

VALEUR ALIMENTAIRE DES FOINS CONDENSÉS

II. — INFLUENCE DU BROYAGE ET DE LA MISE EN AGGLOMÉRÉS SUR LA DIGESTION DU FOIN DE LUZERNE DANS LE RUMEN

M. JOURNET et C. DEMARQUILLY

avec la collaboration technique de Louise TOULLEC et R. CHAVANNE

*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

L'étude de la digestion dans le rumen de vaches fistulisées, de deux foins de luzerne sous forme normale et sous forme condensée (agglomérée après avoir été finement broyée) a été effectuée pour interpréter les modifications des quantités volontairement ingérées et de la digestibilité observées antérieurement sur des moutons (DEMARQUILLY et JOURNET, 1967).

La digestibilité du foin de luzerne diminue peu lorsqu'il est présenté sous forme condensée, malgré une augmentation importante du niveau d'ingestion et de la vitesse de transit digestif. Cela semble dû à une vitesse de fermentation dans le rumen accrue, si on en juge d'après les quantités de gaz produites par la fermentation *in vitro* des contenus de rumen et d'après les concentrations en acides gras volatils et en ammoniacque.

L'activité microbienne est peu modifiée : l'activité cellulolytique est, soit légèrement plus faible, soit égale ou même un peu accrue selon les essais et les méthodes de mesure *in vivo* ou *in vitro*. Les conditions de milieu, le pH, et la composition en acides gras volatils du jus de rumen ont également peu changé. En conséquence il semble que l'augmentation des vitesses de fermentation soit due à une moindre résistance du foin à l'attaque microbienne du fait de sa division en fines particules.

Les informations digestives qui limitent l'ingestion dans le cas des foins condensés et des foins longs ne semblent pas avoir la même origine. En particulier des informations provenant des compartiments digestifs postérieurs au rumen doivent se surimposer à des informations provenant de celui-ci, si on en juge par les différences dans les quantités de contenu digestif total et du contenu du rumen entre les deux régimes.

INTRODUCTION

Le broyage des foins suivi ou non de leur mise en agglomérés a souvent eu pour effet d'augmenter les quantités ingérées et de diminuer la digestibilité (cf. revue de MINSON, 1962). Dans une première étude effectuée avec des moutons, il nous a semblé

que l'augmentation des quantités ingérées était due à l'appétibilité plus grande du foin condensé, d'où il résulte une accélération du transit digestif (DEMARQUILLY et JOURNET, 1967). Les niveaux d'ingestion observés ont été très élevés quelles que soient la nature du foin et la finesse de broyage ; ils semblent avoir atteint une valeur limite pouvant être difficilement dépassée. La diminution de la digestibilité a varié selon les foins mais elle a été systématiquement plus faible pour les foins de luzerne.

Dans une deuxième étude réalisée avec des vaches fistulisées du rumen et en bilan digestif nous nous proposons d'interpréter les résultats précédents. Il s'agit d'une étude préliminaire qui sera suivie d'une troisième étude plus complète ayant pour objet de comparer l'influence du broyage des foins de luzerne et de graminées.

Les particularités du comportement alimentaire des bovins ingérant du foin condensé ont déjà été rapportées par BÉRANGER et JARRIGE (1962), RUCKEBUSCH et MARQUET (1963), FREER et CAMPLING (1965 et 1966). La plupart des auteurs ont observé que les fermentations dans le rumen sont modifiées ; la proportion d'acide propionique ou d'acide butyrique dans le mélange d'acides gras volatils croît aux dépens de l'acide acétique (RHODES et WOODS, 1961 ; BÉRANGER et JARRIGE, 1962 ; JORGENSEN et SCHULTE, 1963 ; WRIGHT et *al.*, 1963). En revanche la vitesse et l'intensité des fermentations et en particulier celle des composés membranaires ont été peu étudiées (MEYER et *al.*, 1959 ; WRIGHT et *al.*, 1963).

MATÉRIEL, ET MÉTHODE

Nous avons comparé deux foins de luzerne sous forme condensée (agglomérée après broyage) aux mêmes foins sous forme normale. Les foins, sous l'une ou l'autre forme, ont été distribués à volonté (6 heures et 18 heures) et laissés en permanence à la disposition des animaux. Les quantités de foin offertes ont été calculées chaque jour pour obtenir environ 15 p. 100 de refus. Les vaches ont reçu de l'eau à volonté dans des abreuvoirs automatiques. Elles n'avaient pas de litière de paille.

Dans l'essai 1, une vache a reçu successivement le foin normal et le foin condensé au cours de deux périodes expérimentales de cinq semaines chacune. Dans l'essai 11, deux vaches ont reçu au cours de la première période, l'une le foin normal et l'autre le foin aggloméré ; ensuite les régimes ont été intervertis. Les périodes expérimentales ont duré 7 semaines.

Les 2 foins récoltés étaient au stade bouton ; ils ont été broyés à travers une grille à mailles de 3 mm et pressés en agglomérés, de 1 cm de diamètre. La répartition par taille des particules du foin condensé dans l'essai 11 a été donnée dans la première étude (foin 3500) (DEMARQUILLY et JOURNET, 1967).

Le tableau 1 donne la composition chimique et la digestibilité du foin normal de l'essai 1 et celles du foin normal et du foin condensé de l'essai 11.

Comportement alimentaire

Les quantités de matière sèche ingérées ont été mesurées à chacune des deux distributions par pesée des quantités offertes et refusées, par mesure de la teneur en matière sèche du foin deux fois par semaine. Les quantités d'eau bues ont été mesurées chaque jour.

L'emploi du temps de l'animal a été mesuré par l'enregistrement graphique des mouvements de la mâchoire pendant 4 jours consécutifs au cours de chacune des périodes expérimentales selon la méthode de RUCKEBUSCH (1963) ; il a été divisé en périodes de consommation, de rumination et de repos (durée pendant laquelle l'animal ne consomme ni ne rumine).

TABLEAU I

Composition, quantité ingérée, digestibilité, vitesse de transit digestif des foins sous forme normale et condensée et des animaux

	Forme de présentation	Composition p. 100 matière sèche		Quantités ingérées		Digestibilité			Temps de séjour dans le tube digestif (heures)		
		Cellulose brute	Matières azotées	Animaux	kg de matière sèche	Matière organique	Cellulose brute	Matières azotées	Temps moyen	Rumen	Intestin
Essai 1	normale condensée	36,6	13,6	moutons		60,7	52,4	67,4			
		35,8	14,5								
Essai 2	normale	36,6	19,0	moutons		60,4	43,2	73,7	71	64	32
				Vache 8306	9,3	60,8	47,1	73,0			
	Vache 535	9,0	63,9	55,2	74,6	60	43	37			
	condensée	31,5	18,6	moutons		56,2	34,8	72,0	42	42	16
Vache 8306				18,4	59,6	40,2	74,8				
				Vache 535	17,8	56,0	37,8	71,7	35	32	16

Digestibilité et transit digestif

Dans l'essai 11, la digestibilité du foin a été mesurée sur chaque vache au cours d'une période de 10 jours située vers la fin de la période expérimentale, environ 4 semaines après la mise en régime. Les fèces ont été recueillies dans des bacs et l'urine a été collectée par une sonde urétrale. A partir des échantillons de fèces prélevés chaque jour et séchés à l'étuve à 80°, on a constitué des échantillons moyens pour la période.

Le transit digestif a été mesuré par la méthode des particules de foin colorées (BALCH, 1950) précédemment exposée.

Quantités de contenu digestif

Le poids du contenu digestif du rumen + réseau a été mesuré 3 heures après le début du repas du matin. Cette mesure a été effectuée deux fois à trois jours d'intervalle à la fin de chaque période expérimentale en vidant manuellement le contenu du rumen par la fistule. La teneur en matière sèche a été mesurée sur un échantillon moyen du contenu.

*Fermentations dans le rumen**Activité fermentaire.*

Nous avons caractérisé l'activité fermentaire par deux méthodes :

1° *In vitro*, nous avons mis le jus de rumen (15 ml) dilué de salive artificielle (25 ml) en présence d'un substrat de foin (1 g). Les gaz formés ont été recueillis dans des éprouvettes graduées sur une solution de CaCl_2 acidifiée. Le jus de rumen a été prélevé 3 heures après le début du repas par succion dans la partie ventrale du rumen et filtré sur 5 épaisseurs de gaze. Le substrat utilisé a été le foin de luzerne expérimental broyé à la grille de 1,5 mm dans l'essai 1, et dans l'essai 11, le foin expérimental broyé à deux finesses différentes 1,5 mm et 5 mm.

2° *In vivo*, nous avons estimé l'activité cellulolytique des jus de rumen par la méthode des fils de coton dans l'essai 1 (BALCH et JOHNSON, 1950) et par la méthode des sachets de nylon dans l'essai 11. Dans cet essai, nous avons suivi l'attaque microbienne de ceux substrats celluloliques (papier-filtre et foin) dans des sachets de nylon déposés au fond du sac ventral du rumen. Ceux-ci étaient constitués par un tissu de nylon à mailles très fines (40 μ), fermés par soudure électrique sur les 4 côtés et attachés à un anneau de plomb gainé de plastique et d'un poids suffisant (1 kg) pour les maintenir au fond du sac ventral du rumen. Les substrats utilisés ont été du papier-filtre finement haché (5 g par sachet) et le foin de luzerne expérimental (10 g) broyé à la grille de 1,5 mm. Les sachets ont été retirés 24, 48 et 72 heures après leur introduction dans le rumen à raison de 4 à chaque fois. Les mesures ont été répétées deux fois sur chaque vache au cours d'une période expérimentale. Nous avons déterminé les pertes de matière sèche de papier-filtre et les pertes de matière sèche et de lignocellulose (JARRIGE, 1961) du foin broyé. Pour éviter que les particules les plus fines du foin ne passent à travers les mailles de nylon des sachets, les échantillons de foin broyé ont préalablement été tamisés (mailles de 100 μ). La fraction ainsi éliminée représente environ 2 p. 100. De ce fait les échantillons de foin mis dans les sachets ne sont pas parfaitement représentatifs du foin utilisé.

Fermentation de contenus de rumen.

Nous avons estimé la vitesse des fermentations dans le rumen par la mesure de la quantité de gaz produite au cours de l'incubation de grosses quantités de contenu digestif prélevé par la fistule selon la méthode de CAROLL et HUNGATE (1954). Trois heures après le début du repas, nous prélevons (en ayant soin de ne pas presser) 10 à 12 poignées de contenu digestif dans le sac ventral du rumen (20 cm environ en dessous de l'orifice de la fistule). Le contenu (800 g) est dilué avec le même poids de jus de rumen prélevé par succion et filtré sur 5 épaisseurs de gaze et par un volume double de salive artificielle qui a été ramenée à pH 6,8 par barbotage avec du CO_2 . Le mélange est réparti dans 3 erlenmeyers et mis rapidement en milieu anaérobie par barbotage d'azote. L'incubation a lieu à 39° dans un bain-marie à agitation. Les gaz sont recueillis dans un spiromètre sur une solution acidifiée de CaCl_2 à 30 p. 100 et les quantités produites sont mesurées à la pression et à la température ambiante et notées à des intervalles de deux heures jusqu'à 8 heures, dans les essais 1 et 11, et à 24 heures dans l'essai 1. Ces mesures ont été répétées 3 jours de suite sur chaque vache.

Composition du jus de rumen.

Dans l'essai 11, des échantillons de jus ont été prélevés dans le sac ventral. Les prélèvements ont été effectués avant le repas du matin et 2, 4, 10 heures après le début du repas une fois à chaque pé-

riode expérimentale et sur chaque vache. Les jus obtenus par succion ont été neutralisés et conservés à 4° après addition de 1 p. 100 de solution de nitrate d'argent à 1 p. 100. Nous avons mesuré l'acidité totale et la composition du mélange d'acides gras volatils par chromatographie en phase gazeuse (JAMES et MARTIN, 1952).

GAUSSERES (1966) a mesuré la teneur en N ammoniacal par distillation à l'appareil de PARNAS-WAGNER de ces mêmes échantillons ainsi que d'un échantillon moyen du jus de rumen prélevé au moment du vidage des contenus par la fistule.

Certaines mesures n'ont pas été faites dans l'essai 1 : l'emploi du temps des animaux, la digestibilité et la vitesse de transit digestif, la composition des jus de rumen.

TABLEAU I (suite)
Comportement alimentaire (essai 2)

Forme de présentation	Vache N°	Durée p. 100 du temps total		Durée-minutes par kg de matière sèche		Fréquence des périodes		
		Consommation	Rumination	Consommation	Rumination	Consommation	Rumination	
Normale	8306	40,7	27,5					de jour (6 h à 18 h) de nuit (18 h à 6 h) en 24 h
		27,8	32,6					
		34,2	30,1	48,5	42,6	15	15	
	535	45,0	29,7					de jour de nuit en 24 h
		22,4	36,2					
		33,7	33,0	54,0	52,8	12	14	
Condensée	8306	33,0	23,4					de jour de nuit en 24 h
		26,8	38,5					
		29,9	30,9	27,9	28,9	12	14	
		34,0	16,4					de jour de nuit en 24 h
		21,3	29,1					
		27,6	22,7	24,1	15,8	16	10	

RÉSULTATS

Comportement alimentaire

La quantité de matière sèche de foin condensé ingérée est supérieure à celle du foin normal correspondant : 1,51 contre 1,18 kg p. 100 kg de poids vif dans l'essai I, soit une augmentation de 32 p. 100 ; 2,56 contre 1,42 kg p. 100 de poids vif dans l'essai II, soit une augmentation de 88 p. 100. La quantité d'eau bue est également plus élevée quand les vaches reçoivent les foins condensés. Cependant, elle n'augmente pas dans les mêmes proportions que la quantité de matière sèche ingérée et elle est inférieure de 1 litre environ par kg de matière sèche ingérée avec les foins condensés : 5,2 et 5,3 litres contre 4,5 et 4,3 litres pour les 2 vaches.

L'emploi du temps de l'animal, mesuré dans l'essai II, est modifié (tabl. I) :

le temps diurne passé à consommer et à ruminer diminue quand les animaux reçoivent les foins condensés ; mais le temps nocturne de rumination et surtout de consommation est moins modifié.

La vitesse d'ingestion est beaucoup plus rapide. Les animaux mettent en gros moitié moins de temps à ingérer 1 kg de matière sèche de foin condensé. Le temps de rumination rapporté au kg de matière sèche ingérée est également inférieur de moitié. Le nombre des périodes passées à ingérer ou à ruminer est peu modifié, sauf le nombre de périodes de rumination de la vache 535 (on a compté une période lorsqu'elle était séparée de la précédente par un arrêt de 5 minutes). Le comportement alimentaire des deux vaches est très semblable quand elles reçoivent le foin normal, mais il est assez différent quand elles reçoivent le foin condensé.

Digestibilité

La digestibilité de la matière organique du foin condensé, mesurée sur les moutons dans l'essai 11, a été inférieure d'environ 4 points à celle du foin normal, celle de la cellulose brute de plus de 8 points, et celle des matières azotées de 1,7 point seulement. Les résultats obtenus sur les deux vaches concordent avec ceux des moutons. Cependant la digestibilité de la matière organique et de la cellulose brute diminue beaucoup plus pour une vache que pour l'autre, bien que les quantités ingérées augmentent dans la même proportion pour les 2 vaches, en passant du foin normal au foin condensé ; elles doublent. Cet accroissement est légèrement supérieur à celui observé avec les moutons. En outre, la digestibilité de la cellulose brute est supérieure à celle mesurée sur les moutons quelle que soit la forme de présentation (tabl. 1).

Transit digestif

Le foin de luzerne condensé séjourne moins longtemps dans le tube digestif que le foin normal. Dans l'essai 11, le temps de séjour moyen dans le tube digestif est égal pour l'une et l'autre vache à 57 p. 100 et 58 p. 100 de celui du foin normal. Le temps rumen (80 p. 100-5 p. 100) est égal à 65 p. 100 et 74 p. 100, et le temps intestin (5 p. 100) est inférieur de moitié environ (tabl. 1).

Ces résultats obtenus selon la méthode de CASTLE (1956) concordent avec ceux obtenus par la méthode de MAKELA (1956) ; le temps moyen de séjour de la matière sèche dans le rumen (poids sec du contenu du rumen / poids de matière sèche journalière ingérée) est égal à 57 et 50 p. 100 de celui du foin normal (tabl. 2).

Le débit de matière organique indigestible dans le tube digestif (quantité excrétée par jour) est en moyenne deux fois plus élevé avec le foin condensé.

Quantités de contenu digestif

Dans les 2 essais, la teneur en matière sèche du contenu du rumen est significativement ($P < 0,05$) plus élevée avec le foin condensé qu'avec le foin normal. Les quantités de contenu frais sont semblables (2 fois sur 3) ; celles du contenu sec sont légèrement supérieures (2 fois sur 3) (tabl. 2). Cependant les quantités de contenu sec de l'ensemble du tube digestif sont, avec le foin condensé, très supérieures de 41 et 58 p. 100 pour l'une et l'autre vache dans l'essai 11. Nous les avons estimées en faisant la somme du poids de matière sèche digestible et du poids de matière sèche indiges-

tible. Le poids de matière sèche indigestible est égal au poids de matière sèche indigestible ingérée par jour \times temps de séjour moyen dans le tube digestif en jours. Le poids de matière sèche digestible contenue dans le réticulo-rumen a été obtenu à partir des quantités de matières sèches ingérées et d'après la cinétique de la dégradation du

TABLEAU 2

Quantité de contenu digestif présente dans le rumen 3 heures après le début du repas

	Essai	Vache n°	Foin normal	Foin condensé
Contenu frais (kg)	Essai I	8306	66,4	66,6
	Essai II	8306	67,5	68,4
		535	56,1	48,2
Contenu sec (kg)	Essai I	8306	7,78	8,30
	Essai II	8306	8,68	10,04
		535	7,09	7,07
Matière sèche (%)	Essai I	8306	11,7	12,5
	Essai II	8306	12,9	14,7
		8306	12,6	14,7
Matière sèche du contenu de rumen	Essai I	8306	0,85	0,69
Matière sèche ingérée le jour précédant le vidage	Essai II	8306	0,84	0,48
		535	0,81	0,39

foin dans le rumen mesurée par la méthode des sachets de nylon (voir ci-après). Nous n'avons pas tenu compte de la quantité de matière sèche digestible contenue dans le reste du tube digestif mais qui représente une faible fraction.

Fermentations dans le rumen

Activité fermentaire du jus de rumen.

Dans l'essai 1 nous n'observons pas de différences *in vitro*, entre les 2 régimes, dans les quantités de gaz dégagées au cours des 6 ou 7 premières heures de fermentation, mais une quantité plus élevée avec le régime condensé au bout de 24 heures. Il faut noter une influence de la finesse du foin utilisé comme substrat : avec un broyage très fin (1,5 mm) le dégagement gazeux est légèrement plus grand qu'avec un broyage grossier (5 mm) (fig. 1). *In vivo*, la perte de poids sec des fils de coton est légèrement plus élevée avec le régime condensé, l'augmentation est significative après 24 heures de séjour dans le rumen (fig. 2).

Dans l'essai 11, *in vitro*, les quantités de gaz dégagées ne sont pas différentes avec les 2 régimes (fig. 1). *In vivo* les pertes de matière sèche et de lignocellulose du foin de luzerne, utilisé comme substrat dans les sachets de nylon et les pertes de poids de cellulose du papier-filtre, sont plus élevées lorsque les animaux consomment le foin normal. Après 48 heures de séjour dans le rumen, elles sont supérieures respectivement de 10, 67 et 125 p. 100. Les différences entre les deux régimes sont cependant de moins en moins importantes au fur et à mesure que le temps de séjour dans le rumen s'accroît. C'est ainsi que la perte de lignocellulose au bout de 24, 48, 72 heures est supérieure respectivement de 112, 67 et 31 p. 100.

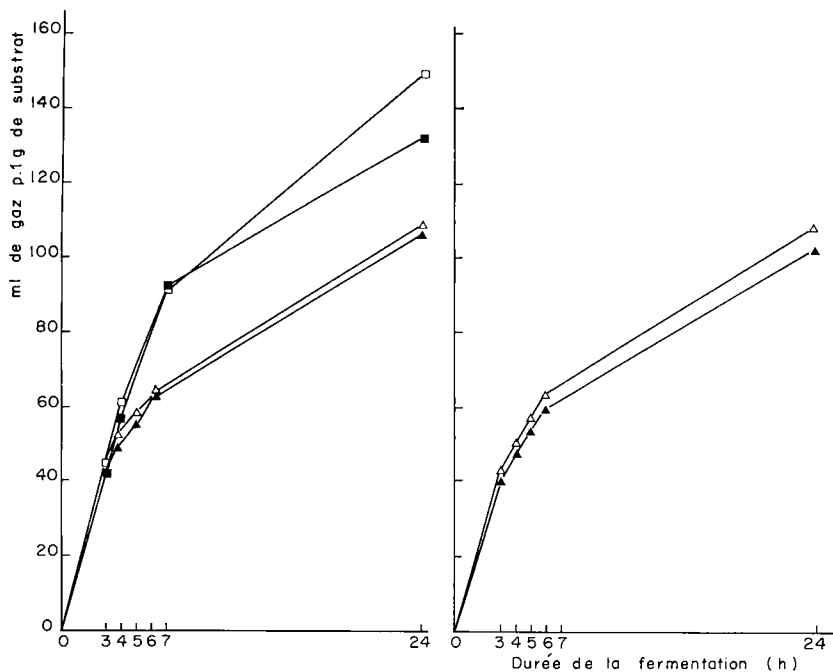


FIG. 1. — Quantités de gaz dégagées par la fermentation *in vitro* de 1 g de substrat (foin). Influence :
 A) du régime : Foin sous forme longue ou condensée :
 Essai I -- Forme : ■ longue
 □ condensée
 B) de la finesse de broyage du foin, utilisé comme substrat.
 Moyenne des mesures effectuées sur les 2 régimes dans l'essai II.
 Δ 1,5 mm
 ▲ 5 mm
 Essai II -- Forme : ▲ longue
 Δ condensée

La digestion du foin dans le rumen mesurée par la méthode des sachets est rapide quel que soit d'ailleurs le régime des animaux, foin normal ou foin condensé. 74 et 79 p. 100 de la matière sèche digérée le sont dans les 24 heures respectivement avec les deux régimes.

Fermentations de contenu de rumen.

La vitesse de fermentation mesurée par la quantité de gaz est plus élevée avec le foin condensé. Elle diminue peu au cours des 4 premières heures (fig. 3). Dans les 2 essais, la différence est moins grande si on rapporte les quantités de gaz au poids

de matière sèche de contenu mis à incuber au lieu du poids frais. Celles-ci ont été supérieures de 56 et 32 p. 100 au lieu de 81 et 55 p. 100, respectivement dans les 2 essais.

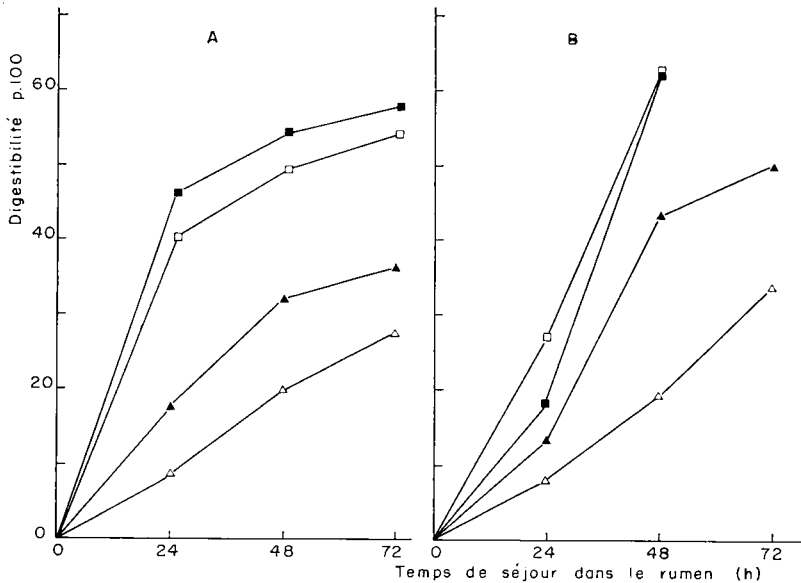


FIG. 2. — Influence du régime, foin sous forme longue (■ ▲) ou condensée (□ △) sur la vitesse de dégradation dans le rumen :

A) du foin de luzerne expérimental

Matière sèche : ■ □ et lignocellulose : ▲ △

B) de 2 formes de cellulose :

fil de coton : ■ □ et papier-filtre : ▲ △

Les mesures ont été effectuées, dans l'essai I sur les fils de coton, et dans l'essai II, sur le foin de luzerne et sur le papier-filtre, par la méthode des sachets de nylon.

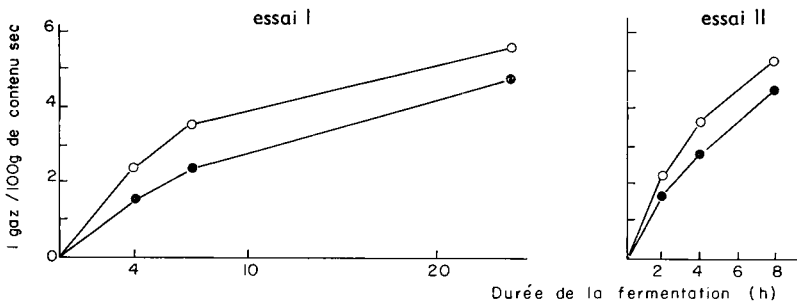


FIG. 3. Quantités de gaz dégagées par l'incubation de contenu de rumen

● Foin long,
○ Foin condensé.

Composition du jus de rumen.

Le pH est inférieur en moyenne de 0,2 point avec le foin condensé et la concentration en acides gras volatils du jus de rumen est supérieure en moyenne d'environ 30 p. 100. Cette dernière croît davantage après le début du repas de 2,6 au lieu de 1,4 g/l et elle atteint plus tard une valeur maximum (4 heures au lieu de 2 heures) (fig. 4).

Nous observons les mêmes différences pour la concentration en azote ammoniacal. Elle est supérieure avec le foin condensé d'environ 30 p. 100, et elle augmente plus après le repas (24,6 au lieu de 14,5 g d'N par 100 ml) et le maximum est atteint plus tard.

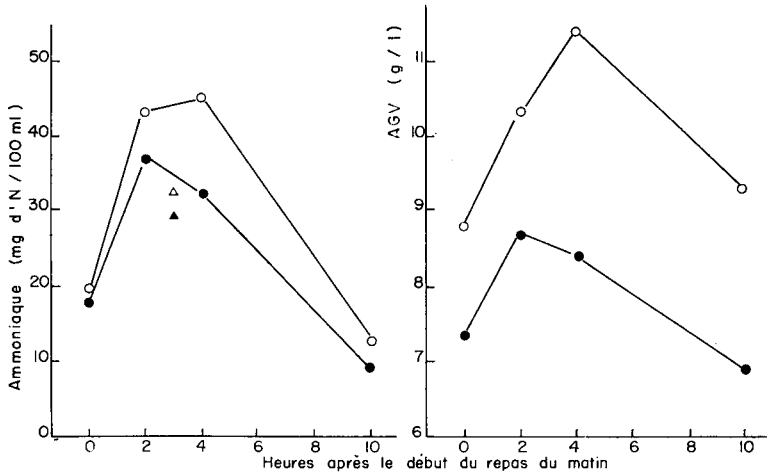


FIG. 4. Teneurs en acides gras volatils (A. G. V.) et en ammoniaque du jus de rumen dans l'essai II

Foin long : ● échantillons de jus de rumen prélevé par la fistule
▲ échantillon moyen du contenu du rumen.

Foin condensé : ○ échantillons de jus de rumen prélevé par la fistule
△ échantillon moyen du contenu de rumen.

La composition du mélange d'acides gras volatils n'a pas été significativement différente. Les rapports molaires de l'acide acétique sur l'acide propionique ont été respectivement de 3,10 et 3,28 avec les deux régimes, foin condensé et foin long. La proportion molaire d'acide acétique a été minimum 2 ou 4 heures après le début du repas (tabl. 3).

TABEAU 3

Composition du mélange des acides gras volatils du rumen dans l'essai II
avec les régimes de foin sous forme normale (N) ou condensée (C)

Heures après le début du repas du matin	pH		Proportion molaire des acides gras volatils							
			C ₂		C ₃		C ₄		Iso-C ₄ , C ₅ , Iso-C ₅	
	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C
0	6,90	6,65	65,2	64,1	17,2	18,9	11,4	12,3	6,2	4,7
2	6,75	6,55	64,0	61,3	20,9	20,5	9,6	12,1	5,5	6,1
4	6,60	6,35	62,4	62,5	20,6	20,6	12,0	11,6	5,0	5,3
10	6,45	6,25	65,6	63,2	19,7	20,7	9,9	10,5	4,8	5,6

DISCUSSION

L'étude de la digestion dans le rumen sur les vaches fistulisées permet d'expliquer assez bien les modifications du comportement alimentaire et de la digestibilité des foins de luzerne, observées dans la première étude (DEMARQUILLY et JOURNET, 1967) lorsque ces foins étaient offerts à des moutons sous forme condensée au lieu de la forme normale.

Digestibilité et digestion dans le rumen

Avec les vaches fistulisées comme avec les moutons, la présentation du foin de luzerne sous forme condensée s'est accompagnée d'un accroissement important des quantités ingérées. Parallèlement, la digestibilité de la matière organique et, plus encore, celle de la cellulose brute a diminué, ce qui est dû principalement à l'accélération du transit digestif et pour une certaine part, au niveau d'ingestion beaucoup plus élevé. Cependant cette diminution de la digestibilité du foin de luzerne est faible comparativement à celle que nous avons observée antérieurement sur moutons avec les foins de graminées. Ces résultats concordent par ailleurs avec ceux sur l'utilisation du foin de luzerne condensé par les vaches laitières dans les rations mixtes (JOURNET et JARRIGE, 1967), selon lesquels les valeurs énergétiques du foin long et du foin condensé sont peu différentes.

D'après les phénomènes digestifs observés dans la présente étude il semble que cette diminution assez faible de la digestibilité du foin condensé, bien qu'il soit soumis moins longtemps à l'action de la population microbienne du rumen que le foin normal, soit due à une fermentation plus rapide. En effet, la quantité de gaz produite par la fermentation *in vitro* de contenus de rumen est supérieure. Les concentrations en acides gras et en ammoniacque du jus de rumen sont plus élevées avec le foin condensé et elles augmentent plus après le repas, bien que cela puisse être dû également au niveau d'ingestion plus élevé.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par un certain nombre d'auteurs qui ont observé des concentrations en acides gras volatils, ou des accroissements de concentration supérieurs après le repas avec des foins de luzerne condensée (BALCH et ROWLAND, 1957 ; LEFFEL, 1960 ; WRIGHT *et al.* 1963). Des vitesses de fermentations de rumen plus élevées, mesurées dans un appareil de Warburg ont été observées par MEYER *et al.* (1959), avec du foin de luzerne condensé de très bonne qualité ; ces derniers ont montré également que la digestion des polysaccharides membranaires (holocellulose) dans le rumen, mesurée *in vivo*, par la méthode du rapport à la lignine, était plus rapide. Par contre, avec des foins de graminées, les vitesses de fermentations dans le rumen ont été soit égales (GRIEVE *et al.*, 1963) soit plus faibles (CAMPLING *et al.*, 1963 et 1966) avec le foin condensé qu'avec le foin long.

La vitesse plus grande des fermentations du foin de luzerne condensé peut être attribuée soit à une résistance moindre du foin à l'attaque microbienne du fait de sa division, soit à une activité plus grande de la population microbienne du rumen, soit aux deux à la fois. Dans nos essais, l'activité microbienne, cellulolytique notamment,

n'a pas paru très différente bien que les résultats soient variables selon les méthodes utilisées ; il semble donc que l'accroissement des fermentations soit due davantage à la division du foin qui augmente la surface d'attaque bactérienne et rend plus accessibles les parties non lignifiées de la plante. C'est en effet la lignification qui semble être la cause de la diminution de digestibilité de la cellulose et des hémicelluloses lorsque la plante vieillit (JARRIGE et MINSON, 1964). Le rôle du broyage, mais d'un broyage très fin (broyeur à billes), a été montré par DEHORITY et JOHNSON (1960), lesquels observent *in vitro* un accroissement considérable de la digestibilité de la cellulose due au broyage, surtout avec une plante âgée et très lignifiée.

En outre, cette attaque plus rapide des constituants membranaires du foin a sans doute été possible parce que la flore cellulolytique du rumen a trouvé suffisamment de substances solubles ayant diffusé rapidement ou qui ont été produites au cours de la fermentation ; en particulier avec ces foins de luzerne, la teneur en azote ammoniacal a été élevée.

Enfin, on peut penser que l'importance de la digestion dans le reste du tube digestif a été plus importante avec le foin condensé qu'avec le foin normal, ce qui pourrait expliquer également que la digestibilité diminue peu, malgré le temps de séjour très court du foin dans le rumen.

Fait important et contraire à la plupart des observations généralement effectuées (cf. Introduction) la composition en acides gras volatils du jus de rumen n'a été que légèrement modifiée. Ce doit être dû au broyage assez grossier du foin, bien qu'on ne puisse pas le comparer à celui utilisé par les autres auteurs, lorsque la répartition par taille des particules de foin broyé n'est pas donnée.

Régulation de l'ingestion

Les résultats d'ensemble obtenus dans la première étude (DEMARQUILLY et JOURNET, 1967) et dans celle-ci sur le comportement alimentaire des moutons et des vaches, le transit digestif et les quantités de contenus digestifs conduisent à l'hypothèse suivante sur la régulation de l'ingestion avec les rations de foin condensé.

Les raisons pour lesquelles les animaux ingèrent beaucoup de foin condensé semblent être dues à l'appétence qu'ils ont pour cette forme d'aliment, ou à la facilité de préhension du foin condensé, dont ils ingèrent une grande quantité en peu de temps (2 fois plus que de foin long).

Les raisons pour lesquelles ils ne dépassent pas un certain niveau d'ingestion, lequel est très élevé et indépendant de la qualité et de la finesse de broyage, semblent être dues à des informations sur l'état de distension des compartiments digestifs (BLAXTER et *al.*, 1956 ; CAMPLING et BALCH, 1961), non seulement du rumen mais aussi des compartiments postérieurs. En effet, les quantités de contenu digestif, telles que nous les avons calculées, augmentent d'environ 50 p. 100 ; les quantités mesurées du contenu du rumen + réseau augmentent peu et en conséquence celles des contenus des compartiments postérieurs augmentent considérablement. Il semble donc qu'avec le foin condensé le vidage du rumen soit accéléré pour les raisons suivantes : l'ingestion rapide augmente la pression à l'intérieur du rumen, et le foin réduit en fines particules par le broyage, peut traverser facilement le sphincter réseau-feuillet. Contrairement à ce qui se passe avec les régimes de foin normal, ce vidage

accéléral du rumen a pour effet d'augmenter les quantités de contenu digestif dans les compartiments digestifs suivants, malgré la vitesse de transit rapide à travers ceux-ci. La pression interne augmente et le débit des contenus en provenance du rumen se ralentit; il en résulte progressivement un état d'équilibre des débits et des quantités de contenus digestifs, dans les différents compartiments digestifs, qui correspond à l'état de rassasiement. Ce mécanisme de régulation de l'ingestion des foins condensés fonctionne en admettant comme KAY (1965) que le débit au niveau d'un sphincter est fonction des pressions qui s'exercent dans les compartiments digestifs situés en aval et en amont. On comprend que ce mécanisme joue beaucoup moins pour les foins longs au niveau du sphincter réseau-feuillet car ils doivent être réduits en fines particules dans le rumen avant de quitter celui-ci; en conséquence les compartiments digestifs postérieurs, feuillet, caillette, intestin, sont faiblement remplis. Le rôle particulier joué par ces compartiments digestifs dans le cas des régimes condensés a également été pressenti par PINOT et JARRIGE 1967 qui observent un accroissement de leur poids (vide) avec ces régimes.

L'origine des informations sur l'état de distension des organes digestifs qui commandent l'arrêt de l'ingestion peut provenir, soit des compartiments postérieurs au rumen, qui se sont distendus, soit du rumen comme dans le cas des foins longs, mais à la différence près qu'avec les foins condensés cette distension du rumen est en partie consécutive à l'engorgement des compartiments postérieurs.

Reçu pour publication en novembre 1967.

SUMMARY

FEEDING VALUE OF PELLETTED HAYS. 2. — INFLUENCE OF GRINDING AND OF PELLETTING ON DIGESTION OF LUCERNE HAY IN THE RUMEN

In two trials (in 1963 and 1964) with cows with fistulae we studied digestion, in the rumen, of 2 lucerne hays offered long or pelleted. The study was to explain the changes in feeding behaviour and digestibility seen previously in sheep eating the same hays (DEMARQUILLY and JOURNET, 1967).

The measurements made were: 1) feeding behaviour of the animals (amount eaten, time spent eating, ruminating and resting); 2) digestibility of the ration; 3) rate of passage through the digestive tract by the method of CASTLE (1956); 4) amount of digestive tract contents and 5) fermentation in the rumen. The last was classified by: a) pH, concentration and composition of the mixture of volatile fatty acids; b) cellulolytic activity of rumen fluid measured by different methods, *in vitro* by the amount of gas released by fermentation of 1 g substrate of hay in the presence of rumen fluid and *in vivo* with cotton thread and nylon bags (BALCH and JOHNSON, 1950) and c) rate of fermentation measured by the amount of gas released by rumen fluid fermented *in vitro* by the method of HUNGATE (1954).

Digestibility of lucerne hay decreased little when given in pelleted form despite large increases of intake and rate of passage through the digestive tract (table 1). This seems to be due to the increased rate of fermentation in the rumen, as judged by the rate of gas production during fermentation of rumen fluid *in vitro* and the concentrations of volatile fatty acids and ammonia (fig. 3 and 4). The microbial activity was little affected; cellulolytic activity was slightly less, unchanged or slightly more according to the trial and the methods of estimation *in vivo* or *in vitro* (fig. 1 and 2). Condition of the medium, pH and volatile fatty acid composition of rumen fluid also were little changed (table 3). Consequently it seems that the increase in rate of fermentation is due to the reduced resistance of the hay to microbial attack resulting from the division into fine particles.

The digestive processes which limit intake of pelleted hay do not seem to be of the same origin as they are in the case of long hay. With pelleted hay the effect of degree of fill of the parts of the digestive tract posterior to the rumen must be superimposed on that of the rumen itself, if the difference in amount of contents between the two diets is considered : the dry contents of the whole digestive tract is greater by about a half with pelleted hay than with long hay while that of the rumen remains unchanged.

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**, 361-388.
- BALCH C. C., JOHNSON W. V., 1950. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 2. Factors influencing the rate of breakdown of cellulose (cotton thread) in the rumen of the cow. *Brit. J. Nutr.*, **4**, 389-394.
- BALCH D. A., ROWLAND S. J., 1957. Volatile fatty acids and lactic acid in the rumen of dairy cows receiving a variety of diets. *Brit. J. Nutr.*, **11**, 288-298.
- BÉRANGER C., JARRIGE R., 1962. Utilisation des aliments broyés et agglomérés par les bovins. 1. 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., WAINMAN F. W., 1956. Some observations on the digestibility of food by sheep and on related problems. *Brit. J. Nutr.*, **10**, 69-91.
- CAMPLING R. C., BALCH C. C., 1961. Preliminary observations on the effect on the voluntary intake of hay, of changes in the amount of the reticulo-ruminal contents. *Brit. J. Nutr.*, **15**, 523-530.
- 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.
- CAMPLING R. C., FREER M., 1966. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 8. Experiments with ground, pelleted roughages. *Brit. J. Nutr.*, **20**, 229-243.
- CAROLL E. J., HUNGATE R. E., 1954. The magnitude of the microbial fermentations in the bovine rumen. *Appl. Microbiol.*, **2**, 204-214.
- 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.*, **1**, 10-15.
- DEHORITY B. A., JOHNSON R. R., 1960. Effect of ball milling upon *in vitro* digestibility of cellulose mature forages. *J. Anim. Sci.*, **19**, 1257 (Abstr.).
- DEMARQUILLY C., JOURNET M., 1967. Valeur alimentaire des foinés condensés. I. Influence de la nature du foin et de la finesse de broyage sur la digestibilité et la quantité ingérée. *Ann. Zootech.*, **16**, 123-150.
- FREER M., CAMPLING R. C., 1965. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 7. The behaviour and reticular motivity of cows given diets of hay dried grass, concentrates and ground pelleted hay. *Brit. J. Nutr.*, **19**, 195-206.
- GAUSSERES B., 1966. L'ammoniac dans le tube digestif des ruminants : Sa signification. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **6**, 73-92.
- GRIEVE C. M., ROBBLEE A. R., Mc ELROY, L. W., 1963. Native lowland hay in pelleted and non-pelleted rations for sheep. II. Effects on rate of fermentation in the rumen. *Can. J. Anim. Sci.*, **43**, 196-201.
- JAMES A. T., MARTIN J. P., 1952. Gas liquid chromatography : Microestimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acid. *Biochem. J.*, **50**, 679-690.
- JARRIGE R., 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères. II. La lignocellulose : composition, dosage et comparaison avec la cellulose brute. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **1**, 421-447.
- JARRIGE R., MINSON D.-J., 1964. Digestibilité du ray-grass anglais S 24 et du dactyle S 37, plus spécialement des constituants glucidiques. *Ann. Zootech.*, **13**, 117-150.
- JORGENSEN N. A., SCHULTZ L. A., 1963. Ration effects on rumen acids, Ketogenesis and milk composition, I. Unrestricted roughage feeding. *J. Dairy Sci.*, **46**, 437-443.
- JOURNET M., JARRIGE R., 1967. Utilisation des aliments broyés et agglomérés par les bovins. II. Utilisation comparée par la vache laitière du foin de luzerne condensé et du foin de luzerne normal associés à de l'ensilage et à des betteraves. *Ann. Zootech.*, **16**, 271-289.
- KAY R. N. B., 1965. Studies on digestion in sheep. *The Rowett Research Institute. Animal Report on animal nutrition and allied Sciences*, p. 57.
- LEFFEL E. C., 1960. Diet and rumen volatile fatty acid production. *Proc. Chim. Maryland Nutr. Conf. for feed Mfrs.*, 93-95.
- MAKELA A., 1956. Studies on the question of bulk in nutrition of farm animals with special reference to cattle. *Acta. Agric. Fen.*, **85**, 1-130.
- MEYER J. H., GASKILL R. L., STOEWSAND G. S., WEIR W. C., 1959. Influence of pelleting on the utilization of alfalfa. *J. Anim. Sci.*, **18**, 336-346.

- MINSON D. J., 1962. The effect of grinding, pelleting and wafering on the feeding value of roughages. *Report N° 84, Anim. Res. Instit. Canada Dept Agric. Ottawa. Ontario.*
- RHODES R. W., WOODS W., 1961. Volatile fatty acid production as influenced by physical form of the ration. *J. Anim. Sci.*, **20**, 949 (Abst).
- RUCKEBUSCH Y., 1963. *Recherche sur la régulation centrale du comportement alimentaire chez les ruminants.* Thèse Doctorat de la Faculté de Science de Lyon.
- RUCKEBUSCH Y., MARQUET J. P., 1963. Recherche sur le comportement alimentaire chez les ruminants. I. Influence de la structure physique des aliments. *Rev. Med. Vét.* **114**, 833-835.
- WRIGHT P. L., POPE A. L., PHILLIPS 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.