

Brigitte MICHALET-DOREAU,  
D. SAUVANT

INRA Station de Recherches  
sur la Nutrition des Herbivores  
Unité de la Valeur Alimentaire  
Theix 63122 Saint-Genès-Champanelle

\* INRA-INA PG  
Station de Nutrition et Alimentation  
16, rue Claude-Bernard,  
75231 Paris Cedex 05

# Influence de la nature du concentré, céréales ou pulpe de betterave, sur la digestion chez les ruminants

De 1970 à 1986, l'emploi de céréales dans l'alimentation animale, industrielle et à la ferme, a diminué en moyenne de 100 000 tonnes par an. Cette diminution s'est faite au profit de produits de substitution tels que la pulpe de betterave, les sous-produits d'amidonnerie ou d'huilerie (enveloppes des graines légumineuses) qui se caractérisent par une teneur élevée en parois végétales peu lignifiées, d'où l'alternative entre des aliments concentrés riches en amidon ou riches en cellulose facilement digestible.

Le choix d'un aliment concentré se fait à partir de critères techniques et économiques et, parmi les critères techniques, il est nécessaire de prendre en compte non seulement les caractéristiques nutritives de l'aliment mais aussi sa qualité « hygiénique », c'est-à-dire son aptitude à prévenir les diminutions d'efficacité digestive, les fermentations anormales dans le rumen, ainsi que l'apparition de troubles sanitaires (Journet 1988). Une récente synthèse bibliographique (Coulon *et al* 1989) a eu pour objet de comparer les effets des différents types de concentrés, à base de céréales ou d'aliments riches en parois, sur les performances des vaches laitières. Le but de ce présent article est

de faire le point sur les connaissances actuelles en terme de digestion, de manière à mettre en évidence, à travers des études plus analytiques, la qualité « hygiénique » respective de ces deux types de concentrés.

L'addition de concentrés de natures différentes dans les rations entraîne des modifications du flux des digesta qui quittent le rumen et sont digérés dans l'intestin grêle d'une part, de la quantité et de la nature des produits absorbés au niveau ruminal d'autre part. Ces modifications peuvent être à l'origine des interactions digestives observées au sein des rations.

## Résumé

L'addition de concentrés de natures différentes, céréales ou pulpe de betterave, dans les rations, entraîne des modifications du flux des digesta qui quittent le rumen et sont digérés dans l'intestin grêle d'une part, de la quantité et de la nature des produits absorbés au niveau ruminal d'autre part. Ces modifications sont discutées pour tenter d'expliquer les éventuelles interactions digestives observées au sein des rations.

Placés dans des conditions ruminales comparables, les aliments riches en parois digestibles se dégradent plus lentement dans le rumen que le blé ou l'orge, induisent de ce fait des baisses de pH plus faibles, ce qui tend à réduire les interactions digestives. Mais ces aliments présentent parallèlement un pouvoir acido-gène plus marqué à court terme. Par ailleurs, la digestion du maïs est sensiblement différente de celle des autres céréales. Il semble donc difficile d'opposer ces deux types de concentrés en terme de digestion.

## 1 / Dégradation des constituants alimentaires dans le rumen

L'essentiel de la digestion des aliments est de type microbien et a lieu dans le rumen. L'importance de leur dégradation est très variable, elle est fonction non seulement de leur dégradabilité, qui est une caractéristique de l'aliment, mais aussi de l'intensité et de la durée de l'activité microbienne dans le rumen.

La mesure directe, *in vivo*, de la dégradation ruminal est lourde et coûteuse, aussi a-t-on fait appel à différentes méthodes d'estimation, la mesure de la cinétique de dégradation *in sacco* étant la méthode la plus utilisée actuellement.

### 1.1 / Dégradation *in sacco*

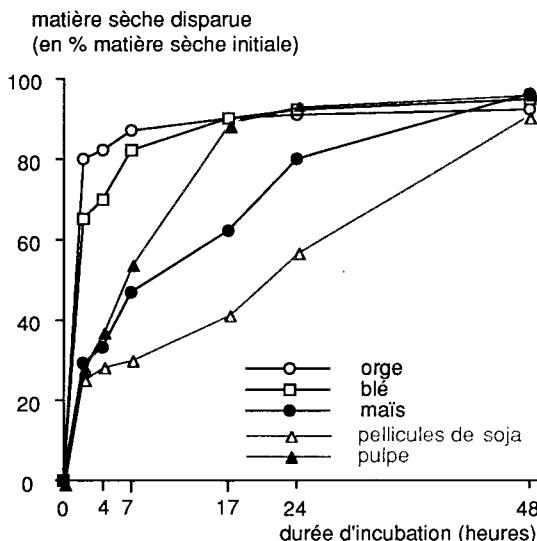
Cette technique consiste à mesurer les quantités de matière sèche, ou d'un constituant quelconque de la matière sèche, qui restent dans les sachets après incubation de ce sachet dans le rumen d'un animal. Elle est assez satisfaisante du point de vue nutritionnel car elle reste très physiologique, le milieu de dégradation étant le rumen lui-même. En outre, elle permet d'obtenir des cinétiques de disparition de la matière sèche, ou de l'un de ses constituants, et par conséquent de caractériser les aliments par leur vitesse de dégradation dans le rumen.

**Les concentrés riches en parois se dégradent plus lentement que ceux riches en amidon, avec des différences entre céréales.**

Les cinétiques de dégradation *in sacco* de quelques matières premières sont rapportées dans la figure 1. Quel que soit l'aliment considéré, la dégradation de la MS est plus rapide au cours des premières heures d'incubation, puis se ralentit dans le temps. Mais les vitesses de dégradation diffèrent également sensiblement selon l'aliment considéré. Il est possible de distinguer d'une part les aliments riches en glucides cytoplasmiques rapidement dégradables (orge, blé...) et d'autre part les aliments riches en glucides pariétaux (pulpe de betterave, enveloppes de graine) dont la dégradation est plus lente. En effet la vitesse de dégradation des constituants cytoplasmiques, appréciée par celle de la fraction NDS, est toujours plus élevée que celle des constituants pariétaux. Cette différence diminue avec le temps, pour s'annuler au-delà de 24 h d'incubation (figure 2).

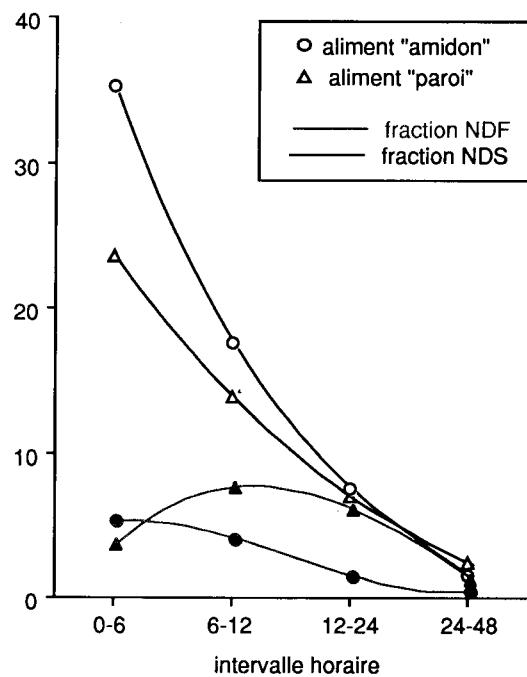
Mais, au sein des céréales, on observe également des différences importantes de vitesse de dégradation : celle du maïs étant beaucoup plus faible que celle du blé ou de l'orge, car son amidon se dégrade beaucoup plus lentement que celui des autres céréales. Ainsi, après 4 h d'incubation, 50 % de l'amidon de maïs a disparu contre 85 % pour l'orge et le blé. Cette différence s'atténue pour des durées d'incubation

**Figure 1. Dégradation *in sacco* de la matière sèche de quelques matières premières (Michalet-Doreau, résultats non publiés).**



**Figure 2. Evolution de la vitesse de dégradation des contenus cytoplasmique (NDS) et membranaire (NDF) de 2 aliments (« amidon » et « paroi ») de même digestibilité (d'après Sauvant et al 1985).**

vitesse de dégradation par heure (%)



plus longues. Néanmoins, après 24 h d'incubation, la totalité de l'amidon du blé et de l'orge a été dégradée, alors qu'il reste de 5 à 10 % de l'amidon de maïs (figure 3). Ces variations de vitesse de dégradation de l'amidon expliquent, en grande partie, les différences entre cinétiques de dégradation de la matière sèche de l'orge et du blé d'une part, du maïs d'autre part, l'amidon représentant 55 à 75 % de la matière sèche de ces graines (Thivend 1981).

La dégradation des constituants pariétaux est plus ou moins différée dans le temps et plutôt lente (rarement plus de 10 % par heure), le taux de dégradation horaire maximal se situant entre 6 et 24 h. Mais, là aussi, on observe des différences importantes suivant la nature de l'aliment (figure 4) :

- la vitesse de dégradation des constituants pariétaux des céréales diminue progressivement ;
- la dégradation des parois des aliments riches en parois digestibles (pulpe de betterave ou pellicules de soja par exemple) commence après une phase de latence plus ou moins longue dont la durée dépend assez étroitement de la teneur initiale en parois (NDF) de l'aliment (Sauvant et al 1986).

En résumé, placés dans des conditions ruminantes comparables, les concentrés riches en amidon ou en parois se différencient donc par les modalités de dégradation de leur matière sèche dans le rumen. Ces différences sont dues, par ordre décroissant d'importance, à :

- la proportion relative de contenu cellulaire et des constituants pariétaux ;

- l'aptitude des constituants pariétaux à être dégradés (temps de latence, vitesse de dégradation de la fraction lentement dégradable);

- l'aptitude du contenu cellulaire à être dégradé, variable suivant la nature de l'amidon de l'aliment considéré.

Par ailleurs, la technique des sachets permet non seulement de décrire la dégradation dans le rumen, mais également d'aborder le problème de la simultanéité des apports énergétiques et azotés dans le rumen. Cet aspect doit intervenir non seulement au niveau du rendement de la synthèse microbienne comme nous le verrons ultérieurement, mais aussi au niveau de la qualité « hygiénique » de la ration en favorisant une efficacité digestive optimale. On ne dispose pas actuellement de critères digestifs pour apprécier la qualité « hygiénique » d'une ration, mais l'étude des profils fermentaires permet d'évaluer les risques d'apparition de troubles sanitaires. Cet aspect sera traité dans la deuxième partie de cet article.

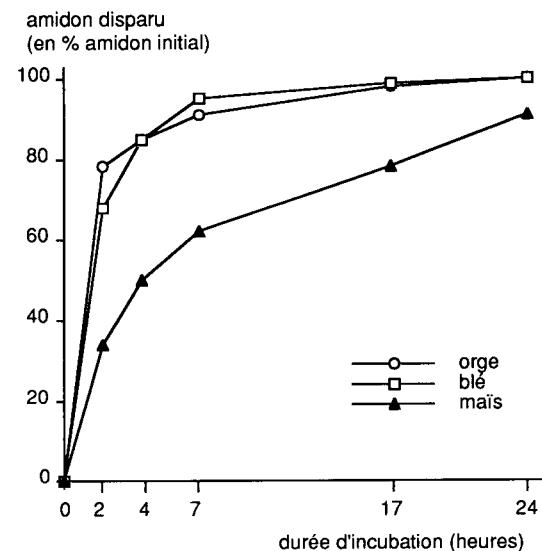
## 1.2 / Dégradation *in vivo*

La technique *in sacco*, largement utilisée actuellement pour apprécier la dégradabilité des concentrés dans le rumen, présente cependant des limites. En effet, elle ne permet pas de prendre en compte de façon satisfaisante certaines caractéristiques de l'aliment comme la forme de présentation ou la granulométrie de l'aliment (l'aliment est toujours broyé avant son incubation dans le rumen). Des facteurs liés à l'animal et à sa ration, en particulier l'activité microbienne dans le rumen, la nature et la proportion des différents constituants de la ration, le niveau d'alimentation... ne sont pas intégrés dans les méthodes *in sacco*.

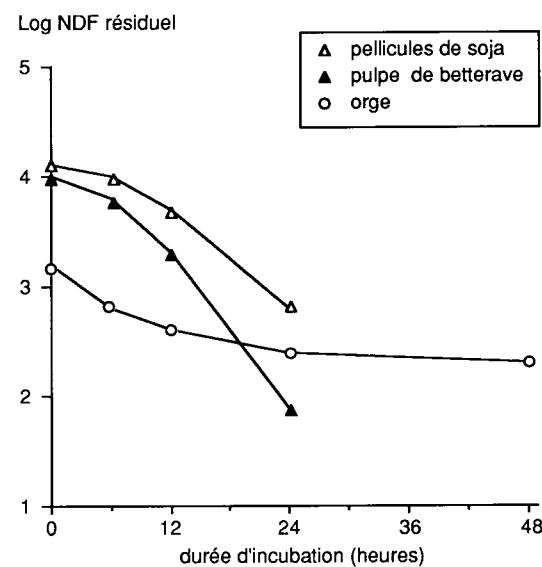
Les méthodes *in vivo* reposent sur la mesure de flux des nutriments qui quittent le rumen ou, plus fréquemment, qui arrivent dans le duodénum, et sur l'étude de la composition de ces flux pour faire la part entre la fraction alimentaire qui n'est pas dégradée et la fraction synthétisée par les microbes du rumen. Dans deux essais de digestion comparant des concentrés à base de céréales ou de pulpe de betterave (Poncet, non publié et Huhtanen 1988), le pourcentage de matière organique réellement digérée dans le rumen n'est pas très différent entre la pulpe et l'orge, mais, avec le régime à base de maïs, la digestion ruminale est nettement plus faible. Ces écarts ne peuvent être attribués à des variations de temps de séjour des concentrés dans le rumen, qui sont comparables au sein d'un même essai, mais plutôt à la nature de l'aliment lui-même. La plus faible digestion ruminale du maïs est cependant compensée par une digestion intestinale importante, si bien que la digestion dans l'ensemble du tube digestif reste plus élevée avec le maïs qu'avec l'orge ou la pulpe (Poncet non publié).

Les résultats de dégradation *in vivo* semblent donc diverger partiellement de ceux *in sacco*: le pourcentage de matière organique réellement dégradé dans le rumen avec la pulpe est peu différent de celui de l'orge, et supérieur à celui

**Figure 3.** Dégradation *in sacco* de l'amidon de quelques céréales (Michalet-Doreau et Aufrère, résultats non publiés).



**Figure 4.** Dégradation *in sacco* de la fraction NDF de quelques matières premières (Sauvant et al 1985).



du maïs, alors que *in sacco*, les vitesses de dégradation de la pulpe et du maïs sont faibles, et celle de l'orge élevée.

Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer ces écarts :

- la durée de mastication par kg de MS, définie comme indice de fibrosité par Sudweeks et al (1981), est plus élevée pour la pulpe de betterave (30 min/kg de MS) que pour le maïs (entre 50 et 40 min/kg MS) (Sauvant et Michalet-Doreau 1988), d'où une granulométrie peut-être plus fine pour la pulpe que pour le maïs, variation de granulométrie qui n'est pas prise en compte dans les études *in sacco* où le broyage est identique pour tous les aliments ;

- les modifications de l'activité microbienne ruminale dans les essais *in vivo* peuvent également expliquer les différences entre résultats *in vivo* et *in sacco*, l'activité microbienne n'étant pas modifiée dans les mesures *in sacco*.

## 2 / Transit et synthèse microbienne dans le rumen

Le temps de séjour des aliments dans le rumen joue un rôle important dans leur dégradation dans la mesure où il détermine la durée de l'attaque microbienne. Ainsi, une particule alimentaire sera d'autant plus dégradée par la population microbienne ruminale qu'elle séjournera plus longtemps dans le rumen. Le temps de séjour d'une particule dans le rumen dépend d'un grand nombre de facteurs : le niveau d'ingestion, la densité énergétique de la ration, c'est-à-dire le pourcentage de concentré dans la ration, la nature des constituants de la ration (nature du fourrage et du concentré), sa forme de présentation. Le temps de séjour dépend également d'autres facteurs liés à l'animal et à son environnement.

L'étude de ces facteurs de variation a fait l'objet de nombreuses synthèses bibliographiques, dont récemment celle d'Owens et Goetsch (1984). Dans les rations mixtes, le temps de séjour du concentré dans le rumen est en moyenne plus faible que le temps de séjour du fourrage (Evans 1981), bien que les différences s'amenuisent quand le niveau d'ingestion ou le pourcentage de concentré dans la ration augmente (Owens et Goetsch 1984). Mais le temps de séjour des aliments concentrés dans le rumen est peu affecté par la nature de ceux-ci, céréales ou pulpe de betterave, du moins quand les rations sont distribuées dans les mêmes conditions, à savoir même pourcentage de concentré dans la ration et surtout même niveau d'ingestion (tableau 1). Il est en effet probable que la taille optimale ou taille critique (Poppi *et al* 1980) de sortie des particules du rumen soit atteinte au même moment pour des concentrés ayant une forme de présentation dans la ration identique.

La quantité de protéines synthétisée par la population microbienne du rumen est déterminée par la densité et la vitesse de croissance de cette population, et par son rendement. Elle dépend d'abord de la quantité d'énergie disponible, estimée à partir de la quantité de matière organique digérée dans le rumen. Mais, à même quantité de matière organique digérée, l'efficacité de la synthèse microbienne peut encore varier. Elle semble indépendante de la nature du concentré dans l'essai de Huhtanen (1988), mais plus élevée pour le régime à base de pulpe dans les essais de Poncet (non publié) et de Thewis *et al* (1988). L'augmentation de la vitesse de dilution aurait pour effet d'augmenter la quantité de matière organique synthétisée par les microbes (Demeyer et Van Nevel 1986), et donc le rendement de la synthèse microbienne (Harrison et Mc Allan 1980). Par ailleurs, la dégradation progressive mais élevée des constituants pariétaux de la pulpe devrait permettre une utilisation plus rapide de l'ammoniac dégagé dans le rumen que la fermentation rapide de l'amidon de l'orge. Mais l'orientation des fermentations ruminales vers le propionate a tendance à diminuer la quantité de matière organique microbienne.

Ces facteurs agissent en sens contraire et la prépondérance de l'un ou de l'autre peut être à l'origine de la divergence de réponse entre les essais.

## 3 / Produits terminaux de la digestion

### 3.1 / Concentration en acides gras volatils et pH du rumen

Le pH du rumen varie principalement en fonction du niveau d'accumulation des acides gras volatils (AGV). Différents auteurs, dont récemment Tamminga et Van Vuuren (1988), ont mis en évidence une relation étroite entre le pH et la concentration en AGV du jus de rumen.

Tableau 1. Influence de la nature du concentré sur le temps de séjour (h) des constituants de la ration dans le rumen.

Référence	Animal	Ration	Concentré	Temps de séjour	
				Foin	Conc.
Huhtanen 1988	Bovins	Ensilage (47 %) + concentré (53 %)	Orge Pulpe	19,2*	21,3*
Najar <i>et al</i> 1988	Chèvres	Foin + pulpe + concentré		25,4	30,0
Poncet (non publié)	Moutons	Foin (45 %) + concentré (55 %)	Amidon Parois	28,3	30,4
			Orge Maïs Pulpe		
				13,0	
				14,4	
				15,1	

\* Temps de séjour de la ration totale.

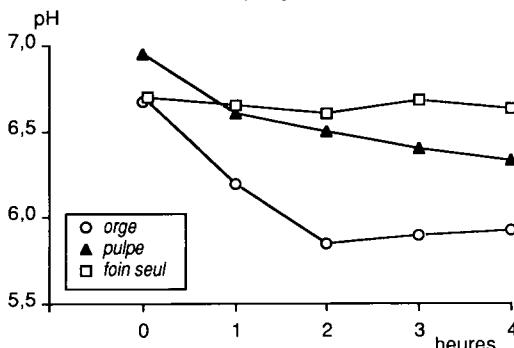
Avec un régime à base de fourrage, le pH reste relativement constant pendant la journée. Cette faible variation est liée au pouvoir tampon propre du foin et à celui de la salive qui est produite en grande quantité lors de la mastication. Les rations riches en céréales apportent dans le rumen, en un temps relativement court, une quantité importante d'amidon rapidement fermentescible. Cela entraîne des fermentations intenses, un accroissement de la concentration en acides gras volatils et une chute importante du pH, dans les heures qui suivent le repas (Latham *et al* 1971, Rémond et Journet 1972, Mackie *et al* 1978). Quand, dans une ration, on remplace l'orge par de la pulpe, la diminution du pH est plus faible et le pH du rumen des moutons recevant une ration contenant 60 % de pulpe est peu différent de celui des animaux recevant exclusivement du foin (figure 5a). Cette réponse du pH à la nature du concentré n'est cependant pas systématique. En effet, on n'observe pas de différence entre les rations à base d'orge ou de pulpe quand celles-ci sont distribuées en quantité limitée (figure 5b et 5c). Des études sur vaches laitières ont été menées par l'équipe hollandaise de De Visser, avec des vaches recevant des régimes contenant 40 % de concentré à base d'amidon. La chute de pH était importante au cours des 4 premières heures qui suivaient la distribution du repas, alors que le pH restait toujours supérieur à 5,5 avec des régimes à base de pulpe (figure 6).

Par ailleurs, chez des vaches en lactation recevant un concentré à base d'amidon ou de parois, la concentration en AGV du rumen n'est pas modifiée par la nature du concentré, du moins quand celui-ci représente moins de 60 % de la ration. Au-delà, le régime « amidon » entraîne une augmentation de la concentration en AGV (Sutton *et al* 1987). Dans une étude portant sur la comparaison de 5 aliments concentrés composés contenant de 7,2 à 32,1 % d'amidon, Robinson *et al* (1986) n'ont également observé de variation ni du pH ni de la concentration en AGV. Par contre, l'augmentation de la teneur en amidon de la ration augmente significativement l'étendue des variations du pH au cours de la journée (de 0,65 à 0,95 point de pH).

### 3.2 / Profil fermentaire

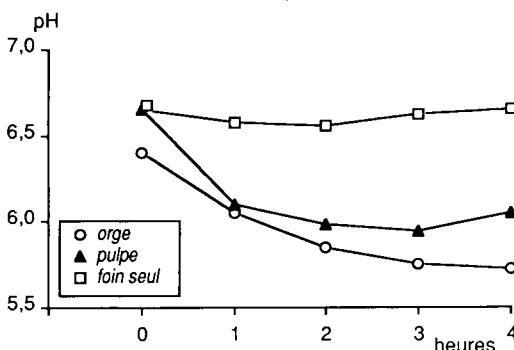
Les variations de pH entraînent des changements dans la population microbienne du rumen. La diminution de pH est défavorable aux bactéries cellulolytiques, elle est associée à une modification de la composition du mélange d'AGV : les proportions d'acide acétique et, d'une façon moindre, d'acide butyrique, diminuent au bénéfice de celle de l'acide propionique. Par ailleurs, on a pu mettre en évidence une relation étroite entre la teneur en cellulose de la ration et la proportion d'acide acétique dans le rumen (figure 7) (Bath et Rook 1963, Vérité et Journet 1975). Mais ces équations ont été calculées avec des concentrés constitués essentiellement de céréales ; leur utilisation est-elle encore justifiée pour des rations dont le concentré est constitué en majeure partie de pulpe ? A teneur égale de cellulose brute

*5a- Ration contenant 60 % de concentré et distribuée à volonté à des moutons (Berge 1982).*

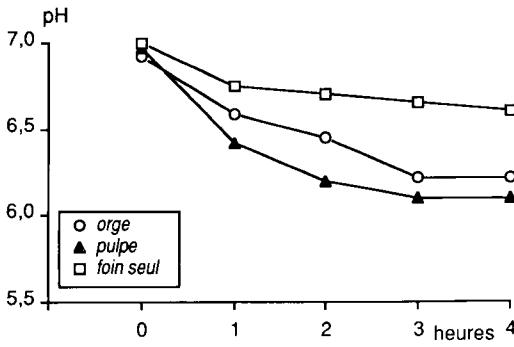


*Figure 5. Evolution du pH ruminal pendant les 4 heures post-prandiales.*

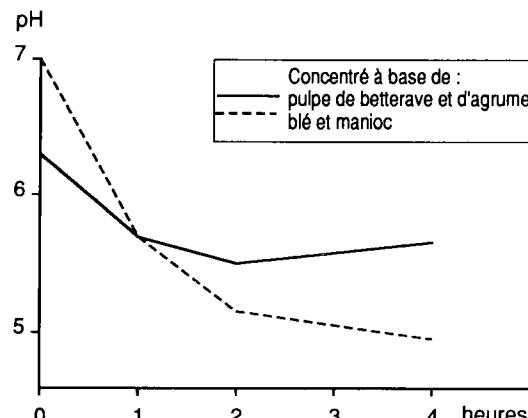
*5b- Ration contenant 60 % de concentré et distribuée à des moutons à raison de 40 g/kg P<sup>0,75</sup> (Berge 1982).*



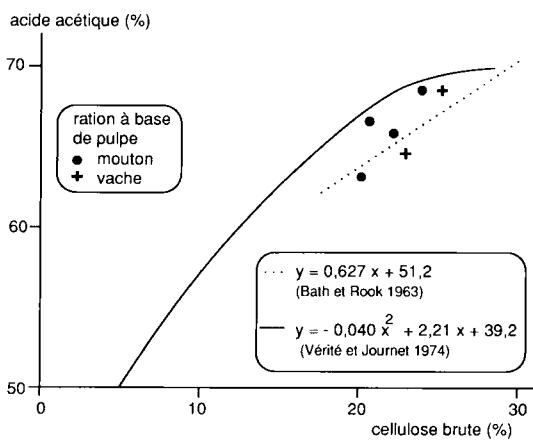
*5c- Ration contenant 45 % de concentré et distribuée à des chèvres à raison de 50 g/kg P<sup>0,75</sup> (Giger *et al* 1988).*



*Figure 6. Evolution du pH ruminal pendant les 4 heures post-prandiales chez des vaches recevant 60 % de foin et 40 % de concentré (d'après de Visser et de Groot 1980).*



**Figure 7. Relation entre la proportion d'acide acétique dans le rumen et la teneur en cellulose brute de la ration.**



**Un concentré à base de pulpe entraîne une moindre variation du pH ruminal, mais son pouvoir acidogène serait plus élevé que celui du maïs.**

dans la ration, les fermentations dans le rumen obtenues avec des rations contenant au moins 50 % de pulpe de betterave sont comparables à celles obtenues avec des rations mixtes classiques à base de céréales (Vérité et Journet 1975 et Doreau *et al* 1988 sur vaches ; Berge 1982 sur moutons) (figure 7). La diminution du pourcentage d'acide acétique avec les rations riches en céréales est directement liée à la chute du pH du rumen et vraisemblablement à l'accroissement du nombre de bactéries amylolytiques ; cette diminution du pourcentage d'acide acéti-

que s'accompagne d'une augmentation du pourcentage d'acide propionique et, pour des pH inférieurs à 5,5, de perturbations importantes des fermentations ruminale avec apparition d'acide lactique en quantité non négligeable.

On a donc cherché à évaluer le pouvoir acidogène des aliments en mesurant simultanément la baisse de pH et l'accumulation d'acide lactique. Après 12 h d'incubation *in vitro*, l'orge et le blé seraient plus acidogènes que le maïs grain ou que les pulpes de betterave ou d'agrumes (tableau 2). Malenstein *et al* (1984) ont par contre travaillé *in vivo* avec des durées d'incubation plus courtes (4 h), et donc plus aptes à cerner le pouvoir acidogène post-prandial des aliments. Leurs résultats (tableau 3) sont sensiblement différents de ceux obtenus par Cullen *et al* (1986) : ainsi le maïs et le manioc sont classés comme très peu acidogènes, à l'inverse d'aliments tels que le tourteau de coprah, le glutenfeed, et la pulpe d'agrumes, riches en constituants pariétaux. La teneur en sucres solubles est également un élément déterminant du pouvoir acidogène, ainsi que d'autres constituants tels que les matières azotées solubles ou les pectines.

Si la nature de la ration est un des principaux facteurs de variation de la composition en AGV du rumen, il n'est cependant pas le seul, et il est important de nuancer les différences qui existent entre céréales et pulpe en tenant compte des conditions expérimentales dans lesquelles les résultats sont obtenus. Le niveau

**Tableau 2. Influence de la nature de l'aliment sur le pH et la teneur en acide lactique après 12 h de fermentation *in vitro*. (d'après Cullen *et al* 1986).**

Aliment	pH final	Acide lactique (mM)	
		L	D
Témoin (sans aliment)	7,40	0	0
Pulpe de betterave	5,52	39,5	2,0
Maïs grain humide	5,40	0	0
Sorgho grain	5,36	1,2	0
Maïs grain sec	5,14	22,2	8,0
Pulpe d'agrumes	5,13	36,9	21,5
Blé	4,93	79,2	31,0
Orge traitée	4,59	101,7	24,7
Orge entière	4,59	93,4	30,5

**Tableau 3. Classement de quelques aliments concentrés en fonction de leur pouvoir acidogène dans le rumen (d'après Malestein *et al* 1984). Valeurs mesurées *in vivo* 4 heures après le repas.**

Aliment	pH	[Lactate]	Indice
Pulpe d'agrumes	5,39	17,1	100
Gluten feed	5,82	15,9	80
Tourteau de coprah expeller	6,00	12,6	60
Pulpe de betterave	5,95	6,0	48
Tourteau de soja	5,94	6,7	48
Maïs grain (broyé)	6,00	0,7	28
Manioc	6,08	1,2	26

d'ingestion et, par là, le taux de renouvellement du liquide du rumen, l'apport fractionné du concentré sont autant de facteurs qui augmentent ou réduisent les différences entre types de rations. Divers procédés sont classiquement utilisés pour maîtriser les chutes du pH et limiter les perturbations fermentaires avec les rations riches en céréales : distribution en quantité limitée, fractionnement des repas, addition à la ration de substances tampons analogues à la salive (bicarbonates).

## 4 / Digestion après le rumen

La presque totalité de la digestion des rations à base de pulpe ou d'orge a lieu dans le rumen, alors que la part du rumen dans la digestion de la matière organique des régimes à base de maïs est plus faible et surtout plus variable. En moyenne 80 % de l'amidon de maïs est digéré dans le rumen et 17 % dans le reste du tube digestif, avec des variations importantes en fonction du traitement mécanique ou hydrothermique subi par le maïs (tableau 4). L'action des traitements technologiques se traduit par une diminution de la part de l'amidon digéré dans l'intestin au profit de la digestion ruminale.

Ce transfert de la digestion de l'amidon du rumen vers l'intestin avec du maïs entier ou ayant subi un traitement peu énergique se traduit par des modifications des produits terminaux de la digestion ; comme chez le monogastrique, l'amidon est hydrolysé en glucose au niveau de l'intestin grêle, et une flore microbienne peut être amenée à se développer à partir d'amidon résiduel au niveau du caecum et du gros intestin avec production d'AGV et synthèse de protéines microbiennes.

## 5 / Bilan digestif global et interactions digestives entre fourrage et concentré

L'apport de concentré dans une ration se traduit par des changements dans l'utilisation digestive des constituants du régime. Comme nous venons de le voir, ces modifications ont lieu aux différents niveaux du tube digestif (rumen ou intestin), et aussi bien sur le plan

physique (comportement alimentaire et mérycique) que physiologique (sites de digestion, synthèse microbienne, produits terminaux de la digestion). De façon plus globale, la digestibilité apparente de la ration dans l'ensemble du tube digestif fournit un bilan général de l'utilisation digestive de cette ration, sans pour autant préciser la digestibilité respective des différents aliments constitutifs de cette ration. Or la digestibilité d'une ration associant fourrage et concentré n'est pas une simple somme pondérée des digestibilités du fourrage et du concentré, elle est souvent inférieure à la valeur calculée par suite d'interactions digestives négatives entre les constituants de la ration. Pour quantifier ces interactions, nous avons calculé la différence entre la digestibilité de la ration mesurée et celle calculée à partir de la digestibilité de chacun des constituants de la ration.

1) Quand le pourcentage de concentré dans la ration est fixe, nous avons retenu comme valeur de digestibilité pour le concentré celle des Tables INRA (1988). Pour simplifier l'interprétation des données bibliographiques, nous avons rapporté la différence entre la digestibilité mesurée et calculée à une augmentation de 10 points du pourcentage de concentré dans la ration (tableau 5). Les effets associatifs sont le plus souvent négatifs (digestibilité mesurée < digestibilité calculée) et en moyenne un peu plus élevés avec les céréales, - 0,7 contre + 0,5 point avec la pulpe de betterave. Par ailleurs les écarts de digestibilité sont beaucoup plus élevés avec le maïs, - 1,2 contre 0,2 point avec l'orge. Cependant il est difficile de tirer des conclusions précises de tels essais car :

- la digestibilité du concentré est prise dans les tables, c'est-à-dire qu'on a retenu une valeur moyenne qui ne tient pas compte des variations liées à l'origine du concentré (variété, traitement technologique) ; de ce fait le calcul de la digestibilité théorique de la ration n'est qu'approximatif ;

- les conditions expérimentales sont très différentes suivant les essais : pourcentage de concentré compris entre 30 et 55 %, ration de base constituée d'herbe (foin ou ensilage) ou d'ensilage de maïs, niveau d'alimentation variable. Il est évident, par exemple, que les interactions élevées observées dans l'essai de Brown *et al* (1966) sont amplifiées par le fait que la ration de base est constituée d'ensilage de maïs et donc déjà très riche en amidon avec des pourcentages de concentré variables, la digestibilité

Tableau 4. Digestion de l'amidon de maïs (en % de l'amidon ingéré) dans les différents compartiments du tube digestif, en fonction du traitement subi (d'après Owens *et al* 1986).

Traitement	Rumen	Intestin grêle	Gros Intestin	Tube digestif
Entier	58,9	17,0	2,8	91,7
Broyage	68,9	12,9	8,2	87,6
Toastage	71,8	16,1	4,9	93,2
Agglomération	77,7	13,7	4,3	93,5
Floconnage	82,8	15,6	1,3	97,8
Ensilage	86,0	5,5	1,0	94,6

**Tableau 5. Influence de la nature du concentré sur l'importance des interactions digestives appréciée par la différence entre la digestibilité de la ration (dMO) mesurée et calculée.**

Référence	Fourrage Nature	dMO	Concentré Nature	% ration	dMO théorique	Animaux	Niveau alimentaire (par rapport à l'entretien)	dMO mesurée	ration calculée	Différence pour 10 points de concentré
Brown 1966	Ensilage maïs	68,0 **	Maïs Pulpe	55 55	88 ** 82	Vaches laitières	ad lib	66,2 ** 70,9	79,0 ** 75,3	- 2,3 - 0,8
Bienaimé 1979	Paille traitée à la soude	57,0 *	Maïs Pulpe	45 45	90 86	Moutons	1,5 1,4	68,9 70,1	71,8 70,0	- 0,6 + 0,1
Muller et Béranger 1979	Ensilage herbe	76,0	Orge Pulpe	37 35	86 86	Moutons	ad lib.	75,8 77,8	81,5 79,8	- 1,5 - 0,6
Guérin 1980	Foin de graminées	64,9	Maïs Pulpe	30 30	90 86	Moutons	ad lib.	68,5 67,2	72,4 71,2	- 1,3 - 1,3
Berge 1982	Foin de graminées	65,9	Orge Pulpe	30 30	86 86		1	70,9 70,5	71,2 71,7	- 0,3 - 0,4
	Foin de luzerne	63,5	Orge Pulpe	30 30	86 86		1	71,9 68,9	70,2 70,2	+ 0,6 - 0,4
	Foin de graminées	59,9	Orge Pulpe	30 30	86 86		1	69,0 64,5	67,7 67,7	+ 0,4 - 1,1
Michalet- Doreau (non publié)	Foin	68,0	Maïs Pulpe	30 30	90 86	Moutons	1	67,0 69,0	68,7 67,5	- 0,6 + 0,5

\* paille correctement complémentée

\*\* dE

du concentré étant calculée par régression dans des conditions standard (rations distribuées au niveau de l'entretien).

2) Quand le concentré est distribué à différents niveaux dans la ration, sa digestibilité peut être mesurée de façon précise et la moyenne des écarts (digestibilité mesurée - digestibilité calculée) n'est pas différente entre céréales et pulpe de betterave, respectivement -2,8 et -2,9 (tableau 6). Mais si dans l'analyse on prend en compte l'effet du niveau d'alimentation, les effets associatifs sont alors très faibles avec les régimes distribués en quantité limitée (-0,4 en moyenne), sauf dans le cas où le concentré représente 90 % de la ration de base et est de plus associé à un foin de faible digestibilité. La quantité d'azote fermentescible est en effet, dans ce cas, insuffisante pour assurer une activité ruminale microbienne « normale ». Il n'en est pas de même pour les régimes distribués à volonté ; les écarts sont toujours plus élevés avec les céréales (-5,4) qu'avec les concentrés riches en parois (3,6), et sont d'autant plus importants que le pourcentage de concentré dans la ration est élevé. Il est important de noter cependant que la différence de digestibilité observée dans l'essai de Sutton *et al* (1987) n'est pas dûe uniquement aux interactions fourrage x concentré, mais aussi à des différences de digestibilité entre moutons et vaches laitières. Par ailleurs, la digestibilité du fourrage (dMO comprise entre 59,8 et 65,8) ainsi que sa teneur en azote (comprise entre 10,3 et 19,9) n'ont pas d'influence sur la moyenne des écarts pour l'orge comme pour la pulpe. Il semble cependant que les effets asso-

ciatifs soient plus élevés avec des régimes à base d'ensilage de maïs qu'avec des régimes à base de foin distribué à volonté à des chèvres taries (Giger 1987).

## Conclusion

A la suite de cette synthèse bibliographique, il semble difficile de différencier nettement ces 2 types de concentrés. Il est classiquement admis que les aliments riches en parois digestibles se dégradent plus lentement dans le rumen que les céréales comme le blé et l'orge. Ils ont tendance, de ce fait, à induire des baisses de pH plus modérées, à orienter les fermentations ruminales vers la production d'acide acétique, et à réduire les phénomènes d'interaction digestive. Mais ces principes doivent être cependant nuancés. D'une part les céréales ne constituent pas un groupe homogène en raison notamment de la faible dégradabilité de l'amidon de maïs, d'autre part certaines matières premières riches en parois digestibles possèdent manifestement un pouvoir acidogène à court terme plus marqué que les céréales. Par ailleurs on observe entre aliments des différences instantanées de digestion. Or la qualité « hygiénique » d'un aliment dépend plus de la disparition ou de l'apparition brutale d'un nutriment ou d'un métabolite dans le rumen que de la dégradation ou de la production de ce même nutriment ou métabolite sur l'ensemble de la journée. Il semble donc nécessaire de raisonner les processus de

**En moyenne,  
la digestibilité de la  
ration diminue plus  
avec un concentré  
“céréale” qu'avec un  
concentré “pulpe”.  
Mais ces interactions  
sont variables  
selon le niveau  
d'alimentation  
et la proportion  
de concentré  
dans la ration.**

digestion en terme de cinétique ; la prise en compte de la simultanéité des apports de glucides fermentescibles et de l'azote rapidement dégradable en est une bonne illustration. Mais l'aspect dynamique de nombreux mécanismes digestifs reste encore mal connu, d'où la nécessité de poursuivre les efforts de recherche sur la digestion ruminale des aliments concentrés, et sur les conséquences à attendre de leurs associations entre eux et avec les principaux types de fourrages.

## Références bibliographiques

- BATH I.H., ROOK J.A.E., 1963. The evaluation of cattle foods and diets in terms of the ruminal concentration of volatile fatty acids. I - The effects of level of intake, frequency of feeding, the ratio of hay to concentrates in the diet of supplementary feeds. *J. Agric. Sci.* 61, 341-348.
- BERGE Ph., 1982. Interactions entre les fourrages et les aliments concentrés. Conséquences sur la prévision de l'ingestibilité et de la digestibilité des rations mixtes et sur la nature de la digestibilité des aliments concentrés chez le Ruminant. Thèse Doct. Ingénieur. ENSA Montpellier.
- BIENAIME A., 1979. Facteurs de variation de la digestibilité des pailles de céréales. Thèse Doct. Ingénieur. ENSA Montpellier, France.
- BROWN L.D., 1966. Influence of intake on feed utilization. *J. Dairy Sci.* 49, 223-230.
- COULON J.B., FAVERDIN P., LAURENT F., COTTO Geneviève, 1989. Influence de la nature de l'aliment concentré sur les performances des vaches laitières. INRA, Prod. Anim., 2, 47-53.
- CULLEN A.J., HARMON D.L., NAGARAJA T.G., 1986. *In vitro* fermentation of sugars, grains and by-products feeds in relation to initiation of ruminal lactate production. *J. Dairy Sci.* 69, 2616-2621.
- DEMEYER D., VAN NEVEL C., 1986. Influence of substrate and microbial interaction on efficiency of rumen microbial growth. *Reprod. Nutr. Develop.* 26, 161-179.
- DOREAU M., MICHALET-DOREAU B., PONCET C., LE GUEN M.P., 1988. Digestion ruminale comparée du son et de la pulpe de betterave chez le mouton et la vache. *Reprod. Nutr. Develop.*, 26, 190-120.
- EVANS E., 1981. An evaluation of the relationship between dietary parameters and rumen solid turnover rate. *J. Anim. Sci.* 61, 97-103.
- GIGER Sylvie, 1987. Influence de la composition de l'aliment concentré sur la valeur nutritive des rations distribuées aux ruminants laitiers. Thèse Doct. Ingénieur. INA Paris.
- GIGER Sylvie, SAUVANT D., DURAND Michelle, HERVIEU J., 1988. Influence de la nature de l'aliment concentré sur quelques paramètres de la digestion dans le rumen. *Reprod. Nutr. Develop.* 28, 117-118.
- GUERIN M., 1980. Interactions digestives entre les fourrages et les aliments concentrés. Conséquences sur la prévision de la valeur alimentaire des rations distribuées à des ruminants. Mémoire de DEA. Univ. Clermont II.
- HARRISON D.G., MC ALLAN A.B., 1980. Factors affecting microbial growth yields in the reticulo rumen. In Ruckebusch et Thivend Eds : « Digestive Physiology and metabolism in ruminants », p. 205-226. MTP Press Limited, Lancaster.
- HUHTANEN P., 1988. The effects of barley, unmolassed sugar-beet pulp and molasses supplements on organic matter, nitrogen and fine digestion in the rumen of cattle given a silage diet. *Anim. Feed Sci. Techn.* 20, 259-278.
- JOURNET M., 1988. Optimisation des rations. In R. Jarrige Ed. : Alimentation des bovins, ovins et caprins. p.121-129. INRA Publications, Paris.
- LATHAM M.J., SHARPE E., SUTTON J.D., 1971. The microflora of the rumen of cows fed hay and high cereals rations and its relationship to the rumen fermentation. *J. Appl. Bacteriol.* 34, 425-434.
- MACKIE R.I., GILCHRIFT F.M.C., ROBBERTS A.M., HANNAM P.E., SCHWARTZ M.M., 1978. Microbiological and chemical changes in the rumen during the stepwise adaptation of sheep to high concentrate diets. *J. Agric. Sci.* 90, 241-254.
- MALESTEIN A., VAN'T KLOOSTER T.A., PRINS R.A., CONNETTE G.M., 1984. Concentrate feeding and ruminal fermentation. 3 - Influence of concentrate ingredients on pH and DL lactic acid concentration in the rumen fluid of dairy cows and on dry matter intake. *Neth. J. Agric. Sci.* 32, 9.
- MULLER A., BERANGER C., 1979. Utilisation des pulpes de betteraves déshydratées en complément d'ensilage d'herbe par les bovins en croissance et à l'engraissement. *Bull. Techn. CRZV Theix*, INRA, 35, 53-58.
- NAJAR T., GIGER Sylvie, PONCET C., SAUVANT D., 1988. Variations du temps de séjour moyen du foin de luzerne, de la pulpe de betterave et de 3 types d'aliments concentrés dans des rations triples distribuées à des chèvres laitières. *Repr. Nutr. Develop.* 28, 113-114.
- OWENS F.N., GOETSCH A.L., 1984. Digesta passage and microbial protein synthesis. In Milligan, Groves and Dobson eds : "Control of digestion and metabolism in ruminants", p. 196-226.
- OWENS F.N., ZINN R.A., KIM Y.K., 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.*, 63, 634-648.

Tableau 6. Influence de la nature du concentré sur l'importance des interactions digestives, appréciée par la différence entre la digestibilité de la ration mesurée et calculée, la digestibilité du concentré étant mesurée.

Niveau d'alimentation	Entretien			A volonté				
	% concentré dans la ration	30	60	90	30	60	90	
Berge 1982								
Foin (dMO = 65,8)	Orge Pulpe	Animal Mouton	- 0,4 - 0,5	+ 0,9 + 0,5	- 1,0 - 1,0	- 3,9 - 1,6	- 3,9 - 3,4	- 6,9 - 5,6
Foin (dMO = 59,8)	Orge Pulpe	Mouton	+ 1,9 - 0,5	+ 0,9 - 0,9	- 3,8 - 2,7	- 3,3 - 5,1	- 8,4 - 6,5	- 6,4 - 7,3
Sutton <i>et al</i> 1987								
Foin (dMO = 62,0)	Amidon Parois	Vache	- -	- -	- -	- -	- 6,0 - 5,0	- 9,0* - 7,0*
Michalet-Doreau (non publié)								
Foin (dMO = 59,6)	Mais Pulpe	Mouton	- 1,5 + 1,8	+ 0,3 - 0,4	- -	- 2,4 + 0,6	- 8,5 - 3,4	- -

\* 80 % de concentré dans la ration.

- POPPI D.P., NORTON B.W., MINSON D.J., HENDRICKSEN R.E., 1980. The validity of the critical size theory for particles hawing the rumen. *J. Agric. Sci.*, Cambridge, 94, 275-280.
- REMOND B., JOURNET M., 1972. Alimentation des vaches laitières avec des rations à forte proportion d'aliiments concentrés. II - Comportement alimentaire et digestion dans le rumen. *Ann. Zootech.*, 21, 191-205.
- ROBINSON P.H., TAMMINGA S., VAN VUUREN A.A., 1986. Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen fermentation in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 15, 173-189.
- SAUVANT D., MICHALET-DOREAU Brigitte, 1988. Influence de la nature du régime sur le travail masticatoire chez les ruminants. In « L'utilisation des céréales par les vaches laitières » ITEB - juin 1988.
- SAUVANT D., GIGER Sylvie, BERTRAND D., CHAPOUTOT P., 1985. Variations of the by-products degradation in the rumen, consequences for feed formulation. In « Feeding value of by-products and their use by beef cattle » 61-67 CEC Report Eur. 8919. Gend
- SAUVANT D., DORLEANS Michelle, DELACOUR Catherine, BERTRAND D., GIGER Sylvie, 1986. La modélisation des cinétiques de dégradation des constituants pariétaux et cellulaires des aliments dans le rumen. *Reprod. Nutr. Develop.* 303-304.
- SUDWEEKS E.M., 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminants diets : roughage value index system. *J. Anim. Sci.*, 53, 1406-1411.
- SUTTON J.D., BINES J.A., MORANT S.V., MAPPER D.T., 1987. A comparison of starchy and fibrous concentrate for milk production, energy utilization and hay intake by Frisan cows. *J. Agric. Sci. Camb.*, 109, 375-386.
- TAMMINGA S., VAN VUUREN A.A., 1988. Formation and utilization of end products of lignocellulose degradation in ruminant. *Anim. Fd. Sci. and Techn.*, 21, 141-159.
- THEWIS A., LEMAL D., RODRIGUEZ F., FRANCOIS E., BARTIAUX-HILL N., BAUDART F., DARDENNE G., 1988. Influence de la complémentation de l'herbe de pâturage par de l'orge et de la pulpe de betterave sur la digestion et la synthèse microbienne dans le rumen. *Reprod. Nutr. Develop.* 28, 269-270.
- THIVEND P., 1981. Les constituants glucidiques des aliiments concentrés et des sous-produits. In « Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants ». INRA publications, Versailles, p. 219-235.
- VERITE R., JOURNET M., 1975. Utilisation comparée pour la production laitière de 3 rations à base de betteraves, de pulpe de betterave ou d'ensilage de maïs : utilisation de l'énergie et aspects digestifs et métaboliques. *Ann. Zootech.* 24, 373-390.
- VISSEUR H. de, DE GROOT A.A.M., 1980. Metabolic disorders in farm animals. Ed. Gieseke, Disken and stangessinger, p. 41-48.

## **Brigitte MICHALET-DOREAU, D. SAUVANT. Influence of nature of concentrate, cereals or beet pulp, on ruminants digestion.**

Nature of the concentrate in diets for ruminants, cereals or beet pulp, involves modifications

- 1<sup>o</sup>) in flow of digesta leaving the rumen and absorbed in small intestine ;
- 2<sup>o</sup>) in the nature and amount of ruminal end-products.

These modifications have been discussed to explain the possible digestive interactions between forages and concentrates.

In the same ruminal conditions, feeds rich in digestible cell walls are degraded in the rumen more slowly than wheat and barley. So, with beet pulp, the decrease in pH is lower than with cereals and the digestive interactions are reduced. In opposite, concentrates rich in digestible cell walls have a high short-term acidogenic function. Moreover, digestion of maize is very different of this of other cereals. As a consequence, it is difficult to oppose the digestion of cereals and beet pulp.

MICHALET-DOREAU Brigitte, SAUVANT D., 1989. Influence de la nature du concentré, céréales ou pulpe de betterave, sur la digestion chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 2 (4), 235-244.