

## **Etude des interactions entre fourrage et aliment concentré chez le mouton**

### **I. Facteurs de variation du taux de substitution**

Ph. BERGE, J.P. DULPHY

avec la collaboration technique de Madeleine DUDILIEU, Marie JAILLER,  
Jacqueline JAMOT, H. BOUSQUET et L. L'HOTELIER

*Laboratoire des Aliments  
I.N.R.A., C.R.Z.V. de Theix, 63122 Ceyrat*

#### **Résumé**

Au cours de deux essais successifs nous avons étudié, sur des moutons, les interactions entre fourrage et aliment concentré. Dans ce premier texte sont présentés les résultats concernant l'ingestion et plus précisément les taux de substitution fourrage/concentré. Les facteurs de variation suivants ont été étudiés : la nature et la proportion de l'aliment concentré, la nature du fourrage.

Dans tous les cas les fourrages ont été des foins. Dans le premier essai on a étudié 5 aliments concentrés à base respectivement de pellicules de soja, de son de blé, de céréales, de pulpe de betteraves et de lupin. Dans le second on a combiné 3 foins et 2 aliments concentrés : orge et pulpe de betterave. Chaque combinaison foin-concentré a été distribuée à volonté à 12 moutons avec respectivement 0, 30, 60 et 90 % d'aliment concentré dans la ration (3 moutons/type de ration). Les taux de substitution ont toujours été calculés par rapport au foin seul. En outre certaines rations ont été distribuées à des moutons fistulisés du rumen pour mesurer l'activité cellulolytique, le pH et la teneur en  $\text{NH}_3$  des contenus de rumen correspondants.

Le taux de substitution a augmenté systématiquement avec la proportion de concentré dans la ration, mais l'augmentation a été forte avec les concentrés à base de céréales et de son et faible avec les concentrés à base de pulpe, de lupin et de pellicules de soja.

Dans le même temps, pour une proportion faible de concentré, le taux de substitution a été plus faible ou équivalent pour les céréales et les concentrés riches en parois digestibles (pulpe de betterave, pellicules de soja). Pour des proportions élevées de concentré, le taux de substitution a toujours été plus élevé pour les concentrés, donc les rations, riches en amidon. A l'inverse, l'augmentation de la teneur en MAT des rations a entraîné une baisse du taux de substitution.

Il y a eu aussi des différences importantes de taux de substitution selon la nature du fourrage. Ce taux a été plus élevé avec le foin le plus ingestible.

Le taux de substitution fourrage/concentré est donc très variable. Ce fait traduit dans un premier temps les variations respectives de l'effet d'encombrement des aliments associés. En effet, pour de faibles proportions de concentré, dans le cadre d'une régulation physique de l'appétit, il y a probablement simple remplacement du fourrage par le concentré. Ce dernier se digère en général plus vite et le taux de substitution est inférieur à 1.

Lorsque la proportion de concentré augmente, on assiste à une diminution de l'activité cellulolytique dans le rumen, donc de la vitesse de digestion du fourrage. L'effet d'encombrement de ce dernier augmente alors et donc, le taux de substitution, mais avec des variations importantes dues à la nature des aliments utilisés et aussi probablement à l'effet d'une régulation métabolique de l'ingestion, plus prononcée avec les concentrés riches en amidon.

*Mots clés : Foin, concentré, taux de substitution, ingestibilité, ovins.*

### Introduction

Dans un contexte de production intensive, il est presque toujours nécessaire de distribuer aux ruminants un ou plusieurs aliments concentrés en plus des fourrages, pour leur permettre de réaliser des performances proches de leur potentiel de production. Ces aliments concentrés représentent 10 à 50 p. 100 de la ration totale des vaches laitières et, parfois plus dans celle des bovins à l'engrais.

Les équations établies par l'I.N.R.A. (1978 et 1981) permettent aujourd'hui de prévoir, avec une précision satisfaisante, les valeurs alimentaires des fourrages (valeur énergétique et ingestibilité). Mais, lorsque la ration est constituée de fourrage et de concentré, il est courant d'observer des interactions entre ces deux types d'aliment. Celles-ci se manifestent à deux niveaux :

— sur l'ingestion du fourrage ; l'apport de concentré, ou l'augmentation des quantités de concentré ingérées, se traduisant, en général par une diminution des quantités de fourrage ingérées (effet de substitution - BLAXTER, WAINMAN & WILSON, 1961) ;

— sur la digestibilité (donc la valeur énergétique) de la ration, quand elle n'est plus égale à la somme des digestibilités du fourrage et du concentré pondérée par leurs proportions respectives.

L'effet de substitution du fourrage par le concentré est mesuré par le taux de substitution (S), c'est-à-dire par le rapport de la quantité de fourrage consommée en moins à la quantité de concentré ingérée. La valeur de S varie le plus souvent entre 0 et 1 (DULPHY, 1978 ; JARRIGE, 1979), mais elle peut dépasser 1 dans le cas de quantités de concentré élevées. On peut aussi observer l'effet contraire (augmentation des quantités de fourrage ingérées, taux de substitution négatif) avec des fourrages de très faible valeur nutritive, en général pauvres en azote, lorsqu'on les complète avec une petite quantité de concentré (20 à 40 p. 100 de la ration - CAMPLING & MURDOCH, 1966 ; CRABTREE & WILLIAMS, 1971 a et 1971 b ; LAMB & EADIE, 1979).

Le taux de substitution varie principalement et dans le même sens que :

— la proportion de concentré dans la ration (McCULLOUGH & SISK, 1969 ; DEMARQUILLY *et al.* in I.N.R.A., 1978 ; ASTON & TAYLER, 1980 ; LAIRD *et al.*, 1981) ;

— la digestibilité et l'ingestibilité du fourrage (BLAXTER, WAINMAN & WILSON, 1961 ; BLAXTER & WILSON, 1963 ; LEAVER, 1973 ; TORRES & BOELCKE, 1978 ; DEMARQUILLY in I.N.R.A., 1978).

Il varie en sens inverse de la teneur en azote du concentré (GUERIN & DULPHY, 1984) ou de la ration (ANDREWS *et al.*, 1972). Mais d'autres facteurs interviennent également pour expliquer les variations du taux de substitution :

— la nature du concentré (MULLER & BERANGER, 1979 ; VÉRITÉ & DULPHY, 1981 ; DULPHY, KOUASSI & BIENAIMÉ, 1982) ;

— la forme de présentation du concentré : le taux de substitution semble plus élevé lorsque les graines de céréales sont broyées et agglomérées plutôt qu'entières (ORSKOV & FRASER, 1975) ;

— la nature et le mode de conservation du fourrage (MURDOCH, 1964 ; CAMPLING & MURDOCH, 1966 ; OSBOURN, 1967) ;

— l'espèce animale (MURDOCH, 1967).

Les interactions au niveau de l'ingestion et de la digestibilité, et leurs conséquences, les effets associatifs, ont leur origine d'abord dans les modifications qu'entraînent l'ingestion des concentrés dans les processus de la digestion au niveau des compartiments gastriques.

La baisse des quantités de fourrage ingérées avec l'apport de concentré est associée d'abord à une diminution de la place disponible pour le fourrage dans le rumen ainsi qu'à une baisse de la vitesse de digestion de certains constituants pariétaux qui proviennent surtout du fourrage et qui sont dégradés plus lentement (CAMPLING & MURDOCH, 1966 ; FICK *et al.*, 1973 ; LAMB & EADIE, 1979). Cette baisse de la vitesse de digestion est liée à une baisse d'activité des bactéries cellulolytiques lorsque les animaux consomment des aliments riches en glucides non pariétaux, en particulier l'amidon (LAMB & EADIE, 1979 ; TOPPS, KAY & GOODALL, 1968 ; HENNING *et al.*, 1980 ; JOUANY, 1981 a ; DULPHY, KOUASSI & BIENAIMÉ, 1982 ; GUERIN & DULPHY, 1984).

En définitive, à quantité égale de matière sèche consommée, l'effet d'encombrement qu'exerce le fourrage dans le rumen est alors plus important par suite d'un temps de séjour plus long à ce niveau. A cela s'ajoute l'effet d'encombrement propre du concentré. Le ruminant compense alors l'augmentation de l'effet total d'encombrement de la ration en diminuant sa consommation de fourrage (CRAMPTON, DONEFER & LLOYD, 1960 ; BLAXTER, WAINMAN & WILSON, 1961 ; BALCH & CAMPLING, 1962).

Dans le cas des fourrages pauvres, l'augmentation des quantités de fourrage ingérées (taux de substitution négatif) traduit, au contraire, une augmentation de la vitesse de digestion dans le rumen en réponse à des apports de concentré faibles (CAMPLING, FREER & BALCH, 1962 ; HEMSLEY & MOIR, 1963 ; SHARMA, TAPARIA & JHANWAR, 1972 ; ERNST, LIMPUS & O'ROURKE, 1975 ; DULPHY *et al.*, 1983).

Si la variation de l'effet d'encombrement est certainement la première cause des phénomènes de substitution, il n'en est pas moins sûr que des mécanismes de régulation métaboliques entrent également en jeu. Ceux-ci prennent progressivement le relais de la régulation physique et ce, d'autant plus rapidement que la proportion de concentré dans la ration est élevée et que le fourrage a une ingestibilité plus importante (BALCH & CAMPLING, 1962 ; REMOND & JOURNET, 1972).

Bien que les causes des interactions sur l'ingestion et les facteurs de variation du taux de substitution soient assez bien connus, on n'est pas encore parvenu à mettre au point un modèle capable d'intégrer simultanément ces différents facteurs. Néanmoins, on dispose des résultats d'un travail réalisé à l'I.N.R.A. de Theix considérant 3 classes de ruminants : moutons à l'entretien, vaches laitières, bovins en croissance et à l'engrais (DEMARQUILLY *in* I.N.R.A., 1978 ; JARRIGE, 1979).

Deux essais ont donc été réalisés, qui s'inscrivent dans le contexte général de l'étude des interactions fourrage-concentré (BERGE, 1982). Leur objectif a été de préciser les effets des principaux facteurs de variation du taux de substitution et des effets associatifs de digestibilité. Le premier essai a porté plus particulièrement sur l'effet de la nature et de la proportion du concentré tandis que le deuxième essai a introduit en plus l'étude de l'effet de la nature du fourrage.

Les animaux utilisés ont été des moutons et les fourrages ont été distribués sous forme de foin.

## Matériel et méthodes

### Essai I

#### *Animaux*

Nous avons utilisé 12 moutons castrés adultes pesant en moyenne 62 ( $\pm$  6) kg et maintenus dans des cages à métabolisme permettant la mesure journalière des quantités ingérées et excrétées. On disposait également de 4 moutons castrés adultes fistulisés du rumen et pesant en moyenne 77 kg.

#### *Aliments*

Nous avons étudié successivement 5 aliments concentrés parmi ceux étudiés par ailleurs au Laboratoire et choisis pour couvrir une large gamme de teneurs en matières azotées, cellulose brute et amidon. Ces aliments, présentés sous forme de granulés (après broyage et agglomération), avaient la formulation suivante :

— *Pellicules de soja* (PS) : 88 p. 100 de pellicules de soja, 6 p. 100 de ligno-sulfite et 6 p. 100 de mélasse (concentré étudié également par MICHALET-DOREAU & DEMARQUILLY, 1980).

— *Son de blé* (SB) : 86 p. 100 de son de blé, 6,5 p. 100 de tourteau de soja-50, 5 p. 100 de mélasse et 2,5 p. 100 de minéraux (déjà utilisé par VÉRITÉ & DULPHY, 1981).

— *Céréales* (CC) : 59,5 p. 100 de maïs, 30 p. 100 d'orge, 8 p. 100 de tourteau d'arachide et 2,5 p. 100 de minéraux.

— *Pulpe de betteraves* (PB) : 81 p. 100 de pulpe de betteraves déshydratée, 11 p. 100 de tourteau de soja-50, 5 p. 100 de mélasse, 1 p. 100 d'urée et 2 p. 100 de minéraux (VÉRITÉ & DULPHY, 1981).

— *Lupin-maïs* (LM) : 64 p. 100 de lupin, 29,5 p. 100 de maïs, 5 p. 100 de mélasse et 1,5 p. 100 de minéraux.

Le concentré CC a été associé à un foin de fléole récolté au 1<sup>er</sup> cycle (FF) et les autres (PS, SB, PB et LM) à des foins de prairie naturelle récoltés au 2<sup>e</sup> cycle (PN 1, PN 2, PN 3, PN 4).

#### *Schéma expérimental*

Chacune des 5 associations foin-concentré a été distribuée à volonté de la façon suivante :

- foin seul ;
- 70 p. 100 de foin + 30 p. 100 de concentré ;
- 40 p. 100 de foin + 60 p. 100 de concentré ;
- 10 p. 100 de foin + 90 p. 100 de concentré.

Chacun de ces 4 régimes était distribué simultanément à 3 moutons. La durée de la période d'adaptation était de 15 jours suivis d'une période de mesure de 6 jours. Les moutons recevaient ensuite la même association foin-concentré pendant 3 semaines, mais en quantité limitée (BERGE, 1982). Après chaque période de 3 semaines, les moutons étaient à nouveau affectés à un régime, mais différent, pour ne pas recevoir toujours la même proportion de concentré.

Dans cet essai, des observations complémentaires telles que l'activité cellulolytique dans le rumen, le pH, les teneurs en acides gras volatils (AGV) et en azote ammoniacal ( $N-NH_3$ ) du liquide du rumen ont été effectuées pour le concentré PS, sur moutons fistulés, à raison de deux moutons par régime.

Les quantités de foin proposées aux moutons ont été ajustées de façon à permettre 10 p. 100 de refus. Elles ont été distribuées en deux repas par jour. A chaque repas la distribution du concentré précédait celle du fourrage, les quantités étant ajustées en fonction de la quantité de foin ingérée la veille.

### *Mesures*

Lors de chaque période de mesure, les quantités d'aliments offerts et refusés par les moutons ont été pesés quotidiennement. On a prélevé en même temps un échantillon des aliments offerts et refusés pour en déterminer la teneur en matière sèche (MS) en les plaçant pendant 24 heures dans une étuve chauffée à 80 °C.

Sur les moutons fistulés du rumen, qui recevaient le concentré PS, on a mesuré l'activité cellulolytique du liquide du rumen par la méthode des sachets de nylon (DEMARQUILLY & CHENOST, 1969). Les sachets (3 par régime, par mouton et par temps de séjour) contenaient 3 g d'une paille d'avoine et ont séjourné 0 - 8 - 24 - 48 et 72 heures dans le rumen des moutons. Sur les échantillons du liquide prélevé dans le rumen, on a déterminé le pH ainsi que les teneurs en  $N-NH_3$  et en AGV pendant 2 jours consécutifs et à différentes heures de la journée (0, 1, 2, 3, 4, 6 et 8 heures après le début du repas du matin).

### *Analyses*

Sur les échantillons d'aliments offerts, sur les refus et sur les fèces on a déterminé les teneurs en cendres après incinération à 550 °C, en matières azotées totales ( $MAT = N \times 6,25$ ) selon la méthode de Kjeldahl, en cellulose brute (CB) selon la méthode de Weende et en amidon (AMI) selon la méthode de THIVEND, MERCIER & GUILBOT (1965).

Les teneurs en ammoniac et en acides gras volatils ont été déterminées par les méthodes décrites par JOUANY (1981 b).

### *Etude statistique*

Les valeurs du taux de substitution ont été soumises à une analyse de variance-covariance selon le modèle proposé par SEEBECK (1973) afin de tester la signification

des effets principaux des facteurs (nature du concentré) et des covariables (pourcentage de concentré C, teneurs en MAT, CB et AMI, ingestibilité du fourrage, niveau alimentaire) ainsi que les interactions de premier ordre.

Le modèle retenu est de la forme :

$$S = a + \Delta a + (b + \Delta b) \times C \pm Syx$$

où  $Syx$  est l'erreur résiduelle et  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  des constantes dépendant de la nature du concentré et corrigeant respectivement les valeurs moyennes des coefficients  $a$  et  $b$  de l'équation de régression linéaire du taux de substitution ( $S$ ) à la proportion de concentré dans la ration ( $C$ , en p. 100).

## *Essai II*

### *Animaux*

Nous avons également utilisé 12 moutons castrés adultes pesant en moyenne 66 ( $\pm 5$ ) kg. Les moutons fistulés étaient les mêmes que ceux de l'essai I.

### *Aliments*

Dans cet essai nous avons décidé d'étudier non seulement l'effet de la nature de l'aliment concentré, mais également celui de la nature du foin. A la lumière des résultats de l'essai I, 2 concentrés de nature très différente, mais constitués d'une seule matière première, ont été préparés : une orge (O) et une pulpe de betterave déshydratée (P). Ces 2 concentrés étaient conditionnés de la même façon que dans l'essai I. En outre, nous avons choisi 3 foins théoriquement très différents : un foin de prairie naturelle récolté tardivement au 1<sup>er</sup> cycle (FG), un foin de prairie naturelle récolté précocement au 2<sup>e</sup> cycle (RG) et un foin de luzerne récolté au 2<sup>e</sup> cycle (FL).

### *Schéma expérimental*

Les 2 concentrés ont été associés chacun aux trois foins. Les 6 associations foin-concentré ont été étudiées successivement et selon la même procédure que celle suivie dans l'essai I.

Les régimes étudiés sur les moutons fistulés ont été les mêmes que ceux des moutons en cage, sauf que seuls les foins RG et FG ont été utilisés, et que le niveau 30 p. 100 de concentré n'a été étudié qu'avec le concentré O.

### *Mesures, analyses chimiques et étude statistique*

Elles ont été les mêmes que dans l'essai I. Cependant, dans le modèle de SREBECK (1973) nous avons intégré en plus l'effet de la nature du foin. Dans ces conditions les coefficients  $a$  et  $b$  de l'équation de régression linéaire reliant  $S$  à  $C$  sont corrigés respectivement par des constantes  $\Delta_a$ ,  $\Delta'_a$  et  $\Delta_b$ ,  $\Delta'_b$  qui expriment les effets de la nature du concentré ( $\Delta_a$ ,  $\Delta_b$ ) et de la nature du foin ( $\Delta'_a$ ,  $\Delta'_b$ ). Le modèle de l'analyse des variations de  $S$  est alors :

$$S = a + \Delta_a + \Delta'_a + (\Delta_b + \Delta'_b) \times C \pm Syx$$

où  $Syx$  est l'erreur résiduelle.

Résultats

La composition chimique des aliments utilisés, ainsi que l'ingestibilité des foins, sont rapportées dans le tableau 1. Cette ingestibilité a été en moyenne de 64,7 ( $\pm 6,6$ ) g de MS par kg P<sup>0.75</sup> pour les 8 foins. Cette valeur correspond à des foins de valeur alimentaire élevée (I.N.R.A., 1978).

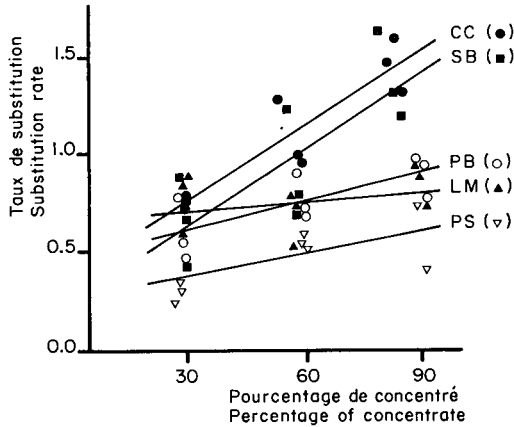


FIG. 1

Relation entre le taux de substitution et le pourcentage de concentré dans la ration (Essai I).  
 Relationship between substitution rate and proportion of concentrates in the diet (trial I).

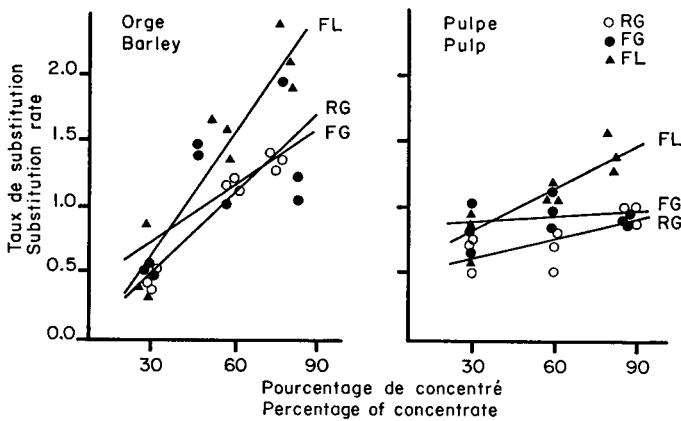


FIG. 2

Relation entre le taux de substitution et le pourcentage de concentré dans la ration (Essai II).  
 Relationship between substitution rate and proportion of concentrates in the diet (trial II).

TABLEAU 1  
 Composition chimique et ingestibilité des aliments (valeurs moyennes)  
 Chemical composition of feeds (mean values)

	Teneur en MS (%) DM content (%)	Teneur en % de la MS Level % DM				Ingestibilité (g MS/kg <sup>0,75</sup> /jour) Hay intake (g DM/kg <sup>0,75</sup> /day)	Digestibilité de la MO × 100 OM digestibility × 100
		Cendres Ash	Matières azotées totales Crude protein	Cellulose brute Crude fibre	Amidon Starch		
Expérience 1 - Trial 1							
Foin de prairie naturelle Natural grassland hay	PN1	88,0	6,0	18,0	26,9	—	65,3
Foin de prairie naturelle	PN2	88,0	5,9	18,8	27,5	—	68,0
Foin de prairie naturelle	PN3	88,8	7,3	17,3	27,5	—	74,0
Foin de prairie naturelle	PN4	88,8	7,2	14,8	31,9	—	62,4
Foin de fléole Timothy hay	FF	89,5	6,3	13,8	31,9	—	70,7
Concentré pellicules de soja PS (+ PN1) .....		89,4	6,0	15,3	31,4	2,2	—
Soyabean hull concentrate							



TAUX DE SUBSTITUTION

Concentré son de blé SB (+ PN2) <i>Wheat bran concentrate</i>	90,6	7,8	18,5	9,3	25,6	—	—
Concentré pulpe de betterave PB (+ PN3) .....	92,0	8,2	17,7	15,2	—	—	—
<i>Beet pulp concentrate</i>							
Concentré lupin-maïs LM (+ PN4) .....	90,2	4,6	29,1	8,6	23,8	—	—
<i>Lupin-maize concentrate</i>							
Concentré céréales CC (+ FF) <i>Cereal concentrate</i>	89,3	3,9	13,4	3,4	64,6	—	—
Expérience 2 - Trial 2							
Foin de prairie naturelle <i>Natural grassland hay</i>	87,5	7,6	19,9	25,8	—	62,5	63,5
Foin de prairie naturelle <i>Lucerne hay</i>	88,4	6,6	10,3	29,7	—	58,1	57,5
Concentré orge <i>Barley concentrate</i>	90,7	3,1	12,1	4,9	57,6	—	—
Concentré pulpe de betterave <i>Beet pulp concentrate</i>	91,3	6,4	9,4	19,5	—	—	—

Dans tous les cas les besoins des animaux ont été largement couverts puisque le niveau alimentaire a varié en moyenne de 1,6 sans concentré à 1,8 avec 90 p. 100 de concentré (BERGE, 1982).

Des refus ont aussi été parfois enregistrés pour les concentrés riches en amidon.

Le taux de substitution (S) a été calculé pour chaque mouton en supposant que l'ingestibilité du foin seul était égale à la moyenne de l'ingestibilité de ce foin mesurée sur les 3 moutons recevant le régime sans concentré. Les résultats sont donnés dans le tableau 2 et portés dans les figures 1 et 2. Individuellement ces taux de substitution ont varié dans de très larges limites (de 0,25 à presque 2,5).

Quel que soit le concentré utilisé, le taux de substitution a augmenté en même temps que la proportion de concentré dans la ration (tabl. 2). Il a doublé, en valeur moyenne, lorsque le pourcentage de concentré est passé de 30 à 90 p. 100.

TABLEAU 2  
Valeur moyenne du taux de substitution (Essais I et II)  
Average substitution rate (Trials I and II)

	Ration <i>Diet</i>		Pourcentage de concentré <i>Percentage of concentrate</i>			n
	Foin <i>Hay</i>	Concentré <i>Concentrate</i>	30 %	60 %	90 %	
Essai I <i>Trial I</i>	PN1	- PS	0,34	0,56	0,57	8
	PN2	- SB	0,66	0,91	1,41	9
	FL	- CC	0,76	1,09	1,49	9
	PN3	- PB	0,61	0,79	0,92	9
	PN4	- LM	0,78	0,69	0,87	9
Essai II <i>Trial II</i>	RG	- O	0,46	1,14	1,32	9
	FG	- O	0,52	1,29	1,40	9
	FL	- O	0,54	1,51	2,08	9
	RG	- P	0,67	0,69	0,96	9
	FG	- P	0,86	0,97	0,94	9
	FL	- P	0,82	1,10	1,39	9
	Moyenne concentré O <i>Mean for concentrates</i>		0,51	1,31	1,64	27
	P		0,78	0,92	1,09	27
	Moyenne foin RG <i>Mean for hay</i>		0,56	0,92	1,14	18
	FG		0,69	1,13	1,17	18
FL		0,68	1,31	1,74	18	
Moyenne Essais I et II <i>Mean for Trials I and II</i>			0,64	0,98	1,21	98

Dans l'essai I, on constate des différences importantes de taux de substitution selon le type d'association fourrage-concentré. Dans la mesure où nous avons utilisé

chaque fois un foin différent on ne peut attribuer ces différences à la seule nature des concentrés. Dans l'essai II par contre le taux moyen de substitution a été plus élevé avec l'orge qu'avec la pulpe, sauf au niveau 30 p. 100 de concentré. Il a été le plus élevé pour le foin FL et le plus faible pour le foin RG.

A. Effet de la proportion de concentré dans la ration (C, en p. 100)

Le modèle de variation du taux de substitution dans les deux essais a été le suivant :

Essai I  $S = 0.41 + \Delta_a + (0.0074 + \Delta_b) \times C$   
 (n = 44, Syx = 0,17, r = 0,892\*\*\*)

où $\Delta_a =$	— 0,15 avec PS — 0,17 avec SB — 0,02 avec CC + 0,07 avec PB + 0,27 avec LM	$\Delta_b =$	— 0.0034 $\alpha$ avec PS + 0.0061 $\beta$ avec SB + 0.0054 $\beta$ avec CC — 0.0023 $\alpha$ avec PB — 0.0057 $\alpha$ avec LM
-----------------	--	--------------	---

Essai II  $S = 0.29 + \Delta_a + \Delta'_a + (0.0133 + \Delta_b + \Delta'_b) \times C$   
 (n = 54, Syx = 0,21, r = 0,895\*\*\*)

où $\Delta_a =$	— 0.31 avec O + 0.31 avec P	$\Delta'_a =$	— 0.10 avec RG + 0.27 avec FG — 0.17 avec FL
$\Delta_b =$	+ 0.0076 $\alpha$ avec O — 0.0076 $\beta$ avec P	$\Delta'_b =$	— 0.0012 $\alpha$ avec RG — 0.0055 $\alpha$ avec FG + 0.0067 $\beta$ avec FL

( $\alpha, \beta$  : différence significative,  $P < 0,05$ ).

Dans l'essai I, l'augmentation du taux de substitution avec la proportion de concentré a été très marqué avec le concentré céréales (CC) et le son de blé (SB), et relativement faible avec les concentrés à base de pulpe de betterave (PB), de lupin (LM) et de pellicules de soja (PS). L'interaction nature du concentré  $\times$  proportion de concentré a été hautement significative ( $P < 0,01$ ), traduisant de ce fait une différence de pente significative entre les concentrés CC et SB d'une part, PB, LM et PS d'autre part. Il en a résulté qu'avec 90 p. 100 de concentré le taux de substitution est de l'ordre de 1,5 avec les concentrés CC et SB, alors qu'il ne dépasse pas 1,0 avec les autres concentrés. Dans l'essai II, l'augmentation du taux de substitution a également été significativement plus grande avec l'orge (O) qu'avec la pulpe (P) ( $P < 0,05$ ). Elle a aussi été plus grande avec le foin de luzerne (FL) qu'avec les deux autres foin (FG et RG) ( $P < 0,05$ ).

B. Effet des caractéristiques du fourrage et de celles du concentré

En mélangeant les résultats des 2 essais, nous avons cherché quelle était l'influence des caractéristiques des aliments distribués sur le taux de substitution.

Notons tout d'abord que les caractéristiques suivantes des aliments n'ont eu aucune influence significative sur les variations de S :

- la teneur en MAT des foins ;
- la digestibilité des concentrés ;
- la teneur en cellulose brute des concentrés.

De plus, la teneur en cellulose brute des foins a eu un effet positif mais négligeable. Il en a été de même de la teneur en MAT des concentrés.

En fin de compte, les caractéristiques importantes ont été :

- l'ingestibilité des foins (QI F en g de MS/kg P<sup>0.75</sup>) ;
- la digestibilité de ces foins ( $\times 100$ ) (DMOF) ;
- la teneur en amidon des concentrés.

Par ailleurs il est fondamental de tenir compte des 2 catégories de concentrés définies plus haut :

- PS, LM, PB et P d'une part (concentrés « parois ») ;
- SB, CC et O d'autre part (concentrés « amidon »),

du pourcentage de concentré et de l'interaction catégorie de concentré  $\times$  pourcentage de concentré.

Dans ces conditions on a le modèle suivant, dans lequel tous les facteurs et les variables ont un effet significatif :

$$S = 0,57 + \left| \begin{array}{l} (-0,13 \text{ (« parois »)}) \\ (+0,13 \text{ (« amidon »)}) \end{array} \right| + \left( 1,0825 + \left| \begin{array}{l} (-0,654 \text{ « parois »}) \\ (+0,654 \text{ « amidon »}) \end{array} \right| \right) \times C$$

$$+ 0,0239 \text{ QIF}$$

$$- 0,0278 \text{ DMOF}$$

(n = 98, Syx = 0,22, r = 0,842\*\*\*)

Dans la mesure où on sépare les concentrés en 2 catégories, l'influence de la teneur en amidon devient secondaire.

### C. Effet de la composition chimique de la ration

Les variations du taux de substitution en relation avec les variations des différents paramètres de la composition chimique de la ration ont été les suivantes :

Essai I (n = 44) :

$$S = 2,26 - 0,031^{***} \text{ MAT} - 0,043^{***} \text{ CB} \quad (\text{Syx} = 0,18 ; r = 0,840^{***})$$

$$S = 0,75 - 0,0061 \text{ MAT}^{(\text{NS})} + 0,0150^{***} \text{ AMI} \quad (\text{Syx} = 0,24 ; r = 0,694^{***})$$

Essai II (n = 54) :

$$S = 2,55 - 0,042^* \text{ MAT} - 0,050^{***} \text{ CB} \quad (\text{Syx} = 0,33 ; r = 0,671^{***})$$

$$S = 1,55 - 0,57^{**} \text{ MAT} + 0,0146^{***} \text{ AMI} \quad (\text{Syx} = 0,34 ; r = 0,642^{***})$$

Les teneurs en cellulose brute et en amidon ne peuvent apparaître dans la même

équation en raison de la corrélation élevée et significative qui existe entre ces deux variables ( $r = -0,713^{***}$  et  $-0,935^{***}$  dans les essais I et II respectivement).

En regroupant les données des deux essais, soit 98 rations, on a obtenu les relations suivantes :

$$S = 0,81 - 0,025 \text{ MAT}^{***} + 0,009 \text{ C}^{***} \quad (\text{Syx} = 0,33 ; r = 0,586^{***})$$

$$S = 2,41 - 0,036 \text{ MAT}^{***} - 0,047 \text{ CB}^{***} \quad (\text{Syx} = 0,27 ; r = 0,748^{***})$$

$$S = 1,04 - 0,0199 \text{ MAT}^{**} + 0,0140 \text{ AMI}^{***} \quad (\text{Syx} = 0,31 ; r = 0,630^{**})$$

Ces relations, quoique moins précises que celles des modèles intégrant le type d'aliment et la proportion de concentré permettent de mieux comprendre pourquoi varie le taux de substitution. Celui-ci varie dans le même sens que la teneur en amidon de la ration et en sens inverse des teneurs en MAT et en CB. En effet, il a été le plus élevé avec les concentrés à la fois riches en amidon et relativement pauvres en MAT (céréales, son de blé et orge), et le plus faible avec les concentrés riches en parois végétales facilement digestibles (pulpe de betteraves et pellicules de soja). Le concentré lupin-mais (LM) de l'essai I s'est trouvé dans une position intermédiaire en raison de ses teneurs élevées à la fois en MAT et en amidon. L'effet de l'augmentation de la teneur en CB traduit en fait l'effet de l'augmentation de la proportion de foin (ou celui de la diminution de la proportion de concentré) dans la ration.

#### D. Caractéristiques du jus de rumen

##### 1. *Activité cellulolytique* (fig. 3)

Globalement, l'activité cellulolytique a diminué à chaque augmentation de la proportion de concentré.

Dans l'essai I, la baisse n'a été significative qu'au plus haut niveau de concentré. Dans l'essai II, les niveaux de concentré réellement atteints par les 2 moutons recevant l'orge (O) au niveau théorique de 90 p. 100 n'ont été en fait que de 60 et de 70 p. 100 en raison du refus de quantités importantes de ce concentré. Néanmoins, les variations d'activité cellulolytique ont été conformes à celles observées dans l'essai I. Par ailleurs, à même niveau de concentré, l'activité cellulolytique a été inférieure de 4 à 10 points avec l'orge comparée à la pulpe lorsqu'elle a été mesurée 48 à 72 heures après le repas, temps qui correspond approximativement à la durée de dégradation des constituants pariétaux des fourrages.

##### 2. *pH* (tabl. 3)

Dans l'essai I, le pH moyen a baissé à chaque augmentation de la proportion de pellicules de soja. Ceci a été très net au niveau 90 p. 100 de concentré.

Dans l'essai II, il en a été de même sauf avec la pulpe associée au foin FG. La baisse du pH a été très importante avec l'orge dans la période 2 à 4 heures après le repas, le pH diminuant alors jusqu'à 5,4 et restant le plus souvent inférieur à 6,0 alors qu'avec la pulpe il est resté pratiquement toujours supérieur à 6,0.

TABLEAU 3  
 Caractéristiques fermentaires du jus de rumen (moyennes correspondant à 2 moutons  
 et 7 prélèvements/mouton)  
 Chemical features of rumen liquid (mean values for 2 sheep and 7 measurements per sheep)

	pH <i>pH</i>	Teneur en AGV totaux (mmoles/l) <i>Total VFA content (mmoles/l)</i>	Proportion molaire <i>Molar proportion of</i>			Teneur en N-NH <sub>3</sub> (mg/100 ml) <i>N-NH<sub>3</sub> content (mg/100 ml)</i>	Activité cellulolytique (% MS de la paille disparue des sachets de nylon) <i>(% DM loss from the nylon bags) après - after</i>	
			Acide acétique <i>Acetic acid</i>	Acide pro- pionique <i>Propionic acid</i>	Acide butyrique <i>Butyric acid</i>		48 h	72 h
Essai I - <i>Trial I</i>								
Foin seul . . . . . <i>Hay alone</i>	6,63 <sup>a</sup>	95,1 <sup>b</sup>	65,9 <sup>a</sup>	23,6 <sup>a</sup>	7,2 <sup>c</sup>	20,0 <sup>ab</sup>	55,1	53,9
+ 30 % pellicules de soja <i>Soya hulls</i>	6,54 <sup>a</sup>	103,5 <sup>ab</sup>	65,6 <sup>a</sup>	21,4 <sup>b</sup>	9,5 <sup>b</sup>	24,1 <sup>b</sup>	51,5	57,2
+ 60 % pellicules de soja	6,46 <sup>a</sup>	102,6 <sup>ab</sup>	63,6 <sup>b</sup>	24,3 <sup>a</sup>	9,0 <sup>b</sup>	18,7 <sup>a</sup>	47,1	50,6
+ 90 % pellicules de soja	6,06 <sup>b</sup>	123,1 <sup>a</sup>	64,8 <sup>ab</sup>	21,3 <sup>b</sup>	10,8 <sup>a</sup>	29,1 <sup>c</sup>	39,4	46,1
Essai II - <i>Trial II</i>								
Foin RG seul . . . . . <i>RG Hay alone</i>	6,6 <sup>a</sup>	77 <sup>b</sup>	66,5 <sup>a</sup>	19,3 <sup>b</sup>	8,7 <sup>c</sup>	28,2 <sup>a</sup>	60,6	62,5

TAUX DE SUBSTITUTION

+ 30 % orge ..... <i>Barley</i>	6,4 <sup>b</sup>	95 <sup>a</sup>	66,6 <sup>a</sup>	17,6 <sup>b</sup>	11,5 <sup>b</sup>	20,4 <sup>b</sup>	54,3	57,1
+ 60 % orge .....	6,2 <sup>c</sup>	74 <sup>b</sup>	57,4 <sup>b</sup>	25,5 <sup>a</sup>	12,2 <sup>b</sup>	19,8 <sup>b</sup>	50,3	53,0
+ 90 % orge .....	6,1 <sup>c</sup>	70 <sup>b</sup>	51,0 <sup>d</sup>	25,0 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	11,8 <sup>c</sup>	47,4	48,1
+ 60 % pulpe ..... <i>Pulp</i>	6,2 <sup>c</sup>	82 <sup>b</sup>	65,8 <sup>a</sup>	21,6 <sup>c</sup>	10,1 <sup>b</sup>	4,9 <sup>d</sup>	54,4	59,4
+ 90 % pulpe .....	6,1 <sup>c</sup>	102 <sup>a</sup>	62,9 <sup>c</sup>	23,4 <sup>c</sup>	11,2 <sup>b</sup>	2,3 <sup>d</sup>	45,0	50,9
Foin FG seul ..... <i>FG Hay alone</i>	6,6 <sup>a</sup>	79 <sup>b</sup>	67,7 <sup>a</sup>	20,1 <sup>d</sup>	9,5 <sup>b</sup>	8,9 <sup>b</sup>	60,2	65,3
+ 30 % orge ..... <i>Barley</i>	6,3 <sup>b</sup>	87 <sup>a</sup>	62,8 <sup>b</sup>	20,9 <sup>b</sup>	12,7 <sup>a</sup>	9,0 <sup>b</sup>	54,9	60,8
+ 60 % orge .....	6,2 <sup>c</sup>	85 <sup>a</sup>	60,0 <sup>c</sup>	22,0 <sup>a</sup>	13,4 <sup>a</sup>	4,9 <sup>c</sup>	47,4	51,2
+ 90 % orge .....	6,4 <sup>b</sup>	60 <sup>c</sup>	59,7 <sup>c</sup>	22,5 <sup>a</sup>	13,0 <sup>a</sup>	12,6 <sup>a</sup>	46,1	47,8
+ 60 % pulpe ..... <i>Pulp</i>	6,6 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	68,4 <sup>a</sup>	19,9 <sup>c</sup>	9,6 <sup>b</sup>	3,0 <sup>d</sup>	55,4	59,7
+ 90 % pulpe .....	6,5 <sup>b</sup>	94 <sup>a</sup>	67,2 <sup>a</sup>	22,1 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>	2,1 <sup>d</sup>	53,9	60,7

(a, b, c, d) : Les valeurs d'une même colonne et correspondant au même foin, accompagnées de la même lettre, ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ).

(a, b, c, d) : Values within the same column and corresponding to the same hay with the same letter do not differ significantly ( $P < 0,05$ ).

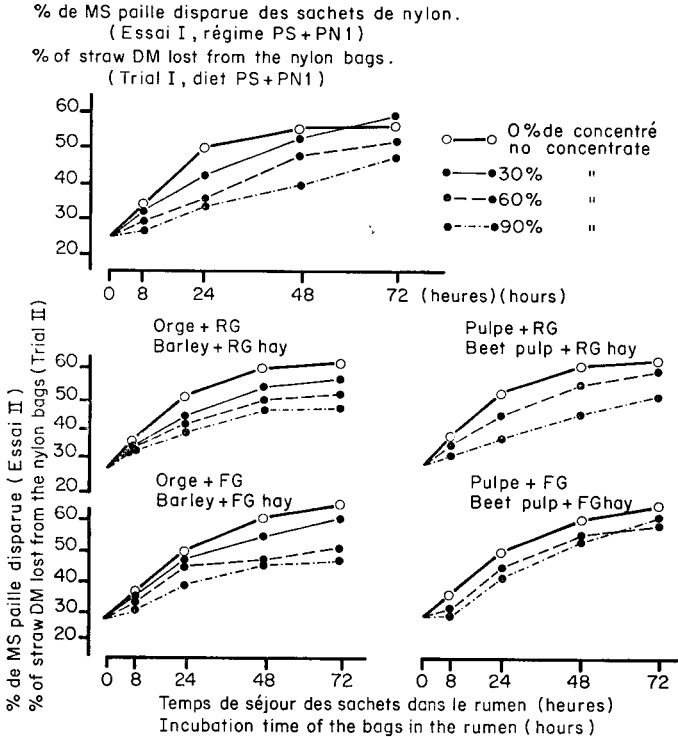


FIG. 3

*Activité cellulolytique du liquide du rumen des moutons fistulés  
(mesurée par la méthode des sachets de nylon)*

*Cellulolytic activity in the rumen liquid of fistulated sheep  
(measured by the nylon-bag method)*

### 3. Acides gras volatils (tabl. 3)

Avec les pellicules de soja et la pulpe de betterave, les teneurs moyennes en AGV ont augmenté avec la proportion de concentré. Avec l'orge, il y a eu une légère augmentation puis une chute avec les plus fortes proportions de concentré.

Avec les pellicules de soja, l'orientation des fermentations a peu varié avec la proportion de concentré, mise à part une légère augmentation de la teneur en acide butyrique. Pour la pulpe de betterave, l'orientation des fermentations a varié légèrement avec le foin RG (baisse de la teneur en acide acétique, augmentation de celle en acides propionique et butyrique), mais pas du tout en présence du foin FG.

Enfin, avec l'orge l'effet du pourcentage de concentré a été net : baisse de la teneur en acide acétique et augmentation des teneurs en acides propionique et butyrique.



#### 4. Azote ammoniacal (tabl. 3)

Dans l'essai I, on a pu observer des teneurs toujours élevées en azote ammoniacal ( $> 15$  mg/100 ml) et une augmentation sensible de la teneur avec 90 p. 100 de pellicules de soja.

Dans l'essai II, les teneurs en azote ammoniacal ont baissé quand le pourcentage d'orge ou de pulpe dans la ration a augmenté. Ces teneurs ont été beaucoup plus élevées avec les régimes d'orge qu'avec ceux de pulpe, mais les rations contenant de la pulpe avaient des teneurs plus faibles en MAT que celles contenant de l'orge, en particulier avec le foin FG qui, des 3 foins étudiés dans cet essai était celui dont la teneur en MAT était la plus faible. Le faible niveau des apports de MAT par les rations contenant la pulpe de betterave explique que les concentrations en  $N-NH_3$  du liquide du rumen aient été également faibles, en tous cas inférieures au minimum admis comme assurant la satisfaction des besoins en azote de la population microbienne du rumen (5 mg/100 ml ; I.N.R.A., 1978).

### Discussion et conclusion

Les résultats obtenus dans nos deux essais montrent clairement que le taux de substitution augmente avec le pourcentage de concentré dans la ration, et plus particulièrement avec les concentrés à base de céréales, c'est-à-dire riches en amidon. Par contre, il varie en sens inverse de la teneur en matières azotées totales et/ou en cellulose brute de la ration. Nos résultats concordent donc avec ceux de la bibliographie.

L'essai I a été conduit avec des foins différents, ce qui, au vu de l'essai II, incite à conclure avec prudence sur l'effet de la nature du concentré. En effet, dans l'essai II, on observe que le taux de substitution est plus élevé avec le foin le plus ingestible (FL), les écarts entre foins s'accroissant au fur et à mesure que le pourcentage de concentré augmente. Le peu de différence entre ces deux foins de prairie naturelle (RG et FG) résulte probablement de leurs valeurs alimentaires voisines (ingestibilité et digestibilité), et le taux de substitution légèrement supérieur avec le foin FG (+ 0,13) s'explique probablement en partie par sa teneur nettement plus faible en MAT (différence de 8 à 10 points).

Dans les 2 essais on observe par ailleurs qu'il y a moins de différence entre concentrés au niveau 30 p. 100 qu'au niveau 90 p. 100 de concentré. Ces résultats sont en accord avec ceux de MULLER & BERANGER (1979) et de GUERIN & DULPHY (1984) qui avaient relevé pratiquement les mêmes taux de substitution chez le mouton à des pourcentages de concentré faibles (20 à 40 p. 100) en comparant de la pulpe de betterave à une céréale.

Donc, dans l'essai I, compte tenu de la nature variable du foin, on ne peut comparer en toute rigueur que des concentrés associés à des foins de caractéristiques voisines (l'ingestibilité plus précisément dans le cas présent). Une fois cette précaution prise, on peut conclure à un effet de substitution, plus grand en moyenne avec le son de blé ( $S = 0,99$ ) qu'avec le concentré lupin-maïs ( $S = 0,78$ ), et plus grand avec le concentré céréales ( $S = 1,10$ ) qu'avec la pulpe de betterave ( $S = 0,77$ ). En

raison de l'ingestibilité la plus faible du foin associé, on peut s'attendre à ce que l'effet de substitution des pellicules de soja ait été sous-estimé par rapport à celui des autres concentrés ( $S = 0,49$ ).

En fait, le calcul de la valeur d'encombrement (VE) des concentrés (1) qui permet d'intégrer des différences d'ingestibilité de fourrage dans les rations mixtes, ne modifie pas la classification des concentrés obtenue en comparant les taux de substitution moyens (VE de 1,18 - 1,17 - 0,92 - 0,80 et 0,66 pour les concentrés CC, SB, LM, PB et PS respectivement).

On peut aussi corriger, dans l'essai I, les taux de substitution moyens pour faire comme si les 5 concentrés avaient été distribués avec le même foin (ingestibilité de 64,6 g de MS/kg P<sup>0.75</sup> et digestibilité de 64,6 p. 100), foin ayant les caractéristiques moyennes de celles de l'essai II. Dans ces conditions on obtient les valeurs moyennes corrigées et le classement suivant : 1,15 - 0,92 - 0,84 - 0,75 et 0,72 pour SB, CC, PB, PS et LM.

Notons au passage que l'effet de l'ingestibilité du fourrage (+ 0,0239) est proche de celui trouvé par DEMARQUILLY (+ 0,0180 à + 0,0320 selon le modèle - résultats non publiés des essais cités in I.N.R.A., 1978, p. 501), mais celui de la digestibilité très différent (— 0,0278 contre + 0,0113 à + 0,0170).

Dans l'essai II, le taux de substitution a été en moyenne plus élevé avec l'orge ( $S = 1,14$ ) qu'avec la pulpe ( $S = 0,93$ ). On notera que les valeurs moyennes pour CC et O sont pratiquement les mêmes dans les 2 essais (1,10 et 1,14 respectivement), alors que la valeur moyenne pour la pulpe est plus faible dans l'essai I ( $S = 0,77$ ) que dans l'essai II ( $S = 0,93$ ) en particulier avec le foin de luzerne ( $S = 1,10$ ), très probablement à cause de la différence importante de teneur en MAT entre ces deux concentrés (8 points) et de l'ingestibilité élevée du foin FL.

Les valeurs moyennes des taux de substitution doivent cependant être considérées avec prudence à cause de l'effet important de la proportion de concentré dans la ration. De ce point de vue, les concentrés de nos essais peuvent être classés en deux groupes : ceux dont le taux de substitution (donc la VE) augmente lentement lorsque leur proportion dans la ration augmente (pulpe de betteraves, lupin-maïs, pellicules de soja) et ceux dont le taux de substitution (donc la VE) augmente rapidement (céréales, son de blé). Dans ces conditions on observe, aux niveaux les plus élevés de concentré, les différences de taux de substitution les plus importantes entre les deux types de concentré, alors qu'aux niveaux faibles (30 p. 100) ces différences sont minimes, voire inversées. En effet, tout comme dans nos deux essais sur moutons, VÉRITÉ & DULPHY (1981) ont trouvé chez la vache laitière qu'à moins de 25 p. 100 des mêmes concentrés dans la ration, le taux de substitution mesuré avec la pulpe de betterave PB était plus élevé qu'avec le son de blé SB et qu'un autre concentré à base de céréales ( $S = 1,0$ , 0,3 et 0,6 respectivement).

L'étude de la digestion dans le rumen des moutons fistulisés permet d'expliquer en partie les observations précédentes. Ainsi, l'ingestion de faibles quantités de concentré à base de pellicule de soja, de pulpe de betterave et même d'orge n'a qu'un effet mineur sur le pH du jus de rumen et sur l'activité cellulolytique de sa microflore, ce dernier paramètre conditionnant largement la vitesse de dégradation

(1) La VE d'un concentré (VEC), exprimée en UE (Unité d'Encombrement), est le produit du taux de substitution S par la VE du fourrage (VEF = 75 g/ingestibilité du fourrage en g/kg<sup>0.75</sup>/jour) :  $VEC = S \times VEF$  (I.N.R.A., 1978).

du foin dans le rumen. Aussi au niveau 30 p. 100 de concentré, l'effet d'encombrement de la pulpe, aliment riche en constituants pariétaux facilement digestibles, contrairement à l'orge, est plus important en raison de sa digestion plus lente dans le rumen, d'où un taux de substitution plus élevé.

Entre 30 et 60 p. 100 de concentré, l'effet classique de l'amidon sur la digestion des parois végétales devient probablement prépondérant, comme en témoigne la baisse progressive de l'activité cellulolytique plus forte avec l'orge qu'avec la pulpe. Il en résulte une baisse de la quantité de fourrage ingérée et, par la suite, l'augmentation très rapide de l'effet d'encombrement des concentrés à base de céréales (ou riches en amidon). Cette différence serait encore mieux apparue s'il y avait eu une meilleure disponibilité de l'azote dans les régimes contenant la pulpe de betterave dans l'essai II ; les faibles concentrations en ammoniac dans le rumen des moutons consommant les rations à forte proportion de pulpe indiquent en effet que l'azote a peut-être été, pour les régimes correspondants, un facteur limitant de l'activité microbienne dans le rumen. Ce problème n'a pas dû se poser pour les autres types de ration, tous beaucoup plus riches en MAT.

Dans le système des Unités d'Encombrement (DEMARQUILLY *et al.*, in I.N.R.A., 1978 ; JARRIGE *et al.*, 1979) on considère que l'effet d'encombrement d'un fourrage donné est constant. D'après ce que nous avons vu plus haut, il est très probable que cet effet d'encombrement augmente avec la proportion de concentré dans la ration. Ceci semble particulièrement vrai quand le concentré qui lui est associé est riche en glucides rapidement fermentescibles, autrement dit qu'il est susceptible de modifier le processus de la digestion des constituants pariétaux du fourrage dans le rumen. De plus, et bien qu'on ne l'ait pas vérifié dans ces essais, il est aussi très probable qu'avec des niveaux élevés de concentré la baisse des quantités ingérées de fourrage, et même de la ration, ait été non seulement due à un accroissement de l'effet d'encombrement du fourrage, mais aussi à une réduction d'origine métabolique de l'appétit des animaux causée à la fois par le fait que leurs besoins d'entretien étaient largement dépassés et par une augmentation de la production d'acide propionique dans le rumen (CAMPLING, 1966 ; FORBES, 1980).

En définitive ces essais montrent que, dans le système des Unités d'Encombrement, il sera peut-être nécessaire, pour calculer la valeur d'encombrement des concentrés de tenir compte non seulement de la valeur d'encombrement des fourrages et du pourcentage de concentré, mais encore de la nature du concentré, sachant qu'aux niveaux de concentré élevés, il se manifeste, au niveau de l'effet de substitution du fourrage par le concentré, une interaction entre la nature du concentré et la proportion qu'il représente dans la ration.

## Summary

### *Interactions between forages and concentrates in sheep*

#### *1. Variation of substitution rate*

During two successive trials interactions between forages and concentrates were studied in sheep. This first paper gives the results concerning feed intake and above all forage/concentrate substitution rates. The following factors of variation were examined : type and proportion of concentrates, type of forage (here only hay).

Five concentrates based on soyabean hulls, wheat-bran, cereals, beet-pulp and lupin were used in the first trial and a combination of 3 hays and 2 concentrates (barley and beet-pulp) in the second one. The chemical composition of feeds is given in table 1.

Each diet combining one hay and one concentrate was given *ad libitum* to 12 sheep. These diets were calculated so as to supply 0, 30, 60 and 90 %, respectively of concentrates in the diet (3 sheep for each level of concentrates). Substitution rates were always calculated by comparison with hay given alone; results are reported in table 2 (variations from 0.34 to 2.08). Moreover, some of these diets were offered to fistulated sheep to measure the cellulolytic activity, VFA, pH and level of  $\text{NH}_3$  in the rumen (Table 3).

The substitution rate increased systematically with the proportion of concentrates in the diet (fig. 1 and 2), but this increase was high with cereal based concentrates and low with the other concentrates (beet-pulp, lupin, soyabean hulls).

For a low proportion of concentrates, the substitution rate was lower or the same for cereals as for concentrates with a large proportion of cell-wall constituents (beet-pulp, soyabean hulls).

For a high proportion of concentrates, the substitution rate was always higher with starch based concentrates. Increase in the dietary crude protein level reduced the substitution rate.

The substitution rate was also affected by the type of forage used (fig. 2). It was the highest with the most ingestible hay.

Thus, the forage/concentrate substitution rate was highly variable. This was primarily due to variations in the bulk effect of the combined feeds. Indeed, on account of the physical regulation of appetite, the forage was merely replaced by the concentrate when the proportion of the latter was small. The concentrate was generally digested more rapidly and the substitution rate did not exceed 1.

Increase in the proportion of concentrates led to a decrease in the cellulolytic activity in the rumen and therefore in the digestion rate of the forage. This led to an increase in the bulk effect of the latter and accordingly in the substitution rate. However, there were large variations due to the type of feeds used and to the effect of a metabolic regulation of feed intake, more marked for starch containing concentrates.

*Key words* : Hay, concentrates, substitution rate, voluntary feed intake, sheep.

*Reçu en juin 1984.*

*Accepté en mai 1985.*

### Références bibliographiques

- ANDREWS R.P., ESCUDER-VOLONTE J., CURRAN M.K., HOLMES W., 1972. The influence of supplements of energy and protein on the intake and performance of cattle fed on cereal straw. *Anim. Prod.*, **15**, 167-176.
- ASTON K., TAYLER J.C., 1980. Effects of supplementing maize and grass silages with barley, and maize silage with urea or ammonia on the intake and performance of fattening bulls. *Anim. Prod.*, **31**, 243-250.
- BALCH C.C., CAMPLING R.C., 1962. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutr. Abstr. Rev.*, **32**, 669-686.
- BERGE Ph., 1982. Interactions entre les fourrages et les aliments concentrés. *Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Montpellier*, 105 pages.
- BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., WILSON R.S., 1961. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.*, **3**, 51-61.
- BLAXTER K.L., WILSON R.S., 1963. The assessment of a crop husbandry technique in terms of animal production. *Anim. Prod.*, **5**, 27-42.

- CAMPLING R.C., 1966. The effect of concentrates on the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract of cows given hays. *J. Dairy Res.*, **33**, 13-23.
- CAMPLING R.C., FREER M., BALCH C.C., 1962. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 3. The effect of urea on the voluntary intake of oat straw. *Br. J. Nutr.*, **16**, 115-124.
- CAMPLING R.C., MURDOCH J.C., 1966. The effect of concentrate on the voluntary intake of roughages by cows. *J. Dairy Res.*, **33**, 1-11.
- CRABTREE J.R., WILLIAMS G.L., 1971 a. The voluntary intake and utilization of roughage-concentrate diets by sheep. 1 - Concentrate supplements for hay and straw. *Anim. Prod.*, **13**, 71-82.
- CRABTREE J.R., WILLIAMS G.L., 1971 b. The voluntary intake and utilization of roughage-concentrate diets by sheep. 2 - Barley and soyabean meal supplementation of hay diets. *Anim. Prod.*, **13**, 83-92.
- CRAMPTON E.W., DONEFER E., LLOYD L.E., 1960. A nutritive value index for forages. *J. Anim. Sci.*, **19**, 538-544.
- DEMARQUILLY C., CHENOST M., 1969. Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon. Liaisons avec la valeur alimentaire. *Ann. Zootech.*, **18**, 419-436.
- DULPHY J.P., 1978 Quantités ingérées et phénomènes de substitution : conséquences pour le rationnement. In « *La Vache Laitière* », Ed. I.N.R.A. Publ., Versailles, p. 87-98.
- DULPHY J.P., BRETON J., LOUYOT J.M., BIENAIMÉ A., 1983. Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. III. Influence du niveau d'apport d'aliment concentré. *Ann. Zootech.*, **32**, 53-80.
- DULPHY J.P., KOUASSI A., BIENAIMÉ A., 1982. Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. II. Influence de la nature du complément énergétique. *Ann. Zootech.*, **31**, 215-232.
- ERNST A.J., LIMPUS J.F., O'ROURKE P.K., 1975. Effect of supplements of molasses and urea on intake and digestibility of native pasture hay by steers. *Aust. J. Exper. Agric. Anim. Husb.*, **15**, 451-455.
- FICK K.R., AMMERMAN C.B., MCGOWAN C.H., LOGGINS P.E., CORNELL J.A., 1973. Influence of supplemental energy and biuret nitrogen on the utilization of low quality roughage by sheep. *J. Anim. Sci.*, **36**, 137-143.
- FORBES J.M., 1980. Physiological aspects of the regulation of food intake. *Ann. Zootech.*, **29**, n° h.s., 189-196.
- GUERIN H., DULPHY J.P., 1984. Influence de l'apport complémentaire de maïs, de pulpe de betterave ou de mélasse sur la valeur alimentaire d'un foin. *Ann. Zootech.*, **33**, 85-107.
- HEMSLEY J.A., MOIR R.J., 1963. The influence of higher volatile fatty acids on the intake of urea-supplemented low quality cereal hay by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, **14**, 509-517.
- HENNING A.P., VAN DER LINDEN Y., MATTEYSE M., NAUHANS W.K., SCHARTZ H.M., 1980. Factors affecting the intake and digestion of roughage by sheep fed maize straw supplemented with maize grain. *J. Agric. Sci. Camb.*, **94**, 565-573.
- I.N.R.A., 1978. *Alimentation des ruminants*. Ed. I.N.R.A. Publications, route de Saint-Cyr, 78000 Versailles. 597 pages.
- I.N.R.A., 1981. *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. Ed. I.N.R.A. Publications, route de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 580 pages.
- JARRIGE R., 1979. Le système des unités d'encombrement pour les bovins. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix*, I.N.R.A., **38**, 57-79.
- JOUANY J.P., 1981 a. Microbiologie du rumen. *Bull. Tech., C.R.Z.V. Theix*, I.N.R.A., **45**, 51-55.
- JOUANY J.P., 1981 b. Dosage des acides gras volatils et des alcools dans les ensilages par chromatographie en phase gazeuse. *Bull. Tech., C.R.Z.V. Theix*, I.N.R.A., **46**, 63-66.
- LAIRD R., LEAVER J.D., MOISEY F.R., CASTLE M.E., 1981. The effects of concentrate

- supplements on the performance of dairy cows offered grass silage *ad libitum*. *Anim. Prod.*, **33**, 199-210.
- LAMB C.S., EADIE J., 1979. The effect of barley supplements on the voluntary intake and digestion of low quality roughages by sheep. *J. Agric. Sci. Camb.*, **92**, 235-241.
- LEAVER J.D., 1973. Rearing of dairy cattle. 4. Effect of concentrate supplementation on the live-weight gain and feed intake of calves offered roughages *ad libitum*. *Anim. Prod.*, **17**, 43-52.
- MCCULLOUGH M.E., SISK L.R., 1969. Influence of three ratios of silage and grain and corn versus beet pulp on voluntary intake by dairy heifers. *J. Dairy Sci.*, **52**, 1020-1024.
- MICHALET-DOREAU B., DEMARQUILLY C., 1980. Valeur alimentaire des pellicules de différentes graines oléagineuses. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, **39**, 15-22.
- 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'engrais. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, **35**, 53-58.
- MURDOCH J.C., 1964. Some factors affecting the intake of roughage by sheep. *J. Br. Grassld. Soc.*, **19**, 316-320.
- MURDOCH J.C., 1967. Factors affecting the voluntary intake of silage and hay. *J. Br. Grassld. Soc.*, **22**, 95-99.
- ORSKOV E.R., FRASER C., 1975. The effect of processing of barley-based supplements on rumen pH, rate of digestion and voluntary intake of dried grass in sheep. *Br. J. Nutr.*, **34**, 493-500.
- OSBOURN D.F., 1967. The intake of conserved forages in *Fodder conservation*. Occasional Symposium n° 3. *Br. Grassld. Soc.* R.J. Wilkins ed. 20-28.
- REMOND B., JOURNET M., 1972. Alimentation des vaches laitières avec des rations à forte proportion d'aliments concentrés. II. Comportement alimentaire et digestion dans le rumen. *Ann. Zootech.*, **21**, 191-205.
- SEEBECK R.M., 1973. The effect of body-weight loss on the composition of Brahman cross and Africander cross steers. 1. Empty body weight, dressed carcass weight and offal components. *J. Agric. Sci.*, **80**, 201-210.
- SHARMA V.V., TAPARIA A.L., JHANWAR B.M., 1972. Effect of supplementation of urea and molasses on utilization of wheat straw by dairy heifers. *Indian J. Dairy Sci.*, **25**, 153-158.
- THIVEND P., MERCIER C., GUILBOT A., 1965. Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.*, **5**, 513-526.
- TOPPS J.H., KAY R.N.B., GOODALL E.D., 1968. Digestion of concentrate and hay diets in the stomach and intestines of ruminants. 1. Sheep. *Br. J. Nutr.*, **22**, 261-280.
- TORRES F., BOELCKE C., 1978. Substitution rates in steers fed on low quality grass hays supplemented with maize grain. *Anim. Prod.*, **27**, 315-322.
- VERITE R., DULPHY J.P., 1981. Effets de la nature de l'aliment concentré sur l'ingestion et les performances des vaches laitières. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, **45**, 15-21.