120) | 370           |

Les chiffres ( ) indiquent la quantité récoltée lors du déprimage.

### 365 • Les marcs de raisin

Les marcs de raisin sont constitués de pulpes et peaux de raisin, avec une proportion plus ou moins importante de rafles et de pépins. Ils contiennent entre 70 et 35 % de M.S., laquelle comprend 8 à 10 % de cendres, 12 à 14 % de M.A., 20 à 30 % de C.B., 5 à 10 % de M.G., suivant la proportion de rafles et de pépins.

## CHAPITRE IV

## RAPPEL SUR CERTAINS ASPECTS DE LA DIGESTION CHEZ LES RUMINANTS

\*\*\*\*\*

La digestion commence par une mastication initiale qui est sommaire. Les aliments sont rapidement déglutis après avoir supporté une insalivation qui contribue à les humidifier. Ils arrivent dans le rumen et le réseau, et sont ensuite ramenés dans la cavité buccale (régurgitation) pour y être soumis à une nouvelle mastication et insalivation. Cette opération s'appelle la rumination et permet un ensemencement complet des aliments.

### 41 - Transit des aliments

Tous les produits qui résultent de la première mastication ou la rumination tombent dans le réseau et le rumen. Les chances de passage des particules alimentaires dans le feuillet augmentent avec la réduction de la taille de ces particules.

C'est une des raisons pour lesquelles les furrages grossiers ont généralement un temps de transit important avant d'arriver dans le tube digestif, d'où l'importance des traitements de ces aliments qui ont un effet positif sur leur vitesse de passage et leur digestibilité.

### 42 - L'activité microbienne dans le rumen

Le rumen et le réseau forment une vaste cuve de fermentation où les aliments finement divisés par la mastication mérycique sont imprégnés d'une grande quantité de salive et se trouvent pendant un temps assez long dans des conditions propices à la croissance et à la multiplication des bactéries.

La population microbienne joue un rôle très important. Elle utilise certains matériaux pour l'élaboration de sa propre substance. Les microorganismes subissent une dégradation constante ; les produits sont à leur tour utilisés par l'hôte.

L'existence de cette population exige :

- \* des quantités minimum de matières azotées, de glucides et d'éléments minéraux ;

- \* un équilibre entre :

- . les substances azotées et énergétiques
- . les formes azotées (solubles et non solubles, protéiques et non protéiques)
- . les glucides solubles et les matières cellulosiques.

#### 43 - Produits terminaux de la digestion

Les principaux produits terminaux de la digestion des glucides sont les acides gras volatiles :

- acide acétique
- acide propionique
- acide butyrique.

Ils sont aux ruminants ce que le glucose est aux monogastriques ; ils constituent la principale source d'énergie. La composition de ce mélange d'A.G.V. varie beaucoup avec le régime alimentaire.

Ils tiennent leur origine de la fermentation par la flore du rumen (bactéries et protozoaires) des glucides fournis par la ration (sucres simples, amidon et surtout cellulose),

L'acide acétique représente 50 à 75 % des A.G.V. totaux ; des plus fortes proportions apparaissent avec une alimentation comportant des fourrages peu digestibles (foins récoltés tardivement). Bien que produit en quantités moindres, l'acide propionique est intéressant à considérer parce qu'il est le seul A.G.V. pouvant conduire à la synthèse de glucose par l'animal. Sa production augmente chaque fois qu'il existe des sucres rapidement fermentescibles dans la ration (concentré, herbe jeune) ou que le traitement technologique de la ration (broyage poussé) élève la vitesse des fermentations bactériennes ; cependant ce traitement accélère le transit digestif aux dépens de la digestibilité.

Les capacités d'utilisation dans le rumen pour la synthèse des protéines microbiennes (compte tenu de la transformation de 40 à 80 pour cent de l'azote ingéré) sont limitées. L'excès des protéines par rapport à l'énergie conduit à une forte production d'ammoniaque. La détoxification de l'ammoniaque par le foie conduit à un travail métabolique superflu et un gaspillage d'azote ; ce problème est devenu crucial lors de l'administration d'urée dans la ration,

#### 44 - Les besoins en glucose

Chez le ruminant les sucres/dégradés sont presque totalement dans le rumen. La presque totalité de glucose nécessaire à l'organisme doit être synthétisée par le foie à partir d'autres composés tels que l'acide propionique ou les acides aminés. Le glucose est indispensable pour de nombreuses fonctions de l'organisme :

- fonctionnement du système nerveux,
- synthèse des réserves graisseuses,
- nutrition du fœtus,
- production du lait.

Les composés formateurs de glucose sont avant tout l'acide propionique et les acides aminés provenant des protéines corporelles ou de l'alimentation.

#### 45 - Le rôle des matières grasses

Les graisses constituent une réserve d'énergie dont la synthèse utilise principalement l'acide acétique produit dans le rumen, à condition toutefois qu'un minimum de glucose soit disponible.

Ces réserves sont susceptibles d'être mobilisées lorsque l'organisme a des besoins en énergie que ne peut assurer la ration : ceci se produit par exemple en fin de gestation lorsqu'il faut beaucoup d'énergie pour fabriquer le glucose nécessaire à la mère et au fœtus.

#### 46 - La synthèse et la dégradation des protéines

Daniel SAUVANT (INA-PG) écrivait en 1979 : "Un micro-organisme satisfait en azote est un ruminant content", en effet les bactéries peuvent utiliser des formes azotées simples comme l'ammoniaque qui peut provenir de différentes sources : acides aminés, amides, urée... les bactéries transforment les formes azotées simples, inutiles pour l'animal en protéines bactériennes ayant une valeur nutritive très élevée.

La synthèse des protéines corporelles s'effectue à partir des acides aminés absorbés dans l'intestin grêle ; elle est très active dans certaines circonstances (fin de gestation, premier mois de lactation). Cette synthèse nécessite un apport équilibré d'acides aminés indispensables et d'énergie et est stimulée par la présence de glucose. Ce glucose provient surtout de l'acide propionique des fermentations, d'où l'efficacité des concentrés lorsque de fortes synthèses protéiques sont nécessaires.

Dans certaines circonstances, une partie des protéines corporelles peut être mobilisée et dégradée en acides aminés pour les synthèses protéiques du fœtus, ou pour fournir au foie des composés formateurs de glucose,

|            |   |                    |
|------------|---|--------------------|
| CHAPITRE V | - | VALEUR ALIMENTAIRE |
|------------|---|--------------------|

\*\*\*\*\*

### 51 - Définition

La valeur alimentaire d'un fourrage est le produit de deux facteurs :

- d'une part, sa valeur nutritive, plus spécialement sa valeur énergétique qui dépend avant tout du coefficient de digestibilité ;

- d'autre part, son acceptabilité ou quantité de matière sèche ingérée par des animaux auxquels on offre ce fourrage à volonté.

La valeur d'un fourrage se caractérise par sa concentration en éléments nutritifs :

- énergie
- azote
- minéraux et vitamines.

D'après DEMARQUILLY, la concentration en énergie est le facteur essentiel de la valeur nutritive dans la plupart des cas. La valeur énergétique est estimée à partir de la digestibilité de la matière organique mesurée sur moutons par la formule de BRETREM :

$$\text{UF /kg M.S.} = \frac{2,36 \text{ M.O.D.} - 1,20 \text{ M.O.I.}}{1650} \quad (\text{avec M.O.D. et M.O.I. en g/kg de M.S.}).$$

M.O.D. = Matière organique digestible

M.O.I. = Matière organique ingérée.

### 52 - Rappels

Pour digestibilité M.O. = 70 %, forage à 0,70 UF/kg M.S.  
avec variation de 5 points de digestibilité = 0,10 UF/kg M.S.  
Pour D.M.O. = 75 % == fourrage à 0,80 UF/kg M.S.  
pour D.M.O. = 65 % == fourrage à 0,60 UF/kg M.S.

Pratiquement on observe de grosses variations de la D., des fourrages de 55 % (0,40 UF/kg) à 85 % (1 UF/kg/M.S.).

### Valeur nutritive potentielle des fourrages

La valeur nutritive potentielle d'un fourrage peut être déterminée à partir des quantités de M.O.D. et d'énergie digestible (ED) ou d'énergie nette (EN) que 1 animal consomme volontairement quand le fourrage est offert à volonté comme unique aliment,

CRAMPTON et al. (1968) ont proposé un index de la valeur nutritive (I.V.N.) qui tiendrait compte de l'ingestibilité et de la digestibilité.

DEMARQUILLY et WEISS (1970) ont utilisé un Index de la Valeur Alimentaire (I.V.A.) qui combine l'ingestion et la valeur de l'énergie nette exprimée en Unités Alimentaires à partir de la M.O.D. et Indigestible avec l'aide d'un facteur de correction du ballast (BREIREM, 1954). Il est évalué comme suit :

$$I.V.A. = \frac{100 \times \text{Consommation unités alimentaires kg/P}}{0,05} \times 0,75$$

Pour évaluer la valeur alimentaire d'un aliment on peut procéder de deux façons :

- 1/ - Mesure directe avec des animaux (moutons le plus souvent)
- 2/ - Calcul avec des équations de prévision.

La composition chimique permet de se faire une bonne idée de la valeur d'un aliment ; c'est pourquoi nous allons d'abord présenter cette composition :

Exemple : paille de blé (d'après JARRIGE - Alimentation des Ruminants, 1978) :

Contenu cellulaire glucidique : 2 %

Constituants membranaires :

|                    |      |
|--------------------|------|
| . hémicelluloses   | : 26 |
| . cellulose        | : 40 |
| . lignine          | : 11 |
| . cellulose WEENDE | : 45 |
| . pentosanes       | : 23 |

### 53 - Différentes méthodes de prévision de la valeur alimentaire

La digestion cellulosique de A, JARRIGE et P. THIVEND, 1969 offre un moyen simple et facile à adopter à la série pour estimer la valeur nutritive des fourrages.

Elle est nettement moins satisfaisante pour prévoir "l'acceptabilité" du fourrage, tout en étant plus que les trois autres méthodes : la cellulose brute de WEENDE, la ligno-cellulose et la digestibilité in vitro en présence de liquide du rumen,

#### 531 - Prévision de la teneur en M.A.D.

La teneur en matières azotées digestibles est rigoureusement liée à la teneur en matières azotées totales, M.A.T. ( $N \times 6,25$ ) de l'aliment, DEMARQUILLY et JARRIGE (18) ont choisi d'exprimer la teneur en M.A.D. par la différence entre la teneur en M.A.T. et la teneur en M.A. apparemment non digestibles, laquelle est très peu variable.

- fourrages verts :

|                |                |
|----------------|----------------|
| . graminées    | 4,48 (n = 693) |
| . légumineuses | 4,56 (n = 127) |
| . ensemble     | 4,50 (n = 820) |

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| - foin                  | 4,81 (n = 85)   |
| - fourrages ensilés     | 5,03 (n = 49)   |
| - fourrages déshydratés | 5,46 (n = 117). |

Ainsi pour la majeure partie des cas on peut donc retenir les relations simplifiées suivantes :

Pour les fourrages verts . . . . . M.A.D. = M.A.T. = 4,5  
M.A.D. = M.A.T. = 5,0.

### 532 - Prévision de la valeur énergétique

La V.E. d'un fourrage dépend avant tout de la teneur en M.O.D. et par là du coefficient de digestibilité de la Matière Organique.

On peut distinguer schématiquement trois catégories de constituants dans la plante :

- les constituants du contenu cellulaire : sucres et fructosanes (amidon des grains), acides organiques, constituants azotés, lipides.. , , on peut considérer qu'ils sont réellement digestibles en totalité (glucides) ou en quasi totalité ;

- les polysaccharides des membranes : celluloses, hémicelluloses et substances pectiques ; leur digestibilité peut varier dans des limites très larges : de + 90 % dans les jeunes graminées feuillues à 40 % dans les pailles ;

- la lignine : c'est un glucide déposé dans la trame cellulosique des membranes ; il est en moyenne, pratiquement indigestible.

Le coefficient de digestibilité du fourrage dépend donc de la proportion et de la digestibilité des membranes, Celle-ci diminue quand augmente la proportion des membranes dans la plante ainsi que leur lignification (R. JARRIGE et MINSON, 1964).

### 533 - Prévision de la quantité ingérée

#### 5331 - Méthodes chimiques

La quantité ingérée est estimée avec la meilleure précision à partir des critères caractérisant la proportion des membranes ou du contenu cellulaire ou celle des constituants solubles : constituants solubles dans l'eau ou dans une salive artificielle (JARRIGE et THIVEND, 1969) ou, mieux encore, dans une solution acide diluée.

(DEHORITY et JOHNSON, 1964), ou dans une solution de pepsine Hcl 0,075 n. (DONEFER et al, 1963), cites par JARRIGE,

#### 5332 - Méthodes biologiques

La digestibilité in vitro et la digestibilité en sachets sont de bons critères de la quantité ingérée (Q.I.) lorsqu'elles sont conduites pendant de courtes périodes :

- huit heures pour les fourrages verts
- vingt quatre heures pour les foin
- douze heures pour fourrages verts et ensilages,

En combinant deux déterminations de D.I.V. ou en sachets (DEMARQUILLY et CHESNOST, 1969), l'une courte (vingt quatre heures) pour caractériser la quantité ingérée, et l'autre plus longue (quarante huit heures) pour caractériser la digestibilité, on obtient une des meilleures estimations de la valeur alimentaire du fourrage,

#### 5333 - Méthodes. physiques

CHESNOST - (1966) a montré que l'énergie nécessaire pour broyer un fourrage variait en sens inverse de la D.I., les limites de variation sont considérables :

- en valeur relative de 1 à 10 lorsqu'on compare une herbe jeune à une paille ; des observations semblables ont été effectuées au Canada par TROELSEN et BIGSBY (1964) cités par JARRIGE ;

en résumé : l'utilisation conjuguée des "tableaux" avec les observations qu'elle implique et "l'analyse" au laboratoire doit permettre d'améliorer considérablement la prévision de la valeur nutritive des fourrages.

TABLEAU 6  
PRINCIPALES METHODES DE LABORATOIRE PROPOSEES POUR PREVOIR LE COEFFICIENT  
DE DIGESTIBILITE DES FOURRAGES

|                                                                 | Auteurs                              | Détermination                                                  | Traitement                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| dosage chimique-s<br>dosage d'un<br>résidu celluloso-<br>sique. | HENNEBERG et STOHRMAN<br>(vers 1860) | Cellulose brute                                                | Hydrolyse par $\text{SO}_4\text{H}_2$ (1,25 %)<br>Hydrolyse par $\text{NaOH}$ (1,25 %)                                                      |
|                                                                 | KURSCHNER et HANAK<br>(1930)         | Cellulose                                                      | Hydrolyse par $\text{CH}_3\text{COOH}$ (80 %)<br>$\text{NO}_3\text{H}$ (d: 1,4).                                                            |
|                                                                 | GUILLEMET et JACQUOT<br>(1943)       | Insoluble formique                                             | Hydrolyse par l'acide formique à<br>80 % (30 mn)                                                                                            |
|                                                                 | WALKER et HEPBRUN<br>(1955)          | Lignocellulose (normal<br>acide fibre)                         | Dégraissage ; hydrolyse par $\text{SO}_4\text{H}_2$                                                                                         |
|                                                                 | JARRIGE (1961)                       | Lignocellulose                                                 | Dégraissage ; hydrolyse par<br>$\text{SO}_4\text{H}_2$ à 5 %, 3 h.                                                                          |
|                                                                 | VAN SOEST (1963)                     | Lignacellulose au déter-<br>gent (acid detergent fibre)        | Hydrolyse par $\text{SO}_4\text{H}_2$ en présence de<br>détergent ; 1 heure.                                                                |
| solubilisation<br>du contenu cel-<br>lulaire                    | PALOHEIMO (1945)                     | Substances membranaires<br>totales                             | Dégraissage ; hydrolyse par $\text{HClO}_4$<br>0,05 n                                                                                       |
|                                                                 | VAN SOEST et MARCUS<br>(1964)        | Constituants membranairss                                      | Extraction par une solution de<br>détergent ; 1 heure.                                                                                      |
| Fractionnement<br>des constituants<br>lucidiqes                 | JARRIGE (1961)                       | Glucides solubles, héli-<br>celluloses, cellulose,<br>lignine. | Extraction aqueuse ; dégraissage ;<br>hydrolyse par $\text{SO}_4\text{H}_2$ à 5 % (3 h)<br>hydrolyse par $\text{SO}_4\text{H}_2$ à 72 %.    |
|                                                                 | VAN SOEST (1963)                     | lignocellulose au déter-<br>gent (A.D.F.), lignine             | Hydrolyse pour $\text{SO}_4\text{H}_2$ en présence de<br>détergent ; 1 h ; hydrolyse de<br>l'A.D.F. par $\text{SO}_4\text{H}_2$ à 2 % (3h). |

.../...

# as biologiquesf

|                 |                    |                            |                                        |
|-----------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| gestibilité in! | TILLEY et TERRY    | !Matière sèche disparue    | ! Digestion in vitro du jus de rumen ! |
| tro dans le jus | (7963)             | !                          | ! (48 heures) ; digestion par une      |
| rumen (*)       |                    | !                          | ! solution de pepsine (48 heures).     |
| gestibilité     | DEMARQUILLY et     | !Matière sèche disparue    | ! Digestion dans le rumen (48 h) ;     |
| sachets dans    | CHEVOST ('1969)    | !                          | ! digestion par une solution de        |
| rumen           |                    | !                          | ! pepsine HCL 0,1 n (48 heures).       |
| Digestion par   | TILLEY et TERRY    | !Matière sèche solubilisée | ! Digestion par une solution de        |
| 3 enzymes       | (1964)             | !                          | ! pepsine HCL 0,1 n (48 h).            |
|                 | JARRIGE et THIVEND | !Matière sèche solubilisée | ! Digestion par une solution saline    |
|                 | (1969)             | !                          | ! (pH 4.6) d'une "cellulase" fongi-    |
|                 |                    | !                          | ! que (24 heures).                     |

(\*) Très nombreuses techniques.

TABLEAU 7

VALEUR DE L'INDICE DE FIBROSITE (1) COMME OUTIL DE PREVISION  
DE LA VALEUR, ALIMENTAIRE DES FOIN!;  
 (CHEMOST, 1966).

|                          | Nombre<br>d'échantillons | R avec<br>fibrosité | R avec<br>cellulose brute |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|
| Digestibilité de la M.O. | 25                       | = 0,931             | = 0,756                   |
| Matière sèche ingérée    | 25                       | = 0,896             | = 0,616                   |
| M.O.D. ingérée           | 25                       | = 0,943             | = 0,699.                  |

(1) = Mesure de l'énergie électrique nécessaire pour broyer 5 g de foin.

TABLEAU 8

INTERET DE LA COMBINAISON DE L'INDICE DE FIBROSITE (IF)  
AVEC LA TENEUR EN CELLULOSE BRUTE (CB)  
POUR PREVOIR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES  
 (CHEMOST, GRENET, 1971)

| Fourrages    | Nombre<br>d'échantillons | Variable<br>explicative | Digestibilité<br>R | M.O. | Ingestion<br>R | M.S.  |
|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|------|----------------|-------|
| Graminées    | 12 8                     | IF                      | 0,822              | 4,64 | 0,732          | 8,94  |
|              | 12 8                     | CB                      | 0,834              | 4,49 | 0,783          | 8,15  |
| "            | 12 8                     | IF + CB                 | 0,861              | 4,14 | 0,796          | 7,94  |
| Légumineuses |                          | IF                      | 0,862              | 3,36 | 0,676          | 10,58 |
|              | 2 4                      | CB                      | 0,830              | 3,69 | 0,677          | 10,56 |
|              | 2 4                      | IF + CB                 | 0,829              | 3,71 | 0,718          | 9,99  |

## CHAPITRE VI

-

## DIGESTIBILITE

\*\*\*\*\*

Les ruminants utilisent essentiellement des fourrages pour leur alimentation, En effet la présence du rumen (préestomac) et de sa flore microbienne, leur permettent de valoriser les membranes végétales, qui ne peuvent être dégradées par les seules enzymes digestives animales et représentent donc chez les monogastriques la fraction indigestible (HENRY, 1976).

La proportion de membranes végétales ~~représentant~~ 30 à 50 % de la matière sèche du fourrage. Comme le contenu cytoplasmique de la cellule végétale est digestible à 98 % (AERT, 1977), l'utilisation digestive de la matière sèche des fourrages par le ruminant va donc dépendre de celle des membranes végétales.

Les facteurs de variation de la détermination des membranes du fourrage et de l'estimation de leur digestibilité sont de deux ordres ;

- les facteurs intrinsèques : âge de la plante, composition morphologique, espèce végétale ;
- les méthodes d'extraction chimiques des constituants membranaires,

De plus, la digestibilité de la M.S. du fourrage va dépendre de facteurs extrinsèques qui favorisent ou diminuent la digestibilité des membranes ;

- apport d'azote, minéraux
- forme physique, conditionnement du fourrage
- niveau d'ingestion
- espèce animale.

La digestibilité est un paramètre fondamental qui permet de remonter à la valeur alimentaire des fourrages. Elle constitue la première étape de l'utilisation des rations par les animaux domestiques. L'efficacité quantitative de ces processus physiologiques est appréciée par le bilan entre le flux entrant et sortant du tube digestif ; la part absorbée après digestion est appelée digestible, d'où le terme DIGESTIBILITE. C'est cette notion quantitative qui se traduit par le coefficient d'utilisation digestive (C.U.D.) au coefficient de digestibilité (C.D.), principal facteur de variation de l'efficacité de la transformation des aliments en produits animaux.

Le nutritionniste étudie généralement la D. apparente qui se détermine à partir de la

Tandis que le physiologiste se soucie de la digestibilité réelle :

$$C.U.D. \text{ réel} = \frac{\text{Elément ingéré} - (\text{Elément fécal} - \text{Elément métabol.})}{\text{Elément ingéré}} \times 100$$

Mais comme l'écrivait ARMSEY, cité par RIVIERE, dans beaucoup de cas la digestibilité apparente (D.A.) donne une meilleure base de comparaison des aliments que la digestibilité réelle (D.R.).

## 61 - Méthodes de mesure de la digestibilité

Plusieurs méthodes visant à déterminer la digestibilité des fourrages, peuvent être mises en oeuvre :

- méthodes biologiques
- " chimiques
- " physiques
- " mathématiques,

### 611 - Méthodes biologiques

Les méthodes "in vivo" sur les animaux sont directes mais longues et relativement délicates.

Au C.R.Z.V. de Theix, le-mouton a été choisi par DEMARQUILLY comme principal matériel de travail, pour ses tests, parce qu'il présente par rapport aux bovins deux avantages essentiels d'une part une plus grande maniabilité et une meilleure tenue dans les cages, d'autre part la possibilité de tester une ration avec des quantités d'aliments 10 fois plus faibles. Ces avantages sont d'autant plus appréciables que les résultats obtenus sur moutons et rapportés au poids métabolique sont directement transposables aux bovins (Métabolic body size, MBS = poids vif élevé à la puissance 0,75).

### 612 - Méthodes chimiques

Parmi les méthodes indirectes d'appréciation de la digestibilité :

- la méthode des rapports lignine ratio, utilisant des marqueurs naturels tels la lignine, le résidu insoluble dans le détergent acide (VAN SOEST), la silice, le phosphore, les chromogènes, ou des marqueurs artificiels dont le plus fréquemment employé est l'oxyde de chrome.

Digestibilité de la M.S. =  $100 - 100$

Pour 100 de lignine dans le fourrage  
Pour 100 de lignine dans les fèces

- l'équation sommative dite de VAN SOEST :

$$D.M.O. = 0,98 + W(1,473 - 0,789 \log L) - 12$$

D.M.O. = Digestibilité de la matière organique exprimée en %

S = fraction soluble dans le complexe détergent neutre en %

W = fraction insoluble

- l'index fécal azoté ou
- l'équation de LAMBOURNE et REARDON :

$YMO = 2,04 - 0,24Xn + 0,186Xn^2$  où on passe de l'index fécal azoté à la digestibilité de la M.O. par la relation :

$$DMO = \frac{YMO - 1}{YMO} \times 100 \quad (Xn = \% \text{ d'N contenu dans la M.O. des fèces})$$

Parmi les méthodes "in vitro" la plus utilisée est celle de TILLEY et TERRY, en 2 étapes :

- une digestion bactérienne conduite en anaérobiose en présence de jus de rumen et de salive artificielle et une digestion enzymatique en présence de pepsine en milieu acide.

JARRIGE et THIVEND (1969) à Theix ont mis au point une autre technique de digestion "in vitro" faisant appel à une cellulase d'origine fongique (enzyme qui digère certains constituants des aliments tels la cellulose, l'hémicellulose, protéines et amidon et se comporte à peu près de la même façon que le jus de rumen. Méthode simple, mais nettement moins satisfaisante pour prévoir "l'acceptabilité" du fourrage.

Les méthodes chimiques (VAN SOEST et JARRIGE) avec l'insoluble formique, montrent une fois de plus que les végétaux comprennent schématiquement trois catégories de constituants :

ceux du contenu cellulaire : sucres, amidon, acides organiques, constituants azotés, lipides, etc... qui sont presque entièrement digestibles ;

- ceux des parois cellulaires, qui sont essentiellement des polysaccharides : cellulose, hémicelluloses, matières pectiques, dont la digestibilité est très variable (de 30 p. 100 dans les pailles à plus de 90 % dans les jeunes plants);

- la lignine également constituant des membranes, est pratiquement indigeste.

Des tentatives ont été faites pour calculer la digestibilité d'un aliment, d'un fourrage par exemple, à partir des seuls résultats de l'analyse chimique des matières fécales.

Les études effectuées au Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires de Dakar par Pl. PUGLIESE, S. DIALLO et H. CALWET en 1976, montrent que si la digestibilité ainsi déterminée varie dans le même sens que celle qui est mesurée "in vivo", des écarts variables selon l'aliment ou les types de rations étudiées, étaient notés entre les deux méthodes et pourraient dans certains cas, atteindre 20 p. 100.

Les mêmes auteurs comparant 4 méthodes (lignin ratio, équation sommative de VAN SOEST, digestibilité en 2 temps de TILLEY et TERRY, index fécal azote de LAMBOURNE et REARDON), utilisées pour tester des fourrages secs, concluent que c'est l'application de l'équation de LAMBOURNE, qui sans conteste donne par rapport à la digestibilité in vivo, les meilleurs résultats. Il n'existe pas entre les 2 méthodes de différence significative et la liaison mise en évidence est significative à mieux que 1 a. 100.

## 613 - Méthodes physiques

La méthode mise au point par CHENOST (1966) est basée sur la détermination de l'indice de fibrosité qui reflète non seulement la composition morphologique et chimique du fourrage mais également son aptitude à être réduit en fines particules (travail = Energie électrique). L'indice de fibrosité permet de prévoir la digestibilité, la quantité de matière sèche ingérée (Q.M.S.I.) et la quantité de matière organique digérée ingérée (Q.M.O.D.I.) de façon plus précise que les critères usuels tels que la teneur en cellulose brute (C.B.) et la teneur en matières azotées (M.A.). Cette précision est cependant inférieure à celle permise par la digestion par la cellulose, la digestibilité en sachets ou la digestibilité "in vitro".

## 614 - Méthodes mathématiques

Méthodes faisant appel à des tables de digestibilité telles que celles de KELLNER, MORRISON, WOODMAN, DEMARQUILLY, SCHNEIDER, BUTTERWORTH.

Il suffit d'appliquer aux nutriments de l'aliment dont on connaît la composition, les coefficients de digestibilité donnés par les tables.

## 62 - Facteurs de variation de la digestibilité

- liés au fourrage : âge, stade de développement, numéro du cycle, famille, espèce, variété, milieu, déprimage ;
- liés à l'animal : espèce ;
- liés à la méthode de détermination.

De plus, la digestibilité de la matière organique va dépendre de facteurs extrinsèques qui favorisent ou diminuent la digestibilité des membranes :

- apport d'azote, minéraux
- forme physique, conditionnement du fourrage
- niveau d'ingestion.

## 621 - Lignification et digestibilité

La composition chimique de la plante varie avec l'âge de celle-ci. Cette variation se traduit par une augmentation avec l'âge de la teneur en lignine qui s'incruste dans les glucides membranaires (JARRIGE, MINSON; 1964 ; TOMLIN et al., 1965 ; VAN SOEST, 1969 ; HARTLEY et al ; 1974) cités par HARAS,

De même, HEAD, 1961, TARKOW et al ; 1969, HARKIN, 1973, DYER et al 1975, observent que la lignine assure une protection physique des membranes qui a pour conséquence une diminution de la digestion de la cellulose et des hémicelluloses.

## 622 - Sorgho et maïs

La tige (avec ses feuilles) de sorgho étant plus riche en constituants membranaires que celle du maïs, il apparaît de suite que le sorgho sera beaucoup moins digestible que le maïs : il l'est.

En effet, un peu inférieure à 75 % à la montaison (DEMARQUILLY), la digestibilité de la plante de sorgho diminue régulièrement d'environ 0,35 points/jour jusqu'à la floraison où elle n'est plus que de 58 %. Elle reste alors constante tout au moins jusqu'au stade laiteux. En revanche, la digestibilité des repousses de sorgho est assez élevée (70 % soit 0,68 UF environ) et pratiquement constante entre six et neuf semaines d'âge.

Si lors du premier cycle de végétation, le sorgho est nettement moins digestible que le maïs et un peu moins que le blé ou l'orge, il est, en revanche, ingéré en plus grande quantité surtout à un stade jeune puisque les quantités ingérées restent supérieures à 2,15 kg de matière sèche pour 100 kg de poids vif au premier cycle et à 2,40 kg avec les repousses.

Lors des repousses, la diminution de la digestibilité est plus lente au cours du vieillissement que lors de la première pousse, aussi l'exploitation est-elle plus simple.

#### 623 - Fourrages conservés

##### a/ - Foins

Pratiquement, on observe de grosses variations de la digestibilité des fourrages : de 55 % (0,40 UF/kg) à 85 % (1 UF/kg de M.S.).

La digestibilité de la matière organique de 250 foins étudiés depuis 1960 par DEMARQUILLY a varié de 49,9 à 77,5 %, ce qui correspond à une variation de la valeur énergétique de 0,32 à 0,84 UF/kg de matière sèche et la quantité de M.S. ingérée par les moutons a varié de 1,17 à 2,89 kg pour 100 kg de P.V.

##### b/ - Ensilages

On sait que la composition et la valeur nutritive des fourrages conservés dépendent en premier lieu, de celles des fourrages verts de départ ; le stade de développement, ou l'âge, et le numéro de cycle au moment de la récolte, en sont donc les principaux facteurs. Cependant, les modifications subies par le fourrage lors des opérations de récolte et de conservation entraînent une diminution de digestibilité très variable et d'ingestibilité qui l'est souvent encore plus.

Les auteurs (DEMARQUILLY, 1970 ; DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1970 ; DEMARQUILLY et WEISS, 1970 ; DEMARQUILLY et JARRIGE, 1970) ayant étudié les modifications de digestibilité entraînées par l'ensilage, arrivent à des résultats différents.

Certains, travaillant en petits silos expérimentaux, constatent que la digestibilité des ensilages est identique, ou presque à celle du fourrage vert de départ, et cela, quelle que soit la technique employée (avec ou sans conservateur, avec ou sans préfanage) (HARRIS et RAYMOND, 1963 ; Mc DONALD et al ; 1965-1966, cités par DEMARQUILLY et DULPHY).

D'autres auteurs en revanche, trouvent que la digestibilité de l'ensilage dépend dans une large mesure du tassement lors du remplissage du silo (LANCASTER et Mc NAUGHTON, 1961), du type

et de l'emploi ou non de conservateur efficace (DIJKSTRA, 1975). Quant aux diminutions de digestibilité entraînées par l'ensilage, beaucoup moins étudiées, il est néanmoins admis par tous que l'ingestibilité des ensilages est en général de beaucoup inférieure à celle des fourrages verts et des foin correspondants et qu'elle est augmentée par le préfanage.

#### 624 - Fertilisation azotée

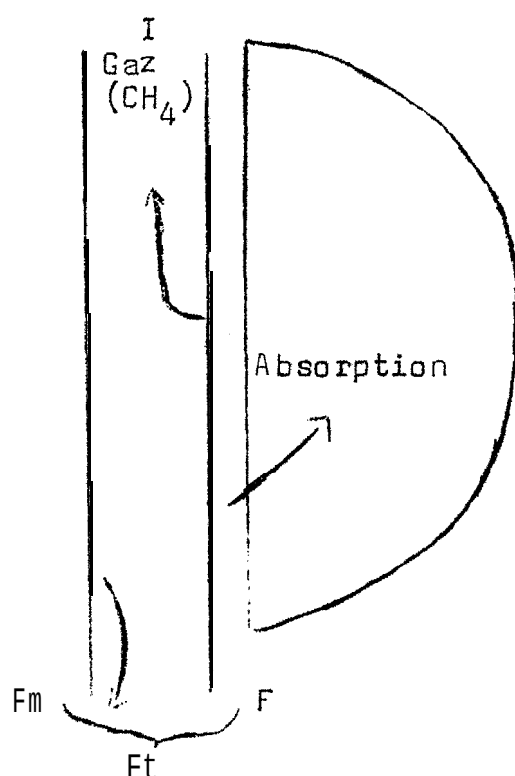
La fertilisation azotée ne modifie pas en moyenne la digestibilité de la M.O. des graminées ; mais dans certains cas elle peut modifier la digestibilité des fourrages : ainsi elle peut, en augmentant la teneur en azote, augmenter la D.M.O. de certaines graminées tropicales, généralement pauvres en azote, et dont la teneur en azote à des stades tardifs de végétation est souvent insuffisante pour assurer une activité normale des micro-organismes du rumen (SMITH, 1962 ; CHENOST, résultats non publiés)\*

#### 625 - Traitement à la soude

L'effet du traitement à la soude sur la digestibilité de la paille dépend tout d'abord du type de traitement,

C'est ainsi que les pailles broyées n'entraînent pas d'amélioration des quantités ingérées ; par contre l'amélioration pour les pailles simplement hachées est nette pour le traitement semi-humide.

### COEFFICIENTS DE DIGESTIBILITE OU D'UTILISATION DIGESTIVE



- I = Principe ingéré
- F = Principe fécal provenant directement des aliments
- Fm = Principe fécal d'origine métabolique
- Ft = Principe fécal total.

## Définition du coefficient de digestibilité<sup>ou</sup> d'utilisation digestive

On appelle coefficient de digestibilité d'un principe alimentaire la fraction des ~~ingesta~~ qui ne se retrouve pas dans les ~~féces~~.

## Mesure du coefficient de digestibilité

La détermination expérimentale du coefficient de digestibilité consiste à doser le principe alimentaire dans les ~~ingesta~~ (1) et dans les ~~féces~~ (FT).

Comme une partie (Fm) du principe dosé dans les ~~féces~~ (FT) à une origine ~~métabolique, exogène~~, pratiquement dans le cas des glucides, la digestibilité peut s'apprécier soit par le coefficient de digestibilité apparente (da) qui néglige la fraction fécale d'origine ~~métabolique~~, soit par le coefficient de digestibilité réelle (dr) qui en tient compte. On a :

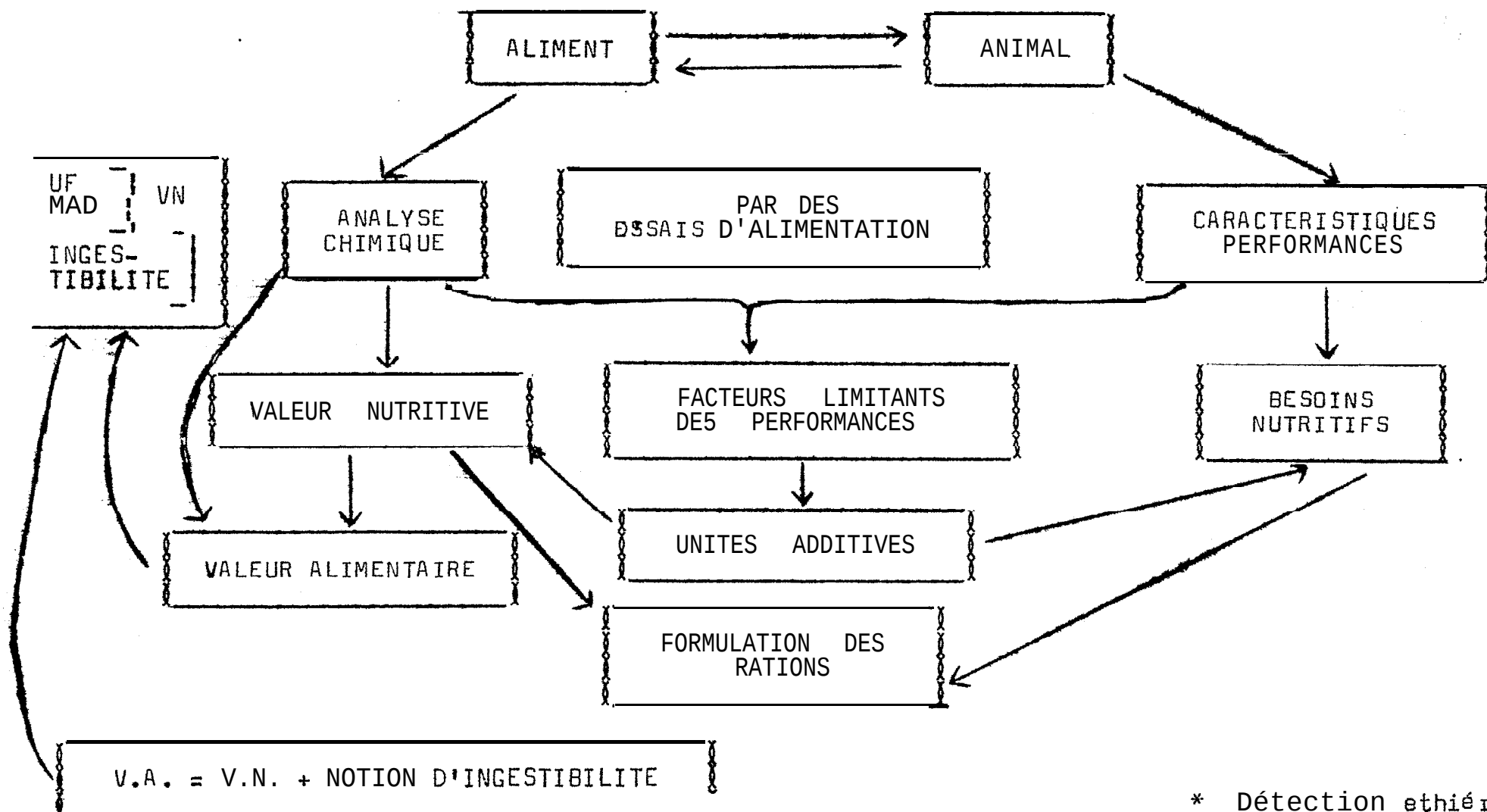
$$d_a = \frac{I - Ft}{I}$$

$$dr = \frac{I - (Ft - Fm)}{I}$$

## 626 - Complémentation azotée

Des essais réalisés par A. HODEN et M. JOURNET (1977) montrent que l'apport azoté en stimulant l'activité de la flore microbienne, permet d'accroître les quantités de ~~paille ingérée~~, sa digestibilité et donc les apports énergétiques.

FIGURE 7 - FACTEURS DE VARIATION DE LA DIGESTIBILITE



\* Détection éthérarchisati  
des F.L. en vue de détermine]  
conditions d'une bonne alimen  
tion : Energie, eau, encombre  
valeur nutritive.

FIGURE 8

DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE EN FONCTION  
DU TAUX DE CELLULOSE DE L'ALIMENT POUR DIVERSES  
ESPECES ANIMALES

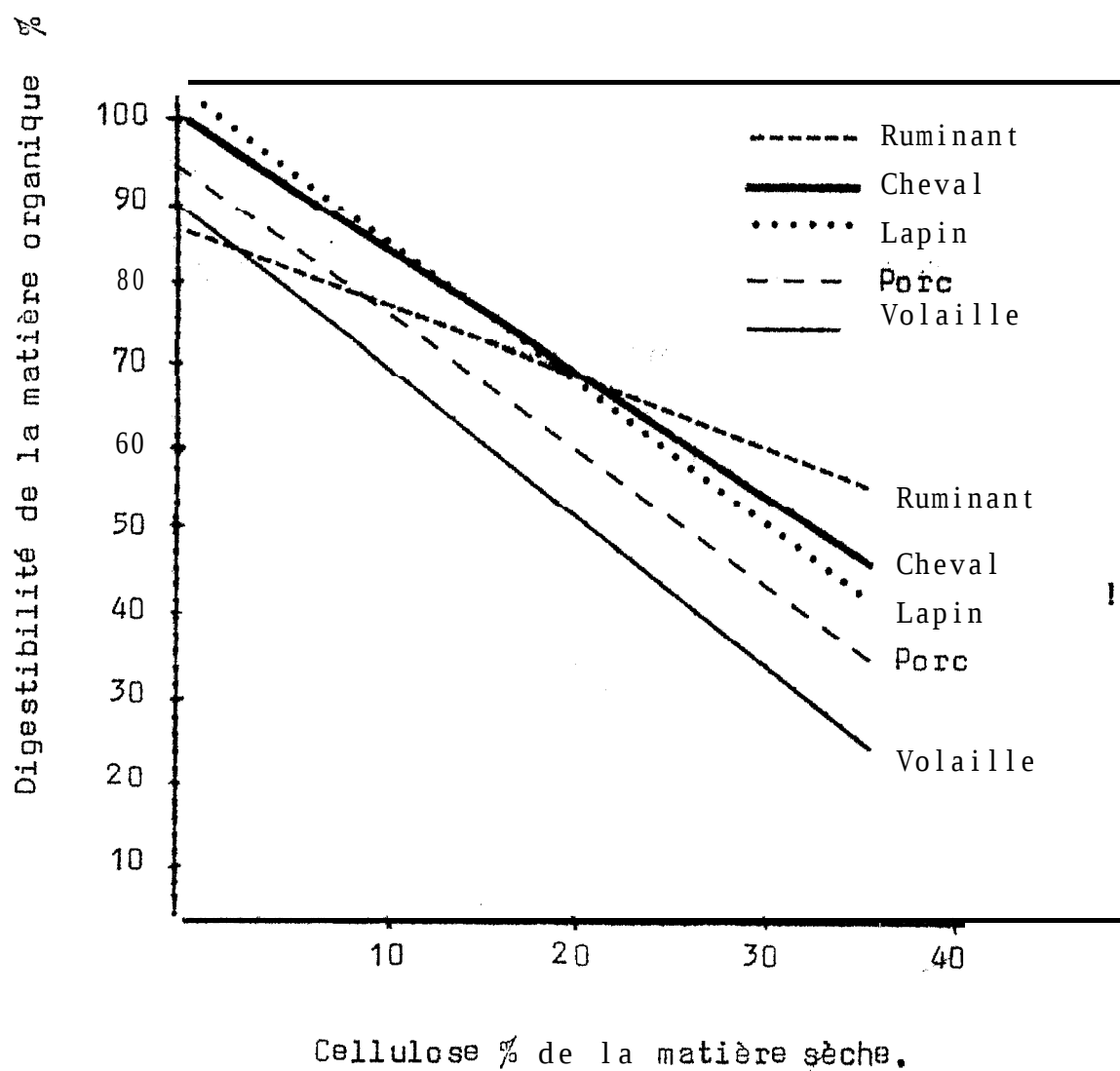


TABLEAU 9. COMPOSITION CHIMIQUE ET DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE DE QUELQUES

RESSOURCES ALIMENTAIRES

| Aliments                                           | Teneur<br>M.S. % | Diges-<br>tibi-<br>lité<br>M.O. % | % de la M.O. |                         |         | Minéraux par kg de matière sèche |      |       |      |      |     |     |    |
|----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------|---------|----------------------------------|------|-------|------|------|-----|-----|----|
|                                                    |                  |                                   | M.A.T.       | Cellu-<br>lose<br>brute | Cendres | Ca                               | N    | P     | K    | Na   | Mg  | Zn  | Mn |
| Pailles :                                          |                  |                                   |              |                         |         |                                  |      |       |      |      |     |     |    |
| Blé                                                | 90               | 42                                | 3.0          | 44                      | 6.5     | 2.5                              | 0.8  | 10    | 1.0  | 0.9  | 50  | 5   |    |
| Orge                                               | 90               | 44                                | 3.5          | 43                      | 6.0     | 4.0                              | 0.7  | 15    | 1.0  | 0.8  | 56  | 12  |    |
| Avoine                                             | 90               | 49                                | 3.5          | 43                      | 7.0     | 3.8                              | 1.0  | 20    | 2.5  | 1.2  | 130 | 15  |    |
| Seigle                                             | 90               | 45                                | 3.0          | 49                      | 5.0     | 2.5                              | 1.0  | 10    | 1.0  | 0.8  | 25  | 5   |    |
| Graminées                                          | 85               | 52                                | 5.0          | 41                      | 5.5     | -                                | -    | -     | -    | -    | -   | -   | -  |
| Pois                                               | 85               | 51                                | 8.12         | 41                      | 8.0     | 17                               | 1.7  | 12    | 1.5  | 2.6  | 28  | 61  |    |
| Sous-produits de la bet-<br>terrave :              |                  |                                   |              |                         |         |                                  |      |       |      |      |     |     |    |
| pulpe sèche                                        | 93               | 82                                | 10           | 20-22                   | 5.5     | 10.3                             | 1.0  | 6.7   | 1.5  | 2.2  | 17  | 54  |    |
| Pulpe humide                                       |                  |                                   |              |                         |         |                                  |      |       |      |      |     |     |    |
| ensilée                                            | 9-11             | 82                                | 12           | 20-22                   | 4-5     | -                                | -    | -     | -    | -    | -   | -   | -  |
| Pulpe surpres-<br>sée ensi.                        | 17-20            | 82                                | 11           | 20-22                   | 4.5     | -                                | -    | -     | -    | -    | -   | -   | -  |
| Mélasse                                            | 80               | 90                                | 13           | 0                       | 9.5     | 0.5                              | 0.1  | 40    | 10   | 0.01 | 26  | 5   |    |
| Feuilles et<br>collets ensilés                     |                  |                                   |              |                         |         |                                  |      |       |      |      |     |     |    |
| : propres.....                                     | 18-20            | 75                                | 15-16        | 15.0                    | 20-25   | 22                               | 2.5  | 60    | 10   | 4.2  | -   | 100 |    |
| sales.....                                         | 18-20            | 70                                | 13-14        | 10-12                   | 30-35   | -                                | -    | -     | -    | -    | -   | -   | -  |
| Drêches de brasserie<br>ensilées                   | 20-25            | 63                                | 30           | 14                      | 4       | 3                                | 5    |       | 6    | 2.2  | 95  | 40  |    |
| Marc de raisin ensilé                              | 30-35            | 30                                | 13           | 20-30                   | 9       |                                  |      |       |      |      |     |     |    |
| Lactosérum liquide                                 | 7                | 90                                | 12-13        | 0                       | 7-11    | 7-19                             | 6-10 | 20-25 | 7-10 |      |     |     |    |
| Besoins en minéraux par<br>kg de M.S. de la ration |                  |                                   |              |                         |         |                                  |      |       |      |      |     |     |    |
| - vache (entretien)                                |                  |                                   |              |                         |         | 4                                | 3    | 3     | 1.5  | 1.5  | 80  | 50  |    |
| - vache (15 kg de lait)                            |                  |                                   |              |                         |         | 6                                | 4    | 5     | 1.5  | 1.5  | 80  | 50  |    |
| - bovins à l'engrais.                              |                  |                                   |              |                         |         | 5.5                              | 3.5  | 4     | 1.5  | 1.5  | 80  | 50  |    |

TABLEAU 10

DIMINUTION AVEC. L'AGE DE LA DIGESTIBILITE (POINTS/JOUR)  
DES FEUILLES ET DES TIGES MESUREE PAR LA TECHNIQUE DES SACHETS  
DE NYLON ET DE LA DIMINUTION DE LA DIGESTIBILITE DE LA PLANTE ENTIERE  
MESUREE SUR LE MOUTON

| Espèces           | 1er cycle          |                 |                  | 2ème cycle         |                 |                  |
|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------|
|                   | Sachets de nylon   |                 | In vivo          | Sachets de nylon   |                 | In vivo          |
|                   | Feuilles ou limbes | Tiges ou gaines | Plantes entières | Feuilles ou limbes | Tiges ou gaines | Plantes entières |
| Luzerne           | 0                  | 0               | 0                | 0                  | 0               | 0                |
| Trèfle violet     | 0,07               | 0,57            | 0,35             |                    |                 | 0,21             |
| Sainfoin          |                    |                 | 0,43             |                    |                 |                  |
| Dactyle           | <u>0,30</u>        | <u>0,75</u>     | 0,45             |                    |                 | 0,16             |
| Fétuque des prés  |                    |                 | 0,55             |                    |                 | 0,15             |
| Fétuque élevée    | 0,20               | 0,47            | 0,27             | 0,35               | 0,09            | 0,25             |
| Ray-grass anglais |                    |                 | 0,45             |                    |                 | 0,12             |
| Ray-grass italien | 0,17               | 0,34            | 0,37             |                    |                 | 0,37             |
| Fléole            | 0,09               | 0,32            | 0,51             | 0,07               | 0,44            | 0,36             |

TABLEAU 12

C U D DE LA CELLULOSE EN FONCTION DE L'AGE

|                                 | C U D<br>cellulose |                       |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| a/ - <u>Parc. en croissance</u> |                    |                       |
| . 30 kg.....                    | 30                 |                       |
| . 80 kg.....                    | 45                 | Henry et Etienne (14) |
| b/ - <u>Mouton</u>              |                    |                       |
| . 6 mois.....                   | 58                 |                       |
| . 15 mois.....                  | 63                 | Schürch (15)          |
| c/ - <u>Lapin</u>               |                    |                       |
| . 2 mois.....                   | 43                 |                       |
| . 5 mois.....                   | 60                 | Grüningen (15)        |

TABLEAU 13

VALEUR NUTRITIVE ET QUANTITE INGEREE DES PRINCIPAUX  
FOURRAGES VERTS A QUELQUES STADES DE VEGETATION

| Espèce végétale   | N° du cycle | Stade de développement ou âge (en semaines pour les repous- ses) | Valeur nutritive |              |                   | Quantité de matière sèche ingérée (kg) |                            |                           |
|-------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|-------------------|----------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                   |             |                                                                  | Dig M.O.         | UF par kg MS | MAD (1) par kg MS | par le bœuf de 600 kg (2)              | par la vache de 500 kg (3) | Par le bœuf de 500 kg (3) |
| Dactyle           | 1           | Epi à 10 cm                                                      | 77               | 0,82         | 170               | 1,90                                   | 14,7                       | 12,6                      |
|                   | 1           | Début épiaison                                                   | 74               | 0,77         | 110               | 1,60                                   | 14,3                       | 11,4                      |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 58               | 0,48         | 60                | 1,15                                   | 11,3                       | 9,6                       |
|                   | 2           | 6                                                                | 72               | 0,73         | 140               | 1,75                                   | 14,7                       | 12,0                      |
|                   | 3           | 6                                                                | 74               | 0,76         | 145               | 1,75                                   | 14,7                       | 12,0                      |
| Fétuque élevée    | 1           | Epi à 12 cm                                                      | 78               | 0,71         | 115               | 1,60                                   | 14,5                       | 11,4                      |
|                   | 1           | Début épiaison                                                   | 72               | 0,65         | 85                | 1,50                                   | 13,6                       | 10,9                      |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 57               | 0,44         | 60                | 1,15                                   | 11,5                       | 9,7                       |
|                   | 2           | 5                                                                | 72               | 0,70         | 115               | 1,65                                   | 14,6                       | 11,5                      |
|                   | 3           | 6                                                                | 71               | 0,70         | 120               | 1,65                                   | 14,6                       | 11,5                      |
| Fléole            | 1           | Epi à 10 cm                                                      | 77               | 0,85         | 90                | 1,60                                   | 14,3                       | 11,4                      |
|                   | 1           | Début épiaison                                                   | 67               | 0,66         | 50                | 1,20                                   | 11,8                       | 9,8                       |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 57               | 0,46         | 35                | 1,05                                   | 10,6                       | 9,2                       |
|                   | 2           | 7                                                                | 73               | 0,74         | 95                | 1,50                                   | 13,8                       | 11,0                      |
|                   | 3           | 7                                                                | 76               | 0,80         | 115               | 1,40                                   | 13,1                       | 10,6                      |
| Ray-grass anglais | 1           | Epi à 14 cm                                                      | 82               | 0,92         | 123               | 1,62                                   | 14,5                       | 11,4                      |
|                   | 1           | Début épiaison                                                   | 73               | 0,78         | 74                | 1,40                                   | 13,1                       | 10,6                      |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 63               | 0,58         | 40                | 1,25                                   | 11,9                       | 9,9                       |
|                   | 2           | 6                                                                | 78               | 0,87         | 149               | 1,65                                   | 14,7                       | 11,6                      |
|                   | 3           | 6                                                                | 75               | 0,80         | 130               | 1,45                                   | 13,5                       | 10,8                      |
| Ray-grass italien | 1           | Epi à 16 cm                                                      | 79               | 0,88         | 125               | 1,70                                   | 14,7                       | 11,7                      |
|                   | 1           | Début épiaison                                                   | 72               | 0,75         | 60                | 1,55                                   | 13,9                       | 11,1                      |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 64               | 0,60         | 35                | 1,25                                   | 12,2                       | 10,1                      |
|                   | 2           | 5                                                                | 70               | 0,70         | 135               | 1,70                                   | 14,7                       | 11,7                      |
|                   | 3           | 6                                                                | 73               | 0,79         | 110               | 1,75                                   | 14,7                       | 12,0                      |
| Luzerne           | 1           | Boutons floraux                                                  | 67               | 0,64         | 160               | 1,75                                   | 12,7                       | 11,9                      |
|                   | 1           | Début floraison                                                  | 63               | 0,57         | 158               | 1,60                                   | 12,0                       | 11,9                      |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 60               | 0,51         | 140               | 1,55                                   | 11,7                       | 11,9                      |
|                   | 2           | 5                                                                | 67               | 0,65         | 175               | 1,95                                   | 13,9                       | 12,7                      |
|                   | 3           | 5                                                                | 68               | 0,66         | 195               | 1,70                                   | 12,5                       | 11,7                      |
| Trèfle violet     | 1           | Boutons floraux                                                  | 74               | 0,78         | 135               | 1,80                                   | 14,7                       | 12,8                      |
|                   | 1           | Début floraison                                                  | 70               | 0,69         | 123               | 1,65                                   | 14,7                       | 11,5                      |
|                   | 1           | Floraison                                                        | 68               | 0,66         | 115               | 1,70                                   | 14,7                       | 11,5                      |
|                   | 2           | 5                                                                | 76               | 0,79         | 195               | 2,05                                   | 14,7                       | 13,1                      |
|                   | 3           | 6                                                                | 77               | 0,78         | 175               | 1,85                                   | 14,7                       | 12,5                      |

(1) - Valeur moyenne pour les graminées recevant 60 unités d'azote avant le 1er cycle et 40 à 50 unités avant les 2e et 3e cycles.

(2) - L'aliment concentré sera ingéré en supplément s'il est distribué suivant les besoins.

**TABLEAU 74 : EVOLUTION, AVEC LE STADE DE VEGETATION DE LA COMPOSITION DE LA  
VALEUR NUTRITIVE ET DE LA QUANTITE INGEREE DE 20 MAIS SUR. PIED**

|                                             | Stades de végétation                 |                               |                                 |                                |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                                             | ***W--"----1--<br>Formation de grain | Début laiteux<br>début pâteux | Début pâteux à<br>début vitreux | Début vitreux<br>à vitreux dur |
| Nombre d'échantillons                       | 21                                   | 33                            | 23                              | 5                              |
| Teneur en matière sèche de la plante        | 17,8<br>(13,9 - 20,2)                | 22,9<br>(20,6 - 24,9)         | 27,3<br>(25,3 - 30,0)           | 32,1<br>(30,8 - 33,0)          |
| <u>COMPOSITION MORPHOLOGIQUE (p.100 MS)</u> |                                      |                               |                                 |                                |
| . Limbes                                    | 16,4<br>(10,0 - 20,8)                | 12,5<br>(10,0 - 14,4)         | 11,0<br>(8,8 - 13,2)            | 10,0<br>(9,0 - 11,7)           |
| . Tiges + Gaines                            | 44,0<br>(35,0 - 59,6)                | 30,7<br>(24,2 - 43,4)         | 25,5<br>(14,9 - 31,1)           | 22,4<br>(16,4 - 25,0)          |
| . Epis + Spathes                            | 39,6<br>(15,1 - 53,5)                | 63,2<br>(46,0 - 63,2)         | 63,5<br>(58,0 - 76,1)           | 67,6<br>(63,5 - 74,7)          |
| <u>COMPOSITION CHIMIQUE (P.100 MS) :</u>    |                                      |                               |                                 |                                |
| . Cendres                                   | 6,6<br>(4,2 - 7,9)                   | 5,5<br>(4,0 - 7,4)            | 5,2<br>(3,8 - 6,3)              | 4,7<br>(4,3 - 5,2)             |
| . Matières azotées                          | 9,9<br>(8,3 - 11,4)                  | 8,9<br>(7,6 - 10,2)           | 8,1<br>(7,1 - 9,1)              | 7,8<br>(6,2 - 8,6)             |
| . Cellulose brute                           | 22,7<br>(19,1 - 25,9)                | 20,1<br>(17,2 - 23,3)         | 18,5<br>(15,8 - 21,7)           | 17,5<br>(14,3 - 20,3)          |
| . Glucides solubles                         | -                                    | 17,9<br>(14,7 - 18,8)         | 14,1<br>(10,4 - 18,3)           | 9,5<br>(7,0 - 11,8)            |
| . Amidon                                    | -                                    | 15,7<br>(10,3 - 20,1)         | 19,6<br>(12,2 - 31,5)           | 25,4<br>(20,9 - 32,6)          |
| <u>VALEUR NUTRITIVE :</u>                   |                                      |                               |                                 |                                |
| . CUD de la matière organique(p.100)        | 70,7<br>(68,9 - 73,5)                | 71,7<br>(68,3 - 76,4)         | 71,8<br>(67,7 - 79,5)           | 72,9<br>(70,1 - 79,3)          |
| . U.F. kg de M.S.                           | 0,75<br>(0,70 - 0,81)                | 0,77<br>(0,69 - 0,88)         | 0,78<br>(0,70 - 0,95)           | 0,81<br>(0,75 - 0,95)          |

|                                                     |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| M.A.D. (en p. 100 de la M.S.)                       | 6,3<br>( 5,0 - 7,8 )  | 5,0<br>( 3,5 - 6,5 )  | 4,4<br>( 3,3 - 5,3 )  | 4,3<br>( 3,0 - 5,4 )  |
| QUANTITE DE MATIERE SECHE INGERE<br>(en g/kg PO,75) | 53,7<br>(46,0 - 61,6) | 51,9<br>(31,0 - 65,2) | 52,5<br>(38,0 - 66,6) | 51,6<br>(19,8 - 54,1) |

La quantité de fourrage que la ruminant consommera, quand le fourrage est distribué à volonté comme unique aliment, va dépendre de sa "capacité d'ingestion" et de l'ingestibilité du fourrage.

La "capacité d'ingestion" dépend de l'espèce, du sexe, de l'état physiologique, des besoins nutritifs, de la santé et du comportement alimentaire de l'animal (JOURNET, JARRIGE, 1970, FORBES, 1971).

L'ingestibilité dépend des caractéristiques biochimiques et physiques du fourrage. Elle peut être mesurée sur des animaux ayant la même capacité d'ingestion, dans des conditions standardisées, si les comparaisons doivent être faites entre fourrages,

#### 71 - Facteurs de variation

La quantité de matière fraîche consommée dépend essentiellement de la teneur en M.S. du fourrage. Au contraire, il ne semble exister aucune liaison ou des liaisons très lâches entre la QMS consommée et la teneur en M.S. du fourrage (DEMARQUILLY, 1965).

La cellulose brute est un bon critère, de la proportion de membrane (JARRIGE) et ces membranes sont essentiellement dégradées et digérées dans le rumen par les micro-organismes (la digestion dans le rumen représente 90 à 95 % de la digestion des membranes des fourrages verts dans la totalité du tube digestif : JOURNET, résultats non publiés) ; la quantité de matière sèche consommée par le mouton recevant des graminées serait donc limitée par la quantité de membranes digestibles que peuvent dégrader les micro-organismes du rumen et non par la quantité du ballast consommée per sé. Contrairement aux graminées la quantité de cellulose brute digestible ingérée pour les luzernes est variable,

Ce sont, selon DEMARQUILLY, quatre groupes de caractéristiques du fourrage, et non la seule digestibilité qui peuvent agir sur la quantité de fourrage consommée. La teneur en ballast ou en constituants membranaires indigestibles, la teneur en constituants membranaires digestibles, la structure des tissus et des membranes et la teneur en constituants cytoplasmiques (azote non protéique, glucides solubles...), ces trois derniers facteurs agissant sur la durée de la digestion dans le rumen.

L'hypothèse est actuellement admise de considérer comme évident que la consommation volontaire des fourrages est déterminée par la vitesse de dégradation de leur barrière cellulosique, (cell-wall mass) tout comme s'en doutaient CRAMPTON et al (1970) citée par JARRIGE, DEMARQUILLY et DULPHY.

### 711 - Consommation volontaire de fourrage vert

L'estimation précise de la consommation d'herbe (au pâturage) par les animaux, reste difficile. La plupart des données ont été mesurées avec du fourrage récolté, distribué aux moutons après conservation à froid (MINSON et al. 1964) ou directement après récolte (DEMARQUILLY, 1965 ; DEMARQUILLY et WEISS, 1970).

Ces expérimentations montrent une baisse de la consommation et de la digestibilité de la matière organique avec la maturité pendant le premier cycle. La relation entre consommation et digestibilité peut être considérée comme linéaire pour chaque espèce fourragère, mais la pente et la position de la ligne variant avec l'espèce.

La variation de consommation par point de digestibilité pendant le premier cycle est moindre pour les légumineuses (0,85 g/kg p 0,75) que pour les graminées (entre 1,05 et 2,23 g soit 1,6 g/kg p 0,75) et pour les fourrages de prairies naturelles (1,75 g/kg P 0,75) (DEMARQUILLY et JARRIGE, 1971).

### 712 - Consommation volontaire des foins

L'ingestion volontaire des foins dépend de celle du fourrage sur pied, mais elle est généralement inférieure en moyenne 18,5 % (+ 11 à 0,33) pour 108 foins étudiés en 1970 par DEMARQUILLY et JARRIGE.

### 713 - Consommation volontaire d'ensilage

L'ingestion volontaire de l'ensilage est généralement inférieure à celle du fourrage vert (HARRIS et REMOND, 1963 ; DEMARQUILLY et JARRIGE, 1970). L'ampleur de la diminution était très variable (de 1 à 64 %, avec une moyenne de 30 %) dans 86 comparaisons sur moutons faites par DEMARQUILLY (1973).

En accord avec les résultats de MURDOCH (1955), sur bovins ; DEMARQUILLY et DULPHY (1973) ont, de façon concluante, montré que l'ingestion d'ensilage par les moutons pouvait être augmentée en réduisant la longueur de l'ensilage.

### 714 - Régulation de l'ingestion volontaire

La consommation volontaire des fourrages est déterminée principalement par la vitesse de disparition de leur digesta dans le réticulo rumen, qui est fonction de leur vitesse de dégradation (BALCH et CAMPLING, 1961 ; CAMPLING, 1964 ; WESTON, 1967).

Elle est améliorée en broyant et en condensant les foins ou les fourrages séchés artificiellement. Elle est étroitement corrélée à la vitesse de digestion dans le rumen, mesurée à l'aide d'un sachet de nylon (DEMARQUILLY et CHESNDST, 1969 ; CHESNDST et al, 1970).

### 715 - Interaction fourrage-concentre

L'apport de concentré à un ruminant recevant un fourrage à volonté, modifie non seulement la quantité de fourrage ingérée mais aussi la digestibilité du fourrage.

La digestibilité du fourrage diminue quand la quantité d'aliment concentré ingérée augmente et cela d'autant plus que le fourrage distribué seul est peu digestible, sauf dans le cas des fourrages très pauvres en azote (pailles, mauvais foin de graminées) si l'aliment concentré apporte l'azote qui est un des facteurs limitants de la digestion microbienne de ces fourrages dans le rumen.

Quant à la quantité de fourrage ingérée, elle diminue elle aussi et cela d'autant plus que le fourrage distribué seul est ingéré en grande quantité et que la quantité d'aliment concentré est importante.

Sur cette base J.P. DULPHY appelle taux de substitution, le rapport :

$$\frac{\text{Diminution de la quantité de fourrage ingérée}}{\text{augmentation de la quantité de concentré distribuée}}$$

EXEMPLE ILLUSTRANT LES PHENOMENES DE SUBSTITUTION AVEC UN ENSILAGE DE MAIS (D'APRES VERITE ET JOURNET).

|                                                                                     |              |              |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Production de lait<br>supposée couverte par la ration de base (kg)                  | 23           | 18           | 13             |
| Apport d'aliment concentré (kg MS/100 kg PU)                                        | 0,18         | 0,45         | 0,80           |
| Quantité de M.S.I. (kg M.S/100 kg PV) :                                             |              |              |                |
| - - ensilage ration totale                                                          | 2,52<br>2,70 | 2,42<br>2,93 | 22,13<br>22,93 |
| Taux de substitution                                                                |              |              |                |
| = $\frac{\text{kg M.S. de fourrage en moins}}{\text{kg M.S. de concentré en plus}}$ |              | 0,15         | 1              |
| UFL supplémentaire/kg M. S. concentré supplémentaire (1)                            |              | 0,97         | 0,27           |
| Production de lait à 4 % M.G.                                                       | 22,2         | 25,9         | 25,9           |
| Taux butyreux g p. 100.                                                             | 39,7         | 38,9         | 37,9           |
| Taux azoté g p. 100                                                                 | 31,7         | 32,7         | 32,7           |

(1) . Calcul théorique effectué en supposant que la valeur UFL des aliments n'est pas modifiées.

On peut retenir, selon le type de fourrage, le taux de substitution suivant :

en (kg M.S./100 kg P.V.).

| Niveau d'ingestion<br>kg M.S./100 kg P.V. | Taux de substitution | Nature du fourrage                                                                                                 |
|-------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,5<br>1,8                                | 0,2<br>0,3           | mauvais foins et mauvais, ...<br>ensilages.                                                                        |
| 2,1<br>2,3                                | 0,4<br>0,5           | bons foins et ensilages<br>moyens.                                                                                 |
| 2,5<br>2,7                                | 0,6<br>0,7           | bons ensilage d'herbe et de<br>maïs                                                                                |
| 2,8                                       | 0,8<br>à<br>0,9      | fourrages deshydratés<br>fourrages verts très diges.<br>tibles<br>Ensilage de maïs au stade<br>avancé de maturité. |

\*\*\*\*\*

Il est bien connu que la paille brute a une valeur alimentaire limitée, restreignant son utilisation dans les rations pour ruminants.

Or, il est possible, et de nombreux travaux à ce sujet le démontrent, de tirer un meilleur parti de l'énergie contenue dans les pailles par différents types de traitements.

Ces procédés ont des degrés de complexité variables et comprennent entre autres : la mouture fine, la transformation en boulettes, l'irradiation par des électrons à hautes-Énergies et la dégradation chimique.

C'est la dégradation chimique qui paraît offrir le produit final de la meilleure qualité et au meilleur prix.

#### 81 - Paramètres de traitement

Pour MELCION, il s'agit a priori :

- d'assurer un contact, le meilleur possible entre un solide grossier et un liquide, Ce contact est favorisé par le broyage du substrat et la pulvérisation et/ou le mélange du réactif liquide.

- d'achever de rompre, partiellement du moins, les structures celluloses par action de la pression, soit mécanique (agglomération) soit purement physique (injection de vapeur haute pression), La pression a également un rôle de répartition complémentaire du réactif entre les particules solides.

- de favoriser la réaction chimique d'hydrolyse par le choix et la quantité des réactifs, leur concentration en milieu aqueux et l'apport de calories. Cet apport de calories n'est pas absolument nécessaire dans certains procédés mais le plus souvent il peut être réalisé lors de l'action de la pression qui s'effectue toujours avec dégagement de chaleur.

#### 82 - Traitements physiques (mécaniques)

Ils consistent à réduire la dimension des particules par hachage, dilacé ration, broyage, afin d'augmenter la surface de contact du mur cellulaire avec les enzymes et bactéries digestives,

#### Influence du broyage, du hachage et du mode d'incorporation

##### 821 - Broyage

J.P. DULPHY rapporte que l'effet du broyage est très important sur l'ingestibilité des pailles.

Indépendamment de tout traitement par les alcalis, un broyage plus ou moins poussé de paille de blé incorporée jusqu'à 45 % dans une ration, n'entraîne pas de modification significative des performances selon HOLZER et al., 1976, quelle que soit l'humidité de cette ration.

Or après traitement par la sonde, si l'on note "in vitro" une digestibilité accrue de la paille la plus finement broyée par rapport à la même paille seulement hachée (CHANDRA et JACKSON, 1971, cites par MELCION), cette différence s'atténue "in vivo" pour devenir non significative (CARMONA et GREENHALGH, 1972), du moins en dessous d'un certain seuil (brins de 3 cm environ) dans les conditions expérimentales pratiquées.

MELCION fait remarquer que des opérations physico-mécaniques, comme l'action de la vapeur et l'agglomération, ont une action de dilacération des structures fibreuses qui n'est pas négligeable et peut masquer l'influence du broyage proprement dit.

## 822 - Hachage

La réduction de la taille des particules des fourragas pourra être faite à différents degrés.

Un simple hachage donnera des brins d'environ 10 cm de longueur, tandis que le broyage pourra conduire à des brindilles de 0,8 cm de long. En-dessous de cette dernière valeur, on risque de provoquer des troubles digestifs graves chez l'animal, notamment chez la vache laitière où le broyage très fin des aliments de la ration entraîne une chute du taux butyreux du lait. Entre les deux valeurs précédents (0,8 cm - 10 cm), toutes les finesses de broyage seront possibles. L'agglomération des particules pourra être réalisée suivant trois méthodes :

- directement dans une presse à filières : fourrages compacts ou "cobs"
- directement dans une presse à piston : fourrages comprimés ou "Wafers",
- après broyage ou passage dans la presse à filières : fourrages condensés ou "pellets".

Il résulte de ces traitements des modifications :

- de la composition chimique du fourrage,

La principale cause de ces modifications est l'élévation de température au cours de ces traitements, laquelle est plus importante avec les fourrages pauvres qu'avec les autres aliments (MELCION et D. LAVAL, 1972).

Selon MARCHANT, 1972, cite par DARWICHE, la température atteinte au cours du broyage est de l'ordre de 65°C tandis qu'elle s'élève à 140°C au cours de l'agglomération à sec.

- des quantités ingérées.

JOURNET et JARRIGE (1967) ont montré que les traitements mécaniques augmentent les quantités ingérées de 1,73 fois dans le cas d'un foin de bonne qualité et de 4 fois dans le cas d'un mauvais foin par rapport au même foin long.

• de l'utilisation digestive des fourrages pauvres.

JOURNET a aussi montré que les traitements mécaniques réduisent le temps de séjour des particules dans le rumen, ce qui se traduit par un accroissement des quantités ingérées et une diminution de la digestibilité apparente, de même que l'effet du traitement sur la digestibilité de la ration est d'autant plus faible que la qualité des fourrages est mauvaise,

### 823 - Mode d'incorporation

On peut se demander si le trempage n'assure pas un contact plus complet entre le substrat et le réactif que la pulvérisation, dont la réalisation pratique est parfois aléatoire. D'autre part, la réaction cellulose + alcali semble être liée à l'activité de l'eau dans le produit, donc favorisée par une certaine humidité.

Au-delà d'un certain seuil, environ 30 % d'eau ajoutée, l'accroissement de la digestibilité (LEVY et al., 1977) de la M.S. in viva et in vitro est acquis plutôt par la quantité de réactif ajoutée que par la quantité d'eau, ce qui laisserait penser que la moindre efficacité du traitement par pulvérisation est fort probablement due aux difficultés du mélange de la paille avec la solution, et de grandes quantités d'eau sont un facteur de bonne homogénéisation.

### 83 - Traitements physico-chimiques

Le principe est de faire recours à des alcalis ou oxydants pour rompre la barrière ligno-cellulosique du mur cellulaire.

La "délignification" entraîne une meilleure digestion de la cellulose (SINGH et al. 1974) (HARAS). En effet le traitement de la paille à la soude solubilise la silice et la lignine et détruit les liaisons esters, entre les acides moniques de la lignine et la cellulose et les hémicelluloses (SAXENA et al. 1971, CINETE et al 1976). A la suite de ce traitement, la membrane se gonfle et peut être attaquée plus facilement par les bactéries cellulolytiques ; ceci entraîne une augmentation de la digestibilité de la paille (ARKOW et FEIST, 1969 ; JACKSON, 1977), auteurs cités par HARAS, 1979,

### 831 - Nature des substrats en présence

Il est certain que les pailles des différentes espèces de graminées, les résidus de cultures industrielles (COXWORTH, 1977, communication personnelle, citée par MELCION) ou les sous-produits de décorticage (LEVY et al. 1977) ne réagissent pas de la même manière aux traitements physico-chimiques,

Ainsi la paille de blé est mieux valorisée par : addition de soude que d'autres pailles de céréales (PIATOWSKI et al., 1974), ainsi que les rafles de maïs (CHANDRA et JACKSON, 1971) peut être en liaison inverse de la teneur en lignine selon FEIST et al., 1970 qui ont travaillé sur divers types de sciures de bois,

Le choix d'un réactif,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , eau oxygénée +  $\text{Fe}$ , peut se poser dans les mêmes termes,

### 832 - Mode d'action de la soude

Une des méthodes les plus efficaces est le traitement par la soude, qui, en attaquant la lignine, permet d'augmenter la digestibilité des membranes. (JOUANY, 1975). Les doses d'emploi sont le plus souvent comprises entre 40 et 60 g de soude pure (en paillettes) par kg de paille, l'attaque se faisant par voie "sèche" ou "humide".

#### 832 1 - Procédé "sec"

Afin de limiter les pertes par lessivage, WILSON et PIGDEN (cités par MBODJ) ont préconisé en 1964 un procédé "semi sec". Dans la voie "sèche" une petite quantité de solution concentrée de soude (300 ml d'une solution à 15-20 % de soude par kg de paille) est pulvérisée sur la paille hachée ou broyée en mélangeant avec soin pour obtenir une répartition homogène. La paille traitée est alors agglomérée. L'augmentation très importante de la pression et de la température lors du passage dans la presse permet à la soude d'agir efficacement en quelques secondes sur la paille,

#### 8322 - Procédé "humide"

Dans la voie "humide" on emploie 40 à 60 g de soude pure diluée dans 2 à 3 litres d'eau par kg de paille. La paille est arrosée de façon homogène à cette solution de soude diluée qu'on laisse agir au maximum pendant 24 heures, en remuant 2 ou 3 fois, avant la distribution de paille aux animaux :

- discontinu : le plus ancien des procédés mis au point à l'origine en Allemagne durant la première guerre mondiale par BECKMANN, 1919, consiste en un trempage de la paille, hachée ou en balles, dans une solution à 1,5 p. 100  $\text{NaOH}$  à température durant 4 à 24h. Le liquide est ensuite drainé et la paille rincée pour éliminer l'excès d'alcali, Mais à l'heure actuelle ce procédé connaît certains inconvénients qui en limitent l'utilisation,

- discontinu : procédé développé à partir du premier par HART et al., 1975 ainsi que REXEN et al. 1976.

#### 832 3 - Autoclave :

La vapeur à haute pression peut être appliquée au substrat cellulosique avec ou sans intervention de soude ou d'ammoniacale. L'efficacité du traitement est cependant bien supérieure en présence d'alcalis, en particulier de soude selon HART et al. 1975,

#### 832 4 - Ammoniation en place

Une variante du procédé "humide" consiste à ajouter à la paille une solution d'ammoniacale 15N à raison de 4 à 7 p. 100  $\text{NH}_3$  par rapport au substrat par une simple aspersion sur les balles regroupées en silo. Une lessive de soude peut être ajoutée éventuellement dans les mêmes conditions. L'ensemble est ensuite recouvert d'une enveloppe étanche.

Les auteurs Norvégiens (HOMB et al., 1976) et Canadiens (KERNAN et al., 1977) ont eux préférés une injection directe de gaz ammoniac anhydre dans la masse du silo au moyen de rampes d'injection disposées à 2 m les unes des autres. La répartition du gaz et sa fixation sur les brins de paille, grâce à leur humidité initiale (15 p.100), s'effectue assez rapidement ; la durée de la réaction est en proportion inverse de la température ambiante :

60 jours à 0°C  
30 jours à 10°C  
15 jours à 20°C.

L'amélioration de la digestibilité obtenue par ce procédé est relativement faible, de 3 % pour la paille d'avoine à 9 % pour la paille de blé in vitro (MELCION) mais son intérêt pourrait résider en l'apport simultané d'azote non protéique,

### 833 - Conclusion

Qu'elle soit traitée par voie "sèche" ou par voie "humide" la paille peut être distribuée telle qu'elle aux animaux sans lavage ni neutralisation, le sodium étant facilement éliminé par les reins dans la mesure où les animaux ont suffisamment d'eau à leur disposition.

Le traitement à la soude augmente la digestibilité de la paille de 12-13 points avec 4-6 % de soude (environ 0,16 UFL) ; pour les procédés par voie "sèche" et semis-humide, la digestibilité des pailles traitées est donc égale à environ 60, DULPHY dans ses essais trouve une amélioration de 9 points (0,12 UFL) avec 5 % de soude. Selon lui, un autre facteur joue un rôle très important au niveau du rationnement, c'est la limitation de l'apport de paille, le complément étant également limité. Les résultats obtenus à ce sujet sont nets : dans 11 comparaisons effectuées lorsque les quantités de la ration totale ont été diminuées de 357 g de M.S./jour (-25 %), la digestibilité de la paille traitée est passée de 48,9 à 55,5 (1,8 point/100 g), ce qui est considérable et beaucoup plus élevé que pour les pailles non traitées.

### 84 - Traitements biologiques

Le principe est de conserver les fourrages verts ou d'autres aliments à l'état humide avec le minimum de pertes de matière sèche et de valeur nutritive, sans formation de produits de fermentation dangereux pour la santé des animaux, en milieu anaérobie soit tels quels, soit en y ajoutant des additions chimiques,

Appliquant les résultats des travaux de WAISS et collaborateurs, DON A, TOENJES cite par Mbodj, a réussi à conserver des pailles de blé, de sorgho et de maïs pendant 2 ans dans des fûts hermétiques. La technique actuelle utilisée consisterait à pulvériser l'ammoniac sur les pailles au moment de la mise en bottes, ce qui permet de conserver des produits à l'état humide sans le développement de moisissures avec un niveau azoté amélioré.

Un hachage en brin courts (0,5 cm, ensileuse à tambour) par comparaison à un hachage en brins moyens (5 à 15 cm, ensileuse à plateau hacheur) et surtout par comparaison à un hachage en brins longs (10 à 25 cm, ensileuse à fléaux) permet d'améliorer de façon importante la qualité de conservation comme le montrent les

~~Un fourrage s'ensile facilement dans la mesure où :~~

- il contient suffisamment de glucides solubles (teneur // 10-12 % de M.S.), substrat nécessaire à la fermentation lactique ;

- il a un pouvoir tampon faible, c'est-à-dire qu'il faut moins d'acide formé naturellement (acide lactique) ou ajouté artificiellement (acide formique par exemple) pour abaisser son pH en dessous de la valeur inhibant la fermentation butyrique.

TABLEAU 15 : INFLUENCE DU BROYAGE SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES PAILLES (Mouton de 60 kg). (d'après A. XANDE). I.N.R.A.

|                                            | Forme longue<br>(hachée)                                  | Pellets distri-<br>bués à volonté.         |                                                          | Pellets distri-<br>bués en quantité<br>limitée. |                                                    |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                            | Digesti-<br>bilité<br>de la<br>matière<br>organi-<br>que. | Quantités<br>ingérées<br>(MS) de<br>paille | Digesti-<br>bilité<br>de la<br>matière<br>organi-<br>que | Quantités<br>ingérées<br>(MS) de<br>paille      | Digesti-<br>bilité de<br>matière<br>organi-<br>que |
| Paille d'orge<br>(+ 280 g MS<br>concentré) | 47,2                                                      | 933                                        | 41,1                                                     | 160,7                                           | 40,7                                               |
| Paille de blé<br>(+ 280 g MS<br>concentré) | 41,8                                                      | 907                                        | 38,5                                                     | 1445                                            | 39,3                                               |

TABLEAU 16 : INGESTIBILITE DES PAILLES ETUDIEES A THEIX (I.N.R.A.)  
(avec 280 g de MS de concentré Par jour) (DULPHY,  
DEMARQUILLY, XANDE).

|        | n | Quantités de MS<br>de paille ingé-<br>rées | Indice de<br>DEMARQUILLY | Digestibilité de<br>la matière orga-<br>nique |
|--------|---|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Blé    | 9 | 712<br>(428 - 1142)                        | 42<br>(18 - 76)          | 41,3<br>(36,5 - 43,5)                         |
| Orge   | 9 | 688<br>(553 - 933)                         | 46<br>(37 - 62)          | 44,8<br>(39,8 - 51,0)                         |
| Avoine | 3 | 716<br>(654 - 788)                         | 47<br>(43 - 52)          | 44,8<br>(47,9 - 50,6)                         |

N.B. : Indice de DEMARQUILLY = 100 pour 41 = 1512 g/jour.  
(moyenne de tous les fourrages verts étudiés).

TABLEAU 17  
ESSAI DE BILAN COMPARATIF  
DES PROCÉDES DE TRAITEMENT DE LA PAILLE PAR LA SOUDE

|                                                         | Consommation<br>de NaOH<br>(% de la paille) | Consommation<br>d'énergie<br>spécifique<br>---L---W- | Rendement<br>en M.S.  | Digestibilité<br>in vivo | Pollution<br>apportée<br>T - M - |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                                                         |                                             |                                                      |                       |                          |                                  |
| Procédé "humide"<br>discontinu (BECKMANN).....          | 7 - 8                                       | +                                                    | 80                    | 60 - 70                  | Importante                       |
| Procédé "humide"<br>discontinu ou semi sec, .....,      | 5-8                                         | f.l.                                                 | 90 - 95               | 80 §                     | Faible                           |
| Procédé à la vapeur.....                                | 4.                                          | +++                                                  | 85 - 95<br>50 - 67 §§ | 70 - 90                  | Notable                          |
| Procédé "sec" par<br>pulvérisation ████████████████████ | 4 - 6                                       | ++                                                   | 100                   | 67                       | Nulle                            |

§ : CUD in vitro

§§ : si neutralisation et 1

**TABEAU 18 : COMPARAISON ENTRE L'UTILISATION DE PAILLES TRAITEES OU NON A LA SOUDE : RESULTATS DES ESSAIS SUR GENISSES (DULPHY J.P. et col. Bull, Tech. CRZV de Theix - 4 30 - 1977).**

| Essai | Type de paille utilisée        | Animaux (lieu)                    | Régimes                            | Quantités ingérées/jour (kg M.S. p.100 kg P.V.) |          |          |       | Poids vif moyen (kg) | Gain moyen (g) |
|-------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|----------|-------|----------------------|----------------|
|       |                                |                                   |                                    | Paille                                          | Complém. | Tourteau | Total |                      |                |
| I     | Paille traitée par voie sèche  | Génisses SA 1 an (Marcenat)       | Paille ordinaire ad libitum        | 1,19                                            | 0,46     | 0,21     | 1,86  | 297                  |                |
|       |                                |                                   | Paille traitée ad libitum          | 1,68**                                          | 0,44     | 0,20     | 2,32  | 312                  |                |
|       |                                |                                   | Paille traitée en q.limitée        | 1,14**                                          | 0,46     | 0,21     | 1,81  | 297                  |                |
| II    |                                | Génisses FF 2 ans (Orcival)       | Paille ordinaire ad libitum        | 0,91                                            | 0,77     | 0,20     | 1,88  | 434                  |                |
|       |                                |                                   | Paille traitée ad libitum          | 1,00                                            | 0,74     | 0,20     | 1,94  | 451                  |                |
| III   | Paille traitée par voie humide | Génisses laitières 1 an (Orcival) | Paille ordinaire ad libitum        | 1,25                                            | 0,50     | 0,17     | 1,91  | 315                  |                |
|       |                                |                                   | Orge ad libitum                    | 0,84                                            | 0,76     | 0,19     | 1,79  | 332                  |                |
|       |                                |                                   | Paille ensilée ad libitum          | 1,27                                            | 0,49     | 0,17     | 1,92  | 321                  |                |
|       |                                |                                   | Orge ad libitum                    | 1,03                                            | 0,75     | 0,19     | 1,96  | 334                  |                |
|       |                                |                                   | Paille ensilée en quantité limitée | 1,00                                            | 0,50     | 0,17     | 1,66  | 315                  |                |
|       |                                |                                   | Orge en quantité limitée           | 0,75                                            | 0,75     | 0,19     | 1,69  | 333                  |                |
| IV    |                                | Génisses SA 2 ans (Marcenat)      | Paille ordin. ad libitum           | 1,15                                            | 0,24     | 0,13     | 1,52  | 465                  |                |
|       |                                |                                   | Paille ensilée ad libitum          | 1,47                                            | 0,24     | 0,13     | 1,84  | 471                  |                |
|       |                                |                                   | Paille ensilée en q.limitée        | 1,16                                            | 0,25     | 0,13     | 1,54  | 455                  |                |

\* Les résultats suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

\*\* dunt 0,06 kg M.S. de paille longue/100 kg P.V.

NB - Seules les pailles traitées et ensilées sont comparables.

\*\*\*\*\*

A condition d'être effectuée dans des appareils bien réglés (température des gaz de sortie inférieure à 120°C), la deshydratation ne modifie pas la digestibilité et l'ingestibilité des graminées. En revanche, elle diminue un peu la digestibilité (de 3 points environ) et l'ingestibilité (de 10 % environ) des légumineuses par suite de la vitesse de dessiccation très différents de leurs feuilles et de leurs tiges. Par contre les légumineuses supportent beaucoup mieux la conditionnement (broyage et agglomération) qui suit la deshydratation (DEMARQUILLY, 1976).

Différentes techniques utilisées par le laboratoire de fabriques des mélanges alimentaires expérimentaux du CNRZ, ont permis de juger la qualité physique des agglomérés :

- la friabilité (% de fines)
- la granulométrie.

Les essais montrent que la friabilité des fourrages comprimés est importante (en moyenne 54,5 % de fines contre 21,9 pour les mêmes fourrages compactes) ; les graminées sont plus friables (60 % de fines) que les luzernes (38 % de fines). Pour la granulométrie, exprimée en pourcentage de particules supérieures à 1,25 mm, les fourrages comprimés en contiennent en moyenne 52,2 % ; il n'y a aucune différence entre les graminées (52,3 %) et les luzernes (51,8 %).

Classification des fourrages agglomérés :

| Nature de presse              | Usage ou non du broyeur | Terminologie française | Terminologie anglo-saxonne | Forme du produit aggloméré          |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Presse à matrice couronne     | oui                     | Produit condensé       | Pellets                    | Bouchons ou granulés Ø 3 mm         |
| ou matrice plateau            | non                     | produit compacté       | cobs                       | Ø 8 à 16 mm                         |
| Presse à piston               | non                     | Produit comprimé       |                            | Galettes de Ø 60 mm                 |
| Presse à compression variable | non                     | Briquettes (hachés)    | Wafers                     | Rectangles de section 30 mm x 40 mm |

Le traitement ~~technologique des pailles~~ peut en accroître l'intérêt, mais le premier progrès à réaliser est celui du conditionnement au champ pour faciliter les manutentions et réduire les pertes lors du ramassage :

- la deshydratation effectuée dans des appareils bien réglés ne modifie pas ou très peu l'acceptabilité et la ~~valeur énergétique du fourrage~~ mais ~~ne provoque~~ généralement une diminution de la valeur azotée ;

- par contre le conditionnement a une influence importante sur la valeur alimentaire ~~des fourrages deshydratés~~ ;

- sur le plan nutritionnel, le compactage des ~~fourrages~~ semble le plus intéressant : en effet, tout en permettant une ingestion maximum d'éléments nutritifs, il semble mettre l'animal à l'abri des ennuis digestifs si on se réfère au temps de rumination.

TABLEAU 19

INFLUENCE DU MODE DE CONDITIONNEMENT  
SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES DESHYDRATES

| Modu de conditionnement                     | Niveau d'ingestion | Diminution de la digestibilité de la matière organique |             | Quantité de matière sèche ingérée en % de la matière sèche ingérée sous forme hachée |          |
|---------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                             |                    | Graminées                                              | Luzernes    | Graminées                                                                            | Luzernes |
| Comprimé                                    | ad libitum         | -1,0 (n=2)                                             | - 1,0 (n=4) | 109                                                                                  | 109      |
| Compacté                                    | ad libitum         | -6,0 (n=7)                                             | - 2,5 (n=6) | 129                                                                                  | 126      |
| Condensé après broyage à la grille de 20 mm | ad libitum         | -6,5 (n=3)                                             | - 2,5 (n=4) | 133                                                                                  | 130      |
|                                             | limité             | 0 (n=2)                                                |             |                                                                                      |          |
|                                             | ad libitum         | -9,5 (n=5)                                             |             | 134                                                                                  |          |
|                                             | limité             | -4,0 (n=2)                                             |             |                                                                                      |          |
| 10 mm                                       | ad libitum         | -12,0 (n=2)                                            | -4,0 (n=4)  | 128                                                                                  | 127      |
| 3 mm                                        | ad libitum         | - 4,0 (n=2)                                            | -0 (n=4)    |                                                                                      |          |

TABLEAU 20.

INFLUENCE DU STADE DE RECOLTE ET DU MODE DE CONDITIONNEMENT  
SUR LA QUANTITE DE MATIERE SECHE DE FETUQUE ELEVEE DESHYDRATEE  
INGEREE PAR LE MOUTON DE 60 KG

|                 | Matière sèche ingérée (g/j) |          |          |              |               |
|-----------------|-----------------------------|----------|----------|--------------|---------------|
|                 | haché                       | Comprimé | Compacté | Conden. 10mm | Condensé 3 mm |
| Début Qpaison   | 1575                        | 1650     | 1735     | 1705         | 1730          |
| Pleine épiaison | 1110                        | 1270     | 1600     | 1775         | 1695          |

TABLEAU 21

UTILISATION DIGESTIVE ET METABOLIQUE, ENERGIE NETTE SUIVANT LE  
MODE DE CONDITIONNEMENT (VERMOREL et al., 1.973)

| Fourrage<br>Mode de conditionnement          | Fétuque    |            |           | Luzerne    |            |            |
|----------------------------------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
|                                              | haché      | compacté   | Condensé  | haché      | Compacté   | Condensé   |
| Matière sèche ingérée<br>(kg/jour)           | 1,49       | 1,42       | 1,78      | 1,51       | 1,99       | 2,08       |
| Digestibilité de<br>l'énergie                | 73,3       | 71,1       | 64,9      | 54,6       | 53,7       | 52,8       |
| E métabolisable %<br>E brute                 | 63,4       | 60,4       | 56,3      | 45,6       | 46,2       | 45,7       |
| Energie nette (entre,<br>tension production) |            |            |           |            |            |            |
| kcal/g de M.S.                               | 1,67       | 1,70       | 1,62      | 1,11       | 1,17       | 1,23       |
| en valeur relative                           | <u>100</u> | <u>102</u> | <u>97</u> | <u>100</u> | <u>106</u> | <u>110</u> |

TABLEAU 22

NIVEAU D'INGESTION ET GRANULOMETRIE :  
EFFET SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DE LA CELLULOSE  
ET LE TRANSIT- ALIMENTAIRE DE L'HERBE DESHYDRATEE  
CHEZ LE MOUTON

| Foin               | M.S. ingérée<br>g. | C U D MS*<br>% | Vitesse de<br>transit (h.) |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------------------|
| Long . . . . .     | 600                | 80             | 103                        |
|                    | 1500               | 79             | 68                         |
| Compacté . . . . . | 600                | 77             | 74                         |
|                    | 1500               | 70             | 42                         |
| Condensé . . . . . | 600                | 76             | 53                         |
|                    | 1500               | 65             | 34                         |

Blaxter et al

TABLEAU 23

EFFET DU TAUX DE CELLULOSE SUR LA DISPONIBILITE  
DES MINERAUX DE TOURTEAUX D'OLEAGINEUX

|              | Taux de<br>disponibilité | r           |                 |
|--------------|--------------------------|-------------|-----------------|
|              |                          | Ac.phytique | Cellulose brute |
| P . . . . .  | 74 = 89                  | = 0,93      | = 0,91          |
| Ca . . . . . | 65 = 86                  | = 0,93      | = 0,73          |
| Mg . . . . . | 56 = 77                  | = 0,61      | = 0,81          |
| Mn . . . . . | 46 = 76                  | = 0,51      | = 0,78          |
| Zn . . . . . | 42 = 66                  | = 0,33      | = 0,59          |

## CHAPITRE X

## COMPLEMENTATION ET UTILISATION DES FOURRAGES

\*\*\*\*\*

La paille peut, sûrement permettre de subvenir aux besoins cellulosiques et à une partie des besoins énergétiques des ruminants, mais elle nécessite l'emploi de céréales et d'azote complémentaires en quantité importante,

101 - Les céréales

Les céréales ont une digestibilité et une valeur énergétique élevées, de l'ordre de 1 UF par kg de M.S. Cependant elles sont pauvres en matières azotées (70 g MAD/kg de M.S.). On peut utiliser les céréales dans une ration à base de fourrages pauvres (paille par exemple) dans l'alimentation des vaches laitières. Sa proportion dépendra de la paille utilisée, du traitement éventuel, de la Production laitière et du poids de la vache. Ainsi, pour une vache laitière de 600 kg produisant 20 kg de lait par jour, si on utilise de la Paille traitée (broyée grossièrement, puis traitée à la soude et agglomérée) (0,60 UF), la proportion de céréales est de l'ordre de 20 % de la ration. En utilisant de la paille normale (non traitée), la proportion de céréales est de l'ordre de 40 - 50 % de la ration,

102 - L'urée et les tourteaux

Un apport d'azote sous forme non protéique améliore la valeur alimentaire de tous les fourrages pauvres et en particulier des pailles qui ont des teneurs en matières azotées (N x 6,25) de 2,5 à 5 % dans la matière sèche,

La quantité de la paille influe sur le niveau d'ingestion des sources d'azote non protéiques offertes en libre service. Avec la paille à plus de 6 % de M.A. ingérée en plus grande quantité la consommation d'urée n'a été que de 17 g/100 kg de P.V., contre 33 g avec de la paille à 2,6 % de M.A.

Plusieurs essais (HODEN et al., 1975), réalisés avec des génisses en lots, ont montré que la complémentarité azotée pouvait être effectuée à partir de mélanges à base d'urée offerte en libre service sous différentes formes (pulvérulente, blocs à lécher, liquide, agglomérée); et l'étude du comportement alimentaire des

... animaux a permis de montrer que ces modes de présentation permettaient de répartir l'ingestion d'urée au cours de la journée, ce qui réduit les risques de toxicité et offre des conditions favorables à une bonne utilisation de l'azote non protéique.

Les meilleurs résultats seraient obtenus avec la forme liquide, principalement avec la paille pauvre en azote, ce qui peut être attribué en partie à une ingestion supérieure d'énergie provenant de l' $\text{NH}_3$  par les bactéries,

#### 103 - L'ensilage de maïs plante entière

L'intérêt de l'ensilage de maïs pour alimenter les vaches laitières tient principalement à trois causes :

- le niveau des apports énergétiques qu'il permet lorsqu'on le distribue ad libitum est élevé grâce à sa concentration énergétique (0,75 UF/kg M.S.), supérieure d'environ 65 p.100 à celle des Foins de qualité courante et à son niveau d'ingestion égal à celui des foins de très bonne qualité lorsque le maïs, bien conserve, est récolté entre 25 et 35 p.100 de M.S.

- le niveau énergétique des rations de base est beaucoup moins variable que celui des rations de foins et d'ensilage d'herbe.

- il est possible de simplifier les rations à l'extrême en supprimant le foin et l'ensilage d'herbe sans nuire, ni à la santé, ni au niveau de production laitière permis, à condition toutefois de veiller à l'équilibre azoté et minéral des rations (DEMARQUILLY, HAUREZ, JOURNET, LELONG, MALTERRE),

#### 104 - Les sous-produits de betterave sucrière

##### 1041 - Les pulpes

On peut les utiliser à une proportion d'environ 40 % de la M.S. de la ration. Ces pulpes peuvent compléter les fourrages pauvres en énergie, mais elles apportent peu d'azote.

L'urée convient très bien pour compléter, en azote, les pulpes et les fourrages pauvres.

##### 1042 - La mélasse

Elle contient essentiellement des glucides solubles (de 60 à 65 % de la M.S.) qui fermentent rapidement dans le rumen. Elle a une valeur énergétique de 0,85 UF et 85 g M.A.D. par kg de M.S., mais contient un excès de potassium qui la rend laxative. Incorporée à la paille à raison de 10 à 20 %, elle en améliore l'appétibilité et représente un bon support pour l'urée grâce à l'apport d'énergie par ses glucides.

#### 105 - Les drèches de brasserie

Elles sont riches en azote (30 % de la M.S.) d'une faible solubilité et ont une valeur énergétique de 0,80 UF par kg de M.S. et 200 g de M.A.D./kg M.S. Elles ont une digestibilité relativement faible (60 - 65 %).

176

les

On peut/utiliser, pour compléter des fourrages pauvres en M.A. à raison de 25 g par jour chez la vache,

106 - Les sous-produits laitiers

1061 - Le lactosérum

Il contient environ 7 % de M.S. composée de 70 % de lactose, 12 % de M.A., 18 % de sels et d'acides. Après avoir enlevé les protéines du lactosérum, on obtient l'ultrafiltrat.

Le lactosérum peut être utilisé, sous forme liquide (on augmente progressivement les quantités de 30 à 90 litres par jour chez la vache) ou sous forme séchée (65 % de M.S. sous forme de mélasse), incorporée à un taux de 6 à 8 % dans la ration.

En revanche, l'ultrafiltrat de lactosérum peut être concentré plus facilement (jusqu'à 75-80 % de M.S.) et incorporé à des taux élevés dans les aliments ; il peut être également utilisé sous forme liquide, sous forme séchée, ou sous forme de blocs à lécher.

Dans le cas des fourrages pauvres, on préfère utiliser l'ultrafiltrat du lactosérum (0,95 UF pour 1 kg de M.S.), car on peut l'utiliser à un taux élevé dans la ration des vaches, pour la complémentarité énergétique. Dans ce cas on utilise la forme séchée mais on peut faire consommer du lactosérum liquide jusqu'à 100 litres par jour, avec une ration à base de paille, ce qui correspond à une complémentarité riche en énergie (1,05 UF) et pauvre en matières azotées (85 g M.A.D.). On considère donc le lactosérum comme une complémentarité énergétique pour les fourrages pauvres,

107 - Pâturage et affouragement en vert

L'intérêt zootechnique de l'association graminées-trèfle blanc est bien montré dans les essais présentés au tableau 25 emprunté à THOMSON et RAYMOND (1970) par DEMARQUILLY.

108 - Fourrages secs

JOURNET (résultats non publiés) a montré qu'une ration composée de foin de luzerne et d'ensilage d'herbe, tous deux offerts à volonté et de 20 à 25 kg de betterave (4 kg de M.S.) permettait de couvrir les besoins d'entretien et de production de 11,0 à 18,0 kg de lait pour l'énergie et de 11 à 25 kg de lait pour l'azote suivant la qualité ; c'est-à-dire suivant le stade de récolte du foin de luzerne.

109 - L'utilisation des pailles dans les systèmes de production animale, intensifs, pourrait se résumer comme suit :

- les pailles, notamment si elles sont broyées et dans ce cas, la finesse de broyage optimum semble être obtenue avec des grilles de 5 à 7 mm, peuvent être incorporées dans les régimes d'engraissement des jeunes bovins à base d'aliment concentré. Leur incorporation au taux de 10 à 20 p.100 dans les régimes d'orge + tourteaux et de 30 à 40 p. cent dans les régimes de maïs + tourteaux n'entraîne aucune diminution de gain de poids vif et uniquement une légère diminution du rendement à l'abattage. En

revanche, des taux d'incorporation plus élevés s'ils diminuent le plus souvent la quantité de concentré nécessaire par kg de carcasse produit, diminuent les gains de poids vif et allongent considérablement la période d'engraissement.

- les pailles peuvent se substituer aux foin et aux ensilages dans les régimes de vaches laitières à base d'aliment concentré. Leur incorporation au taux de 10 à 20 p. 100 dans les régimes d'orge + tourteaux et de 30 à 40 p. cent dans les régimes de maïs + tourteaux n'entraîne aucune diminution du gain de poids vif et uniquement une légère diminution du rendement à l'abattage. En revanche, des taux d'incorporation plus élevés s'ils diminuent le plus souvent la quantité de concentré nécessaire par kg de carcasse produit, diminuent les gains de poids vif et allongent considérablement la période d'engraissement,

- les pailles peuvent se substituer aux foin et aux ensilages dans les régimes de vaches laitières à base d'aliment concentré. Dans ce cas elles doivent être obligatoirement broyées et mélangées à l'aliment concentré pour que leur ingestion soit suffisante pour ne pas entraîner d'ennuis digestifs et une déviation du métabolisme lipidique (chute du taux butyreux). Le taux d'incorporation optimum pour que la production et la composition du lait restent normales se situe vers 30 p.100 dans le cas d'un broyage grossier (grille de 10 mm) et de 40 à 50 p. cent dans le cas d'un broyage plus fin (grille de 3 à 5 mm),

- les pailles offertes à volonté peuvent constituer le seul fourrage des animaux à besoins faibles (femelles allaitantes, génisses d'élevage, bœufs destinés à être engraisés au pâturage) à condition qu'elles soient correctement complémentées en azote minéraux, vitamines et aussi en énergie et que les animaux soient en bon état.

- la complémentation minimum en concentrés sera de 2 à 3 kg/j/vache, de 0,4 à 0,6 kg/j/brebis et de 0,5 à 1,0 p.100 du poids vif pour les bovins d'élevage selon qu'on désire des croisances de 250 ou 500 g/j. L'azote de la ration (1,3 à 2,0 p.100 de l'N selon l'importance de la complémentatation énergétique) peut être apporté par l'urée dans la mesure où les apports sont fractionnés dans la journée (minimum 2 distributions au mieux, dispositif permettant la libre service). Il semble cependant souhaitable de maintenir un minimum d'apport azoté sous forme protéique, notamment pour les femelles allaitantes,

- les pailles traitées à la soude (4 à 6 p.100) et complémentées en azote et minéraux ont les mêmes digestibilité et ingestibilité que les bons foin. Elles peuvent donc se substituer à eux dans la ration des animaux à besoins élevés ou faibles,

- les cannes de maïs (ou de sorgho) ont une valeur azotée et surtout énergétique plus élevée que les pailles. Les quantités complémentaires de céréales et tourteaux peuvent donc être plus faibles que celles prévues dans les rations 3 base de pailles : 7 à 2 kg/j sont suffisants pour obtenir des performances satisfaisantes chez les vaches allaitantes et 0,5 p.100 du poids vif pour obtenir des croisances de 500 à 600 g/j chez les bovins d'élevage ; la forme la plus simple d'exploitation est le pâturage (100 à 120 jours/vaches à 1 ha) lorsque les conditions climatiques et la portance des sols le permettent.

Dans le cas contraire, il sera nécessaire de les ensiler le plus tôt possible après la récolte du grain. Le gaspillage sera alors réduit et on peut profiter de leur mise en silo pour les enrichir en azote (urée) et minéraux et même pour les traiter à la soude, ce qui améliore leur valeur et permet de limiter la seule complémentation au peu de tourteaux nécessaire pour amener le taux de matières azotées de la ration à 12 %.

\* Les spathes et les rafles de maïs ont une valeur énergétique supérieure à celle des cannes et peuvent donc être utilisées sous forme sèche après broyage et complémentation,

**TABEAU 24 : UTILISATION DE PAILLE TRAITEE PAR LA SOUDE ET TIGES DE MAIS (par des Broutards Charolais (I.T.C.F. 1976)**

| Régime                                                      | I         | II        | III       | IV        |
|-------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Paille broyée + soude                                       |           |           |           |           |
| - agglomérée                                                | à volonté |           |           |           |
| - ensilée                                                   |           | à volonté |           |           |
| Tiges et feuilles de maïs                                   |           |           |           |           |
| - déshydrate aggloméré                                      |           |           | à volonté |           |
| - ensilées                                                  |           |           |           | à volonté |
| Aliment concentré                                           | 2,5 kg    | 3 kg      | 2,5 kg    | 3 kg      |
| - dont maïs grain                                           | 70 %      | 75 %      | 85 %      | 87 %      |
| luzerne                                                     | 5         | 4         | 5         | 4         |
| tourteau de soja 50                                         | 12        | 10        | -         | -         |
| urée                                                        | 6         | 5         | 3         | 3         |
| C.M.V.                                                      | 7         | 6         | 7         | 6         |
| Paille longue                                               | à volonté |           | à volonté |           |
| <b>PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES</b>                           |           |           |           |           |
| - Poids initial (kg)                                        | 444       | 446       | 454       | 445       |
| - Poids final (kg)                                          | 527       | 509       | 517       | 505       |
| - Gain de poids vif/jour (g 122 jours)                      | 785       | 595       | 600       | 560       |
| - Consommation MS/jour (kg)                                 | 8,3       | 8,5       | 8,7       | 7,5       |
| dont Produit fibreux                                        |           |           |           |           |
| - Consommation M.S. (kg)                                    | 10,6      | 14,2      | 14,5      | 13,3      |
| par kg de gain de poids vif,                                |           |           |           |           |
| <b>GAIN DE POIDS VIF AU PATURAGE (deux premiers cycles)</b> |           |           |           |           |
| - gain de poids vif/jour (111 jours)                        | 840       | 960       | 840       | 900       |

TABLEAU 25 : GAIN DE POIDS VIF (g/jour) DE MOUTONS RECEVANT A L'AUGE OU PATURANT DU TREFLE BLANC., DES GRAMINEES, OU L'ASSOCIATION DES DEUX

(d'après Thomson et Raymond 1970).

| Auteurs                     | Type d'animal | Gain de poids vif (g) jour) |                                |           |
|-----------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------|
|                             |               | Trèfle blanc                | Graminées<br>+<br>Trèfle blanc | Graminées |
| RAE et al (1963)            | Brebis        | -                           | 70                             | 50        |
| RAE et al (1963)            | brebis        | -                           | 90                             | 70        |
| RAE et al (1964)            | moutons       | -                           | 111                            | 61        |
| GALAGHER et al (1966)       | 6 moutons     | 138                         | 103                            | 69        |
| GRIMES et al (1967)         | moutons       | 177                         | 154                            | 145       |
| HIGHJ et SINCLAIR<br>(1967) | moutons       | 184                         | 114                            | 62        |

**TABEAU 26 : VALEUR NUTRITIVE PAR KG DE MATIERE SECHE, QUANTITE INGEREE ET LIMITES**  
**D'UTILISATION DE QUELQUES RESSOURCES ALIMENTAIRES**

| ALIMENTS                        | %<br>M.S. | UF<br>kg M.S. | M.A.D.<br>g/kg M.S. | Quantité ingérée et limites d'utilisation                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pailles : - blé                 | 90        | 0.26          | ( 5                 | Distribution à volonté avec complémentation azotée minérale, vitaminique et énergétique.<br><br>Quantité ingérée : 1,3 à 1,5 kg de MS/100 kg P.V. pour le blé et l'orge, nettement plus faible pour le seigle et plus élevée pour l'avoine, les pailles de graminées et surtout les pailles de légumineuses. |
| - orge                          | 90        | 0.28          | ) 5                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - avoine                        | 90        | 0.36          | ( 5                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - seigle                        | 90        | 0.31          | ) 5                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - graminées                     | 85        | 0.43          | 10-15               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - pois                          | 85        | 0.39          | 40-60               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Cannes de maïs : - sèches       | 82        | 5.48          | 10-20               | Distribution à volonté avec complémentation azotée minérale et vitaminique. Quantité ingérée : 1,3 kg à 1,9 kg de MS/100 kg P.V. suivant qualité.                                                                                                                                                            |
| - ensilées                      | 35-40     | 0-50          | 15-20               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Sous-produits de la betterave : |           |               |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - pulpe sèche                   | 93        | 0.96          | 58                  | Jusqu'à 80 % de la matière sèche de la ration pour les animaux à l'engrais, distribution maximum de 7 à 8 kg de matière sèche chez la vache laitière.                                                                                                                                                        |
| - pulpe humide ensilé           | 9-11      | 0.95          | 76                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - pulpe surpressée ensilée      | 17-20     | 0.95          | 65                  | Maximum 2 kg/jour pour la vache et 4-5 kg pour le boeuf                                                                                                                                                                                                                                                      |
| - mélasse                       | 80        | 0.85          | 85                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| - feuilles et collets ensilés   |           |               |                     | Maximum 5 kg par jour pour le mouton et 50 kg par jour pour le bovin adulte.                                                                                                                                                                                                                                 |
| : propres                       | 18-22     | 0.65          | 110                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| : sales                         | 18-22     | 0.45          | 85                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Drêches de brasserie ensilées   | 23        | 0.75          | 250                 | Maximum 20-25 kg/jour pour le bovin adulte.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Marc de raisin ensilé           | 30-35     | 0.25          | 20                  | Distribution à volonté * azote, énergie, minéraux et vitamines.                                                                                                                                                                                                                                              |
| Lactosérum liquide              | 7         | 1.05          | 85                  | Distribution maximum de 30 à 90 litres par jour pour la vache laitière, de 10 à 15 litres pour le veau après sevrage et de 20 à 40 litres pour le taurillon à l'engrais.                                                                                                                                     |
| Ultrafiltrat                    | 5         | 0.95          | 0                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## CHAPITRE XI

## PLANS DE RATIONNEMENT

\*\*\*\*\*

111 - Quantité d'aliment concentré (céréales + tourteaux) à distribuer en fonction de la qualité du fourrage (offert à volonté) et du niveau de production des vaches.

Quand le fourrage est offert à volonté et l'aliment concentré en quantité limitée mais suffisante Pour satisfaire les besoins des animaux, la quantité de fourrage ingérée est d'autant plus faible que la qualité du fourrage est plus médiocre. Avec les mauvais fourrages la proportion de concentré dans la ration devient nécessairement très élevée dès que la production laitière des vaches est importante, Ainsi avec des pailles, la proportion d'aliment concentré dépasse 50 p.100 (6 kg) dès que la Production atteint 10 kg de lait et atteint 70 % pour 20 kg de lait. La consommation de paille variera de 6 kg de M.S. pour les faibles à 4-5 kg de M.S. pour les fortes productrices, L'éleveur (dans la mesure du possible) devra donc diviser son troupeau et distribuer les mauvais fourrages (la paille) aux faibles productrices, réservant les bons fourrages (au minimum de 5 kg de M.S. de foin ou d'ensilage) pour les fortes productrices.

112 - Complémentation minérale, azotée et vitaminique pour régimes à base de fourrages pauvres

1121 - Complémentation azotée

Les céréales sont pauvres en azote soluble en particulier De ce fait les compléments azotés de ration à forte proportion de céréales peuvent être constitués en partie par des sources d'azote soluble (1 kg de tourteau d'arachide ou 750 à 200 kg d'urée), permettant de satisfaire les besoins azotés d'une production de 15 kg de lait dans la mesure où les besoins énergétiques sont couverts.

Pour effectuer l'apport indispensable des matières azotées on peut utiliser 3 solutions, qui sont également efficaces pour les animaux à faible besoin :

- une source protéique : par exemple 120 g de tourteau à 44 % de M.A.T., ou 300 g de luzerne deshydratée, par kg de paille consommée ;

- une source "mixte" contenant de l'azote protéique et de l'urée en utilisant un mélange du type suivant (0,8 UF - 450 g de M.A.T./kg) : maïs - grain : 28 p.100 ; luzerne deshydratée 10 p.100 ; tourteaux 44 : 40 p.100 ; urée alimentaire : 10 p.100 minéraux P u i s oligo-éléments : 12 p.100. Ce mélange peut remplacer les tourteaux à raison de 1,4 kg de tourteaux, il faudra l'apporter en deux distributions au moins par jour, en même temps que les céréales ;

- une source d'azote non protéique dont la forme la plus répandue est l'urée alimentaire (environ 45 p.100 d'azote), Pour être bien utilisée l'urée doit être apportée de façon fractionnée au cours de la journée et en association avec un aliment riche en énergie (céréales, pulpes, mélasse...) et en minéraux, Le but est de faire ingérer aux bovins de 20 à 30 g d'urée par 100 kg de P.V.

#### 1122 - Complémentation minérale et vitaminique

Il est indispensable d'apporter un complément minéral de type 10-18 (P - Ca) comportant des oligo-éléments, à raison de 80 à 150 g/jour selon le type de bovins. La ration totale (fourrages + compléments) doit contenir obligatoirement par kg de M.S. au moins 3 g de P, 5 g de Ca, 1,5 g de Mg, 1,5 g de S (GUEGUEN, 1972), 120 mg de Mn, 75 mg de Zn, 14 mg de Cu et 0,1 mg de Co (LAMAND, 1974).

Il est nécessaire de vérifier que cet apport de minéraux est effectivement réalisé dans les produits complémentaires.

Dans les autres cas, il faut apporter ces minéraux soit en mélange avec les céréales (5 p.100), soit par pulvérisation sur la paille (1,2 à 1,5 p.100), soit séparément. De plus, dans tous les cas les animaux doivent avoir à leur disposition des pierres à sel (contenant de préférence des oligo-éléments) dont ils consomment au moins 40 g/jour.

Il est enfin nécessaire de veiller à la complémentation vitaminique (A, D, E), en particulier à l'apport de vitamine A. Celui-ci pourra se faire sous forme de vitamine hydro-soluble à raison de 20.000 à 50.000 U.I. par jour dans la ration des bovins, soit par doses choc en injection intramusculaire (par exemple de 1 à 2 millions d'UI tous les mois),

#### 1123 - Complémentation énergétique

La ration de paille seule, même enrichie en azote dans les conditions précédentes n'est pas suffisante pour couvrir les besoins énergétiques et azotés des animaux à faibles besoins. Il est indispensable de distribuer par ailleurs de 1 à 2 kg d'aliments riches en énergie.

##### 11231 - Canne de maïs

Elles ont une valeur énergétique et azotée plus élevée que les pailles. Ensilées dans de bonnes conditions (hachage fin, tassement important et absence de terre) et correctement complémentées (azote, minéraux et vitamines), les cannes de maïs sont ingérées à raison de 1,5 kg de M.S. environ par 100 kg de P.V., lorsqu'elles sont distribuées comme seuls fourrages à des bovins.

Les quantités complémentaires de céréales peuvent donc être plus faibles que celles prévues dans les rations à base de pailles (T.7) à condition de ne pas modifier l'apport azoté total ; pratiquement :

- pour génisses, la quantité de céréales peut être réduite de 1 kg, et celle de tourteaux -accrue de 200 g;

- pour les vaches, cela revient à supprimer l'apport de céréales et à accroître celui des tourteaux de 0,5 kg, y compris pour celles recevant une complémentation à base d'urée ;

La complémentation minérale est elle aussi à modifier par rapport aux rations de paille compte tenu de la réduction de l'apport de céréales, qui sont riches en phosphore. Avec les "cannes" de maïs, il est nécessaire d'utiliser un composé minéral de type 14-14 avec oligo-éléments, 1 indispensable apport vitaminique étant identique à celui effectuée avec les pailles.

La forme de récolte la plus simple des "cannes" de maïs reste évidemment le pâturage lorsque les conditions climatiques et la portance des sols s'y prêtent. Cependant, la valeur de ce pâturage diminue dans le temps, à mesure que les animaux consomment les épis perdus lors de la récolte, les feuilles et les spathes. La même complémentation qu'avec les "cannes" ensilées reste indispensable.

#### 113 - Rations à base de pailles de céréales pour bovins d'élevage et vaches allaitantes

Des rations à base de paille, seule ou en association avec de petites quantités de foin et d'ensilages, doivent être considérées comme un apport alimentaire minimum et incompressible. En effet elles ne couvrent que 80 % des besoins énergétiques et azotes des vaches allaitantes et supposent que celles-ci ont assez de réserves corporelles à mobiliser au profit de la croissance de leur fœtus, puis de leur production laitière pendant un maximum de 2 mois de lactation hivernale,

Une réduction plus importante des apports alimentaires compromettrait la campagne de saillies et de vêlages suivante. De même les rations proposées permettent aux animaux d'élevage d'effectuer une croissance d'environ 300 g/j, qui apparaît comme strictement minimum si on veut leur conserver leur chance de "récupération" ultérieure.

#### 114 - Brebis

Si les brebis ont été bien alimentées (FLUSHING) au cours de la lutte, elles peuvent être ensuite restreintes et perdre du poids jusqu'au 90<sup>e</sup> - 100<sup>e</sup> jour de gestation. En revanche, elles doivent être correctement alimentées au cours des 6-8 dernières semaines de gestation, pour subvenir aux besoins de leurs fœtus ; cela d'autant qu'elles portent deux ou plusieurs fœtus et qu'elles sont en moins bon état au début de cette période.

Le gain de poids au cours des 6-8 dernières semaines est un bon critère de l'état nutritionnel. Pour les brebis en bon état, il doit être au minimum de 2-3 kg si elles portent un seul fœtus et au moins égal au poids de la portée (5-6 kg) pour les brebis multiples. Ces valeurs doivent être accrues à 4-5 kg et 7-8 kg respectivement pour les brebis qui sont maigres à la mi-gestation. Si ces gains ne sont pas atteints, divers troubles apparaissent dans le troupeau : toxémie de gestation, agneaux morts-nés, agneaux trop légers qui seront plus fragiles et exigeront un apport d'aliment supplémentaire pendant la phase d'engraissement.

Les gains de poids précédents peuvent être atteints avec des régimes à base de paille de céréales (orge ; avoine) en respectant les conditions de complémentation azotée, minérale et vitaminique exposées précédemment pour les bovins.

Des brebis d'un poids de 50 kg peuvent consommer de 800 à 900 g par jour de paille d'orge ou d'avoine. Elles doivent recevoir en plus 300 g par jour d'un aliment concentré, contenant au moins 170 g de M.A.T. (environ 25 p.100 de tourteaux).

On peut aussi effectuer l'apport azoté par l'intermédiaire de l'urée : 300 g d'un aliment constitué de céréales, additionné de 3 p.100 d'urée ou bien 150 g de ce même aliment et 200 g de Luzerne déshydratée. On peut enfin utiliser les compléments liquides à base d'urée, l'apport concentré étant alors pour les mélanges à 12 p.100 d'urée.

Si la prolificité du troupeau est élevée, ces apports risquent fort d'être insuffisants : il conviendra de les augmenter de 10 p.100 si la prolificité escomptée est voisine de 1,7 agneau par brebis et de 2.0 p.100 au-delà,

Après la mise bas, les quantités de paille ingérée vont augmenter et atteindre environ 1 kg par jour. La complémentation devra alors être portée au moins à 450 g d'aliment concentré ou 500 à 550 g d'un mélange luzerne déshydratée - aliment concentré. Un tel régime permettra à la brebis une production laitière suffisante pour que les agneaux aient des gains de poids de l'ordre de 200 à 250 g/j. Pour les simples et 150 g/j pour les doubles (300 g pour l'ensemble de la portée). Mais la mère fait alors appel à ses réserves corporelles, ce qui ne saurait être poursuivi au-delà de 6 à 8 semaines et implique donc un sevrage assez précoce des agneaux.

Afin d'améliorer ces performances et d'obtenir des agneaux plus lourds au sevrage, et donc plus faciles à élever ensuite, le foin disponible devra être réservé en priorité aux brebis en lactation, plus particulièrement aux bassonnières.

## CHAPITRE XII

### NOUVEAU SYSTEME D'APPRECIATION DE LA VALEUR AZOTEE VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS ET DES BESOINS DES RUMINANTS, PROPOSE PAR L'I.N.R.A.

\*\*\*\*\*

#### 121 - Valeur azotée

##### 1211 - Pourquoi un nouveau système

L'estimation actuellement admise, exprimée en matières azotées digestibles apparentes (M.A.D. a) ne permet pas de connaître avec précision la valeur azotée des aliments. En effet, elle correspond à la somme de l'azote qui passe dans le sang au niveau du rumen sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et à l'azote qui est absorbé, dans l'intestin sous forme d'acides aminés. Seule cette dernière fraction est susceptible de compenser réellement de façon certaine les dépenses azotées de l'animal. Les possibilités de retour dans le tube digestif de l'azote absorbé sous forme d' $\text{NH}_3$  sont assez mal connues et, sans doute, très variables avec la physiologie de l'animal.

Chez le ruminant, la digestion des constituants azotés des aliments comprend deux phases principales :

- une digestion microbienne qui s'effectue au début du processus digestif dans le rumen principalement ;
- une digestion enzymatique qui se produit ensuite dans la caillette et l'intestin grêle.

##### 1212 - D'où proviennent les P.D.I.

Les matières azotées absorbées par le ruminant sont constituées d'azote non protéique soluble et de protéines vraies, l'azote soluble représentant 20 à 35 % de l'azote total des fourrages verts de graminées ou de légumineuses mais de 50 à 80 % de l'azote total des ensilages suivant la réussite de ces derniers. Dès leur arrivée dans le rumen les matières azotées sont soumises à une attaque microbienne. La totalité de l'azote non protéique soluble et une fraction plus ou moins importante, des protéines suivant leur "fermentescibilité" vont être dégradées en acides aminés puis en  $\text{NH}_3$  et en acide gras volatils. Seule une petite fraction (25 à 35 % environ pour les fourrages verts selon certains auteurs) des protéines vraies digestibles peut échapper à cette dégradation parce qu'elles sont lentement ou très peu fermentescibles ; elles arrivent inchangées dans l'intestin grêle où elles

1/49

~~Les mêmes microbes s'attaquent aussi aux glucides, no-~~  
tamment aux glucides membranaires, pour les transformer surtout  
en acides gras volatils (A.G.V.). Ceux-ci passent dans le sang  
et constituent la principale source d'énergie des ruminants.  
Cependant, les microbes ont besoin, pour se multiplier et se  
développer, d'énergie et d'azote et ils vont notamment utiliser  
l'azote de l'ammoniac (et de certains acides aminés) et l'énergie  
des A.G.V. pour synthétiser leurs propres protéines. Ces protéines  
microbiennes seront à leur tour digérées dans l'intestin grêle et  
donneront des acides aminés absorbés par l'animal.

En définitive on a donc :

Protéines Digestives dans l'Intestin (P.D.I.) ou Acides Aminés  
Absorbés (A.A.A.) = protéines digestibles alimentaires non dégra-  
dées dans le rumen + Protéines microbiennes digestibles ; M.A.D. =  
P.D.I. ou A.A.A. +  $\text{NH}_3$  en excès dans l'urine sous forme d'urée.

## 122 - Valeur énergétique

### 1221 - Pourquoi un nouveau système

Le système des Unités Fourragères (UF), mis au point il  
y a une trentaine d'années par le Professeur A.M. LEROY, a permis  
de rationaliser l'alimentation des animaux domestiques, ce qui a  
fortement contribué au développement d'un élevage moderne en France.

A l'époque il s'appuyait sur les connaissances les plus  
récentes en matière de physiologie de la nutrition. Or ces données  
ont évolué, en particulier chez les ruminants à la suite des tra-  
vaux de BLAXTER et ARMSTRONG au Royaume-Uni, FLATT, MOE et TYRREL  
aux U.S.A., VAN DER MEULEN aux Pays-Bas et SCHIEMANN et al en Allemagne de  
l'Est notamment.

A titre d'exemple, le calcul de l'énergie nette des ali-  
ments proposés par le Pr LEROY à partir de l'énergie métabolisa-  
ble, en tenant compte de l'extra-chaaleur évaluée à 1 kilocalorie  
par gramme de matière sèche ingérée, quels que soient l'espèce et  
le type de production, apparaît aujourd'hui trop approximatif,

Il est difficile d'attribuer une même valeur énergétique  
à un aliment lorsqu'il est introduit dans l'alimentation d'une  
vache laitière ou dans celle d'un taurillon. On sait que les cé-  
réales n'ont pas, dans ces deux cas, la même efficacité pour la  
production,

De plus, les valeurs calculées dans le système des UF  
LEROY ne correspondent pas à une énergie nette bien définie (lac-  
tation, croissance...) et ne sont pas directement transformables  
dans les autres systèmes utilisés à l'étranger, et en particulier  
en Europe.

Pour toutes ces raisons et malgré les difficultés qui ris-  
quaient de se présenter lors de la mise en pratique du nouveau  
système, une équipe de chercheurs de l'I.N.R.A. de THEIX, animée  
par R. JARRIGE, a jugé que le moment était venu de proposer une  
nouvelle méthode d'estimation de la valeur énergétique des aliments

~~pour les différentes productions et d'expression des besoins des ruminants qui permettra une meilleure concision des apports et des dépenses au niveau du rationnement, Cela se justifiait d'autant plus qu'il convenait de prendre position sur le plan international en préconisant un système susceptible de recevoir une certaine audience auprès des zootechniciens étrangers.~~

Comme dans la plupart des pays étrangers (à l'exception en particulier, du Royaume-Uni) dans le cas des ruminants et comme précédemment en France, le nouveau système sera basé sur l'énergie nette. La valeur énergétique sera exprimée en Unités fourragères (U.F.), c'est-à-dire en valeur relative par rapport à l'orge de référence. Cependant le calcul de la valeur énergétique des aliments sera différent et aboutira à deux évaluations :

- une Unité Fourragère "Lactation" (U.F.L.), valable pour la production laitière et la croissance faible ;

- une Unité Fourragère "Engraissement" (U.F.E.), valable pour la production de viande dans le cas d'une croissance intensive (animaux à l'engrais).

#### 1222 - bases scientifiques du nouveau système

L'utilisation de l'énergie des aliments dépend de leur composition (Energie Brute) et de leur utilisation digestive et métabolique. Elle correspond au schéma suivant :

|                             |                          |                   |                     |  |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|--|
| Energie brute, E.B.         |                          |                   |                     |  |
| Energie digestible, E.D.    |                          |                   | Energie fèces, E.F. |  |
| Energie métabolisable, E.M. | E.U. (1)                 | Energie gaz, E.G. |                     |  |
| Energie nette               | E.N. Extra chaleur, E.C. |                   |                     |  |

(1) Energie des urines.

E.B. - L'apport d'énergie brute d'un aliment dépend d'abord de sa teneur en matières glucidiques (3,9 à 4,2 Kcal/g), en matières azotées (5,7 Kcal/g) et en matières grasses (9,5 Kcal/g), (VERMOREL, 1975).

E.D. -  $EB \times \frac{CUD_e}{100}$

E.M. -  $ED - EU - EG$

E.N. = L'utilisation de l'énergie métabolisable pour couvrir les diverses dépenses de l'organisme constitue le principal problème posé au niveau de l'estimation de la valeur énergétique des calories,

Les bilans énergétiques effectués par BLAXTER lui permettent de calculer la valeur du rendement de l'utilisation de l'énergie métabolisable (K).

$$K = \frac{E.M.}{E.N.} \quad \text{en fonction de la concentration en énergie}$$

métabolisable : ( $q = 100 \frac{E.M.}{E.B.}$ ) selon des relations différentes pour l'entretien et l'engraissement :

$$\text{Entretien} = K_m = 0,287 q + 55,4 \quad (m = \text{maintenance})$$

$$\text{Engraissement} = K_f = 0,78 q + 0,6 \quad (f = \text{Fattening})$$

$$K_m = \frac{\text{Energie corporelle épargnée}}{E.N. \text{ entretien}}$$

$$K_L = 60 + 0,24 (q - 57) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Variations du rendement } K_L \text{ pour la lac-} \\ \text{tation en fonction de la concentration} \\ \text{en E.N. de la ration (q).} \end{array} \right.$$

$$\text{ce qui peut encore s'écrire : } \boxed{\text{Lactation } K_L = 0,24 q + 46,3}$$

Le rendement de l'E.M. destiné à couvrir globalement les dépenses d'entretien et d'engraissement varie avec le niveau de production de l'animal, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie utilisée pour couvrir les besoins d'entretien et celle correspondant à la synthèse des tissus corporels.

Le  $K_{mf}$ , introduit par Mc HARDY (1966), HARKINS (1974), ALDERMAN et BAKER (1974) correspond à la formule :

$$K_{mf} = \frac{E.N. \text{ entretien} + E.N. \text{ production}}{E.M. \text{ totale}}$$

si  $N.P. = \frac{E.N. \text{ entretien} + E.N. \text{ production}}{E.N. \text{ entretien}}$ , nous avons la formule suivante :

$$K_{mf} = \frac{K_m \times K_f \times NP}{K_f \times (NP - 1) K_m} \quad \text{avec } K = E.N., \quad q = \frac{E.M.}{E.B.}$$

NP = Niveau de production,

## 1223 - Le principe du nouveau système

L'expression énergétique des apports alimentaires et des besoins des animaux s'effectue en énergie nette avec comme unité, la valeur énergétique d'un kilogramme d'orge de référence, définie par SAUVANT et FEHR (1977). Cette valeur est différente pour la production du lait (U.F.L.) et pour l'engraissement (U.F.E.).

Le calcul de la valeur énergétique de l'orge s'établit ainsi après choix d'une orge de référence (moyenne française entre 1970 et 1975) :

|        |                             |           |
|--------|-----------------------------|-----------|
| E.B.   | par kg à 86 % de M.S.       | 3800 Kcal |
| E.D.   | (C.U.D.e = 84,7)            | 3220 "    |
| E.M.   | (E.N./E.D) = 0,845)         | 2721 "    |
| U.F.L. | (KL = 63,6 %)               | 1730 "    |
| U.F.E. | (Kmf = 68,1 pour un NP 1,5) | 1855 "    |

Cette unité est utilisée dans deux systèmes différents :

• le système U.F.L. pour les femelles laitières allaitantes et les femelles d'élevage, ainsi que pour les mâles à faible vitesse de croissance ( 700 g/j pour les bovins.) ;

• le système U.F.E. pour les sujets destinés à la production de viande à vitesse de croissance élevée (plus de 700 g/j pour les bovins) et à l'engraissement.;

L'estimation de la valeur énergétique des aliments est donnée par VERMOREL, Elle correspond :

dans le système U.F.L., à :

$$V.F.L. = \frac{EM \times (0,463 + 0,002499)}{1730}$$

dans la système U.F.E., à :

$$V.F.E. = \frac{EM \times Kmf \ 1,5}{1855}$$

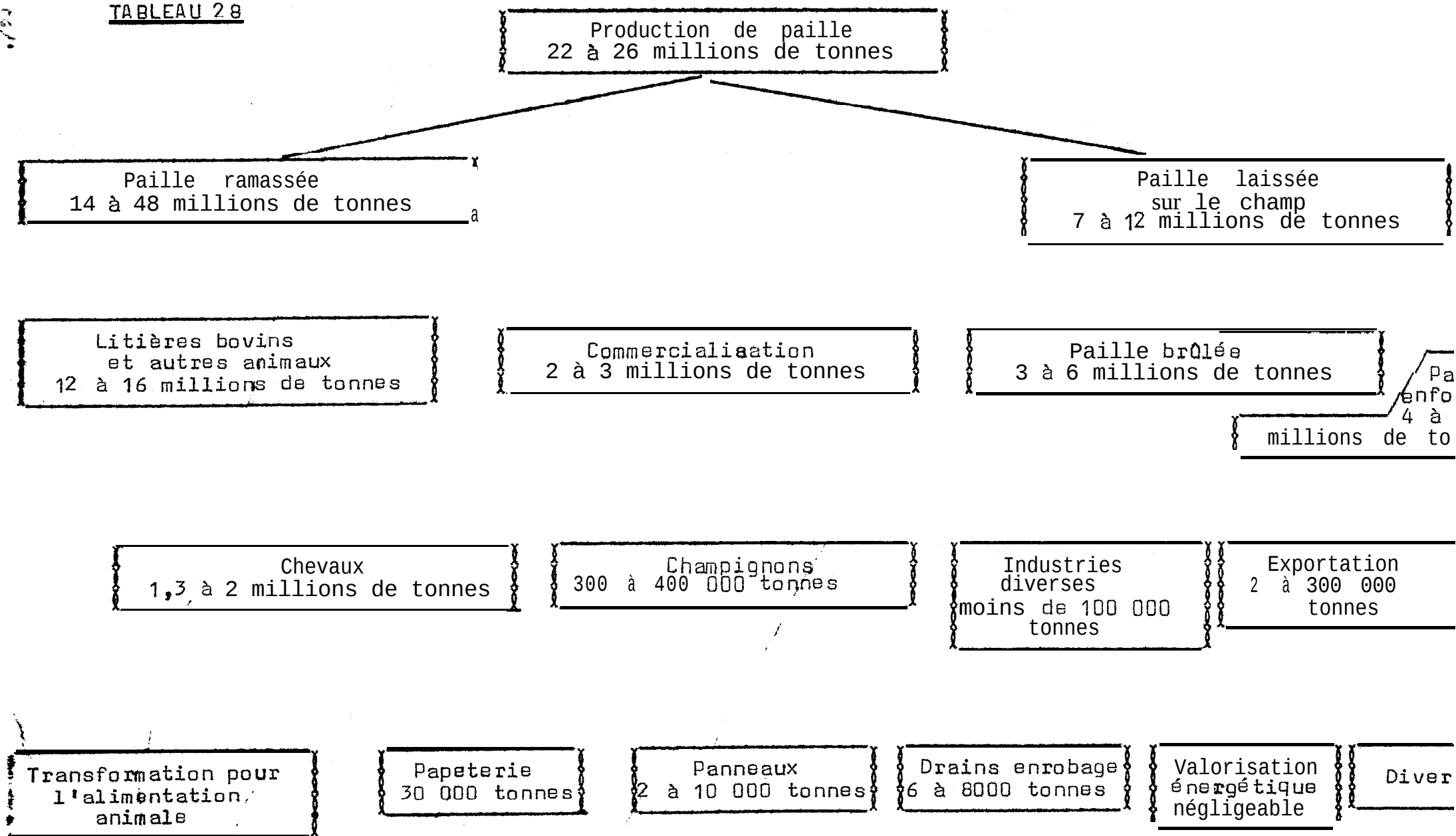
TABLEAU 27 : VALEUR NUTRITIVE DES PAILLES (INRA - Laboratoire des Aliments)

|                 | Digestibilité de la matière organique | Valeur énergétique UF/kg de MS |             |             | Valeur azotée (g/kg de MS) |           |      |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|----------------------------|-----------|------|
|                 |                                       | U.F. LEROY                     | U.F. Lait   | U.F. Viande | M.A.D.                     | P.D.I.E.* | P.D. |
| <u>Céréales</u> |                                       |                                |             |             |                            |           |      |
| Blé             | 41 - 44                               | 0,20 - 0,30                    | 0,39 - 0,45 | 0,28 - 0,34 | 0-20                       | 36 - 47   | 16   |
| Orge            | 43 - 46                               | 0,23 - 0,34                    | 0,41 - 0,48 | 0,30 - 0,36 | 0-20                       | 37 - 50   | 16   |
| Avoine          | 48 - 50                               | 0,31 - 0,40                    | 0,46 - 0,52 | 0,36 - 0,42 | 0-20                       | 38 - 51   | 12   |
| Seigle          | 41 - 44                               | 0,20 - 0,30                    | 0,39 - 0,45 | 0,28 - 0,34 | 0-10                       | 35 - 46   | 12   |
| Graminées       | 47 - 55                               | 0,35 - 0,50                    | 0,45 - 0,65 | 0,35 - 0,55 | 0-30                       | 45 - 62   | 22   |
| Légumineuses    | 48 - 52                               | 0,35 - 0,45                    | 0,47 - 0,59 | 0,37 - 0,49 | 0-90                       | 46 - 86   | 25   |
| Cannes de maïs  | 55 - 57                               | 0,48 - 0,52                    | 0,58 - 0,62 | 0,48 - 0,52 | 10-35                      | 53 - 64   | 28   |
| Colza           | 32                                    | 0,07                           | 0,30        | 0,19        | 0-15                       | 36 - 40   | 25   |

\* P.D.I.E. : Protéines digestibles dans l'intestin permises par l'énergie de la paille

\*\* P.D.I.N. : Protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote de la paille.

TABLEAU 28



## CHAPITRE XIII

## CONCLUSIONS

\*\*\*\*\*

Pendant très longtemps, les ruminants ont été nourris **presqu'exclusivement** de fourrages et de certains sous-produits agricoles. Puis leur **élevage** s'est progressivement intensifié **notamment** grâce à l'amélioration du potentiel génétique des animaux et à l'utilisation croissante d'**aliments** concentrés,

L'augmentation du prix des aliments concentrés **consécuti-**  
tive à une demande accrue a **récemment** suscité un renouveau d'**in-**  
**térêt** pour mieux **utiliser** tout d'abord les fourrages classiques  
**puis** les sous-produits de grandes cultures pour **l'alimentation**  
des ruminants surtout dans les pays en développement,

Par comparaison aux **monogastriques** (porcs, chevaux, etc.,)  
les ruminants sont moins **bons** transformateurs des aliments con-  
**centrés** alors **qu'en** revanche, eux **seuls** sont capables de tirer  
partie des produits celluloseux, notamment les pailles.

Les pailles sont disponibles en **quantités** importantes  
mais sont peu digestibles et consommées en quantités faibles.

Quand elles sont distribuées seules, la digestion des  
pailles et aussi leur ingestion sont limitées par le fait qu'elles  
**n'apportent** pas assez d'azote et aussi de certains minéraux pour  
assurer une croissance et une activité normales des **microorganis-**  
mes du rumen.

Il ressort des données ci-dessus que les fourrages  
représentent une **source** énergétique non négligeable pour **l'alimen-**  
**tation** des ruminants,

On doit toutefois noter **que** sauf en cas de pénurie four-  
**ragère entraînée** par la sécheresse, **l'utilisation** rationnelle des  
fourrages pauvres reste limitée, Il peut y avoir à cela de nom-  
breuses raisons. En particulier la manipulation et le stockage de  
ces aliments volumineux à faible concentration nutritive, limi-  
tent leur utilisation aux Zones d'**élevage** proches des **régions** de  
grandes cultures.

Par ailleurs pour assurer un niveau d'alimentation suf-  
fisant les fourrages pauvres doivent et peuvent être traités et  
**complémentés**, ce qui diminue leur **intérêt** économique.

D'autre part, on manque de données sur **l'utilisation**  
des fourrages traités aux alcalis.

• Quelles performances zootechniques permettent-ils d'obtenir réellement dans les conditions de la pratique ?

• Leur distribution en quantités élevées ne risque-t-elle pas d'entraîner à long terme des ennuis sanitaires ou de diminuer la longévité et les capacités de reproduction des animaux,

Dans l'avenir, il sera intéressant de suivre le développement des traitements destinés à améliorer la valeur alimentaire des fourrages et des sous-produits et résidus cellulosiques.

./73

|                                |
|--------------------------------|
| REFERENCES    BIBLIOGRAPHIQUES |
|--------------------------------|

- ANDRIEU 3. - Valeur alimentaire des fourrages deshydratés et agglomérés  
Revue "Fourrages" n°42/Juin 1970,
- ANTHDNY W.B., CUNNINGHAM J.H.F. et HARRIS R.R., 1969  
Hardwood sawdust as foed for ruminants adv.chem.  
Ser. 95 : 315.
- ARMSTRONG et BEEVER, 1969 ; ARMSTRONG et BLAXTER, 1961 ; BERANGER, THIVEND, JARRICE, 1972 ; EMBRY, GOODRICH et GASTLER, 1966 ; JOHNSON, MATSUSHIMA et KNOX, 1968 ; Mc NEILL, POTTER et RIGGS, 1970 ; MUDD et PERRY, 1969 ; POTTER, Mc NETLLS et RIGGS, 1970 ; QRSKQV, FRASER et KAY, 1969 ; SLJTTON et NICHOLSON, 1968 ; VERMOREL, GEAY et THIVEND, 79'72, Cités par DEMARQUILLY.
- BALCH et CAMPLING, 1971 ; CAMPLING, 1964 ; WESTON, 1967, Cités par DEMARQUILLY.
- BECKMANN, 1919, Cité par MELCION,
- BECKMANN, 1922, Conversation of grain straw and Lupinintrefeeds af high nutritive value. Chem. Abstr, 16 : 795,
- BERANGER : Place des céréales dans les différents systèmes de production de viande IVe journée du "Grenier de Theix", Janvier 1972.
- BLAXJER et al ; 1971, Cités par DEMARQUILLY.
- CALET C. et MERCIER C. 1966 - Valeur nutritionnelle globale 'du maïs -  
Ann, Nutr. Alim., 20, n°2, 241-256.
- CALVET H., VALENZA, BOUDERGUES R., DIALLO S., FRIOT D., CHAMBON 3. 1974. Revue de l'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux - Tome XXVII n°2.
- CARMONA et GRBENHALGH, 1972 ; SINGH et JACKSON, 1971, Cités par MBODJ.
- CHENOST : Résultats non publiés.
- CHENOST M. et GRENET E., 1971 - L'indice de fibrosité des fourrages sa signification et son utilisation pour la prévision de la valeur alimentaire des fourrages.  
Ann. Zoot. 1971, 20(4), 427 - 435.
- COMB F.B. and TRIBE D.E. 1962 - The effect of urea on the utilization of low quality roughage by the ruminants -  
Proc. Ansth. Soc, Prod.

CRAMPTON et al., 1960, Cites par DEMARQUILLY.

DARWICHE A., 1977, D.E.A. Montpellier.

DEHORITY, B.A., 1973, ~~Hemicellulose degradation by rumen bacteria~~  
~~Federation Proc., 32 : 1819-1825.~~

DELORT-LAVAL J., DULPHY J.P., DURAND M., LELONG M., MELCION J.,  
MORAND-FEHR P., SAUVANT D., - C.A.A.A./INR-P.G./Février  
1978 - Utilisation des matières premières celluloses  
en particulier la paille en alimentation animale.

DEMARQUILLY C. et PETIT M., INRA - CNRZ 1976  
Consultation technique de la F.A.O. sur les nouvelles  
sources d'alimentation du bétail.  
Rome 22-24 nov. 1976.

DEMARQUILLY C. et WEISS, 1970, Cites par DEMARQUILLY,

DEMARQUILLY C. et ANDRIEU J., 1970 - Les céréales immaturées, In :  
Fourrages et Aliments concentrés - Production et  
valeur alimentaire pour les ruminants,  
Revue de l'élevage, 48e numéro spécial.

DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., ANDRIEU J., BERANGER C., GEAY Y.,  
HODEN A., JARRIGE R., JOURNET M., LENARD G., PETIT M.,  
REMOND B., THERIEZ M. et THIVEND P. (I.N.R.A.) et  
LEGENDRE J. (I.T.E.B.)  
Bulletin Techn., CRZV Theix n°25/septembre 1976,

DEMARQUILLY c., Les fourrages, C.T.A.A.D. Session 1979.

DEMARQUILLY C., Valeur alimentaire des ensilages Revue "Fourrages"  
Juin 1970.

DEMARQUILLY C., Valeur alimentaire des foin - Revue "Fourrages"  
Juin 1970,

DEMARQUILLY C., Avantages et inconvénients, vus à travers les  
animaux, des associations graminées - légumineuses,  
extrait de la revue "Fourrages" n°66/Juin 1976.

DEMARQUILLY C., Eléments nouveaux concernant l'utilisation de  
l'Energie et de l'azote par les ruminants, extrait  
de la revue "Fourrages" n°62/juin 1975.

DEMARQUILLY C., Valeur alimentaire de la plante de céréale de  
sorgho et de tournesol, extrait de la revue "Fourrages"  
n°42/Juin 1970,

DEMARQUILLY C., Composition chimique, caractéristiques fermentaires  
digestibilité et quantité ingérée des ensilages de  
fourrages : modifications par rapport au fourrage  
vert initial, Ann. Zoot. 1973.

DEMARQUILLY C., XANDE, CHENOST, Composition et valeur nutritive  
des fourrages tropicaux,

- DEMARQUILLY C., Différents modes d'utilisation des légumineuses fourragères dans l'alimentation des ruminants - Février 1976.
- DEMARQUILLY C., HAUREZ PH., JOURNET M., LELONG C., MALTERRE C., Extrait du bulletin technique d'information n°264-265/1971.
- DEMARQUILLY C., Facteurs de variations de la quantité d'herbe verte consommée par le mouton, extrait de la revue "Fourrages" n° 22 Juin 1965.
- DEMARQUILLY C., Fertilisation et qualité du fourrage, extrait de la revue "Fourrage" n°69/Mars 1977.
- DEMARQUILLY C., JARRIGE A., 1964 - Valeur alimentaire de l'herbe des prairies temporaires aux stades d'exploitation pour le pâturage - I. Composition chimique et digestibilité. Ann. Zootech. 13, 301 - 339.
- DEMARQUILLY C., CHE NOST M., 1969 - Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon - liaisons avec la valeur alimentaire - Ann. zootech. 18, 419-436.
- DEMAHQUILLY C., WEISS Ph., 1971. Liaisons entre les quantités de matière sèche de fourrages verts ingérées par les moutons et celles ingérées par les bovins, Ann. Zootech. 20, 199-134,
- DEMARQUILLY C., 1978 - L'utilisation dans l'alimentation des ruminants, des aliments grossiers sous-produits de la culture. Guide Agricole Philips, 81-94.
- DTALLO S., PUGLIESE P.L., CALVET H. Revue d'Elevage et de médecine vétérinaire des Pays Tropicaux - Tome XXIX (N.S.) n°3 - 1976.
- DONEFER E., NIEMAN P.J., CRAMPTON P.W., LLOYD L.E. (1963) : J. Dairy Sc. 46-965.
- DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., et ANDRIEU J.P. (1977) - Utilisation comparative par les génisses de 2 ensilages d'herbes conservés à l'acide formique ou au "sylade", INRA-Bull. Techn. N°27/Mars 1977,
- DULPHY J.P., Quantités ingérées et phénomènes! de substitution ; conséquences pour le rationnement. INRA Bull. Techn.
- DULPHY J.P. - Valeur alimentaire des ensilages d'herbe - 1979 Cours.
- DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., 1975 - Complémentation énergétique des rations à base d'ensilage d'herbe en cours de lactation, Bull. Techn. CRZV - INRA Thaix, 21, 31-40.

- GODON B. et PETIT L. 1971 - Influence des conditions de prestocage et de séchage du maïs-grain sur 18s caractéristiques commerciales, microbiologiques, biochimiques, biophysiques et technologiques : répercussions sur sa valeur alimentaire - Propriétés des protéines, Ann. Zootechn., 20, 641 - 644,
- GUEGUEN, 1972, LAMAND, 1974 Cités par 3, ANDRIEU et al ; 7976.
- GUGGOLZ J., KOHLER GO., KLOPFENSTEIN T.J., 1971 - Composition and improvement of grass straw for ruminant nutrition. 3. Of Anim, Sci., 33(i), 151-156.
- HARAS M. - Mémoire 3e année I.N.A. 1979.
- HART et al., 1975 ; REXEN et al., 1976, Cites par MELCION.
- HAUREZ Ph, 1973 - Les génisses et les vaches allaitantes peuvent tirer partie des cannes de maïs. In : le maïs sous toutes ses faces p. 173 - 176 n° hors série de l'Élevage.
- HEAD, 1971 ; TARKOW et al., 1969 ; HARKIN, 1973 ; DVER et al. 1975 Cités par HARAS.
- HODEN A. et JOURNET M. Efficacité d'utilisation de différents compléments azotes non protidiques offerte en libre service en complément de ration à base de paille, INRA - Bull. Techn, n°27 Mars 1977,
- HODEN A. 1973 - Valeur alimentaire des fourrages pauvres pour 18s ruminants, Effet de la complémentation azotée. Bull, Techn, CRZV - Theix, 12, 7, - 11.
- HODEN A., JOURNET M. CROSSET - PERROTIN M., 1975. Essais d'utilisation de différents types de mélanges à base d'urée offerts en complément de rations de paille à des génisses d'élevage. Bull, Techn, CRZV - Theix, 21, 77-24.
- HUGUET L., TROCCON J.L., MOURGUEJ A. et HODEN A, 1975 Extrait de la revue "Fourrages" n°61.
- JARRIGE R. et THIVEND P, - Action d'une cellulose fongique sur les membranes et son intérêt pour prévoir la digestibilité des plantes fourragères. Ann. de biologie animale, Eliochimie et Biophysique, 1969,
- JARRIGE R. - Méthodes de prévision de la valeur alimentaire des fourrages In "Fourrages" n°42/Juin 1970.
- JARRIGE R. et MINSON D.J. (1964), Cites par DEMARQUILLY.
- JARRIGE R. et DEMARQUILLY C., DULPHY J.P. - The voluntary intake of forages - June 1973.
- JOUANY - Etude des traitements permettant d'améliorer la valeur alimentaire des fourrages pauvres (pailles). Bull, Techn, CRZV - Theix 21, 5-15.

- JOURNET M., DEMARQUILLY C., 1967, Valeur alimentaire des foin  
condensés. II - Influence du broyage et de la mise en  
agglomérés sur la digestion du foin de luzerne dans le  
rumen.  
Ann, Zoot. 16, 307-321.
- KERNAN et al, 1977 ; HOME et al. 1976, Cites par MELCTON.
- LANCASTER et Mc NAUGHTON, 1961, BROWN et KERR, 1965 ; DIJKSTRA,  
1965 ; SMITH, 1962 Cités par DEMARQUILLY.
- LIENARD G. et BERANGER C. - En zone herbagère intensive, quels  
types de production de viande choisir, taureaux, boeufs,  
génisses ? aspects économiques.  
INRA - Bull. Techn. n°27/Mars 1977.
- LIENARD G. DE LA VAISSIERE P. - Aspects économiques de l'utilisa-  
tion des céréales dans la production des jeunes bovins.  
IVE Journée du "Grenier de Theix" 1972.
- MBODJ M. - Divers procédés de traitement des fourrages et des  
pailles en vue d'en accroître la digestibilité et la  
valeur nutritive - Rapport de stage Septembre 1977 -  
ISRA CNRA Bambey,
- MERCIER C. - Conservation des céréales : aspect biochimique : le  
maïs-grain  
Bull, Techn. INRA - IVE Journée du "Grenier de  
Theix" Janvier 1972.
- PIATOWSKI et al., 1974 ; CHANDRA et JACKSON, 1971 ; FEIST et al.  
1970, cites par MELCION.
- RIVIERE A. - Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en  
milieu tropical.
- SAUE O., BREIREM K. - (1969) : Proc. 3rd General meeting of the  
European Grassland Federation, Braunschweig.
- SAUVANT D., 1979 - La composition et l'utilisation digestive des  
aliments - INA - C.T.A.A.D.
- TERRY R.A., SPONER M.C. (1975) - The feeding value of mixtures of  
alkali-treated straw and grosse silage  
Journal of agric, Science Comb,
- TERRY R.A., TILLEY J.M.A. (1964) : J. Brit. Grassland Soc. 19,  
363-372.
- THIVEND P. - Le manioc dans l'alimentation des ruminants  
INRA - Bull Techn. IVE Journée du "Grenier de Theix"  
Janv. 72.
- THIVEND P. et MARTIN-ROSSET - Quelques particularités de la diges-  
tion des céréales chez le ruminant.  
IVE Journée du "Grenier de Theix" Janvier 1972.

TILLEY J.M.A., TERRY R.A. (1963) : J. Brit - Grassland Soc.,  
19, 363-372.

TISSERAND J.L., - Vers un nouveau système d'appréciation de la  
valeur azotée et énergétique des aliments et des be-  
soins des ruminants,  
INRAP - 31 - Septembre 1977 - ENSSAA/Dijon.

TROELSEN J.E., BIGSBY F.W. (1964) : J. Anim, Sci, 23, 1139-1142.

VAN SOEST P.J., (1963) : J. Assu. Official Agric, Chem, 46,829,

VERMOREL - Valeur énergétique des céréales pour les ruminants  
Ive Journée du "Grenier de Theix" - Janvier 1972,

WXLSON (A.D.), WEIR (W.C.) et TORELL (D.T.) . Digestibility of  
range forage and browse - J. Anim. Sci., 3971, 32 (5)  
1046.