

VALEUR ALIMENTAIRE DU MAÏS FOURRAGE

III. — INFLUENCE DE LA COMPOSITION ET DES CARACTÉRISTIQUES FERMENTAIRES SUR LA DIGESTIBILITÉ ET L'INGESTIBILITÉ DES ENSILAGES DE MAÏS

J. ANDRIEU et C. DEMARQUILLY

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

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

RÉSUMÉ

Cette étude, qui porte essentiellement sur 35 ensilages de maïs plante entière sans additif, se propose de dégager une interprétation générale sur les facteurs de variation de la composition et de la valeur alimentaire des ensilages de maïs.

1° Il existe des liaisons assez étroites entre la composition chimique des ensilages (matière sèche, cendres, matières azotées, cellulose brute) et la composition morphologique et chimique de la plante sur pied correspondante. Les teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute sont un peu plus élevées dans les ensilages que dans la plante sur pied, respectivement de 0,7 ; 4,3 et 7,2 p. 100. Cet accroissement est comparable dans le cas de la cellulose brute et de l'amidon, ce qui semblerait indiquer que ce dernier constituant échappe aux fermentations.

2° A partir des glucides solubles, qui ont disparu presque totalement, les fermentations ont donné naissance essentiellement à de l'acide lactique et à des quantités peu variables d'acides gras volatils : les teneurs moyennes en acides lactique, acétique et propionique ont été respectivement de 45,5 ; 13,5 et 0,3 g/kg de MS. Peu variable d'un ensilage à l'autre, le pH a toujours atteint des valeurs inférieures à 4,0 ce qui n'a pas permis à la fermentation butyrique de se développer. Si la proportion d'azote soluble (exprimée en p. 100 de l'azote total) a presque doublé durant la conservation (elle est passée en moyenne de 26 p. 100 dans la plante sur pied à 47 p. 100 dans les ensilages), la formation d'azote ammoniacal a été, par contre, très faible et peu variable (4,7 p. 100 d'azote sous forme ammoniacale en moyenne). Les liaisons entre les principales caractéristiques fermentaires et la composition de la plante sur pied sont, d'une manière générale, faibles ; seule, la teneur en acide acétique des ensilages a varié en sens inverse de la teneur en matière sèche et dans le même sens que la teneur en glucides solubles de la plante sur pied correspondante.

2° Les pertes de matière sèche durant la conservation (jus + gaz) qui ont été en moyenne de 8 p. 100 n'ont pas pu être reliées aux principales caractéristiques de la conservation.

3° La digestibilité de la matière organique des 35 ensilages distribués seuls et à volonté a été liée étroitement à leur teneur en matières azotées totales, tout au moins lorsque cette dernière est restée inférieure à 8,5 p. 100. La digestibilité des 29 ensilages, dont la teneur en azote ne constituait pas un facteur limitant, a été peu variable et en moyenne de 71,1 p. 100 soit 0,76 UF/kg de MS. Elle a été indépendante du stade de végétation de la plante et de ses principaux critères (teneurs en matière sèche et en cellulose brute notamment). Elle n'a pu être estimée de façon satisfaisante qu'à partir de la teneur en épi de la plante ensilée après le stade pâteux (*i. e.* à partir de 27-28 p. 100 de matière sèche). La teneur en matières azotées digestibles (Y), qui a été en moyenne de 42 g/kg de matière sèche dans le cas des 29 ensilages « normaux », a été essentiellement fonction de la teneur en matières azotées (x) :

$$Y = 0,978 x - 3,753 \pm 0,36 ; \quad r = + 0,986^{***}$$

4° L'ingestibilité, qui a été plus variable que la digestibilité, a été en moyenne de $49,8 \pm 8,3$ g de matière sèche/kg P^{0,75}. Comme cette dernière, elle a été étroitement liée à la teneur en matières azotées des ensilages, et cela, jusqu'à une teneur d'environ 9-10 p. 100. Dans le cas des ensilages, dont la teneur en matières azotées ne constituait pas un facteur limitant, elle a été moyenne de 51,9 g et indépendante des principaux critères du stade de végétation de la plante à la récolte (teneur en matière sèche et en épi), de la digestibilité des ensilages et des caractéristiques fermentaires (elle a eu cependant tendance à diminuer légèrement quand les teneurs en acides gras volatils totaux et en acide acétique augmentaient). Les causes exactes des variations de l'ingestibilité et donc de la valeur alimentaire sont mal connues.

INTRODUCTION

Dans la publication précédente (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1973), nous avons regroupé par thème l'influence de différents facteurs sur la valeur alimentaire des ensilages de maïs : stade de maturité à la récolte, variété, conditions de milieu, peuplement, addition d'urée, etc...

Nous nous proposons, dans cette deuxième partie, d'analyser les liaisons éventuelles qui peuvent exister entre la composition chimique de la plante et les caractéristiques fermentaires de l'ensilage, ou entre ces dernières et la digestibilité ou l'ingestibilité (c'est-à-dire la quantité de matière sèche volontairement ingérée par l'animal) de l'ensilage, pour essayer de dégager une interprétation générale sur les facteurs de variation de la composition et de la valeur alimentaire des ensilages de maïs.

L'étude porte sur les 35 ensilages de maïs plante entière sans additif auxquels nous adjoindrons parfois les 18 ensilages avec urée. Préparés à partir de 7 variétés appartenant aux groupes de précocité I et II, ces ensilages ont été récoltés en moyenne 136 jours après le semis soit 51 jours (38 à 63) après la floraison femelle. Les caractéristiques exactes de ces ensilages, les méthodes d'études et les analyses effectuées ont été exposées dans la publication précédente.

RÉSULTATS

Les principaux résultats concernant la composition et la valeur alimentaire des ensilages de maïs plante entière figurent dans le tableau 1.

TABLEAU I

Composition et valeur alimentaire de la plante entière de maïs ensilée
(Récapitulatif)

Lieu — Année	Sans additifs			Avec additifs	Avec et sans additifs
	Montoldre 1968-1969 Clermont 1969-1970	Montoldre 1970	Total	Montoldre Clermont 1969-1970	Total général
	n = 29	n = 6	n = 35	n = 18	n = 53
Date de récolte (en jours après la floraison).....	54 ± 7 (1)	42 ± 2	52 ± 8	51 ± 9	51 ± 8
P. 100 d'épi + spathes dans la MS	62,8 ± 4,3 (1)	54,1 ± 3,4	61,1 ± 5,4	59,4 ± 5,9	60,5 ± 5,6
Composition des ensilages (%) :					
Matière sèche	29,3 ± 3,5	28,4 ± 1,4	29,2 ± 3,2	30,2 ± 3,1	29,5 ± 3,2
Cendres	5,5 ± 0,8	5,6 ± 0,5	5,5 ± 0,7	6,6 ± 0,8	—
Matières azotées	8,3 ± 0,9	5,4 ± 0,5	7,8 ± 1,4	11,3 ± 1,8	—
Cellulose brute	19,0 ± 2,3	21,9 ± 1,2	19,5 ± 2,4	19,4 ± 2,2	19,5 ± 2,3
Amidon	26,3 ± 5,3	20,1 ± 2,9	25,3 ± 5,5	23,9 ± 5,0	24,8 ± 5,3
Caractéristiques de la conservation (2) :					
pH	3,79 ± 0,08	3,76 ± 0,06	3,78 ± 0,07	4,00 ± 0,23	3,86 ± 0,18
N-NH ₃ (p. 100 N total)....	4,7 ± 1,0	5,0 ± 0,9	4,7 ± 1,0	14,7 ± 11,2	—
N soluble (p. 100 N total)....	48,5 ± 8,7	46,7 ± 2,8	48,2 ± 8,0	62,9 ± 8,7	—
Acide lactique (g/kg MS)	47,9 ± 9,4	45,3 ± 7,2	45,5 ± 9,0	57,2 ± 9,4	49,5 ± 9,9
Acidité volatile totale (en mMoles/kg de MS).....	221 ± 63	245 ± 70	225 ± 64	246 ± 76	232 ± 68
Acide acétique (g/kg MS)	13,3 ± 3,8	14,8 ± 3,4	13,5 ± 3,7	13,4 ± 2,9	13,5 ± 3,4
Acide butyrique (g/kg MS) ...	0,2 ± 0,3	0,7 ± 0,8	0,3 ± 0,4	1,0 ± 1,8	0,5 ± 1,3
Pertes de matière sèche (%) (3)	10,2 ± 5,6	4,9 ± 4,4	9,3 ± 5,7	8,9 ± 7,2	9,1 ± 6,2
Coefficient de digestibilité (%) :					
Matière organique	70,5 ± 2,3	62,7 ± 3,9	69,2 ± 4,0	71,2 ± 2,3	69,8 ± 3,6
Matières azotées	49,9 ± 7,2	34,8 ± 6,9	47,3 ± 9,1	65,5 ± 5,3	—
Cellulose brute	53,0 ± 6,7	44,7 ± 6,8	51,6 ± 7,4	57,8 ± 4,6	53,7 ± 7,2
Valeur nutritive :					
UF/kg de MS	0,75 ± 0,05	0,59 ± 0,08	0,72 ± 0,08	0,75 ± 0,05	0,73 ± 0,07
MAD (p. 100 de la MS)	4,2 ± 1,0	1,9 ± 0,5	3,8 ± 1,3	7,5 ± 1,7	—
MS ingérée (g/kg) P ^{0,75}	51,9 ± 6,9	39,3 ± 6,8	49,8 ± 8,3	56,8 ± 4,3	52,1 ± 7,9

(1) Ces moyennes portent sur un nombre plus restreint d'échantillons.

(2) L'acide propionique n'était présent qu'à l'état de traces.

(3) Dans ces pertes sont incluses celles qui résultent des jus, des gaz et de la présence de moisissures en surface à l'ouverture du silo.

Composition morphologique de la plante

Les teneurs en limbes, tiges + gaines et épis (avec leurs spathes) des maïs qui avaient poussé dans de bonnes conditions (c'est-à-dire tous, sauf ceux cultivés à Montoldre en 1970), ont été en moyenne respectivement de 10,7 p. 100 (8,0 à 13,0), 26,4 p. 100 (18,6 à 31,5) et 62,8 p. 100 (56,0 à 72,4 p. 100). L'évolution de la composition morphologique de ces maïs, que nous avons suivie entre la floraison et la maturité physiologique du grain à partir de prélèvements hebdomadaires de 10 plantes, a été analogue à celle que nous avons observée dans une étude préliminaire (ANDRIEU, 1969) ; notamment la part de l'épi dans la plante a augmenté de façon importante : de l'ordre de 10-15 p. 100 à la floraison, elle a atteint pratiquement sa valeur maximum (60 à 70 p. 100) au stade pâteux-vitreux ou vitreux du grain. La proportion d'épis de ces maïs à l'approche de la maturité a été indépendante des quantités de matière sèche de grain ou de fourrage qu'ils ont produites à l'hectare : ainsi, à Montoldre en 1969, les maïs dont la teneur en épi était élevée et supérieure à celle des maïs cultivés la même année à Clermont-Ferrand (70,5 p. 100 contre 64,6 p. 100) ont produit une quantité de grain sec par hectare nettement inférieure (40,5 contre 65,0 quintaux).

Par contre, dans le cas des maïs cultivés à Montoldre en 1970, maïs qui avaient souffert de l'humidité des sols à la levée puis d'une forte sécheresse estivale, le pourcentage d'épis dans la plante a cessé de croître très tôt (environ 30 à 35 jours après la floraison contre 55-60 jours dans le cas des maïs cités plus haut). De ce fait, la composition moyenne de ces maïs le jour de la récolte a été sensiblement différente de celle des maïs normaux : les teneurs moyennes en limbes, tiges + gaines et épis ont été respectivement de 12,6 p. 100 ; 33,3 p. 100 et 54,1 p. 100.

Relations entre la composition de la plante sur pied et celle de la plante ensilée

Teneur en matière sèche.

La teneur en matière sèche des 35 ensilages de plante entière a été en moyenne de $29,2 \pm 3,2$ p. 100.

Les teneurs en matière sèche de l'ensilage (Y) et de la plante sur pied correspondante hachée et prête à être ensilée (x) ont été étroitement liées par la relation suivante :

$$Y = 0,867 x + 3,638 \pm 2,30 \quad r = + 0,935^{***} \quad n = 35$$

Les pertes sous forme de jus semblent avoir été faibles dans nos conditions expérimentales puisque, au-dessus d'une teneur en matière sèche de 25,7 p. 100, l'augmentation de la teneur en matière sèche qui en est résultée a été compensée par la perte de matière sèche volatile lors des fermentations et du séchage à l'étuve.

Teneurs en cendres, en matières azotées totales, en cellulose brute, en glucides et en amidon.

Les teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute des 29 ensilages « normaux » ont été relativement peu variables et en moyenne de $5,51 \pm 0,77$ p. 100, $8,32 \pm 0,94$ p. 100 et $18,96 \pm 2,26$ p. 100. Par contre, les 6 ensilages réalisés à Montoldre en 1970 ont eu des teneurs moyennes en cendres et en cellulose

brute un peu plus élevées, elles ont été respectivement de $5,58 \pm 0,49$ p. 100 et de $21,88 \pm 1,19$ p. 100, et surtout, des teneurs en matières azotées bien plus faibles ($5,43 \pm 0,52$ p. 100).

La composition chimique des ensilages de maïs dépend étroitement de celle de la plante sur pied correspondante :

$$\begin{aligned} Y_1 &= 0,714 x_1 + 1,609 \pm 0,41 & r &= + 0,820^{***} & n &= 35 \\ Y_2 &= 0,746 x_2 + 2,374 \pm 0,67 & r &= + 0,897^{***} & n &= 35 \\ Y_3 &= 0,584 x_3 + 8,791 \pm 2,05 & r &= + 0,530^{***} & n &= 35 \end{aligned}$$

où Y_1 , Y_2 et Y_3 représentent respectivement les teneurs en cendres, en matières azotées et en cellulose brute de l'ensilage et x_1 , x_2 et x_3 celles de la plante sur pied correspondante. Il ressort de ces équations que les teneurs en ces différents constituants sont un peu plus élevées dans les ensilages que dans la plante sur pied, respectivement de 0,7 ; 4,3 et 7,2 p. 100 pour les cendres, les matières azotées et la cellulose brute. Cette augmentation traduit essentiellement le fait que les pertes en ces constituants lors du processus d'ensilage (jus, gaz) ou du séchage à l'étuve (produits volatils) sont plus faibles que celles du reste de la matière sèche.

Les teneurs en cendres (Y_1) et en cellulose (Y_2) des ensilages correspondant à des maïs normalement développés, dépendent essentiellement du stade de récolte et donc de leur teneur en matière sèche (x).

$$\begin{aligned} Y_1 &= - 0,084 x + 7,968 \pm 0,72 & r &= - 0,383^* & n &= 29 \\ Y_2 &= - 0,526 x + 34,401 \pm 1,33 & r &= - 0,816^{***} & n &= 29 \end{aligned}$$

Il convient cependant de signaler que l'influence du stade de récolte est d'autant plus réduite que l'on se rapproche de la maturité ; en effet, si parmi les 29 ensilages normaux on ne considère que les 21 dont la teneur en matière sèche est supérieure à 27 p. 100, les relations citées plus haut ne sont plus significatives.

La teneur en matières azotées des ensilages a été indépendante du stade de récolte et a été variable suivant les conditions de milieu ; la comparaison des teneurs moyennes des ensilages réalisés en 1970 à partir des mêmes variétés soit à Montoldre (5,43 p. 100) soit à Clermont-Ferrand (9,45 p. 100) le fait clairement apparaître.

Comme le montre la relation suivante, la teneur en glucides solubles de la plante à la mise en silo (Y), qui a été en moyenne de 11,4 p. 100 dans le cas des maïs normaux, a varié en sens inverse de la teneur en matière sèche (x) :

$$Y = - 0,412 x + 23,50 \pm 1,91 \quad r = - 0,636^{***} \quad n = 29$$

Celle des ensilages a été très faible (en moyenne 0,8 p. 100 de la matière sèche) et indépendante de leur stade de récolte. La teneur en amidon de la plante lors de la mise en silo, qui a été en moyenne de 22,5 p. 100, a été d'autant plus élevée que sa teneur en matière sèche (x) était plus élevée :

$$Y = 0,774 x + 0,162 \pm 3,80 \quad r = + 0,636^{**}$$

pour les 23 des 29 maïs normaux dont la teneur en amidon a été déterminée lors de la mise en silo. Au cours du processus d'ensilage, l'amidon semble avoir échappé totalement aux fermentations : en effet, l'accroissement de la teneur en amidon de la matière sèche durant la conservation a été en moyenne de 10,8 p. 100 sur la

base de la matière sèche corrigée et donc légèrement supérieur à celui observé dans le cas de cellulose brute (9,1 p. 100) ; or, on sait que la cellulose brute n'est pratiquement pas dégradée par les microorganismes durant la conservation.

Fermentations et pertes d'éléments nutritifs

Modifications de la fraction glucidique.

A partir des glucides solubles, les fermentations ont donné naissance à des quantités d'acides organiques, notamment d'acides gras volatils, relativement peu importantes et surtout peu variables si on les compare à celles des ensilages d'herbe (tabl. 1). En effet, les teneurs en acide lactique et en acides gras volatils totaux des 35 ensilages ont été respectivement en moyenne de $45,5 \pm 9,0$ g et $225,0 \pm 63,7$ mMoles par kg de matière sèche alors qu'elles ont été de $54,1 \pm 33,8$ et 717 ± 350 mMoles dans le cas des 57 ensilages d'herbe et de trèfle violet fabriqués dans des silos de même type et étudiés par DEMARQUILLY (1973). Les acides gras volatils formés sont presque entièrement constitués par de l'acide acétique : les 35 ensilages contenaient en moyenne $13,5 \pm 3,7$ g d'acide acétique, des traces d'acide propionique et $0,3 \pm 0,4$ g d'acide butyrique par kg de matière sèche. Les fermentations qui se produisent dans l'ensilage de maïs sont essentiellement de type lactique. Les quantités d'acides acétique formées ont été d'autant plus faibles que le stade de végétation de la plante à la récolte était plus tardif. La diminution de la teneur en acide acétique (Y) avec le stade de récolte résulte à la fois de l'augmentation de la teneur en matière sèche (x_1) de l'ensilage et de la diminution de la teneur en glucides solubles (x_2) de la plante mise dans le silo comme le montre la relation suivante :

$$Y = -0,538 x_1 + 0,383 x_2 + 24,70 \pm 2,84 \quad R = 0,674^{***} \quad n = 35$$

En revanche, la teneur en acide lactique (Y) est indépendante de la teneur en matière sèche des ensilages ($r = -0,15$ non significatif) et est liée faiblement à leur teneur en glucides solubles :

$$Y = 1,184 x_2 + 33,26 \pm 8,60 \quad r = +0,348^* \quad n = 35$$

Les quantités d'acide lactique et, à un moindre degré, d'acide acétique formées, ont entraîné un abaissement important du pH ; celui-ci a été significativement lié aux teneurs en acides lactique et acétique : r a été respectivement égal à $-0,560^{***}$ et $-0,466^{**}$ pour $n = 35$. Peu variable d'un ensilage à l'autre, le pH a été en moyenne de 3,8 et a été toujours inférieur à 4,0. Il a été indépendant de la teneur en matière sèche de la plante lors de la mise en silo et de celle de l'ensilage, peu dépendant de la teneur en glucides solubles de la plante à la mise en silo ($r = -0,316$; significatif à $P < 0,10$) mais a augmenté significativement avec la teneur en amidon de la plante à la mise en silo ($r = +0,450^*$ pour les 23 ensilages issus de maïs normaux dont la teneur en amidon de la plante sur pied a été déterminée). L'abaissement vers 3,8 du pH a interrompu l'activité fermentaire avant que la totalité des glucides solubles n'ait été fermentée et n'a pratiquement pas permis à la fermentation butyrique de se développer.

En moyenne, 100 g de glucides solubles disparus ont donné naissance à 42,2 g d'acide lactique, 11,9 g d'acide acétique, 0,27 g d'acide propionique et 0,22 g d'acide butyrique soit au total à 54,6 g d'acides organiques.

Modifications de la fraction azotée.

La conservation par l'ensilage a entraîné des modifications importantes dans la composition des matières azotées ; notamment, la proportion d'azote soluble (exprimée en pourcentage de l'azote total) est passée de 25,9 p. 100 dans le cas des plantes sur pied (de 20,4 à 35,5 p. 100) à 46,6 p. 100 dans le cas des ensilages correspondants (de 33,3 à 66,4 p. 100). Cette augmentation a été d'autant plus faible que la teneur en matière sèche des ensilages était élevée et donc que le stade de récolte était plus tardif (fig. 1).

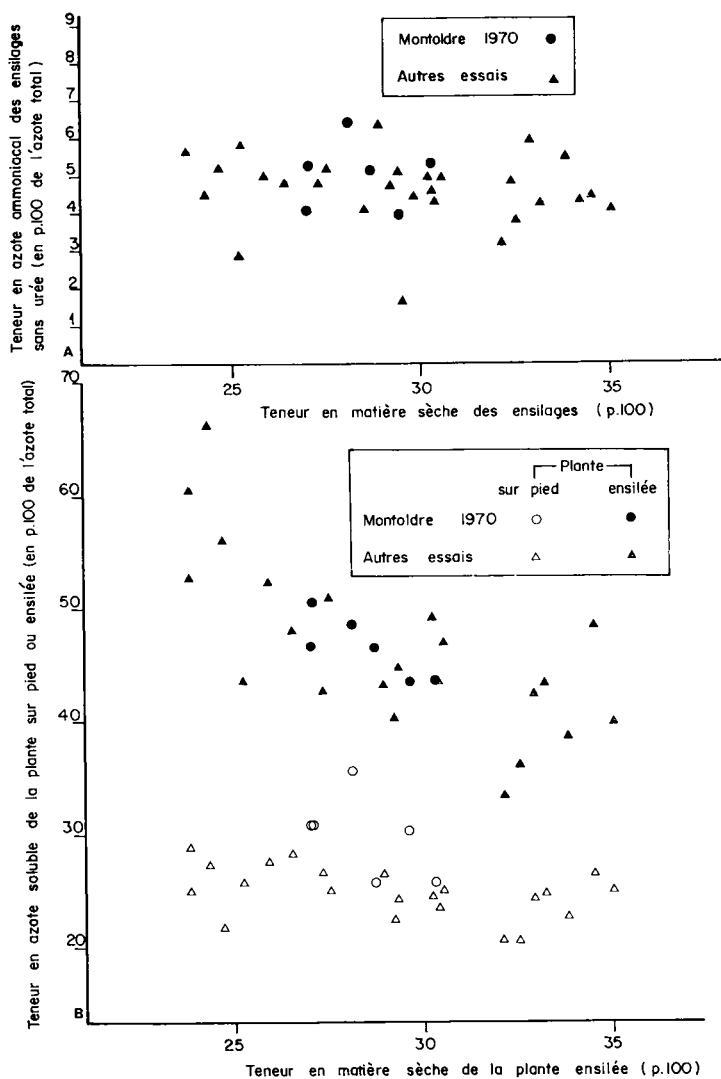


FIG. 1. — Influence du stade de récolte de la plante de maïs

A : Sur la teneur en azote ammoniacal des ensilages sans additif ;
 B : Sur la teneur en azote soluble de la plante avant et après ensilage sans additif.

La proportion d'azote sous forme ammoniacale des 35 ensilages étudiés est restée faible puisqu'elle a été en moyenne de $4,7 \pm 1,0$ et, à la différence des ensilages d'herbe, a varié dans des limites étroites (de 1,6 à 6,4 p. 100, fig. 1). Bien que le pourcentage d'azote dégradé en ammoniac des 35 ensilages de maïs plante entière soit resté faible et peu variable, il a cependant été d'autant plus faible que le pH de l'ensilage était plus bas ($r = -0,549^{***}$), ce qui est classique, mais il a curieusement augmenté en même temps que la teneur en acide lactique ($r = +0,527^{**}$) et surtout en acide acétique ($r = +0,742^{**}$ $n = 35$). Il semble donc que la formation d'ammoniac dans les ensilages de maïs résulte essentiellement des fermentations donnant naissance aux acides lactique et acétique, alors que dans les ensilages d'herbe, elle provient essentiellement des fermentations butyriques.

Pertes d'éléments nutritifs durant la conservation.

Dans les résultats qui vont suivre toutes les teneurs en matière sèche d'ensilage ont été corrigées pour les pertes de matière sèche volatile lors du séchage à l'étuve.

Dans le cas des 35 ensilages les pertes de matière sèche durant la conservation (c'est-à-dire celles résultant essentiellement de dégagements gazeux et accessoirement dans notre cas d'écoulement de jus) ont été en moyenne de $7,8 \pm 4,5$ p. 100. Si on inclut dans les pertes les quantités de matière sèche inconsommables trouvées en surface à l'ouverture du silo (moisi), les pertes ont été en moyenne plus élevées et plus variables : $9,3 \pm 5,7$ p. 100. Les pertes de matière sèche correspondant à l'écoulement des jus et au dégagement de gaz ont eu tendance à être d'autant plus importantes que l'herméticité des silos était moins bonne et que la quantité d'oxygène emprisonnée dans les silos hermétiques était plus importante : les pertes sont passées de $9,4 \pm 3,9$ p. 100 dans les cas des 8 silos en bois gainés intérieurement d'un film plastique (silos étanches) à $8,6 \pm 4,6$ p. 100 dans le cas des 19 silos en butyl (silos hermétiques) dans lesquels le vide n'avait pas été fait et à $4,4 \pm 2,7$ p. 100 dans le cas des 8 silos en butyl dans lesquels on avait fait le vide. Si les pertes sous forme de jus et de gaz ont diminué de manière significative quand la teneur en matière sèche des ensilages augmentait ($r = -0,392^*$), et donc, quand le stade de récolte était plus tardif, par contre, il n'a pas été possible de les relier au pH, à la teneur en azote ammoniacal ainsi qu'à la teneur en acide lactique des ensilages. Cependant, elles ont eu tendance à varier dans le même sens que leur teneur en acides gras volatils totaux ($r = +0,236$; non significatif).

Influence de la composition des ensilages de maïs sur leur valeur nutritive

Digestibilité de la matière organique.

A moins que cela ne soit spécifié, les résultats de digestibilité présentés ici n'ont pas été corrigés pour les pertes de matière sèche volatile lors du séchage à l'étuve. En effet, ces pertes ont entraîné une sous-estimation moyenne de la digestibilité des ensilages de 0,6 point seulement.

Le coefficient de digestibilité de la matière organique des 29 ensilages normaux a été relativement peu variable et en moyenne de $70,5 \pm 2,3$ p. 100 (soit 71,1 p. 100 après correction). La variation plus importante de digestibilité observée quand on considère l'ensemble des 35 ensilages (de 57,8 à 74,9 p. 100) est due aux 6 ensilages

réalisés à Montoldre en 1970 ; en effet, la digestibilité de ces 6 ensilages a été plus faible et plus variable (en moyenne $62,7 \pm 3,9$ p. 100). Cette variation doit traduire essentiellement celle de la digestibilité des plantes sur pied correspondantes puisque, comme nous l'avons vu dans la première partie, la diminution de digestibilité entre

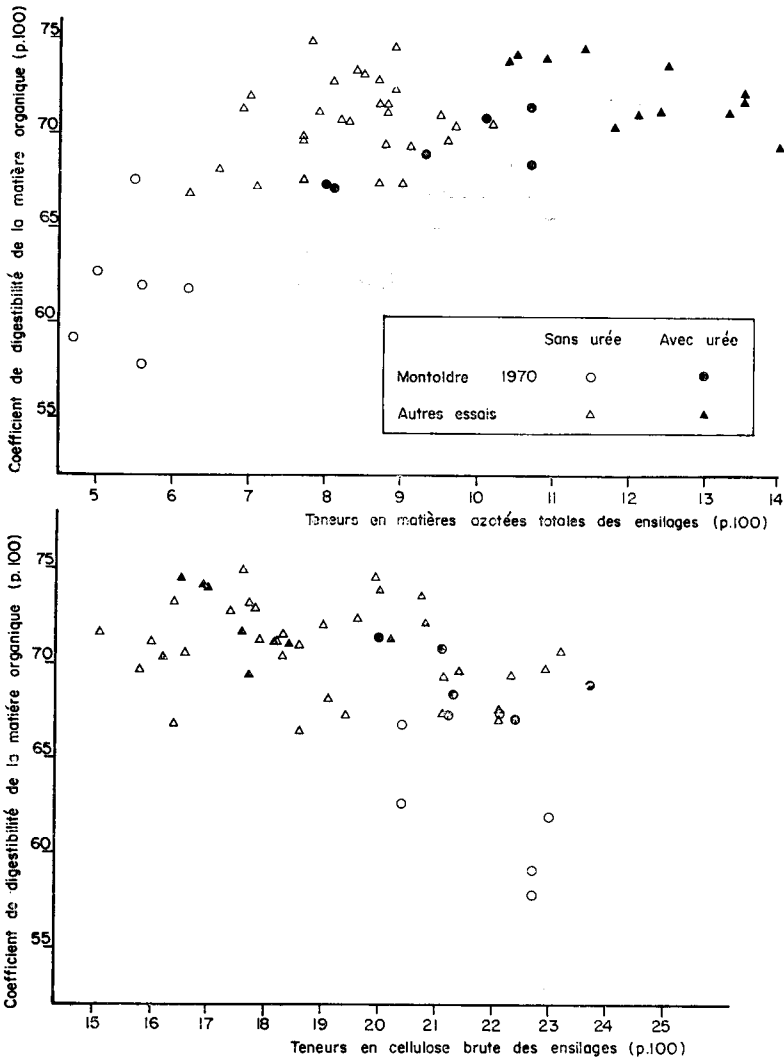


FIG. 2. — Relation entre la digestibilité des ensilages et leur teneur en matières azotées et en cellulose brute

la plante sur pied et la plante ensilée est nulle. Le coefficient de digestibilité (Y) de la matière organique des 35 ensilages distribués seuls à volonté a été lié d'une manière curvilinéaire à leur teneur en matières azotées (x) (fig. 2)

$$Y = 16,080 x - 0,965 x^2 + 4,294 \pm 2,34 \quad R = 0,820^{***} \quad n = 35$$

Le coefficient de digestibilité a donc augmenté avec la teneur en matières azotées totales jusqu'à ce que celle-ci atteigne 8,3 p. 100. Il apparaît donc qu'en dessous de 8,0 à 8,5 p. 100 environ la teneur en matières azotées de la plante de maïs distribuée seule aux moutons soit un facteur limitant de la croissance des micro-organismes présents dans le rumen et responsables de la digestion. Au-delà de cette valeur de 8 ou 8,5 p. 100 il n'existe plus de liaison entre la digestibilité des ensilages et leur teneur en matières azotées. C'est le cas notamment si on ne considère que les 29 ensilages normaux dont la teneur en matières azotées était de $8,3 \pm 0,9$ p. 100. Cela ressortait aussi des comparaisons portant sur les ensilages avec et sans urée (cf. publication précédente).

Afin d'éviter les interférences avec ce phénomène nous nous limiterons donc dans la suite de cette étude, aux facteurs de variation de la digestibilité de la matière organique de ces 29 ensilages de maïs normaux.

Il n'existe aucune liaison significative entre le coefficient de digestibilité des 29 ensilages normaux et les principaux critères du stade de végétation de la plante à la récolte comme le nombre de jours écoulés depuis la floraison femelle, les teneurs en matière sèche et en cellulose brute des ensilages (fig. 2).

L'épi étant beaucoup plus digestible que le reste de la plante, on pourrait penser qu'il existe une liaison entre la digestibilité de la plante et le pourcentage d'épis dans la plante. En fait, comme l'a montré DEMARQUILLY (1969) dans le cas de la plante sur pied, il n'en est rien pour un maïs donné considéré à plusieurs stades de maturité. En revanche, lorsque le pourcentage d'épis n'augmente plus ou très faiblement, ce qui se passe dès la fin du stade pâteux, c'est-à-dire quand la teneur en matière sèche de la plante atteint 27-28 p. 100 et celle de l'épi complet 35 p. 100 environ, les différences dans les pourcentages d'épis observées entre les maïs suivant les essais peuvent expliquer les différences de digestibilité observées : en effet, si nous ne retenons que les ensilages dont les teneurs en matière sèche et en matières azotées (pour que cette dernière ne soit pas facteur limitant de la digestion) sont supérieures respectivement à 27 et 9 p. 100, nous observons une liaison étroite ($P < 0,001$) entre la digestibilité (Y) de la matière organique des ensilages et le pourcentage d'épis (x) dans les ensilages, ces deux valeurs étant liées par l'équation :

$$Y = 0,360 x + 49,242 \pm 1,38 \quad r = + 0,796^{***} \quad n = 21$$

La valeur énergétique, dont les facteurs de variation sont identiques à ceux de la digestibilité de la matière organique, a été estimée pour chaque ensilage à partir de leur teneur en matière organique digestible (MOD) et en matière organique non digestible (MOND), exprimée chacune en g par kg de matière sèche par, la formule proposée par BREIREM (1954) pour les fourrages :

$$\text{UF/kg de MS} = \frac{2,36 \text{ MOD} - 1,20 \text{ MOND}}{1 650}$$

La valeur énergétique des ensilages normaux a été en moyenne de $0,75 \pm 0,05$ UF (soit 0,76 UF après correction pour les pertes à l'étuve). Elle a été plus faible et plus variable ($0,59 \pm 0,08$ UF) dans le cas des 6 ensilages réalisés à Montoldre en 1970.

La valeur énergétique des ensilages (Y), dont les teneurs en matière sèche et en matières azotées sont supérieures respectivement à 27 et 9 p. 100, peut être estimée à partir du pourcentage d'épi (x) grâce à la relation suivante :

$$Y \text{ (en UF/kg de MS)} = 0,007\ 33\ x + 0,317$$

Digestibilité des matières azotées.

Le coefficient de digestibilité apparente des matières azotées des 35 ensilages a été en moyenne de 47,3 p. 100. Cependant, comme on pouvait s'y attendre, il a varié dans des limites assez larges (de 22,8 à 71,9 p. 100) puisqu'il dépend essentiellement de la teneur en matières azotées des ensilages (x) :

$$Y = - 0,439\ x^2 + 11,786\ x - 16,195 \pm 3,51 \quad R = 0,916^{***} \quad n = 35$$

Si on tient compte des 18 ensilages avec urée cette relation devient la suivante :

$$Y = - 0,317\ x^2 + 10,516\ x - 13,248 \pm 3,48 \quad R = 0,952^{***} \quad n = 53$$

Il en résulte que la teneur en matières azotées digestibles (Y en p. 100) de l'ensemble des ensilages (avec ou sans urée) a été liée étroitement ($r = + 0,986^{***}$) à leur teneur en matières azotées totales (x en p. 100) par la relation suivante :

$$Y = 0,978\ x - 3,753 \pm 0,36 \quad n = 53 \quad (\text{fig. 3})$$

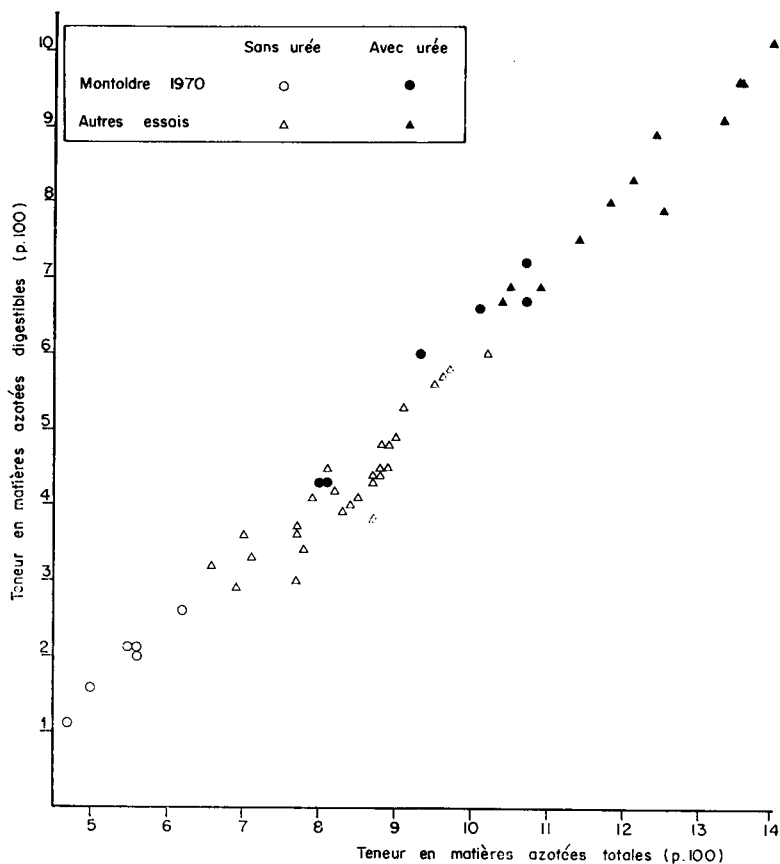


FIG. 3. — Liaison entre la teneur en matières azotées digestibles et la teneur en matières azotées totales des ensilages de maïs avec ou sans urée

La teneur en matières azotées non digestibles ayant été peu variable (en moyenne de $3,95 \pm 0,38$ p. 100), il sera donc possible d'estimer avec une précision satisfaisante la teneur en matières azotées digestibles des ensilages de maïs avec ou sans urée (Y en p. 100) à partir de la relation simple suivante :

$$Y = \text{MAT (en p. 100)} - 3,95$$

Digestibilité de la cellulose brute.

Le coefficient de digestibilité de la cellulose brute des 29 ensilages normaux a été en moyenne de $53,0 \pm 6,7$ p. 100. Il a été indépendant de la teneur en matières azotées et a diminué avec l'âge de la plante. Il a donc varié dans le même sens que la teneur en cellulose brute. A l'inverse, il a augmenté significativement ($P < 0,05$) avec la teneur en matières azotées et a été indépendant de la teneur en cellulose brute lorsque la teneur en matières azotées des ensilages a varié dans les limites plus larges (cas des 35 ensilages).

Influence de la composition des ensilages sur leur ingestibilité

L'ingestibilité des 35 ensilages, qui a été en moyenne de $49,8 \pm 8,3$ g de matière sèche par kg P^{0,75} (soit 50,8 g après correction pour les pertes à l'étuve), a été plus variable que la digestibilité. Par rapport à celle des ensilages d'herbe, elle a été élevée et beaucoup moins variable. Elle a été étroitement liée à leur teneur en matières azotées (x) par la relation suivante :

$$Y = -0,720 x^2 + 14,007 x - 14,889 \pm 5,84 \quad R = 0,664^{**} \quad n = 35 \quad (\text{fig. 4})$$

Il ressort de cette équation qu'au-delà d'une teneur en matières azotées d'environ 9-10 p. 100 l'ingestibilité des ensilages de maïs distribués seuls est indépendante de leur teneur en matières azotées.

En revanche, l'ingestibilité des 35 ensilages a été indépendante de leur teneur en matière sèche et donc du stade de végétation de la plante à la récolte (fig. 4). Il en est de même si on ne considère, parmi l'ensemble des ensilages (avec ou sans urée) que les 21 dont les teneurs en matières azotées sont supérieures à 9 p. 100.

De même, les différences d'ingestibilité entre les ensilages ne peuvent pas s'expliquer par des différences de digestibilité. S'il existe en effet une liaison significative ($r = +0,393^*$) entre l'ingestibilité des 35 ensilages et la digestibilité de la matière organique cette liaison n'est due qu'aux 6 ensilages récoltés à Montoldre en 1970 dont l'ingestibilité et la digestibilité étaient beaucoup plus faibles que celle des autres ensilages. En revanche, il n'existe pas de liaison significative entre l'ingestibilité et la digestibilité des 29 ensilages normaux.

A la différence de ce que nous avons observé dans le cas de la digestibilité des ensilages dont les teneurs en matière sèche et en matières azotées étaient respectivement supérieures à 27 et 9 p. 100, nous n'avons observé aucune liaison entre l'ingestibilité et la proportion d'épi dans les ensilages.

Contrairement aux ensilages d'herbe, l'influence des principales caractéristiques de la conservation sur l'ingestibilité des ensilages a été très faible, mais il est vrai que les caractéristiques de la conservation ont été excellentes et peu variables. En particulier, l'ingestibilité des 35 ensilages n'a pu être reliée ni aux variations de

pH ni aux variations de teneurs en azote ammoniacal. Cependant, l'ingestibilité des 35 ensilages a eu tendance ($r = -0,342$; $P < 0,05$) à diminuer quand la teneur en acides gras volatils totaux augmentait (en moyenne de 4,5 g/kg P^{0,75} pour

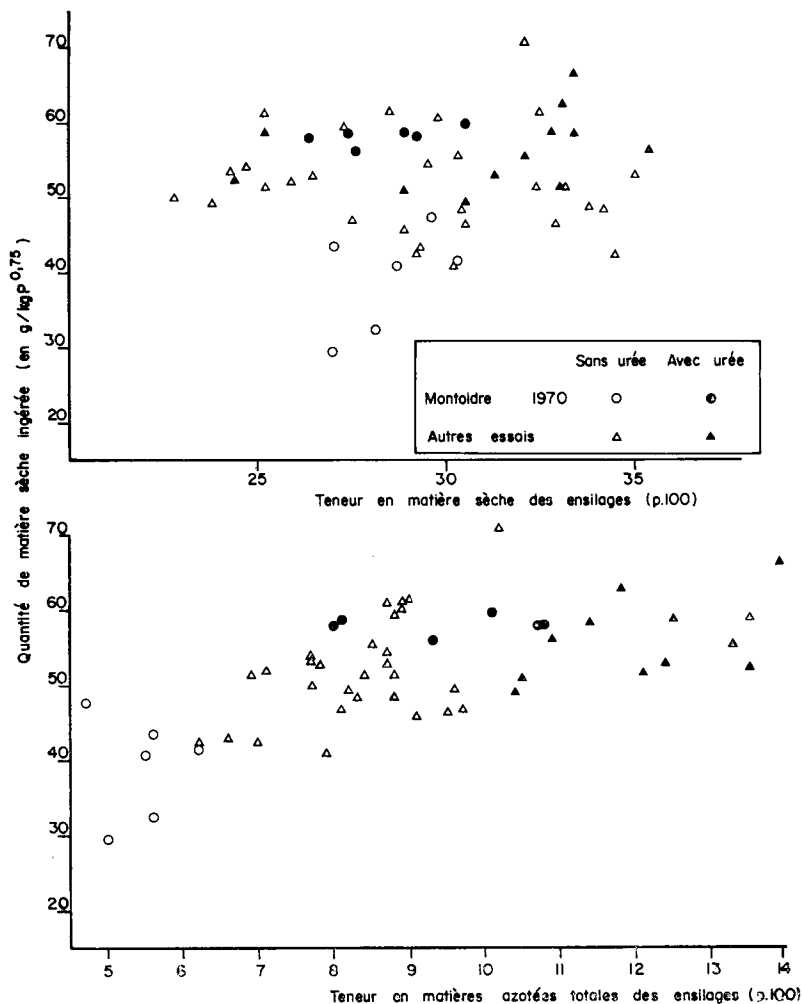


FIG. 4. — Relation entre l'ingestibilité des ensilages et leurs teneurs en matière sèche et en matières azotées

100 mMoles/kg de MS). De même, dans le cas des 21 ensilages avec ou sans urée, dont les teneurs en matières azotées ne constituaient pas un facteur limitant (> 9 p. 100), l'ingestibilité (Y) a diminué quand les teneurs en acides gras volatils totaux (x_1 en mMoles/kg de MS) et en acide acétique (x_2 en g/kg de MS) augmentaient :

$$Y_1 = -0,049 x_1 + 67,065 \pm 6,04 \quad r = -0,459^*$$

$$Y_2 = -0,874 x_2 + 67,469 \pm 5,97 \quad r = -0,479^*$$

Valeur alimentaire

La valeur alimentaire des 35 ensilages de maïs, que l'on peut caractériser par la quantité de matière organique digestible volontairement ingérée, est plus élevée que celle des ensilages de graminées : $32,6 \pm 6,2$ g contre $27,4 \pm 7,0$ g/kg P^{0.75}. Cela résulte à la fois d'une valeur nutritive et d'une ingestibilité élevées. Élevée, la valeur alimentaire des ensilages de maïs est également peu variable tout au moins lorsque la teneur en azote de la ration ne constitue pas un facteur limitant : en effet, si on excepte les ensilages réalisés à Montoldre en 1970, elle a été de $34,6 \pm 4,6$ g. Cette variabilité relativement faible s'explique par le fait que dans certains essais (Clermont, 1970) les niveaux d'ingestion très élevés observés ont été contrebalancés dans une certaine mesure par des digestibilités plus faibles. La valeur alimentaire des 35 ensilages de maïs distribués seuls est surtout fonction de leur teneur en azote.

DISCUSSION

1. Le maïs est certainement une des plantes qui se conservent le mieux sous forme d'ensilage. Les caractéristiques des ensilages de maïs sont en général excellentes et très peu variables. Comme l'ont signalé de nombreux auteurs, parmi lesquels DOX et NEIDIG (1913) et NEIDIG (1914) furent sans doute les premiers, la fermentation lactique y prédomine largement ; elle entraîne un abaissement important et rapide du pH — il serait inférieur à 4,0 au bout de 2 à 3 jours seulement d'après SCHAADT et JOHNSON (1968 et 1969) — et, du même coup, la stabilisation de l'ensilage. Il doit y avoir plusieurs raisons à cela. Entre 25 et 35 p. 100 de matière sèche, la plante entière contient une quantité appréciable, mais non trop élevée, de glucides solubles (de 13,0 à 9 p. 100 de la matière sèche) ; elle est également pauvre en azote et a un pouvoir tampon faible (il représente les 2/3 de celui des graminées d'après DULPHY et DEMARQUILLY, résultats non publiés). Son aptitude à la conservation par l'ensilage doit encore être renforcée par le fait qu'elle conserve même à un stade de récolte tardif, des tiges juteuses qui doivent libérer rapidement leurs sucres cellulaires, notamment si la récolte a lieu avec des machines à coupe fine (DULPHY et DEMARQUILLY, 1972) ce qui est généralement le cas. Il importe donc, comme l'a proposé GOUET (1970), d'adopter, pour juger de la qualité de conservation des ensilages de maïs, une notation beaucoup plus sévère que celle généralement retenue pour les autres ensilages.

La fermentation lactique s'accompagnant d'un dégagement gazeux faible, le pH bas inhibant les remaniements (eux-mêmes générateurs de gaz carbonique) entre métabolites et la teneur en matière sèche à la récolte étant souvent suffisamment élevée pour qu'il n'y ait pas d'écoulement de jus, les pertes de matière sèche et de valeur nutritive en cours de conservation sont nettement inférieures à celles enregistrées avec les ensilages directs de graminées ou de légumineuses, si les conditions d'étanchéité des silos sont bonnes.

2. La digestibilité de la matière organique varie relativement peu d'un maïs à un autre puisqu'elle a été pour les 29 ensilages normaux de $70,5 \pm 2,3$ p. 100. Pour-

quoi la digestibilité des ensilages de maïs est-elle aussi peu variable et notamment aussi indépendante des conditions de milieu ?

Certes, nous avons montré qu'à partir d'un certain stade de végétation la digestibilité dépend de la part représentée par l'épi, et plus particulièrement par le grain, dans la matière sèche totale. Il n'en demeure pas moins que l'impact de la proportion d'épis sur la digestibilité des ensilages est relativement peu important pour plusieurs raisons. Tout d'abord la proportion d'épis dans la plante à l'approche de la maturité est relativement peu variable dans le cas des variétés cultivées actuellement pour le grain : elle est peu dépendante de la fertilisation (HARSHBARGER *et al.*, 1954) ou encore de la fertilité des sols (HANWAY, 1962) ; de même, elle n'est pas étroitement liée, sauf dans des conditions extrêmes (sécheresse à la floraison, peuplement élevé) à la productivité en grain de la culture. Aussi, est-il rare que les écarts observés entre maïs en ce qui concerne la proportion d'épis à l'approche de la maturité de la plante soient supérieurs à 10 points. De plus, la digestibilité des ensilages augmente lentement avec la proportion d'épis : à un accroissement de trois points de cette proportion correspond seulement une augmentation de la digestibilité d'environ 1 point. Cette influence relativement faible de la proportion d'épis sur la digestibilité a été nettement confirmée par les mesures que nous avons effectuées sur des plantes dont la proportion d'épis avait été artificiellement modifiée (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1973). Cela s'explique par le fait que les organes végétatifs (tiges + feuilles) de la plante de maïs sont relativement digestibles même à un stade tardif et qu'il existe un phénomène de digestibilité associative négative entre les membranes et l'amidon quand la proportion d'épis augmente.

Il est en outre possible, qu'indépendamment de ce phénomène, la digestibilité de l'appareil végétatif soit d'autant plus faible que la proportion d'épis est importante (GALLAIS, communication personnelle).

3. L'ingestibilité des ensilages de maïs est peu variable, par comparaison à celle des ensilages d'herbe (DEMARQUILLY, 1973). Elle l'est cependant plus que leur digestibilité. Aussi les variations d'ingestibilité expliquent-elles en grande partie celles de la valeur alimentaire. Cette variabilité de l'ingestibilité ne peut être due qu'en partie au fait que les mesures ont été faites à partir de lots de 6 à 8 moutons seulement ; certes, ce nombre est certainement insuffisant pour obtenir une valeur très précise de l'ingestibilité d'un fourrage. Cependant, le fait que tous les ensilages correspondant à un essai donné aient été étudiés chaque hiver sur le même lot de moutons a considérablement réduit les variations d'ingestibilité dues aux différences d'appétit entre animaux. Comme dans l'essai où nous avons fait varier pour un maïs donné le stade de récolte (voir première partie) nous n'observons pas d'influence de la teneur en matière sèche sur l'ingestibilité. Les causes probables en ont déjà été discutées dans la publication précédente.

De même, l'étude générale confirme les résultats obtenus dans l'essai d'addition ou non d'urée : l'azote peut être un facteur limitant de la quantité d'ensilage de maïs ingérée. Pour qu'il n'en soit pas ainsi, la teneur en matières azotées doit être supérieure ou égale à 9-10 p. 100, c'est-à-dire bien plus élevée que celle trouvée (6 à 8,5 p. 100) dans le cas des fourrages classiques (BLAXTER et WILSON, 1963 ; BUENTELLO et ELLIS, 1971). Cela doit être dû au fait qu'une partie de la matière sèche est constituée par de l'amidon. Cependant, même quand l'azote ne constitue pas un facteur

limitant, il subsiste entre maïs des différences d'ingestibilité. Celles-ci sont difficilement explicables : elles ne sont pas liées notamment aux différences de digestibilité ou de composition morphologique. Seules les teneurs en acides gras volatils totaux et en acide acétique des ensilages les expliquent en partie mais les liaisons observées sont beaucoup plus lâches que dans le cas des ensilages d'herbe (DEMARQUILLY, 1973) ; cela n'est d'ailleurs pas étonnant compte tenu des marges de variation très étroites de ces teneurs dans les ensilages de maïs. Les causes exactes de ces variations d'ingestibilité mériteraient d'être spécialement étudiées car elles sont responsables en grande partie des variations de valeur alimentaire d'un ensilage à l'autre et par là des performances animales qui peuvent être obtenues avec des régimes à base d'ensilage de maïs.

Reçu pour publication en juillet 1973.

SUMMARY

FEEDING VALUE OF MAIZE FORAGE

III. — INFLUENCE OF COMPOSITION AND FERMENTATION CHARACTERISTICS ON DIGESTIBILITY AND VOLUNTARY INTAKE OF MAIZE SILAGE

The aim of the present study, dealing mainly with 35 silages of whole maize plants without additive, was to give a general interpretation of the factors of variation in the composition and feeding value of maize silages.

1. There were quite close correlations between the chemical composition of the silages (dry matter, ash, crude protein, crude fiber) and the morphological and chemical composition of the corresponding standing maize. The contents of ash, crude protein and crude fiber were a little higher in the silages than in the standing maize (0.7, 4.3, and 7.2 p. 100 respectively). This increment was similar for crude fiber and starch, which seems to indicate that the latter was not subjected to fermentations.

2. Based on the soluble carbohydrates, which disappeared almost completely, the fermentations gave rise mainly to lactic acid and to slightly variable amounts of volatile fatty acids. The mean contents of lactic, acetic and propionic acids were 45.5, 13.5 and 0.3 g/kg dry matter, respectively. The pH was very similar for all silages and the values never exceeded 4.0, which did not permit development of butyric fermentation. The proportion of soluble nitrogen (expressed in p. 100 of total nitrogen) almost doubled during conservation (from 26 p. 100 on an average in standing maize to 47 p. 100 in silages), whereas the formation of ammonia nitrogen was very low and varied little (on an average 4.7 p. 100 of nitrogen in the form of ammonia). The connections between the main fermentation characteristics and the composition of the standing maize were generally small. Only the acetic acid content of the silages varied inversely as compared to the dry matter and in the same direction as the soluble carbohydrate content in the corresponding standing maize.

3. Losses of dry matter during conservation (juice and gas), reached a mean value of 8 p. 100 and so could not be related to the main characteristics of conservation.

4. The digestibility of the organic matter in the 35 silages offered alone and *ad libitum* was closely related to their content of total crude protein at least when the latter did not exceed 8-8.5 p. 100. The digestibility of the 29 silages in which the protein content was not a limiting factor, did not vary much and showed mean values of 71.1 p. 100 *i. e.* 0.76 FU/kg DM. It was independent of the growth stage of the plant as well as of its dry matter and crude fiber contents. The digestibility could only be satisfactorily estimated on the basis of the ear content of the plant ensiled after the dough stage (*i. e.* from 27-28 p. 100 dry matter). The content of digestible protein (Y) (on an average 42 g/kg dry matter for the 29 « normal » silages) depended mainly on the protein content (X) :

$$Y = 0.978 X - 3.753 \pm 0.36 ; \quad r = + 0.986^{***}$$

5. The voluntary intake, which varied more than the digestibility, reached a mean value of 49.8 ± 8.3 g dry matter/kg P^{0.75}. The voluntary intake as the digestibility also depended closely on the crude protein content of the silages (up to about 9-10 p. 100). When the crude protein content of the silages did not constitute a limiting factor, it was on an average 51.9 g and did not depend either on the main criteria of the growth stage of the plant at harvest (content of dry matter and ears), or on the digestibility of the silages and fermentation characteristics. However, it tended to decrease slightly when the contents of total volatile fatty acids and acetic acid increased. The exact causes of the variations in the voluntary intake and consequently in the feeding value are not well understood.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRIEU J., 1969. Évolution entre la floraison et la maturité de la composition morphologique, chimique et de la production de matière sèche par hectare. *Compte rendu des journées I. T. E. B. sur le maïs fourrage*, p. 21-36.
- ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., 1973. Valeur alimentaire du maïs fourrage. II. Influence du stade de végétation, de la variété, du peuplement et de l'addition d'urée sur la digestibilité et l'ingestibilité de l'ensilage de maïs. *Ann. Zootech.*, 1974, **23**, 1-25.
- BLAXTER K. L., WILSON R. S., 1963. The assessment of a crop husbandry technique in terms of animal production. *Anim. prod.*, **5**, 27-42.
- BREIREM K., 1954. Die Nettoenergie als Grundlage der Bewertung der Futtermittel, in : Nehring K., 100 Jahre Möckern. *Die Bewertung der Futterstoffe und andere Probleme der Tiernahrung*. Dtsch. Akad. Landwirt, Berlin, t. II, 97-108.
- BUENTELO J., ELLIS W., 1971. Protein effects on forage intake and digestibility. *J. anim. Sci.*, **32**, 373 (Abstract).
- DEMARQUILLY C., 1969. Valeur alimentaire du maïs fourrage. I. Composition chimique et digestibilité du maïs sur pied. *Ann. Zootech.*, **18**, 17-32.
- DEMARQUILLY C., 1973. Composition chimique, caractéristiques fermentaires, digestibilité et quantité ingérée des ensilages de fourrages : modifications par rapport au fourrage vert initial. *Ann. Zootech.*, **22**, 1-35.
- DOX W., NEIDIG R., 1913. Lactic acid in corn silage. *Iowa Agr. Exp. Sta. Res. bul.*, **10**.
- 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.
- GOUET Ph., 1970. Théorie et pratique de l'ensilage de maïs. *Compte rendu journées maïs, plante fourragère organisées par A. G. P. M., I. T. C. F. et I. T. E. B.*, p. 79-90.
- HANWAY J. J., 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility : growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. *Agron. J.*, **54**, 145-148.
- HARSHBARGER K., NEVENS W., TOUCHBERRY R., LANG A., DUNGAN G., 1954. The yield and protein content of silage corn as influenced by fertilization. *J. Dairy Sci.*, **37**, 976-981.
- NEIDIG R., 1914. Chemical changes during silage fermentation. *Iowa Agr. Exper. Sta. Res. Bul.* **16**.
- SCHAADT H., JOHNSON R. R., 1968. Effects of maturity, fermentation time, and limestone and urea treatment on D (—) and L (+) lactic acid in corn silage. *J. Dairy Sci.*, **51**, 802-805.
- SCHAADT H., JOHNSON R. R., 1969. Effect of ensiling time on distribution and losses nitrogen in corn silage treated with limestone and NPN. *J. anim. Sci.*, **29**, 57-61.