HAL
open science

VALEUR ALIMENTAIRE DES FOINS CONDENSÉS. I. – INFLUENCE DE LA NATURE DU FOIN ET DE LA FINESSE DE BROYAGE SUR LA DIGESTIBILITÉ ET LA QUANTITÉ INGÉRÉE

C. Demarquilly, M. Journet, J.-M. Boissau

To cite this version:

C. Demarquilly, M. Journet, J.-M. Boissau. VALEUR ALIMENTAIRE DES FOINS CONDENSÉS. I. – INFLUENCE DE LA NATURE DU FOIN ET DE LA FINESSE DE BROYAGE SUR LA DIGESTIBILITÉ ET LA QUANTITÉ INGÉRÉE. Annales de zootechnie, 1967, 16 (2), pp.123-150. hal-00886897

HAL Id: hal-00886897

https://hal.science/hal-00886897

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ann. Zootech., 1967, **16** (2), 123-150.

I.N.R.A.
BIBLIOTHEQUE UO 359
DOMAINE DE CROUEL
63039
CLERMONT-FD CEDEX

VALEUR ALIMENTAIRE DES FOINS CONDENSÉS

I. — INFLUENCE DE LA NATURE DU FOIN ET DE LA FINESSE DE BROYAGE SUR LA DIGESTIBILITÉ ET LA QUANTITÉ INGÉRÉE

C. DEMARQUILLY et M. JOURNET
avec la collaboration technique de J.-M. BOISSAU

Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants,
Centre de Recherches zootechniques et vétérinaires,
63 - Theix, près Clermont-Ferrand
Institut national de la Recherche agronomique

SOMMAIRE

Nous avons distribué à des moutons maintenus en cage à métabolisme 3 foins de graminées et 3 foins de luzerne présentés sous différentes formes. Deux foins de graminées et deux foins de luzerne ont été présentés *ad libitum* sous 3 formes : normale (hachée dans un hache-paille), broyée (dans un broyeur muni d'une grille à mailles de 3 mm de diamètre) et condensée (broyée puis agglomérée). Un foin de luzerne et un foin de graminées ont été présentés sous deux formes, hachée et condensée, mais les foins condensés correspondaient à 3 finesses de broyage différentes 5 mm, 3 mm, 1,5 mm et ils ont été distribués soit *ad libitum* soit en quantité limitée égale à celle ingérée sous forme de foin haché.

Le broyage des foins, suivi ou non de la mise en agglomérés, entraîne une diminution très variable de leur digestibilité (0,4 à 15,1 points) pour la matière organique ; cette diminution est d'autant plus importante que le niveau d'ingestion est élevé et que le broyage est plus fin. Elle affecte beaucoup plus les constituants des membranes que les constituants cytoplasmiques. Elle est beaucoup plus importante pour les foins de graminées que pour les foins de luzerne.

En revanche les foins broyés et surtout les foins condensés sont ingérés en quantités beaucoup plus grandes que les foins hachés correspondants : suivant les foins de 36 à 96 p. 100 pour la matière sèche et de 32 à 62 p. 100 pour la matière organique digestible.

La diminution du temps de séjour des foins broyés ou condensés dans le tube digestif, plus spécialement dans le rumen, permet d'expliquer en majeure partie l'augmentation des quantités ingérées et la diminution de la digestibilité des foins. Les conséquences zootechniques du broyage et de la mise en agglomérés des foins sont discutées.

INTRODUCTION

Les foins broyés dans un broyeur puis agglomérés par passage à travers une presse munie d'une filière (foins condensés) ont fait l'objet de nombreux travaux pour la plupart américains (cf. mises au point bibliographiques de LOOSLI, 1959 ; CHURCH, 1961 ; MINSON, 1962 ; PUTNAM et DAVIS, 1963, BEARDSLEY, 1964 ; MOORE,

1964). Ils sont en général moins digestibles que les foins longs ou hachés correspondants mais ils sont ingérés en quantité beaucoup plus importante. Les animaux à viande recevant des foins condensés ont une vitesse de croissance et d'engraissement plus rapide que les animaux recevant des foins longs essentiellement parce qu'ils en ingèrent de plus grandes quantités. Cependant l'amélioration des vitesses de croissances peut résulter au moins en partie et notamment quand il y a addition d'aliments concentrés, d'une amélioration de l'utilisation métabolique des produits terminaux de la digestion par suite des modifications des fermentations dans le rumen (LEFFEL, 1960 ; BÉRANGER et JARRIGE 1962 ; MOODY. 1962 ; WRIGHT et *al.*, 1963). Ces modifications des fermentations dans le rumen expliquent d'ailleurs que l'utilisation des foins condensés pour la vache laitière peut provoquer parfois une diminution du taux butyreux du lait.

La diminution de digestibilité des foins provoquée par le broyage et la mise en agglomérés est cependant très variable ; elle semble dépendre de la finesse du broyage (BLAXTER et GRAHAM, 1956 ; RODRIGUE et ALLEN, 1960) et du niveau d'ingestion (BLAXTER et GRAHAM, 1956) mais d'autres facteurs doivent intervenir et notamment la nature du foin. En outre, l'influence respective du broyage et de la mise en agglomérés sur la digestibilité et surtout sur l'acceptabilité des foins n'a été étudiée que par quelques auteurs (MEYER et *al.*, 1959 ; GARETT et *al.*, 1961) qui n'ont travaillé que sur des foins de luzerne. L'influence de la finesse de broyage sur l'acceptabilité des foins condensés n'a, à notre connaissance, pas été étudiée.

Parallèlement à l'étude de la valeur alimentaire des foins condensés pour la production de viande ou de lait entreprise à la Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants, nous avons effectué de 1961 à 1965 quatre expériences pour essayer d'analyser et d'expliquer les modifications de digestibilité et d'acceptabilité provoquées par le broyage des foins suivi ou non d'une mise en agglomérés. Nous nous sommes spécialement préoccupés de mettre en évidence l'influence des facteurs qui jusqu'ici n'avaient pas ou peu été étudiés : la finesse de broyage, la nature et le mode de distribution (*ad libitum* ou en quantité limitée) du foin.

Cette étude a été effectuée sur 6 foins, 3 foins de graminées et 3 foins de luzerne choisis de digestibilité très différente. Les mesures de digestibilité et de quantités ingérées ont été effectuées sur des moutons maintenus en cage à métabolisme. Pour essayer d'interpréter les résultats obtenus, nous avons mesuré dans les deux derniers essais la vitesse de transit digestif, enregistré le comportement alimentaire et mesuré les quantités d'eau bues par les moutons. Ce sont les résultats obtenus sur les moutons qui font l'objet de la présente publication. Dans les trois publications suivantes, nous rapporterons l'effet du broyage et de sa finesse sur la digestion des foins dans le rumen et dans le reste du tube digestif étudiés sur des vaches munies d'une large fistule du rumen.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Fourrages et formes de présentation étudiés

Essai n° 1 (hiver 1961-1962). — Nous avons choisi deux foins de graminées pures : un foin de fétuque des prés *Naïade* (foin D 48) et un foin de *Ray-grass hybride* 10 (foin D 68) qui ont été fauchés tous les deux le 13 mai 1961 à la pleine épiaison du premier cycle de végétation. Chacun de ces foins a été successivement distribué sous trois formes de présentation à 3 lots de deux moutons adultes

maintenus en cage à métabolisme, suivant un dispositif en carré latin (3 × 3) : forme hachée par passage dans un hache paille, forme broyée par passage dans un broyeur muni d'une grille à mailles de 3 mm de diamètre et forme condensée, le foin broyé à la grille de 3 mm ayant été aggloméré sans adjuvant par passage dans une presse munie d'une filière de 10 mm. Chaque aliment a été offert à volonté aux animaux (10 à 15 p. 100 de refus) : la forme broyée a été additionnée avant chaque repas d'un poids égal d'eau. Chaque période de mesure a duré 10 jours et était précédée d'une période préexpérimentale de 10 jours.

Essai n° 2 (hiver 1962-1963). — Nous avons choisi deux foins de luzerne achetés à l'extérieur : le foin 264 était une luzerne assez grossière récoltée à la floraison du premier cycle et le foin 2 602, une luzerne du troisième cycle bien récoltée. Les formes de présentation et la finesse de broyage étudiées et le dispositif expérimental utilisé sont les mêmes que dans l'essai 1. Pour améliorer la précision des résultats obtenus, nous avons porté de 2 à 3 le nombre des animaux de chaque lot et de 10 à 15 jours la durée des périodes préexpérimentales.

Essai n° 3 (hiver 1963-1964). — Nous avons utilisé un foin de luzerne (foin 3500) fauché le 20 mai 1963 au stade « boutons » du premier cycle et séché en grange par ventilation après un préfanage sur le champ, pendant lequel le fourrage a reçu de la pluie et a perdu des feuilles. Une partie du foin a été hachée, l'autre partie a été broyée à 3 finesses différentes : passage à la grille de 5 mm, passage à la grille de 3 mm, passage deux fois à la grille de 1,5 mm. Les foins broyés ont ensuite été condensés sans adjuvant. Le foin haché et les trois foins condensés ont été distribués successivement à un lot de 8 moutons maintenus en cage à métabolisme. Chaque foin condensé a été d'abord distribué *ad libitum* puis en quantité limitée égale à celle qui était ingérée sous forme de foin haché. Chaque période de mesure a duré 10 jours et était précédée d'une période préexpérimentale de 3 semaines pour le foin haché et le premier foin condensé, de 8 jours entre les deux mesures effectuées à deux niveaux d'ingestion sur un foin condensé donné et de 10 jours entre 2 foins condensés correspondants à 2 finesses de broyage différentes. En effet, les résultats de l'essai 2 nous montraient qu'une période expérimentale de 15 jours était de durée encore insuffisante quand on passait d'un foin haché à un foin condensé ou vice versa. Nous avons donc abandonné le dispositif en carré latin qui aurait par trop allongé la durée de l'expérience pour celui des blocs avec répétitions.

Essai n° 4 (hiver 1964-1965) — Cet essai ne diffère de l'essai n° 3 que par la nature du foin utilisé ; il s'agit d'un foin de prairie permanente à base de graminées (foin 4912) récolté correctement, mais à un stade avancé du premier cycle de végétation (début du mois de juillet). Les moutons utilisés sont les mêmes que dans l'essai précédent mais ils sont 7 au lieu de 8, un mouton ayant dû être éliminé.

Mesures

Quantités ingérées et digestibilité.

Les animaux ont reçu deux repas par jour à 8 heures et 17 heures. Ils avaient du foin en permanence à leur disposition lors des mesures effectuées en quantités *ad libitum*, les refus étant enlevés une fois par jour, juste avant la distribution du repas du matin. La teneur en matière sèche du fourrage offert a été mesurée sur un échantillon de 500 g prélevé chaque jour dans l'essai 1 et tous les 2 jours dans les autres essais. La teneur en matière sèche des refus a été mesurée sur un échantillon de 500 g prélevé chaque jour. Les fèces ont été recueillies et pesées chaque matin et, après mélange, on en a prélevé 1/4 pour la détermination de la teneur en matière sèche. La détermination des teneurs en matière sèche des fourrages et des fèces a été effectuée par séchage jusqu'à poids constant dans une étuve à circulation d'air réglée à 80°.

Pour chaque période de mesure de 10 jours, un échantillon représentatif a été constitué à partir des échantillons secs ayant servi à la détermination de la teneur en matière sèche. Lors des essais 3 et 4, nous avons aussi constitué avant le début des mesures un échantillon représentatif des foins correspondants aux trois finesses de broyage avant et après la mise en agglomérés.

Tous les échantillons représentatifs des foins utilisés et des fèces correspondantes ont été broyés dans un broyeur muni d'une grille à mailles de 1 mm de diamètre avant d'être analysés.

Les quantités d'eau bues ont été individuellement mesurées chaque jour dans les essais 3 et 4.

Comportement alimentaire.

L'emploi du temps de l'animal a été enregistré sur les deux mêmes moutons dans les essais 3 et 4. pendant 4 jours consécutifs de chaque période de mesure par la méthode de RUCKEBUSCH, (1963)

Vitesse de transit de l'indigestible.

La vitesse de transit de l'indigestible a été mesurée sur les deux mêmes moutons dans les essais 3 et 4 durant chaque période de digestibilité par la méthode des particules colorées de BALCH (1950).

Le premier jour de chaque période expérimentale, les moutons recevaient à 17 heures, 50 g du foin haché ou du foin condensé dont on étudiait la digestibilité, coloré à la fuschine. Après 12 heures dans l'essai 3 et 7 heures dans l'essai 4, les fèces étaient recueillies à intervalle de 5 heures pendant les 2e et 3e jours, à intervalle de 8 heures le 4e jour, à intervalle de 12 heures les 5e et 6e jours, puis à intervalle de 24 heures jusqu'au 10e jour. Les échantillons de fèces fraîches étaient conservés dans des flacons de verre déposés à la chambre froide à — 15° jusqu'à leur emploi. Ils étaient alors dégelés et mis à tremper dans un mélange d'eau et de 10 p. 100 de Teepol. Après mélange, les particules colorées en rouge étaient comptées sur 3 sous-échantillons de 2 g environ. La vitesse de transit a été exprimée par trois temps de rétention : le temps de rétention 5 p. 100, le temps de rétention 80-5p. 100 (BALCH, 1950) et le temps de rétention moyen (CASTLE, 1956).

Analyses.

Tous les échantillons représentatifs du fourrage offert, du fourrage refusé dans le cas du foin haché, et des fèces correspondantes de chaque période de mesure ont été analysés pour déterminer leur teneur en cendres, en matières azotées (N Kjeldahl × 6,25), et en cellulose brute (cellulose WEENDE). Dans l'essai 1, les fèces ont été analysées pour chaque mouton mais dans les autres essais, elles ont été pondérées avant analyse.

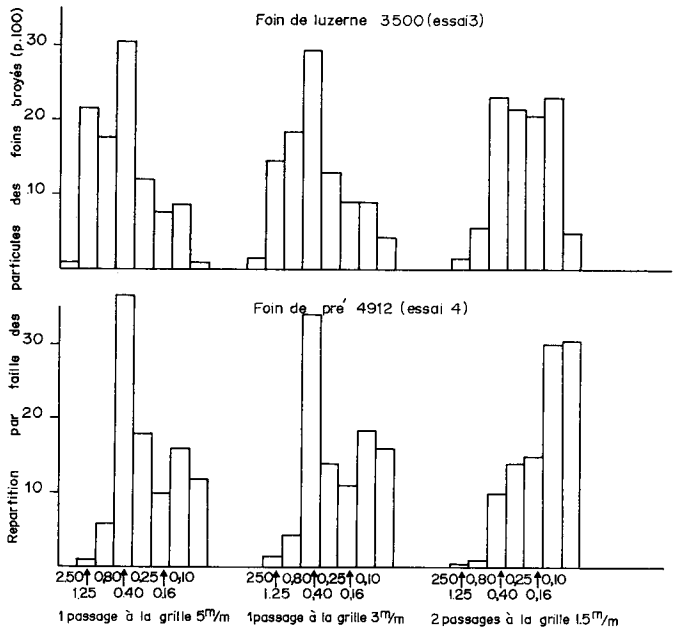

FIG. 1. — *Analyse granulométrique des foins condensés des essais 3 et 4 effectués avant la mise en agglomérés*

Ces analyses ont été complétées par un fractionnement de constituants membranaires (cellulose, hémicellulose, lignine) par la méthode de JARRIGE (1961) pour la luzerne 264 de l'essai 2 sous forme hachée, broyée et condensée et les fèces correspondantes, et pour la luzerne 3 500 de l'essai 3, sous la forme hachée et les formes condensées après broyage à la grille de 3 et de 1,5 mm et les fèces correspondantes.

Une analyse granulométrique des foins condensés étudiés dans les essais 3 et 4 a été effectuée avant leur mise en agglomérés, avec un tamiseur électromagnétique muni de tamis à mailles de 2,50, 1,25, 0,80, 0,40, 0,25, 0,16 et 0,10 mm. Chaque mesure a été effectuée en triple sur 50 g de foin broyé (fig. 1).

RÉSULTATS

Composition chimique

La composition chimique des foins utilisés est rapportée dans le tableau 1. Il y a des différences systématiques entre les formes de présentation du même foin ; en moyenne la teneur en cellulose brute du foin broyé est de 0,9 point inférieure à celle du foin haché correspondant alors que celle du foin condensé l'est de 4,5 points. La différence de teneur en cellulose brute entre le foin haché et le foin broyé s'explique vraisemblablement par des erreurs d'échantillonnage car on constate une différence en sens inverse de la teneur en matières azotées ; la manipulation du foin haché entraîne en effet une légère perte de feuilles quelles que soient les précautions prises. En revanche, les différences dans la teneur en cellulose brute entre le foin broyé et le foin condensé peuvent difficilement s'expliquer par des erreurs d'échantillonnage ; d'une part parce que le foin condensé a été fabriqué à partir d'un certain nombre de sacs de foin broyé choisis au hasard ; d'autre part parce que les différences sont trop systématiques et trop importantes et qu'elles sont en outre indépendantes des variations de la teneur en matières azotées, elles semblent donc être de nature analytique.

Cette hypothèse semble d'ailleurs vérifiée par les résultats du fractionnement glucidique des constituants membranaires des foins de luzerne 264 de l'essai 2 et 3500 de l'essai 3 (tabl. 2). Les teneurs en cellulose et en ligno-cellulose du foin haché sont supérieures à celle du foin broyé et surtout à celle du foin condensé. En revanche, les teneurs en hémicelluloses semblent être plus élevées quand les foins sont broyés et surtout quand ils sont condensés ; cela indique que le traitement subi par le fourrage rend la cellulose plus sensible à l'hydrolyse par l'acide dilué et on en retrouve donc moins à l'analyse.

Digestibilité

Les valeurs des coefficients de digestibilité obtenues dans des différents essais sont présentées dans les tableaux 2 et 3 et la figure 2. L'analyse chimique des fèces a été effectuée sur l'échantillon moyen pondéré de fèces du lot de moutons et non sur les échantillons individuels. L'analyse statistique des résultats n'a donc pu être effectuée que pour les coefficients de digestibilité de la matière sèche. Elle demeure cependant valable pour les coefficients de digestibilité de la matière organique car les teneurs en cendres des fourrages et des fèces correspondantes ont peu varié suivant les formes de présentation du foin.

Digestibilité de la matière sèche et de la matière organique.

Le broyage des foins, suivi ou non de la mise en agglomérés, entraîne une diminution de la digestibilité de la matière sèche (et de la matière organique) qui est, significative ($P < 0,05$) pour cinq foins sur les six. Cependant cette diminution est variable suivant le niveau d'ingestion, suivant que les foins sont condensés ou simplement broyés et suivant la finesse de broyage et la nature du foin ; elle va, pour la matière organique, de 0,4 point pour la luzerne broyée 2602 de l'essai 2 à 15,1 points

TABLEAU I

Composition chimique des foins utilisés lors des différents essais

Essai	Foin	Forme de présentation	Finesse de broyage (mm)	Nombre d'échantillons analysés	Composition chimique (p. 100 de la matière sèche)		
					Cendres	Matières azotées totales	Cellulose brute
I	Foin de fétuque D 48	hachée		3	6,9	7,4	34,2
		broyée	3	1	7,3	6,8	34,9
		condensée	3	1	7,6	8,6	30,7
	Foin de ray-grass D 68	hachée		3	7,0	7,0	23,3
		broyée	3	1	6,8	6,4	25,5
		condensée	3	1	7,0	8,5	21,1
II	Foin de luzerne 2602	hachée		1	9,9	21,4	28,7
		broyée	3	1	9,8	24,3	29,3
		condensée	3	1	9,8	20,7	27,9
	Foin de luzerne 264	hachée		1	6,9	16,1	39,1
		broyée	3	1	8,3	17,5	35,1
		condensée	3	1	9,2	19,1	29,7
III	Foin de luzerne 3500	hachée		2	9,2	19,0	36,6
		condensée	5	3	9,6	19,4	32,4
		condensée	3	3	10,5	18,6	31,5
		condensée	2 × 1,5	3	9,8	19,5	32,4
		broyée	5, 3, 1,5	3	ND*	ND*	34,9
IV	Foin de pré 4912	hachée		2	8,1	8,8	33,9
		condensée	5	3	8,7	10,1	27,4
		condensée	3	3	9,0	9,1	27,0
		condensée	2 × 1,5	3	8,5	8,0	27,3
		broyée	5, 3, 1,5	3	9,0	9,1	30,5

* ND : Non déterminé.

TABLEAU 2

Teneurs et coefficients de digestibilité des principaux constituants des foins de luzerne 264 (essai 2) et 3500 (essai 3)

	Foin de luzerne 264			Foin de luzerne 3500				
Forme de présentation	hachée	broyée	condensée	hachée	condensée		condensée	
Finesse de broyage		3 mm	3 mm		3 mm		1,5 mm	
Mode de distribution	*ad libitum*	*ad libitum*	*ad libitum*	*ad libitum*	*ad libitum*	limité	*ad libitum*	limité
Composition chimique en p. 100 de la matière sèche								
Extrait aqueux	30,3	31,8	29,1	23,9	28,1		23,9	
Glucides solubles	7,4	6,5	6,1	non déterminés	non déterminés		non déterminés	
Extrait au dégraissage	2,4	2,6	2,4	3,5	3,7		4,0	
Lignocellulose	41,2	37,0	35,7	44,1	38,5		39,0	
Hémicelluloses	13,0	12,5	13,5	10,9	12,2		12,7	
Cellulose	25,6	22,6	21,2	28,6	24,8		25,3	
Lignine brute	9,9	9,1	9,4	9,3	8,7		9,4	
Coefficients de digestibilité en p. 100								
Extrait aqueux	87,5	85,6	82,9	85,9	83,2	83,8	80,2	85,8
Glucides solubles	100,0	100,0	100,0					
Extrait au dégraissage	53,3	53,2	34,5	39,8	52,3	46,2	33,1	54,2
Lignocellulose	56,1	46,5	40,6	52,8	43,0	48,4	50,0	42,8
Hémicelluloses	60,6	55,2	57,9	48,1	47,8	51,1	46,4	50,6
Cellulose	67,8	58,0	53,4	63,7	51,3	56,9	49,1	51,8
Lignine	25,8	15,2	18,6	9,4	3,2	12,9	6,9	9,6

pour le foin de pré 4912 condensé après avoir été broyé deux fois à la grille de 1,5 mm de l'essai 4 (tabl. 3).

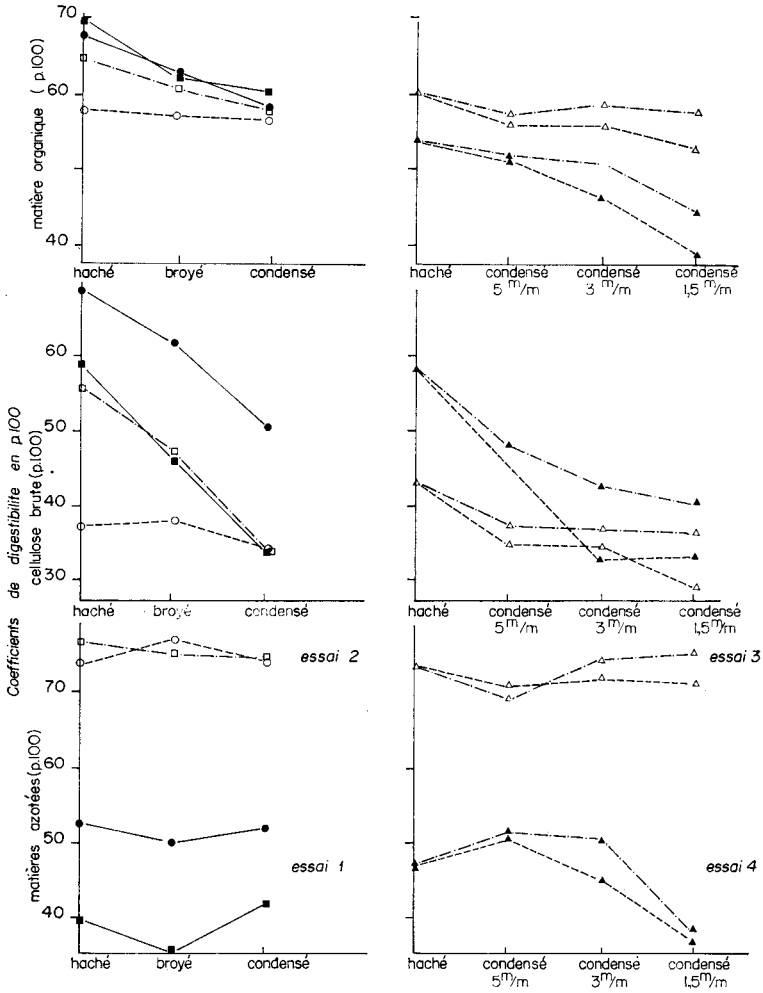

FIG. 2. — *Influence de la forme de présentation et de la finesse de broyage des foins sur les coefficients de digestibilité*

Essai 1 : Foin de fétuque D 48 ●
: Foin de ray-grass D 68 ■
Essai 2 : Foin de luzerne 264 □
: Foin de luzerne 2602 ○
Essai 3 : Foin de luzerne 3500 quantité limitée △—·—·—△
: Foin de luzerne 3500 quantité *ad libitum* △--------△
Essai 4 : Foin de pré 4912 quantité limitée ▲—·—·—▲
: Foin de pré 4912 quantité *ad libitum* ▲--------▲

La diminution de la digestibilité dépend :

— Du niveau d'ingestion : c'est ainsi que la digestibilité des foins condensés distribués en quantités limitée diminue moins que celle des foins condensés distribués *ad libitum* ; en moyenne 2,0 contre 6,5 points pour la luzerne de l'essai 3 et 4,0

contre 8,7 points pour le foin de pré de l'essai. L'influence du niveau d'ingestion sur la digestibilité des foins condensés est par ailleurs d'autant plus grande, que le foin a été broyé plus finement (fig. 2).

— De la mise en agglomérés du foin broyé : la digestibilité des foins broyés est intermédiaire entre celle du foin haché et celle du foin condensé mais la quantité de foin broyé ingérée est, elle aussi, intermédiaire entre les valeurs correspondantes pour le foin haché et pour le foin condensé (tabl. 3).

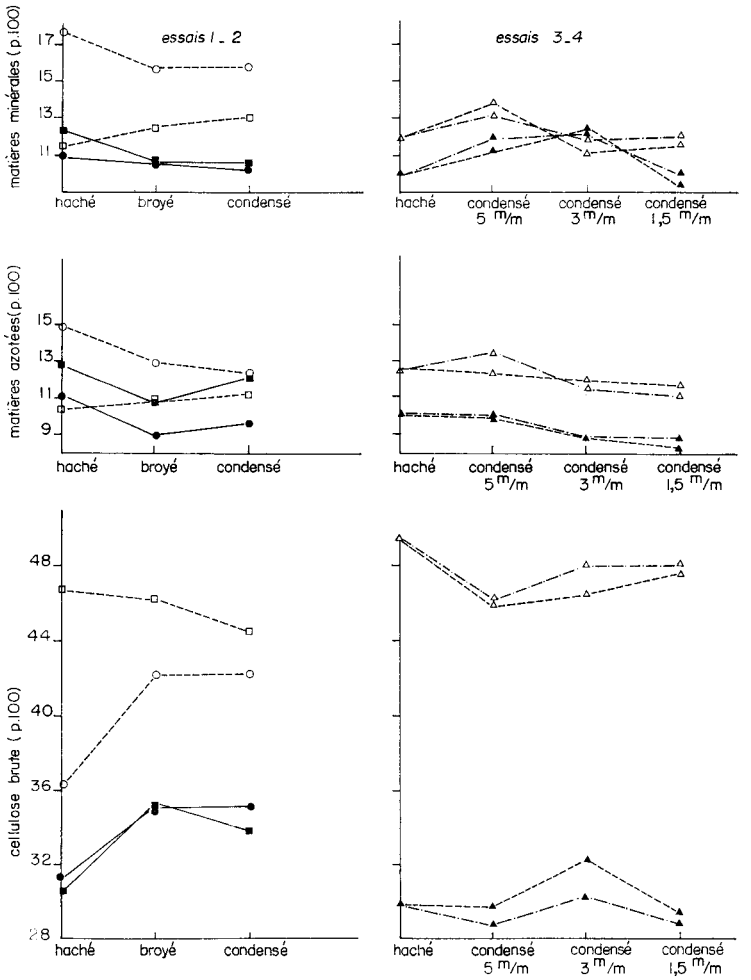

FIG. 3. — *Composition chimique des fèces de moutons suivant la forme de présentation et la finesse de broyage des foins*
(les symboles ont la même signification que ceux de la figure 2)

— De la finesse de broyage ; la digestibilité des foins condensés distribués *ad libitum* ou en quantité limitée diminue d'autant plus que les foins ont été broyés plus finement (fig. 2).

— De la nature du foin : la diminution de la digestibilité des foins condensés de graminées est plus importante que celle des foins de luzerne. Elle est en moyenne

TAB

Influence de la forme de présentation, de la finesse de broyag

Essai	Foin	Forme de présentation	Finesse de broyage Finesse (mm)	Mode de distribution	Nombre de moutons	Matière sèch g/kg P *0,75*
I	Foin de fétuque D 48	hachée		*ad libitum*	6	49,0[a]
		broyée	3	*ad libitum*	6	66,2[b]
		condensée	3	*ad libitum*	6	81,8[c]
	Foin de ray-grass D 68	hachée		*ad libitum*	5	45,2[a]
		broyée	3	*ad libitum*	5	59,1[b]
		condensée	3	*ad libitum*	5	77,1[c]
II	Foin de luzerne 2602	hachée		*ad libitum*	9	70,8[a]
		broyée	3	*ad libitum*	9	87,0[b]
		condensée	3	*ad libitum*	9	96,1[b]
	Foin de luzerne 264	hachée		*ad libitum*	8	57,1[a]
		broyée	3	*ad libitum*	8	82,5[b]
		condensée	3	*ad libitum*	8	92,4[b]
III	Foin de luzerne 3500	hachée		*ad libitum*	8	60,2[a]
		condensée	5	*ad libitum*	8	105,3[b]
		condensée	5	limité	8	58
		condensée	3	*ad libitum*	8	101,4[b]
		condensée	3	limité	8	55
		condencée	1,5	*ad libitum*	8	107,9[b]
		condensée	1,5	limité	8	53
IV	Foin de pré 4912	hachée		*ad libitum*	7	47,5[a]
		condensée	5	*ad libitum*	7	85,4[b]
		condensée	5	limité	7	48
		condensée	3	*ad libitum*	7	87,0[bc]
		condensée	3	limité	7	49
		condensée	1,5	*ad libitum*	7	92,9[c]
		condensée	1,5	limité	7	48

(1) Pour un même foin, les coefficients de digestibilité de la matière sèche qui portent les mêmes lettres en exposa

AU 3

de la quantité offerte sur la digestibilité des foins

gérée	Digestibilité de la matière sèche		Coefficients de digestibilité (p. 100)		
Coefficient de ariation (p. 100)	p. 100	Coefficient de variation (p. 100)	Matière organique	Matières azotées	Cellulose brute
19,0	66,9[a]	5,4	68,3	52,4	69,1
24,6	61,9[b]	3,2	63,2	49,8	61,6
19,9	56,8[c]	3,7	58,0	51,7	50,6
19,3	68,0[a]	9,8	69,8	39,5	59,4
8,1	61,1[b]	5,9	62,7	35,2	46,3
9,4	58,9[c]	1,4	60,4	42,1	33,5
11,4	57,9[a]	5,7	61,1	73,7	37,2
19,1	57,0[a]	2,2	59,7	77,0	38,3
17,4	56,6[a]	5,4	59,4	74,1	34,4
23,5	63,3[a]	3,8	65,1	76,6	56,0
16,8	59,4[b]	3,4	61,3	75,1	46,7
19,9	56,3[c]	3,6	58,1	74,6	34,3
17,5	59,2[a]	3,2	60,4	73,7	43,2
10,4	54,0[de]	2,4	56,2	70,7	35,0
	56,0[cd]	3,5	57,8	69,4	37,4
8,5	55,8[cd]	2,9	56,2	72,0	34,8
	58,6[ab]	3,1	59,2	74,4	36,9
11,9	52,0[e]	1,4	53,0	71,4	29,5
	57,1[bc]	2,5	58,1	75,6	36,4
19,6	52,9[a]	5,7	54,0	47,0	58,4
17,5	49,7[b]	4,2	51,1	50,7	45,3
	50,5[b]	5,4	52,2	51,0	48,0
15,4	43,8[c]	6,1	46,0	45,0	33,0
	49,3[b]	5,0	51,1	50,4	43,1
12,4	38,2[d]	7,6	38,9	36,7	33,4
	43,7[c]	6,3	44,6	38,1	40,6

e sont pas significativement différents à la probabilité 0,05 p. 100.

de 9 points (respectivement 10,3, 9,4, 8,0 points) pour les 3 foins de graminées condensés après avoir été broyés à travers une grille de 3 mm et distribués *ad libitum* et elle n'est que de 4 points (respectivement 1,7, 7,0, 4,2 points) pour les 3 foins de luzerne condensés après un broyage à travers la même grille. Pourtant les foins de luzerne condensés ont été ingérés en plus grandes quantités que les foins de graminées condensés.

En revanche, la diminution de digestibilité due au broyage, suivi ou non de la mise en agglomérés, semble indépendante de la digestibilité du foin normal. Elle est aussi importante pour les foins très digestibles de ray-grass et de fétuque de l'essai 1 que pour le foin de pré peu digestible de l'essai 4.

Digestibilité des constituants de la matière organique.

Le broyage des foins, suivi ou non de la mise en agglomérés, n'a pas d'influence sur la digestibilité des constituants entièrement digestibles (glucides solubles) et a une action faible sur la digestibilité de l'extrait aqueux (constituant très digestible) et de la lignine (tabl. 2).

Si l'on tient compte des différences éventuelles dans la teneur en matières azotées entre les différentes formes de présentation du même foin, on peut dire que le broyage et la mise en agglomérés n'ont pas d'influence sur la digestibilité des matières azotées sauf quand le broyage est très fin et provoque une diminution importante de la digestibilité de la matière organique ; même dans ce cas, la digestibilité des matière azotées diminue beaucoup moins que la digestibilité de la matière organique, les teneurs en matières azotées des fèces de moutons recevant des foins broyés ou condensés étant systématiquement plus faibles que lorsqu'ils reçoivent le même foin sous forme hachée (fig. 3).

En revanche, le broyage du foin, surtout si ce foin est ensuite condensé, provoque une diminution importante de la digestibilité des membranes. C'est ainsi que la digestibilité de la cellulose brute diminue parallèlement à celle de la matière organique mais de façon beaucoup plus importante ; cependant cela doit être dû, au moins en partie, au fait qu'on trouve moins de cellulose brute dans les foins broyés et surtout dans les foins condensés que dans les foins hachés. En effet, la teneur en cellulose brute des fèces est quasiment indépendante de la forme de présentation du foin (fig. 3). De même la digestibilité de la cellulose vraie diminue beaucoup parce qu'on en trouve moins à l'analyse dans les foins condensés alors que la digestibilité des hémicelluloses varie peu et peut même augmenter pour les foins de luzerne 3500 condensés parce qu'à l'analyse on en trouve plus dans ces mêmes foins (tabl. 2).

Quantité ingérée

Matière sèche.

Le broyage du foin entraîne une augmentation importante et significative dans les 4 cas de la quantité ingérée, en moyenne de 33 p. 100 (13,9 à 25,4 g/kg $P^{0,75}$ suivant les foins) (fig. 4). La mise en agglomérés du foin broyé entraîne une nouvelle augmentation de la quantité ingérée : celle-ci est significative ($P < 0,05$) pour les 2 foins de graminées (16,8 g/kg $P^{0,75}$ soit 27 p. 100 en moyenne mais ne l'est pas pour les deux foins de luzerne (9,5 g/kg $P^{0,75}$ soit 11 p. 100 en moyenne). Les foins condensés sont donc ingérés en quantités beaucoup plus importantes que les foins hachés correspondants : de 36 à 96 p. 100 (25,3 à 45,4 g/kg $P^{0,75}$) suivant les foins.

La quantité de matière sèche ingérée augmente légèrement mais de façon significative avec la finesse de broyage pour le foin de pré de l'essai 4 mais non pour le foin de luzerne de l'essai 3 (fig. 4).

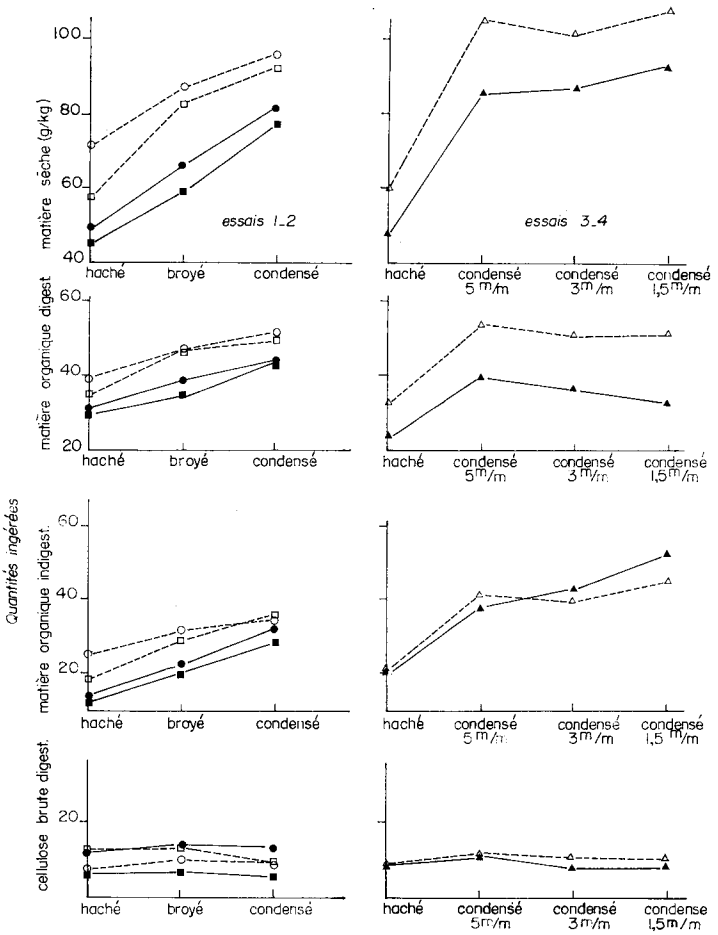

FIG. 4. — *Influence de la forme de présentation et de la finesse de broyage des foins sur les quantités ingérées* (g/kg $P^{0,75}$)
(Les symboles ont la même signification que ceux de la figure 2)

Les foins de luzerne, quoique moins digestibles, sont ingérés en plus grandes quantités que les foins de graminées que ce soit sous forme hachée (en moyenne 62,7 contre 47,2 g/kg $P^{0,75}$), sous forme broyée (en moyenne 84,7 contre 62,6 g) ou sous forme condensée (en moyenne 96,6 contre 82,0 g après un broyage à travers une même grille de 3 mm). De même les différences dans les quantités ingérées par le même lot de moutons recevant 2 foins de même nature mais de qualité différente (essai 1 et essai 2) sont dans le même sens quelle que soit la forme de présentation des deux foins mais elles sont proportionnellement beaucoup plus faibles entre les formes condensées qu'entre les formes hachées.

En revanche, dans tous les essais, si nous classons les moutons suivant leur appétit, nous obtenons des classements différents suivant la forme de présentation des foins.

Constituants digestibles.

La quantité de matière organique digestible ingérée augmente, elle aussi, dans de grandes proportions (fig. 4) ; quand les foins sont broyés (de 5,2 à 12,3 g/kg $P^{0,75}$, soit de 18 à 36 p. 100 suivant les foins) et surtout quand les foins sont condensés (de 12,5 à 20,5 g/kg $P^{0,75}$, soit de 32 à 62 p. 100). En valeur absolue, l'augmentation est plus importante avec les foins de luzerne qu'avec les foins de graminées car la digestibilité de ces derniers diminue de façon plus importante. La quantité de matière organique digestible ingérée semble relativement indépendante de la finesse de broyage du foin de pré de l'essai n° 4 (fig. 4).

La quantité de cellulose brute digestible est relativement indépendante de la forme de présentation du foin et de sa finesse de broyage (fig. 4). Tout se passe comme si elle était caractéristique du foin et que les moutons recevant un foin donné ne pouvaient digérer qu'une quantité fixe de cellulose brute quelle que soit la quantité ingérée.

Constituants indigestibles.

La quantité de matière organique indigestible ou de cellulose brute indigestible ingérée augmente dans des proportions considérables quand les foins sont broyés et surtout quand ils sont condensés. L'augmentation est plus importante, en valeur absolue et en valeur relative, pour les foins de graminées que pour les foins de luzerne et elle est d'autant plus importante que les foins sont broyés plus finement (fig. 4).

Quantité d'eau bue

L'ingestion de foins condensés provoque une augmentation importante et significative ($P < 0,05$) des quantités d'eau bues par les moutons notamment lorsque les foins condensés sont offerts *ad libitum* (tabl. 4).

Les quantités d'eau bues par 1 000 g de matière sèche ingérées sont, significativement ($P < 0,05$) plus élevées avec les foins condensés distribués en quantité limitée qu'avec les foins condensés distribués *ad libitum* ou avec les foins hachés. Elles sont significativement plus élevées avec la luzerne condensée ingérée *ad libitum* qu'avec la luzerne hachée ; cette différence n'apparaît pas avec le foin de pré.

Toujours rapportées à 1 000 g de matière sèche ingérée, elles sont d'autant plus élevées que les foins condensés ont été plus finement broyés dans le cas du foin de pré, alors que c'est l'inverse dans le cas du foin de luzerne.

Vitesse de transit de l'indigestibilité

Le tableau 5 donne les vitesses de transit digestif mesurées sur les moutons 2195 et 2085 lors des essais 3 et 4. Les foins condensés distribués *ad libitum* séjournent beaucoup moins longtemps dans le tube digestif que les foins hachés correspondants, et cela d'autant plus que les foins condensés ont été plus finement broyés avant d'être agglomérés. Le temps de rétention moyen dans le tube digestif, le temps de rétention dans le rumen ((*t* 80 p. 100 — *t* 5 p. 100), le temps de rétention dans l'intestin (*t* 5 p 100). du foin condensé peuvent être trois fois plus courts que ceux du foin haché. En

TABLEAU 4

Influence de la forme de présentation, de la finesse de broyage et de la quantité offerte sur les quantités d'eau bues par les moutons

Essai	Foin	Forme de présentation	Finesse de broyage (mm)	Mode de distribution	Quantités d'eau bue (l/jour) par mouton (1)	Quantités d'eau bue (l/jour) pour 1 000 g de matière sèche
III	Foin de luzerne 3500	hachée		*ad libitum*	3,18^{a}	2,54^{a}
		condensée	5	*ad libitum*	8,19^{b}	3,52^{b}
			5	limité	6,67^{c}	5,37^{d}
			3	*ad libitum*	9,24^{b}	3,86^{b}
			3	limité	6,21^{c}	5,05^{cd}
			1,5	*ad libitum*	9,21^{b}	3,52^{b}
			1,5	limité	5,72^{c}	4,58^{c}
IV	Foin de pré 4912	hachée		*ad libitum*	4,68^{a}	3,88^{ab}
		condensée	5	*ad libitum*	7,26^{bc}	3,24^{a}
			5	limité	5,55^{a}	4,74^{bc}
			3	*ad libitum*	7,56^{b}	3,34^{a}
			3	limité	6,09^{c}	5,07^{cd}
			1,5	*ad libitum*	9,36^{d}	3,97^{ab}
			1,5	limité	6,74^{bc}	5,70^{d}

(1) Les valeurs portant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes à la probabilité 0,05 p. 100.

TABLEAU 5

Influence de la forme de présentation, de la finesse de broyage et de la quantité offerte sur la vitesse de transit digestif de la fraction indigestible des foins 3500 et 4912, chez les moutons 2085 et 2195

Essai	Foin	Forme de présentation	Finesse de broyage (mm)	Mode de distribution	Numéros des moutons	Matière sèche ingérée (g/kg P 0,75)	Digestibilité de la matière organique	Temps de rétention (heures) Moyen *t*	Intestin *t* 5 p. 100	Rumen *t* 80-5 p. 100
III	Foin de luzerne	hachée		*ad libitum*	2195	54,0	63,2	85	30	92
				ad libitum	2085	55,3	58,7	54	21	53
		condensée	5	*ad libitum*	2195	123,4	56,0	37	9	47
				ad libitum	2085	99,7	55,3	39	11	52
				limité	2195	53,2	58,0	50	16	62
				limité	2085	54,0	61,0	53	15	64
		condensée	3	*ad libitum*	2195	91,4	57,6	50	18	53
				ad libitum	2085	101,5	57,7	39	8	51
				limité	2195	49,1	58,9	52	19	57
				limité	2085	50,4	61,3	64	22	72
		condensée	1,5	*ad libitum*	2195	121,8	53,3	27	7	35
				ad libitum	2085	112,3	53,1	30	7	40
				limité	2195	48,1	59,8	51	17	61
				limité	2085	49,2	59,5	49	17	55
IV	Foin de pré 4912	hachée		*ad libitum*	2195	60,6	50,5	65	23	73
				ad libitum	2085	40,8	55,3	64	25	67
		condensée	5	*ad libitum*	2195	114,5	49,0	38	12	50
				ad libitum	2085	75,1	50,2	51	14	52
				limité	2195	61,9	52,8	54	16	65
				limité	2085	38,2	50,8	78	21	93
		condensée	3	*ad libitum*	2195	108,6	42,6	34	10	40
				ad libitum	2085	87,4	44,7	36	13	37
				limité	2195	62,7	52,1	49	16	57
				limité	2085	39,0	46,3	54	18	63
		condensée	1,5	*ad libitum*	2195	103,0	33,8	35	13	36
				ad libitum	2085	86,8	39,8	40	11	47
				limité	2195	59,2	39,5	53	17	78
				limité	2085	42,0	42,4	61	17	78

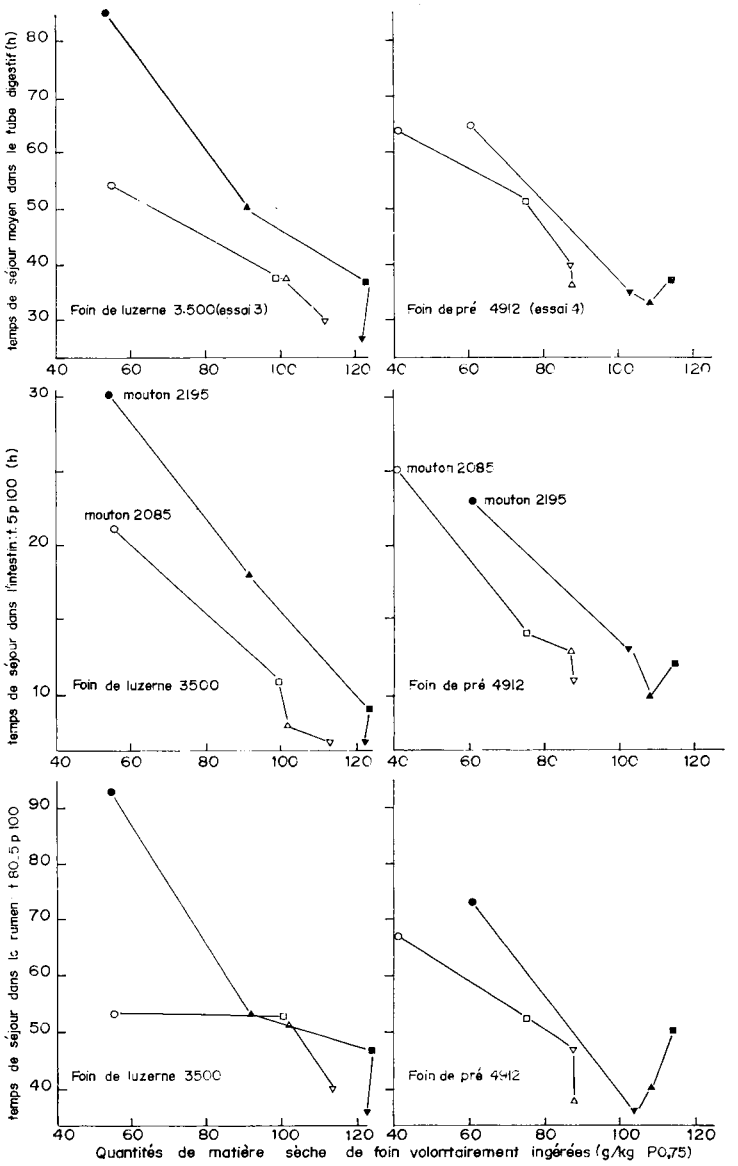

FIG. 5. — *Relations entre le temps de séjour du foin dans le tube digestif et la quantité de matière sèche ingérée*

	Hachée	Condensée					
		5 mm		3 mm		1,7 mm	
	ad lib.	*ad lib.* limité		*ad lib.* limité		*ad lib.* limité	
Mouton 2 195	●	■	■	▲	▲	▼	▽
Mouton 2 085	○	□	□	△	△	▽	▼

revanche si les foins condensés sont ingérés en même quantité que les foins hachés, seul le temps de rétention dans l'intestin diminue ; le temps de rétention moyen dans le tube digestif et le temps de rétention moyen dans le rumen ne diminuent pas automatiquement et peuvent même augmenter comme c'est le cas chez le mouton 2085 (tabl. 5). Il apparaît en effet une liaison étroite entre les quantités de foin ingérées *ad libitum* par un mouton et le temps de rétention moyen dans le tube digestif (fig. 5). L'accélération du transit digestif avec les foins condensés semble donc résulter essentiellement de l'augmentation des quantités ingérées.

Il existe également une liaison étroite entre les coefficients de digestibilité de la matière organique du foin de luzerne de l'essai 3 (coefficients différents suivant les moutons, la forme de présentation, la finesse de broyage et le niveau d'alimentation des moutons), et le temps de rétention moyen dans le tube digestif (R = + 0,950) ou le temps de rétention dans le rumen (R = + 0,936) (fig. 6 A).

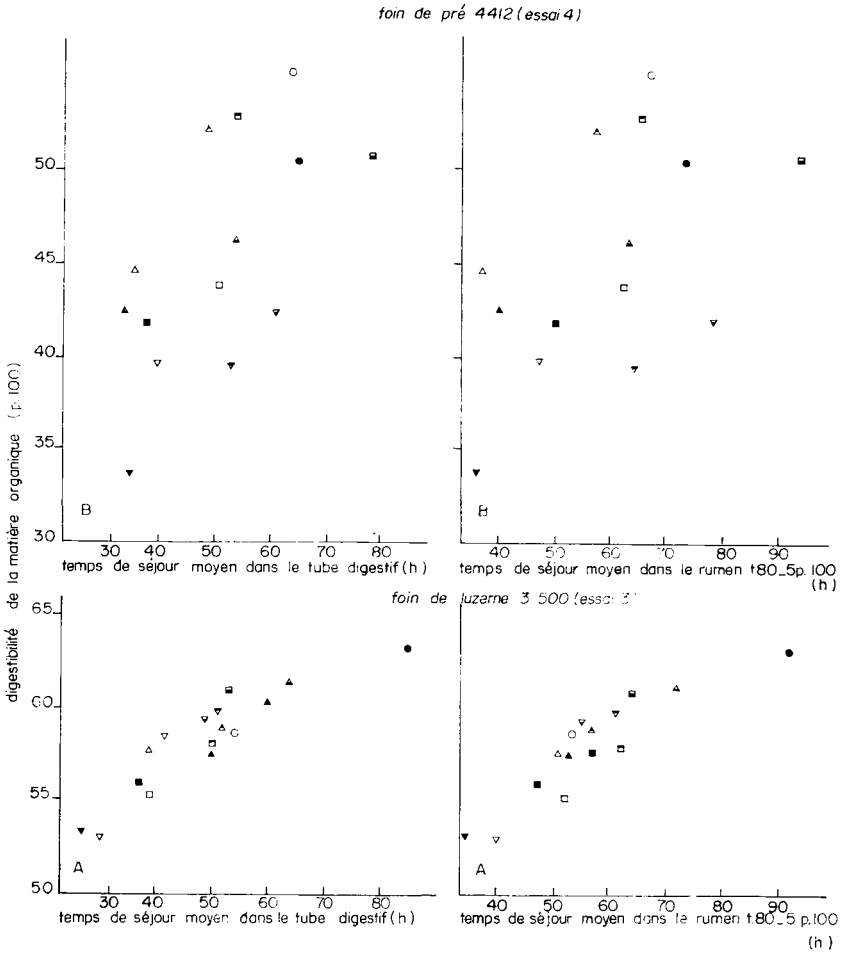

FIG. 6. — *Relations entre la digestibilité de la matière organique d'un foin et la vitesse de transit digestif*
(les symboles ont la même signification que ceux de la figure 5)

Ces liaisons très étroites montrent d'une part que les différences de digestibilité entre les deux moutons pour un aliment donné s'expliquent essentiellement par des différences dans la vitesse de transit digestif, d'autre part que la diminution de digestibilité provoquée par le broyage et la mise en agglomérés du foin de luzerne semble liée essentiellement à une accélération du transit digestif. Il n'en est pas de même avec le foin de pré de l'essai 4 ; broyé finement (3 mm et surtout 1,5 mm) et distribué en quantité limitée, il est beaucoup moins digestible que ce qu'on pouvait attendre compte tenu de la vitesse de transit digestif (fig. 6 B). La diminution de digestibilité du foin de pré condensé n'est donc pas due essentiellement à une vitesse de transit accéléré et une autre cause doit être recherchée.

Comportement alimentaire

L'ingestion de foins condensés provoque une modification importante du comportement alimentaire des animaux et cela d'autant plus que les foins sont broyés plus finement avant d'être condensés. Quand les animaux reçoivent les foins condensés, ils passent moins de temps à consommer et à ruminer et beaucoup plus de temps à ne rien faire, malgré une augmentation importante des quantités ingérées (tabl. 6). La fréquence des périodes d'ingestion est aussi profondément modifiée ; quand les animaux reçoivent du foin haché, ils effectuent un petit nombre (6 à 8) de longs repas alors qu'ils effectuent un grand nombre (15 à 20) de repas courts lorsqu'ils reçoivent du foin condensé *ad libitum*. Les modifications du comportement alimentaire, en particulier du temps de consommation, sont encore plus spectaculaires quand les foins condensés sont distribués en quantité limitée : l'ingestion est alors extrêmement rapide ; les moutons n'effectuent que deux repas très courts correspondant aux deux distributions. Après avoir ingéré sous forme de foin condensé une quantité de matière sèche au moins égale à celle ingérée sous forme de haché, et cela beaucoup plus rapidement, les animaux ont encore faim, ce qu'ils manifestent par une grande nervosité après le repas et par des bêlements.

Le temps de consommation et de rumination correspondant à une ingestion de 1 kg de matière sèche sont donc très différents suivant la forme de présentation du foin, la finesse de broyage et la quantité de foin offerte (tabl. 6). C'est ainsi que le temps de consommation correspondant à une ingestion de 1 kg de matière sèche sous forme de foin haché est respectivement de 5 heures et 3 h 40 minutes pour le foin de luzerne et le foin de pré ; quand ces foins sont condensés après broyage à la grille de 1,5 mm, il tombe respectivement à 1 h 10 et 1 h 50 minutes quand ils sont offerts *ad libitum* et respectivement à 32 et 18 minutes quand ils sont offerts en quantité limitée, égale à celle ingérée sous forme de foin haché.

Le temps de rumination correspondant à une ingestion de 1 kg de matière sèche diminue aussi dans des proportions importantes mais est beaucoup plus élevé quand les animaux reçoivent les foins condensés en quantité limitée que lorsqu'ils les reçoivent *ad libitum*. Le temps total passé à ruminer après l'ingestion de foins condensés est en effet quasiment indépendant du niveau d'ingestion. La rumination ne disparaît pas, même avec les foins condensés après un broyage très fin. Cependant quand les moutons reçoivent le foin de pré condensé après un double broyage à la grille de 1,5 mm, la rumination est très différente de celle observée lors des autres périodes

TABLEAU 6

Nombre et durée des périodes d'ingestion, de rumination et de repos suivant la forme de présentation et la finesse de broyage des foins 3500 et 4912 et la quantité de foin offerte

Essai	Foin	Forme de présentation	Finesse de broyage (mm)	Niveau	Nbre de moutons	Comportement alimentaire								
						Durée en p. 100 du temps total			Durée en minutes par kg de matière sèche		Fréquence des périodes		
						Consommation	Rumination	Repos	Consommation	Rumination	Consommation	Rumination	Repos
III	Foin de luzerne 3500	hachée		*ad libitum*	1	20,6	30,1	49,3	302	442	6	20	26
		condensée	5	*ad libitum*	1	20,6	25,3	54,0	146	179	17	17	30
			5	limité	1	6,2	15,3	78,5	80	200	2	17	20
			3	*ad libitum*	1	12,8	25,1	62,1	79	154	18	21	37
			3	limité	1	3,4	21,2	75,4	46	286	2	21	25
			1,5	*ad libitum*	1	12,7	9,1	78,2	70	50	14	13	27
			1,5	limité	1	2,3	13,2	84,5	32	179	2	20	23
IV	Foin de pré 4912	hachée		*ad libitum*	2	15,3	36,5	48,2	220	525	8	18	24
		condensée	5	*ad libitum*	2	12,6	18,9	68,4	86	130	14	17	30
			5	limité	2	1,8	23,8	74,3	25	339	2	20	23
			3	*ad libitum*	2	14,0	7,1	78,8	94	45	21	11	31
			3	limité	2	1,7	19,2	79,1	25	283	2	19	18
			1,5	*ad libitum*	2	16,2	8,1	75,6	109	53	17	19	34
			1,5	limité	2	1,2	5,4	93,3	18	85	2	12	18

d'observation. Elle doit correspondre à la pseudo-rumination définie par RUCKEBUSCH (1963) sans remontée de bols alimentaires, avec des cycles de rumination très courts.

DISCUSSION

Pendant les 4 années au cours desquelles les résultats qui viennent d'être exposés ont été obtenus, la méthode de mesure a varié. Nous avons employé d'abord un dispositif expérimental en carré latin. Il nous est apparu alors qu'une période préexpérimentale de 10 ou 15 jours était insuffisante quand les moutons passaient d'un régime de foin haché à un régime de foin broyé ou condensé et, surtout, quand ils effectuaient le passage inverse. Il en résultait des coefficients de variation élevés du coefficient de digestibilité de la matière sèche (tabl. 3). Nous avons alors adopté le dispositif expérimental des blocs avec répétition qui permet, quand il le faut, d'allonger certaines périodes préexpérimentales sans allonger par trop la durée de l'expérience. Nous avons allongé à 3 semaines la période préexpérimentale entre la forme hachée et la forme condensée, ce qui d'ailleurs d'après les résultats de BLAXTER et *al.*, (1961) devrait permettre une mesure plus exacte de la quantité volontairement ingérés par les animaux. Nous ne sommes cependant pas encore certains que cette durée soit suffisante pour effectuer une mesure parfaite de la digestibilité. Les périodes préexpérimentales de 10 jours entre les foins condensés de l'essai 4 ont peut-être aussi été de durée insuffisante, leur allongement aurait du permettre une réduction du coefficient de variation du coefficient de digestibilité. Il est vraisemblable que le passage d'un foin sous forme hachée au même foin sous forme condensée, ou inversement, doit provoquer une modification importante des conditions physico-chimiques régnant dans le rumen et, par là, une modification de la population microbienne qui ne retrouve un nouvel équilibre qu'après un laps de temps plus ou moins long. Il pourrait en être de même pour le passage d'un foin condensé d'une finesse donnée à un foin condensé d'une autre finesse de broyage.

Compte tenu des insuffisances que nous venons d'exposer, nos résultats montrent cependant clairement que le broyage des foins, suivi ou non de leur mise en agglomérés, modifie considérablement leur valeur alimentaire pour le mouton et le comportement alimentaire de ce dernier. Les foins broyés ou condensés sont ingérés en plus grande quantité ; ils transitent plus rapidement à l'intérieur du tube digestif et leur digestibilité diminue.

Augmentation des quantités ingérées

Les foins broyés ou condensés ont été ingérés en plus grande quantité que les foins hachés correspondants. Les augmentations que nous avons observées (36 à 96 p. 100) sont du même ordre que celles enregistrées (10 à plus de 100 p. 100) par HEANEY et *al.* (1963) travaillant avec des moutons adultes mais sont généralement supérieures à celles généralement observées par les auteurs travaillant sur des agneaux (2,1 à 52,2 p. 100) ou sur des bœufs (8 à 51 p. 100) (cf. revue de BEARDSLEY 1964). On sait que la quantité de fourrages ingérée par le ruminant dépend avant tout de la masse qui encombre son rumen, plus cette masse disparaît rapidement, plus l'animal ingère de grandes quantités (cf. revue de BALCH et CAMPLING, 1962). Or, nous cons-

tatons, en accord avec d'autres auteurs (BLAXTER et *al.*, 1956 ; MEYER et *al.*, 1959 ; RODRIGUE et ALLEN, 1960) que les foins condensés distribués à volonté séjournent beaucoup moins longtemps dans le rumen et dans la totalité du tube digestif que les foins hachés, et cela, d'autant plus que les foins condensés ont été broyés plus finement. Aussi l'hypothèse généralement avancée jusqu'ici pour expliquer l'augmentation des quantités ingérées est la suivante : le broyage réduit le foin en particules de tailles suffisamment petites pour qu'elles puissent franchir l'orifice rumen-feuillet et le temps de séjour dans le rumen diminuant, l'animal pourrait consommer davantage.

Il semble cependant qu'il n'en soit pas ainsi ; les foins condensés ne sont pas ingérés en plus grande quantité parce qu'ils transitent plus vite à l'intérieur du tube digestif, mais ils transitent plus vite à l'intérieur du tube digestif, parce qu'ils sont ingérés en plus grande quantité. Nous constatons en effet que si ces foins condensés sont distribués en quantité égale à celle ingérée sous forme de foin haché, la vitesse de transit n'augmente pas automatiquement et peut parfois diminuer.

On peut penser que l'augmentation des quantités ingérées est due :

— soit au fait que les foins broyés ou condensés occupent à l'intérieur du rumen un volume inférieur à celui occupé par le même poids de foin haché et l'animal n'a une sensation de réplétion qu'après avoir ingéré une quantité de foin broyé ou condensé plus importante que celle de foin haché. En effet les moutons recevant un repas de foin condensé distribué en quantité limitée ont encore faim après ce repas bien qu'ils l'ingèrent beaucoup plus vite qu'un repas de foin haché.

— soit au fait que les foins broyés ou condensés sont plus facilement accessibles et peut-être plus appétibles, que les foins hachés. Cette hypothèse explique, en outre, peut-être pourquoi les foins condensés sont ingérés en plus grande quantité que les foins broyés : la mise en agglomérés rendrait le foin broyé plus accessible et vraisemblablement plus appétible pour les animaux, ce qui est en accord avec l'hypothèse de MEYER et *al.*, (1959).

— enfin cette augmentation des quantités ingérées serait facilitée par le fait que le foin broyé ou condensé étant réduit en particules suffisamment fines a la possibilité de transiter d'autant plus vite qu'il est ingéré en grande quantité, possibilité que ne possède pas ou possède très peu le foin haché : pour quitter le rumen ce dernier doit être réduit en fines particules sous l'action conjuguée des microorganismes du rumen et de la mastication mérycique, ce qui implique la digestion quasi totale des constituants membranaires digestibles. Cela semble confirmé par les liaisons très étroites entre la vitesse de transit et les quantités ingérées et par le fait que lorsque les animaux reçoivent des foins condensés la reprise de l'ingestion se fait après des temps beaucoup plus courts, ce qui entraîne une augmentation du nombre de repas.

Les quantités de foin condensé ingérées ont cependant une limite qui est de l'ordre de 80 et 95 g de matière sèche par kg P 0,75 respectivement pour les foins de graminées et de luzerne condensés après un broyage à la grille de 3 mm. On peut penser, et c'est l'hypothèse qu'ont faite MONTGOMERY et BAAUMGARDT (1965),que l'animal recevant des aliments condensés règle son appétit pour ingérer une quantité constante d'énergie, comme le fait le monogastrique. Mais s'il en était ainsi, la quantité de matière sèche ingérée serait d'autant plus élevée que le foin condensé est de qualité médiocre, ce qui n'est pas le cas dans ces expériences. Plus simplement on

peut penser que les quantités ingérées correspondent peut-être à celles qui assurent à l'animal un sentiment de réplétion et arrêtent l'ingestion. En effet, à partir d'une certaine quantité de matière sèche ingérée, il doit se produire un engorgement du feuillet et de l'intestin (cf. publication III) parce que le temps de séjour intestinal ne peut vraisemblablement pas descendre au-dessous d'une valeur minimum. A son tour l'engorgement du feuillet doit limiter la quantité de contenu pouvant quitter le rumen, hypothèse déjà proposée par CAMPLING (1963).

Pour un foin donné, la quantité de cellulose brute digestible ingérée reste remarquablement constante quelle que soit la forme de présentation du foin, et par là quelles que soient les quantités de matière sèche et de cellulose brute ingérée. Tout se passe comme si les moutons ne pouvaient digérer qu'une quantité de cellulose brute relativement constante pour un foin donné. Cette quantité doit correspondre à celle que peuvent dégrader en 24 heures les microorganismes du rumen, compte tenu du type de cellulose, c'est-à-dire essentiellement de la lignification de la cellulose qu'ils ont à leur disposition. Ce fait est à rapprocher de ce que nous avions observé chez le mouton recevant des fourrages verts et confirme l'hypothèse que nous avons alors avancée (DEMARQUILLY, 1965).

Modifications de la digestibilité

En accord avec de nombreux auteurs (cf. revue de MINSON, 1962), nous constatons que le fait de broyer un foin diminue en général sa digestibilité. Cela pour deux raisons : — d'une part l'accélération du transit digestif consécutive à l'augmentation des quantités ingérées fait que les foins broyés ou condensés subissent moins longtemps l'attaque des microorganismes du rumen et même des enzymes intestinaux. Cette diminution de l'attaque microbienne de toutes les particules affecte essentiellement les constituants membranaires qui sont dégradés lentement — d'autre part une partie des foins broyés ou condensés (surtout s'ils sont réduits en fines particules) doit transiter le long du tube digestif sans séjourner dans le rumen ; c'est ainsi que le foin condensé coloré étant donné à 17 heures, les premières particules colorées apparaissent dans les fèces peu après minuit quand les moutons sont alimentés *ad libitum*. Une partie des particules échappe donc à l'attaque microbienne dans le rumen et les constituants de ces particules peuvent ne pas être ou être incomplètement digérés même s'ils sont très digestibles et rapidement fermentescibles.

La digestibilité des foins broyés ou condensés peut donc diminuer mais de façon différente suivant :

a) Le niveau d'ingestion : l'accélération du transit digestif résultant essentiellement de l'augmentation des quantités ingérées, il est normal que la digestibilité des foins broyés diminue moins que celle des foins condensés, tous deux étant distribués *ad libitum*.

Proportionnellement la digestibilité diminue cependant beaucoup moins que le temps de séjour dans le tube digestif. Les foins broyés ou condensés offrent une surface d'attaque aux microorganismes du rumen plus importante que les foins hachés et ils doivent être dégradés plus rapidement. Cette augmentation de la vitesse de digestion a d'ailleurs été montrée *in vitro* par certains auteurs (MEYER et *al.*, 1959 ; JOURNET et DEMARQUILLY, 1967) mais non par tous (GRIEVE et *al.*, 1963).

b) La nature des constituants du fourrage : l'accélération du transit digestif va modifier la digestibilité des constituants de façon différente suivant que ceux-ci sont dégradés rapidement ou lentement dans le rumen.

La digestibilité des constituants entièrement digestibles (glucides solubles) n'est pas affectée car leur digestion doit être extrêmement rapide. La digestibilité des matières azotées ne varie pas beaucoup quand on tient compte des variations de la teneur en matières azotées entre les différentes formes de présentation du même foin ; elle ne semble diminuer que lorsque la digestibilité de la matière organique diminue beaucoup.

Ce sont les constituants membranaires, la cellulose en particulier, dont la digestibilité diminue le plus. La raison en est que ces constituants sont dégradés lentement et sont digérés essentiellement dans le rumen. Cependant, nous avons vu que la diminution de leur digestibilité était artificiellement amplifiée par le fait que leur teneur dans les foins broyés et surtout condensés apparaissait plus faible à l'analyse que leur teneur dans les foins hachés.

c) La nature du fourrage : la digestibilité des foins broyés ou condensés de luzerne diminue beaucoup moins que celle des foins broyés ou condensés de graminées. La digestibilité des foins condensés de luzerne semble dépendre essentiellement de leur vitesse de transit (fig. 6 A). En revanche, les foins condensés de graminées distribués en quantité limitée, sont, notamment ceux correspondant à un broyage fin, beaucoup moins digestibles que le foin haché correspondant bien qu'ils transitent le long du tube digestif à peu près à la même vitesse (fig. 6 B). Nous verrons dans les publications II et III que l'ingestion de foin condensé provoque une diminution du pouvoir de digestion de la population microbienne du rumen surtout importante quand

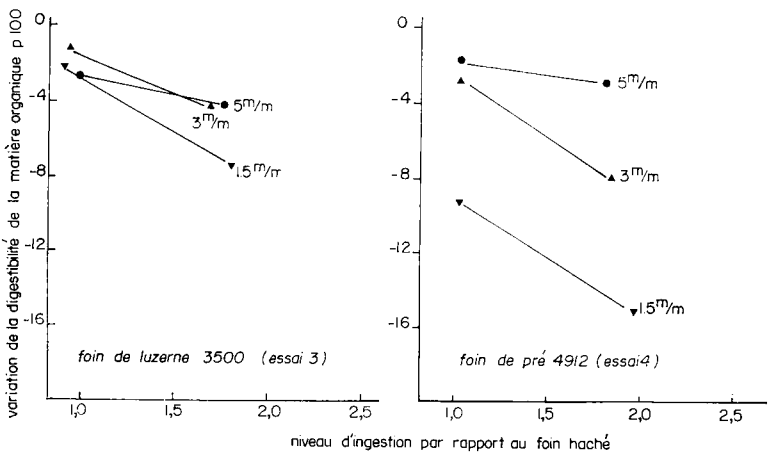

FIG. 7. — *Diminution de la digestibilité de la matière organique des foins condensés suivant leur nature, la finesse de broyage du foin et le niveau d'ingestion des moutons*

les animaux ingèrent des foins de graminées. La dégradation des membranes de graminées étant plus lente que celle des membranes de luzerne les graminées sont plus sensibles — d'une part à la diminution du temps de séjour dans le rumen — d'autre part à la diminution du pouvoir cellulolytique du jus de rumen. Il en résulte

que le niveau d'ingestion et la finesse de broyage ont une influence beaucoup plus grande sur la digestibilité des foins condensés de graminées que sur celle des foins condensés de luzerne (fig. 7).

Conséquences zootechniques

Le broyage des foins, surtout s'il est suivi d'une mise en agglomérés permet aux animaux qui les reçoivent d'ingérer beaucoup plus de matière organique digestible (32 à 62 p. 100 suivant les foins) et cela malgré la diminution de la digestibilité. D'ailleurs cette diminution de digestibilité n'entraîne peut-être pas une diminution de la valeur énergétique nette des foins (BLAXTER et GRAHAM, 1956). Il est vraisemblable cependant que dans le cas d'un broyage très fin, la diminution de digestibilité constatée est trop importante pour ne pas entraîner une diminution de la valeur énergétique.

Il semble donc qu'on n'ait pas intérêt à broyer finement le foin quand on veut le distribuer à volonté, surtout s'il s'agit de foin de graminées (fig. 7). Il est peut-être possible de trouver une finesse de broyage qui permette une augmentation des quantités ingérées égale à celle que nous avons observée sans diminution appréciable de la digestibilité, tout au moins avec les foins de luzerne. Cela serait particulièrement intéressant pour les vaches laitières chez lesquelles on cherche à ne pas modifier la composition du mélange des acides gras volatils du jus de rumen de façon à ne pas diminuer le taux butyreux du lait. Il n'en est peut-être pas de même si les foins sont condensés après addition d'aliments concentrés et utilisés pour engraisser des animaux. Dans ce cas, on n'observe pas toujours d'augmentation des quantités ingérées (BÉRANGER et JARRIGE, 1963) et on peut avoir intérêt à provoquer d'importantes modifications des fermentations au niveau du rumen notamment à abaisser la teneur en acide acétique. La solution pour y parvenir est peut-être de broyer très finement et d'utiliser plutôt les graminées que les légumineuses mais cela reste à démontrer.

L'emploi des foins condensés, doit permettre une économie importante d'aliments concentrés. Le broyage et la mise en agglomérés permettent cependant d'augmenter d'autant plus la valeur alimentaire globale des foins qu'ils sont de mauvaise qualité ; la quantité de foin long ingérée dépend en effet essentiellement de la valeur nutritive du foin, alors que la quantité de foin condensé ingérée en est pratiquement indépendante.

Reçu pour publication en mars 1967.

SUMMARY

FEEDING VALUE OF PELLETED HAYS. I. — INFLUENCE OF TYPE OF HAY AND FINENESS OF GRINDING ON DIGESTIBILITY AND AMOUNT EATEN

1. Between 1961 and 1965 four experiments were done in an attempt to analyse and explain the changes in digestibility and acceptability caused by grinding of hays followed by pelleting or not. The study was with sheep kept in metabolism cages, and referred to 6 hays, 3 of grass and 3 of lucerne, selected for different digestibilities.

2. In the first trial digestibility and acceptability of a meadow fescue hay (D 48) and of a hybrid

ryegrass hay (D 68) were estimated. Each was given chopped in the usual way, ground (through a 3 mm screen) or pelleted (ground through a 3 mm screen and pelleted). Each feed was offered to appetite to animals allowing 10 to 15 per cent refusals. Before each meal an equal weight of water was added to the ground hay.

In the second trial lucerne hays of the first cycle (264) and of the third cycle (2602) were chosen. The forms in which the feeds were offered and fineness of grinding were the same as in the first trial.

In the third trial the hay was of lucerne (3500). Part of it was chopped and part was ground to three different degrees of fineness : through a 5 mm screen, through a 3 mm screen, or twice through a 1.5 mm screen. The ground hays were then pelleted. Each pelleted hay was given to appetite, and then in amount restricted to that eaten when the hay was chopped. With 2 of the 8 sheep rate of passage through the digestive tract was estimated also, by the method of coloured particles, and with 2 others feeding behaviour was studied by the method of RUCKEBUSCH (1963).

The fourth trial differed from the third only in the type of hay, which was from permanent pasture based on grasses (4912). The sheep were the same as those in the third trial.

Proportions of particle sizes was estimated in the ground hays in the third and fourth trials before they were pelleted (fig. 1).

3. Chemical composition of the hays is reported in table 1. On average crude fibre content was 0.9 percentage unit less than in the corresponding chopped hay, and that of pelleted hay was 4.5 units less. This difference in crude fibre content seemed to be related to the method of analysis; the treatment undergone by the forage made the fibre more susceptible to hydrolysis by the dilute acid, and less was found by analysis (table 2).

4. Values for percentage digestibility found in different trials are presented in tables 2 and 3 and figure 2. Digestibility of organic matter diminished in different ways : from 0.4 percentage unit for ground lucerne hay 2602 in the second trial to 15.1 units for meadow hay 4912 pelleted after grinding twice through the 1.5 mm screen in the fourth trial. The reduction in digestibility of organic matter depended on :

Amount eaten. Digestibility of pelleted hays fell more when they were given to appetite than when they were restricted, average 6.5 units against 2.0 units for the lucerne in the third trial and 8.7 against 4.7 units for the meadow hay in the fourth trial.

On pelleting of ground hay. Digestibility of ground hay was between those of chopped and pelleted hays.

On the fineness of grinding. Digestibility decreased as the degree of fineness increased (fig. 2).

On the type of hay. Digestibility was reduced much more by pelleting of grass than of legume hays. The reduction was on average 9 percentage units for the 3 grass hays pelleted after grinding through the 3 mm screen and given to appetite, but only 4 units for the 3 lucerne hays pelleted after grinding through the same screen.

If account is taken of the protein contents of the different forms of the same hay it may be said that grinding and pelleting do not affect the digestibility of crude protein except when grinding is very fine and causes a large reduction in digestibility of organic matter.

On the other hand grinding, particularly when followed by pelleting, greatly reduced digestibility of plant membranes, particularly that of crude fibre. This reduction is, moreover, emphasised by the fact that there is less crude fibre in the pelleted than in the chopped hays.

5. Grinding of hay increased intake by 33 per cent, on average ; 13.9 to 25.4 g per kg metabolic weight ($W^{0.75}$) according to the hay (fig. 4). Pelleting gave another increase which was significant only for 2 of the grass hays. Thus intakes of pelleted hays were much greater than those of the corresponding chopped hays, from 36 to 96 per cent, 25.3 to 45.4 g per kg $W^{0.75}$, according to the hay. Fineness of grinding had little effect on the amount eaten. Intake of digestible organic matter also increased greatly when the hays were ground, by 18 to 36 per cent for different hays, and even more after pelleting, 32 to 62 per cent (fig. 4). Intake of digestible fibre was independent of the form in which the hay was given or the degree of fineness of grinding. There was a large significant increase in intake of drinking water when the sheep were given pelleted hays (table 4).

6. Pelleted hays given to appetite remained for less time in the digestive tract than the corresponding chopped hays. On the other hand, if the pelleted hays were given in restricted amount only retention time in the intestine decreased (table 5). There would seem to be a close relation between the amount of hay eaten and mean retention time in the digestive tract (table 5). The increase in rate of passage through the digestive tract thus seems to result essentially from the increase in amount eaten.

There was also a relation between digestibility of organic matter and retention time in the digestive tract or in the rumen. The relations were very strong for lucerne (fig. 6 A) and very weak for grasses (fig. 6 B). The decrease in digestibility of pelleted meadow hay was not essentially due to an increased rate of passage and another cause must be sought.

7. Pelleted hay caused large changes in the feeding behaviour, more when the hay was more finely ground (table 6). The animals spent less time eating and ruminating, but they took feed more frequently, 15 to 20 times against 6 to 8 times with chopped hay.

8. The increase in amount eaten when hay was ground or pelleted increased rate of passage of feed and this reduced digestibility. The increase in amount eaten seems to be due either to the fact that the concentrated hays occupied a smaller volume in the rumen than the same weight of chopped hay or to the fact that the pelleted hays were more accessible, or perhaps more appetising than the chopped. The increase in intake is also facilitated by the fact that the ground hays can travel through the digestive tract more quickly the greater the intake.

9. The reduction in digestibility seems to be essentially a result of the shorter time during which ground or pelleted hays are subjected to attack by the rumen microorganisms. Thus it depends on the amount eaten and affects principally the membrane constituents which are broken down slowly. It is greater in grasses than in legumes (fig. 7) because ingestion of pelleted hays reduces the digestive capacity of the rumen microorganisms which is of greatest importance when the animals are eating grasses.

10. The consequences of this study to animal husbandry are discussed. In particular it seems that there is no advantage in grinding hay finely if it is to be offered to appetite, particularly as regards grass hays. (fig. 7).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BALCH C. C., 1950. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. I. The rate of passage of food through the digestive tract. *Brit. J. Nutr.*, **4**, 361.

BALCH C. C., CAMPLING R. C., 1962. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutr. Abst. Rev.*, **32**, 669.

BEARDSLEY D. M., 1964. Symposium on forage utilization ; nutritive value of forage as affected by physical form. Part II. Beef cattle and sheep studies. *J. anim. Sci.*, **23**, 239-245.

BÉRANGER C., JARRIGE R., 1962. Utilisation des aliments broyés et agglomérés par les bovins. I. Comparaison du foin de luzerne normal et du foin de luzerne broyé dans l'alimentation du bœuf à l'engrais. *Ann. Zootech.*, **11**, 273-294.

BLAXTER K. L., GRAHAM N. MC C., 1956. The effect of the grinding and cubing process an the utilization of the energy of dried grass. *J. Agric. Sci.*, **47**, 207.

BLAXTER K. L., WAINMAN F. W., WILSON R. S., 1961. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.*, **3**, 51-61.

CAMPLING R. C., FREER M., BALCH C. C., 1963. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 6. A preliminary experiment with ground, pelleted hay. *Brit. J. Nutr.*, **17**, 263-272.

CASTLE E. J., 1956. The rate of passage of foodstuffs through the alimentary tract of the goat. I. Studies on adult animals fed on hay and concentrates. *Brit. J. Nutr.*, 10-15.

CHURCH D. C., 1961. Hight roughage pellets for fattening lambs. *Feedstuffs*, **33**, 9, 38.

DEMARQUILLY C., 1965. Factors affecting the voluntary intake of green forage by sheep. *Proc. IXth Intern. Grassland Congress.*, Sao Paulo, Section 9 ; *op.* 400.

GARRETT W. N., MEYERS J. H., LOFGREEN G. P., DOBIE J. B., 1961. Effect of pellet size and composition on feedlot performance carcass charactéristics and rumen parakeratosis of fattening steers. *J. animal Sci.*, **20**, 833-838.

GRIEVE C. M., ROBBLEE A. R., MCEBROY L. W., 1963. Native lowlands hay in pelleted and non-pelleted rations for sheep. II. Effects on rate fermentation in the rumen. *Can. J. Anim. Sci.*, **43**, 196-201.

HEANEY D. P., PIGDEN W. J., MINSON D. J., PRITCHARD G. I., 1963. Effect of pelleting on energy intake of sheep from forages cut at three stages of maturity. *J. anim. Sci.* **22**, 752-757.

JARRIGE R., 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères. I. Fractionnement des constituants de la membrane par les hydrolyses acides. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **1**, 163-212.

JOURNET M., DEMARQUILLY C., 1967. Valeur alimentaire des foins condensés. II. influence du broyage et de la mise en agglomérés sur la digestion dans le rumen des foins de luzerne (en préparation).

LEFFEL F. C., 1960. Diet and rumen volatile fatty acid production. *Proc.* 1960 *Nut. Conf. feed.*, University of Maryland, pp. 93-95.

LOOSLI J. K., 1959. Pelleted feeds for ruminants. *Proc. Distillers'Feed Conf.*, 14-22.

MEYER J. H., WEIR W. C., DOBIE J. B., HULL J. L., 1959. Influence of the method of preparation on the feeding value of alfalfa hay. *J. anim. Sci.*, **18**, 976.

MINSON D. J., 1962. The effect of grinding, pelleting and wafering on the feeding value of roughages : a review. *Contrib. n° 84, Anim. Res. instit., Canada Dept Agr.*, Ottawa, Ontario.

MONTGOMERY M. J., BAUMGARDT B. R., 1965. Regulation of food intake in ruminants. 1. Pelleted rations varying in energy concentration. *J. Dairy Sci.*, **48**, 569-574.

MOODY E. G., 1962. Pelleted alfalfa and coastral bermudagrass as dairy roughages. *J. Dairy Sci.*, **45**, 694 (Abstr).

MOORE L. A., 1964. Symposium on forage utilization : nutritive value of forage as affected by physical form, Part 1. General principles involved with ruminants and effect of feeding pelleted or wafered forage to dairy cattle. *J. anim. Sci.*, **23**, 230-238.

PUTNAM P. A., DAVIS R. E., 1961. Effect of feeding pelleted complete rations to lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **44**, 1465.

RODRIGUE C. B., ALLEN N. N., 1960. The effect of fine grinding of hay on ration digestibility, rate of passage and fat content of milk. *Can. J. anim. Sci.*, **40**, 23.

RUCKEBUSCH Y., MARQUET J.-P., 1963. Recherches sur le comportement alimentaire chez les ruminants 1. Influence de la structure physique des aliments. *Rev. Med. Vet.*, **114**, 833-856.

WRIGHT P. L., POPE A. L., PHILIPPS P. H., 1963. Effect of physical form of ration upon digestion and volatile fatty acid production *in vivo* and *in vitro*. *J. Anim. Sci.*, **22**, 586-591.