

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES
AGRICOLES (I.S.R.A.)

LABORATOIRE NATIONAL DE L'ELEVAGE
ET DE RECHERCHES VETERINAIRES
B.P. 2057

DAKAR-HANN

7057
710

GERDAT

INSTITUT D'ELEVAGE ET DE MEDECINE
VETERINAIRE DES PAYS TROPICAUX
10, rue Pierre-Curie

94704 - MAISONS-ALFORT - CEDEX
(France)

OK

INTERACTIONS DIGESTIVES ENTRE LES FOURRAGES
ET LES ALIMENTS CONCENTRES

CONSEQUENCES POUR LA PREVISION DE LA VALEUR
ALIMENTAIRE DES RATIONS DESTINEES AUX RUMINANTS

MEMOIRE DE DEA D'ENDOCRINOLOGIE ET DE NUTRITION -
RESUME OCTOBRE 1980

Par Hubert GUERIN

avec la collaboration technique de M, BOUSQUET,

Madeleine DUDILIER, Marie JAILLER, Jacqueline

JAMOT et L. L'HOTELIER

Université de Clermont II
UER de Sciences Exactes
et Naturelles
Laboratoire de Physiologie

INRA
Laboratoire des aliments
CRZV de Theix

63110 - BEAUMONT

CONSEQUENCES POUR LA PREVISION DE LA VALEUR
ALIMENTAIRE DES RATIONS DESTINEES AUX RUMINANTS

INTRODUCTION :

La complémentation des fourrages par les aliments concentrés entraîne habituellement une diminution de leur valeur alimentaire par rapport à celle mesurée lorsqu'ils sont consommés seuls. Il se produit, en effet, des phénomènes associatifs entre les deux types d'aliments qui influencent les phases mécanique, microbienne et enzymatique de la digestion des rations mixtes, en particulier, de leurs constituants pariétaux et de l'azote.

Les conséquences pratiques sont une baisse de l'ingestibilité du fourrage et donc une diminution de la valeur de la ration par rapport à celle prévue (additivement) par le calcul.

Ces interactions, qui affectent principalement l'activité cellulolytique de la flore microbienne du rumen, sont caractérisées par le taux de substitution et l'effet associatif sur la digestibilité définie ci-dessous :

- taux de substitution (S) du fourrage par le concentré :

SP $\frac{\text{diminution de la quantité de matière sèche de fourrage volontairement ingérée}}{\text{augmentation de la quantité de matière sèche d'aliment concentré distribuée et ingérée.}}$

- effet associatif sur la digestibilité de la ration :

$\Delta d R$ (1)

$\Delta d R$ "digestibilité mesurée" de la ration "digestibilité calculée" de la ration où la "digestibilité calculée" est obtenue par calcul additif en prenant pour la digestibilité du fourrage, celle mesurée lorsqu'il est consommé seul, et pour la digestibilité du concentré celle extraite des tables de valeur alimentaire.

.../...

(1) on peut également estimer $\Delta d f$, effet associatif sur la digestibilité du fourrage, en supposant que seule celle-ci est affectée par les interactions, la digestibilité du concentré ne variant pas(?)

A d R caractérise donc la surestimation de la digestibilité des rations mixtes liée à l'absence de prise en compte de l'interaction entre le fourrage et l'aliment concentré.

Les rations mixtes peuvent être caractérisées par :

- les pourcentages de fourrage et de concentré dans la ration
- le natura du fourrage ; espèce végétale, stade de récolte, mode de conservation, composition chimique.....
- la nature du concentré ; simple ou de mélange, céréales, tourteau, pulpe de betterave, son, mélasse, protéines animales, azote non protéique....
- le mode de distribution des aliments ; à volonté ou rationna, en mélanges ou séparés, brute ou conditionnés.

La diversité des mécanismes et les variations de l'intensité des interactions sont en rapport avec le nombre de combinaisons possibles de ces caractéristiques.

Afin d'éviter une trop grande dispersion, seules les rations à base de fourrages conservés par voie sèche distribuées à des moutons ont été envisagées.

INTERPRETATION DES RESULTATS DE LA BIBLIOGRAPHIE :

Une étude bibliographique quantitative (1) a permis de préciser comment variaient les interactions "foins/concentrés" en fonction des caractéristiques du régime.

Trois types de rations ont été distingués :

a) les rations à base de foin traditionnelle (séchées au sol en brins longs) de qualité moyenne ou bonne (teneur en matières azotées totales supérieure à 6 p 100 de la matière sèche) complétées avec moins de 70 p 100 d'aliments concentrés. Elles sont les plus représentées dans les essais et ont fourni les données nécessaires au classement des facteurs de variation des interactions décrits dans la bibliographie, et à l'établissement d'équations de prévision de S et A d R :

- le taux de substitution - S - (moyenne 0,45 ; écart type 0,2) augmente avec, par ordre d'importance, le pourcentage de concentré (% C qui explique 15 à 20 % de la variation de S) (2), la valeur alimentaire du fourrage caractérisée

(1) à partir de 40 articles ou résultats d'expérience regroupant un total de 349 régimes

(2) ces pourcentages correspondent aux valeurs extrêmes de la part de variation de S expliquée par chacune des variables des modèles de régression donnant S ou Δ d R en fonction des caractéristiques de la ration.

par sa composition chimique (10 à 30 p 100), son ingestibilité (10 à 20 p 100) ou sa digestibilité (10 à 15 p 100) et diminue avec la teneur en matières azotées de l'aliment concentré ou de la ration (4 A 7 p 100). Par exemple :

$$S = 1,03 \% C + 3,49 \text{ MAF} - 1,66 \text{ CBF} - 2,59 \text{ MAR} + 0,64$$

$$R = 0,665 \text{ et } S_{xy} = 0,16$$

$$S = 0,72 \% C - 2,05 \text{ CBF} + 9,75 \text{ MSVIFS} + 0,32$$

$$R = 0,725 \text{ et } S_{xy} = 0,14$$

$$S = 0,65 \% C + 1,16 \text{ dMO (F)} + 7,15 \text{ MSVIFS} - 0,91$$

$$R = 0,673 \text{ et } S_{xy} = 0,2$$

où les variables ont la signification suivante :

% C = pourcentage de concentré dans la ration - compris entre 0,1 et 0,7

CBF = teneur en cellulose brute du fourrage - en kg/kg MS

HAF = teneur en matières azotées (Nx6,25) du fourrage en kg/kg MS

MAR = " " " de la ration en kg/kg MS

MSVIFS = ingestibilité du fourrage consommé seul en kg MS/kg pour 0,75

dMO (F) = digestibilité de la matière organique du fourrage comprise entre 0,55 et 0,75. .

- les effets associatifs sur la digestibilité (Ad R) sont généralement négatifs (moyenne : - 2,5 points de digestibilité, écart type : 2 points de digestibilité) et la différence entre les digestibilités mesurée et calculée augmente avec le pourcentage de concentré (30 à 40 p 100 de la variation de ΔdR) et diminue avec la teneur en matières azotées de l'aliment concentré (3 A 7 p 100); par exemple :

$$\Delta dMO (R) = 24,8 \% C - 37,4 \% C^2 - 6,3$$

$$r = 0,63 \quad S_{xy} = 1,1$$

$$\Delta dMO (R) = -7,3 \% C^2 + 6,8 \text{ MAC} - 3,0$$

$$r = 0,584 \quad s_{xy} = 1,1$$

où $\Delta dMO (R)$ est l'effet associatif sur la digestibilité de la matière organique de la ration, et MAC est la teneur en matières azotées de l'aliment concentré.

L'effet de la valeur alimentaire des foin8 sur les phénomènes de digestibilité associative n'a pas été nettement mis en évidence, cependant pour un foin d'origine donnée (espèce, prairie naturelle) les effets associatifs tendent à augmenter avec l'âge de la planta ou sa teneur en cellulose brute, comme l'indique l'équation de Damarquilly et al.:

.../...

$$\left\{ \begin{array}{l} - 1,527 \text{ (E. verte)} \\ + 0,236 \text{ (F. deslay)} \end{array} \right\} = 1,054 \text{ (orge)}$$

$$dMO(R) = 6,29 + \left\{ \begin{array}{l} + 0,143 \text{ (foins)} \\ + 0,148 \text{ (ensilages)} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \\ + 1,054 \text{ (orge + tourteau)} \end{array} \right\} = 16,5 \text{ CBF} = 9,8 \% C$$

$$r = ?$$

b) les rations à base de foins pauvres (teneur en matières azotées inférieure à 6 p 100 de la matière sèche) peuvent être l'objet d'interactions positives. La complémentation, même par des céréales, entraîne une élévation du taux azoté des rations qui cesse ainsi d'être limitant à leur utilisation digestive. On observe dans ce cas, pour des niveaux de complémentation modérés, (moins de 30 p 100 d'aliment concentré) des substitutions négatives (= augmentation des quantités ingérées de fourrage) et des effets associatifs positifs sur la digestibilité (= digestibilité de la ration supérieure aux prévisions calculées additivement). Ces interactions favorables à l'utilisation digestive des fourrages sont d'autant plus intenses que le fourrage est pauvre, que l'aliment concentré est riche en azote et cessent au-delà d'un certain taux de concentré (entre 10 et 30 p 100) qui varie en sens inverse de la qualité du fourrage.

c) les rations à base de foins conditionnés (broyés, agglomérés, condensés) pour lesquelles les interactions sont du même type qu'avec les foins traditionnels mais plus accentuées.

En résumé, les principaux facteurs de variation des interactions "fourragea concentrés" sont le niveau de complémentation, caractérisé par le pourcentage de concentré dans la ration, la valeur alimentaire du fourrage (surtout pour le taux de substitution) et à un degré moindre la teneur en matières azotées totales de l'aliment concentré. La plupart des aliments utilisés dans les essais de la bibliographie étant à base de tourteaux et de céréales riches en amidon, il n'a pas été possible de montrer l'effet de la nature du concentré glucidique sur l'intensité des effets associatifs ; ce fut donc l'objet de l'expérimentation décrite ci-dessus.

.../...

Tableau4 : Descriptions des régimes

N° Régime	Composition en pourcentage de la matière sèche
Régimes à bas niveaux d'azote : 120 à 130 g MAT/kg MS	
B ₀	97 % foin ad libitum + 3 % tourteau de soja "50"
B ₁	70 % " " + 30 % maïs + 0,4 % urée
B ₂	" " " + 30 % pulpe + 0,5 % "
B ₃	" " " + 30 % mélasse
Régimes à haut niveau d'azote : 160 à 170 g MAT/kg MS	
H ₀	90 % foin ad libitum + 10 % T. soja + 0,5 % urée
H ₁	70 % " " + 20 % maïs + 10 % T. soja + 0,4 % urée
H ₂	70 % " " + 20 % pulpe + 10 % T. soja + 0,5 % urée
H ₃	70 % " " + 20 % mélasse + 10 % T. soja

ETUDE EXPERIMENTALE : COMPARAISON DES INTERACTIONS DIGESTIVES ENTRE UN FOIN ET TROIS CONCENTRES GLUCIDIQUES : MAIS (AMIDON), PULPE DE BETTERAVE (GLUCIDES PARIETAUX) MELASSE DE BETTERAVE (GLUCIDES SOLUBLES) - EFFET DU TAUX AZOTE DE LA RATION.

R E G I M E S

Un seul fourrage constituait l'élément principal (70 à 95 p 100 de la matière sèche - cf tableau 1) de toutes les rations. Il s'agissait d'un foin haché (3 à 5 cm) récolté tardivement (15 juillet) en demi montagne (900-1000 m). Il provenait d'une ancienne culture de fléole ayant évolué en prairie naturelle. Les quantités offertes à volonté, étaient ajustées d'après la consommation de la veille pour obtenir 10 p 100 de refus environ.

Les aliments concentrés étaient composés de maïs-grain broyé, de pulpe de betterave déshydratée et broyée, ou de mélasse ; ces concentrés glucidiques étaient soit purs (régimes à bas niveau d'azote) soit associés à du tourteau de soja (régime à haut niveau d'azote). Certains régimes comportaient de l'urée destinée à ajuster leurs niveaux azotés. Les aliments concentrés étaient distribués en deux repas (à 8 h et à 16 h), les quantités étaient calculées d'après la consommation de foin de la veille afin d'obtenir le taux de concentré choisi pour la ration (cf tableau 1).

M E S U R E S

L'ingestibilité, la digestibilité et le bilan azoté ont été mesurés pour chacun des régimes sur huit moutons castrés de race Texel en fin de croissance (11 à 13 mois en début d'essai ; gain quotidien moyen : 60 grammes par jour) au cours de huit périodes de trois semaines suivant un plan expérimental en carré latin.

Chaque période comprenait une phase d'adaptation au régime de deux semaines, et une semaine de mesures. Pendant les mesures, les moutons étaient maintenus dans des cages à métabolisme permettant le contrôle des quantités de fourrages distribués et refusés, ainsi que la collecte totale des fèces et des urines. Le comportement alimentaire de ces moutons a été enregistré suivant la méthode de RUCKENBUSCH (1963).

De plus, tous les régimes ont été distribués à deux moutons fistulés du rumen ; on a pu ainsi mesurer les variations des caractéristiques physicochimiques du jus de rumen en fonction de l'heure de prélèvement et du régime, ainsi que la cinétique de digestion du foin dans le rumen par la méthode des sachets de nylon (CHENOST et al.)

.../...

Tableau 2 : Composition chimique des rations

N° régime	en pourcentage de la matière sèche								N Sol en % N total
	Matière organique	constituants paires				glucides cytoplas		Mat. org. totales	
		CB	NDF	ADF	lign. Cor	Gl. sol.	Amidon		
B ₀	93,4	31,9	63,1	35,7	5,0	8,8		12,5	31,0
B ₁	94,9	23,8	48,7	26,7	3,8	6,6	<u>19,6</u>	11,9	35,3
B ₂	93,2	<u>29,2</u>	<u>59,8</u>	<u>33,6</u>	4,4	6,9		11,8	36,1
B ₃	92,0	23,4	46,2	25,9	3,6	<u>21,0</u>		12,9	50,5
H ₀	93,4	30,5	60,4	33,4	4,8	9,0		16,0	38,5
H ₁	94,4	24,1	49,3	27,1	3,9	7,6	<u>13,6</u>	16,0	37,1
H ₂	93,2	<u>27,8</u>	<u>56,1</u>	<u>31,6</u>	4,2	7,9		16,1	37,5
H ₃	92,4	23,9	46,6	26,1	3,7	<u>17,1</u>		17,1	41,2

ANALYSES

Sur des échantillons représentatifs du foin et des aliments concentrés offerts, du foin refusé et des fécès (1), les dosages suivants ont été faits :

- matières minérales
- cellulose brute par la méthode de WEENDE
- matières azotées totales par la méthode de KJELDAHL
- t par les aliments seulement :
 - constituants pariétaux par la méthode de GOERING et VAN SOEST (1970) et son adaptation aux aliments concentrés (ROBERTSON et VAN SOEST, 1977)
 - sur l'extrait aqueux obtenu par la méthode de JARRIGE (1961) : glucides solubles et matières azotées solubles.
- enfin pour les aliments concentrés à base de maïs :
 - amidon.

Les urines ont été pesées chaque jour et leur teneur en azote a ensuite été déterminée sur les échantillons individuels (mélange de plusieurs jours) collectés à chaque période.

Le PH des jus de rumen a été déterminé immédiatement après le prélèvement. Leurs teneurs en NH₃ et en acides gras volatils ont été mesurées ultérieurement sur des échantillons conservés au froid. Les sachets de nylon étaient congelés à leur sortie du rumen puis lavés et soumis à une attaque par la pepsine au milieu acide identique à celle de la méthode de digestibilité in vitro de TILLEY et TERRY (1963), puis les sachets étaient de nouveau lavés, séchés et pesés.

RESULTATS ET DISCUSSION

Composition chimique des aliments et des rations

La composition chimique du foin ingéré diffère légèrement de celle du foin offert en raison de la plus grande proportion de tiges dans les refus :

	En g/kg de matière sèche	
	Matières azotées totales	cellulose bruts
Foin offert	103	333
Foin refusé (10 %)	73	360
Foin ingéré	109	331

(1) La teneur en matières azotées des fécès a été déterminée pour chaque animal, à chaque période afin de permettre le calcul des bilans azotés. Pour les autres dosages, les échantillons ont été regroupés et on a procédé à une analyse par régime.

été	uri-	nes	ré	7,9	1,3	2,8	2,2	7,5	8,2	9,4	8,2
-----	------	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Figure 1 Influence du régime sur la cinétique de digestion du foin dans le rumen (de la matière sèche du foin disparue des sachets après 12, 24, 48, 72 heures de séjour dans le rumen)

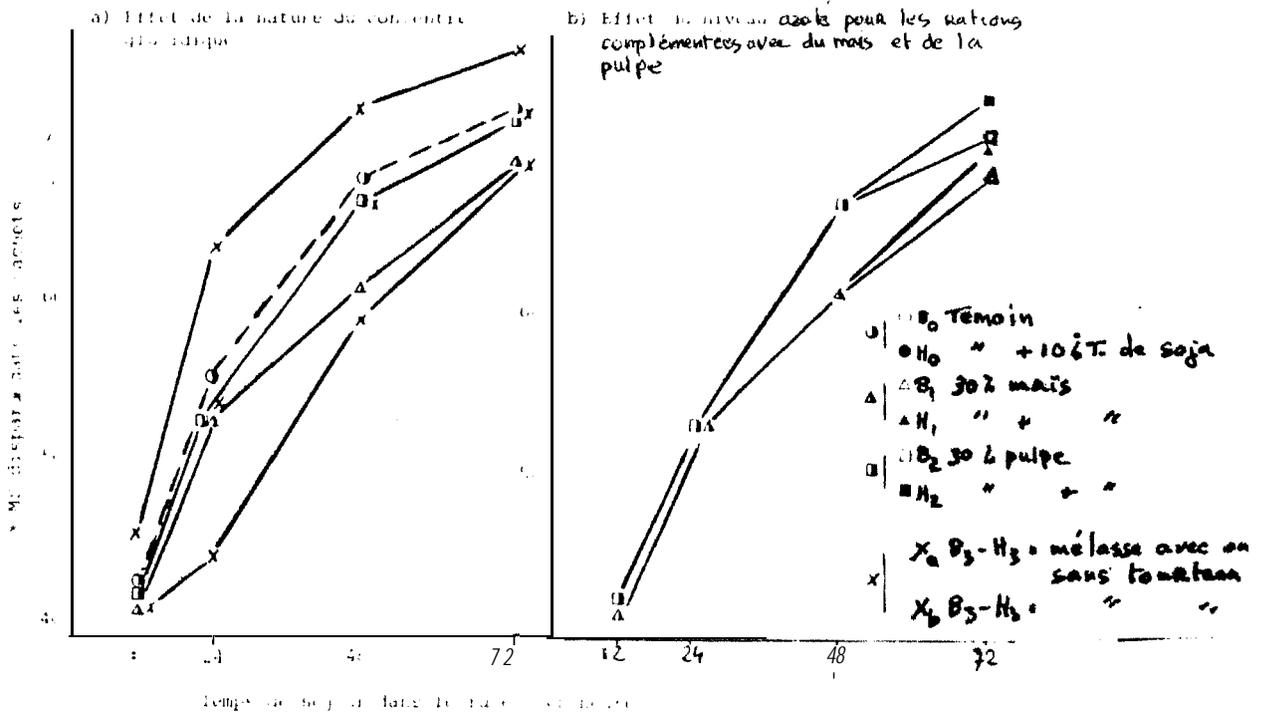
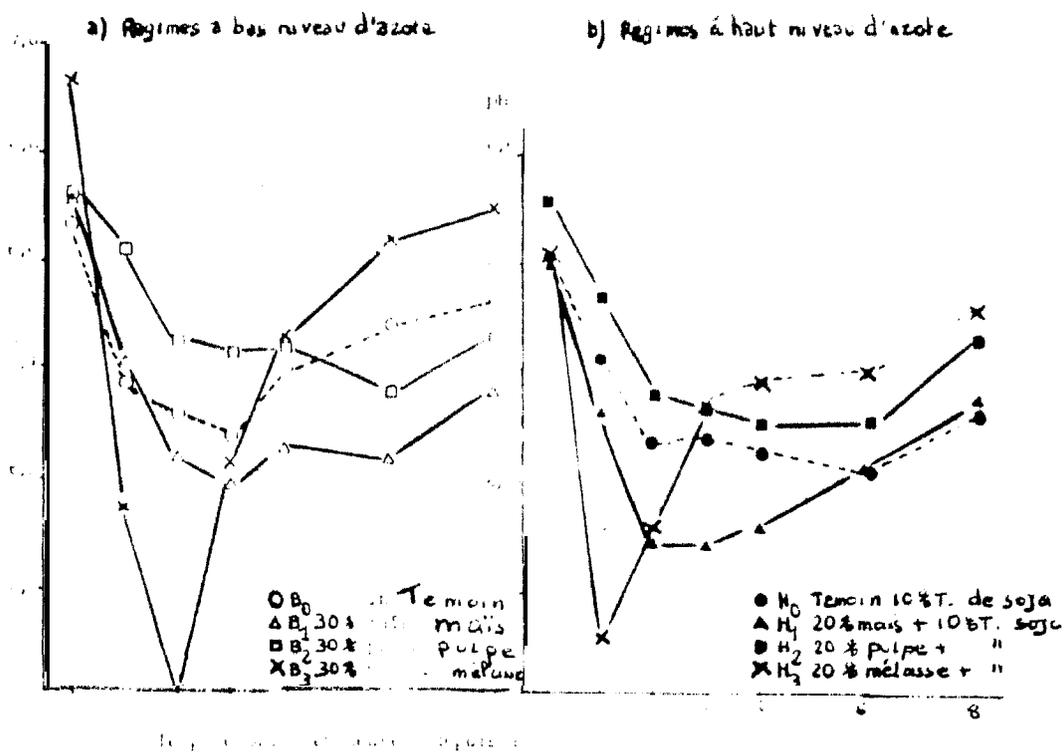


Figure 2 : Influence du régime sur le pH du jus de rumen.



A N A L Y S E S

Sur des échantillons représentatifs du foin et des aliments concentrés offerts, du foin refusé et des fécès (1), les dosages suivants ont été faits :

- matières minérales
- cellulose brute par la méthode de WEENDE
- matières azotées totales par la méthode de KJELDAHL
- t par les aliments seulement :
 - constituants pariétaux par la méthode de GOERING et VAN SOEST (1970) et son adaptation aux aliments concentrés (ROBERTSON • t VAN SOEST, 1977)
 - sur l'extrait ecquisux obtenu par la méthode de JARRIGE (1961) : glucides solubles et matières azotées solubles.
- . enfin pour les aliments concentrés à base de maïs :
 - amidon.

Les urines ont été pesées chaque jour et leur teneur en azote a ensuite été déterminée sur les échantillons individuels (mélange de plusieurs jours) collectés A chaque période.

Le PH des jus de rumen a été déterminé immédiatement après le prélèvement. Leurs teneurs en NH₃ et en acides gras volatils ont été mesurées ultérieurement sur des échantillons conservés au froid. Les sachets de nylon étaient congelés à leur sortie du rumen puis lavés et soumis à une attaque par la pepsine en milieu acide identique à celle de la méthode de digestibilité in vitro de TILLEY et TERRY (1963), puis les sachets étaient de nouveau lavés, séchés et pesés.

R E S U L T A T S E T D I S C U S S I O N

A Composition chimique des aliments et des rations

La composition chimique du foin ingéré diffère légèrement de celle du foin offert en raison de la plus grande proportion de tiges dans les refus :

	En g/kg de matière sèche	
	Matières azotées totales	cellulose bruts
Foin offert	103	333
Foin refusé (10 %)	73	360
Foin ingéré	109	331

(1) La teneur en matières azotées des fécès a été déterminée pour chaque animal, à chaque période afin de permettre le calcul des bilans azotés. Pour les autres dosages, les échantillons ont été regroupés et on a procédé à une analyse par régime.

s rations et intensité des interactions "foin - aliment concentré" :
 de matière sèche volontairement ingérée (MSVI) et taux de substitution (S)
 ilité de la matière organique (dMO) et effet associatif sur la digest. (Δ dMOR)
 de matière organique digestible ingérée (MODI)
 oté.

dMO "mesurée"		Effet associatif Δ dMO (R)	MODI g/kg P _{0,75}	Bilan azoté			
Ration	Foin seul (1)			N ingéré en g/an/j	N retenu	N excrété	
						fécès	urines
				en p.100 de N ingéré			
64,6 ± 1,9 ^a	63,6	0,0 ^a	30,4	18,6 ± 2,7 ^a	17,5 ± 4,0 ^{bc}	34,5	47,9
67,3 ± 0,7 ^b	53,0	- 4,5 ^f	36,9	20,1 ± 1,0 ^{ab}	18,5 ± 2,1 ^{bcd}	40,2	41,3
65,6 ± 1,5 ^e	58,6	- 3,7 ^{ef}	36,0	20,7 ± 2,7 ^{ab}	17,2 ± 3,5 ^{bc}	40,0	42,8
68,8 ± 1,3 ^c	60,6	- 2,1 ^{cd}	35,6	21,1 ± 3,4 ^b	12,4 ± 4,4 ^a	35,3	52,2
67,2	58,7	- 3,4	36,2	20,6			
64,9 ± 1,4 ^a	62,2	- 1,3 ^b	31,6	24,3 ± 2,9 ^c	14,3 ± 5,1 ^{ab}	28,1	57,5
68,5 ± 1,3 ^{bc}	59,2	- 3,2 ^{de}	38,5	28,3 ± 3,7 ^d	22,8 ± 5,9 ^d	29,0	48,2
67,2 ± 1,3 ^b	59,8	- 2,7 ^{cde}	38,0	29,0 ± 2,5 ^d	21,2 ± 5,1 ^d	28,3	50,4
69,3 ± 1,3 ^c	61,2	- 1,7 ^{bc}	37,8	30,2 ± 5,0 ^d	20,6 ± 5,4 ^{cd}	26,3	53,2
68,3	60,0 [*]	- 2,5	38,1	29,1			

ue du foin est calculée par différence à partir de la dMO (ration) "mesurée"
 trait des tables.

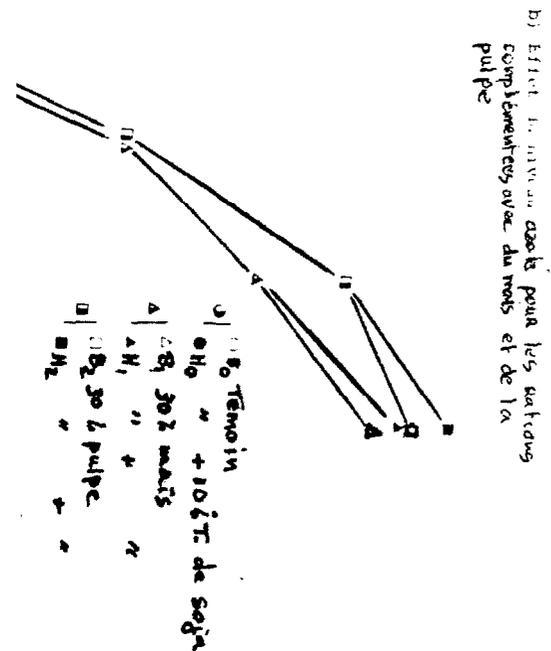
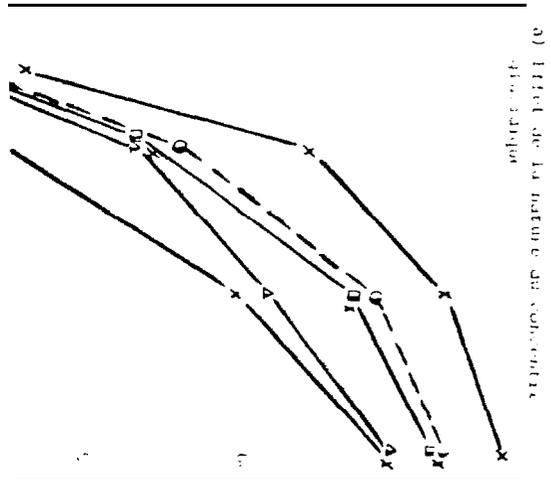
les régimes B₁, B₂, B₃ d'une part et H₁, H₂, H₃ d'autre part.

de la même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles

Figure 1 Influence du régime sur la cinétique

de digestion du foin dans le rumen
 (1) de la matière sèche du foin
 disparue des sachets après 12, 24,
 48, 72 heures de séjour dans le
 rumen)

* M: disparu dans les sachets



ANALYSES

Sur des échantillons représentatifs du foin et des aliments concentrés offerts, du foin refusé et des fécès (1), les dosages suivants ont été faits :

- matières minérales
- cellulose brute par la méthode de WEENDE
- matières azotées totales par la méthode de KJELDAHL

, et pour les aliments seulement :

- constituants pariétaux par la méthode de GOERING et VAN SOEST (1970) et son adaptation aux aliments concentrés (ROBERTSON et VAN SOEST, 1977)
- sur l'extrait sec obtenu par la méthode de JARRIGÉ (1961) ; glucides solubles et matières azotées solubles.

enfin pour les aliments concentrés à base de maïs :

- amidon.

Les urines ont été pesées chaque jour et leur teneur en azote a ensuite été déterminée sur les échantillons individuels (mélange de plusieurs jours) collectés à chaque période.

Le pH des jus de rumen a été déterminé immédiatement après le prélèvement. Leurs teneurs en NH₃ et en acides gras volatils ont été mesurées ultérieurement sur des échantillons conservés au froid. Les sachets de nylon étaient congelés à leur sortie du rumen puis lavés et soumis à une attaque par la pepsine en milieu ridé identique à celle de la méthode de digestibilité in vitro de TILLEY et TERRY (1963), puis les sachets étaient de nouveau lavés, séchés et pesés.

RESULTATS ET DISCUSSION

A Composition chimique des aliments et des rations

La composition chimique du foin ingéré diffère fondamentalement de celle du foin offert en raison de la plus grande proportion de tiges dans les refus :

	En g/kg de matière sèche	
	Matières azotées totales	cellulose brutes
Foin offert	103	333
Foin refusé (10 %)	73	360
Foin ingéré	109	331

(1) Le teneur en matières azotées des fécès a été déterminée pour chaque animal, à chaque période afin de permettre le calcul des bilans azotés. Pour les autres dosages, les échantillons ont été regroupés et on s'est procédé à une analyse par régime.

Tableau 3 - Valeur alimentaire des rations et intensité des interactions "foin - aliment concentré" :

- quantité de matière sèche volontairement ingérée (MSVI) et taux de substitution (S)
- digestibilité de la matière organique (dMO) et effet associatif sur la digest. (Δ dMOR)
- quantité de matière organique digestible ingérée (MODI)
- bilan azoté,

N° Régime	MSVI en g/kg P ^{0,75}			S	dMO "mesurée"		Effet associa- tif Δ dMO (R)	MODI g/kg P ^{0,75}	Bilan azoté			
	Foin	Concen- tré	Ration totale		Ration	Foin seul (1)			N ingéré en g/an/j	N retenu	N excrété	
											fécès	uri- n e s
										en p.100 de N ingéré		
B ₀	48,4	1,9	50,3 ± 5,3(S)		14,6 ± 1,9 ^a	63,6	0,0 ^a	30,4	18,6 ± 2,7 ^a	17,5 ± 4,0 ^{bc}	34,5	47,9
B ₁	40,4	17,3	57,7 ± 4,0 ^{ab}	0,52	17,3 ± 0,7 ^b	57,0	- 4,5 ^f	36,9	20,1 ± 1,0 ^{ab}	18,5 ± 2,1 ^{bcd}	40,2	41,3
B ₂	41,3	17,7	59,0 ± 7,4 ^{ab}	0,45	15,6 ± 1,5 ^a	58,6	- 3,7 ^{ef}	36,0	20,7 ± 2,7 ^{ab}	17,2 ± 3,5 ^{bc}	40,0	42,8
B ₃	39,5	16,8	56,3 ± 7,7 ^a	0,60	18,8 ± 1,3 ^c	60,6	- 2,1 ^{cd}	35,6	21,1 ± 3,4 ^b	12,4 ± 4,4 ^a	35,3	52,2
$\bar{B}(2)$	40,4	17,3	57,6	0,52	67,2	58,7	- 3,4	36,2	20,6			
H ₀	47,0	5,1	52,1 ± 6,4 ^c	0,44	14,9 ± 1,4 ^a	62,2	- 1,3 ^b	31,6	24,3 ± 2,9 ^c	14,3 ± 5,1 ^{ab}	28,1	57,5
H ₁	41,9	17,6	59,5 ± 5,4 ^b	0,41	18,5 ± 1,3 ^{bc}	59,2	- 3,2 ^{de}	38,5	28,3 ± 3,7 ^d	22,8 ± 5,9 ^d	29,0	48,2
H ₂	42,7	18,0	60,7 ± 4,7 ^b	0,36	17,2 ± 1,3 ^b	59,8	- 2,7 ^{cde}	38,0	29,0 ± 2,5 ^d	21,2 ± 5,1 ^d	28,3	50,4
H ₃	41,7	17,3	59,0 ± 6,7 ^b	0,43	19,3 ± 1,3 ^c	61,2	- 1,7 ^{bc}	37,8	30,2 ± 5,0 ^d	20,6 ± 5,4 ^{cd}	26,3	53,2
H(2)	42,1	17,6	59,7	0,40	68,3	60,0	- 2,5	38,1	29,1			

(1) La digestibilité de la matière organique du foin est calculée par différence à partir de la dMO (ration) "mesurée" et de la dMO de l'aliment concentré extrait des tables.

(2) \bar{B} et \bar{H} sont les valeurs moyennes pour les régimes B₁, B₂, B₃ d'une part et H₁, H₂, H₃ d'autre part.

(3) Dans une colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles (P ≤ 0,05).

La composition chimique des régimes est calculés (tableau 2) à partir de celles du foin ingéré et des aliments concentrés. Chaque ration est caractérisée par son niveau azoté (haut ou bas) et sa composition en glucides. On remarque que les régimes B1, B2, B3 se distinguent des régimes H1, H2, H3 non seulement par leurs taux azoté, mais aussi par les teneurs en glucides les caractérisant; il sera donc difficile dans l'interprétation des résultats de distinguer les effets respectifs de ces deux paramètres.

DIGESTIBILITE DES RATIONS ET DIGESTION DANS LE RUMEN

Les effets négatifs des concentrés glucidiques sur la digestibilité de la matière organique sont significatifs pour tous les régimes; ils peuvent être classés par ordre décroissant de leur intensité: maïs, pulpe, mélasse. Ces effets associatifs diminuent significativement lorsque le taux azoté de la ration augmente (ou quand sa teneur en glucides diminue...) conformément aux résultats de la bibliographie.

L'effet associatif sur la digestibilité de la cellulose brutes est également significatif (4 à 6 points de digestibilité) mais l'absence de différences entre les sources de glucides est surprenante: on considère en effet que l'essentiel des interactions s'explique par une diminution de l'activité cellulolytique. Cela pourrait signifier que les différences entre Δ DM(O) estimées pour les régimes complémentés sont liées non pas à des effets associatifs différents mais à une estimation imprécise de la digestibilité des aliments concentrés.

Cependant, l'étude de la cinétique de digestion et des conditions physicochimiques dans le rumen permet d'expliquer, en partie, ces différences:

a) Comparaison de la pulpe de betterave et du maïs

- la vitesse de digestion dans le rumen, exprimée en pourcentage de matière sèche disparue des sachets après 12, 24, 48 et 72 heures (figure 1) (1) a été comparée pour chaque régime complémenté à celle mesurée lorsque le foin était distribué seul; les résultats observés avec le maïs et la pulpe sont en accord avec les effets associatifs calculés pour la digestibilité "in vivo" de la matière organique; la diminution de la digestibilité du foin est plus importante avec le maïs, qu'avec la pulpe en particulier à 48 heures;

(1) Les écarts à l'intérieur des séries de 3 sachets et entre les moutons d'une même paire étant importants, les résultats ont du être regroupés par concentré glucidique pour mettre en évidence les principales tendances.

Figure 1 Influence du régime sur la cinétique de digestion du foin dans le rumen (a) de la matière sèche du foin disparue des sachets après 12, 24, 48, 72 heures de séjour dans le rumen)

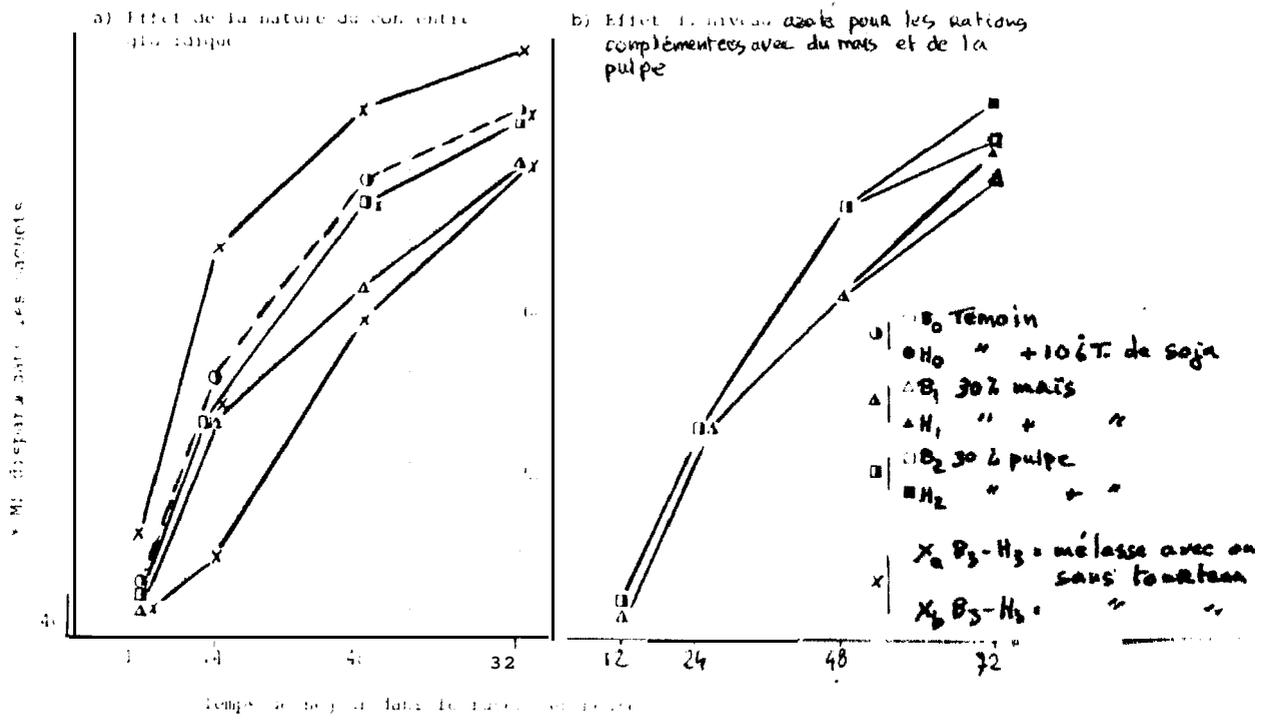
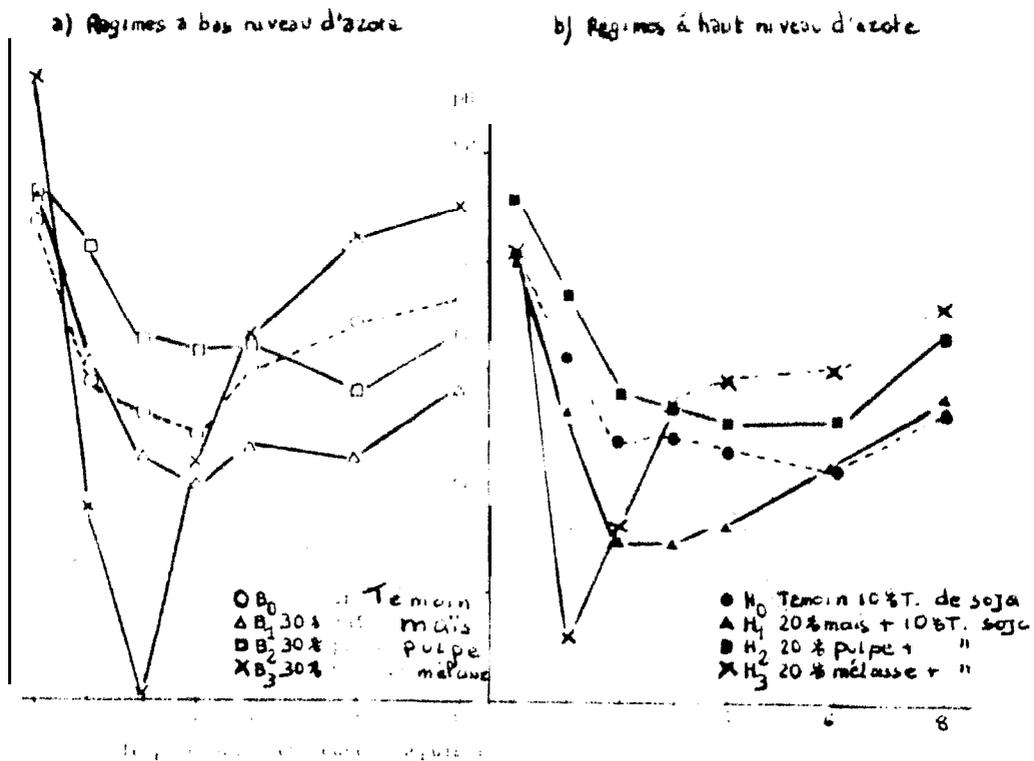


Figure 2 : Influence du régime sur le pH du jus de rumen.



Temps de séjour en heures	12	24	48	72
dMS (B1,H1) - dMS (B0,H0)	1,6	2,7	6,8	3,2
dMS (B2,H2) - dMS (B0,H0)	0,8	2,5	1,5	0,4

- Le diminution du PH après le repas (figure 2) défavorable à l'activité cellulolytique est également plus rapide et plus intense avec le maïs qu'avec la pulpe. Le PH moyen eu cours de la journée est d'ailleurs plus élevé avec la pulpe (régime B2 et H2) qu'avec le foin seul ou complémenté avec du tourteau.
- La composition du mélange d'acides gras volatils du jus de rumen donne également une indication sur l'orientation des fermentations et sur l'intensité de l'activité cellulolytique ; les régimes contenant de la pulpe favorisent la production d'acide acétique (C2) et avec ceux contenant du maïs, la concentration en AGV totaux et les proportions d'acide propionique (C3) et butyrique (C4) sont plus élevées.

b) Cas de la mélasse

Avec la mélasse, les résultats sont plus difficiles à interpréter car, mis à part le PH qui chute brutalement après le repas (tout en ayant une valeur moyenne au cours de la journée supérieure à celle calculée pour le maïs), les réponses des moutons à un même traitement sont parfois contradictoires : soit la digestion dans le rumen est plus rapide qu'avec tous les autres régimes et la production d'acides gras volatile (caractérisée par une proportion importante d'acides propionique et butyrique) est plus élevée soit on observe rigoureusement l'inverse. Il n'est pas impossible que ces deux types de réponse correspondent à des faciès microbiens différents comme cela est parfois observé avec des régimes riches en concentrés ne permettant pas une grande stabilité des conditions physicochimiques du jus de rumen (GRUBB et DEHORITY, 1975 ; BARRY et al 1977).

c) Effet du niveau azoté

Avec les régimes à haut niveau d'azote le PH moyen est un peu plus faible (0,1 unité) et la concentration en acides gras volatils, en acide propionique en particulier, est un peu supérieure à celle mesurée avec les régimes à bas niveau d'azote.

Concernant la vitesse de digestion dans le rumen, la seule différence est un écart de deux points de digestibilité, après 72 heures, entre les niveaux azotés haut et bas avec le maïs et avec la pulpe (Figure 1).

.../...

Figure 3 - Influence du régime sur la concentration en acides gras volatils du jus de rumen.

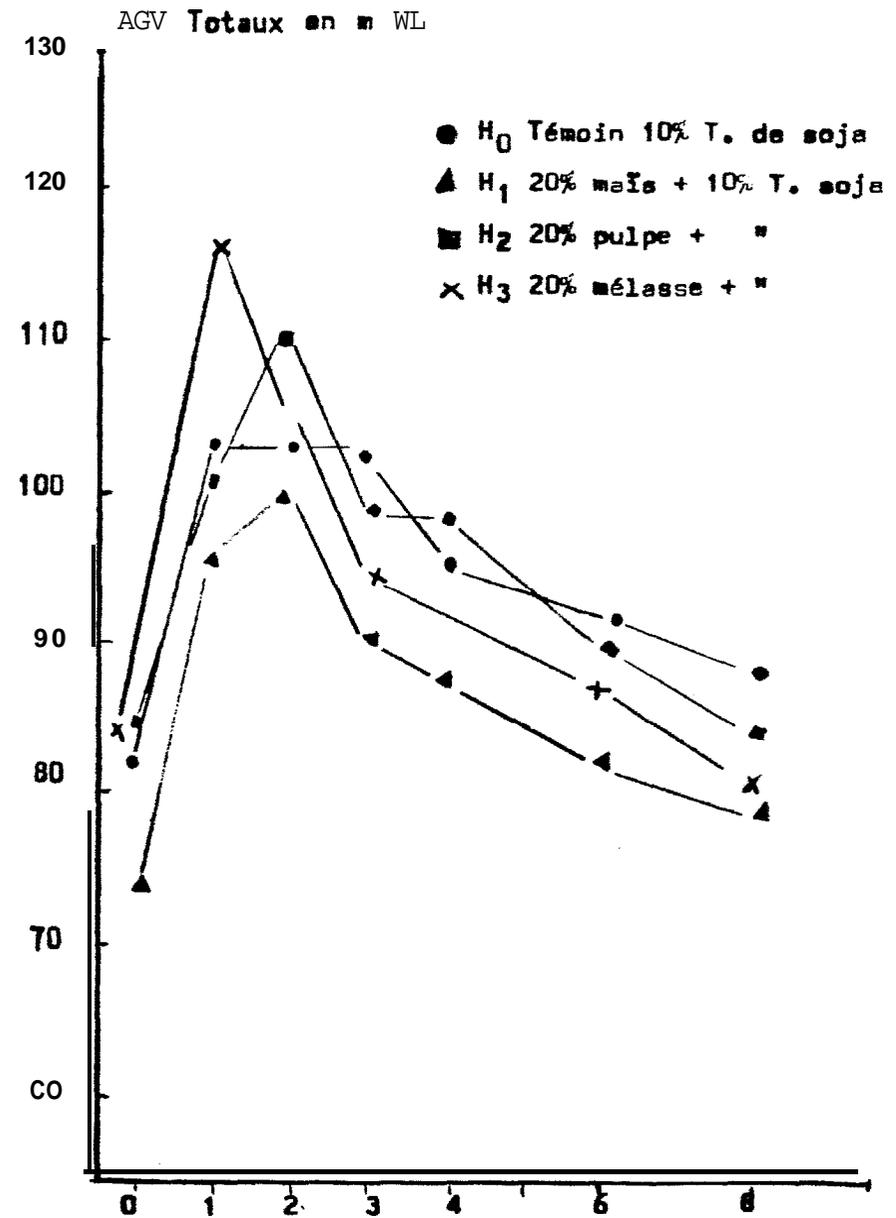
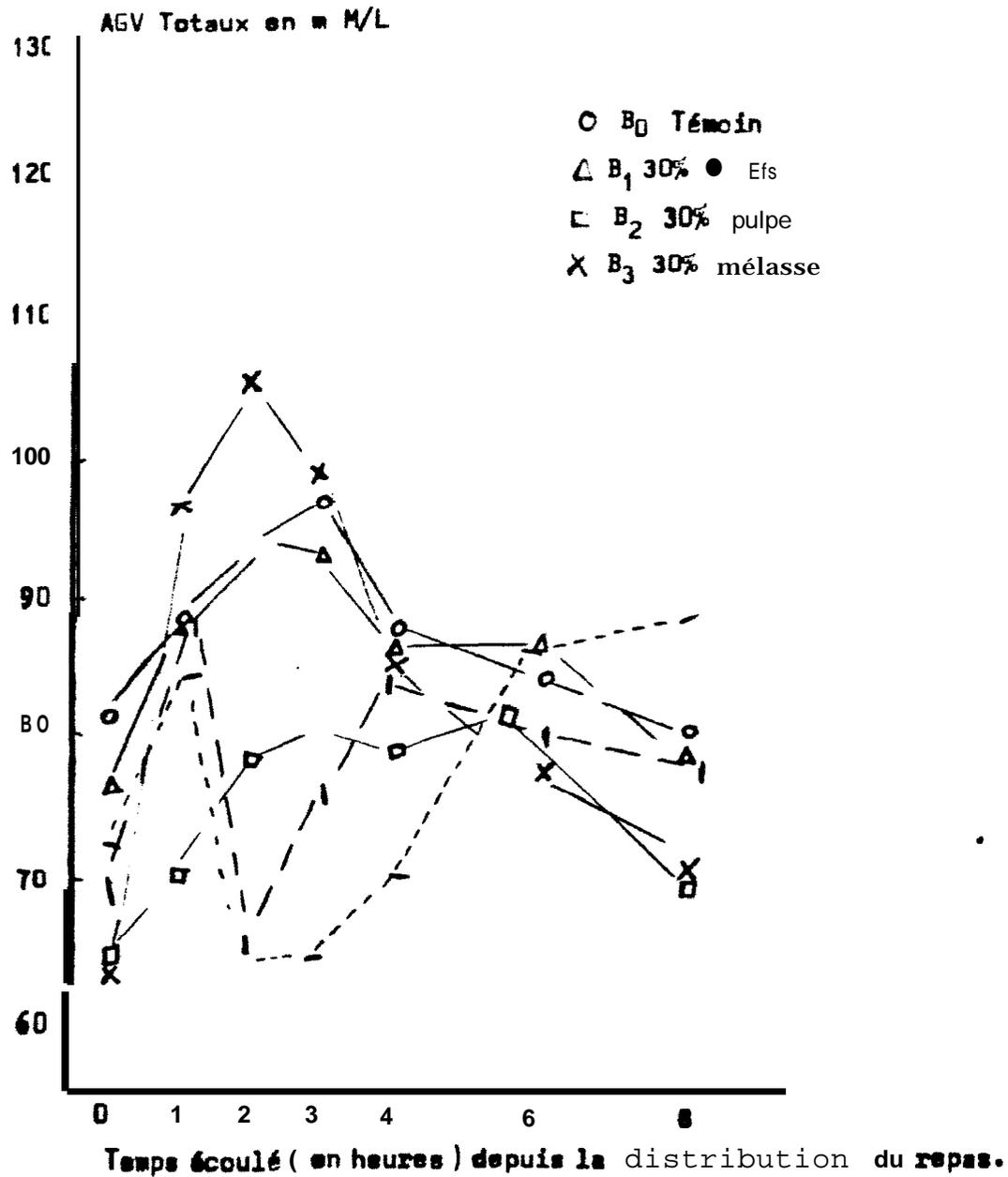
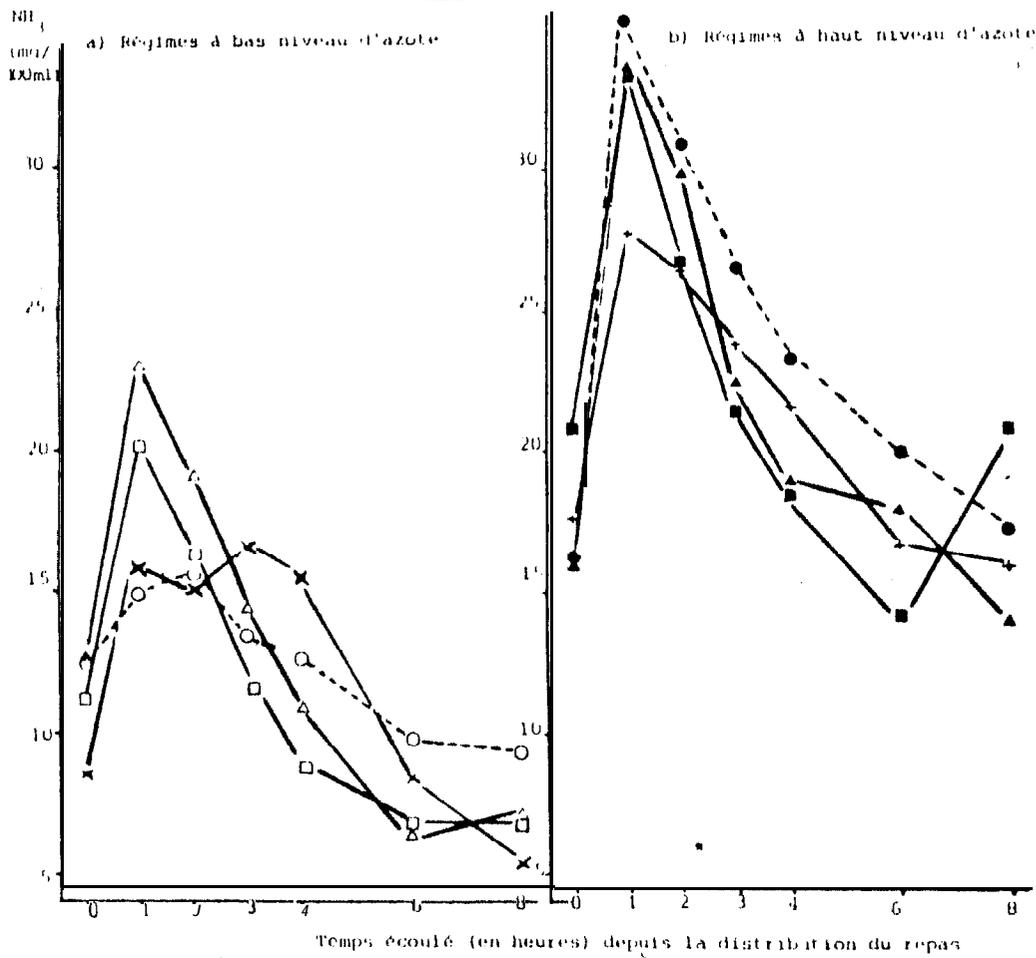


Figure 4 : Influence du régime sur la concentration en azote
ammoniacal ($N-NH_3$ en mg/100 ml) du jus de rumen.



Seule l'ammoniogénèse (figure 4) est l'objet de différences importantes entre les deux types de régimes : les concentrations en NH₃ très variables au cours de la journée, minimales avant les repas de concentré, maximales une heure après, sont très supérieures pour les régimes à haut niveau d'azote. Il n'est pas possible de comparer les effets des concentrés glucidiques sur la concentration en ammoniac du jus de rumen car certains régimes contiennent de l'urée.

Tableau 4 : PARAMÈTRE DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE ET MÉRYCIQUE

N° régime	Nombre repas /jour	Durée (Minutes/jour)			Durée unitaire de mastication en mn/g de foin/kg p 0,75	Temps écoulé entre le repas de concentré et la 1ère phase de rumination
		Ingestion foin	Rumination	Mastication		
B0	6,1	245	619	864	17,9	166
B1	5,7	209	635	845	20,9	150
B2	6,2	223	636	859	20,8	174
B3	7,4	247	563	810	20,4	209
B	6,4	226	611	838	20,7	177
H0	6,1	265	616	881	18,7	173
H1	4,9	217	658	876	20,9	158
H2	5,7	223	610	834	19,4	182
H3	6,1	231	592	823	19,7	208
H	5,6	223	620	844	20,0	182

D'autres facteurs que la digestion dans le rumen agissent sur la digestibilité et peuvent se compenser entre eux, en particulier ceux liés au transit et à la digestion dans les intestins, que nous n'avons pas étudiés, ou au comportement alimentaire et mérycique (tableau 4) : par exemple, avec les régimes mélassés les repas sont plus nombreux et plus longs, et la durée totale de rumination est plus brève qu'avec les autres régimes ; inversement le maïs semble plus stimuler la rumination, qui commence 20 à 50 minutes plus tôt (après le premier grand repas) qu'avec les autres régimes, ce qui pourrait compenser en partie ses effets négatifs sur la digestion microbienne comme l'ont déjà remarqué DULPHY et al (1979). Toutefois les durées unitaires de mastication (en minutes/gramme de foin/kg p^{0,75}/jour) qui caractérisent plus nettement les aliments sont très proches pour tous les régimes.

.../...

Quantités de matière sèche volontairement ingérées (tableau 3)

La complémentation du foin avec 30 p 100 d'aliment concentré a entraîné une augmentation moyenne des quantités ingérées de 13 p 100.

Les quantités de matière sèche volontairement ingérées ne sont pas significativement différentes entre les régimes, sauf avec la ration comportant 30 p 100 de mélasse (B1) à laquelle les moutons se sont mal adaptés.

Bien que, le mode de calcul des taux de substitution ne permette pas de les comparer statistiquement, les régimes peuvent être classés d'après ce critère.

Le taux de substitution varie en fonction de la source de glucides. La mélasse a des effets d'encombrement plus importants que le maïs ; cette différence apparaît également dans les résultats de HADJIPANA YIOTOU (1975) qui a comparé de la mélasse à ds l'orge, mais ne peut être expliquée par les effets associatifs sur la digestibilité puisqu'ils sont plus faibles avec la mélasse. La mélasse et les produits terminaux de sa digestion agissent sans doute différemment du maïs sur les mécanismes physiologiques régulateurs de l'appétit.

La pulpe semble avoir un effet d'encombrement plus faible que le maïs, ce qui peut être expliqué par une vitesse de digestion dans le rumen beaucoup plus rapide (5,3 points de digestibilité après 48 heures ; 2,9 points après 72 heures). Cependant dans un autre essai où le concentré (3/4 concentré glucidique = 1/4 ~~tantan~~ de soja) représentait 40 p 100 de la ration, c'est l'inverse qui a été observé, en conformité avec les résultats de la bibliographie concernant les comparaisons céréales-pulpes (CASTLE 1971 ; Mac CULLOUGH 1969 ; MILLER et al, 1979 ; FAURE, 1980).

Le taux de substitution diminue quand la teneur en azote de la ration ou du concentré augmente. Ce résultat, en accord avec les conclusions de l'étude bibliographique, est à rapprocher de l'allongement de la durée moyenne des repas (niveau azoté bas : 35 minutes ; niveau azoté haut : 43 minutes) qui est lié à l'état de réplétion du rumen donc aux vitesses de digestion et de transit.

En conclusion, l'effet d'encombrement de la mélasse est supérieure à ceux du maïs et de la pulpe ; habituellement le taux de substitution est plus élevé avec la pulpe qu'avec le maïs, mais ce classement peut s'inverser lorsqu'on fait varier le niveau de complémentation et le taux azoté des rations.

.../...

□ Matière organique digestible volontairement ingérée

Les effets associatifs sur la digestibilité et l'ingestibilité des rations peuvent être examinés globalement au niveau de la quantité de matière organique digestible ingérée (MODI). Les différences entre concentrés glucidiques se compensent alors entre elles (par ordre décroissant des interactions négatives - sur les digestibilités : maïs, pulpe, mélasse - sur les quantités ingérées : mélasse, maïs, pulpe ou mélasse, pulpe, □ a'is et celles qui subsistent sont pour une grande part liées à la composition chimique des aliments, vraisemblablement à leur teneur en matières minérales en particulier pour la mélasse. Dans la pratique on peut donc admettre que les régimes associant la foin aux trois types de concentrés glucidiques apportent sensiblement la même quantité d'énergie digestible.

□ Utilisation de l'azote

Les effets associatifs sur la digestibilité des matières azotées sont identiques à ceux affectant la digestibilité de la matière organique, par contre l'étude des bilans azotés conduit à des conclusions différentes :

- la complémentarité énergétique des régimes à bas niveau d'azote (comparaison des régimes B1, B2, B3 au régime témoin BU) n'entraîne pas une amélioration de la rétention de l'azote comme cela est décrit dans la bibliographie (Du PLESSIS et al, 1969 GRENET et al, 1977). Ce résultat inhabituel peut être attribué à la présence de tourteau de soja, riche en azote protéique, dans le régime témoin et à celle d'azote non protéique (urée ou azote non soluble de la mélasse) dans les régimes complémentés. Par contre, pour les régimes à haut niveau d'azote, dont la complémentarité azotée est de même nature, la rétention de l'azote est plus élevée et l'excrétion urinaire plus faible lorsque les animaux reçoivent un concentré glucidique.
- les effets du maïs et de la pulpe sont très proches aussi bien pour l'azote retenu que celui excrété dans les fèces et les urines. Mais avec la mélasse, la rétention de l'azote est plus faible malgré une meilleure digestibilité des matières azotées : en effet l'action diurétique de cet aliment entraîne une importante excrétion d'azote urinaire.