I. N. R. A.
BIBLIOTHEQUE UO 3592
DOMAINE DE CROUELLE
63039
CLERMONT-FD CEDEX 2

COMPOSITION CHIMIQUE, CARACTÉRISTIQUES FERMENTAIRES, DIGESTIBILITÉ ET QUANTITÉ INGÉRÉE DES ENSILAGES DE FOURRAGES : MODIFICATIONS PAR RAPPORT AU FOURRAGE VERT INITIAL

C. DEMARQUILLY

avec la collaboration technique de J.-M. BOISSAU, H. BOUSQUET, G. CUYLLE,
Marie JAILLER, Jacqueline JAMOT et L. L'HOTELIER

*Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants,
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I. N. R. A.,
Saint Genès Champanelle
63110 Beaumont*

RÉSUMÉ

1° A partir de 45 fourrages verts de graminées, de prairie naturelle et de trèfle violet dont on mesurait la digestibilité et l'ingestibilité sur des moutons, nous avons préparé 87 ensilages expérimentaux en silos de 4 m³ suivant 4 traitements : directement sans conservateur ($n = 37$) ou avec addition d'acides minéraux ($n = 18$) ou de mélasse ($n = 14$) soit après un préfanage amenant le fourrage aux environs de 30 p. 100 de matière sèche ($n = 18$). La digestibilité et l'ingestibilité de ces ensilages ont été mesurées sur des lots de 6 moutons.

2° La teneur en matière sèche déterminée à l'étuve a été en moyenne sous-estimée de 1,12 point, soit 5,4 p. 100 par rapport à celle déterminée par distillation au toluène mais elle est en relation étroite avec cette dernière (fig. 1).

3° La composition chimique des ensilages dépend essentiellement de celle des fourrages verts lors de la mise en silo (tabl. 1). L'ensilage entraîne cependant une augmentation systématique des teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute : respectivement en moyenne de 7,5, 4,7 et 8,9 p. 100 sur la base de la matière sèche corrigée.

4° Les caractéristiques fermentaires des ensilages dépendent en grande partie des traitements étudiés (tabl. 2 et 4). La qualité de conservation des ensilages préparés avec addition d'acides minéraux (mélange AIV) ou de mélasse a été supérieure à celle des ensilages directs ou préfanés. Elle dépend aussi, notamment pour les ensilages directs, du stade de récolte (tabl. 4) de l'espèce végétale (tabl. 5) et des teneurs en matière sèche, en cendres et en glucides solubles des fourrages sur pied (tabl. 6).

5° La digestibilité de la matière organique des ensilages dépend essentiellement de celle des fourrages sur pied au moment de la récolte (fig. 2) mais elle est en moyenne inférieure. Sur la base de la matière sèche corrigée, la diminution de la digestibilité a été en moyenne nulle pour les plantes ensilées avec addition d'acides minéraux ou de mélasse sauf pour les plantes très riches en eau (trèfles violets) pour lesquelles elle a été de l'ordre de 3,4 à 3,8 points à cause des pertes

d'éléments nutritifs dans les jus. Elle a été en moyenne de 3,2 et 2,4 points pour les plantes ensilées respectivement directement sans conservateur ou après préfanage (tabl. 7 et 8).

En l'absence de conservateur, la diminution de digestibilité a dépendu en outre du stade de récolte (tabl. 8), de l'espèce végétale, de l'étanchéité du silo et de la finesse de hachage. Elle a été d'autant plus grande que le pH et les teneurs en ammoniac et en acides propionique et butyrique étaient plus élevées.

6° Les teneurs en matières azotées digestibles (MAD en p. 100) et en matières azotées (MA en p. 100) ont été étroitement liées :

$$\text{MAD} = 0,941 \text{ MA} - 4,42 \pm 0,69 \quad r = 0,968^{***} \quad n = 87$$

Quel que soit le traitement, la digestibilité apparente des matières azotées des ensilages a été inférieure à celle des fourrages verts.

7° L'ensilage a entraîné une diminution importante (33 p. 100 en moyenne) et très variable (de 1,0 à 63,8 p. 100) de l'ingestibilité des fourrages. Cette diminution dépend peu du traitement étudié sauf le préfanage : 35 p. 100 environ pour les ensilages directs avec ou sans conservateur, 27 p. 100 pour les ensilages préfanés (tabl. 7). En revanche, elle peut être réduite par l'emploi de silos hermétiques ou étanches et par un hachage fin : diminution moyenne de 23,4 p. 100 pour les ensilages hachés finement contre 38,1 p. 100 pour les ensilages hachés grossièrement. Elle est d'autant plus importante que les teneurs en acide acétique, en acide propionique et surtout en acides gras volatils totaux sont plus élevées (tabl. 9, — fig. 4).

8° Ces résultats sont discutés. Ils confirment que le problème essentiel posé par l'utilisation des ensilages est leur faible niveau d'ingestion. Il importe, si on veut obtenir des ensilages d'ingestibilité élevée, de limiter les fermentations donnant naissance aux acides gras volatils. C'est ce qui est notamment obtenu en employant un silo étanche et des fourrages hachés finement. En revanche, les conservateurs employés dans cette étude n'ont pas permis de limiter suffisamment la formation des acides gras volatils et n'ont que peu d'action sur les quantités ingérées.

INTRODUCTION

On sait que la composition et la valeur nutritive des fourrages conservés dépendent, en premier lieu, de celles de la plante sur pied : le stade de développement, ou l'âge, et le numéro du cycle au moment de la récolte en sont donc les principaux facteurs. Cependant, les modifications subies par le fourrage lors des opérations de récolte et de conservation entraînent une diminution de digestibilité très variable et d'ingestibilité qui l'est souvent encore plus. Aussi, avons-nous entrepris depuis 10 ans, dans le cadre des recherches effectuées à la Station, sur la valeur alimentaire des fourrages, l'étude systématique de ces diminutions de digestibilité et d'ingestibilité en comparant la valeur alimentaire des fourrages conservés par différentes méthodes à celle du fourrage vert sur pied. Les résultats relatifs aux fourrages déshydratés (DEMARQUILLY, 1970) aux foin et à l'ensemble des fourrages conservés (DEMARQUILLY, 1970 ; DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1970 ; DEMARQUILLY et WEISS, 1970 ; DEMARQUILLY et JARRIGE, 1970) ont déjà été publiés et nous nous proposons de présenter ici les résultats détaillés relatifs aux ensilages étudiés de 1966 à 1969.

Les différents auteurs ayant étudié les modifications de digestibilité entraînées par l'ensilage arrivent à des résultats différents. Certains, travaillant en petits silos expérimentaux, constatent que la digestibilité des ensilages est identique, ou presque, à celle du fourrage vert de départ, et cela, quelle que soit la technique employée (avec ou sans conservateur, avec ou sans préfanage) (HARRIS et RAYMOND, 1963 ; Mc DONALD *et al.*, 1965-1966). D'autres auteurs, en revanche, trouvent que la diges-

tibilité de l'ensilage dépend dans une large mesure du tassement lors du remplissage du silo (LANCASTER et Mc NAUGHTON, 1961), du type de fermentation — fermentation froide ou chaude (BROWN et KERR, 1965) et de l'emploi ou non de conservateur efficace (DIJKSTRA, 1957). Quant aux diminutions d'ingestibilité entraînées par l'ensilage, elles ont été beaucoup plus rarement étudiées. Il est néanmoins admis par tous que l'ingestibilité des ensilages est en général de beaucoup inférieure à celle des fourrages verts et des foin correspondants et qu'elle est augmentée par le préfanage.

Nous avons étudié les modifications de digestibilité et d'ingestibilité entraînées par l'ensilage suivant :

- l'espèce végétale ou la famille botanique de la plante ensilée,
- le stade de végétation de la plante lors de la récolte,
- la technique d'ensilage adoptée : avec et sans conservateur, avec ou sans préfanage.

Cette étude a été réalisée en silos expérimentaux de 4 m³ (environ 3 000 kg de fourrage vert). Les 87 ensilages préparés ont été étudiés sur des moutons maintenus en cage à métabolisme et alimentés à volonté.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Fourrages étudiés et ensilages réalisés

Partant de 45 fourrages verts sur pied, 28 au Centre de Recherches de Theix (850 m d'altitude dans le Massif central), 17 au domaine expérimental du Pin-au-Haras en Normandie, dont on mesurait la digestibilité et l'ingestibilité sur des moutons, nous avons préparé 87 ensilages expérimentaux. Ceux-ci ont été réalisés dans des silos-tours de 4 m³ en bois (silos non étanches) au Pin-au-Haras ou en bois gainés d'un film de plastique (silos étanches) à Theix, ou en butyl (silos hermétiques) à Theix ou au Pin-au-Haras.

Les fourrages verts provenaient soit de prairies semées, en graminées pures (32 échantillons) ou en trèfle violet (4 échantillons), soit de prairies naturelles à base de graminées (9 échantillons) ; 36 de ces fourrages verts étaient du premier cycle de végétation, 8 du 2^e cycle et 1 du 3^e cycle. Douze ont été récoltés à 2 stades du premier cycle, un stade précoce : début épiage 1 ou début épiage moins 1 semaine pour les graminées, stade boutons floraux pour les trèfles violets et à stade plus tardif de 3 semaines. Les autres fourrages du 1^{er} cycle ont été récoltés à un stade voisin du stade précoce défini précédemment et les repousses à des âges variant de 50 à 95 jours. Il en résulte que la digestibilité de la matière organique et l'ingestibilité des fourrages verts ont été très variables puisqu'elles ont varié respectivement de 77,5 à 59,8 p. 100 et de 80,6 à 46,6 g/kg P^{0,75} pour les fourrages de graminées et de prairies naturelles et de 75,6 à 66,3 p. 100 et de 83,9 à 66,3 g/kg P^{0,75} pour les fourrages de trèfle violet.

En 1966 et 1967, la majorité des fourrages ont été récoltés avec une ensileuse à plateau hacheur (type Scampolo) munie d'un pick-up, après avoir été fauchés à la barre de coupe et les autres l'ont été avec une ensileuse à fléaux. En 1968 et 1969, la moitié environ des fourrages a été récoltée avec l'ensileuse à plateau hacheur, et l'autre moitié avec une ensileuse à tambour hacheur (type New Holland) munie d'une barre de coupe. Les ensilages correspondant à la même plante sur pied ont tous été récoltés avec le même type de machine sauf les ensilages préfanés qui l'ont toujours été avec l'ensileuse à plateau hacheur.

Pour les fourrages du 1^{er} cycle fauchés à un stade précoce, nous avons toujours comparé, partant du même fourrage sur pied, 3 ou 4 techniques d'ensilage différentes : ensilage direct sans conservateur, ensilages directs avec conservateurs (acides forts et (ou) mélasse) et ensilage après un préfanage jusqu'aux environs de 30 p. 100 de matière sèche. Les fourrages du premier cycle fauchés à un stade tardif et ceux des cycles de repousses ont été ensilés pour la plupart directement sans conservateur (sauf les trèfles violets) et quelques-uns après un préfanage. Les acides forts (mélange AIV) ont été employés à la dose de 8 l d'acides concentrés (7 de chlorhydrique et 1 de sulfurique) dans 40 litres d'eau par tonne de fourrage vert et la mélasse à la dose de 40 kg par tonne de fourrage vert.

Le fourrage était lacéré ou haché en brins de différentes longueurs suivant le type d'ensileuses employées : brins de 10 à 25 cm pour l'ensileuse à fléaux, de 5 à 15 cm pour l'ensileuse à plateau hacheur et de 0,5 à 1,5 cm pour l'ensileuse à tambour hacheur ; il a été tassé au pied dans les silos au fur et à mesure du remplissage et couvert d'un film plastique et chargé de pierres (environ 100 kg/m² pour les silos bois). Quant aux silos en butyl, l'enveloppe a simplement été refermée dès la fin du remplissage. Les ensilages correspondant à un même fourrage sur pied ont tous été préparés dans le même type de silos.

Au total nous avons préparé 11 ensilages de dactyle, 17 de fétuque élevée, 8 de fléole, 14 de ray-grass anglais, 12 de ray-grass italien, 3 d'un mélange ray-grass anglais-fléole, 15 d'herbe de prairie naturelle et 7 de trèfle violet.

Mesures

Durant l'hiver qui a suivi leur récolte, nous avons mesuré la digestibilité et l'ingestibilité de ces ensilages sur 6 béliers adultes de race *Texel*, aussi semblables que possible à ceux utilisés pour les mesures sur la plante sur pied. Chaque hiver, les ensilages correspondant à la même plante sur pied, parfois récoltée à 2 stades de végétation, ont toujours été étudiés sur le même lot de moutons. Les animaux ont reçu 2 repas par jour à volonté à 8 heures et 17 heures, les refus (environ 10 p. 100) étant enlevés avant la distribution du repas du matin. Après une période préexpérimentale de 15 jours, la période de mesure a duré 6 jours.

Analyses

Un échantillon représentatif du fourrage vert a été prélevé au moment du remplissage de chaque silo. Nous en avons déterminé la teneur en matière sèche et, pour les échantillons prélevés à Theix seulement, les teneurs en cendres, en matières azotées ($N \times 6,25$), en cellulose brute Weende et en glucides solubles dans l'eau à 40°C par la méthode de SOMOGYI (1962).

Les échantillons secs représentatifs des fourrages offerts, des fourrages refusés et des fèces correspondant à chaque période de mesure de la digestibilité et de l'ingestibilité des fourrages verts et des ensilages ont été analysés pour déterminer leur teneur en cendres, en matières azotées, en cellulose brute. Ces échantillons ont été constitués à partir des prélèvements effectués pour mesurer la teneur en matière sèche par séchage durant 24 heures dans une étuve ventilée à 80°C, des fourrages offerts à chaque distribution, des refus et des fèces journalières.

De plus, pour les 50 ensilages préparés à Theix, un échantillon représentatif de l'ensilage distribué aux moutons a été prélevé au début et à la fin de chaque période de mesure. Sur ces échantillons frais, nous avons déterminé la teneur en azote et comparé les teneurs en matière sèche obtenues soit par séchage à l'étuve à 80°C soit par la méthode de distillation au toluène de DEWAR et Mc DONALD (1961). Sur le jus de ces échantillons extrait avec un petit presseur à main, nous avons mesuré le pH et déterminé les teneurs en ammoniacque (CONWAY, 1957) en acide lactique (BARKER et SUMMERSON, 1941) et en acides gras volatils par chromatographie en phase gazeuse (RIGAUD et JOURNET, 1970). Ces déterminations et analyses n'ont pas pu être effectuées sur les ensilages fabriqués au domaine expérimental du Pin qui ne possède que des installations pour animaux mais pas de laboratoire. Il n'était donc pas possible de corriger les teneurs en matière sèche de tous les échantillons étudiés pour les pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve. Aussi avons-nous préféré présenter tous les résultats de composition chimique, de digestibilité et de quantité ingérée sur la base de la matière sèche non corrigée et effectuer les corrections pour les pertes de matière sèche volatile que sur les valeurs moyennes en supposant que les pertes avaient été comparables à Theix et au Pin puisque le type d'étuve et la température de séchage étaient les mêmes dans les deux lieux.

RÉSULTATS

Comparaisons entre les teneurs en matière sèche déterminées par distillation au toluène et par séchage à l'étuve

Pour les 56 ensilages fabriqués à Theix, il existe une relation très étroite entre la teneur en matière sèche déterminée par distillation au toluène (Y) et celle (x) déterminée à l'étuve (fig. 1) :

$$Y = 1,006 x + 0,986 \quad r = 0,994 \quad n = 56$$

En moyenne la sous-estimation de la teneur en matière sèche par séchage à l'étuve est de 1,12 points soit de 5,4 p. 100, les valeurs extrêmes étant 0,8 et 12,0 p. 100. La sous-estimation a été peu variable suivant le traitement subi par le forage :

- 5,87 p. 100 pour les 21 ensilages directs
- 5,31 p. 100 pour les 16 ensilages directs avec addition d'acides minéraux
- 5,12 p. 100 pour les 11 ensilages directs avec addition de mélasse
- 4,88 p. 100 pour les 9 ensilages préfanés.

FIG. 1. — *Liaison entre la teneur en matière sèche déterminée par distillation au toluène (DEWAR et McDONALD, 1961) et la teneur en matière sèche déterminée par séchage à l'étuve*

Teneur en matière sèche et composition chimique des ensilages

La teneur en matière sèche non corrigée et la composition chimique moyenne des ensilages étudiés sont rapportées dans le tableau 1. Quatre des 18 ensilages préfanés d graminées ayant une teneur en matière sèche trop faible (respectivement 16,6, 19,0, 22,4 et 24,2 p. 100), par suite d'une pluie survenue au moment du ramassage de fourrage préfané sur le champ, nous avons présenté les résultats pour les ensilages préfanés avec et sans ces 4 échantillons.

Les teneurs en matière sèche, en cendres, en matières azotées et en cellulose brute des ensilages dépendent essentiellement des teneurs correspondantes des fourrages verts avec lesquelles elles sont très étroitement liées ($P < 0,01$) et cela que l'on

TABLEAU I

Teneur en matière sèche et composition chimique des ensilages étudiés : modifications par rapport aux fourrages verts

Fourrage	Traitement	Nombre d'échantillons	Teneur en MS (p. 100)	Composition chimique (en p. 100 de la matière sèche)		
				Cendres	Matières azotées	Cellulose brute
Graminée et herbe de prairie naturelle	Direct sans conservateur	37	$20,2 \pm 3,8$	$11,9 \pm 2,9$	$11,4 \pm 2,5$	$34,2 \pm 3,8$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	37 37 ou 21	— 4,5	$+ 2,0$ $+ 1,6$	$+ 0,4$ $+ 0,9$	$+ 5,2$ $+ 5,4$
	Direct + acides	15	$19,4 \pm 2,4$	$12,9 \pm 2,7$	$12,9 \pm 2,5$	$30,5 \pm 2,1$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	15 15 ou 13	+ 0,2	$+ 2,3$ $+ 1,4$	$+ 1,4$ $+ 1,1$	$+ 3,6$ $+ 4,0$
	Direct + mélasse	10	$20,3 \pm 2,9$	$12,5 \pm 3,3$	$12,7 \pm 1,9$	$30,2 \pm 3,2$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	10 10 ou 7	+ 0,3	$+ 2,6$ $+ 1,1$	$+ 1,7$ $+ 1,7$	$+ 2,7$ $+ 3,4$
	Préfané (totalité)	18	$28,8 \pm 5,6$	$11,8 \pm 3,6$	$11,2 \pm 2,0$	$31,5 \pm 3,8$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	18 18 ou 7	— 2,8	$+ 2,0$ $+ 1,2$	$- 0,4$ $+ 0,8$	$+ 4,1$ $+ 2,2$
	Préfané (teneur en matière sèche > 25 p. 100)	14	$30,7 \pm 3,9$	$11,4 \pm 3,4$	$11,6 \pm 2,0$	$30,8 \pm 3,9$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	14 14 ou 7	— 2,8	$+ 1,5$ $+ 1,2$	$+ 0,7$ $+ 0,8$	$+ 3,7$ $+ 2,2$
	Ensemble des graminées	80	$22,0 \pm 5,4$	$12,1 \pm 3,0$	$11,7 \pm 2,4$	$32,4 \pm 3,8$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	80 80 ou 48	— 1,2	$+ 2,1$ $+ 1,4$	$+ 0,7$ $+ 1,1$	$+ 4,3$ $+ 4,2$
Trèfle violet	Direct + acide ou mélasse	7	$18,7 \pm 1,2$	$10,5 \pm 1,4$	$17,2 \pm 1,5$	$26,4 \pm 2,2$
	Variations par rapport au fourrage vert $\left\{ \begin{smallmatrix} (1) \\ (2) \end{smallmatrix} \right.$	7 7	+ 3,4	$- 0,8$ $+ 0,0$	$+ 0,9$ $+ 0,6$	$+ 0,4$ $+ 2,3$

(1) Par comparaison à la composition chimique de l'échantillon de fourrage vert représentatif de la période de mesure de la digestibilité.

(2) Par comparaison à la composition chimique de l'échantillon représentatif du fourrage vert mis dans le silo. Pour le nombre d'échantillons, le premier chiffre s'applique à la teneur en matière sèche, le deuxième aux teneurs en cendres, matières azotées totales et cellulose brute.

considère les ensilages par type (directs sans conservateur, directs avec conservateur...) ou dans leur ensemble. Cependant, il existe des différences systématiques de teneur en matière sèche et de composition entre la plante sur pied et la plante ensilée. Nous avons calculé et reporté dans le tableau 1 ces différences de 2 façons, en comparant la composition des ensilages d'une part à celle des fourrages verts correspondant à la période de mesure de leur digestibilité (composition de l'échantillon moyen représentatif de l'herbe fauchée chaque jour et distribuée pendant 6 jours aux moutons), d'autre part à la composition des échantillons de fourrages verts prélevés lors de la mise en silo. Cette deuxième comparaison, quoique plus valable, porte sur un nombre plus faible d'échantillons puisque la composition chimique des échantillons du fourrage vert mis dans des silos n'a été déterminée que pour ceux de Theix.

Quel que soit le mode de calcul, nous constatons (tabl. 1) que l'ensilage entraîne une modification de la teneur en matière sèche et de la composition de celle-ci.

1. La teneur en matière sèche augmente de 3,4 points pour les trèfles violets et diminue respectivement de 1,5 et 2,8 points pour les ensilages directs et préfanés de graminées. L'augmentation de la teneur en matière sèche au cours de l'ensilage doit résulter essentiellement des pertes d'eau par les jus. Quant à la diminution de la teneur en matière sèche, elle résulte de la sous-estimation de la teneur en matière sèche des ensilages par suite des pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve, mais aussi des pertes de matière sèche sous forme de gaz par la respiration et les fermentations durant la conservation.

La teneur en matière sèche (Y) des 62 ensilages directs (avec ou sans conservateur) de graminées est liée à celle (x) des fourrages verts correspondants par la relation :

$$Y = 0,672 x + 6,03 \pm 2,08 \quad r = 0,785^{***}$$

La valeur estimée de Y est supérieure à celle de x pour $x < 18,4$ p. 100 (de 1,1 point pour $x = 15$ par exemple) et est inférieure à celle de x pour $x > 18,4$ p. 100 (de 2,2 points pour $x = 25$). Quand un fourrage est ensilé à une teneur en matière sèche inférieure à 18,4 p. 100 l'augmentation de la teneur en matière sèche par suite des pertes d'eau dans le jus est donc proportionnellement supérieure à la perte de matière sèche entraînée par les fermentations et le séchage à l'étuve, et c'est l'inverse au-dessus de 18,4 p. 100.

2. Les teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute augmentent respectivement de 12,6, 9,3 et 15,4 p. 100 pour les 48 ensilages de graminées pour lesquels la composition chimique des fourrages lors du remplissage du silo avait été déterminée. Cette augmentation passive traduit essentiellement le fait que les pertes en ces constituants lors du processus d'ensilage (jus, gaz) et du séchage à l'étuve (produits volatils) sont plus faibles que celles du reste de la matière sèche. Si on tient compte des pertes par séchage à l'étuve, ces augmentations deviennent respectivement de 7,5, 4,7 et 8,9 p 100 pour les cendres, les matières azotées et la cellulose brute.

Caractéristiques fermentaires des ensilages

Les caractéristiques fermentaires des 57 ensilages préparés à Theix sont présentées dans le tableau 2. Il existe des différences importantes suivant les traitements étudiés notamment pour le pH et les teneurs en acides acétique et butyrique et pour un traitement donné une variabilité importante, notamment pour les teneurs en acide

TABLEAU 2
Caractéristiques fermentaires des ensilages étudiés à Theix
 (valeur moyenne $\pm$ écart-type)

Famille botanique	Traitement	Nombre d'échant.	pH	N-NH ₃ en p. 100 de l'N total	Teneur en g par kg de matière sèche						Teneur en AGV totaux (mM/kg MS)
					Acide lactique	Acide acétique	Acide propionique	Acide butyrique	Acide valériannique		
Graminées	Directs sans conservateur	21	4,5 ± 0,6	11,2 ± 3,8	45,0 ± 27,6	33,1 ± 22,3	4,1 ± 3,4	14,2 ± 20,4	0,5 ± 1,7	813 ± 372	
	Directs + acides (AIV) ..	13	3,8 ± 0,3	6,2 ± 2,0	44,4 ± 22,0	28,7 ± 17,3	2,5 ± 2,6	3,9 ± 9,0	0,1 ± 0,3	585 ± 316	
	Directs + mélasse.....	7	4,2 ± 0,2	6,8 ± 0,8	58,2 ± 24,5	48,2 ± 23,6	1,4 ± 1,1	2,8 ± 7,0	0	840 ± 358	
	Préfanés :										
	1. Totalité	9	4,7 ± 0,4	11,9 ± 5,6	32,4 ± 20,8	20,9 ± 16,7	3,6 ± 4,2	20,4 ± 15,8	0,8 ± 1,2	663 ± 406	
	2. p. 100 MS > 25	7	4,6 ± 0,4	9,4 ± 2,3	40,5 ± 15,1	18,3 ± 16,9	1,6 ± 1,1	15,3 ± 15,0	0,1 ± 0,2	504 ± 263	
	Ensemble des graminées .	50	4,3 ± 0,6	9,4 ± 4,2	46,4 ± 28,6	32,1 ± 21,4	3,2 ± 3,2	10,8 ± 16,7	0,4 ± 1,2	732 ± 365	
	Directs + acides	3	3,7 ± 1,5	5,1 ± 2,4	97,3 ± 11,6	27,8 ± 12,2	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,5	trace	447 ± 191	
	Directs + mélasse.....	4	3,9 ± 0,5	6,2 ± 0,8	118,0 ± 15,0	43,5 ± 13,4	0,2 ± 0,2	0,5 ± 0,6	trace	740 ± 256	
	Ensemble	7	3,8 ± 1,7	5,7 ± 1,6	109,1 ± 14,5	36,8 ± 14,5	0,2 ± 0,2	0,4 ± 0,5	trace	614 ± 263	
Trèfle violet											

lactique et en acides gras volatils. Les caractéristiques fermentaires des ensilages ne varient cependant pas indépendamment les uns des autres (tabl. 3). C'est ainsi que le pH varie en sens inverse de la teneur en acide lactique et dans le même sens que les teneurs en acides propionique et butyrique et en ammoniac. Ces trois derniers constituants varient généralement dans le même sens et sont positivement liés entre eux. Certaines caractéristiques fermentaires sont en outre liées à la teneur en matière sèche de l'ensilage ; lorsque celle-ci augmente, le pH et la teneur en acide butyrique augmentent alors que la teneur en acide acétique diminue.

Il est difficile de comparer l'influence de la technique d'ensilage employée sur les caractéristiques fermentaires à partir des résultats présentés dans le tableau 2 car les moyennes portent sur un nombre différent de données et ce ne sont pas les mêmes fourrages qui ont été soumis aux différentes techniques d'ensilage. Aussi avons-nous présenté dans le tableau 4 les résultats obtenus à partir des mêmes fourrages sur pied. La qualité de la conservation, qu'on peut considérer comme satisfaisante pour les ensilages directs (10,7 p. 100 d'azote sous forme ammoniacale et 2,8 g d'acide butyrique par kg de matière sèche), a été nettement améliorée par l'addition d'acides minéraux (mélange AIV) mais non par le préfanage : ce dernier a certes permis de diminuer sensiblement la teneur en acide acétique mais il n'a pas diminué la fraction de l'azote sous forme ammoniacale et il a augmenté la teneur en acide butyrique (15,3 g contre 2,8 g). Quant à la mélasse elle s'avère presque aussi efficace que le mélange AIV bien que les ensilages à la mélasse soient nettement plus riches en acide acétique.

Quel que soit le traitement étudié, les caractéristiques fermentaires ont en moyenne été meilleures quand le fourrage avait été récolté avec l'ensileuse à tambour hacheur (fourrage haché finement) que lorsqu'il avait été récolté avec l'ensileuse à plateau hacheur (fourrage haché plus grossièrement). C'est ainsi par exemple que la même prairie de fétuque élevée a été ensilée au même stade, en 1966 avec l'ensileuse à plateau et en 1969 avec l'ensileuse à tambour : 4 ensilages (2 directs sans conservateur, 1 direct + acide, 1 préfané) ont été préparés à chaque fois. En moyenne, respectivement en 1966 et 1969, le pH a été de 4,45 et 4,30, la teneur en acide propionique de 3,5 et 1,5 g et la teneur en acide butyrique de 21,1 et 6,8 g.

Quant aux ensilages directs sans conservateur, leurs caractéristiques fermentaires ont varié avec le stade de récolte, l'espèce végétale et les teneurs en matière sèche, en cendres et en glucides solubles.

1. Avec le stade de récolte. C'est ainsi que pour les 8 prairies de graminées récoltées à 2 stades de croissance du premier cycle, les ensilages correspondant au stade tardif ont eu un pH plus élevé (4,60 contre 4,45) que ceux correspondant au stade précoce, une teneur plus faible en acide lactique et en acide acétique (36,9 contre 55,9 g par kg de matière sèche et 23,0 contre 39,5 g) mais une teneur plus élevée en acide butyrique (26,0 contre 10,3 g) et en acide valériannique (1,3 contre 0,1 g) (tabl. 4). Ces différences n'approchent cependant le niveau de signification ($0,10 < P < 0,05$) que pour les teneurs en acide acétique et en acide butyrique.

2. Avec l'espèce végétale. Les caractéristiques fermentaires des ensilages directs pour les différentes espèces de graminées étudiées sont présentées dans le tableau 5. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une expérience planifiée permettant une comparaison rigoureuse et que le nombre de données soit faible, il apparaît cependant des diffé-

TABLEAU 3

Liaisons des caractéristiques fermentaires entre elles et avec la teneur en matière sèche de l'ensilage pour les 48 ensilages de graminées

	Teneur en matière sèche	pH	N-NH ₃ en p. 100 N total	Acide lactique	Acide acétique	Acide propionique	Acide butyrique	Acides gras volatils totaux
pH $\left\{ \begin{array}{l} r \text{ (}^1\text{)} \\ b \text{ (}^2\text{)} \end{array} \right.$	0,388** 0,043		0,780*** 0,121	— 0,497*** — 0,010		0,482*** 0,093	0,688*** 0,024	
N-NH ₃ p. 100 N total $\left\{ \begin{array}{l} r \\ b \end{array} \right.$		0,780*** 5,028				0,539*** 0,666	0,584*** 0,430	
Acide lactique $\left\{ \begin{array}{l} r \\ b \end{array} \right.$		— 0,497*** — 24,875				— 0,467*** — 4,496	— 0,463*** — 0,800	— 0,315* — 0,025
Acide acétique $\left\{ \begin{array}{l} r \\ b \end{array} \right.$	— 0,537*** — 2,462						— 0,447** — 0,595	+ 0,804*** + 0,049
Acide propionique $\left\{ \begin{array}{l} r \\ b \end{array} \right.$		0,482*** 2,503	0,539*** 0,436	— 0,467*** — 0,049			0,544*** 0,098	+ 0,508*** + 0,004
Acide butyrique $\left\{ \begin{array}{l} r \\ b \end{array} \right.$	0,327* 1,107	0,688*** 19,900	0,584*** 2,630	— 0,463*** — 0,268	— 0,447** — 0,336	0,544*** 3,031		
Acides gras volatils totaux $\left\{ \begin{array}{l} r \\ b \end{array} \right.$..	— 0,417** — 31,670			— 0,315* — 4,011	0,804*** 13,390	0,508*** 62,260		

⁽¹⁾ r : coefficient de corrélation.

⁽²⁾ b : coefficient de régression.

TABEAU 4

Influence du traitement et du stade de végétation sur les caractéristiques fermentaires des ensilages : comparaisons effectuées à partir des mêmes fourrages sur pied

Traitement ou stade de récolte	n	Teneur en MS (p. 100)	pH	N-NH ₃ en p. 100 N total	Teneur en acides organiques : g par kg de matière sèche					Teneur en AGV totaux (mM/kg MS)
					Acide lactique	Acide acétique	Acide propionique	Acide butyrique	Acide valériannique	
7 fourrages de graminées										
Directs	7	17,8 ± 2,2	4,30 ± 0,25	10,7 ± 3,0	63,0 ± 41,2	47,2 ± 29,9	3,7 ± 2,5	2,8 ± 4,3	0,01	931 ± 536
Direct + acide	7	19,0 ± 2,4	3,75 ± 0,25	6,1 ± 2,4	46,8 ± 29,3	34,0 ± 20,5	2,8 ± 2,9	0,7 ± 0,8	0,01	624 ± 377
Préfané	7	30,3 ± 4,9	4,55 ± 0,35	9,4 ± 2,3	40,5 ± 15,1	18,3 ± 16,9	1,6 ± 1,1	15,3 ± 15,0	0,1 ± 0,2	504 ± 263
6 fourrages de graminées										
Direct + acides	6	19,2 ± 2,6	3,80 ± 0,25	5,9 ± 1,7	37,6 ± 11,4	24,5 ± 11,1	1,4 ± 1,0	5,5 ± 12,5	0,01	524 ± 230
Direct + mélasse	6	21,0 ± 3,3	4,25 ± 0,15	7,0 ± 0,8	50,4 ± 14,5	52,2 ± 23,2	1,6 ± 1,1	3,3 ± 7,5	0,01	915 ± 327
3 fourrages de trèfle violet										
Direct + acides	3	18,6 ± 0,5	3,65 ± 0,15	5,1 ± 2,4	97,3 ± 11,6	27,8 ± 12,2	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,5	0,01	447 ± 191
Direct + mélasse	3	18,6 ± 2,0	3,95 ± 0,05	6,2 ± 1,0	114,6 ± 16,2	42,9 ± 16,3	0,2 ± 0,2	0,6 ± 0,6	0,01	700 ± 297
8 fourrages de graminées ensilés directement sans conservateur										
Début épiaison	8	18,5 ± 1,8	4,45 ± 0,45	12,0 ± 3,7	55,9 ± 42,9	39,5 ± 25,8	4,4 ± 3,1	10,3 ± 14,5	0,05 ± 0,10	905 ± 493
Début épiaison + 3 semaines	8	21,1 ± 3,8	4,60 ± 0,90	11,4 ± 4,7	36,9 ± 30,0	23,0 ± 16,7	5,6 ± 3,9	26,0 ± 26,3	1,31 ± 2,60	796 ± 199
3 fourrages de trèfle violet ensilés avec acide ou mélasse										
Bourgeonnement	3	17,8 ± 0,9	3,80 ± 0,25	5,5 ± 2,0	118,4 ± 10,3	34,0 ± 23,6	0,3 ± 0,2	0,2 ± 0,3	0,01	573 ± 411
Bourgeonnement + 3 semaines	3	19,7 ± 1,0	3,85 ± 0,05	5,3 ± 1,2	103,5 ± 22,4	39,4 ± 6,9	0,2 ± 0,2	0,7 ± 0,7	0,01	659 ± 184

TABLEAU 5
Influence de l'espèce végétale sur les caractéristiques fermentaires des ensilages

Espèce végétale	n	Teneur en MS (p. 100)	pH	N-NH ₃ en p. 100 N total	Teneur en acides organiques : g par kg de matière sèche					Teneur en AGV totaux (mM/kg MS)
					Acide lactique	Acide acétique	Acide propionique	Acide butyrique	Acide valériannique	
					Ensilages directs sans conservateur					
Dactyle.....	4	20,5 ± 4,8	5,35 ± 1,00	14,9 ± 4,2	25,1 ± 26,3	38,0 ± 26,9	6,7 ± 4,9	26,8 ± 29,0	2,00 ± 3,70	1 081 ± 348
Fétuque élevée.....	7	20,2 ± 2,2	4,35 ± 0,20	9,8 ± 2,8	56,8 ± 39,8	26,4 ± 14,4	2,5 ± 2,2	8,8 ± 13,4	0,15	596 ± 155
Fléole.....	3	22,5 ± 2,8	4,75 ± 0,55	12,9 ± 4,6	30,5 ± 33,2	17,3 ± 8,3	4,7 ± 4,3	22,7 ± 21,7	0,65 ± 1,10	619 ± 292
Ray-grass anglais.....	3	17,5 ± 1,1	3,95 ± 0,25	8,7 ± 1,4	77,9 ± 25,0	25,7 ± 11,3	1,3 ± 1,8	18,5 ± 31,7	0	678 ± 197
Ray-grass italien.....	4	17,9 ± 3,0	4,12 ± 0,30	10,3 ± 3,4	55,6 ± 30,7	57,4 ± 28,7	6,1 ± 1,6	1,3 ± 2,5	0	1 174 ± 480
Ensilages directs + acides										
Dactyle.....	3	18,8 ± 2,2	4,15 ± 0,15	7,2 ± 1,9	27,7 ± 10,4	21,6 ± 5,7	3,5 ± 3,0	15,2 ± 15,4	0,37	622 ± 104
Fétuque élevée.....	5	20,7 ± 1,9	3,80 ± 0,25	7,1 ± 2,1	46,8 ± 19,2	19,9 ± 7,9	1,0 ± 1,1	1,2 ± 0,9	0,01	369 ± 149
Ray-grass italien.....	3	17,9 ± 2,5	3,60 ± 0,25	3,9 ± 1,0	43,4 ± 18,9	48,3 ± 27,7	5,4 ± 2,3	0,05 ± 0,05	0,01	917 ± 507

rences importantes entre espèces, notamment pour les teneurs en acide lactique (77,9 g pour les ray-grass anglais et 25,1 g pour les dactyles), en acide acétique (57,4 g pour les ray-grass italiens et 17,3 g pour les fléoles) en acide propionique (6,7 g pour les dactyles et 1,3 g pour les ray-grass anglais) et surtout en acide butyrique (26,8 g pour les dactyles et 1,7 g pour les ray-grass italiens). Ces différences sont atténuées mais subsistent encore en présence d'un conservateur efficace (acides) (tabl. 5).

3. Avec les teneurs en matière sèche, en cendres et en glucides solubles des fourrages. L'augmentation de la teneur en matière sèche du fourrage lors de la mise en silo s'est accompagnée d'une augmentation significative du pH ($r = + 0,520^*$), des teneurs en acide propionique ($r = + 0,483^*$) et en acide butyrique ($r = + 0,573^{**}$) et d'une diminution hautement significative de la teneur en acide acétique ($r = - 0,747^{***}$) (tabl. 6). La prise en considération dans une régression multiple de la teneur en cendres, en plus de la teneur en matière sèche, a amélioré certaines des liaisons précédentes. L'augmentation de la teneur en cendres (qui doit traduire la contamination du fourrage par de la terre) a entraîné une nouvelle augmentation significative du pH ($R = 0,715^{***}$), du pourcentage d'azote sous forme ammoniacale ($R = 0,467^*$) et une diminution de la teneur en acide lactique ($R = 0,575^{**}$). En revanche, la prise en considération de la teneur en glucides solubles, en supplément des deux variables précédentes, n'a pas beaucoup modifié les liaisons précédentes ; l'augmentation de la teneur en glucides solubles n'a augmenté significativement que la teneur en acide propionique ($R = 0,568^{**}$) et la teneur en acides gras volatils totaux ($R = 0,482^*$) (tabl. 6). En moyenne, quand la teneur en glucides solubles a augmenté de 10 g, les teneurs en acides lactique, acétique et propionique ont augmenté respectivement de 0,42, 1,43 et 0,26 g seulement, et la teneur en acide butyrique a diminué de 0,40 g, soit une augmentation de la teneur en acides organiques totaux de 1,71 g.

Cette influence des teneurs en matière sèche, en cendres et en glucides solubles subsiste encore mais est atténuée en présence de conservateurs ou après préfanage.

En moyenne, les teneurs en glucides solubles des fourrages lors de la mise en silos étaient respectivement pour les graminées ensilées, directement sans conservateur, directement avec addition d'acides minéraux, après préfanage et pour les trèfles violets ensilés avec addition d'acides, de 110,3 ; 122,8 ; 119,0 et 78,0 g par kg de matière sèche. Les glucides solubles restant éventuellement dans l'ensilage n'ont malheureusement pas été déterminés. Il n'est donc pas possible de faire un bilan correct de transformation de ces glucides solubles en acides organiques. Cependant nous avons trouvé dans l'ensilage pour 100 g de glucides solubles dans le fourrage mis en silo, respectivement sous forme d'acides lactique, acétique, butyrique et d'acides organiques totaux (lactique + acétique + propionique + butyrique + valériannique) :

- 45,1, 30,0, 12,8 et 92,2 g pour les graminées ensilées directement sans conservateur,
- 36,1, 23,4, 3,2 et 64,9 g pour les graminées ensilées avec addition d'acides minéraux,
- 34,6, 15,4, 12,9 et 64,2 g pour les graminées préfanées,
- 124,8, 35,6, 0,4 et 161,1 g pour les trèfles violets ensilés avec addition d'acides minéraux.

TABLEAU 6

Coefficients de corrélation simple ou multiple entre les caractéristiques fermentaires des ensilages et les teneurs en matière sèche, en cendres et en glucides solubles des fourrages lors de la mise en silos

Caractéristiques fermentaires	Teneur en matière sèche x_1	Teneur en matière sèche x_1 + teneur en cendres x_2	Teneur en matière sèche x_1 + teneur en cendres x_2 + teneur en glucides solubles x_3
21 ensilages de graminées directs sans conservateur			
pH	+ 0,520*	+ + (1) 0,715***	+ + — 0,737***
N-NH ₃ en p. 100 N total	+ 0,368 NS	+ + 0,467*	+ + — 0,470*
Acide lactique (g/kg de MS)	— 0,369 NS	— 0,575**	— + 0,577**
Acide acétique (g/kg de MS)	— 0,747***	— 0,750***	— + + 0,790***
Acide propionique (g/kg de MS)	+ 0,483*	+ + 0,487*	+ + + 0,568***
Acide butyrique (g/kg de MS)	+ 0,573**	+ + 0,610**	+ + — 0,615**
Acides gras volatils totaux (mM/kg de MS)	— 0,329 NS	— + 0,336 NS	— + + 0,482*
48 ensilages de graminées			
pH	+ 0,461**	+ + 0,493***	+ + — 0,604***
N-NH ₃ en p. 100 N total	+ 0,266 NS	+ + 0,271 NS	— + — 0,419**
Acide lactique (g/kg de MS)	— 0,206 NS	— 0,362*	— + 0,420***
Acide acétique (g/kg de MS)	— 0,553***	— + 0,588***	— + + 0,701***
Acide propionique (g/kg de MS)	+ 0,069 NS	+ — 0,194 NS	+ — + 0,216 NS
Acide butyrique (g/kg de MS)	+ 0,448**	+ — 0,453**	+ — — 0,502***
Acides gras volatils totaux (mM/kg de MS)	— 0,332*	— + 0,355*	+ + + 0,479***

(1) Les symboles + et — indiquent dans l'ordre le signe du coefficient de régression de x_1 , x_2 et x_3 .

Il apparaît donc, au moins pour les trèfles violets et vraisemblablement pour les graminées ensilées directement sans conservateur, que les acides organiques formés lors des fermentations proviennent aussi d'autres sources énergétiques que celles apportées par les glucides solubles de la plante.

Digestibilité des ensilages

Les coefficients de digestibilité de la matière organique, des matières azotées et de la cellulose brute des ensilages étudiés et leur marge de variation (écart-type) suivant les différents traitements sont rapportés dans le tableau 7.

1. *Digestibilité de la matière organique*

La digestibilité (Y) des ensilages dépend essentiellement de celle (x_0) des fourrages sur pied au moment de la récolte (fig. 2) et à un degré moindre des teneurs des ensilages en matières azotées (x_1) et en cellulose brute (x_2). Nous obtenons en effet les équations de régression suivantes pour les ensilages de graminées ou d'herbe de prairie naturelle :

Ensilages directs sans conservateur :

$$\begin{aligned} Y &= 0,990 x_0 - 4,45 \pm 3,25 & r &= 0,819^{***} & n &= 37 \\ Y &= 1,132 x_1 - 0,326 x_2 + 61,97 \pm 4,17 & R &= 0,686^{***} & n &= 37 \end{aligned}$$

Ensilages directs + acides minéraux (AIV) :

$$\begin{aligned} Y &= 0,773 x_0 + 14,90 \pm 1,98 & r &= 0,858^{***} & n &= 15 \\ Y &= 0,582 x_1 - 0,656 x_2 + 82,17 \pm 3,13 & R &= 0,627^* & n &= 15 \end{aligned}$$

Ensilages directs + mélasse :

$$\begin{aligned} Y &= 1,176 x_0 - 14,28 \pm 3,74 & r &= 0,715^* & n &= 10 \\ Y &= f(x_1 \text{ et } x_2) \quad \text{non significatif} & R &= 0,549 \end{aligned}$$

Ensilages préfanés (en supprimant les 3 échantillons les moins préfanés — teneur en matière sèche de 16,6, 19,0 et 22,4 p. 100) :

$$\begin{aligned} Y &= 1,037 x_0 - 6,39 \pm 2,68 & r &= 0,853^{***} & n &= 15 \\ Y &= 0,582 x_1 - 0,900 x_2 + 87,60 \pm 2,83 & R &= 0,848^{***} & n &= 15 \end{aligned}$$

Ensemble des ensilages de graminées et d'herbe de prairie permanente :

$$\begin{aligned} Y &= 1,074 x_0 - 8,83 \pm 3,36 & r &= 0,814^{***} & n &= 77 \\ Y &= 0,975 x_1 - 0,610 x_2 + 74,36 \pm 3,90 & R &= 0,741^{***} & n &= 77 \end{aligned}$$

Ensilages de trèfle violet + acides minéraux ou mélasse :

$$\begin{aligned} Y &= 0,766 x_0 + 11,73 \pm 2,09 & r &= 0,830^* & n &= 7 \\ Y &= f(x_1 \text{ et } x_2) \quad \text{non significatif} & R &= 0,125 \end{aligned}$$

Les modifications subies par le fourrage lors de la conservation par ensilage ont entraîné une diminution de la digestibilité assez variable : de + 3,0 à - 12,8 points (- 4,0 points en moyenne) (fig. 2).

Cette diminution dépend essentiellement du traitement étudié : elle a été la plus faible et la moins variable pour les plantes ensilées avec addition d'acides miné-

TABLEAU 7

Digestibilité et ingestibilité des ensilages étudiés : modifications entraînées par l'ensilage

	Graminées et herbe de prairie naturelle					Trèfle violet	
	Directs	AIV	Mélassé	Préfané	Préfané % MS > 25 %	AIV	Mélassé
Nombre d'échantillons.....	37	15	10	18	14	3	4
Coefficients de digestibilité (en %) :							
● Matière organique	63,4 ± 5,6	69,7 ± 3,7	70,0 ± 5,0	65,6 ± 5,2	66,7 ± 5,1	67,3 ± 1,4	66,0 ± 4,6
● Matières azotées	52,9 ± 13,9	61,2 ± 7,5	60,3 ± 9,6	49,2 ± 15,2	52,0 ± 14,5	67,2 ± 0,6	63,0 ± 6,5
● Cellulose brute	69,9 ± 5,6	75,1 ± 4,8	75,7 ± 4,9	71,8 ± 4,9	72,9 ± 4,8	61,0 ± 4,1	58,7 ± 5,6
Quantité ingérée (g/kg Po. ⁷⁵)							
● Matière sèche	42,3 ± 8,9	45,0 ± 7,5	45,8 ± 8,5	48,3 ± 13,0	51,1 ± 10,7	64,5 ± 11,0	51,9 ± 4,6
● Matière organique digestible.....	23,8 ± 6,1	27,4 ± 5,3	28,2 ± 6,3	28,4 ± 9,2	30,4 ± 7,8	38,7 ± 7,3	30,9 ± 5,6
Diminution entre la plante sur pied et la plante ensilée :							
● Digestibilité de la MO ⁽¹⁾ (points) { 1*	— 5,2 ± 3,2	— 1,2 ± 2,1	— 1,6 ± 3,6	— 4,8 ± 3,4	— 4,0 ± 2,5	— 5,2 ± 2,6	— 4,9 ± 2,5
● Matières azotées digestibles (g/kg de MS) ... { 2**	— 3,2	+ 0,3	— 0,1	— 3,2	— 2,4	— 3,8	— 3,4
● Matière sèche ingérée : {	— 4	+ 8	+ 9	— 13	— 3	0	— 15
— g/kg Po. ⁷⁵	— 23,2 ± 10,0	— 23,5 ± 10,8	— 24,0 ± 10,0	— 20,8 ± 11,9	— 19,1 ± 11,1	— 17,0 ± 10,4	— 25,8 ± 4,5
— en % de la quantité ingérée en vert { 1*	— 35,4	— 34,1	— 34,3	— 30,1	— 27,2	— 20,8	— 33,2
— en % de la quantité ingérée en vert { 2**	— 31,7	— 30,9	— 31,1	— 26,7	— 23,7	— 17,2	— 30,3
● MO ⁽¹⁾ digestible ingérée (en % de la { 1*	— 41,5	— 37,4	— 37,4	— 35,6	— 32,0	— 25,9	— 36,9
quantité ingérée avec le fourrage vert) { 2**	— 36,2	— 32,2	— 32,8	— 31,3	— 25,9	— 20,5	— 32,5

(1) MO : matière organique.

1* Valeur non corrigée pour les pertes de matière sèche volatiles lors du séchage à l'étuve.

2** Valeur corrigée pour les pertes de matière sèche lors du séchage à l'étuve.

raux ($-1,2 \pm 2,1$ points) si on ne tient pas compte des trèfles violets très riches en eau, pour lesquels la diminution a été plus élevée ($-5,2 \pm 2,6$) parce que les pertes d'éléments nutritifs dans les jus ont dû être importantes. La diminution de digestibilité reste du même ordre ($-1,6 \pm 3,6$ points) pour les graminées ensilées avec de la mélasse mais elle est plus variable ; elle est à la fois plus importante et plus variable

FIG. 2. — Liaison entre la digestibilité de la matière organique des ensilages (non corrigée pour les pertes de matière sèche volatile lors du séchage à l'étuve) et la digestibilité de la matière organique des fourrages verts

pour les graminées ensilées directement sans conservateur ($-5,2 \pm 3,2$) ou après préfanage ($-4,8 \pm 3,4$ ou $-4,0 \pm 2,5$ suivant qu'on considère l'ensemble des ensilages préfanés ou seulement ceux ayant une teneur en matière sèche supérieure à 25 p. 100). Signalons que les diminutions les plus élevées ont été obtenues pour les ensilages préfanés mais dont la teneur en matière sèche était faible par suite d'une pluie survenue lors du ramassage des andains.

La teneur en matière sèche des ensilages ayant été sous-estimée, il en a été de même de leur digestibilité. La sous-estimation de la digestibilité a été au maximum de 3,9 points pour 2 échantillons dont les teneurs en matière sèche avaient été sous-estimées de 12,0 et 11,2 p. 100. Elle a été en moyenne de :

- 2,0 points pour les graminées ensilées directement sans conservateur,
- 1,6 point pour les graminées préfanées,
- 1,5 point pour les graminées ensilées avec addition d'acides minéraux ou de mélasse et pour les trèfles violets ensilés avec addition de mélasse,
- 1,4 point pour les trèfles violets ensilés avec addition d'acides minéraux.

Il en résulte qu'il n'y a pas eu diminution de la digestibilité pour les graminées ensilées avec addition d'acide ou de mélasse et que la diminution moyenne pour les

autres traitements a été de 3,7 et 3,4 points pour les trèfles violets ensilés avec addition d'acide ou de mélasse et de 3,2 et 2,4 points pour les graminées ensilées directement sans conservateur ou après un préfanage amenant la teneur en matière sèche du fourrage au-dessus de 25 p. 100. Dans la suite de cet exposé nous continuerons à présenter les résultats à partir de la teneur en matière sèche non corrigée et les diminutions de digestibilité rapportées seront donc surestimées de 1,4 à 2,0 points suivant les traitements.

Les valeurs présentées dans le tableau 7 et relatives à l'influence du traitement sur la diminution de digestibilité entraînée par l'ensilage ne sont pas strictement comparables entre elles parce qu'elles ont été obtenues sur un nombre différent d'échantillons et à partir de fourrages sur pied différents. L'influence du traitement est cependant confirmée par les résultats présentés dans le tableau 8 et qui sont obtenus à partir des mêmes fourrages sur pied, récoltés avec la même machine de récolte et ensilés dans le même type de silo.

La diminution de digestibilité dépend en outre d'un certain nombre d'autres facteurs : stade de végétation de la plante lors de la récolte, famille botanique ou espèce végétale de cette plante, type de silo et de machine de récolte, lieu d'étude.

1. *Stade de végétation de la plante.*

La diminution de digestibilité a été en moyenne plus faible pour les 8 fourrages de graminées récoltés directement et ensilés sans conservateur à l'apparition des premiers épis ($- 3,2 \pm 2,8$ points) que pour ceux récoltés trois semaines plus tard ($- 5,1 \pm 3,3$ points). Il n'en a cependant pas été de même pour les ensilages de trèfle violet, vraisemblablement par suite des pertes plus importantes sous forme de jus. Les résultats présentés dans le tableau 8 confirment en outre l'influence prépondérante du stade de récolte sur la digestibilité (et l'ingestibilité) des ensilages.

2. *De l'espèce et de la famille botanique de la plante.*

La diminution de digestibilité a été plus importante pour les trèfles violets ensilés avec addition d'acides minéraux ou de mélasse que pour les graminées ensilées avec ces mêmes conservateurs, vraisemblablement par suite de pertes beaucoup plus importantes sous forme de jus. De même, il semble exister des différences suivant l'espèce végétale pour les graminées. C'est ainsi que nous avons observé les diminutions suivantes pour les graminées ensilées directement sans conservateur :

Dactyle	$- 5,9 \pm 1,6$		$n = 4$
Fétuque élevée	$- 3,1 \pm 2,9$		$n = 7$
Fléole	$- 7,1 \pm 1,7$		$n = 5$
Ray-grass anglais	$- 3,8 \pm 2,9$		$n = 6$
Ray-grass italien	$- 4,1 \pm 3,0$		$n = 5$
Herbe de prairie naturelle	$- 6,9 \pm 2,6$		$n = 9$

Ces chiffres n'indiquent cependant que des tendances parce qu'ils sont calculés à partir d'un nombre trop faible d'échantillons.

3. *Du lieu de récolte.*

Les diminutions de digestibilité ont été plus importantes pour les ensilages étudiés au Pin que pour ceux étudiés à Theix et cela quel que soit le traitement

TABLEAU 8

Influence du traitement et du stade de végétation sur les diminutions de digestibilité et d'ingestibilité entraînées par l'ensilage à partir des mêmes fourrages sur pied
(Valeurs non corrigées pour les pertes lors du séchage à l'étuve)

Traitement ou stade de végétation	n	Teneur en MS (p. 100)	Digesti- bilité de la MO	Ingestibilité (g/kg P ^{0,75})		Diminution entre la plante sur pied et la plante ensilée		
				MS	MOD (1)	Digestibilité (points)	Ingestibilité (p. 100)	
							MS	MOD
7 fourrages de graminées (Theix)								
Direct	7	17,8	69,3 ± 4,0	44,7 ± 6,8	26,8 ± 4,8	- 2,5 ± 2,4	- 37,8	- 41,6
AIV	7	19,0	71,1 ± 3,6	45,4 ± 6,8	28,0 ± 4,9	- 0,7 ± 2,0	- 36,8	- 39,0
Préfané.....	7	30,3	69,2 ± 3,8	50,8 ± 9,0	30,5 ± 7,1	- 2,6 ± 2,4	- 29,3	- 33,6
8 fourrages de graminées ou d'herbe de prairie naturelle (Theix-le-Pin)								
AIV	8	19,5	69,5 ± 2,0	44,9 ± 9,3	27,1 ± 6,1	- 1,7 ± 2,4	- 36,0	- 39,6
Mélassé	8	20,5	68,3 ± 5,3	44,4 ± 10,0	26,6 ± 7,0	- 2,9 ± 4,1	- 36,6	- 40,7
3 fourrages de trèfle violet (Theix)								
AIV	3	18,6	67,3 ± 1,4	64,5 ± 11,9	38,7 ± 7,3	- 5,2 ± 2,6	- 20,8	- 25,8
Mélassé	3	18,6	68,0 ± 2,7	53,8 ± 3,5	33,0 ± 3,3	- 4,4 ± 2,3	- 34,1	- 36,7
14 fourrages de graminées ou d'herbe de prairie naturelle (Theix-le-Pin)								
Direct	14	19,4	66,2 ± 5,6	45,4 ± 8,0	26,5 ± 5,6	- 4,5 ± 3,1	- 35,3	- 40,8
Préfané.....	14	30,7	66,7 ± 5,1	51,1 ± 10,7	30,4 ± 7,8	- 4,0 ± 2,5	- 27,2	- 32,3
8 fourrages de graminées ensilées directement sans conservateur (Theix)								
Début épiaison ..	8	18,5	67,8 ± 4,7	43,6 ± 7,0	25,4 ± 5,8	- 3,2 ± 2,8	- 35,7	- 41,3
Début épiaison + 3 semaines ...	8	21,1	58,3 ± 4,9	34,3 ± 3,6	17,9 ± 2,6	- 5,1 ± 3,3	- 38,4	- 43,9
3 fourrages de trèfles violet ensilés avec acide ou mélassé (Theix)								
Bourgeonnement.	3	17,8	68,5 ± 2,0	62,5 ± 11,9	38,4 ± 6,6	- 5,4 ± 2,4	- 24,3	- 28,6
Bourgeonnement + 3 semaines ..	3	19,7	63,9 ± 3,4	49,6 ± 3,0	28,5 ± 3,5	- 4,0 ± 2,1	- 34,6	- 38,4

(¹) MOD = Matière organique digestible

étudié. C'est ainsi que pour les ensilages de graminées et d'herbe de prairie naturelle nous observons les diminutions suivantes :

	<i>Theix</i>	<i>Le Pin</i>
	—	—
Ensilages directs sans conservateur	$- 3,8 \pm 3,1$ ($n = 21$)	$- 6,9 \pm 2,4$ ($n = 16$)
Ensilages + AIV	$- 1,1 \pm 2,2$ ($n = 13$)	$- 2,2 \pm 1,1$ ($n = 2$)
Ensilages + mélasse	$- 0,4 \pm 2,3$ ($n = 7$)	$- 4,6 \pm 4,9$ ($n = 3$)
Ensilages préfanés	$- 2,7 \pm 2,4$ ($n = 7$)	$- 4,8 \pm 2,5$ ($n = 8$)

Ces différences doivent résulter du fait que les ensilages fabriqués au Pin le furent avec moins de soins qu'à Theix (tassement plus faible, hachage plus grossier des fourrages) et que les silos employés en 1966 et 1967 étaient en bois non gainés de plastique.

4. Du type de silo.

Au Pin, la diminution de digestibilité a été un peu plus faible pour les fourrages ensilés dans les silos butyl que pour ceux ensilés dans les silos en bois non gainés de plastique : $- 5,9$ ($n = 11$) contre $- 7,2$ ($n = 5$) pour les ensilages directs sans conservateur, $- 4,1$ ($n = 6$) contre $- 6,7$ ($n = 2$) pour les ensilages préfanés.

5. De la machine de récolte.

A Theix, pour les ensilages préparés dans des silos en bois gainés de plastique la diminution de digestibilité a été plus faible quand les fourrages ont été récoltés avec l'ensileuse à tambour hacheur (coupe fine) que lorsqu'ils ont été récoltés avec l'ensileuse à plateau hacheur (coupe moyenne) : respectivement $- 2,5$ ($n = 7$) et $- 4,5$ ($n = 14$) pour les ensilages directs sans conservateur, $- 0,4$ ($n = 4$) et $- 1,4$ ($n = 3$) pour les ensilages à la mélasse et 0 ($n = 4$) et $- 1,6$ ($n = 9$) pour les ensilages AIV.

Ces diminutions de digestibilité sont liées significativement ($P < 0,05$ ou $0,01$) aux caractéristiques fermentaires des ensilages. Pour l'ensemble des 48 ensilages de graminées réalisés à Theix la diminution de digestibilité a été d'autant plus importante que le pH ($r = 0,554^{**}$), le pourcentage d'azote sous forme ammoniacale ($r = 0,423^{**}$), les teneurs en acide propionique ($r = 0,467^{**}$), en acide butyrique ($r = 0,460^{**}$) et en acides gras volatils totaux ($r = 0,315^{*}$) étaient élevés et elle a été d'autant plus faible que la teneur en acide lactique était élevée ($r = 0,303^{*}$). Elle a été, en revanche, indépendante de la teneur en acide acétique ($r = 0,047$).

2. Digestibilité apparente des matières azotées.

La digestibilité apparente des matières azotées des ensilages a varié essentiellement dans le même sens que leur teneur en matières azotées totales. Aussi la teneur en matières azotées digestibles (MAD en p. 100) des ensilages a-t-elle été très étroitement liée à leur teneur en matières azotées (MA en p. 100).

$$\text{MAD} = 0,941 \text{ MA} - 4,42 \pm 0,69 \quad r = 0,968^{***} \quad n = 87$$

La teneur en matières azotées apparemment non digestibles (MAND en p. 100) a été en moyenne de $5,1 \pm 0,7$. Elle a peu varié pour les graminées ensilées directement sans conservateur ($5,0 \pm 0,7$) ou avec addition d'acides minéraux ($4,9 \pm 0,3$) ou de mélasse ($5,1 \pm 0,4$) mais a été plus élevée pour les ensilages de graminées préfanés ($5,5 \pm 0,8$) et surtout pour les ensilages de trèfle violet ($-6,1 \pm 0,8$). Elle a été indépendante de la teneur en matières azotées ($r = 0,194$ NS pour $n = 87$).

Quel que soit le traitement, la digestibilité apparente des matières azotées des ensilages a été inférieure à celle des fourrages verts correspondants. L'équation de régression liant la teneur en matières azotées digestibles et la teneur en matières azotées totales pour les fourrages verts est d'ailleurs assez différente de celle trouvée pour les ensilages :

$$\text{MAD} = 0,894 \text{ MA} - 3,07 \pm 0,42 \quad r = 0,987 \quad n = 45$$

et la teneur en matières azotées non digestibles des fourrages verts a été bien inférieure aux valeurs observées pour les ensilages : 4,3 pour les 41 graminées et l'herbe de prairie naturelle, 4,5 pour les 4 trèfles violets.

Il en résulte que la digestibilité apparente des matières azotées des ensilages a été faiblement liée à celle des fourrages verts correspondants ($r = 0,640$ pour $n = 87$) et lui a été un peu inférieure malgré l'augmentation de la teneur en matières azotées de l'ensilage par rapport à la plante sur pied.

3. Digestibilité de la cellulose brute.

La digestibilité de la cellulose brute des ensilages a été faiblement liée ($r = 0,581^{**}$) à celle des fourrages sur pied correspondants et elle lui a été supérieure de 2,6 à 6,9 points pour les graminées et l'herbe de la prairie naturelle suivant les traitements malgré l'augmentation de la teneur en cellulose brute entraînée par l'ensilage. En revanche, la digestibilité de la cellulose brute des ensilages de trèfle violet a été inférieure de 4,0 points à celle des fourrages sur pied mais cela est dû essentiellement à 2 ensilages (un AIV et un mélassé) fabriqués à partir du même trèfle violet sur pied) pour lesquels la diminution de la digestibilité de la cellulose brute a été de 20 points en moyenne. Si on supprime les valeurs vraisemblablement aberrantes de ces 2 ensilages, la digestibilité de la cellulose brute des ensilages de trèfle violet a été, elle aussi, supérieure de 2,0 points à celle des fourrages sur pied.

La digestibilité de la cellulose brute n'a pas besoin d'être corrigée, comme celle de la matière sèche ou de la matière organique, pour les pertes de matière sèche volatile lors du séchage à l'étuve. Les différences de digestibilité observées pour la cellulose brute entre la plante sur pied et la plante ensilée traduisent donc des différences réelles. Il faut donc admettre, soit que la cellulose brute des fourrages a été rendue plus digestible par les micro-organismes ou les acides organiques de l'ensilage, soit qu'elle a conservé la même digestibilité intrinsèque mais que la proportion qui en a été digérée a été plus élevée par suite du niveau d'ingestion plus faible et d'un temps de séjour plus long dans le rumen, soit enfin que ce n'est pas exactement la même cellulose brute que l'on dose dans le fourrage vert et dans l'ensilage. Il est difficile de choisir entre ces différentes hypothèses en l'absence d'un fractionnement glucidique complet des membranes végétales.

Quantités d'ensilage ingérées

Les quantités de matière sèche et de matière organique digestible d'ensilage ingérées par les moutons sont rapportées au tableau 7. Elles sont en moyenne beaucoup plus élevées pour les ensilages de trèfle violet (respectivement 57,3 et 34,3 g/kg P^{0,75}) que pour les ensilages de graminées ou d'herbe de prairie naturelle (respectivement 44,6 et 26,1 g). Ces quantités n'ont pas été corrigées pour les pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve ; après correction elles deviennent respectivement 60,0 et 36,7 g pour les trèfles violets et 47,0 et 28,2 g pour les graminées et l'herbe de prairie naturelle. Dans la suite de cet exposé nous continuerons à présenter les résultats de quantités ingérées sur la base de la matière sèche non corrigée mais cela ne saurait changer en rien les conclusions générales.

1. Diminution de la quantité de matière sèche ingérée entre la plante sur pied et la plante ensilée.

L'ensilage a entraîné une diminution importante (33 p. 100) et très variable (de 1,0 à 63,8 p. 100) de l'ingestibilité des fourrages (fig. 3). Nous avons choisi d'ex-

FIG. 3. — Relation entre la quantité de matière sèche d'ensilage ingérée (non corrigée pour les pertes de matière sèche volatile lors du séchage à l'étuve) et la quantité de matière sèche de fourrage vert ingérée

primer cette diminution en p. 100 pour qu'elle soit indépendante de l'ingestibilité de la plante sur pied. En effet, la diminution exprimée en g ($-\Delta g$) dépend de la quantité de matière sèche ingérée en vert (MSIV) :

$$-\Delta g = -0,483 \text{ MSIV} + 10,26 \pm 9,03 \quad r = 0,440^{***} \quad n = 87$$

Elle a donc été d'autant plus importante que la quantité ingérée en vert était plus élevée. En revanche, la diminution exprimée en p. 100 est indépendante de la quantité ingérée en vert ($r = 0,156$ NS pour $n = 87$).

Cette diminution d'ingestibilité affecte tous les ensilages même ceux dont la digestibilité est identique à celle du fourrage sur pied. Contrairement à la diminution de la digestibilité, elle dépend peu du traitement étudié, du stade de récolte et du lieu d'étude :

a) *Du traitement étudié.* — La diminution d'ingestibilité est de l'ordre de 35 p. 100 pour les ensilages de graminées préparés directement avec ou sans conservateur (tabl. 7). Seul le préfanage a permis de la limiter mais les différences entre les ensilages directs et les ensilages préfanés (même si on ne retient que les ensilages préfanés au-dessus de 25 p. 100 de matière sèche) restent faibles : diminution de 27 p. 100 pour les ensilages préfanés contre 35 p. 100 pour les ensilages directs. La diminution d'ingestibilité a été plus faible pour les trèfles violets (28 p. 100 en moyenne contre 34 p. 100 pour les graminées ensilées avec les mêmes conservateurs) et a varié suivant le traitement étudié : diminution de 21 p. 100 quand les trèfles ont été ensilés avec addition d'acides minéraux contre 33 p. 100 quand ils ont été ensilés avec addition de mélasse. Tous ces résultats sont confirmés quand les comparaisons sont faites à partir des mêmes fourrages sur pied (tabl. 8).

b) *Du stade de récolte du fourrage.* — Du moins pour les graminées (tabl. 8)) : pour les 8 graminées récoltées à 2 stades de récolte du 1^{er} cycle, la diminution d'ingestibilité a été pratiquement identique pour les ensilages correspondant au stade précoce (35,7 p. 100) et pour ceux récoltés trois semaines plus tard (38,4 p. 100). Les ensilages correspondant au stade précoce ont donc été ingérés en plus grande quantité que ceux correspondant au stade tardif : 43,6 contre 34,3 g/kg P^{0,75}. De même, les ensilages de trèfle récoltés au stade « boutons floraux » ont été ingérés en plus grande quantité que ceux récoltés trois semaines plus tard ; 62,5 contre 49,6 g. A la fois pour les graminées et les trèfles, un retard de trois semaines dans la récolte a entraîné une baisse d'ingestibilité de 21 p. 100.

c) *Du lieu d'étude.* — En moyenne la diminution d'ingestibilité a été de 33,1 p. 100 et de 34,9 p. 100 respectivement pour les 50 et les 30 ensilages de graminées ou d'herbe de prairie naturelle étudiés à Theix et au Pin.

En revanche, la diminution d'ingestibilité entre la plante sur pied et la plante ensilée dépend dans une large mesure du type de silo et de la machine de récolte.

1° *Du type de silo.* — Elle a été plus faible pour les fourrages ensilés au Pin en silo hermétique (silo butyl) que pour ceux ensilés en silo de bois non gainé de plastique : 28,5 p. 100 ($n = 11$) contre 49,3 p. 100 ($n = 5$) pour les ensilages directs sans conservateur, et de 17,2 p. 100 ($n = 6$) contre 39,8 p. 100 ($n = 2$) pour les ensilages préfanés.

2° *De la machine de récolte.* — Pour les ensilages de graminées étudiés à Theix en silos bois gainés de plastique, la diminution d'ingestibilité a été beaucoup plus

TABLEAU 9
*Liaisons entre la diminution d'ingestibilité (en p. 100) entraînée par l'ensilage
 et — la diminution de digestibilité — les caractéristiques fermentaires de l'ensilage*

Catégories d'ensilages	Diminution de la digestibilité de la MO		Caractéristiques fermentaires ⁽¹⁾						
	n	(points)	pH	N-NH ₃ en p. 100 d'N total	Acide lactique (g)	Acide acétique (g)	Acide propionique (g)	Acide butyrique (g)	Acides gras volatils tot. (mMoles)
Graminées :									
— directs sans conservateur ..	37	0,243	— 0,182	— 0,216	+ 0,232	— 0,410 *	— 0,468 *	— 0,300	— 0,745 ***
— directs + acides	15	0,320	+ 0,151	+ 0,269	+ 0,180	— 0,675 *	— 0,193	+ 0,245	— 0,564 *
— directs + mélasse	10	0,390	— 0,486	— 0,188	+ 0,805 *	— 0,948 **	— 0,630	+ 0,120	— 0,970 ***
— préfanés	15	0,357	— 0,423	+ 0,186	+ 0,652	— 0,274	— 0,788	— 0,485	— 0,786 ⁽¹⁾
— total.....	77	0,258 *	— 0,176	— 0,143	+ 0,292 *	— 0,487 ***	— 0,429 ***	— 0,210	— 0,695 ***
Trèfles violets	7	0,616	— 0,879 **	— 0,174	— 0,025	— 0,561	— 0,066	— 0,685	— 0,488
Graminées + trèfles violets	84	0,213	— 0,221	— 0,173	+ 0,292 *	— 0,476 ***	— 0,423 **	— 0,222	— 0,681 ***

⁽¹⁾ Les teneurs en acides sont exprimées en g ou en mmoles par kg de matière sèche.

* Significatif à la probabilité 7 p. 100.

** Significatif à la probabilité 1 p. 100.

*** Significatif à la probabilité 1 p. 1 000.

Le signe + indique que la diminution d'ingestibilité est plus faible et le signe — qu'elle est plus élevée quand la valeur de la caractéristique fermentaire considérée augmente.

faible pour les fourrages récoltés avec l'ensileuse à tambour hacheur (brins courts) que pour ceux récoltés avec l'ensileuse à plateau hacheur (brins moyens) ; respectivement 25,3 ($n = 7$) contre 39,5 p. 100 ($n = 14$) pour les ensilages directs, 22,5 ($n = 4$) contre 37,5 p. 100 ($n = 3$) pour les ensilages mélassés et 20,9 ($n = 4$) contre 36,1 p. 100 ($n = 9$) pour les ensilages AIV soit en moyenne 23,4 ($n = 15$) contre 38,1 p. 100 ($n = 26$) pour les ensilages directs avec ou sans conservateur.

La diminution d'ingestibilité entre la plante sur pied et la plante ensilée (exprimée en p. 100 de la quantité ingérée en vert) n'est expliquée que partiellement par la diminution de digestibilité, $r = 0,258^*$ ($P < 0,05$) pour les 77 ensilages de graminées et d'herbe de prairie naturelle et $r = 0,213^*$ ($P < 0,05$) pour l'ensemble des 84 ensilages étudiés, non compris les 3 ensilages préfanés à des teneurs en matière sèche insuffisantes. Nous avons alors cherché si la diminution d'ingestibilité était liée aux caractéristiques fermentaires des ensilages. Les caractéristiques fermentaires ayant eu une action significative ont été différentes suivant les traitements étudiés (tabl. 9). On remarque cependant que la diminution d'ingestibilité a été en moyenne statistiquement indépendante du pH, de la proportion d'azote sous forme ammoniacale et de la teneur en acide butyrique.

En revanche, elle a été d'autant plus faible ($P < 0,05$) que la teneur en acide lactique était plus élevée et a été d'autant plus élevée ($P < 0,001$) que les teneurs en acide acétique, en acide propionique et surtout en acides gras volatils totaux (en mmoles par kg de matière sèche), étaient importantes. Seule cette dernière a eu

FIG. 4. — Droites de régression obtenues suivant les traitements entre la diminution de quantité de matière sèche entraînée par l'ensilage et la teneur des ensilages en acides gras volatils totaux

une action significative pour chacune des catégories d'ensilage considérées, sauf celle des trèfles violets. Il convient par ailleurs de remarquer que les droites de régression liant la diminution d'ingestibilité et la teneur en acides gras volatils totaux des différentes catégories d'ensilages sont peu différentes entre elles (fig. 4) compte tenu du nombre parfois assez faible ($n = 6$ pour les ensilages préfanés et $n = 7$ pour les

TABLEAU IO

*Liaisons entre la quantité de matière sèche d'ensilage ingérée et — la quantité ingérée en vert —
la composition chimique et la digestibilité de l'ensilage — les caractéristiques fermentaires de l'ensilage*

	Graminées				Trèfle violet	Graminées + trèfle violet
	Directs sans conservateur	Direct + acides	Direct + mélasse	Préferanés	Total	
Quantité ingérée en vert (g/kg P ₂ O ₅) ⁽¹⁾	0,422**	0,132	0,217	0,256	0,360***	0,445***
Teneur en matière sèche	0,315 ⁽¹⁾	0,317	0,620 ⁽¹⁾	— 0,007	0,418***	0,303**
Teneur en matières azotées	0,615***	0,339	0,683*	0,616*	0,523***	0,509***
Teneur en cellulose brute	— 0,630***	— 0,110	— 0,231	— 0,505 ⁽¹⁾	— 0,535***	— 0,575***
Digestibilité de la matière organique	0,393*	0,124	0,332	0,571*	0,397***	0,381***
pH	— 0,279	— 0,191	— 0,317	— 0,519	— 0,306*	— 0,394**
N-NH ₃ en p. 100 N total	— 0,405*	— 0,025	— 0,186	— 0,224	— 0,418**	— 0,275
Acide lactique (g/kg de matière sèche)	+ 0,509*	+ 0,423	+ 0,625 ⁽¹⁾	+ 0,648	+ 0,418**	+ 0,155
Acide acétique (g/kg de matière sèche)	— 0,018	— 0,449	— 0,833**	— 0,138	— 0,211	+ 0,518***
Acide propionique (g/kg de matière sèche)	— 0,620**	— 0,310	— 0,602 ⁽¹⁾	— 0,957***	— 0,617***	— 0,194
Acide butyrique (g/kg de matière sèche)	— 0,537*	— 0,401	— 0,446	— 0,581	— 0,371*	— 0,623***
AGV totaux (mmoles/kg de matière sèche)	— 0,470	— 0,304	— 0,800	— 0,620	— 0,513	— 0,392**
						— 0,512

⁽¹⁾ Les nombres de données sont respectivement pour les 5 premiers critères étudiés (quantité ingérée en vert... digestibilité de la matière organique) de 37, 15, 10, 15, 77, 7 et 84 et pour les autres critères (pH... acides gras volatils totaux) de 21, 13, 7, 7, 48, 7 et 55.
0,10 * ** *** significatif à la probabilité 10, 5, 1 p. 100 et 1 p. 1 000.

ensilages mélassés de graminées) de données à partir desquelles elles ont été calculées. Il semble donc que la diminution d'ingestibilité dépende essentiellement de la teneur de l'ensilage en acides gras volatils totaux ; d'ailleurs la prise en considération dans une régression multiple d'une ou de deux caractéristiques fermentaires en plus de la teneur en acides gras volatils totaux augmente peu ou pas l'intensité de la liaison comme le montrent les 2 équations suivantes, liant la diminution d'ingestibilité en p. 100 ($-\Delta$ p. 100 en valeur négative) à la teneur en acides gras volatils totaux (AGV en mM), au pourcentage d'azote sous forme ammoniacale ($N-NH_3$), et à la teneur en acide lactique (ac. L) pour les 54 ensilages retenus :

$$\Delta \text{ p. 100} = -15,90 - 0,022 \text{ 2 AGV} \pm 8,33 \quad r = 0,681^{***}$$

$$\Delta \text{ p. 100} = -19,64 - 0,021 \text{ 3 AGV} + 0,099 \text{ 2 } N-NH_3 \\ + 0,041 \text{ 1 ac L} \pm 8,39 \quad r = 0,691^{***}$$

2. Quantités de matière sèche d'ensilage ingérées.

La quantité de matière sèche d'ensilage ingérée va donc dépendre à la fois de la quantité ingérée en vert (c'est-à-dire de l'espèce végétale ou de la famille botanique de la plante et du stade de récolte) (fig. 3) et des caractéristiques fermentaires de l'ensilage. Il existe donc une liaison mais elle est faible ($r < 0,6$) avec :

— les facteurs caractérisant la plante et son stade de récolte ; la quantité ingérée a varié dans le même sens que la digestibilité de la matière organique, la teneur en matières azotées et en sens inverse de la teneur en cellulose (tabl. 10) ;

— les facteurs caractérisant les fermentations, considérés eux aussi seuls c'est-à-dire indépendamment de ceux de la plante. La quantité ingérée a varié dans le même sens que la teneur en acide lactique et en matière sèche et en sens inverse du pH, du pourcentage d'azote sous forme ammoniacale et des teneurs en acides propionique, butyrique ou en acides gras volatils totaux. Seule la teneur en acide acétique n'a pas eu d'action significative sur la quantité ingérée (tabl. 10).

En revanche, la liaison devient beaucoup plus étroite ($R > 0,70$) quand on associe à la fois des critères de la plante et des critères de la qualité de la conservation. Les équations de régression les plus étroites entre la quantité de matière sèche d'ensilage ingérée (Y en g/kg $P^{0,75}$) et ces critères étaient les suivantes :

$$Y = 14,63 + 0,830 \text{ dig mo} - 0,015 \text{ AGV} \pm 6,97$$

$$R = 0,707^{***} \quad n = 54$$

$$Y = 16,62 + 0,618 \text{ MSIV} - 0,016 \text{ AGV} - 0,052 \% \text{ MS} \pm 5,80$$

$$R = 0,813 \quad n = 54$$

$$Y = 16,18 + 0,556 \text{ MSIV} - 0,014 \text{ AGV} + 0,045 \text{ AL} \pm 5,64$$

$$R = 0,824 \quad n = 54$$

$$Y = 16,65 + 0,606 \text{ MSIV} - 0,015 \text{ AGV} - 0,072 \text{ } N-NH_3 \pm 5,80$$

$$R = 0,813 \quad n = 54$$

$$Y = 19,90 + 0,602 \text{ MSIV} - 0,015 \text{ AGV} - 0,883 \text{ pH} \pm 5,74$$

$$R = 0,814 \quad n = 54$$

$$Y = 20,85 + 0,254 \% \text{ MS} + 2,251 \% \text{ MA} - 0,013 \text{ AGV} \pm 5,60$$

$$R = 0,827 \quad n = 54$$

$$Y = 14,97 + 0,822 \% \text{ MS} + 2,091 \% \text{ MA} - 0,368 \% \text{ CB} \pm 6,75$$

$$R = 0,753 \quad n = 84$$

avec :

Dig mo, le coefficient de digestibilité de la matière organique en points,
 MSIV, la quantité de matière sèche ingérée sous forme de fourrage vert en g/kgP^{0,75},
 % MS, la teneur en matière sèche de l'ensilage,
 % MA, la teneur en matières azotées de l'ensilage,
 % CB, la teneur en cellulose brute de l'ensilage,
 AL, la teneur en acide lactique (en g par kg de matière sèche),
 AGV, la teneur en acides gras volatils totaux (mmoles par kg MS),
 N-NH₃, le pourcentage d'azote sous forme ammoniacale.

La quantité d'ensilage ingérée augmente en moyenne de 0,83 g par point de digestibilité, de 0,55 à 0,60 g quand la quantité ingérée en vert augmente de 1 g et elle diminue de 1,3 à 1,6 g à chaque fois que la teneur en acides gras volatils totaux augmente de 100 mmoles. En revanche, les variations du pH, du pourcentage d'azote sous forme ammoniacale, et à moindre degré de la teneur en acide lactique ne la modifient que très peu, quoique de façon significative.

Il convient de souligner l'intérêt des 2 dernières équations données précédemment, notamment de l'avant dernière. Elles permettent de prévoir avec une précision satisfaisante la quantité d'ensilage ingérée à partir de critères chimiques couramment déterminés par les laboratoires d'analyses en série.

3. Diminution de la quantité de matière organique digestible ingérée.

La quantité de matière organique digestible ingérée représente au mieux la valeur alimentaire des fourrages puisqu'elle mesure la quantité d'éléments nutritifs ingérée par l'animal. L'ensilage a entraîné une diminution importante (en moyenne de 38,2 p. 100) et très variable (de 7,9 à 73,0 p. 100) de la valeur alimentaire des fourrages. Cette diminution dépend essentiellement de celle de la quantité de matière sèche ingérée, aussi varie-t-elle avec les mêmes facteurs. Il est important de ne pas l'assimiler à une perte pondérale de matière sèche nutritive dans le silo.

Elle dépend donc peu des traitements étudiés (tabl. 7 et 8). Elle est de l'ordre de 41,5 p. 100 pour les ensilages de graminées réalisés directement sans conservateur contre 37,5 p. 100 pour ceux réalisés avec addition de mélasse ou d'acides. Seul le préfanage permet de la limiter : diminution de 32,0 p. 100 en moyenne. Le type de conservateur a cependant un effet marqué pour les trèfles violets : diminution d'environ 26 p. 100 pour ceux ensilés avec addition d'acides contre 37 p. 100 pour ceux ensilés avec addition de mélasse. De même, elle dépend peu du stade de récolte du moins pour les graminées. La valeur alimentaire des ensilages sera donc d'autant plus élevée que les fourrages auront été récoltés à un stade plus précoce : un retard de trois semaines dans la date de récolte entraîne une diminution de valeur alimentaire de 25 à 30 p. 100 (tabl. 8).

En revanche, la diminution de valeur alimentaire entraînée par l'ensilage dépend dans une large mesure :

— du type de silo utilisé : elle a été plus faible pour les ensilages réalisés en silo hermétique que pour ceux réalisés en silo de bois non gainé de plastique : c'est ainsi que pour les ensilages du Pin, elle a été de 37,6 ($n = 11$) contre 56,9 p. 100 ($n = 5$) pour les ensilages directs sans conservateur et de 23,2 ($n = 6$) contre 45,9 p. 100 ($n = 2$) pour les ensilages préfanés.

— de la machine de récolte : pour les ensilages de graminées réalisés à Theix en silos de bois gainés de plastique, la diminution d'ingestibilité a été beaucoup plus faible quand les fourrages ont été récoltés avec l'ensileuse à tambour hacheur (brins courts) que lorsqu'ils ont été récoltés avec l'ensileuse à plateau hacheur (brins moyens) : respectivement 29,0 ($n = 7$) contre 44,5 p. 100 ($n = 14$) pour les ensilages directs, 22,5 ($n = 4$) contre 40,0 p. 100 ($n = 3$) pour les ensilages à la mélasse et 21,5 ($n = 4$) contre 36,9 p. 100 ($n = 9$) pour les AIV. Il convient en outre de remarquer que l'addition d'un conservateur a limité la diminution de valeur alimentaire beaucoup plus quand le fourrage était haché finement que lorsqu'il a été haché grossièrement.

La diminution de la valeur alimentaire dépend essentiellement comme celle de la quantité de matière sèche ingérée, de la teneur en acides gras volatils totaux ($r = -0,686^{***}$ pour l'ensemble des 54 ensilages de caractéristiques fermentaires connues) ; elle a été d'autant plus importante que cette dernière était élevée. Elle a cependant été liée à toutes les autres caractéristiques fermentaires mais beaucoup plus faiblement ; le pH ($r = -0,338^{***}$), les teneurs en acides acétique ($r = -0,413^{**}$), propionique ($r = -0,499^{**}$), butyrique ($r = -0,315^*$) et lactique ($r = +0,326^{**}$).

4. Quantité de matière organique digestible ingérée.

La quantité de matière organique digestible d'ensilage ingérée (en g/kg P^{0,75}) a, elle aussi, été liée aux mêmes critères que la quantité de matière sèche ingérée mais les liaisons ont été plus étroites et ont toujours été significatives au seuil de 1 p. 1 000. Elle a augmenté en même temps que la digestibilité de la matière organique ($r = +0,594$) et que la teneur en acide lactique ($r = +0,535$) et a diminué quand le pH ($r = -0,485$) le pourcentage d'azote sous forme ammoniacale ($r = -0,543$) et les teneurs en acide propionique ($r = -0,625$) ou en acide butyrique ($r = -0,447$) augmentaient.

Elle dépend essentiellement de la quantité de matière organique digestible ingérée en vert (MODIV) et de la teneur en acides gras volatils totaux (AGV) et peu des autres caractéristiques fermentaires, par exemple de la teneur en acide lactique (AL) ou de la proportion d'azote sous forme ammoniacale (N-NH₃), comme on peut le voir dans les équations suivantes :

$$Y = 8,52 + 0,569 \text{ MODIV} - 0,010 \text{ AGV} + 0,033 \text{ AL} \pm 3,83$$

$$r = 0,853^{***} \quad n = 54$$

$$Y = 11,23 + 0,586 \text{ MODIV} - 0,011 \text{ AGV} - 0,157 \text{ N-NH}_3 \pm 3,93$$

$$r = 0,844^{***} \quad n = 54$$

DISCUSSION

I. Pour une espèce donnée, les caractéristiques fermentaires des ensilages directs sans conservateur peuvent être très variables suivant la teneur en matière sèche ou le stade de développement de la plante au moment de la mise en silos, le type de silo, la machine de récolte, la contamination éventuelle avec de la terre, etc. Ces résultats ne font que confirmer les très nombreux travaux antérieurs réalisés dans plusieurs pays (cf. revues de BREIREM et ULVESLI, 1960 ; WATSON et NASH, 1960 ;

ZIMMER, 1960) et montrent que pour obtenir à coup sûr un ensilage stable, caractérisé par une ammoniogenèse réduite et peu ou pas d'acide butyrique, il est le plus souvent nécessaire d'employer un conservateur efficace permettant d'abaisser artificiellement ou naturellement le pH en dessous de 4,0. La dose de conservateur, d'acide notamment, à employer doit cependant varier d'une espèce végétale à l'autre, et peut-être d'un stade de récolte à l'autre si l'on veut inhiber totalement la fermentation butyrique, vraisemblablement parce que le pouvoir tampon est variable d'une plante à l'autre (Mc DONALD et HENDERSON, 1962 ; GREENHILL, 1964). Quant au préfanage amenant le fourrage aux environs de 30 p. 100 de matière sèche, il est encore insuffisant pour supprimer le développement des bactéries butyriques (cf. aussi GOUET *et al.*, 1965) sauf si le silo est parfaitement hermétique. Un préfanage pendant 48 ou 72 heures mais à un taux insuffisant (< 25 p. 100 de matière sèche) par suite de conditions climatiques mauvaises, entraîne toujours une très mauvaise conservation. Sauf pour l'ensilage très préfané, le pH a donc une action déterminante dans la réussite de la conservation puisqu'il est positivement ou négativement lié à toutes les autres caractéristiques fermentaires (acide lactique, ammoniogenèse, acides propionique et butyrique) sauf l'acide acétique. Ce dernier dépend essentiellement de la teneur en matière sèche et de l'espèce végétale et assez peu de l'emploi ou non d'un conservateur ; si l'addition d'acides minéraux a souvent diminué sa teneur, l'addition de mélasse a presque toujours eu l'effet inverse. Cela pose évidemment un problème puisque l'acide acétique constitue souvent une part importante des acides gras volatils totaux formés au cours de la conservation et que la teneur en acides gras volatils totaux est étroitement liée à la diminution d'ingestibilité entraînée par l'ensilage.

Nous n'avons pu déterminer les pertes lors du séchage à l'étuve que pour les ensilages étudiés à Theix ; celles-ci ont été de l'ordre de 5,4 p. 100. Cette valeur est un peu plus élevée que celle trouvée (2,6 p. 100) par FATIANOFF et GOUET (1969). La méthode de correction de la matière sèche proposée par ces auteurs à partir des teneurs en acides gras volatils et en ammoniac de l'ensilage, aurait conduit à augmenter la teneur en matière sèche de nos ensilages de 3,1 p. 100 en moyenne au lieu de 5,4 p. 100. Certes la température de séchage que nous avons employée est plus élevée que la leur, 80°C au lieu de 70°C, mais cela ne peut cependant expliquer ces différences. Des composés volatils autres que les acides gras volatils et l'ammoniac doivent être perdus lors du séchage à l'étuve.

Nous avons vu que cette sous-estimation de la teneur en matière sèche expliquait en partie l'augmentation systématique des teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute observée entre la plante sur pied et la plante ensilée mais cette augmentation résulte aussi des pertes de matière sèche dans les jus et sous forme de gaz durant la conservation. Elle a conduit aussi à surestimer les diminutions de digestibilité et d'ingestibilité entraînées par l'ensilage mais ne peut, à elle seule, les expliquer. Les fèces perdant aussi des produits volatils lors du séchage à l'étuve (LÉVY, 1956) il apparaît que la seule méthode précise et valable pour comparer la digestibilité avant et après ensilage, consisterait à mesurer la digestibilité de l'énergie brute sur les aliments (herbe ou ensilage) et les fèces frais.

2. Comme l'avaient déjà montré HARRIS et RAYMOND (1963) la digestibilité des ensilages dépend avant tout de celle des fourrages sur pied ; l'espèce végétale, le stade de développement ou l'âge, et le numéro du cycle au moment de la récolte

en restent les facteurs principaux. Elle pourra être prévue avec une précision satisfaisante à partir de celle de la plante sur pied (tabl. 7). Les diminutions de digestibilité sont variables suivant le type d'ensilage réalisé : elles sont nulles quand les fourrages sont ensilés avec addition d'un conservateur efficace (mélasse et surtout acides) sauf si les fourrages sont très riches en eau (trèfle violet) et sont de l'ordre de 2 à 4 points en moyenne pour les fourrages ensilés sans conservateur, directement ou après préfanage. Elles dépendent en outre de l'herméticité du silo et de la finesse de hachage du fourrage et sont en règle générale d'autant plus faibles que le pH est bas et que les fermentations donnant naissance à de l'ammoniac et aux acides gras volatils sont réduites. Tout traitement, type de silo ou additif favorisant une anaérobiose rapide et un démarrage immédiat de la fermentation lactique permettra donc de limiter les diminutions de digestibilité, comme ils permettent d'ailleurs de limiter les pertes de matière sèche durant la conservation (ZELTER, 1969).

Quant à la teneur en matières azotées digestibles (MAD en p. 100) des ensilages, elle pourra être prévue avec précision à partir de la teneur en matières azotées totales (MAT en p. 100) : $MAD = MAT - 5,0$. Elle doit cependant être considérée comme une valeur maximum car elle n'a pas été corrigée pour la teneur en ammoniac. On sait par ailleurs qu'une fraction importante de ces matières azotées se trouve sous forme d'azote soluble très fermentescible dans le rumen. DURAND *et al.* (1968) ont ainsi montré que la rétention azotée était plus faible avec les ensilages directs sans conservateur qu'avec les ensilages préfanés, les foin ou les fourrages verts.

3. L'ingestibilité des ensilages dépend comme celle de tout fourrage conservé de celle des fourrages verts sur pied ; elle dépend donc de l'espèce végétale et du stade de développement de la plante au moment de la récolte et par là en partie de la digestibilité de l'ensilage. Les résultats obtenus montrent cependant :

— que l'ingestibilité des ensilages est bien inférieure à celle de la plante sur pied ce qui est en accord avec les travaux antérieurs de MOORE, THOMAS et SYKES, (1960), GORDON *et al.*, (1961) ; HARRIS et RAYMOND, (1963) ; ZELTER *et al.*, (1967) ayant comparé l'ingestibilité des ensilages à celle des foin ou des fourrages verts correspondants ;
— que d'autres phénomènes viennent en partie masquer les liaisons existant entre l'ingestibilité de l'ensilage et l'ingestibilité de la plante sur pied ou la digestibilité de l'ensilage. Nous avons montré que la diminution d'ingestibilité entre la plante sur pied et la plante ensilée augmente en même temps que la teneur en acide acétique, et surtout que la teneur en acides gras volatils totaux. Il est cependant peu vraisemblable que l'acide acétique ou les acides gras volatils totaux agissent par eux-mêmes (MOORE *et al.*, 1960 ; HUTCHINSON et WILKINS, 1971 ; DULPHY, résultats non publiés) mais leur augmentation s'accompagne vraisemblablement de celle de certains métabolites non identifiés ayant, eux, un effet dépressif direct sur les quantités ingérées. Il est, à ce propos, important de souligner qu'il est indispensable pour étudier les causes de la faible ingestibilité des ensilages de raisonner sur la diminution observée à partir du fourrage vert sur pied à moins que la variabilité de l'ingestibilité des différents fourrages sur pied utilisés pour préparer les ensilages soit très faible. Des liaisons significatives entre la quantité d'ensilage ingérée et certaines caractéristiques fermentaires peuvent être en effet des artefacts. C'est ainsi (tabl. 11) que si la quantité d'ensilage ingérée augmente quand le pH diminue, c'est parce que les pH les plus faibles correspondent aux fourrages dont les quantités ingérées en vert étaient les plus élevées. Inversement, alors que la teneur en acide acétique influe très négati-

tivement ($P < 0,001$) sur la différence d'ingestibilité entre la plante sur pied et la plante ensilée, elle n'a pas d'action sur la quantité d'ensilage ingérée et cela parce qu'elle augmente ($P < 0,01$) en même temps que la quantité ingérée en vert. L'effet néfaste de l'acide acétique est donc masqué par l'augmentation de l'ingestibilité de la plante sur pied.

Que les acides gras volatils totaux aient un effet direct sur la quantité d'ensilage ingérée ou un effet indirect par l'intermédiaire d'autres métabolites fermentaires, il importera de limiter leur formation si on veut obtenir des ensilages dont l'ingestibilité se rapproche de celle des fourrages verts de départ. C'est ce qui est notamment obtenu en employant un silo étanche et des fourrages hachés très finement, ces deux facteurs favorisant une anaérobiose rapide et un démarrage immédiat de la fermentation lactique. Nous avons cependant montré que le hachage fin des fourrages jouait non seulement en améliorant la qualité de la conservation mais aussi en aug-

TABLEAU II

Comparaison de l'influence des caractéristiques fermentaires sur la quantité de matière sèche d'ensilage ingérée et sur les modifications de quantité de matière sèche ingérée entre la plante sur pied et la plante ensilée, exprimées soit en p. 100 de la quantité ingérée en vert, soit en g/kg Po.⁷⁵

($n = 54$)

Critères	Quantité de MS d'ensilage ingérée (g/kg P. ⁷⁵)	Modifications par rapport à la plante sur pied (¹)	
		en p. 100 de la quantité ingérée en vert	en g/kg Po. ⁷⁵
pH	— 0,394**	— 0,221	— 0,059
N-NH ₃ en p. 100 N total	— 0,472***	— 0,173	0,042
Acide lactique (g/kg de MS)	+ 0,518***	+ 0,292*	0,129
Acide acétique (g/kg de MS)	— 0,194	— 0,476***	— 0,567***
Acide propionique (g/kg de MS)	— 0,623***	— 0,423***	— 0,217
Acide butyrique (g/kg de MS)	— 0,392**	— 0,222	— 0,038
Acides gras volatils totaux (mM/kg de MS)	— 0,512***	— 0,681***	— 0,642***

(¹) Le signe + indique que la diminution d'ingestibilité par rapport à la plante sur pied est plus faible et le signe — qu'elle est plus élevée quand la valeur de la caractéristique fermentaire considérée augmente.

mentant la « préhensibilité » des fourrages (DULPHY et DEMARQUILLY, 1972). En revanche, les conservateurs employés dans cette étude (le mélange AIV ou la mélasse) et à un moindre degré de préfanage, n'ont pas permis de limiter suffisamment la formation des acides gras volatils et ils n'ont eu, par là, que peu d'action sur la quantité d'ensilage ingérée.

Reçu pour publication en octobre 1972.

SUMMARY

CHEMICAL, COMPOSITION, FERMENTATION CHARACTERISTICS, DIGESTIBILITY
AND VOLUNTARY INTAKE OF FORAGE SILAGES :
CHANGES COMPARED TO THE INITIAL, GREEN FORAGE

1° Forty-five standing forages, the digestibility and voluntary intake of which were determined in conventional indoor digestion trials with wether sheep, were used to prepare 87 experimental silages from 1966 to 1969 : 11 of cocksfoot, 17 of tall fescue, 8 of timothy, 14 of perennial rye-grass, 12 of Italian rye-grass, 3 of a mixture of perennial rye-grass and timothy, 15 of natural grass-land herbage and 7 of red clover. The chopped or lacerated forage was ensiled in small tower silos (4 m³) according to several treatments : either directly without additive (37 silages) or with addition of mineral acids (18 silages) or molasses (14 silages) or after wilting to about 30 p. 100 dry matter (18 silages). During the winter following their harvest, we measured the digestibility and voluntary intake of these silages on 6 adult wethers ; each period of measurements lasted 6 days and was preceded by a pre-experimental period of 15 days.

2° The dry matter content of all silages was determined by oven drying, and for 56 of them it was also measured by means of the distillation with toluene method. The dry matter content of the silage determined by oven drying was underestimated, on an average, by 1.12 points *i. e.* 5.4 p. 100, but it was closely related (fig. 1) to that determined by distillation which toluene. Except when it is mentioned especially, the data concerning the chemical composition, digestibility and voluntary intake are based on the dry matter content determined by oven drying *i. e.* non corrected for losses of volatile substances during the drying process.

3° The chemical composition of the silages mainly depended on that of the standing forages before ensiling (tabl. 1). However, a systematic increase of ash, nitrogen and crude fiber contents was noticed : 12.6, 9.3 and 15.4 p. 100 respectively on the basis of the non corrected dry matter and 7.5, 4.7 and 8.9 p. 100 on the basis of the corrected dry matter.

4° The fermentation characteristics of the silages largely depended on the treatment applied and this was apparent either when considering the whole lot of silages studied (tabl. 2) or when taking as a basis comparisons made from the same original herbages (tabl. 4). The quality of conservation of the silages prepared with addition of mineral acids (mixture AIV) or molasses was higher than that of silages without additive or wilted silages. The fermentation characteristics did not vary independently the one from the others, but were closely bound together (tabl. 3). Thus, the variation of pH was opposite to that of the lactic acid content and similar to that of the propionic, butyric acid and ammonia contents.

The fermentation characteristics of the silages without additive depended furthermore on the stage of growth at the time of harvest stage (tabl. 4), the forage species (tabl. 5) and on the contents of dry matter, ash, soluble carbohydrates of the forages (tabl. 6). These factors still had some effects, but very attenuated in the presence of additives or after wilting.

5° Digestibility of the organic matter of the silages mainly depended on that of the corresponding original forages at the time of harvest (fig. 2), but the changes in the forages occurring during ensiling led to a rather variable lowering of the digestibility : from + 3.0 to - 12.8 points (4.0 on average). This reduction mainly depended on the treatment studied : on the basis of the dry matter corrected for losses of volatile substances during the drying process it was generally non-existent in the case of herbages ensiled with addition of mineral acids or of molasses except for plants with a high water content (red clover) resulting in values of 3.4 and 3.8 points due to high losses of nutrients in the juices. The mean values for forages ensiled directly without additive or after wilting were 3.2 and 2.4 points respectively (tabl. 7). The effect of the treatment on the lowering of digestibility was confirmed when considering only the comparisons made from same original forages (tabl. 8).

For a given treatment, especially for the forages ensiled without additive, this reduction also depended on the stage of growth at the time of harvest (tabl. 8), on the species or botanical family of the herbage, on the tightness, of the silo and on the chopping fineness.

The digestibility reduction was all the more large as the pH and contents of ammonia, propionic and butyric acids were high and all the more low as the content of lactic acid was high. On the other hand, it was not affected by the acetic acid content.

6° The apparent digestibility of the crude protein of the silages mainly varied in the same

way as the content of crude protein. Thus, the content of apparent digestible crude protein (DCP) in p. 100) was closely related to the crude protein (CP in p. 100).

$$\text{DCP} = 0.941 \text{ CP} - 4.42 \pm 0.69 \quad r = 0.968 \quad n = 87$$

Whatever the treatment, the apparent digestibility of the silage crude protein was lower than that of the corresponding green forages. Thus, the content of non digestible crude protein (in p. 100) was higher for the silages (5.0 p. 100 for unwilted grass silages, 5.5 p. 100 for wilted grass silages and 6.1 p. 100 for red clover silages) than for the fresh forages (4.3 and 4.5 p. 100 respectively for grasses and red clover).

7° The crude fiber digestibility of the silages was slightly related to that of the green forage and, in the case of grass silages, it exceeded the latter by 2.6 to 6.9 points according to treatments and even though ensiling brought about an increase of the crude fiber content.

8° Ensiling caused a large (33 p. 100 on average) and much variable (from 1.00 to 63.8 p. 100) reduction in the voluntary intake of the forages. This decrease did not depend much upon the treatment applied except for wilting : about 35 p. 100 for unwilted silages with or without additive, 27 p. 100 for wilted silages (tabl. 7). On the other hand, reduction of the voluntary intake depended, to a large extent, on the silo type (lower in hermetic or tight silos) and on the harvester (much lower for finely chopped silages, on an average 23.4 p. 100, than for coarsely chopped silages, on an average 38.1 p. 100).

On an average, reduction of the voluntary intake did not depend either on the pH or on the contents of ammonia and butyric acid. On the other hand, it was all the lower ($P < 0.05$) as the lactic acid content of the silages was high, and all the larger ($P < 0.001$) as the contents of acetic, propionic acid and especially volatile fatty acids were high (tabl. 9 ; fig. 4).

Thus, the silage intake level depended both on that of the corresponding standing forage (*i. e.* on herbage species, stage of growth at the time of harvest...) and on the fermentation characteristics. Therefore, it was only slightly related to one or several criteria characterizing only one of these two factors. On the other hand, the relationships were very close ($R > 0.70$ $P < 0.001$) when associating both criteria characterizing the green intake level and those characterizing the chemical quality of the silage.

9° The results are discussed. They confirm that the main problem arising from the utilization of silages is their low intake level. For obtaining silages with a high voluntary intake level, fermentations giving rise to volatile fatty acids have to be limited. This is obtained, in particular, by using tight silos and finely chopped forages as these two factors favour a rapid anaerobiosis and an immediate onset of the lactic fermentation. On the other hand, the additives used during this study did not allow a sufficient limitation of the volatile fatty acid formation and had only a small action on the food intake.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARKER S. B., SUMMERSON W. H., 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, **138**, 535.
- BREIREM K., ULVESLI O., 1960. Ensiling methods. *Herbage Abstr.*, **30**, 1-7.
- BROWN W. O., KERR J. A. M., 1965. Losses in the conservation of grassland herbage in lined trench silos. I. Comparison of long and lacerated silages made by the warm fermentation process. *J. Agric. Sci.*, **64**, 135-141.
- CONWAY E. J., 1957. *Microdiffusion analysis and volumetric error*. Crosby Lockwood. London.
- DEMARQUILLY C., 1970. Influence de la déshydratation à basse température sur la valeur alimentaire des fourrages. *Ann. Zootech.*, **19**, 45-51.
- DEMARQUILLY C., 1970. Valeur alimentaire des foin. *Fourrages*, **42**, 46-52.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., 1970. La valeur alimentaire des foin et des fourrages déshydratés. *Revue de l'Élevage*, **48**, 85-97.
- DEMARQUILLY C., JARRIGE R., 1970. Nutritive value of conserved forage. *Proc. XIth Inter. Grassld. Congr.*, 733-737.
- DEMARQUILLY C., WEISS Ph., 1970. *Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages*. Étude S. E. I., n° 42.
- DEWAR W. A., McDONALD P., 1961. Determination of dry matter in silage by distillation with toluene. *J. Sci. Fd. Agric.*, **12**, 790-795.
- DIJKSTRA N. D., 1957. The conservation of grass for feeding purposes in Agriculture. *Netherl. J. Agric. Sci.*, **5**, 271-283.

- DULPHY J. P., DEMARQUILLY C., 1972. Influence de la machine de récolte sur la valeur alimentaire des ensilages. I. Résultats préliminaires. *Ann. Zootech.*, **21**, 163-173.
- DURAND Michelle, ZELTER S.-Z., TISSERAND J.-L., 1968. Influence de quelques techniques de conservation sur l'efficacité de l'azote de la luzerne chez le mouton. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **8**, 45-67.
- FATIANOFF Nathalie, GOUET Ph., 1969. Relation permettant de corriger rapidement et avec précision la matière sèche des ensilages séchés à l'étuve. *Ann. Zootech.*, **18**, 407-418.
- GORDON C. H., DERBYSHIRE J. C., WISEMAN H. G., LANE E. A., MELIN C. G., 1961. Preservation and feeding value of alfalfa stored as hay, haylage and direct cut silage. *J. Dairy Sci.*, **44**, 1299-1311.
- GOUET Ph., FATIANOFF Nathalie, ZELTER S.-Z., DURAND Michelle, CHEVALIER R., 1965. Influence de l'élevation du taux de matière sèche sur l'évolution biochimique et bactériologique d'une luzerne conservée par ensilage. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **5**, 79-100.
- GREENHILL W. L., 1964. The buffering capacity of pasture plants with special reference to ensilage. *Austr. J. Agric. Res.*, **15**, 511-519.
- HARRIS C. E., RAYMOND W. F., 1963. The effect of ensilage on crop digestibility. *J. Brit. Grassl. Soc.*, **18**, 204-212.
- HUTCHINSON K. J., WILKINS R. J., 1971. The voluntary intake of silage by sheep. II. The effects of acetate on silage intake. *J. Agric. Sci.*, **77**, 539-543.
- LANCASTER R. J., MC NAUGHTON Mary, 1961. Effects of initial consolidation on silage. *N. Z. J. Agric. Res.*, **4**, 504-515.
- LEVY Irving, 1956, cité par BRAHMAKSHATRIYA R. D., DONKER J. D., 1971. Five methods for determination of silage dry matter. *J. Dairy Sci.*, **54**, 1470-1474.
- Mc Donald P., Henderson A. R., 1962. Buffering capacity of herbage samples as a factor in ensilage. *J. Sci. Food Agric.*, **13**, 395-400.
- Mc DONALD P., STIRLING Anna C., HENDERSON A. R., WHITTENBURY R., 1965. Fermentation studies on red clover. *J. Sci. Fd Agric.*, **16** 549-557.
- McDONALD P., HENDERSON A. R., WHITTENBURY R., 1966. The effect of temperature on silage. *J. Sci. Fd Agric.*, **17**, 476-480.
- MOORE L. A., THOMAS J. W., SYKES J. F., 1960. The acceptability of grass/legume silage by dairy cows. *Proc. 8th Int. Grassland Congr.*, 701-704.
- RIGAUD J., JOURNET M., 1970. Méthode de dosage des acides gras volatils dans le liquide du rumen. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 151-157.
- SOMOGYI M., 1952. Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.*, **195**, 19-23.
- WATSON S. J., NASH M. J., 1960. *The conservation of grass and forage crops*. 2nd Ed. Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
- ZELTER S.-Z., 1969. Extent, nature, causes and nutritional significance of losses in forage during harvesting and conservation especially by ensilage. *Proc. 3rd Europ. Grassl. Fed. : Crop conservation and Grassland*, 183-200.
- ZELTER S.-Z., GOUET Ph., TISSERAND J.-L., DURAND Michelle, FATIANOFF Nathalie, BOUSSET J., PUECH R., 1967. Technique de conservation de la luzerne et leurs incidences sur son efficacité nutritive. *Acta Universitatis Agriculturae* (Brno, Tchécoslovaquie), 231.
- ZIMMER E., 1969. Biochemical principles of ensiling. *Proc. 3rd Europ. Grassl. Fed. Crop conservation and Grassland*, 113-126.