

VT970 238

BA\_TH169

CIRAD-EMVT  
Campus de Baillarguet  
B.P. 5035  
34032 MONTPELLIER Cedex 1

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

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

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

---

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

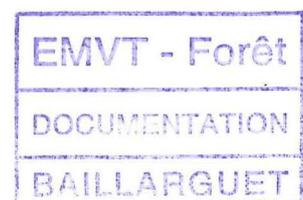
---

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

**EFFET DU NIVEAU D'ALIMENTATION SUR  
LA DIGESTION CHEZ LES RUMINANTS**

*par*

***Abdoulaye DIAWARA***



année universitaire 1996-1997



**LISTE DES ABREVIATIONS**

<b>ADF</b>	Acid Detergent Fiber
<b>dCB</b>	Digestibilité de la Cellulose Brute
<b>dMO</b>	Digestibilité de la Matière Organique
<b>ml</b>	Millilitre
<b>MS</b>	Matière Sèche
<b>NA</b>	Niveau d'Alimentation
<b>NDF</b>	Neutral Detergent Fiber
<b>PV</b>	Poids Vif
<b>UFL</b>	Unité Fourragère Lait

## SOMMAIRE

<b>RESUME</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>1. DEGRADATION CHIMIQUE DES ALIMENTS DANS LE RUMEN : PRINCIPES GENERAUX</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Importance de la digestion ruminale</b>	<b>7</b>
<b>1.2 La population microbienne du rumen</b>	<b>8</b>
1.2.1 Les bactéries	8
1.2.2 Les protozoaires	9
1.2.3 Les champignons	9
<b>1.3 Dégradation des glucides et production d'acides gras volatils</b>	<b>10</b>
1.3.1 Principes de la dégradation	10
1.3.2 Estimation de la dégradation	11
1.3.3 Production et absorption d'acides gras volatils	12
<b>1.4 Métabolisme des matières azotées</b>	<b>14</b>
1.4.1 Dégradation et synthèse des matières azotées	14
1.4.2 Effet d'une supplémentation azotée	16
<b>2 EFFET DU NIVEAU D'INGESTION SUR LA DIGESTION</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Effet sur la digestibilité</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Activités alimentaires</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Temps de séjour et contenus du rumen</b>	<b>21</b>
2.3.1 Temps de séjour des particules	22
2.3.2 Modifications du contenu ruminal	23
<b>2.4 Activité microbienne et production d'acides gras volatils</b>	<b>25</b>

<b>3 VARIATIONS LIEES A LA SOUS-NUTRITION</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Effet sur la digestibilité</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Rôle de la taille des particules et de la mastication</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Rôle du temps de séjour des particules dans le rumen</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Rôle de l'activité microbienne dans le rumen</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>32</b>

## RESUME

L'objectif de ce travail était de caractériser à partir d'une revue bibliographique les ajustements des processus digestifs mis en oeuvre par le ruminant en état de sous-nutrition énergétique et azotée pour augmenter l'utilisation digestive de sa ration.

Par rapport à cela, dans cette revue bibliographique, nous avons essayé de préciser d'abord les principales caractéristiques de la dégradation chimique des aliments dans le rumen sous l'action des micro-organismes. En plus de l'estimation de la quantité de matière organique apparemment digestible dans le tube digestif, la variation de l'énergie des acides gras volatils produits a également été étudiée. Cette variation est fonction du rapport entre le fourrage et le concentré dans le régime et des quantités consommées. Les particularités du métabolisme des matières azotées dans le rumen ont été précisées.

Nous avons ensuite étudié les relations entre niveau d'ingestion et digestion, en analysant les variations de digestibilité, des activités masticatoires, du transit et des contenus de rumen, et de l'activité microbienne. Ces relations ont été établies principalement pour des niveaux d'alimentation supérieurs à l'entretien. Dans une dernière partie, nous avons examiné le cas particulier des animaux sous alimentés.

L'augmentation de l'utilisation digestive de la ration quand les quantités ingérées diminuent résulte d'une part de l'allongement de la durée d'attaque des particules alimentaires par les micro-organismes dans le rumen grâce à l'accroissement du temps de rétention de ces particules, d'autre part de l'accroissement de l'activité cellulolytique de ces micro-organismes, quand le niveau d'ingestion passe en dessous du besoin d'entretien des animaux. Cette activité des micro-organismes a été appréhendée par la technique *in sacco* (qui vise à apprécier les variations d'activité cellulolytique à travers les variations de vitesse de dégradation d'un substrat standard en fonction de l'activité de l'écosystème microbien) et la mesure de l'activité enzymatique des micro-organismes (technique pour l'instant peu utilisée dans les études de digestion).

### Mots clés :

**Activité cellulolytique, activité microbienne, digestion, micro-organismes, particules alimentaires, ruminant, sous-nutrition, transit.**

## INTRODUCTION

Le niveau d'alimentation énergétique d'un ruminant peut-être défini comme étant la quantité de matière organique digestible qu'il ingère par rapport à celle nécessaire pour satisfaire ses dépenses d'entretien. Les variations saisonnières de la disponibilité fourragère compromettent, bien souvent sur une bonne partie de l'année, la couverture de ce besoin d'entretien. Les situations les plus classiques de sous-alimentation sont observées :

- en milieu tropical aride ou semi- aride, pendant les saisons sèches longues. L'animal ne dispose alors, sur ses parcours, que de pailles herbacées sur pied ou de résidus de cultures vivrières, complétées éventuellement par des fourrages arbustifs. Ces pailles sont peu digestibles et par conséquent peu ingestibles. Même disponibles à volonté, comme seul aliment, elles ne couvrent au mieux que deux tiers des besoins d'entretien du ruminant. L'animal, grâce à ses déplacements et à son comportement de tri parvient cependant à couvrir ses besoins dans la plupart des situations. Les jeunes rameaux, les fleurs, les fruits, les gousses, des Mimosacées (Acacia) en particulier, constituent des fourrages d'appoint non négligeables (Guérin, 1987). L'examen des teneurs en matières azotées fait apparaître les différences classiques entre les graminées et les légumineuses ou les dicotylédones en général. De même, les teneurs en lignine des graminées dépassent rarement 60 g/kg MS alors que celles des dicotylédones atteignent souvent 120 g/kg MS en saison sèche (Guérin et al, 1991).

- en milieu tempéré, pendant la saison hivernale, la sous-alimentation résulte souvent d'une spéculation économique. Une restriction alimentaire délibérée des animaux permet de limiter les stocks fourragers nécessaires pour traverser l'hiver, avec des économies substantielles sur le coût de production et de stockage des fourrages à conserver.

- chez les vaches hautes productrices et les brebis gestantes portant plusieurs agneaux, la sous alimentation est induite par l'état physiologique de l'animal : sa capacité d'ingestion limitée ne permet pas de couvrir ses dépenses qui sont, à l'inverse, fortement accrues par la production. L'animal dispose de moyens métaboliques, physiques et digestifs pour s'adapter à un déficit énergétique. Tout d'abord, il utilise les réserves corporelles qu'il a accumulées au cours des périodes antérieures plus prospères. Il peut ainsi réduire ses dépenses énergétiques de base et son activité physique.

Sur le plan digestif, l'animal a la capacité d'augmenter l'utilisation digestive des aliments qui lui sont offerts afin d'en tirer une quantité maximale de nutriments. Cette meilleure utilisation digestive résulte de la modification d'un certain nombre de processus digestifs parmi lesquels l'allongement de la durée d'exposition des aliments à l'attaque des micro-organismes dans le rumen. Les micro-organismes eux-mêmes pourraient apporter leur contribution en ajustant leur activité de dégradation des aliments à la disponibilité du substrat dans le milieu. Cela suppose que la restriction énergétique ne soit pas doublée d'un déficit en éléments nutritifs comme les matières azotées, les minéraux, les vitamines qui sont aussi indispensables au bon fonctionnement de l'organisme microbien.

Ce document présente en premier lieu les principales caractéristiques de la digestion ruminale, permettant de comprendre les processus digestifs. Mais l'objectif principal de cette synthèse est de *caractériser les ajustements des processus digestifs mis en oeuvre par le ruminant pour augmenter la digestibilité des aliments quand les quantités de matière sèche et/ou de nutriments offerts sont limitées.*

Dans la bibliographie, on dispose de nombreuses informations, en ce qui concerne les ajustements qui s'opèrent quand le niveau d'alimentation des animaux est supérieur à leurs besoins d'entretien. L'étude bibliographique que nous avons réalisée a visé à quantifier les effets d'une modification du niveau d'alimentation sur la digestion à partir de résultats obtenus tant *in vivo* qu'*in vitro*.

Mais qu'en serait-il si le niveau d'alimentation était sévèrement restreint en dessous des besoins d'entretien de l'animal ? L'objectif des travaux expérimentaux trouvés dans la bibliographie était d'élargir les connaissances actuelles à ce cas de restriction sévère en s'assurant d'abord que les mécanismes décrits pour des niveaux d'alimentation élevés (c'est-à-dire équivalents ou supérieurs au besoin d'entretien énergétique des animaux) sont directement applicables au cas de la sous-alimentation.

## **1. DEGRADATION CHIMIQUE DES ALIMENTS DANS LE RUMEN : PRINCIPES GENERAUX**

La digestibilité *in vivo* est le paramètre principal de la valeur nutritive. Sa mesure consiste à faire le bilan entre les nutriments ingérés et ceux excrétés dans les fèces de l'animal. Cette digestibilité comprise entre 40 et 80 % est le principal facteur de variation de la valeur énergétique des fourrages.

Une grande partie de la variation de digestibilité d'une ration à l'autre s'explique par des différences dans le fonctionnement du rumen, qui est le compartiment digestif où se situe l'essentiel de la digestion des glucides, et un métabolisme important des matières azotées, préalable à leur absorption au niveau de l'intestin grêle.

En milieu tropical, d'après l'étude réalisée par Guérin et al (1991), la digestibilité de la matière organique proche de 70 % en saison des pluies décroît rapidement jusqu'au début de la saison sèche (novembre) puis se stabilise entre 45 et 50 %.

### **1.1 Importance de la digestion ruminale**

La dégradation des aliments sous l'action des micro-organismes du rumen est plus ou moins connue depuis les travaux des chercheurs du 18<sup>ème</sup> siècle. L'ampleur de cette dégradation, en particulier des fractions glucidiques qui constituent la majeure partie de la biomasse ingérée, conditionne largement la digestibilité dans l'ensemble du tube digestif et, par conséquent, la valeur énergétique du régime alimentaire.

La proportion de la matière organique digestible des aliments digérés au niveau du rumen est en moyenne de l'ordre de deux tiers. Cette valeur cache en fait des disparités importantes selon les rations et les constituants. Ainsi, selon Sauvante et al (1995), les glucides solubles (sucres, amidon), de faible poids moléculaire, sont totalement dégradés dans le rumen par le métabolisme bactérien. Il en est presque de même pour les amidons à dégradation rapide comme ceux de l'orge, du blé ou de l'avoine. Par contre, pour les amidons à dégradation lente (maïs, sorgho), la part digérée au niveau du rumen est plus variable et dans certains cas peut être limitée à 30 %. Pour les constituants pariétaux, de l'ordre de 90 % de

leur fraction digestible est dégradée au niveau du rumen. La digestibilité intestinale concerne essentiellement les matières azotées.

## **1.2 La population microbienne du rumen**

Une fois broyées lors de l'ingestion et de la rumination, les particules alimentaires sont attaquées par de très nombreux micro-organismes. Trois populations microbiennes cohabitent dans le rumen et entretiennent des relations de symbiose, de compétition ou de prédation selon les individus en présence : les bactéries, les protozoaires et les champignons.

### **1.2.1 Les bactéries**

La population bactérienne dans le jus du rumen est estimée à  $10^{10}$  -  $10^{11}$  cellules par ml. Les bactéries adhérant à la phase solide du contenu ruminal représentent à elles seules 50 à 75 % de la population bactérienne totale. La population bactérienne est responsable de la majeure partie de la dégradation dans le rumen, ce qui lui permet de couvrir ses besoins en énergie et en matières azotées.

On distingue généralement la population des bactéries cellulolytiques capables de dégrader les glucides pariétaux (cellulose) et la population des bactéries amylolytiques dégradant plus particulièrement l'amidon.

Pour la multiplication et donc pour la synthèse de leurs matières azotées, les bactéries utilisent essentiellement l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ; certaines espèces cellulolytiques en ont un besoin absolu (ou strict). Certaines espèces de bactéries synthétisent en abondance les vitamines B, assurant ainsi la couverture des besoins de l'organisme hôte.

Il existe une corrélation étroite entre le régime alimentaire et la composition de la population bactérienne du rumen. Lorsqu'un animal consomme un régime alimentaire uniforme, il s'établit dans son rumen après la phase d'adaptation, une population microbienne de composition relativement constante, qu'on peut appeler un faciès microbien. Le régime alimentaire détermine le faciès par l'intermédiaire de la quantité et de la nature des substrats fermentescibles qu'il apporte et par les conditions de milieu qu'il crée dans le rumen, par le pH en tout

premier lieu. L'état d'équilibre est cependant assez fragile et conditionne l'efficacité de la digestion. Les changements de régime alimentaire doivent donc être effectués de façon progressive, en respectant une période de transition d'autant plus longue que les régimes sont plus différents (INRAP, 1984)

### 1.2.2 Les protozoaires

De nombreuses études ont montré la contribution des protozoaires à la digestion de l'amidon et des parois cellulaires dans le rumen. On dénombre environ  $10^5$  à  $10^6$  protozoaires par ml de liquide ruminal.

Le rumen comporte une population très variée de protozoaires. Il existe deux grandes classes : *Isotrichidae* et *Ophryoscolecidae*. Les genres de protozoaires identifiés chez les ruminants sont communs à toutes les espèces, à quelques exceptions près : ainsi, *Isotricha bubali* a été retrouvé chez les bovins, mais pas chez les petits ruminants. Encore n'est-il pas exclu qu'il soit présent, mais non encore observé chez ces espèces.

La contribution des protozoaires à la digestion des glucides, a été montrée par l'utilisation d'animaux défaunés. Leur comportement prédateur vis à vis des bactéries augmente considérablement le taux de renouvellement des protéines bactériennes dans le rumen, qui varie de 0,003 à 0,027/h chez les animaux défaunés, et atteint 0,024 à 0,37/h chez les animaux faunés (Wallace et McPherson, 1987, in Jouany et al, 1995)

Les protozoaires ont une activité spécifique de désamination très intense. Il a été observé que des extraits de protozoaires avaient tous une activité spécifique de production d'ammoniaque au moins trois fois supérieure aux extraits de bactéries. Toutefois, il a été montré que la présence du seul cilié *Isotricha spp.* dans le rumen provoque une diminution de N-NH<sub>3</sub> à partir de protéines insolubles (Jouany et al, 1995).

### 1.2.3 Les champignons

On sait depuis peu que le rumen abrite aussi une population de champignons microscopiques. Les champignons colonisent les tissus ligno-cellulosiques des particules alimentaires et jouent un rôle important dans la dégradation des parois cellulaires végétales.

Les études sur les champignons sont récentes et ont été focalisées sur leur identification et leur métabolisme, de sorte que les effets du niveau d'ingestion ou de l'espèce animale n'ont pratiquement pas été étudiés

### **1.3 Dégradation des glucides et production d'acides gras volatils**

#### **1.3.1 Principes de la dégradation**

Les glucides des parois végétales sont essentiellement constitués par la cellulose et les hémicelluloses. Ils ont été caractérisés analytiquement par la cellulose Weende, la lignocellulose, les fractions insolubles dans les détergents neutres (NDF) et acides (ADF).

L'importance de leur digestion dans le rumen a été estimée sur des animaux porteurs de canules de la caillette ou du duodénum, en utilisant des marqueurs indigestibles : lignine, oxyde de chrome, terres rares.

Les glucides non pariétaux (ou cytoplasmiques) sont digérés en presque totalité dans le tube digestif des ruminants. L'importance relative de la digestion ruminale de l'amidon varie selon son origine. Les variations observées pour un même type de céréales sont attribuables à l'espèce, aux traitements technologiques (broyage, aplatissage, pression), au niveau d'alimentation et à l'efficacité de la mastication qui varie selon l'espèce animale (Journet et al, 1995).

Les autres glucides cytoplasmiques, constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères (glucides solubles), sont très rapidement et presque totalement digérés dans le rumen, qu'il s'agisse de glucides des parties aériennes (tiges, feuilles) ou souterraines (racines ou tubercules). Les résidus des graines, tubercules, racines, après extraction des sucres ou après fermentation (pulpes et drèches), contiennent généralement des fractions glucidiques qui sont fermentées en presque totalité dans le rumen, mais beaucoup plus lentement que les sucres ou les amidons; ils conduisent de ce fait à une acidification moins rapide du milieu ruminal.

### 1.3.2 Estimation de la dégradation

L'activité cellulolytique des micro-organismes a été appréhendée par deux méthodes :

- la technique *in sacco* qui vise à apprécier les variations d'activité cellulolytique à travers les variations de la vitesse de dégradation d'un substrat standard en fonction de l'activité de l'écosystème microbien. Cette technique est largement répandue.

- la mesure de l'activité enzymatique des micro-organismes. Très peu utilisée pour l'instant dans les études de digestion, cette technique permet d'étudier *in vitro* le potentiel enzymatique d'une espèce microbienne isolée ou d'une population mixte. *In vivo*, l'activité enzymatique mesurée traduit la capacité d'une population microbienne déterminée à dégrader un substrat donné au cours du processus de digestion. Des travaux récents ont montré que les enzymes impliquées dans la dégradation des glucides solubles sont principalement synthétisées par les bactéries de la phase liquide du contenu ruminal, alors que celles impliquées dans la dégradation des parois proviennent principalement des bactéries adhérant au contenu solide.

La vitesse et l'étendue de la dégradation des constituants pariétaux dans le rumen dépendent donc du développement de cette population adhérente et de l'expression de son potentiel enzymatique. La mesure de l'activité enzymatique peut de ce fait être utilisée pour mettre en évidence des différences d'activités des micro-organismes induites par des facteurs alimentaires tels que la nature ou la composition de la ration.

Quand on apporte des glucides rapidement fermentescibles (orge) dans la ration, la dégradation *in sacco* diminue, et cette diminution est liée à une baisse de la vitesse de dégradation. Cette variation de vitesse de dégradation des parois seraient dues à celles de l'activité polysaccharidasique des micro-organismes du rumen.

Les variations des paramètres de la dégradation dues aux modifications des conditions physiques du rumen et de la dynamique des digesta résulteraient d'une variation de l'activité glycosidasique des micro-organismes adhérant aux particules dans le rumen. Dans le cas d'un changement de composition de la

ration, les variations de ces paramètres seraient plus à rapprocher de celles de l'activité des polysaccharidases.

### 1.3.3 Production et absorption d'acides gras volatils

Les acides gras volatils formés dans le rumen résultent de la fermentation de la matière organique constituée principalement par les glucides ainsi que par les chaînes carbonées des acides aminés (Jouany et al, 1995). En fait, la fermentation de la matière organique conduit à la libération d'énergie, sous forme d'ATP, qui est utilisée par les micro-organismes pour la satisfaction de leurs besoins énergétiques d'entretien et de croissance. La production d'acides gras volatils est, de ce fait, en relation directe avec la quantité de matière organique fermentée. L'acide acétique est préférentiellement formé à partir des glucides pariétaux des fourrages, cellulose et hémicelluloses, et l'acide propionique à partir des glucides solubles et l'amidon.

Une vache qui ingère 18 kg de matière organique en fermente environ 8 kg ; une partie de la matière organique réellement digérée est transformée en matière microbienne (environ 1/3) et l'autre est fermentée (environ 2/3) et transformée en acides gras volatils, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, chaleur.

L'estimation de la quantité d'acides gras volatils produite a fait l'objet de nombreux travaux entre 1960 et 1980. Elle a été rapportée à la quantité de matière organique apparemment digestible dans la totalité du tube digestif ; l'énergie des acides gras volatils produits correspond à 50-60% de l'énergie apparemment digérée dans l'ensemble du tube digestif de mouton. En revanche, les valeurs obtenues sur les vaches laitières sont plus faibles et plus variables : de 30 à 40 % pour des vaches à haut niveau d'ingestion, alimentées à volonté et recevant des rations mixtes de fourrage et d'aliment concentré distribué deux fois par jour. La variation de ce pourcentage rend compte de l'importance relative de la digestion dans le rumen par rapport à celle qui lieu dans l'intestin. Elle est fonction :

- du rapport fourrage/concentré dans le régime. Ainsi, ce pourcentage atteint 62 à 64 % pour des rations de fourrage seul distribuées à des vaches tarées. Pour les rations mixtes distribuées à des vaches en lactation, les valeurs dépendent de la présence ou non de maïs grain dans l'aliment concentré. D'après les estimations, elles seraient de l'ordre de 52 à 55 % pour les rations sans maïs et de 47 à 48 % pour celles à base de maïs.

- de l'azote fermentescible : lorsqu'il limite l'activité et la prolifération microbienne, et par conséquent la fermentation de la matière organique dans le rumen, la production d'acides gras volatils est réduite (Lomri, 1983)

L'effet du mode d'alimentation, à volonté ou limité, en interaction avec la nature de la céréale, joue également un rôle important (tableau 1)

**Tableau 1.** Estimation de l'énergie des acides gras volatils (EAGV) rapportée à l'énergie digestible pour quatre grands types de rations (Journet et al ,1995)

Niveau d'alimentation	Céréales du concentré	EAGV/Energie digestible
<b>A volonté</b>	maïs ou sorgho	0,40
	autre céréale	0,50
<b>Limité</b>	Maïs ou sorgho	0,55
	Autre céréale	0,60

Différents facteurs alimentaires sont aussi susceptibles de modifier la proportion d'énergie disponible sous forme d'acides gras volatils tels que les apports azotés sous forme soluble qui peuvent influencer le rapport entre la quantité de matière organique fermentée et celle directement incorporée dans la masse microbienne sous forme de glucides de stockage dans les bactéries et les protozoaires.

Les facteurs agissant sur la vitesse de renouvellement du liquide du rumen modifient aussi la proportion relative des acides gras volatils. Cependant, le facteur essentiel agissant sur la composition des acides gras volatils est la nature de la ration : l'augmentation de la proportion de concentré, c'est-à-dire de glucides non pariétaux dans la ration qui favorise la production d'acides gras volatils en C3 (acide propionique) et surtout C4 (acide butyrique) qui sont des acides gras majeurs (Paragon, 1996).

Outre la nature de la ration, d'autres facteurs ont une action non négligeable :

- la forme de la présentation des fourrages ;
- le nombre de distributions d'aliments : son augmentation entraîne un léger accroissement de la production d'acides gras volatils ;

- le type animal : la race de bovins a une influence sur la concentration totale des acides gras volatils dans le rumen (Lomri, 1983).

Les acides gras volatils absorbés sont partiellement métabolisés par l'épithélium ruminal. Environ 30 % de l'acétate, 50 % de propionate et 75-80 % de butyrate produits dans le rumen sont utilisés ou métabolisés par la paroi du tube digestif. Des chercheurs ont récemment confirmé qu'une proportion élevée du propionate était métabolisée dans le rumen (plus de 50 %) et qu'elle n'était pas influencée par la quantité de propionate infusée dans le rumen. Les acides gras volatils qui ont échappé à l'absorption dans le rumen sont absorbés dans le feuillet (Deswysen et al, 1995)

#### **1.4 Métabolisme des matières azotées**

Dans le rumen, les matières azotées ingérées par le ruminant participent à deux réactions :

- une dégradation plus ou moins intense et plus ou moins rapide par la population microbienne, dont le produit terminal le plus important est l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ;
- une réaction de synthèse; l'ammoniac est utilisé par la population microbienne pour sa prolifération et donc pour la synthèse de ses protéines.

##### **1.4.1 Dégradation et synthèse des matières azotées**

La dégradation des matières azotées touche plus ou moins fortement les principaux constituants de la matière azotée.

- matières azotées non protidiques : elles sont dégradées totalement et rapidement en ammoniac
- matières azotées protidiques : les protéines (et à plus forte raison les polypeptides et les peptides) subissent une dégradation souvent importante, mais variable selon leur nature et l'activité de la population microbienne; 50 à 80 % des protéines peuvent ainsi être dégradées. Cette dégradation, due aux enzymes protéolytiques des micro-organismes, conduit aussi à la production d'ammoniac.

Les bactéries cellulolytiques du rumen utilisent largement l'ammoniaque comme source d'azote et leurs besoins en acides aminés et peptides semblent se limiter aux acides aminés soufrés, méthionine et cystéine notamment. Pourtant, diverses

études *in vitro* ont montré que les peptides et les cocktails d'acides aminés sont capables d'augmenter la croissance microbienne au-delà de celle permise par l'azote ammoniacal, et d'augmenter ainsi la digestion des fibres.

Le devenir de l'ammoniac résultant de la dégradation des matières azotées fermentescibles peut être envisagé par deux situations (tableau 2) :

- en conditions favorables, quantité correcte d'ammoniac et quantité suffisante de glucides fermentescibles, l'ammoniac est utilisé par les bactéries, et plus précisément par les bactéries cellulolytiques dont certaines ont un besoin strict d'ammoniac; l'ammoniac est indispensable à la multiplication microbienne et est utilisé pour la synthèse de matières azotées microbiennes (protéosynthèse microbienne).

On estime en général que des concentrations en ammoniac du liquide ruminal de l'ordre de 200 à 270 mg/l sont suffisantes pour assurer une croissance optimale des micro-organismes (Kabré, 1994). Des concentrations inférieures peuvent ne pas limiter la croissance microbienne si l'animal recycle l'urée de son organisme.

- en conditions défavorables, excès d'ammoniac ou déficit en glucides fermentescibles, l'ammoniac dépasse la capacité de protéosynthèse microbienne, s'accumule dans le rumen et est absorbé dans la veine porte. Capté par le foie, il est transformé en urée qui est excrétée par le rein, exception faite d'une certaine fraction recyclée par la salive. De plus, lorsque le taux d'ammoniac du sang devient excessif, des troubles hépatiques et des accidents de toxicité peuvent apparaître (tableau 2).

**Tableau 2** : Devenir de l'ammoniac produit dans le rumen et conséquences  
(INRAP, 1984)

	Conditions favorables	Conditions défavorables
<b>pH</b>	<7	>7
<b>Glucides fermentescibles</b>	+	-
<b>Ammoniac</b>	peu absorbé	absorbé massivement
<b>Conséquences</b>	L'ammoniac participe à la multiplication microbienne Protéosynthèse	Augmentation du pH sanguin Alcalose, fatigue hépatique Toxicité

#### 1.4.2 Effet d'une supplémentation azotée

L'effet stimulant de la supplémentation protéique des rations bien pourvues en azote ammoniacal serait particulièrement important dans les rations à base de fourrages pauvres. Les protéines animales lentement dégradables (farine de poisson par exemple) donnent de meilleurs résultats que les protéines rapidement dégradables. Dans le cas des rations très digestibles, une supplémentation protéique n'a, dans la plupart des cas, aucun effet sur la digestion du fourrage.

Avec les fourrages pauvres peu digestibles, la croissance microbienne est d'abord limitée par la faible disponibilité en azote. Une supplémentation adéquate en azote minéral de ces fourrages permet d'augmenter leur utilisation digestive mais ne permet pas de l'optimiser. L'azote organique lentement dégradable intervient en stimulant la croissance microbienne. Le rapport azote minéral : azote aminé optimal pour la croissance microbienne serait de 75/25 (Kabré, 1994). L'apport d'azote organique ne serait pas nécessaire dans le cas des fourrages très digestibles, les protéines du fourrage permettant de satisfaire les besoins en nutriments spécifiques des micro-organismes.

La supplémentation protéique du foin pauvre en matières azotées peut permettre d'augmenter de quatre points l'utilisation digestive des parois cellulaires du fourrage. L'augmentation de la digestibilité repose principalement sur celle de la fraction cellulosique des parois. Cela confirme l'effet bénéfique de la supplémentation des foins avec des protéines lentement dégradables sur l'activité cellulolytique des micro-organismes. Des animaux fistulés peuvent être utilisés

pour déterminer les concentrations du liquide ruminal en facteurs de croissance des micro-organismes pour déterminer le ou les nutriments limitants dans un régime constitué de foin seul. Par contre, l'augmentation de la digestibilité apparente des parois due à la supplémentation protéique peut être plus limitée (+2 points) lorsque le déficit en azote fermentescible est modéré ou lorsque la supplémentation est constituée de protéines peu dégradables (Kabré, 1994).

Un des arguments souvent avancés pour expliquer l'augmentation de la digestibilité des parois due à l'alimentation protéique est la satisfaction des besoins en isoacides des micro-organismes. Les peptides sont généralement incorporés tels quels par les micro-organismes ; par contre, une partie des acides aminés est fermentée en acides gras volatils. Les isoacides qui dérivent de la fermentation de certains acides aminés comme la valine, la leucine, et l'isoleucine sont des nutriments indispensables pour la croissance des bactéries cellulolytiques. *In vitro*, la concentration minimale en isoacides dans le milieu de culture au-dessus de laquelle aucune augmentation de la digestion de la cellulose n'est observée, est d'environ 0,3 mmole/l.

D'après Demarquilly (1996), les traitements des pailles à l'ammoniac permettent d'augmenter la digestibilité de la matière organique et leur ingestibilité. Le traitement à l'urée est utilisé dans les régions ou pays qui ne disposent pas d'ammoniac. Il est aussi efficace si les conditions de réussite sont réunies à savoir :- la présence d'uréase

- la dose : 4 à 6 kg/100 kg de paille brute (environ 2,7 à 3,8 kg NH<sub>3</sub>/100 kg MS)
- l'humidité : l'uréolyse augmente avec la teneur en eau (50 l d'eau pour 100 kg de paille pour 40 % d'humidité)
- la température : l'idéale est de 30 à 40 °C

## 2. EFFET DU NIVEAU D'INGESTION SUR LA DIGESTION

Les informations sur les effets d'une variation du niveau d'alimentation sur la dynamique des digesta sont assez nombreuses, mais dans une large majorité, les modifications correspondent à des variations des quantités d'aliments ingérées chez des animaux recevant des rations couvrant au moins leurs besoins d'entretien.

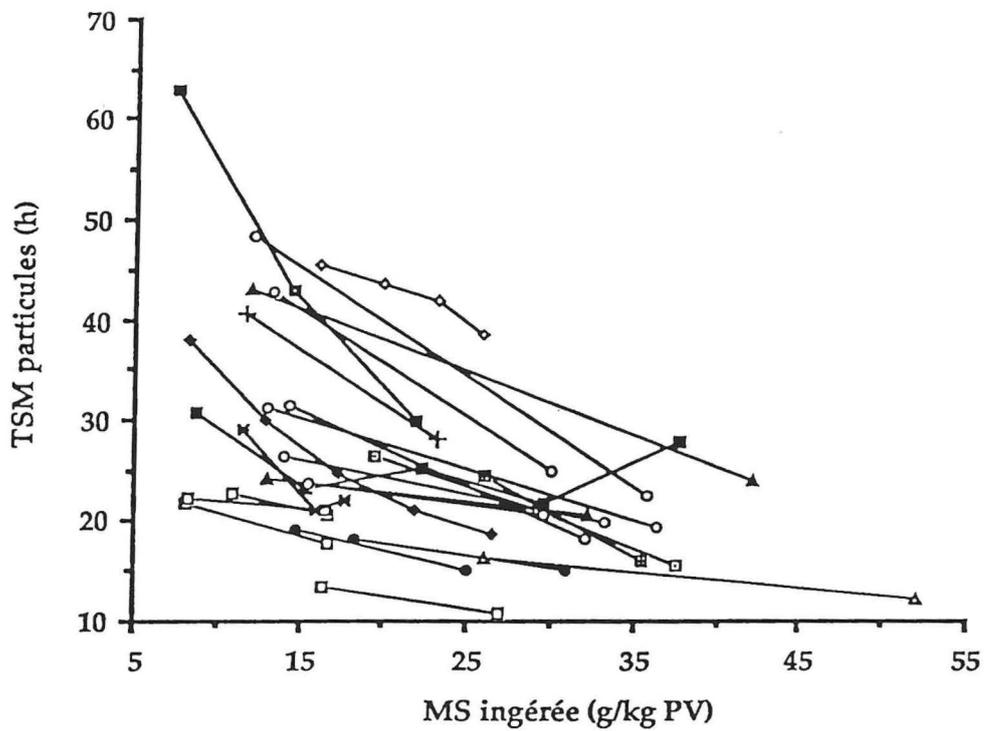


Figure 1. Influence des quantités de matière sèche ingérées sur le temps de séjour des particules de fourrage dans le rumen chez les bovins et les ovins.

- |                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| —□— Minson (1966)               | —□— Shaver <i>et al</i> (1986)    |
| —●— Grovum & Williams (1977)    | —■— Doreau <i>et al</i> (1986)    |
| —+— Johnson <i>et al</i> (1977) | —■— Robinson <i>et al</i> (1987b) |
| —■— Faichney (1980)             | —○— Colucci <i>et al</i> (1990)   |
| —▲— Colucci <i>et al</i> (1982) | —×— Djajanegara & Doyle (1989)    |
| —△— Mudgal <i>et al</i> (1982)  | —◇— Okine & Mathison (1991)       |
| —●— Varga & Prigge (1982)       |                                   |

(In Kabré, 1994)

Ce chapitre traite des relations générales entre niveau d'ingestion, digestibilité et digestion ruminale chez les bovins et les ovins.

## 2.1 Effet sur la digestibilité

L'effet négatif de l'accroissement des quantités ingérées sur la digestibilité a été très largement démontré avec une grande variété de rations offertes en différentes quantités. L'un des premiers essais, qui est aussi l'un des plus démonstratifs, a également mis en évidence que cet effet est d'autant plus négatif que la proportion d'aliment concentré dans la ration est élevée (Wagner et Loosli, 1967, cité par Dulphy et al, 1995). Ainsi, le rôle du niveau d'alimentation est d'autant plus important que la proportion d'amidon dans la ration s'élève.

Pour une même quantité de matière sèche ingérée, les digestibilités des parois cellulaires et de la matière organique varient dans des proportions importantes suivant les essais en fonction de la nature de la ration, mais la tendance générale pour un même essai est la diminution de ces digestibilités quand les quantités ingérées augmentent (figures 1 et 2). Les variations de digestibilité sont plus faibles pour la matière sèche et la matière organique que pour la cellulose brute, probablement parce qu'une partie de la fraction non pariétale de la ration non dégradée dans le rumen peut l'être dans l'intestin grêle.

Par ailleurs, la digestibilité d'une ration est légèrement plus faible lorsque l'animal est alimenté *ad libitum* que lorsqu'il est alimenté en quantités restreintes à un niveau légèrement inférieur. D'une compilation d'essais (29 régimes) il ressort une augmentation moyenne de digestibilité de la matière sèche de 2 points pour une restriction allant de 2 à 20 % du niveau d'ingestion *ad libitum* Doreau et al, 1988. L'augmentation de digestibilité due à la restriction est plus faible pour des taurillons que pour des vaches, des ovins et des caprins recevant le même régime (tableau 3). Elle semble du même ordre de grandeur quelle que soit la nature du fourrage, à l'exception de la paille : dans ce cas la digestibilité peut être plus élevée lorsque l'animal est alimenté *ad libitum*.

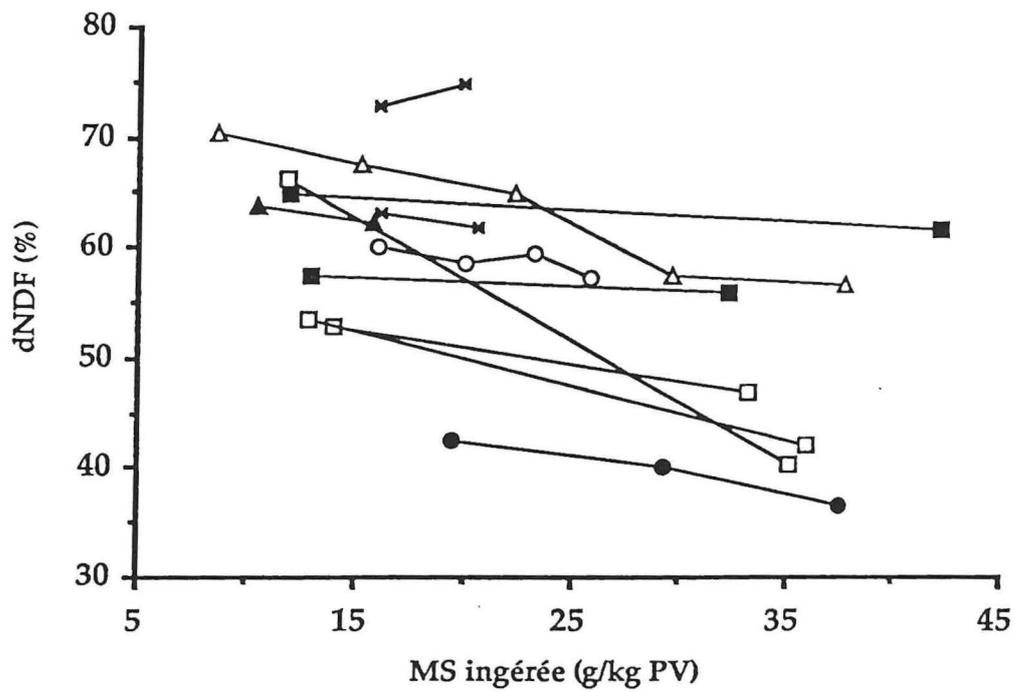


Figure 2. Influence des quantités de matière sèche ingérées sur la digestibilité des parois cellulaires chez les bovins.

- Colucci *et al* (1982)
- ▲ Firkins *et al* (1986)
- Shaver *et al* (1986)
- △ Robinson *et al* (1987a)
- Colucci *et al* (1989)
- Glenn *et al* (1989)
- Okine & Mathison (1991)

(in Kabré, 1994)

**Tableau 3.** Effet dépressif, variable selon les espèces et les types d'animaux, du niveau d'alimentation, sur la digestibilité de la matière organique (dMO) (%) et celle de la cellulose brute (dCB) (%) des rations (Dulphy J.P. et Carle B., résultats non publiés)

Rations	Moutons	Brebis	Chèvres	Taurillons	Vaches
<b>Sans concentré</b>					
dMO	-6,2	-4,8	-2,4	-1,0	-1,0
dCB	-2,7	-0,6	-	-2,5	-3,6
<b>Avec 30 % de concentré</b>					
d MO	-7,2	-5,3	-3,3	-3,9	-2,3
d CB	-13,2	-6,4	-9,4	-5,7	-5,4

Dans une population de ruminants recevant une même ration à volonté, les différences de digestibilité sont faibles malgré une large variation des quantités ingérées. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les animaux ayant la capacité d'ingestion la plus élevée ont un potentiel de digestion plus élevé..

La digestibilité de régime à base d'ensilage distribué à des vaches laitières est plus élevée en fin de gestation qu'en début de lactation. Afin de dissocier l'influence du niveau d'ingestion de celle de l'état physiologique, une analyse a été réalisée par Doreau et al (1988) sur 68 résultats de digestibilité provenant de deux essais menés avec une ration de composition constante ou très similaire sur des vaches multipares gravides puis en lactation. Ces deux essais ont montré que la digestibilité a varié de manière importante entre la gestation et la lactation. Cependant, une grande partie de cette variation s'explique par les variations de niveau d'ingestion. Les moyennes des digestibilités ajustées pour une même quantité ingérée sont plus faibles de 3 à 8 semaines après vêlage (avec un lot de vaches alimentées *ad libitum* et un lot alimenté en quantité restreinte) qu'à 3 semaines avant vêlage et 19 semaines après vêlage avec des vaches alimentées *ad libitum*. La différence ne dépasse pas 5 points en distribution restreinte et 2 points (digestibilité de la matière sèche et de la matière organique) à 4 points (digestibilité de la cellulose brute) en distribution *ad libitum*. Il apparaît donc que

chez la vache forte productrice à proximité du vêlage les variations liées au niveau d'ingestion sont amplifiées par les variations d'état physiologique.

## 2. 2 Activités alimentaires

Un des principaux facteurs conditionnant la facilité de la dégradation des aliments par les microbes est la taille des particules dans le rumen, qui dépend essentiellement de l'efficacité de la mastication. Aussi, est-il important d'analyser les relations entre niveau d'ingestion et activités alimentaires.

Les nombreuses études effectuées depuis 1960 ont montré qu'il existe des liaisons étroites entre le niveau d'ingestion d'une ration et les activités alimentaires. Pour un même animal auquel on distribue des quantités croissantes d'aliments, les durées d'ingestion et de rumination augmentent (tableau 4). La vitesse d'ingestion diminue (augmentation de la durée unitaire d'ingestion exprimée en minute/g de MS ingérée/kgP<sup>0,75</sup>), mais l'efficacité de la rumination augmente, de sorte que le temps passé à mastiquer une même quantité d'aliments varie peu pour des vaches et pour des moutons mais il peut parfois diminuer (tableau 4) pour les moutons. Le nombre de périodes de rumination varie peu, probablement en raison de l'indépendance de leur déclenchement et des mécanismes mis en jeu lorsque les quantités ingérées varient. Le nombre de repas au contraire, augmente, alors qu'il est parfois égal au nombre de distributions d'aliment, lorsque les quantités ingérées sont limitées à l'entretien. Ces variations ont pu être observées par différents auteurs sur une large plage de variation de quantités ingérées.

Ces essais suggèrent que la réduction de taille des particules alimentaires liée à la mastication varie peu en fonction du niveau d'ingestion.

**Tableau 4.** Influence du niveau d'alimentation sur les activités alimentaires et méryciques de béliers et de vaches laitières (Dulphy J.P. et Carle B., résultats non publiés)

	<b>Béliers</b>	<b>Béliers</b>	<b>Vaches</b>	<b>Vaches</b>
	entretien	à volonté	entretien	à volonté
<b>Quantité ingérée (g MS/kgP<sup>0,75</sup>)</b>	36,7	57,5	49,2	105,5
<b>Durée journalière d'ingestion (min)</b>	74	233	121	382
<b>Durée unitaire d'ingestion (min/g/kgP<sup>0,75</sup>)</b>	2,04	4,28	2,51	3,87
<b>Nombre de repas/jour</b>	2,1	7,0	3,4	9,1
<b>Durée journalière de rumination (min)</b>	470	509	304	513
<b>Durée unitaire de rumination (min/g/kgP<sup>0,75</sup>)</b>	13,22	9,28	6,29	5,09
<b>Durée journalière de mastication (min)</b>	544	742	425	895
<b>Durée unitaire de mastication (min/g/kgP<sup>0,75</sup>)</b>	15,27	13,56	8,80	8,96

### 2.3 Temps de séjour et contenus de rumen

Le tractus digestif du ruminant peut être subdivisé en deux types de compartiments dits compartiments de mélange (réticulo-rumen, caillette et caecum -côlon proximal) et compartiments de transit ou tubulaires (oesophage, feuillet, intestin grêle et reste du gros intestin). En moyenne, le temps de séjour dans le réticulo-rumen représente 70 à 80 % du temps de séjour des particules alimentaires dans l'ensemble du tractus digestif et un peu plus de 50 % de celui des liquides.

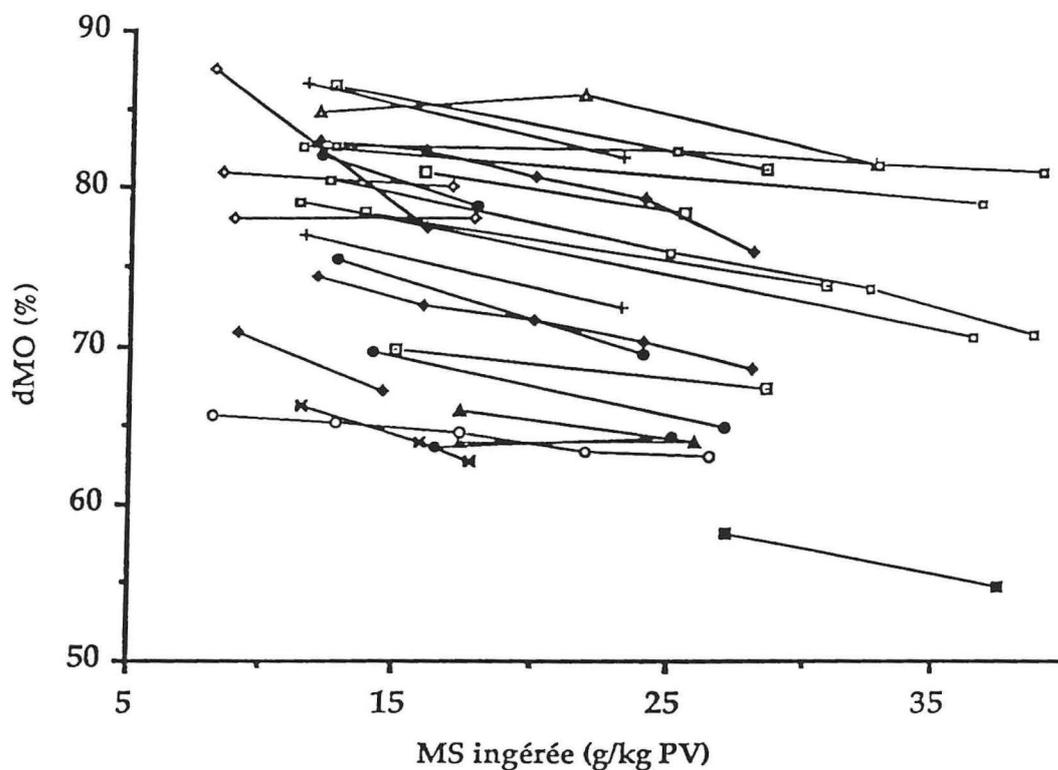


Figure 3. Influence des quantités de matière sèche ingérées sur la digestibilité de la matière organique chez les ovins.

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| ◆ Leaver <i>et al</i> (1969)  | ▲ Ulyatt <i>et al</i> (1984)    |
| △ Nicholson & Sutton (1969)   | □ Merchen <i>et al</i> (1986)   |
| ■ Alwash & Thomas (1971)      | ● Martin-Rosset & Dulphy (1987) |
| ■ François & Compère (1972)   | ◇ Bines <i>et al</i> (1988)     |
| ○ Grovum & Williams (1977)    | □ Colucci <i>et al</i> (1989)   |
| + Johnson <i>et al</i> (1977) | ■ Djajanegara & Doyle (1989)    |

(in Kabré, 1994)

### 2.3.1 Temps de séjour des particules

L'une des principales modifications du processus de la digestion liées à la réduction des quantités ingérées est l'allongement de la durée du séjour des particules alimentaires dans le tractus digestif, tant chez les ovins que chez les bovins. Certains auteurs n'ont pas enregistré de modification du transit des digesta associée à la variation des quantités ingérées, mais ces résultats pourraient provenir soit d'un écart insuffisant entre les niveaux d'alimentation comparés, soit d'une variation non contrôlée du volume du rumen ou encore des problèmes liés à la méthode de mesure du transit. Dans le cas d'une réponse à la réduction des quantités ingérées, l'allongement du temps de séjour des particules alimentaires a lieu principalement dans le compartiment où le transit est le plus lent (réticulo-rumen), mais aussi dans les intestins.

Le temps de séjour des particules dans le rumen semble particulièrement sensible à la variation des quantités ingérées quand celle-ci survient à de faibles niveaux d'ingestion. La faible réduction du temps de séjour quand le niveau d'ingestion est élevé pourrait s'expliquer par la sortie du rumen de moins en moins sélective des particules alimentaires, de grosses particules pouvant alors être évacuées à la même vitesse que les petites particules. Cela survient quand la réplétion du rumen est maximale.

La représentation graphique de quelques données montre que le temps de séjour moyen des particules de fourrages dans le rumen augmente de façon non linéaire lorsque les quantités de matière sèche ingérées diminuent (figure 3). Cependant, il existe de grandes variations dont les plus importantes sont observées aux faibles niveaux d'ingestion (Kabré, 1994).

Cette évolution curvilinéaire du temps de séjour des particules dans le rumen parait à priori en contradiction avec l'évolution linéaire de la digestibilité apparente des aliments avec les quantités ingérées. Un allongement du temps de séjour des particules dans le rumen, quelle que soit son amplitude, n'aura que peu ou pas d'effet sur la digestibilité de la ration, dès lors que le temps de séjour est suffisamment long pour assurer une digestion complète de certaines particules de parois cellulaires potentiellement digestibles.

### 2.3.2 Modifications du contenu ruminal

En général, la réduction du niveau d'ingestion entraîne une diminution du contenu sec du rumen, avec une réduction parallèle mais de plus faible amplitude du volume du liquide ruminal (tableaux 5 et 6). Ces variations aboutissent souvent à une légère augmentation de la teneur en eau du contenu ruminal.

**Tableau 5.** Effets de la variation des quantités ingérées sur le volume du liquide et le contenu sec du rumen chez les ovins (Kabré, 1994)

MS ingérée (kg/j)	Volume liquide (l)	Contenu sec (kg)	% MS	Auteurs
0.69	3.13	0.38	10.9	Ulyatt et al (1984)
0.66	4.56	0.58	11.12	
0.95	5.45	0.81	12.9	
0.44	4.17	0.52	11.2	Djajanegara et Doyle (1989)
0.65	4.95	0.56	10.2	
0.73	4.79	0.69	12.6	
1.12	6.08	0.79	12.1	Mudgal et al (1982)
2.24	7.38	1.22	13.3	
0.34	5.04	0.39	7.1	Grovum et Williams (1977)
0.53	5.69	0.48	7.8	
0.72	6.66	0.61	8.4	
0.91	7.48	0.62	7.7	
1.10	7.21	0.70	8.9	
0.30	4.02	0.32	7.3	Moseley & Jones (1984)
0.60	4.31	0.41	8.7	
0.30	4.10	0.29	6.6	
0.60	4.69	0.41	8.0	

**Tableau 6.** Effets de la variation des quantités ingérées sur le volume du liquide et le contenu sec du rumen chez les bovins (Kabré, 1994).

<b>MS ingérée (kg/j)</b>	<b>Volume liquide (l)</b>	<b>Contenu sec (kg)</b>	<b>%MS</b>	<b>Auteurs</b>
<b>4.0</b>	43.3	3.5	7.4	Doreau et al (1986)
<b>8.0</b>	41.7	4.7	10.0	
<b>12.0</b>	64.2	7.4	10.4	
<b>5.3</b>	55.2	4.3	7.2	Robinson et al (1987)
<b>9.2</b>	66.2	6.3	8.6	
<b>13.1</b>	67.3	8.1	10.8	
<b>17.0</b>	69.6	9.1	12.0	
<b>20.9</b>	72.3	11.4	13.8	
<b>4.6</b>	41.1	3.7	8.3	Glenn et al (1989)
<b>6.0</b>	48.0	3.1	6.1	
<b>4.3</b>	50.6	3.5	6.5	
<b>5.5</b>	44.9	3.4	7.0	
<b>14.5</b>	57.8	8.1	12.5	Shaver et al (1986)
<b>20.2</b>	56.3	9.9	15.2	
<b>24.3</b>	64.5	10.1	13.7	

D'après la bibliographie, il existe peu de données sur l'importance du contenu ruminal des vaches allaitantes recevant des quantités de fourrages limitées, sur son évolution au cours de la lactation et ses variations à la suite d'une brusque variation des apports alimentaires. Pour expliquer les variations du poids vif, Agabriel et al, 1988 ont étudié ces facteurs sur des vaches charolaises en lactation recevant une ration à base de foin. La variation de contenu ruminal, perte ou reprise résultant d'une brusque variation de niveau alimentaire a été d'environ 4 g/kg MS ingérée en plus ou moins, et a sensiblement la même composition : environ 80 % d'eau et 20 % de matière sèche.

## 2.4 Activité microbienne et production d'acides gras volatils

Il y a eu relativement peu d'estimations de l'activité microbienne par la méthode *in sacco*. Le tableau 7 donne le résultat d'un essai obtenu avec deux types de ration.

**Tableau 7** . Influence du niveau d'ingestion sur divers paramètres de la dégradation *in sacco* de deux rations (J. Gonzalez et B. Michalet-Doreau, non publié). Aliment incubé : foin de luzerne; durée d'incubation : 0 à 72 heures.

Régime alimentaire	Matière sèche ingérée (g/ kg PV)	Fraction non dégradabile (%)	Vitesse de dégradation (%/h)	Dégradabilité théorique (%); kp = 0.06
Luzerne deshydratée +30% concentré	14.3	36.7	5.8	46.7
Luzerne déshydratée +60% concentré	20.6	35.9	6.7	46.8
Luzerne déshydratée +60% concentré	14.3	38.7	4.5	43.9
Luzerne déshydratée +60% concentré	23.0	39.4	6.2	45.2

Quand la quantité ingérée augmente, la vitesse de dégradation augmente mais la dégradation théorique varie peu. Mais différents auteurs reportés par Kabré (1994), n'ont pas trouvé de différence dans la vitesse de dégradation et dans la dégradation théorique. Il semble donc que l'effet des variations du niveau alimentaire sur la dégradation de la matière sèche, et donc des glucides qui en sont le principal constituant, soit plus limité que l'effet sur le temps de rétention des particules dans le rumen.

Les variations de dégradation des glucides peuvent être mises en relation avec celles des acides gras volatils issus de cette dégradation. Pour une diminution des quantités ingérées de 10 g MS/kg PV, la concentration en acides gras volatils totaux diminue de 7,7 mmoles/l soit 8-9 % seulement des concentrations moyennes. Les concentrations en acides gras volatils de la phase liquide du contenu ruminal sont peu sensibles à la réduction des quantités ingérées, à cause principalement des réductions simultanées du volume du rumen, de la production et de l'absorption des acides gras volatils. On observe parallèlement une légère modification des fermentations aboutissant à une augmentation de la proportion molaire d'acétate (+2.6 unités) et du butyrate (+1.5 unités) aux dépens du propionate (-2.7 unités) et des acides gras mineurs. Le rapport acétate/propionate est de ce fait d'autant plus élevé que les quantités ingérées diminuent. En revanche, l'effet des quantités ingérées sur les proportions molaires des différents acides gras volatils est d'autant plus important que le régime alimentaire comporte du concentré. Ainsi, dans le cas d'une ration contenant 70 % d'aliments concentrés, les variations de proportions molaires induites par une réduction des quantités ingérées de 10 g MS/kg PV seraient de + 4.1, -5.3 et +2.2 unités pour l'acétate, le propionate et le butyrate respectivement, mais seraient faibles pour un régime constitué de fourrage seul.

### **3 VARIATIONS LIEES A LA SOUS-NUTRITION**

La majorité des résultats concernant les effets de la variation des quantités ingérées sur la digestion et le temps de séjour ont été obtenus sur des animaux nourris au-dessus de leurs besoins d'entretien. Les variations mesurées sont-elles exportables à des niveaux d'ingestion en dessous des besoins d'entretien des animaux ? Qu'en est-il de l'activité cellulolytique des micro-organismes qui a rarement été mesurée ?

### 3.1 Effet sur la digestibilité

L'influence de faibles niveaux d'ingestion sur la digestion des rations du ruminant a été essentiellement étudiée pour des régimes à base de fourrages peu digestibles, mais n'a fait l'objet que de peu d'essais. Des résultats très divergents ont été obtenus.

Selon Kabré (1994), il a été constaté des différences de digestibilité comparables à celles qui sont observées à des niveaux d'ingestion supérieurs à l'entretien. Pour un essai sur des moutons avec un régime à base de foin et pour 120 et 50 % de l'entretien, la digestibilité de la matière sèche est ainsi passée de 58,1 à 61,9 %.

Le même type de résultat a été observé dans un essai réalisé par et al. (1986) sur des vaches laitières avec un régime à base d'ensilage de maïs et de concentré, bien pourvu en azote fermentescible. Pour des niveaux d'ingestion de 12, 8 et 4 kg MS/j, la digestibilité de la matière organique a été respectivement de 73,8; 77,4 et 80,9 %. et a donc varié linéairement avec le niveau d'ingestion.

Mais il arrive parfois que la digestibilité ne varie pas lorsque l'animal est sous-alimenté. C'est le cas d'un essai de Grimaud (1993) sur vaches laitières recevant un régime à base de foin: une forte sous-alimentation, de 110 à 65 % du besoin d'entretien n'a pas entraîné de variation de digestibilité, excepté une chute très temporaire dans la semaine qui a suivi la sous-nutrition.

Enfin, il arrive même que la sous-alimentation se traduise par une diminution de digestibilité. Sur des vaches Charolaises en lactation alimentées à 100 et 55 % de leurs besoins avec un régime constitué de foin, la digestibilité de la matière organique a été respectivement de 70,6 et 64,5 % (Doreau et al., non publié). Le même phénomène a été observé en milieu tropical sur des taurins et zébus consommant une ration à base de paille de riz. La baisse du niveau d'alimentation de 110 à 55 % des besoins a entraîné une chute de digestibilité particulièrement forte sur les zébus: la digestibilité de la matière organique est passée de 67 à 57 %.

La diversité de ces résultats est surprenante et doit s'expliquer par des variations de taille des particules, de transit ou d'activité microbienne.

### 3.2 Rôle de la taille des particules et de la mastication

Il existe peu de données obtenues lorsque les animaux sont sous-alimentés. Dans un essai conduit sur vaches avec une ration riche en concentré, il semble que l'efficacité de la mastication, mesurée par la durée unitaire de mastication et la taille des particules, est maximale pour des quantités ingérées supérieures à l'entretien, et diminue lors d'une sous-nutrition (tableau 8). A ce niveau, il y a très peu de fibres dans le rumen et des perturbations de la rumination avaient été observées, semblable à ce qui est relevé en cas de jeûne (Doreau et al., 1986).

**Tableau 8.** Effet du niveau d'ingestion sur la digestion et la mastication (Doreau et al., 1986)

Niveau d'ingestion (kg de MS/j)	12	8	4
Digestibilité de la matière organique (%)	73,8	77,4	80,9
Taille moyenne des particules au niveau duodénal (mm)	0,23	0,40	0,34
Durée d'ingestion (min/j)	209	73	45
Durée effective de rumination (min/j)	331	156	134
Durée unitaire de mastication (min/kg MS)	45	29	44

Un essai récent mené en milieu tropical sur des taurins et des zébus recevant une ration à base de paille de riz montre que le pourcentage de particules de taille supérieure à 2 mm passe de 16 à 21 %, lorsqu'on passe de 120 à 60 % de couverture des besoins d'entretien (P. Grimaud et al., résultats non publiés). Cette baisse d'efficacité de la mastication peut contribuer à rendre plus difficile l'attaque des particules par les microbes du rumen.

### 3.3 Rôle du temps de séjour des particules dans le rumen

Pour une même variation des quantités ingérées, les variations du temps de séjour des digesta dans le rumen chez l'animal alimenté aux environs de l'entretien sont généralement supérieures à celles habituellement observées à des niveaux d'ingestion supérieurs au besoin d'entretien. L'incorporation d'aliments concentrés dans la ration augmente cet effet du niveau d'ingestion. Qu'en est-il chez l'animal sous-alimenté ?

Dans l'essai de Kabré (1994), la réduction des quantités ingérées de 17 à 9 g MS/kg P.V. a entraîné un allongement de 16 h du temps de séjour des particules alimentaires dans les estomacs, soit une augmentation de 19 h pour une réduction des quantités ingérées de 10 g MS/kg P.V. Ce résultat, conforme à ce qui est observé au-dessus du niveau de l'entretien, explique l'accroissement de digestibilité qui avait été mesuré.

Dans l'essai mené par Doreau et al. (1986) sur vaches laitières recevant un régime d'ensilage de maïs et concentré, le temps de séjour dans le rumen a plus augmenté entre 8 et 4 kg de matière sèche qu'entre 12 et 8 kg de matière sèche, ce qui a correspondu à une moindre réduction du contenu sec du rumen. A 4 kg de matière sèche, la teneur en eau du contenu du rumen s'est accrue ce qui a eu pour conséquence de ne pas réduire excessivement le volume occupé par les digesta. La curvilinearité de la variation de transit avec le niveau d'ingestion est à rapprocher de la linéarité des variations de digestibilité. Ceci signifie probablement qu'un allongement excessif du temps de séjour des particules dans le rumen n'est pas entièrement profitable à l'animal. On peut penser que le potentiel maximum de digestion par les microbes du rumen était atteint sans qu'un temps de séjour des particules très élevé soit nécessaire.

L'essai de Grimaud (1993) sur vaches recevant un foin de qualité moyenne présente une autre situation. En effet, la sous-alimentation n'a pas entraîné d'augmentation du temps de séjour des particules dans le rumen. Ce résultat inhabituel peut s'expliquer par le fait qu'au niveau de l'entretien, le temps de séjour était déjà très élevé. Il est possible qu'au-delà d'un certain niveau celui-ci n'augmente plus en réponse à une diminution du niveau d'ingestion. Dans ce cas, l'absence de variation de digestibilité est clairement due à l'absence de modification du transit.

Contrairement à ce qui est observé à des niveaux alimentaires égaux ou supérieurs à l'entretien, la relation négative entre temps de séjour des particules dans le rumen et quantités ingérées n'est pas toujours observée. Il y a actuellement trop peu de données expérimentales pour qu'il soit possible d'attribuer ce résultat à un facteur alimentaire précis. Il semble toutefois que plus la qualité du fourrage est faible, plus les variations de transit sont limitées.

### **3.4 Rôle de l'activité microbienne dans le rumen**

La dégradabilité *in sacco* du foin calculée avec un taux de passage fixe pour deux niveaux d'alimentation (entretien et 50 % de l'entretien) est plus élevée quand les animaux sont sous-alimentés. Cette plus grande dégradabilité repose essentiellement sur celle de la fraction pariétale du fourrage et plus particulièrement sur celle de la fraction ligno-cellulosique (environ 36 % de la matière sèche) et est due non pas à une augmentation de la vitesse de dégradation des parois végétales, paramètre le plus souvent mis en jeu dans les variations de la dégradabilité mais à une réduction de la fraction non dégradable par les bactéries du rumen, et à une réduction du temps de latence correspondant au délai nécessaire avant le début de la dégradation des parois. Cette variation de dégradabilité traduit probablement une augmentation de la proportion ou de l'activité cellulolytique des micro-organismes du rumen (Kabré, 1994). En effet la sous-nutrition entraîne une augmentation de l'activité enzymatique des micro-organismes du contenu solide. Il est possible que la baisse du taux de passage des digesta ait favorisé l'expression de l'activité des enzymes des bactéries cellulolytiques pendant la période de restriction alimentaire (Kabré, 1994).

La diminution de la fraction non dégradable est surprenante car elle a longtemps été considérée comme une caractéristique intrinsèque de l'aliment. La réduction du temps de latence avant l'attaque de la fraction pariétale par les micro-organismes suggère que la colonisation des particules alimentaires par les bactéries adhérentes serait peut-être plus rapide chez les animaux sous-alimentés. Le contenu ruminal est un peu plus fluide chez les animaux sous-alimentés. Il est donc probable que l'hydratation des particules soit plus rapide quand le niveau d'ingestion est faible. Cela pourrait favoriser la colonisation des particules alimentaires dans les sachets par les bactéries, avec pour conséquence une réduction du temps de latence.

En définitive, on observe des variations plus importantes de l'activité microbienne pour une même variation du niveau d'ingestion lorsque les animaux sont sous-alimentés.

## CONCLUSION

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

Ce travail a permis de mettre en évidence l'implication de nombreux mécanismes dans l'augmentation de la digestibilité apparente de la ration liée à la baisse du niveau d'alimentation. Les principales modifications ont lieu dans le rumen. La réduction des quantités ingérées entraîne une augmentation du temps de séjour des particules dans le rumen. Ce résultat n'est pas systématique lorsque les animaux sont sous-alimentés. Les résultats de Kabré (1994) montrent que l'activité enzymatique des bactéries cellulolytiques augmente quand le niveau d'ingestion est fortement limité en dessous du besoin d'entretien des animaux. L'orientation des fermentations appréciée par les proportions molaires des acides gras volatils dans le rumen change quand le niveau d'ingestion baisse, mais dans de faibles proportions.

Au regard des données bibliographiques, plusieurs questions relatives à l'influence d'une forte réduction du niveau d'alimentation sur la digestion et ses conséquences ultimes sur l'état nutritionnel de l'animal subsistent. Des expérimentations nouvelles sont nécessaires, en particulier pour évaluer les conséquences de la sous-nutrition sur la digestion en fonction de la nature de la ration.

## BIBLIOGRAPHIE

**Agabriel J., Giraud J.M., 1988.** Contenu ruminal de la vache charolaise. Influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. *Reprod. Nutr. Dévelop.* 28, (suppl.1) 107-108

**Demarquilly C., 1996.** Module Alimentation-Nutrition au D.E.S.S de Productions Animales en Régions Chaudes, CIRAD-EMVT

**Deswysen A.G., Dardillat C., Baumont R., 1995.** Le feuillet et ses fonctions In : R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. Demarquilly, M.H. Farce, M. Journet, eds. *Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion..* INRA, Paris. p 407-429

**Doreau M., Adingra K., Rémond B., Chilliard Y., 1988.** Effets respectifs des quantités ingérées et du stade physiologique sur la digestibilité d'une même ration chez la vache laitière. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28 (suppl. n° 1), 63-64

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

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

**Grimaud P., 1993.** Adaptation digestive de la vache à la sous-nutrition : digestibilité de la ration, transit des particules et activités microbiennes dans le rumen Mémoire de DEA, Universités de Aix- Marseille II et III et Institut National Agronomique de Paris-Grignon. 118 p.

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

**Guérin H., Friot D., Mbaye Nd., Richard D., 1991.** Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens. Etude méthodologique dans la région du ferlo du Sénégal. Etudes et Synthèses de l'IEMVT n° 39, 115 p

**INRAP, 1984.** Alimentation des bovins. Ed. ITEB, Paris. 448 p.

**Jouany J.P., Broudiscou L., Prins R.A., Komisarczuk-Bony S., 1995.** Métabolisme et nutrition de la population microbienne du rumen In : R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. Demarquilly, M.H. Farce, M. Journet, eds. Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion.. INRA, Paris. p 349-381.

**Journet M., Huntington G., Peyraud J.L., 1995.** Le bilan des produits terminaux de la digestion In : R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. Demarquilly, M.H. Farce, M. Journet, eds. Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion... INRA, Paris. p 680-720

**Kabré P., 1994.** Influence de la sous-nutrition sur l'utilisation digestive de la ration par le ruminant. Thèse, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. 118 p

**Paragon B.M., 1996.** Module Alimentation-Nutrition au D.E.S.S de Productions Animales en Régions Chaudes, CIRAD-EMVT

**Sauvant D., Grenet E., Doreau M., 1995.** Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion. Dégradation chimique des aliments dans le réticulo-rumen : cinétique et importance. INRA, Paris. p 383-406

